



ISSN 1311-0829

ГОДИШНИК НА ТЕХНИЧЕСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

**Том 60, книга 1, 2010 г. – Юбилеен
„65 години ТУ – София” и „60 год. Годишник”**

**Втора научна конференция
на Електротехническия факултет
Созопол, 1 – 3 октомври 2010 г.**



PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY – SOFIA

**Volume 60, book 1, 2010 – Anniversary
“65 Years Technical University – Sofia” and “60 Years
Proceedings of the Technical University – Sofia”
Second Scientific Conference
of the Faculty of Electrical Engineering
Sozopol, October 1 – 3, 2010**

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

Главен редактор: проф. д-н Ганчо Божилов

Членове: доц. д-р Васил Господинов
доц. д-р Петър Наков
доц. д-р Владимир Лазаров
проф. д-р Ангел Пачаманов
доц. д-р Георги Тодоров
гл. ас. Николай Матанов
гл. ас. Адриан Иванов
инж. Мая Петрунова

EDITOR'S BOARD

President: Prof. DSc Gantcho Bojilov

Members: Assoc. Prof. PhD Vasil Gospodinov
Assoc. Prof. PhD Petar Nakov
Assoc. Prof. PhD Vladimir Lazarov
Prof. PhD Angel Patchamanov
Assoc. Prof. PhD Georgi Todorov
Assist. Prof. Nikolaj Matanov
Assist. Prof. Adrian Ivanov
Eng. Maya Petrunova.

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКАТА В ПАЗАРНИ УСЛОВИЯ

1. Малчев, К. Моделиране на входните величини за цифрови релейни защиты на електропровод	9
2. Малчев, К. Функционален модел на пусков орган по напрежение и ток за цифрова дистанционна релейна защита..	17
3. Малчев, К. Моделиране на цифров дистанционен орган и характеристики на заработване	24
4. Ваковски, Д., М. Кънева-Цочева, Д. Стоилов. Определяне на обезпечеността и прогнозиране на водния приток	31
5. Кънева-Цочева, М., З. Попов. Анализ на основните модели на пазара на балансираща енергия	39
6. Иванов, М., Р. Станев, Я. Тодоров, Д. Стоилов, Д. Караиванов. Статична устойчивост на електропровод средно напрежение с присъединени вятърни генератори	48
7. Тодоров, Д., А. Крумов, А. Овчаров, М. Атанасов. Електрическа част на ЦЕРН	54
8. Тодоров, Д., И. Пандъков, А. Крумов, А. Овчаров. Електрическа част на ITER	63
9. Богданов, Д. Повишаване на надеждността на електрозахранването с когенерационен агрегат	73
10. Димитров, М., Р. Кючуков. Лятното часово време.....	81
11. Господинов, В., Н. Матанов, Б. Мойчев. Изследване на електроснабдяването и режима на потребление на обект в областта на трансфузионната хематология	87
12. Динев, П. Съвременни аспекти на технологията, изразени чрез един пирамидален модел	97
13. Динев, П., Д. Господинова. Магнитно стимулиране на бариерен разряд в триелектродна система	112
14. Динев, П., Д. Господинова. Електрически характеристики на бариерен разряд в диодна система с феромагнитни електроди.	124
15. Стоилов, И. Система за мониторинг на електропотреблението	137
16. Николов, Д., С. Юсеин, Т. Шаренкова, Изследване на влиянието на климатиците върху товаровия график активната мощност на гр. София	145
17. Кърцелин, Е. Р. Истилиянов, Й. Младенова, Н. Лаков. Концепция за определяне на изискванията към системата за защита на сложни технически системи	154

18. Станев, Р., П. Романос, А. Кръстева, П. Наков, Б. Блетери. Статичен анализ на електрически мрежи с разпределени енергийни източници	164
19. Цолов, А. Стенд-симулатор за изследване на процеси и цифрови регулатори	172
20. Николова, К., Н. Трифонов. Преобразовател на трифазна система променливи напрежения в източник на постоянен ток, изпълнен с приложение на схема "бушеро"	183

ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ И ВЪЗОБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ

21. Биларев, К. Оптимизиране на техническото обслужване и ремонта на контактната система на електрифицираните железопътни линии, обосновано на теорията за нейното проектиране	191
22. Георгиев, В., Ст. Гюров Н. Матанов, Б. Бойчев, В. Господинов. Компенсатор на знакопроменливи реактивни товари	199
23. Георгиев, В., И. Ячев, К. Хинов, М. Минчев, К. Милетиева. Ст. Гюров, К. Иванов. Горивни клетки в електроинженерното обучение	206
24. Павлов, Г., И. Търпов, Р. Васева. Насоки за повишаване на енергийната ефективност на електрическите транспортни средства, експлоатирани в парка на БДЖ	212
25. Павлов, Г., И. Търпов, Р. Васева. Изследване на енергетичните параметри на тягови пускорегулиращи устройства за електрически транспортни средства на БДЖ.....	220
26. Ганев, Г., Г. Тодоров. Системи за съхраняване на електроенергия	229
27. Чиков, В. Изследване на загубите на мощност при работа на силов трансформатор по схема Y/Y с изолиран звезден център	239
28. Гюров, В. Възможности за постигане на електроенергийна ефективност при проектиране на жилищно строителство по концепция „Интелигентен дом”.....	243
29. Киров, Р., В. Чиков, В. Гюров, Н. Македонски. Изследване на електроенергийните процеси в електролизните установки..	251

30. Киров, Р. Относно методите за определяне на конвенционалните загуби на мощност и електрическа енергия в промишлени обекти.....	258
31. Киров, Р., В. Чиков, В. Гюров, Н. Македонски. Изследване и анализ на електромагнитната съвместимост при експлоатацията на електроснабдителни системи на промишлени обекти	268
32. Нотон, Ж., В. Лазаров, Л. Стоянов, М. Езат. Свързване на ПАВЕЦ с възобновяеми източници на енергия за увеличаване на проникването им в островни електрически системи.....	279
33. Лазаров, В., Ж. Нотон, Л. Стоянов, З. Зарков. Моделиране на двойно захранен асинхронен генератор с електронен преобразувател в ротора за приложение в преобразуването на вятърната енергия.....	289
34. Лазаров, В., Б. Франсоа, Х. Кънчев, З. Зарков, Л. Стоянов. Приложение на суперкондензатори в хибридни системи.....	299
35. Лазаров, В., Д. Роа, Д. Спиоров, З. Зарков. Управление на изходящата мощност във ветроенергийни преобразувателни системи с променлива скорост.....	311
36. Лазаров, В., З. Зарков, Д. Спиоров. Моделиране на активен изправител за ветроенергийна система със синхронен генератор.....	321
37. Цветкова, С., А. Петлешков, И. Георгиев. Изследване на показателите за качество на електрическата енергия във фирма за производство на печатни платки.....	332
38. Чернев, Х., Д. Киров, А. Петлешков. Експериментално изследване на полуцилиндричен слънчев колектор ИКА.....	342
39. Цветкова, С., А. Георгиева. Изследване на качеството на електрическата енергия в електроснабдителна система, захранваща битови консуматори.....	350
40. Спасов, Р., И. Донеv. Повишаване на енергийната ефективност на разпределителните трансформатори чрез намаляване на загубите на празен ход.....	356
41. Спасов, Р. Оптимално оразмеряване на напречното сечение на магнитопроводи за разпределителни трансформатори с овално напречно сечение.....	361
42. Благоев, К., Г. Божилов, Г. Тодоров. Интелигентните измервания за мониторинг и диагностика.....	368
43. Тодоров, Г., Г. Ганев, К. Благоев, Мониторинг на вътрешнона-мотъчни дефекти в трансформатор.....	377

CONTENTS

ENERGETICS IN BUSINESS CONDITIONS

1. Malchev, K. Modeling the input signal of digital relay protections of distribution lines.....	9
2. Malchev, K. Functional model of voltage and current detectors for digital distance relay protection.....	17
3. Malchev, K. Modeling the digital distance detectors and their working characteristics.....	24
4. Vakovsky, D., M. Kaneva-Tzocheva, D. Stoilov. Determination of the water inflow security and inflow forecasting.....	31
5. Kaneva-Tzotcheva, M., Z. Popov. Analysis of basic models of the balancing market for electricity.....	39
6. Ivanov, M., R. Stanev, I. Todorov, D. Stoilov, D. Karaivanov. Steady state stability of a middle voltage power distribution line with connected wind generators.....	48
7. Todorov, D., A. Krumov, A. Ovcharov, M. Atanasov. CERN electric power supply.....	54
8. Todorov, D., I. Pandakov, A. Krumov, A. Ovcharov. ITER electric power supply.....	63
9. Bogdanov, D. Improving the reliability of power supply with cogeneration set.....	73
10. Dimitrov, M., R. Kyuchukov. Daylight saving time.....	81
11. Gospodinov, V., N. Matanov, B. Bojchev. Study of the electrical power supply and the regime of work of an object in the area of transfusion hematology.....	87
12. Dineff, P. Contemporary aspects of technology as a basis of new pyramid model.....	97
13. Dineff, P., D. Gospodinova. Electrical characteristics of dielectric barrier discharge in a diode system with ferromagnetic electrodes.	112
14. Dineff, P., D. Gospodinova. Magnetically stimulated dielectric barrier discharge.....	124
15. Stoilov, I. System for monitoring of electrical energy consumption.....	137
16. Nikolov, D., S. Yusein, T. Sharenkova. Conditioner influence research over the load schedule of the active power of Sofia.....	145
17. Kartselin, E., R. Istalianov, I. Mladenova, N. Lakov. Concept to determine the system requirements for the protection of complex technical systems.....	154

18. Stanev, R., P. Romanos, A. Krusteva, P. Nakov, B. Bletterie. Steady state analysis of networks with distributed energy resources.....	164
19. Tzolov, A. Stand-simulator for the study of processes and digital regulators.....	172
20. Nikolova, K., N. Trifofnov. Converter of three phase system alternative voltages in constant current source, realized by application of “boucherot” scheme.....	183

ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE SOURCES OF ENERGY

21. Bilarev, K. Optimization maintenance and repair of contact system railroad electrification justified on the theory of its design.	191
22. Georgiev, V., St. Gyurov, N. Matanov, B. Bojchev, V. Gospodinov. Compensating controller for reactive loads with variable character.....	199
23. Georgiev, V.,I. Yatchev, K. Hinov, M. Minchev, K. Miletieva, S. Giurov, K. Ivanov. Fuel cells in electricalengineering education....	206
24. Pavlov, G., I. Tarpov, R. Vaseva. Guidelines for improving the energy efficiency of electric vehicles in the park of bdz (bulgarian state railways). exploration of the main energetic items.....	212
25. Pavlov, G., I. Tarpov, R. Vaseva. Exploration of the energy items of the start controlling devices used in the elctric vehicles operating in the park of bdz (bulgarian state railways).....	220
26. Ganev, G., G. Todorov. Energy storage systems.....	229
27. Chikow, V. Investigation of power losses in transformers Y/Y connection.....	239
28. Gyurov, V. Improving energy efficiency in buildings using “smart home” electrical design.....	243
29. Kirov, R., V. Chikov, V. Gyurov, N. Makedonski. Research electricity processes in electrolysis proceedings.....	251
30. Kirov, R. For calculating the conventional loss of power and electricity in the industrial sites.....	258
31. Kirov, R., V. Chikov, V. Gyurov, N. Makedonski. Research and analysis of electromagnetic compatibility in operations of the power supply systems of industrial sites.....	268
32. Notton, G., V. Lazarov, L. Stoyanov, M. Ezzat. Coupling Hydro-pumping System with “Fatal” Renewable Sources for a	

Penetration Rate Increase in Island Electrical Grid.....	279
33. Lazarov, V., G. Notton, L. Stoyanov, Z. Zarkov. Modeling of Doubly Fed Induction Generator with Rotor-side Converter for Wind Energy Conversion Application.....	289
34. Lazarov, V., B. Francois, H. Kanchev, Z. Zarkov, L. Stoyanov. Application of supercapacitor energy storage in hybrid systems.....	299
35. Lazarov, V., D. Roye, Z. Zarkov, D. Spirov . Output Power Control for Variable Speed Wind Generator.....	311
36. Lazarov, V., Z. Zarkov, D. Spirov. Modeling of PWM rectifier for wind energy conversion sistem with synchronous generator.....	321
37. Tzvetkova, S., A. Petleshkov, I. Georgiev. Investigation of the power quality indexes in company for production of printed-circuit boards.....	332
38. Chernev, H., D. Kirov, A. Petleshkov. Experimental research of semicylinder solar collector type "IKA".....	342
39. Tzvetkova, S., A. Georgieva. Investigation of the power quality in electric supply system, supplied domestic consumers.....	350
40. Spasov, R., I. Donev. Increasing the energy efficiency of distribution transformers by reducing the no load loss.....	356
41. Spasov, R. Optimal design of core cross section for distribution transformers with oval cross-section.....	361
42. Blagoev, K., G. Bojilov, G. Todorov. Smart metering for monitoring and diagnostics.....	368
43. Todorov, G.,G. Ganev, K. Blagoev. Monitoring of interturn faults in a transformer windings.....	377

МОДЕЛИРАНЕ НА ВХОДНИТЕ ВЕЛИЧИНИ ЗА ЦИФРОВИ РЕЛЕЙНИ ЗАЩИТИ НА ЕЛЕКТРОПРОВОД

Константин Малчев

Резюме. За изучаване и изследване на поведението и функционалните възможности на цифровите релейни защиты (токови, дистанционни и др.), реализирани чрез различни алгоритми, изисква да се подават токове и напрежения отразяващи реалните процеси при различни повреди (къси съединения) и режими на работа на електрическата система. Целта на статията е да покаже влиянието на всички фактори, които влияят при формирането на входните сигнали подавани към защитите. С помощта на програмните пакети Matlab, Simulink и SimPowerSystems е реализиран математически модел, в които са отчетени тези фактори.

MODELLING THE INPUT SIGNAL OF DIGITAL RELAY PROTECTIONS OF DISTRIBUTION LINES

Konstantin Malchev

Abstract. To learn and research the behavior and the functional abilities of the digital relay protections, based on different algorithms, it is necessary to set currents and voltages, which describe the real processes of fault (like short circuits) or processes which show the different regimes of the work of the system. The aim of the article is to present the influence of all factors, which are used for creating the input signals passed to the protections. The mathematical model, which describes these factors, is created with Matlab, Simulink and SimPowerSystems

1. Въведение

С релейните защиты се предпазват електрическите съоръжения (електропроводи, трансформатори и др.) при възникване на различни повреди. Входната информация подавана към защитите обикновено е ток, напрежение или и ток и напрежение. Защитата трябва да прави своята оценка по време на възникналия преходен процес. Моделирането на входните величини изисква моделиране на целия процес при възникване на повредата (късото съединение). Съществуват много програми за моделиране на електромагнитни преходни процеси, като ЕМТР (Electromagnetic Transient Program), АТР (Alternative Transient Program) [8] и др. За моделиране на по-прости приложения и най-вече за по-добро онагледяване при изучаване на дадени процеси, редица автори препоръчат използването на програмните пакети Matlab, Simulink и SimPowerSystems [5], [6]. MATLAB използва математическо моделиране и визуализиране, като предлага мощен език за осигуряване на гъвкава среда при

изчисленията [4]. MATLAB притежава софтуерни структурни библиотеки, модели и програми, които позволяват въвеждането на различни моделни компоненти в един пакет. SIMULINK е пакет в MATLAB за симулации в реално време. Този пакет представлява една открита система, където нови библиотеки и модели могат да се добавят с лекота. The Power System Block Set позволява моделиране на основни компоненти от електрическата система. Комбинирането на MATLAB, SIMULINK и the Power System Block Set позволява да се моделират и симулират реални електрически и защитни системи с висока точност.

Целта на настоящата статия е да се направи максимално гъвкав и точен модел на електропровод в който да се отчетат всички възможни режими и къси съединения, при които функционират цифровите дистанционни релейни защиты [1], [2], [3].

2. Фактори, влияещи на измерваните от дистанционните защиты величини

Известно е че дистанционната защита получава информация за тока и напрежението в мястото на своето монтиране. При възникване на к.с. тя трябва да изключи повредения елемент бързо. Защитата трябва да притежава качества като селективност, чувствителност, сигурност и бързодействие.

Фактори влияещи на измерваните от дистанционната защита величини са следните:

1. Захранващият източник.

В зависимост от мястото на електропровода в електроенергийната система мощността на захранващия източник може да бъде различна. Тази мощност определя вътрешното съпротивление на захранващия източник. Колкото мощността (тока) на трифазното к.с. е по-голяма, толкова вътрешното съпротивление е по-малко. В зависимост от мощността на трифазно к. с. $S_{kc}^{(3)}$ ($I_{kc}''^{(3)}$ свръхпреходния ток) импедансът се получава с изразите:

$$Z_{SI} = \frac{1,1U_n^2}{S_{kc}^{(3)}} \text{ или } Z_{SI} = \frac{1,1U_n}{\sqrt{3} I_{kc}''^{(3)}}. \quad (1)$$

Определянето на индуктивното и активното съпротивление на източника може да се получи от съотношението между X/R .

2. Параметрите на електропровода

В модела на електропровода за изследване на дистанционна защита се въвеждат резистансите, индуктивностите и импедансите на правата и обратната последователност. Тези параметри са различни и зависят от типа, режима на работа на неутралата и номиналното напрежение

3. Мястото на възникване на повредта.

Късото съединение може да възникне във всяка точка по дължината на електропровода. Моделът трябва да позволява въвеждането на повредата на произволно място.

3. Типа на късото съединение.

Дистанционната защита трябва да измерва точно съпротивлението до к.с., което да е пропорционално на разстоянието. За да се определи това съпротивление е необходимо да се опише веригата до повреда. В най-общ вид уравнението описващо веригата с к.с. се определя с уравнението:

$$\mathcal{U}_{np} - \mathcal{U}_{обр} = R_{np} \mathcal{I}_{np} + jX_{np} \mathcal{I}_{np} - (R_{обр} \mathcal{I}_{обр} + jX_{обр} \mathcal{I}_{обр}) \quad (2)$$

При различните к.с. се променя веригата при която се измерват токовете и напреженията. Моделът трябва да отчита променените във веригата импеданси в зависимост от изследваното к.с.

3. Метални къси съединения

- Междуфазни къси съединения

При метално двуфазно к.с. между фази А и В, за въздушни електропроводи при които импедансите на правата \mathcal{Z}_{1k} и обратната последователност \mathcal{Z}_{2k} са равни по между си, горното уравнение може да се представи в следния вид:

$$\mathcal{U}_{AB} = \mathcal{I}_{A1} \mathcal{Z}_{1k} + \mathcal{I}_{A2} \mathcal{Z}_{1k} - (\mathcal{I}_{B1} \mathcal{Z}_{1k} + \mathcal{I}_{B2} \mathcal{Z}_{1k}) + (\mathcal{I}_0 \mathcal{Z}_{1k} - \mathcal{I}_0 \mathcal{Z}_{1k}) = (\mathcal{I}_A - \mathcal{I}_B) \mathcal{Z}_{1k} \quad (3)$$

$$\mathcal{I}_{AB} = \frac{\mathcal{U}_{AB}}{\mathcal{I}_A - \mathcal{I}_B} = \mathcal{Z}_{1k} = \mathcal{Z}_{омн.} I_k \quad (4)$$

От тези равенства следва, че при изследване на двуфазни, двуфазни със земя и трифазни метални к.с. допълнителни импеданси във веригата не са необходими да се включват. За измерване на импеданса до късото съединение е необходимо да се измерват междуфазните напрежения и токове.

- Еднофазни къси съединения към земя

При метално еднофазно к.с. със земя на фаза А уравнението описващо веригата на аварията е :

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_A &= \mathcal{I}_{A1} \mathcal{Z}_{1k} + \mathcal{I}_{A2} \mathcal{Z}_{1k} + \mathcal{I}_0 \mathcal{Z}_{0k} = \mathcal{I}_{A1} \mathcal{Z}_{1k} + \mathcal{I}_{A2} \mathcal{Z}_{1k} + \mathcal{I}_0 \mathcal{Z}_{0k} + (\mathcal{I}_0 \mathcal{Z}_{1k} - \mathcal{I}_0 \mathcal{Z}_{1k}) \\ &= \mathcal{I}_A \mathcal{Z}_{1k} + (\mathcal{Z}_{0k} - \mathcal{Z}_{1k}) \mathcal{I}_0 \end{aligned} \quad (5)$$

От условието $\mathcal{I}_{зем} = \mathcal{I}_A = 3\mathcal{I}_0$ след заместване в горното уравнение се получава:

$$\mathcal{U}_A = \mathcal{I}_A \mathcal{Z}_{1k} + \frac{\mathcal{Z}_{0k} - \mathcal{Z}_{1k}}{3} \mathcal{I}_A = \mathcal{I}_A \mathcal{Z}_{1k} + 3\mathcal{I}_0 Z_E \quad (6)$$

За да се получат реално измерваните от защитата фазни токове и напрежения е необходимо при изследване на метални еднофазни к.с. да се добавя съпротивление $\mathcal{Z}_E = \frac{\mathcal{Z}_{0k} - \mathcal{Z}_{1k}}{3}$.

4. Активно преходно съпротивление в мястото на късото съединение

- Междуфазни къси съединения

Като се използва равенство (2) за междуфазно к.с., измерваното напрежение в мястото на монтиране на релейната защита е:

$$\begin{aligned}
U_{AB} &= I_{A1} Z_{1k} + I_{A2} Z_{1k} + I_0 Z_{0k} + (I_{A1}^c + I_{A2}^c + I_0^c) R_{tr} - \\
&- \epsilon (I_{B1} Z_{1k} + I_{B2} Z_{1k} + I_0 Z_{0k}) + (I_{B1}^c + I_{B2}^c + I_0^c) R_{tr} = \\
&= (I_A - I_B) Z_{1k} + (I_A^c - I_B^c) R_{tr}
\end{aligned} \tag{7}$$

Където R_{tr} е преходното съпротивление.

$$Z_{AB} = \frac{U_{AB}}{I_A - I_B} = Z_{1k} + \frac{I_A^c - I_B^c}{I_A - I_B} R_{tr} = Z_{омн.} l_k + K_p R_{tr} \tag{8}$$

K_p коефициент, който зависи от захранването на повредата. При едностранно захранване той е равен на единица.

При моделирането на двуфазно к.с. във всяка от фазите е необходимо да се включи половината от преходното съпротивление, т.е. $\frac{1}{2} R_{tr}$. При трифазно к.с. се включва една трета от преходното съпротивление, т.е. $\frac{1}{3} R_{tr}$.

- Еднофазни къси съединения към земя

Като се използва равенство (6) за еднофазно к.с., измерваното напрежение в мястото на монтиране на релейната защита е:

$$U_A = I_A Z_{1k} + 3I_0 Z_E + R_{tr} I_A \tag{9}$$

При едностранно захранване уравнение (9) има следния вид:

$$U_A = I_A Z_{1k} + I_A Z_E + R_{tr} I_A = (Z_{1k} + Z_E + R_{tr}) I_A \tag{10}$$

За да се получат реално измерваните от защитата фазни токове и напрежения е необходимо при изследване на еднофазни к.с. през активно преходно съпротивление да се добавя съпротивление $(Z_E + R_{tr})$.

5. Влияние на електрическата дъга

Най-простият начин за отчитане на дъгата е разглеждането ѝ като активно съпротивление, което може да се определи с формулата $R_{arc} = \frac{2500 l_{arc}}{I_{arc}}$ - където

l_{arc} е дължината на дъгата в [m], а I_{arc} - тока, протичащ през дъгата в [A]. По-точно приближение дава формулата на Варрингтон - $R_{arc} = \frac{2870 l_{arc}}{I_{arc}^{1,4}}$.

Съществуват усреднени стойности за диапазона на изменение на съпротивлението на дъгата. (За въздушни линии 110kV и средно разстояние между проводниците от 3,5[m] при ток на к.с. в диапазона (1000[A] ÷ 10000[A]), съпротивлението на дъгата приема стойности в диапазон (0,75 Ω ÷ 7,5Ω). Когато изключването на к.с. става със закъснение, вследствие на динамическите усилия и вятъра съпротивлението на дъгата се определя с

израза- $R_{arc, t} = R_{arc} \left(1 + \frac{5Vt}{l_{arc}} \right)$; където V е скоростта на вятъра, а R_{arc} -

съпротивлението и дължината на дъгата в началния момент на к.с. При възникване на дъга, за да се получат реално измерваните от защитата фазни

токове и напрежения е необходимо за различни времеви моменти да се включват различни активни съпротивления.

6. Влияние на паралелни линии

При паралелни линии токът на нулева последователност създава магнитен поток обхващаш съседната линия, при което се появява съпротивление на взаимна индукция \underline{Z}_{0M} .

Определянето на съпротивлението при еднофазно к.с. при паралелни линии става с израза:

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= \underline{I}_{A1} \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_{A2} \cdot \underline{Z}_{2k} + \underline{I}_0 \cdot \underline{Z}_{0k} + \underline{I}_{0L} \cdot \underline{Z}_{0M} = \underline{I}_A \cdot \underline{Z}_{1k} + \underline{I}_A \cdot \frac{(\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1)}{3} + \underline{I}_{0L} \cdot \frac{\underline{Z}_{0M}}{3} = \\ &= \underline{I}_A \cdot \frac{\dot{e}}{\dot{e}} \underline{Z}_{1k} + \frac{(\underline{Z}_0 - \underline{Z}_{1k})}{3} \cdot \frac{\dot{u}}{\dot{u}} + \underline{I}_{0L} \cdot \frac{\underline{Z}_{0M}}{3} = \underline{I}_A \cdot \frac{\dot{e}}{\dot{e}} \underline{Z}_{1k} + \frac{(\underline{Z}_0 - \underline{Z}_{1k})}{3} + \frac{\underline{Z}_{0M}}{3} \cdot \frac{L_{fault}}{2 \cdot L_{line} - L_{fault}} \cdot \frac{\dot{u}}{\dot{u}} \end{aligned} \quad (11)$$

където - \underline{I}_{0L} е тока с нулева последователности на здравия електропровод, L_{fault} - разстоянието до повредата, L_{line} - дължината на електропровода, \underline{Z}_{0M} е съпротивленията на взаимната индукция, което за две паралелни линии без заземителен проводник може да се определи с формулата

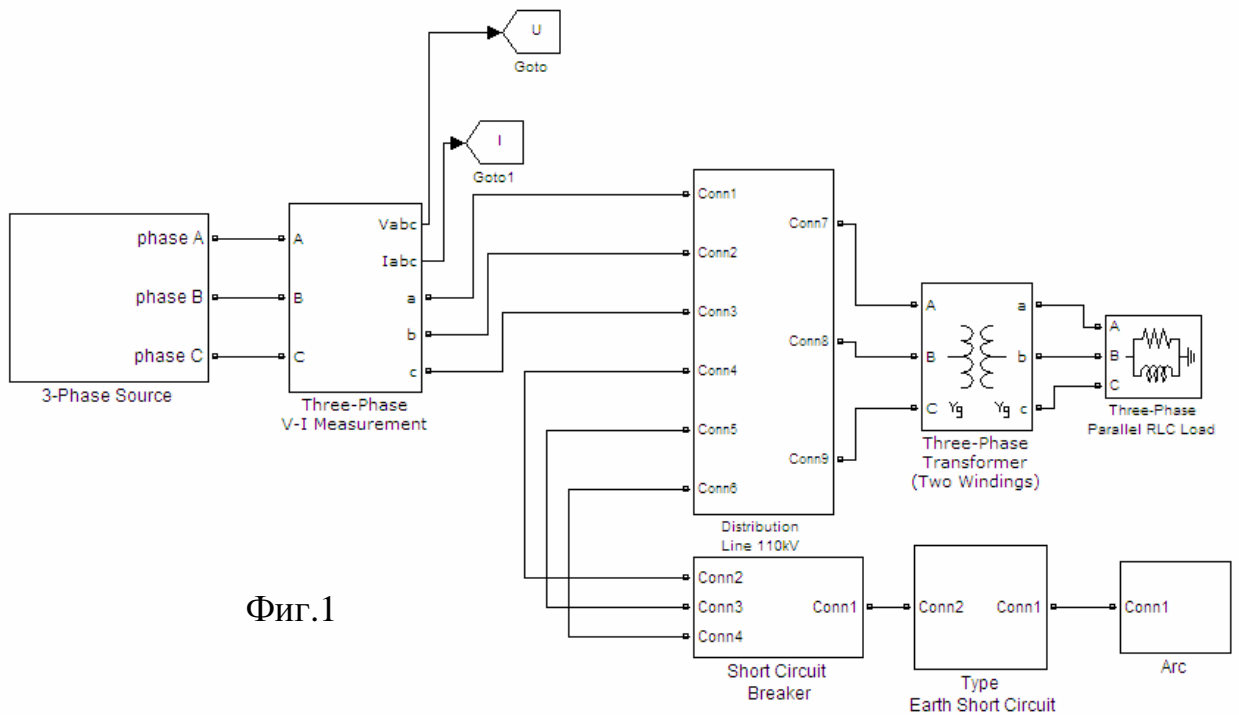
$$\underline{Z}_{0M} = \frac{\pi}{\zeta} \cdot 3 \cdot R_E + jw \cdot 6 \cdot \ln \frac{d}{A_L} \cdot 10^{-4} [om / km]. \quad d = 1650 \sqrt{\frac{r}{w}} \quad \text{е дълбочината на}$$

проникване (еквивалентната дълбочина на тока минаващ през земята) в [m]; r - специфичното съпротивление на земята в [om.m]. За еднофазни к.с. на паралелни електропроводи с еднаква дължина са в сила следните равенства -

$$\underline{I}_{0L} = \frac{L_{fault}}{2 \cdot L_{line} - L_{fault}} \underline{I}_0$$

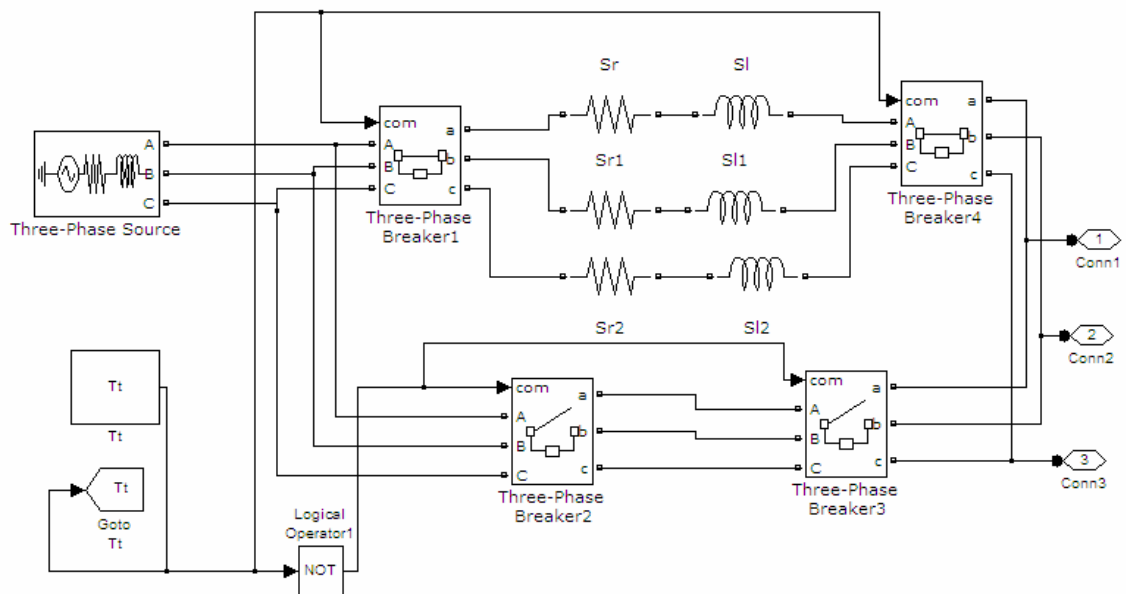
Реализирания чрез програмните пакети Matlab, Simulink и SimPowerSystems модел има вида показан на фиг. 1. Той е съставен от следните основни блокове:

1. Модел на хранящата система - 3-Phase Source.
2. Модел на електропровод отразяващ режимите му на работа в зависимост от повредата - Distribution Line 110kV.
3. Модел на различни къси съединения - Short Circuit Breaker.
4. Модел на земни къси съединения – Type Earth Short Circuit
5. Модел на дъгата – Arc.
6. Товар съставен от двунамотъчен трансформатор и активно индуктивен товар - Three-Phase Transformer(Two Windings) и Three-Phase Parallel RLC Load.
7. Модул за измерване - Three-Phase V-I Measurement



Фиг.1

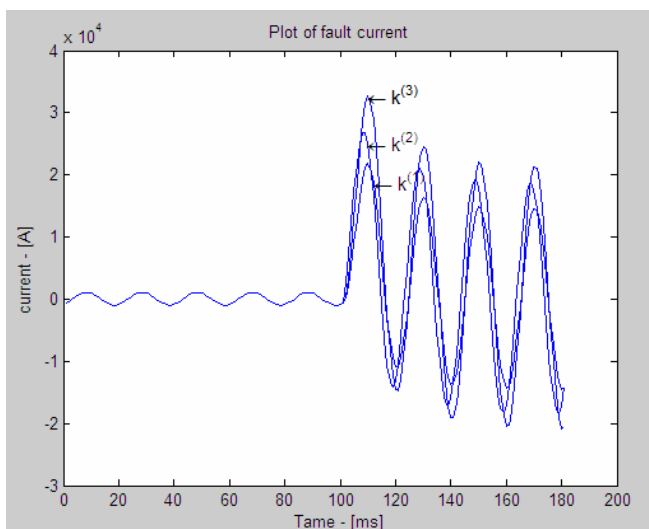
Моделът на захранващата система (фиг. 2) дава възможност да се моделира захранваща система с произволна мощност (с различно вътрешно съпротивление).



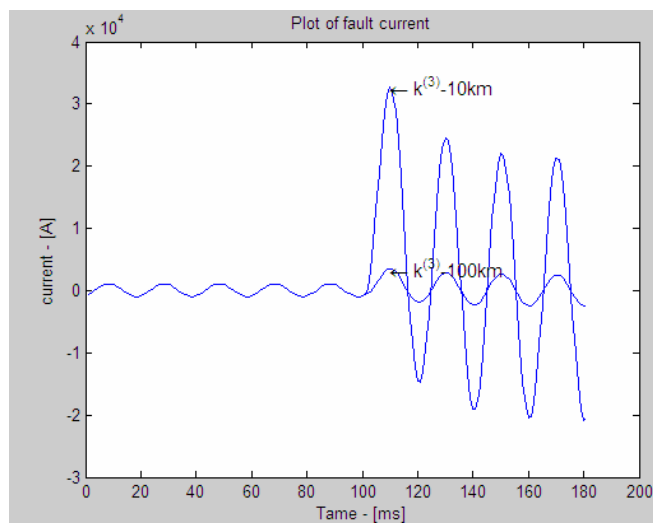
Фиг. 2

На фиг. 3 е показан тока при различни видове повреди:

1. Къси съединения (еднофазни, двуфазни и трифазни) на 10 km от мястото на монтиране на релейната защита фиг. 3а).

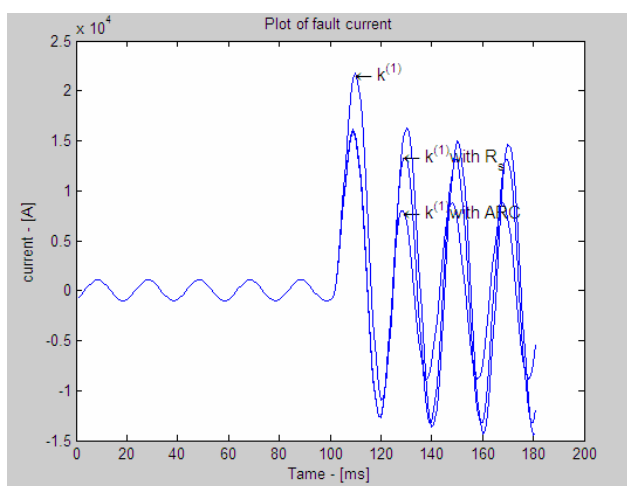


Фиг. 3а)

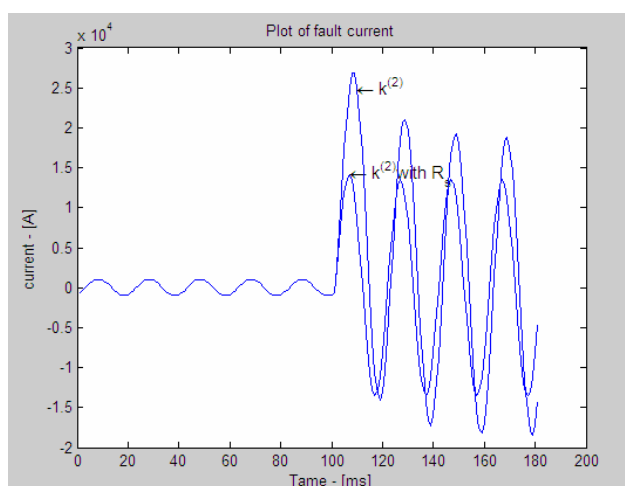


Фиг. 3б)

2. Трифазни къси съединения на различни разстояния по електропровода - фиг. 3б).
3. Еднофазни къси съединения през активно съпротивление от $2W$ и дъга от $3m$ - фиг. 3в).
4. Двухазно късо съединение през активно съпротивление от $2W$ - фиг. 3г).



Фиг. 3в)



Фиг. 3г)

Заклучение

1. За оценка на правилното функциониране на модела бе осъществена верификация на получените резултати. Верификацията се осъществи чрез непосредствени изчисления и чрез използване на програмата ETAP за пресмятане на токовете на к.с.
2. Представеният модел, отразяващ влиянията на различните фактори върху големината на токовете и напреженията, може да се използва успешно при

преподаването на поведението на основните типове защиты на електропроводи в дисциплината „Релейна защита” и при разглеждането на процесите на к.с. в дисциплината „Къси съединения”

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Малчев, К. Токове на късо съединение в електрически системи, Авангард Прима. С. 2008
- [2] Zigler, G. Numerical Distance Protection, Publicis Corporate Publishing-2005.
Шнеерсон Э. Цифровая релейная защиты, Энергоатомиздат М. 2007
- [3] Черных, И. Моделирование электрических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink.
- [5] Kezunovic, M. Teaching the Smart Grid Fundamentals Using Modeling, Simulation, and Hands-on Laboratory Experiments, IEEE PES General Meeting, Minneapolis, USA, July 2010
- [6] Kezunovic, M., A. Abur, G. Huang, A. Bose, K. Tomsovic, "The Role of Digital Modeling and Simulation in Power Engineering Education," IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 19, No.1, pp 64-72, February 2004.
- [7] Kezunovic, M., et al, "IEEE Guide for Determining Fault Location on the Transmission and Distribution Lines," IEEE C37.144-2004.
- [8] Alternative Transients Program (ATP) Rule Book, Canadian/American EMTP User Group, 1987-99. Available: <http://www.emtp.org/>

Автор: Константин Малчев, доцент в кат. „Електроенергетика”

ФУНКЦИОНАЛЕН МОДЕЛ НА ПУСКОВ ОРГАН ПО НАПРЕЖЕНИЕ И ТОК ЗА ЦИФРОВА ДИСТАНЦИОННА РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА

Константин Малчев

Резюме. Основните пускови органи (детектори) използвани от дистанционни защиты са токови, с комбинирано пускане по напрежение и ток и дистанционни. В зависимост от защитавания обект и неговите особености се използва един от тях и по-рядко тяхна комбинация. В статията е разработен модел на комбиниран по напрежение и ток пусков орган, като са използвани програмните пакети Matlab, Simulink и SimPowerSystems. Целта на модела е да се покажат граничните параметри определящи правилното функциониране на такъв пусков орган.

FUNCTIONAL MODEL OF VOLTAGE AND CURRENT DETECTORS FOR DIGITAL DISTANCE RELAY PROTECTION

Konstantin Malchev

Abstract. The basic detectors used from the distance protections are current detectors, voltage and current detectors and distance detectors. Depending on the protected object and its characteristics, one of the above detectors is used or in very rare situations – both of them. In this article is created a model with Matlab, Simulink and SimPowerSystems of a combined voltage and current detector. The aim of the model is to show the boundary parameters, which describe the right function of the detector.

1. Въведение

Пусковите органи в явен вид се използват от дистанционните защиты с един измерителен елемент. Основното предназначение на пускането на защитата е да се определят правилно повредените фази и вида на късото съединение [1], [2]. Освен тези функции, пусковият орган (ПО) може да изпълнява и редица допълнителни функции, като: превключване към измервателния елемент на необходимите входни величини, определяне момента на началото и края на к.с. (пускане на таймери и цифрови осцилоскопи), определяне на повредената фаза за пофазно АПВ и др. В защиты в които за всяка зона и вид на к.с. има отделна измерителен елемент не е необходимо поставянето на отделен пусков орган (дистанционните защиты използвани в САЩ). По тази причина в редица статии [3], [4] и др. се анализира и моделира поведението на дистанционните защиты, но не се моделират пускови органи.

Целта на статията е :

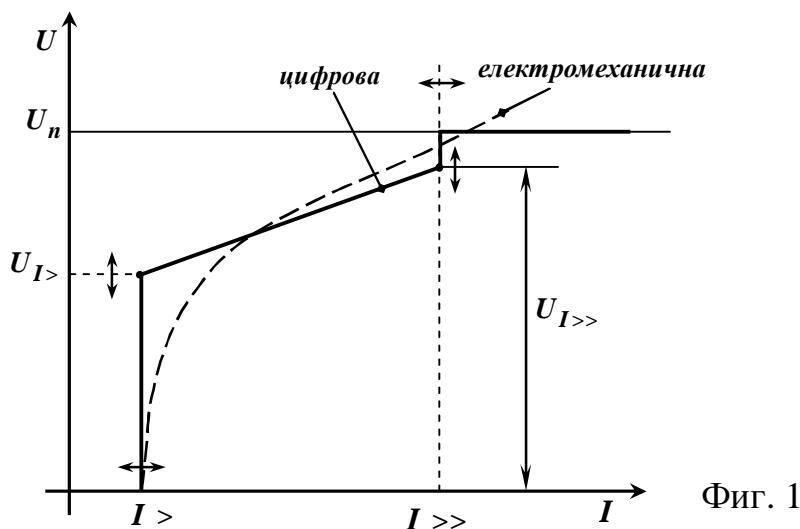
Да се моделира поведението на напреженово токово зависими ПО, като са използва програмните пакети Matlab, Simulink и SimPowerSystems [5].

Да се покаже зоната на приложение и предимствата му спрямо другите ПО (токови и дистанционни ПО).

2. Математически модел на цифров пусков орган по напрежение и ток за цифров дистанционен орган

Комбинираното пускане по напрежение и ток се използва когато чувствителността на най-простите пускови органи (токовите) не е достатъчна. Причина за малката чувствителност на токовите детектори може да бъде захранването от маломощни източници, натоварени линии, големи преходни съпротивления при к.с. или паралелни линии. Характеристиката на такъв ПО в координатна система $U(I)$ при $\cos(j_L) = const$ е показана на фиг. 1.

В електромеханичните заштити (тип - RD110) този ПО се нарича фазово зависимо импедансно пусково реле, чието функциониране се описва с теорията на двувходните амплитудни компаратори. За целта се формират две величини: едната - работна, която представлява ток компаундиран с напрежение и втората – спираща - формирана от напрежението.



При цифровите заштити не се формират две величини, а се използват тока и напрежението от контура на повредата. Затова характеристиката показана на фиг.1 може да се разглежда като характеристика от няколко зони. Зоната с ток по-голям от $I >>$ представлява зона с голям ток на к.с., т.е. това е зоната на близките до защитата к.с. В този случай ПО заработва без закъснение. Втората зона е зоната между токове $I >$, $I >>$ и напрежения $U_{I>}$, $U_{I>>}$. Тази зона може да бъде зададена за постоянен фазов ъгъл или като посочна (фазовия ъгъл е в определен диапазон). В зоната 0 , $I >$, 0 , $U_{I>}$ ПО не заработва.

Определяне настройките на зоните на детектора

Зона зависеща само от тока

В пусковите органи на дистанционните цифрови защиты е предвидено при значителна стойност на тока, детекторът да работи, като детектор по ток. В този случай се избира настройка по ток да отговаря на следното условие:

$$1. (I \gg) \approx 2,5I_n; U(I \gg) \approx 100\%U_n$$

Комбиниран пуск по ток и напрежение

При комбинираният пуск е необходимо да се изберат стойностите на ток и напрежението при които този детектор трябва да заработи. Така измерваните от защитата ток и напрежение трябва да бъде в диапазона

$(I >) \approx 0,5I_n; (I \gg) \approx 2,5I_n$ и $U_{I>} \approx 70\%U_n; U_{I\gg} \approx 100\%U_n$. Вижда се, че такъв детектор може да се разглежда, като амплитуден компаратор удовлетворяващ уравненията:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{E}{E_s + E_I} \\ A_2 &= E - E_s I \end{aligned} \quad (1)$$

Където E_s, E_I са съответно съпротивленията на захранващия източник и линията, а E е е.д.н. на захранването.

Отношението на тези две величини трябва да бъде в следния диапазон:

$$\frac{U >}{I >} \approx \left| \frac{A_2}{A_1} \right| > \frac{U \gg}{I \gg} \quad (2)$$

Комбиниран пуск по ток, напрежение и ъгъл

При електропроводите фазовите ъгли при к.с. и нормален режим значително се различават. Така например в нормален режим ъглите могат да се намират в диапазон $j < 30^\circ$, а при к.с. $j > 60^\circ$. Така фазовия ъгъл може да се използва като допълнителен критерии при комбинирания пуск. Така с използване на този критерии се повишава чувствителността на комбинирания пуск $\{I_j >, U(I_j >)\}$.

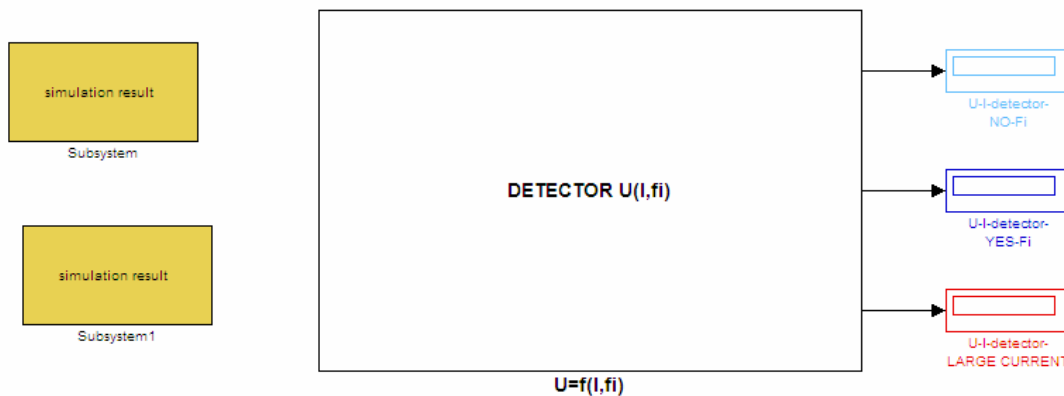
При този случай комбинирания пусков орган може да се разглежда, като двувходен фазен компаратор удовлетворяващ условието:

$$j_1 \approx \arg \frac{e^{j\phi_2} \frac{A_2}{A_1}}{e^{j\phi_1}} > j_2 \quad (3)$$

Където j_1, j_2 са фазовите ъгли определени от параметрите на товара и електропровода.

3. Модел за изследване на поведението на цифровия пусков орган по напрежение и ток при различни повреди

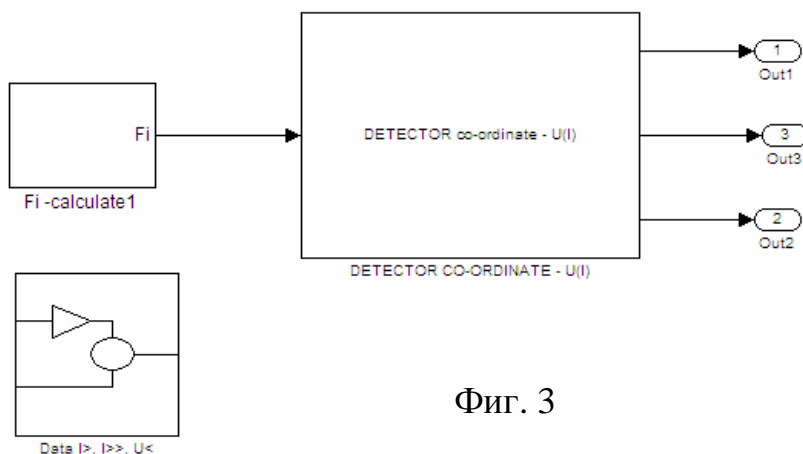
На фиг. 2. е показан разработения модел за изследване поведението на пусков орган по напрежение и ток с фазозависими и с фазово независими характеристики. Заработването на всеки от детекторите се индицира на дисплей, а симулацията на процеса става с блоковете Subsystem и Subsystem1.



Фиг. 2

Вътрешната структура на комбинирания пусков детектор е показана на фиг. 3. Той е изграден от следните основни модули:

1. Блока за определяне на текущата фазова разлика между тока и напрежението (F_i -calculate)



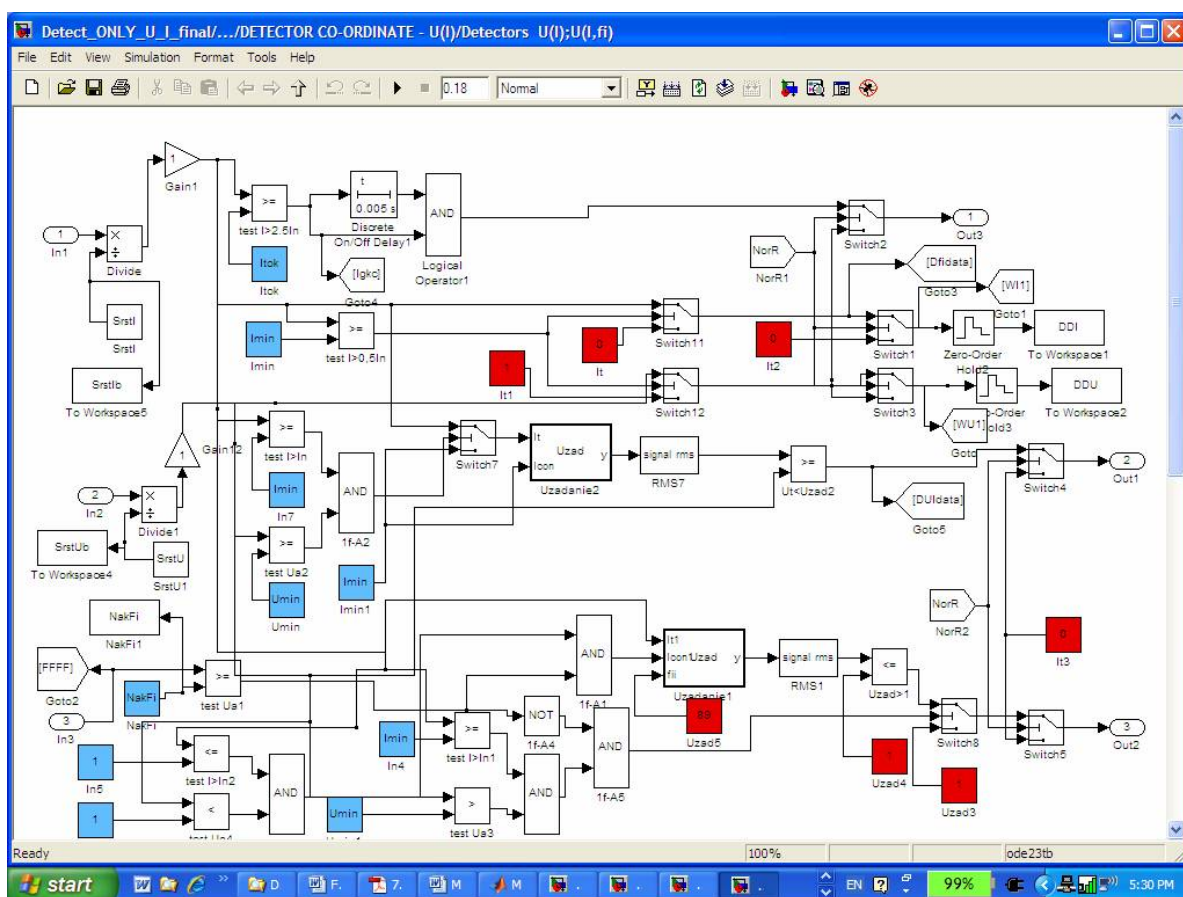
Фиг. 3

2. Комбинирания пусков детектор в координатна система (U, I) – (DETECTOR co-ordinate - $U(I)$).
3. Блок за данни – с този блок става прехвърляне в работното пространство на величините– $I <$; $I <<$; $U <$.

Тези основни блокове изграждат една разклонена структура от отделни модули, с които се определя режима на повредата (к.с.) в зоните показана на

фиг. 1. Структурата на ПО по напрежение и ток с фазозависими $U(I,fi)$ и с фазово независими $U(I)$ характеристики е показана на фиг. 4. В този модул са реализирани следните блокове - (*Detectors* $U(I);U(I,fi)$).

- Блок при който заработва детектор по ток, надвишаващ настройката $I \gg \text{Out3}(1)$ (задава се номиналния работен ток - I_n).
- Втори и трети блок зареждат масиви с данни за тока (DDI) и напрежението (DDU) при к.с. след достигане на ток по-голям от $0,5I_n$.
- С третия блок е реализиран детектор $U(I)$ $\text{Out1}(2)$.
- С четвъртия блок е реализиран детектор $U(I,fi)$ $\text{Out2}(3)$.
- Данни за моментните стойности на заработилите детектори са – детектор $I \gg$ масиви (I_{fkc} , U_{fkc}); детектор $U(I)$ масиви (YI , YU); детектор $U(I,fi)$ масиви (WI , WU).



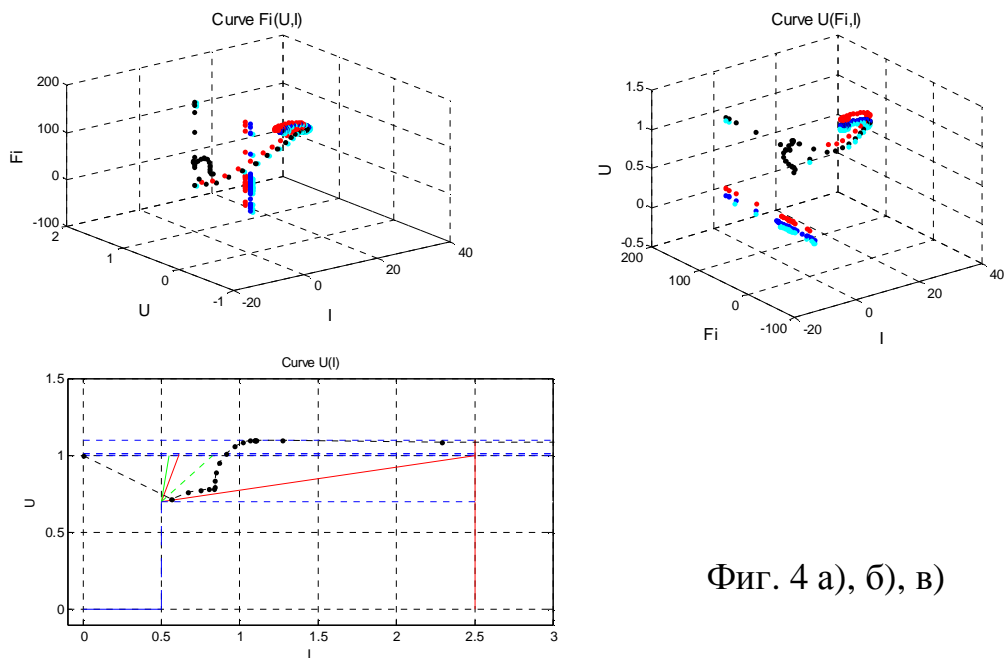
Фиг. 4

4. Изобразяване на комбинирания пусков органи и траекторията на процеса при късо съединение

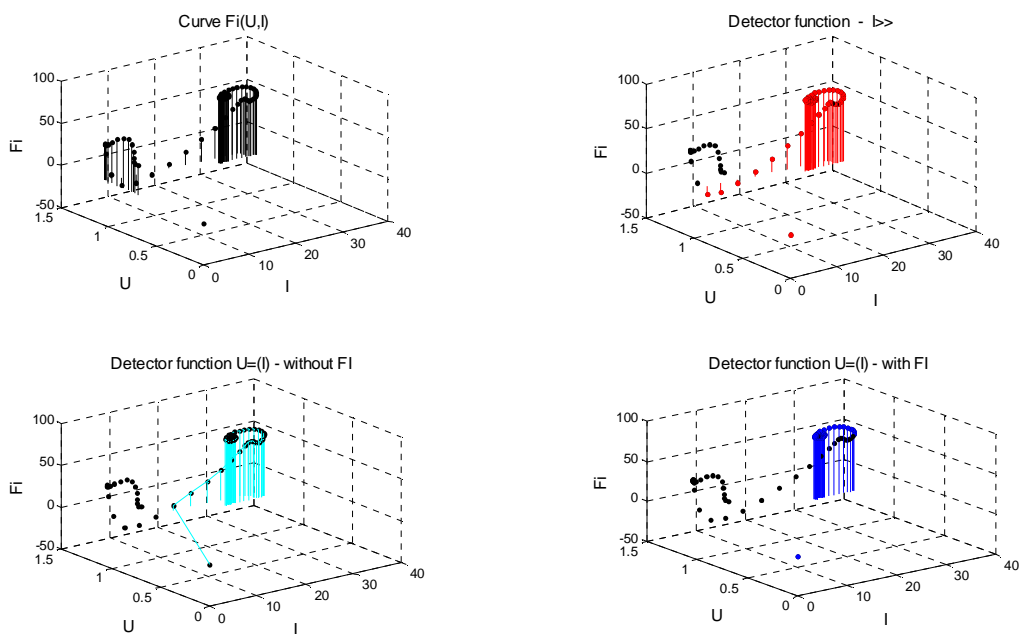
Всички параметри на тока и напрежението при късото съединение се привеждат към нормалния предавариен режим при изчертаване на графиките.

За представяне на заработването на двата типа детектори е предвидено освен характеристиката в двумерна декартова координатна система $U(I)$ и в

тримерна декартова координатна система $U(I,\varphi)$. На следващите фигури фиг. 4 а),б),в) и фиг. 5 а), б), в), г) е дадено поведението на системата и работата на детекторите в различните координатни системи.



Фиг. 4 а), б), в)



Фиг. 5а), б), в),

В тримерната координатна система с различни цветове са показани състоянията в които даден детектор е заработил – с червен – токов $I \gg$; със син – комбиниран детектор с отчитане на фазовата разлика и със светло син - комбиниран детектор без отчитане на фазовата разлика

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zigler, G. Numerical Distance Protection, Publicis Corporate Publishing-2005.
- [2] Шнеерсон, Э. Цифровая релейная защиты, Энергоатомиздат М. 2007
- [3] Li-Cheng, Wu, Chih-Wen Liu, Senior Modeling and Testing of a Digital Distance Relay Using MATLAB/SIMULINK.
- [4] Kezunovic, M. User Friendly, Open System Software for Teaching Protective Relaying Application and Design Concepts, IEEE Transactions on Power Systems Vol. 18, No. 3, pp 986 - 992, August 2003.
- [5] Черных, И. Моделирование электрических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink.

Автор: Константин Малчев, доцент в кат. „Электроэнергетика”

МОДЕЛИРАНЕ НА ЦИФРОВ ДИСТАНЦИОНЕН ОРГАН И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗАРАБОТВАНЕ

Константин Малчев

Резюме. Поведението на дистанционните органи (детектори) е изследвано в редица статии. Целта на статията е да се извърши моделиране и да се изследва поведението на дистанционната защита вследствие влиянието на редица фактори, като вид на повредата, режим на работа на електрическата система и др. Да се покаже това влияние върху избора на формата на характеристиката на заработване.

MODELLING THE DIGITAL DISTANCE DETECTORS AND THEIR WORKING CHARACTERISTICS

Konstantin Malchev

Abstract. The behaviour of the distance detectors has been investigated in a number of articles. The aim of this article is to model and research the behaviour of the distance protection, taking in account the influence of many factors over it like the type of the fault, the electrical system regime, etc. The influence over the choice of the form of the work characteristic is also shown.

1. Въведение

Моделиране на функционирането на различни типове релейни защиты е обект на редица статии. Едни от първите модели на дистанционни цифрови релейни защиты се извършват, като се използва MODELS от ЕМТР [2], [3] и др. В [4] процесите в електрическата система се симулират чрез ATP [5], а защитното реле е моделирано в MATLAB [6]. Взаимодействието между двете системи е изпълнено в затворен кръг, включващ “интерактивен буфер” за връзка. MATLAB заедно със SIMULINK се използва за разработване на библиотека модели на релейни защиты [6]. В [7], [8], [10] се предлага да се използват модели описващи основните принципи на работа на релейни защиты и други устройства от електро-енергетиката в преподаването и при обучението на студентите.

Моделирането на дистанционни защиты с използването на MATLAB/SIMULINK е направено в [9], като авторите са се задоволили да покажат поведението на защиты само с МНО характеристика. Целта на настоящата статия е да се използва най-разпространеният алгоритъм от цифровите дистанционни защиты [1] и [11] за определяне на импеданса при възникване на

к.с. и да се покаже поведението на защитите, притежаващи характеристики с различна форма.

2. Математически модел за определяне на импеданса от цифровия дистанционен органи

Определянето на реактанса и резистанса до мястото на повредата става като се използва диференциалното уравнение описващо веригата до късото съединение, т.е.:

$$u_L(t) = R_L i_L(t) + L_L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (1)$$

където u_L - напрежението подавано на веригата до к.с.

i_L - токът протичащ през веригата

R_L - резистанс на веригата

L_L - индуктивност на веригата

Ако това уравнение се представи със съответните вектори в честотната област, то добива следния вид:

$$\underline{\mathcal{E}}_L = R_L \underline{\mathcal{I}}_L + jX_L \underline{\mathcal{I}}_L \quad (2)$$

където $X_L = \omega_N \cdot L_L = 2\pi \cdot f_N \cdot L_L$ - реактанс на веригата

$\omega_N = 2\pi \cdot f_N$ - основна (номинална) ъглова честота

f_N - номинална честота (50Hz).

Пресмятането на реактанса и резистанса става само за основната честота. За да се отделят векторите на напрежението и тока на основната честота се използва преобразованието на Фурие с интервал на наблюдение равен на един период на основната честота (50Hz). Реалната и имагинернта съставка на тока и напрежението се определят с формулите:

$$Re\{\underline{\mathcal{I}}\} = \frac{1}{T_N} \int_{-\frac{T_N}{2}}^{+\frac{T_N}{2}} i(t) \cdot \cos(\omega_N \cdot t) \cdot dt \quad (3)$$

$$Im\{\underline{\mathcal{I}}\} = \frac{1}{T_N} \int_{-\frac{T_N}{2}}^{+\frac{T_N}{2}} i(t) \cdot \sin(\omega_N \cdot t) \cdot dt \quad (4)$$

където T_N - период на номиналната честота (20ms).

Участващите в уравнение (2) векторни величини на тока и напрежението са следните:

$$\underline{\mathcal{I}} = Re(\underline{\mathcal{I}}) + j Im(\underline{\mathcal{I}}) \quad (5)$$

$$\mathcal{E} = \text{Re}(\mathcal{E}) + j \text{Im}(\mathcal{E}) \quad (6)$$

Уравнение (2) за реалната и имагинерната съставяща има следния вид:

$$\text{Re}\{\mathcal{E}_L\} + j \text{Im}\{\mathcal{E}_L\} = \hat{e}R_L + jX_L \cdot \hat{e} \text{Re}\{\mathcal{I}_L\} + j \text{Im}\{\mathcal{I}_L\} \quad (7)$$

Намирането на реалната и имагинерната част може да стане по отделно. Векторите за тока и напрежението се определят с изразите:

$$\mathcal{E}_L = U_L \cdot e^{j(\omega t + j_U)} = U_L \cdot \hat{e} \cos(\omega t + j_U) + j \sin(\omega t + j_U) \quad (8)$$

$$\mathcal{I}_L = I_L \cdot e^{j(\omega t + j_I)} = I_L \cdot \hat{e} \cos(\omega t + j_I) + j \sin(\omega t + j_I) \quad (9)$$

След не сложни преобразувания за резистанса и реактанса се получават следните изрази:

$$X_L = \frac{U_L \cdot \sin(j_U - j_I)}{I_L} \quad (10)$$

$$R_L = \frac{U_L \cdot \cos(j_U - j_I)}{I_L} \quad (11)$$

За да се получат коректни стойности за резистанса и реактанса е необходимо да се подадат правилните величини на напрежението и тока.

При трифазно к.с. ($k^{(3)}$), което е симетрична повреда, могат да се използват фазните напрежения и токове или междуфазните напрежения и токове.

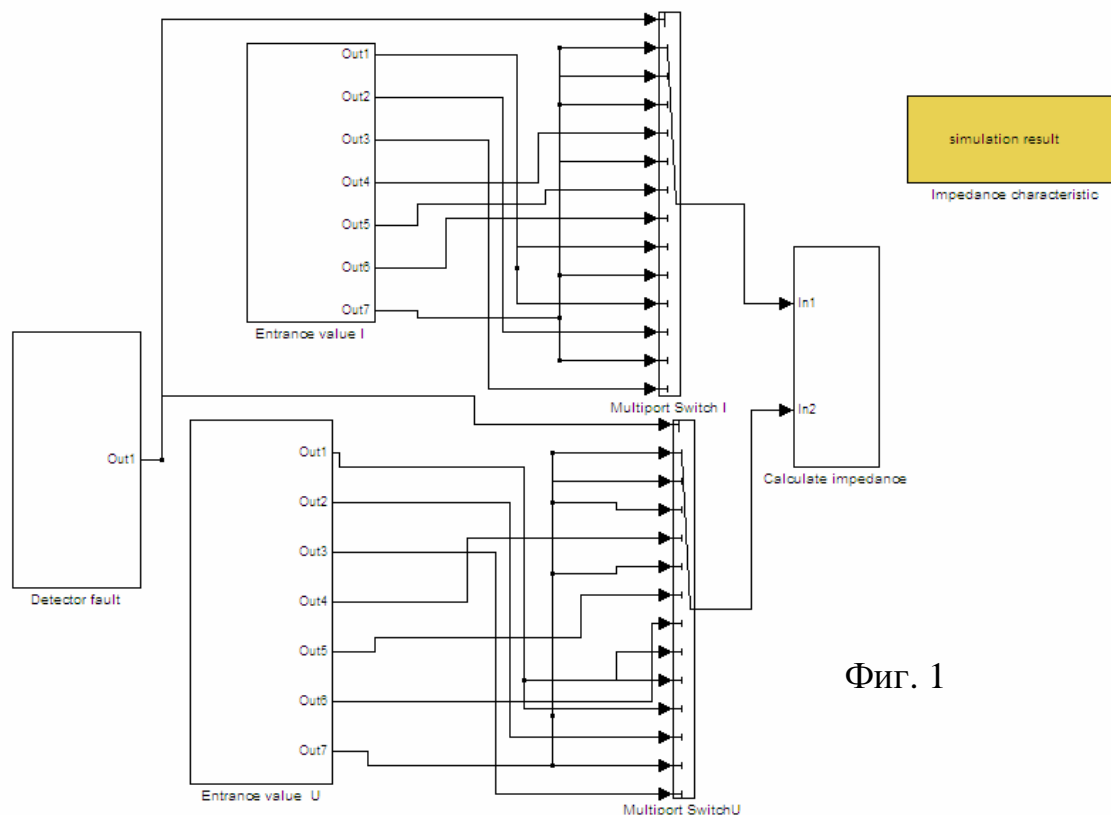
За двуфазно к.с. ($k^{(2)}$) трябва да се използват междуфазните напрежения и токове.

За еднофазно к.с. ($k^{(1)}$) трябва да се използват фазните напрежения и токове.

3. Модел за изследване на поведението на цифровия дистанционен органи при различни повреди и различни характеристики

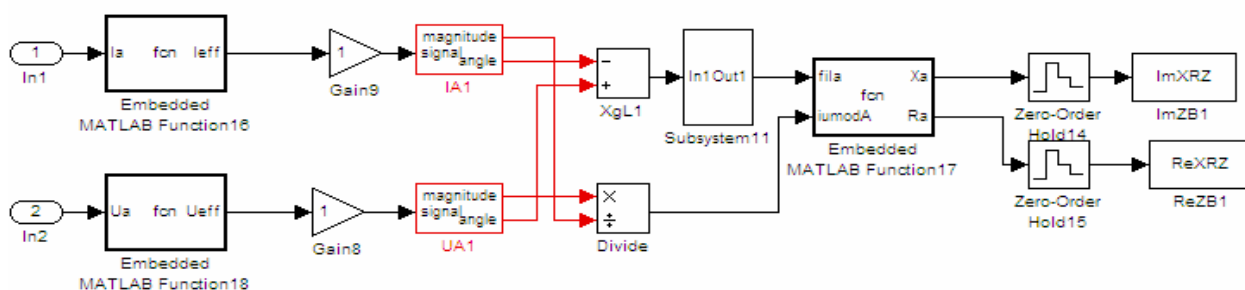
Моделът за изследване на поведението на цифровия дистанционен органи при различни повреди и различни характеристики е показан на фиг. 1. Той е съставен от следните модули:

1. Модул за определяне на повредата (к.с.). - Detector fault
2. Модули за входните величини (ток и напрежение) - Entrance value I,U
3. Мултиплексори - Multiport Switch I и Multiport Switch U
4. Модул за определяне на импеданса - Calculate impedance
5. Модул за вида на характеристиката - Impedance characteristic



Фиг. 1

Вътрешната структура на модула за определяне на резистанса и реактанса е показана на фиг. 2.



Фиг. 2

4. Характеристики на цифровия дистанционен органи

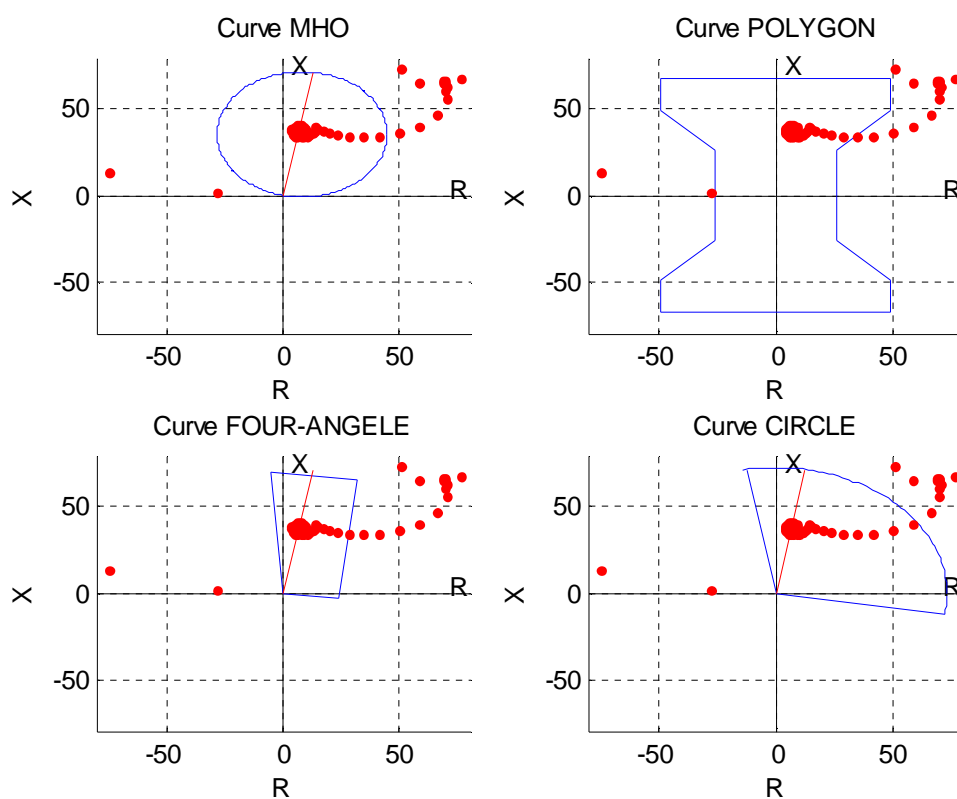
Характеристиките за цифровите дистанционен органи имат различна форма, но най-голямо приложение са намерили кръговите, четириъгълните и полигонните характеристики фиг. 3. Правата на която лежат импедансите на електропровода (Line impedance) в зависимост от дължината е показана на фиг. 4. Поради редица фактори (смущения), като преходни съпротивления при к.с., дъга, режим на работа на електропровода (голям товар, голяма дължина, паралелни електропровода и др.) е необходимо зоната на заработване на дистанционните защиты да не е само една малка зона около линията на импедансите (Line impedance). Тя трябва значително да се разшири. В [12] са

определени точки от импедансната равнина, които трябва да се обхващат от характеристиката и причините за това разширение.

- Разширение вляво от линията на импедансите (по оста R) – за да се включат к.с. през дъга или преходни съпротивления. По същата причина характеристиката трябва да обхваща и началото на координатната система (т.е. к.с. близо до релейната защита).

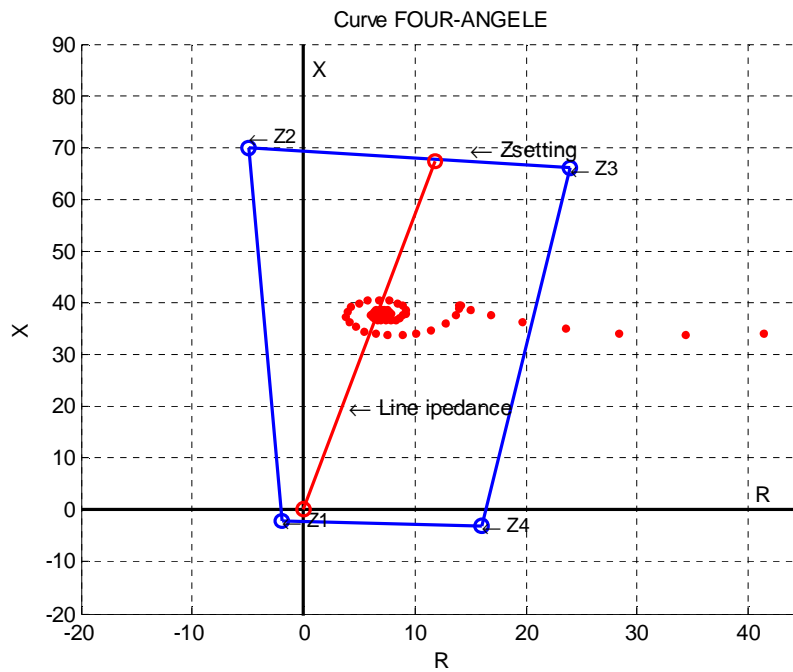
- Областта в 4-ти квадрант се ограничава за да се намали влиянието на грешките на дистанционния орган, които възникват в статичен и динамичен режим.

- Областта на товарите не трябва да влиза в характеристиката на заработване. Това условие най-добре се изпълнява от полигонната характеристика.

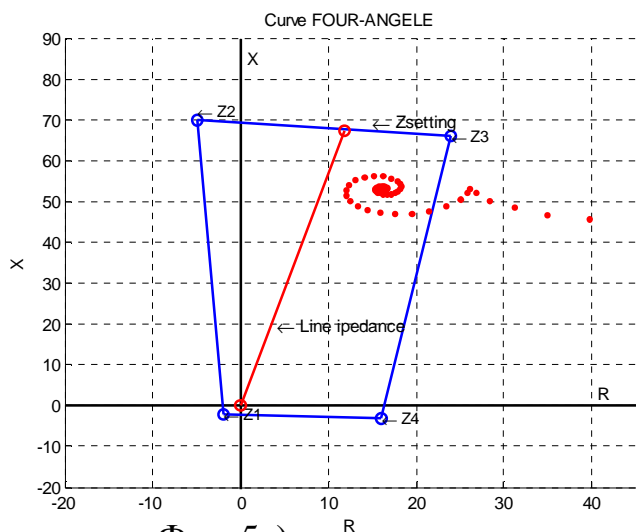


Фиг. 3

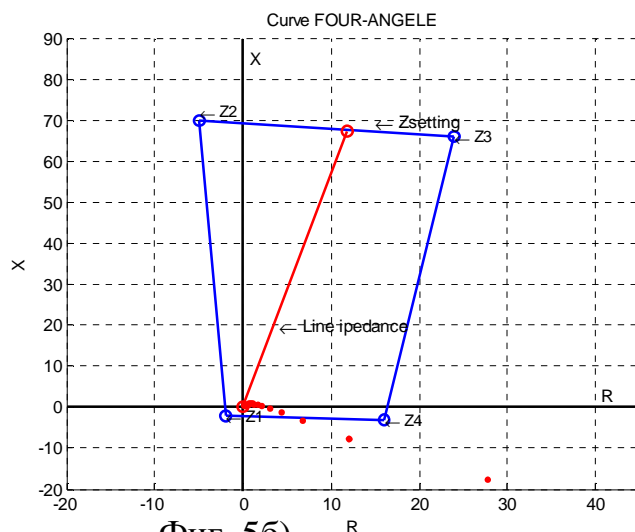
На фиг. 4 и фиг. 5 са показани положението на импеданса при повреда и четириъгълна характеристиката на дистанционната защита. Изчисленията на импеданса стават през 0,001s. Фиг.4 показва изчислената стойност на импеданса при метално трифазно к.с. Вижда се, че измерваните стойности след по-малко от 30ms съвпадат с линията на импедансите (Line impedance). На фиг. 5а) е показан случай при наличие на преходно съпротивление от 7W. Според [1] стойност от 7W е максималната големина на преходното съпротивление за напрежение 110kV. Фиг. 5б) показва к.с. на 10m от мястото на монтиране на дистанционната защита. На фиг. 5в) и фиг. 5г) са показани съответно еднофазно к.с. при наличие на паралелни електропроводи и еднофазно к.с. при наличие на дъга.



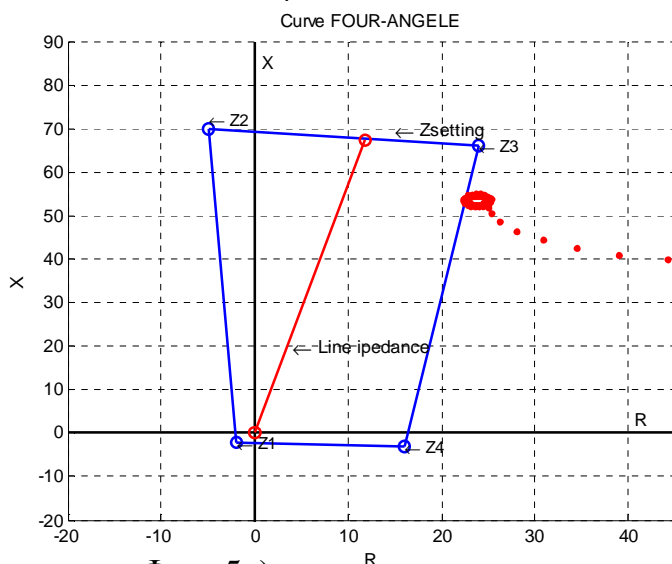
Фиг. 4



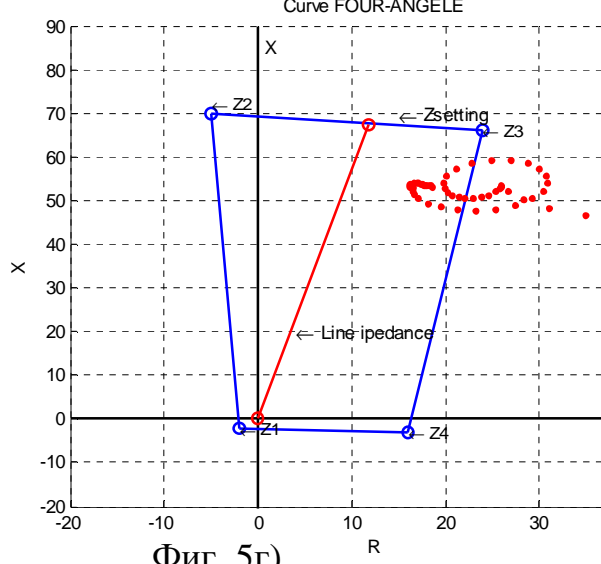
Фиг. 5а)



Фиг. 5б)



Фиг. 5в)



Фиг. 5г)

Заклучение

Представеният модел на дистанционен орган на дистанционна защита, отразява влиянието на различните фактори върху измервания импеданс. Изследвани са характеристики на дистанционен пусков орган с различна форма. Представеното моделиране може да се използва успешно в дисциплината „Релейна защита” при преподаване на функционирането на дистанционните защиты за електропроводи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zigler, G. Numerical Distance Protection, Publicis Corporate Publishing-2005.
- [2] Wilson, R.E., J.M. Nordstrom. EMTP Transient Modeling of a Distance Relay and a Comparison with EMTP Laboratory Testing, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 5, no. 3, pp. 984-990, Jul. 1993.
- [3] Heo1, J.Y., C.H. Kim, K.H. So, N.O.Park. Realization of Distance Relay Algorithm using EMTP MODELS, International Conference on Power Systems Transients – IPST 2003 in New Orleans, USA.
- [4] Luo, X., M. Kezunovic. "A Novel Digital Relay Model Based on SIMULINK and Its Validation Based on Expert System," *IEEE PES Asia-Pacific Transmission & Distribution Conference & Exposition*, China, August 2005.
- [5] Alternative Transients Program (ATP) Rule Book, Canadian/American EMTP User Group, 1987-99. Available: <http://www.emtp.org/>
- [6] The MathWorks, Inc., Power System Blockset User's Guide.
- [7] Kezunovic, M., B. Kasztenny, New Educational MATLAB software for Teaching Protective Relaying Courses, *Proceedings of the IV Simposio "Iberoamericano Sobre Proteccion de Sistemas Electricos de Potencia"*, pp.1-6, 1998, Monterey, Mexico.
- [8] Kezunovic, M. User Friendly, Open System Software for Teaching Protective Relaying Application and Design Concepts, IEEE Transactions on Power Systems Vol. 18, No. 3, pp 986 - 992, August 2003.
- [9] Li-Cheng Wu, Chih-Wen Liu. Senior Modeling and Testing of a Digital Distance Relay Using MATLAB/SIMULINK.
- [10] Черных, И. Моделирование электрических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink.
- [11] Шнеерсон, Э. Цифровая релейная защиты, Энергоатомиздат М. 2007.
- [12] Братен, Ж. Най-более целесообразные формы реле сопротивления, Современная защита (СИГРЭ,1968) Энергия М. 1970

Автор: Константин Малчев, доцент в кат. „Електроенергетика”

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБЕЗПЕЧЕНОСТТА И ПРОГНОЗИРАНЕ НА ВОДНИЯ ПРИТОК

Димитър Ваковски, Мария Кънева-Цочева, Димо Стоилов

Резюме. Статията предлага възможни методи за оценка на обезпечеността на месечните и годишните водни притоци. Въз основа на тази оценка се предлага подход за средносрочно (месечно) прогнозиране на притоците. Представени са резултати от приложението на описаната методика към тестови водохранилища, за които се разполага с достатъчно статистически данни. Предлаганите методи са реализирани в програмен пакет, използван от специалистите в ЦДУ на ЕСО ЕАД.

DETERMINATION OF THE WATER INFLOW SECURITY AND INFLOW FORECASTING

Dimiter Vakovsky, Maria Kaneva-Tzocheva, Dimo Stoilov

Abstract. The article describes possible methods for annual and monthly water inflow security estimation. Based on these, a procedure for middle term (monthly) water inflow forecasting is described. Test results of the methodology application are presented. The proposed methods are applied in a program package implemented by the Bulgarian power system operator – ESO-EAD.

1. Увод

Плановете за водопотреблението съчетават нуждите на водоползвателите с прогнозите за приточността във водосборните басейни на отделните язовири и водните каскади. Сумарния приток на вода във всеки язовир за всеки единичен интервал от времето е количествената мярка, която служи за статистика и прогноза на електропроизводството. Големината на този приток е случайна величина. Регистрацията на тези величини формира статистическите хидроложки редици за сумарния приток във всеки язовир.

Оптималното водопотребление от комплексните и значими язовири се ръководи от Министерството на околната среда и водите. ЦДУ на ЕСО ЕАД изпълнява ролята на координатор на оптималното водопотребление за всички значими язовири и важни изравнители, които са публична държавна собственост и се стопанисват от НЕК ЕАД, съответно от "Напоителни системи" ЕАД.

Случайният характер на стойностите от статистическите хидроложки редици дава ограничена представа за многогодишния приток, тъй като обхваща само периода с налична статистика. За оптималното планиране има значение

вероятността за сбъждане на определен приток за периоди с различна продължителност. За оценка на тази сбъдаемост въз основа на изчисления за емпиричната обезпеченост следва да бъде получена теоретичната (разширената) крива на обезпечеността.

Под обезпеченост на стойността Q_i на случайна величина Q (в случая приток) се разбира вероятността тази величина да се прояви със стойност не по-малка от стойността Q_i . В статията се предлагат методи за оценка на обезпечеността на месечните и годишните водни притоци както и подход за средносрочното им (месечно) прогнозиране. Представени са резултати за тестови водохранилища, за които се разполага с достатъчно статистически данни. Предлаганите методи са реализирани в програмен пакет, използван от специалистите в ЦДУ на ЕСО ЕАД.

2. Построяване на емпиричната крива на обезпечеността на притоците

Елементите на естествената хидроложка редица на притоците са подредени във времето последователно за всеки появяващ се единичен интервал, за който се отнасят. Когато елементите на хидроложката редица се подредят в низходящ ред се получава така наречената “вариационна” редица. Тя дава възможност за прилагане на апарата на честотния анализ, при който закономерността на случайните колебания на дадена величина се дава чрез кривата на разпределение на вероятностите и нейното интегрално изражение – кривата на обезпечеността [1, 2].

За тази вариационна редица на притоците се изчисляват емпиричните обезпечености по избрана измежду двете показани по-долу формули:

$$p_m \% = \frac{m}{n+1} 100 \quad \text{или} \quad (1)$$

$$p_m \% = \frac{m-0.3}{n+0.4} 100 \quad , \quad (2)$$

където m е поредният номер на члена във вариационната редица, а n е броят на членовете на редицата.

Възможно е да се построи графичното изображение на получената зависимост между стойностите на членовете на редицата, нанесени по ординатата (стойностите на притоците Q_i за $i=m$ - във вариационната редица този член е със съответен пореден номер m) и получените за тях съответни обезпечености, нанесени по абсцисата. Получената графична зависимост при свързването на получените точки в координатната система представлява емпиричната крива на обезпечеността.

Теоретичната крива на обезпеченост може да се разглежда като емпирична крива построена въз основа на вариационна редица с безкраен брой членове. Всяка една реална редица от наблюдения представлява частична извадка от теоретичната редица. **Получаването (построяването) на теоретичната крива на обезпечеността дава възможност за определяне на**

вероятните колебания на притока. За да бъде построена теоретичната крива на обезпечеността следва да се определят статистическите параметри на хидроложките редици на притоците.

3. Определяне на статистическите параметри на хидроложките редици на притока за съответните водохранилища

3а) Метод на моментите

Приложението му [1, 2, 3] не налага конкретно приемане на вида на разпределението на хидроложката величина (в случая на притоците). Определят се следните статистически параметри:

- средна (средноаритметична) стойност на редицата от притоци за всеки един статистически интервал (денонощие, седмица, десет дена, месец, година):

$$Q_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (3)$$

където Q_i са членовете на редицата, а n е броят им.

- средноквадратичното (стандартното) отклонение σ за редицата (при $n > 30$):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{cp})^2}{n}} \quad (4)$$

- коефициент на вариацията на редицата:

$$C_v = \frac{s}{Q_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{cp})^2}{n Q_{cp}^2}}, \quad (5)$$

Ако се въведе означението $K_i = \frac{Q_i}{Q_{cp}}$, наречено модулен коефициент, то

формула (5) придобива вида:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n}}. \quad (5')$$

Коефициентът на вариацията C_v характеризира колебанията на притока по време.

- коефициент на асиметрията:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{n C_v^3}, \quad (6)$$

Коефициентът на асиметрията C_s е параметър, показващ степента на асиметричност на разпределението на вариационната редица. Когато той е равен на 0 (нула) редицата е симетрична. Ако е по-малък от 0, асиметрията на вариационната редица е отрицателна, което значи, че преобладават членове с

отрицателни отклонения. Ако е по-голям от 0, асиметрията е положителна, което значи, че преобладават членове с положителни отклонения.

Тъй като при недостатъчна дължина на хидроложката редица (под сто члена) определянето на коефициента на асиметрия и в по-малка степен на коефициента на вариация по показаните формули е свързано със значителна грешка, то за по-точното им определяне може да се използва представения по-долу метод на опорните квантили.

3б) Метод на опорните квантили (ординати). Този метод се основава на предположението, че плътността на вероятностното разпределение на притоците следва трети тип разпределение по Пирсън [1, 3, 4]. По метода на опорните ординати статистическите параметри се изчисляват въз основа на три характерни ординати, определени по емпиричната крива на обезпечеността. За тази цел най-напред се изчисляват емпиричните обезпечености на членовете на редиците от наблюдения по формули (1) или (2), т.е. построява се емпирична крива на обезпеченост. От нея се избират три опорни ординати Q_{p1} , Q_{p2} и Q_{p3} , обикновено съответстващи на обезпечености 5%, 50% и 95%. По тези стойности (ординати) се изчислява коефициента на скосеност S чрез израза:

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} - Q_{95\%}} \quad (7)$$

Чрез определения коефициент на скосеност S по формули или от база с таблични данни относно разпределение на Пирсън III-ти тип, се определя коефициентът на асиметрия C_s . Останалите статистически параметри се изчисляват както следва:

- средноквадратичното отклонение:

$$\sigma = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}}, \quad (8)$$

- средната стойност на редицата:

$$Q_{cp} = Q_{50\%} - \sigma \Phi_{50\%}, \quad (9)$$

- коефициента на вариация:

$$C_v = \frac{S}{Q_{cp}}, \quad (10)$$

където $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$ и $\Phi_{95\%}$, са относителните ординатни отклонения на кривата на обезпечеността от средната стойност при $C_v = 1$ за определеното C_s . Те се определят по формули или от база с таблични данни относно разпределение на Пирсън III-ти тип.

4. Построяване на теоретичната крива на обезпеченост на притоците

Построяването на теоретичната крива на обезпеченост може да се извърши като се използват оценените по всеки от двата изложени подхода статистически параметри. Препоръчва се да се оценява степента на близост на получаваните теоретични криви с емпиричната и да се използва теоретичната

крива, която е по-близка до емпиричната за исторически изминалия период с налични статистически наблюдения.

Подходът за построяване на теоретичната крива на обезпеченост е следния [1, 2]. За определените стойности на коефициента на вариация C_v и коефициента на асиметрия C_s по съответни формули или от база с таблични данни при прието три параметрично гама разпределение за различни обезпечености p % (p % = 0.1 ÷ 99.9) се определя модулния коефициент K_p (p %, C_v , C_s). Теоретичната стойност на величината Q_p на притока за съответна стойност на обезпечеността p % се получава чрез израза:

$$Q_p = K_p Q_{cp} \quad (11)$$

Получените стойности Q_p се нанасят за съответните обезпечености p % в една координатна система - при тяхното съединяване се получава теоретичната крива на обезпечеността.

5. Прогнозиране на притоците по месеци от годината при приета степен на обезпеченост p %

Обикновено за целите на вариантно планиране на водопотреблението се използват прогнози на месечните водни притоци във водохранилищата, които се получават при приета степен на обезпеченост на годишния приток съобразно вида на годината, както е показано в таблицата:

обезпеченост, %	25	50	75	85	95
Вид година	Влажна	нормална	умерено суха	Суха	много суха

Предлага се тези прогнози да се реализират чрез следния алгоритъм:

От теоретичната крива на обезпечеността на годишното водно количество, за съответна приета степен на обезпеченост p % (приетия вид година), се отчита стойността на годишното приточно водно количество $Q_{год}$. Определените средни месечни количества се изразяват в относителни единици (%) по отношение на средно годишното количество. Така се получават тегловни коефициенти b_i за разпределение на прогнозираното количество $Q_{год}$ по месеци. Тук $i = 1 ÷ 12$ е индекс на съответен месец.

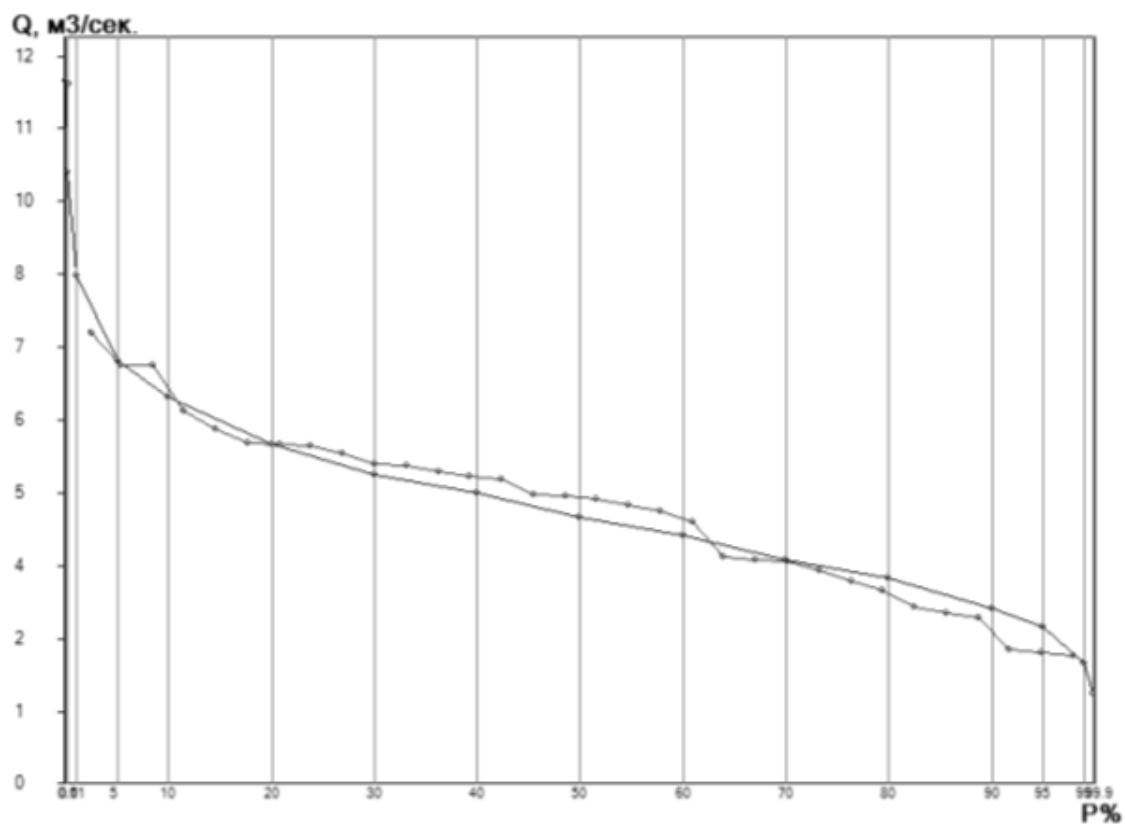
Прогнозираният месечен приток се получава по формулата:

$$Q_i = b_i Q_{год} \quad (12)$$

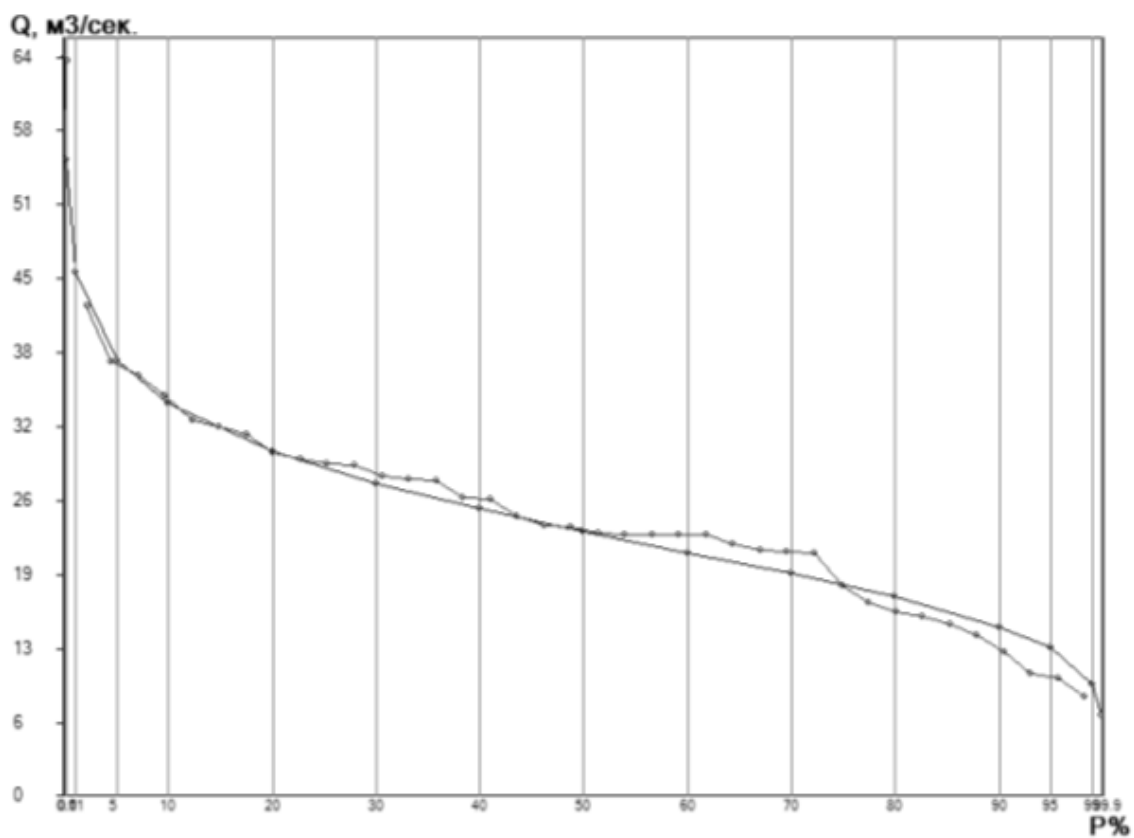
Получените прогнози може да се представят таблично или графично.

6. Илюстрация на приложение на представената методика

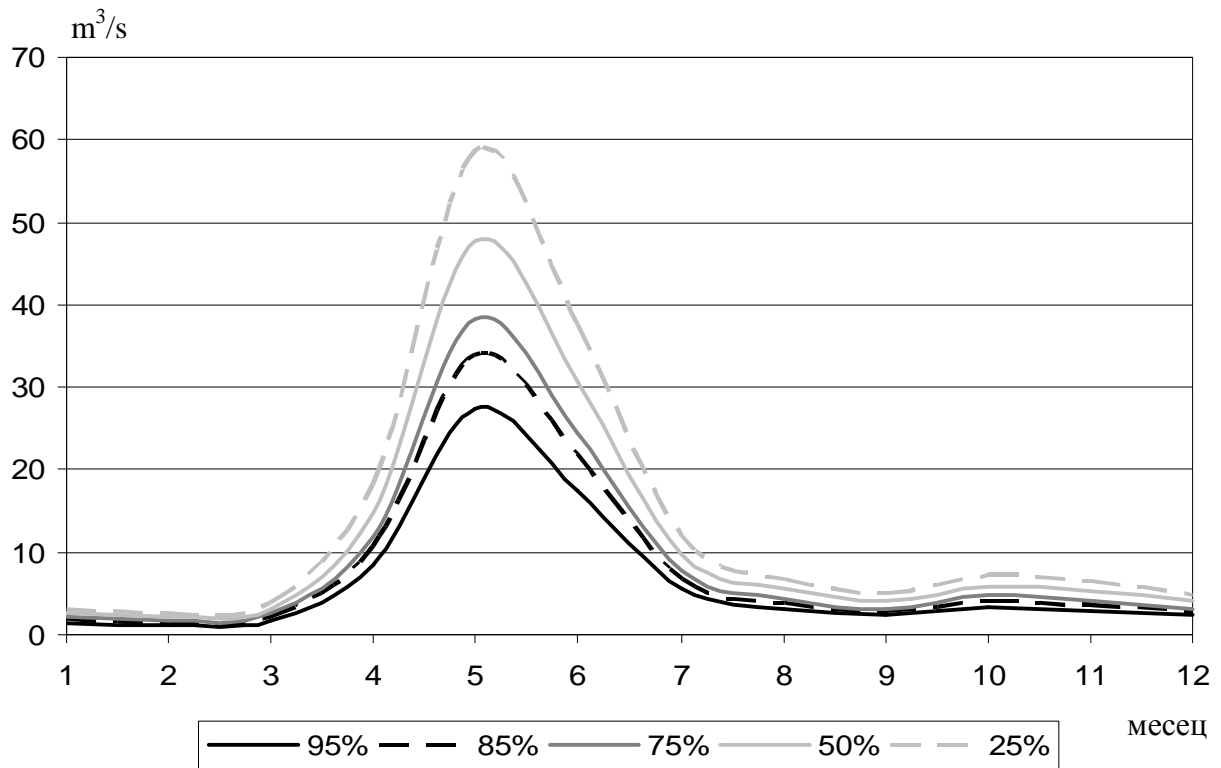
Резултатите от прилагането на описаната методология към две тестови водохранилища за които се разполага с достатъчно статистически данни са представени на фигурите по-долу:



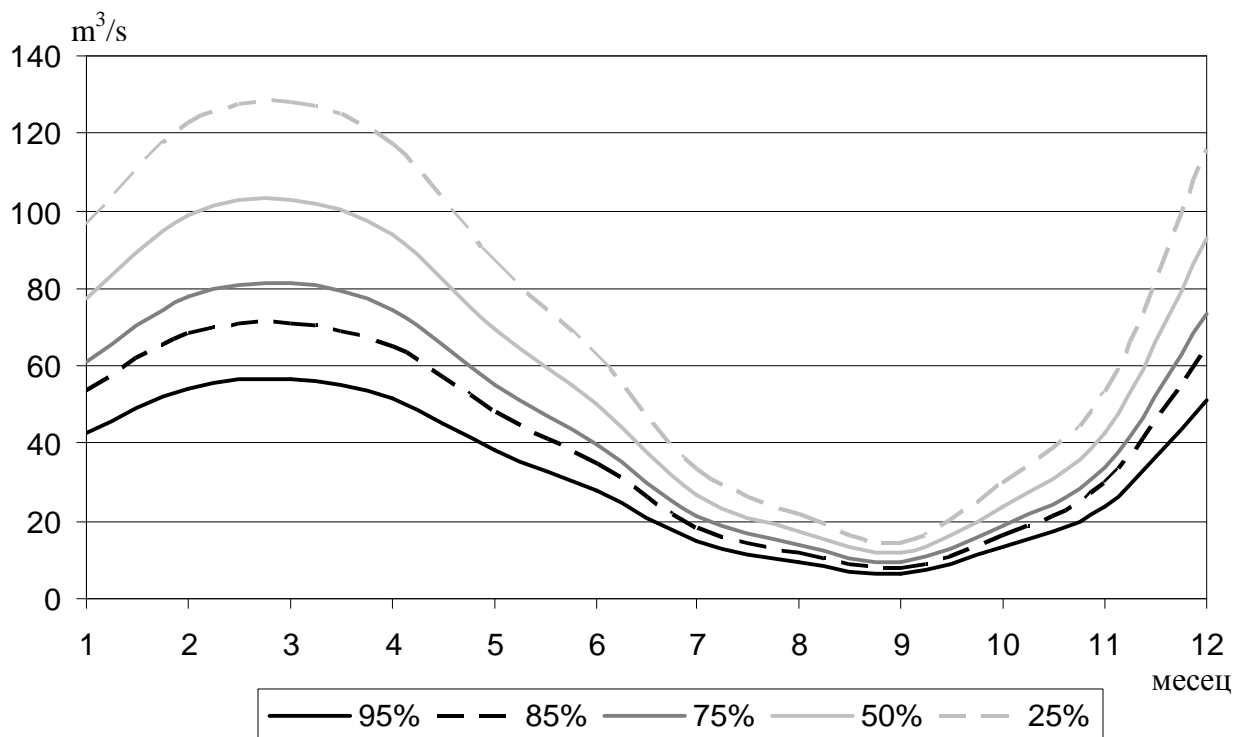
Фиг. 1. Емпирична (начупената) и теоретична (гладката) криви на обезпеченост на водохранилище 1



Фиг. 2. Емпирична (начупената) и теоретична (гладката) криви на обезпеченост на водохранилище 2



Фиг. 3. Прогнозни средномесечни стойности на притока при съответни приети стойности на обезпечеността в % за водохранилище 1



Фиг. 4. Прогнозни средномесечни стойности на притока при съответни приети стойности на обезпечеността в % за водохранилище 2

7. Заключение

Представени са възможни методи за оценка на безопасността на месечните и годишните водни притоци. Тази оценка е необходима за определяне на вероятните колебания на притока. Предложен е подход за прогнозиране при приета степен на безопасност на притоците. Получаваните прогнози служат за планиране на използването на водните ресурси и на графици за поддържане на нивата във водохранилищата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Маринов, И. Инженерна хидрология, Техника, София, 1984
- [2] Николов, Ж., И. Лалов. Хидроложки, хидравлични изследвания и руслови деформации при мостови преходи, Издателска база на ВТУ “Тодор Каблешков”, София, 2004
- [3] Snedecor, George W. and Cochran, William G., Statistical Methods, Eighth Edition, Iowa State University Press, 1989
- [4] NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, 2009

Автори: гл. ас. Димитър Ваковски – кат. “Математически анализ и числени методи”, ФПМИ; доц. д-р Мария Кънева-Цочева, доц. д-р Димо Стоилов – кат. Електроенергетика

АНАЛИЗ НА ОСНОВНИТЕ МОДЕЛИ НА ПАЗАРА НА БАЛАНСИРАЩА ЕНЕРГИЯ

Мария Кънева-Цочева, Здравко Попов

Резюме. В доклада е направено сравнение на осем различни модела на пазара за балансираща енергия, като са използвани за сравнение десет различни сценария за състоянието на електроенергийната система. Актуалността на това изследване е тясно свързана с перспективата за изграждане на възобновяеми източници на електроенергия с непостоянна мощност.

ANALYSIS OF BASIC MODELS OF THE BALANCING MARKET FOR ELECTRICITY

Maria Kaneva-Tzotcheva, Zdravko Popov

Abstract. The current paper offers comparison of eight different models of the balancing market for electricity by ten different scenarios for the Power System. The actuality of this work is related to perspective commissioning of intermittent renewable sources.

1. Въведение

Поддръжката на баланс между търсенето и предлагането на електрическа енергия в реално време, се превръща във все по-трудна задача за системни оператори (СО) в Европа. Това се дължи главно на нарастващия дял на енергийните източници с непостоянна мощност, от които най-значими са вятърните генератори. Очевидно е, че изпълняваните в момента политики за подкрепа на ВЕИ с цел постигане целите на ЕС ще представляват значителни разходи за държавите-членки. Въпреки това други фактори, освен пряката подкрепа оказват влияние върху развитието на възобновяеми енергийни източници в Европа. Поставянето на ненужно високи цени за балансиране на енергията произведена от вятър би могло да попречи на развитието на този вид енергия в Европа. Затова СО-и следва да организират възможно най-ефективно балансиране. За да се постигне това, балансирането трябва да се извършва прозрачно в добре функциониращ пазар, за предпочитане с контролни зони, което ще е началото на създаване на единен вътрешен пазар на електроенергия в Европа. Въпреки това, практическите мерки за балансиране се различават в цяла Европа и не винаги са прозрачни, затова увеличаване на ползите от координация може да бъде постигнато само чрез взаимстване на най-добрите практики на европейско равнище. Специфичната терминология, използвана за

наименование на видовете резерви се различава значително в различните страни. Резервите нито са определени, нито третирани еднакво в различните страни. Освен това различия има и в техническите особености на начина, по който се осигурява и управлява резерва в отделните енергийни системи [1].

2. Същинска част

ENTSO-E определя процеса на балансиране като "управление на процеси и услуги, свързани с регулирането на електроенергийната система, което трябва да гарантира качеството и сигурността на доставките, по-специално активна мощност (MW) и баланс на честотата". На практика има чувствителна разлика в използваната терминология и начина, по който балансиращите услуги са организирани в цяла Европа.

Най-общо БП се състои от два важни елемента:

А. Балансиращ механизъм, определящ характеристиките на БП, т.е. начина на деклариране на заявките за участие, техническите ограничения и изисквания към пазарните участници, методите за заплащане на участниците в пазара, ограничения за работа на ЕЕС и дефиниране на принципите относно това кой, кога и как изготвя приоритетен списък на източниците на балансираща енергия;

Б. Организация за отчитане на небалансите и формиране на цените при използване на разходно-ориентирани методи и разбираеми /прозрачни/ цени за всички потребители. Тази организация е съвкупност от предварително определени правила, формули и регулаторни изисквания. Правилата и формулите определят рамката, според която СО изчислява цените на небалансите, както и периодите от време, когато това трябва да бъде извършено.

От юни 2009 г. в България е въведен нов механизъм за определяне определяне цената за енергиен недостиг [2].

Съществуват различни методи за определяне на цените на балансиращата енергия.

Според начина на заплащане на активните участници, предоставили енергия за балансиране:

заплащане по средно-претеглени цени; заплащане по последната приета (marginal)

цена; заплащане според конкретната цена (pay-as-bid); заплащане по фиксирана цена.

Според начина на определяне на цената на балансиращата енергия, заплащана от пасивните участници, които са били в небаланс за дадения период най-разпространени са моделите с една цена и с две цени. Съществуват и хибридни модели и различни разновидности.

Нормативната основа за организация и функциониране на пазара на електрическа енергия в България е заложена в Закона за енергетиката и в Правилата за търговия с електрическа енергия.

А. Модел с една цена: При този метод се изчислява само една цена. Заплащането от всички участници, които са били в небаланс се осъществява само по тази цена, но знакът на изчисляване на сумата е различен. Например, ако ЕЕС е била с общ недостиг за дадения период от време, тогава СО е използвал повече предложения и те определят цената. Участниците, които са били също с недостиг и по този начин са подпомагали общия недостиг в ЕЕС ще заплатят получената допълнителна енергия по единната цена на балансиращата енергия:

$$C_{КБГ-н} = DE_{нед} * P_{БЕ1}$$

където:

$C_{КБГ-н}$ - Заплащането (паричен поток) от участника с недостиг към СО

$DE_{изл}$ - Енергиен недостиг на участника, MWh

$P_{БЕ1}$ - Единна цена на балансиращата енергия

Нека в същия пример, където ЕЕС е била с общ недостиг за дадения период от време разгледаме участник, който е бил с излишък. Това означава, че неговият небаланс се е противопоставял на общата промяна на баланса в ЕЕС (той е помагал на ЕЕС). В този случай на него ще му бъде платено от СО количеството енергия на неговия излишък:

$$C_{КБГ-и} = - DE_{нед} * P_{БЕ1}$$

където:

$C_{КБГ-и}$ - Заплащането (паричен поток) на участника с излишък от СО

$DE_{изл}$ - Енергиен излишък на участника, MWh

$P_{БЕ1}$ - Единна цена на балансиращата енергия

Б. Модел с две цени: При този метод се изчисляват две отделни цени – една която се прилага към участниците с енергиен излишък и друга, за участниците с енергиен недостиг. Разплащането на балансиращата енергия между участниците и СО се извършва по следните формули:

$$C_{КБГ-н} = DE_{нед} * P_{БЕН}$$

$$C_{КБГ-и} = DE_{изл} * P_{БЕИ}$$

където:

$C_{КБГ-н}$ - Заплащането (паричен поток) от участник с недостиг към СО

$C_{КБГ-и}$ - Заплащането (паричен поток) от СО към участник с излишък

$DE_{нед}$ и $DE_{изл}$ - Енергиен недостиг и излишък на участника, MWh

$P_{БЕН}$ - Цена на балансиращата енергия за недостиг

$P_{БЕИ}$ - Цена на балансиращата енергия за излишък

Разгледаните модели са систематизирани в табл. 1. Моделите от Т1 до Т4 отчитат само третичното регулиране. А тези от V1 до V4 – и третично и вторично регулиране.

Таблица 1

	Брой цени	Остатък в СО	Формула за сетълмънт	Заплащане към и от участниците
T1	2	няма	$P_{\text{БЕН M2Zt}} = [\sum(E_{\text{ПРi}} * P_{\text{ПРi}})] / \Delta E_{\text{еес нед}} = [\sum(E_{\text{ПРi}} * P_{\text{ПРi}})] / \sum E_{\text{ПРi}}$ $P_{\text{БЕИ M2Zt}} = [\sum(E_{\text{3Ai}} * P_{\text{3Ai}})] / \Delta E_{\text{еес изл}} = [\sum(E_{\text{3Ai}} * P_{\text{3Ai}})] / \sum E_{\text{3Ai}}$	$CA_{\text{out2}} = \sum E_{\text{ПРi}} * P_{\text{ПРi}}$ $CA_{\text{out3}} = \sum E_{\text{излi}} * P_{\text{БЕИ M2Zt}}$
T2	2	има	$P_{\text{БЕН T2 S}} = [\sum(E_{\text{ПРi}} * P_{\text{ПРi}})] / \sum E_{\text{ПРi}}$ $P_{\text{БЕИ T2 S}} = P_{\text{рх}} (1 + K_{\text{санк s}}) \quad (\Delta E_{\text{еес}} < 0)$ $P_{\text{БЕН T2 L}} = P_{\text{рх}} (1 + K_{\text{санк l}})$ $P_{\text{БЕИ T2 L}} = [\sum(E_{\text{3Ai}} * P_{\text{3Ai}})] / \sum E_{\text{3Ai}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} > 0)$	$CA_{\text{in1}} + CA_{\text{in4}} > CA_{\text{out2}} + CA_{\text{out3}}$
T3	1	няма	$P_{\text{БЕН T3 S}} = P_{\text{БЕИ T3 S}} = P_{\text{ПР-м S}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} < 0)$ $P_{\text{БЕН T3 L}} = P_{\text{БЕИ T3 L}} = P_{\text{3A-м L}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} > 0)$	$CA_{\text{in1}} + CA_{\text{in4}} = CA_{\text{out2}} + CA_{\text{out3}}$
T4	1	има	$P_{\text{БЕН T4 S}} = P_{\text{ПР-м S}}$ $P_{\text{БЕИ T4 S}} = P_{\text{рх}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} < 0)$ $P_{\text{БЕН T4 L}} = 0$ $P_{\text{БЕИ T4 L}} = P_{\text{3A-м L}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} > 0)$	$CA_{\text{in1}} + CA_{\text{in4}} > CA_{\text{out2}} + CA_{\text{out3}}$
V1	2	няма	$P_{\text{БЕН V1}} = [\sum(E_{\text{ПРi}} * P_{\text{ПРi}}) + \sum(E_{\text{ВУi}} * P_{\text{ВУi}})] / \Delta E_{\text{еес нед}}$ $P_{\text{БЕИ V1}} = [\sum(E_{\text{3Ai}} * P_{\text{3Ai}}) + \sum(E_{\text{ВНi}} * P_{\text{ВНi}})] / \Delta E_{\text{еес изл}}$	$CA_{\text{in1}} + CA_{\text{in4}} + CA_{\text{in4}'} - CA_{\text{out2}} - CA_{\text{out2}'} - CA_{\text{out3}}$
V2	2	има	$P_{\text{БЕН V2 S}} = [\sum(E_{\text{ПРi}} * P_{\text{ПРi}}) + \sum(E_{\text{ВУi}} * P_{\text{ВУi}})] / \Delta E_{\text{еес нед}}$ $P_{\text{БЕИ V2 S}} = P_{\text{рх}} (1 + K_{\text{санк s}}) \quad (\Delta E_{\text{еес}} < 0)$ $P_{\text{БЕН V2 L}} = P_{\text{рх}} (1 + K_{\text{санк l}}) \quad (\Delta E_{\text{еес}} > 0)$ $P_{\text{БЕИ V2 L}} = [\sum(E_{\text{3Ai}} * P_{\text{3Ai}}) + \sum(E_{\text{ВНi}} * P_{\text{ВНi}})] / \Delta E_{\text{еес изл}}$	$CA_{\text{in1}} + CA_{\text{in4}} + CA_{\text{in4}'} > CA_{\text{out2}} + CA_{\text{out2}'} + CA_{\text{out3}}$
V3	1	няма	$P_{\text{БЕН V3 S}} = P_{\text{БЕИ V3 S}} = P_{\text{ПР\&ВУ-м S}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} < 0)$ $P_{\text{БЕН V3 L}} = P_{\text{БЕИ V3 L}} = P_{\text{3A\&ВН-м L}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} > 0)$	$CA_{\text{in1}} + CA_{\text{in4}} + CA_{\text{in4}'} = CA_{\text{out2}} + CA_{\text{out2}'} + CA_{\text{out3}}$
V4	1	има	$P_{\text{БЕН V4 S}} = P_{\text{ПР\&ВУ-м S}}$ $P_{\text{БЕИ V4 S}} = P_{\text{рх}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} < 0)$ $P_{\text{БЕН V4 L}} = 0$ $P_{\text{БЕИ V4 L}} = P_{\text{3A\&ВН-м L}} \quad (\Delta E_{\text{еес}} > 0)$	$CA_{\text{in1}} + CA_{\text{in4}} + CA_{\text{in4}'} > CA_{\text{out2}} + CA_{\text{out2}'} + CA_{\text{out3}}$

Където:

$P_{\text{БЕИ M2Zt}}$ $P_{\text{БЕН M2Zt}}$ - Цена на балансиращата енергия при излишък /недостиг за модел T1

P_{3Ai} , $P_{\text{ПРi}}$ - Цена на заявка/ предложение от пазара за третично регулиране

$\Delta E_{\text{еес нед}} = \sum \sum \square E_{\text{ПРi}}$ - Регистриран недостиг в ЕЕС в рамките на периода = равен на общата енергия, доставена от активираните предложения

$\Delta E_{\text{еес изл}} = \sum E_{\text{3Ai}}$ - Регистриран излишък в ЕЕС в рамките на периода = равен на общата енергия, потребена от активираните заявки

$P_{\text{БЕИ T2 S}}$, $P_{\text{БЕН T2 S}}$ - Цена на балансиращата енергия при излишък /недостиг за модел T2,

когато ЕЕС е с общ недостиг;

$P_{\text{ПРi}}$ - Цена на предложение от пазара за третично регулиране;

- ΣE_{Pri} - Обща енергия, доставена от активираните предложения;
- P_{px} - спот-цена на електроенергийната борса за дадения период на сетълмент;
- $K_{\text{санк s}}$ - коефициент на санкция, когато ЕЕС е с общ недостиг
- $P_{\text{БЕН T3 S}}, P_{\text{БЕИ T3 S}}$ - Цена на балансиращата енергия за участниците с недостиг /излишък за модел T3, когато ЕЕС е с общ недостиг
- $P_{\text{ПР- m S}}$ - Цена на последното (най-скъпо) прието предложение, за период на сетълмент в който ЕЕС е с общ недостиг
- $P_{\text{БЕН T3 L}}, P_{\text{БЕИ T3 L}}$ - Цена на балансиращата енергия за участниците с недостиг /излишък за модел T3, когато ЕЕС е с общ излишък;
- $P_{\text{ЗА- m L}}$ - Цена на последната (най-евтина) приета заявка, за период на сетълмент в който ЕЕС е с общ излишък
- $P_{\text{БЕН T4 S}}, P_{\text{БЕИ T4 S}}$ - Цена на балансиращата енергия за участниците с недостиг /излишък недостиг за модел T4, когато ЕЕС е с общ недостиг
- $P_{\text{ПР- m S}}$ - Цена на последното (най-скъпо) прието предложение, за период на сетълмент в който ЕЕС е с общ недостиг
- P_{px} - спот-цена на електроенергийната борса за дадения период на сетълмент;
- $P_{\text{БЕН V3 S}}, P_{\text{БЕИ V3 S}}$ - Цена на балансиращата енергия за участниците с недостиг /излишък за модел V3, когато ЕЕС е с общ недостиг
- $P_{\text{ПР\&ВУ- m S}}$ - Средно претеглена стойност на най-високата цена измежду всички приети предложения от резерва за третично регулиране и от използваните източници за увеличение от резерва за вторично регулиране, за период на сетълмент в който ЕЕС е с общ недостиг, т.е:

$$P_{\text{ПР\&ВУ- m S}} = [(\Sigma(E_{\text{Pri}} * P_{\text{ПР- m S}}) + \Sigma(E_{\text{ВУi}} * P_{\text{ВУ- m S}}) - \Sigma(E_{\text{ЗАi}} * P_{\text{ЗА- m S}}) - \Sigma(E_{\text{ВНi}} * P_{\text{ВН- m S}}))] / \Delta E_{\text{еес нед}}$$

- $P_{\text{БЕН V3 L}}, P_{\text{БЕИ V3 L}}$ - Цена на балансиращата енергия за участниците с недостиг /излишък за модел V3, когато ЕЕС е с общ излишък;

- $P_{\text{ЗА\&ВН- m L}}$ - Средно претеглена стойност на най-ниската цена измежду всички приети заявки от резерва за третично регулиране и от използваните източници за намаление от резерва за вторично регулиране, за период на сетълмент в който ЕЕС е с общ излишък

$$P_{\text{ЗА\&ВН- m L}} = [\Sigma(E_{\text{Pri}} * P_{\text{ПР- m L}}) + \Sigma(E_{\text{ВУi}} * P_{\text{ВУ- m L}}) - \Sigma(E_{\text{ЗАi}} * P_{\text{ЗА- m L}}) - \Sigma(E_{\text{ВНi}} * P_{\text{ВН- m L}})] / \Delta E_{\text{еесизл}}$$

- $P_{\text{БЕН V4 S}}, P_{\text{БЕИ V4 S}}$ - Цена на балансиращата енергия за участниците с недостиг /излишък недостиг за модел M1Rt, когато ЕЕС е с общ недостиг

- $P_{\text{ПР\&ВУ- m S}}$ - най-високата цена измежду всички приети предложения от резерва за третично регулиране и от използваните източници за увеличение от резерва за вторично регулиране, за период на сетълмент в който ЕЕС е с общ недостиг

- P_{px} - спот-цена на електроенергийната борса за дадения период на сетълмент;

- $P_{\text{БЕН V4 L}}, P_{\text{БЕИ V4 L}}$ - цена на балансиращата енергия за участниците с недостиг /излишък за модел M1Zt, когато ЕЕС е с общ излишък;

$P_{3A\&BH-mL}$ - Най-ниската цена измежду всички приети заявки от резерва за третично регулиране и от използваните източници за намаление от резерва за вторично регулиране, за период на сетълмент в който ЕЕС е с общ излишък.
 CA_{in1} – заплащане от КБГ, които са имали енергийни недостиги
 CA_{in4} – заплащане от участниците, чиито заявки са активирани
 CA_{out2} – заплащане към участниците, чиито предложения са активирани
 CA_{out3} – заплащане към КБГ, които са имали енергийни излишъци

За изследване на различните модели на балансиращ пазар са направени изследвания по 10 различни сценария за състоянието на ЕЕС. Сценариите са обобщени в Таблица 2.

Таблица 2

сценарии	ЕЕС в общ излишък от [MWh]	Недостиг на Балансираща Група от [MWh]	Излишък на Балансираща Група от [MWh]	Увеличение на произведената енергия от вторично регулиране [MWh]	Намаление на произведената енергия от вторично регулиране [MWh]	Увеличение на произведената енергия от третично регулиране [MWh]	Намаление на произведената енергия от третично регулиране [MWh]
S1	10	10	0	5	0	5	0
S2	10	10	0	0	0	10	0
S3	10	10	0	0	0	10	0
S4	10	12	2	6	1	6	1
S5	10	12	2	12	2	0	0
S6	10	12	2	0	0	12	2
S7	10	12	2	6	2	0	0
S8	10	12	2	6	2	6	0
S9	10	12	2	0	1	12	1
S10	10	12	2	12	1	0	1

Направените изчисления са представени в Таблица 3 и вариантите са сравнени. Графиката на фигура 1 дава визуална представа за едновременно сравняване на моделите по следните пет критерия:

Строги цени. Висока цена за недостиг и ниска цена за излишък, или голяма разлика между цените за недостиг и излишък. Моделите, при които цената за недостиг е висока, а цената за излишък е ниска, създават стимули за всички участници в балансиращия пазар, за по-точно и стриктно спазване на графиците за производство и потребление. Тези модели допадат на CO, също така водят до по-добри финансови резултати на доставчиците на балансираща енергия. От друга страна те имат съществен наказателен ефект върху участниците, които са в небаланс и може да бъдат пречка за инсталиране или изграждане на възобновяеми енергийни източници, където точното прогнозиране на производството е трудно постижимо.

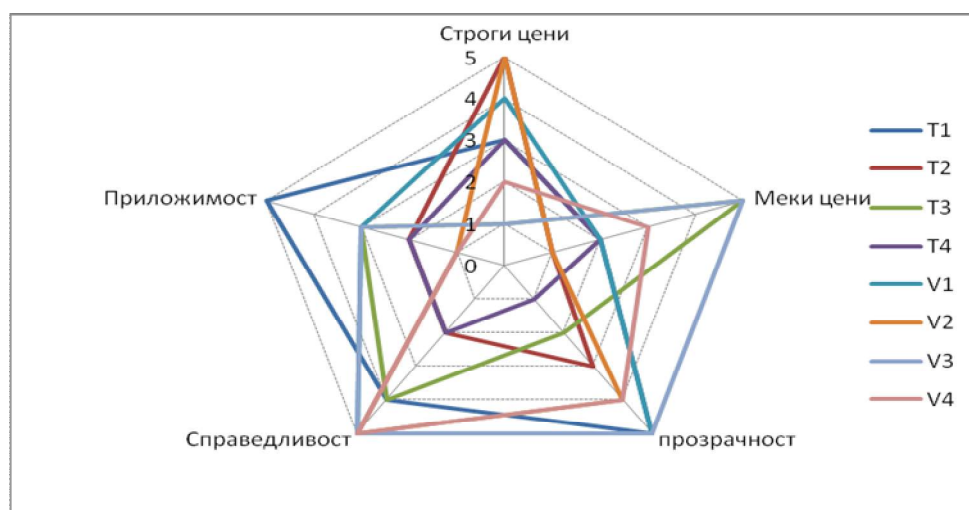
Цени, близки до пазарната цена на електрическата енергия (меки цени). Такива цени на балансиращата енергия благоприятстват внедряването на

вятърни електрически централи, но не спомагат за поддържане на оперативната дисциплина и точно спазване на заявените графици. Моделите с една цена е нормално да имат силен дисциплиниращ ефект. Причината е, че както по време на подготовката на графичите за доставка, така и по време на реална работа на ЕЕС, участниците в пазара не могат да предвидят дали цялостната ЕЕС ще бъде с излишък или с недостиг.

Прозрачност на финансовите операции на СО, която се изразява основно в пълна незаинтересованост на оператора от паричните потоци и липса на остатъчни суми при него в бъдещи периоди. По-добра прозрачност на работата на системния оператор се постига при моделите, където заплащаните и получавани суми от всички участници в балансиращия пазар са напълно изравнени и остатъка при СО е нула

Справедливост на модела – а именно прилагане на цените на балансиращата енергия само към участниците, които действително имат физически небаланс между заявено и реално производство или потребление. Очевидно по-справедливи са моделите на балансиращ пазар, при които енергията произведена както от източниците на третичен резерв, така и от тези на вторичен резерв се заплащат чрез балансиращия механизъм, а не солидарно от всички потребители.

Приложимост в България. Оценката по този критерий се базира основно на използвания досега модел, наличието на функционираща енергийна борса, изисквана от някои модели, и други особености на българската ЕЕС.



Фиг. 1

3. Заключение

- Преструктурирането на електроенергийния сектор, приватизацията и либерализацията на пазара не променят техническите изисквания към средствата и начините за регулиране на ЕЕС и поддържане на баланса между производство и потребление. Координацията между източниците

системата е в недостиг	сценарии
	S1
	S2
	S3
	S4
	S5
	S6
	S7
	S8
	S9
S10	

Цена за недостиг							
цена на балансираща енергия, в която участва само третично регулиране				цена на балансираща енергия, в която участва вторично и третично регулиране			
T1 2 цени	T2 2 цени	T3 1 цена	T4 1 цена	V1 2 цени	V2 2 цени	V3 1 цена	V4 1 цена
50	100	100	100	95	95	95	95
0	50	100	100	90	90	90	90
100	100	100	100	100	100	100	100
50	100	100	100	95	95	109	109
0	50	100	100	90	90	102	102
100	100	100	100	100	100	116	116
50	100	100	100	95	95	110	110
50	100	100	100	95	95	108	108
100	100	100	100	100	100	115	115
0	50	100	100	90	90	103	103

Таблица 3

Цена за излишък							
цена на балансираща енергия, в която участва само третично регулиране				цена на балансираща енергия, в която участва вторично и третично регулиране			
T1 2 цени	T2 2 цени	T3 1 цена	T4 1 цена	V1 2 цени	V2 2 цени	V3 1 цена	V4 1 цена
	24	100	60		84	95	60
	24	100	60		84	90	60
	24	100	60		84	100	60
10	24	100	60	25	84	109	60
0	24	100	60	30	84	102	60
20	24	100	60	20	84	116	60
20	24	100	60	20	84	110	60
0	24	100	60	30	84	108	60
10	24	100	60	25	84	115	60
10	24	100	60	25	84	103	60

на резерв за Първично, Вторично и Третично регулиране ще продължи да се осъществява съгласно техническите изисквания на ENTSO-E.

- В различните държави съществуват различни модели на балансиращ механизъм, отразяващи особеностите на електроенергийните системи, разполагаемите източници на резервна мощност и степента на развитие на общия електроенергиен пазар;
- Балансиращият пазар е част от общия пазарен модел на България и ще се развива през следващите години, за да отговори на нуждите на системния оператор за точно и качествено регулиране на честотата и активните мощности в ЕЕС, както и на нуждите на производителите и потребителите на електрическа енергия;
- Включването на балансиращата енергия, доставена от резерва за вторично регулиране при образуване на цената на балансиращата енергия ще доведе до по-голяма прозрачност и справедливост на пазара на балансираща енергия и допълнителни услуги. Такава промяна е предвидена в новите правила за търговия с електрическа енергия, като балансиращия пазар на България ще премина от модел T1 към модел V1.
- Моделът V3 е с една цена на балансиращата енергия, при който участва както третично, така и вторичното регулиране. Моделът е справедлив, прозрачен, с приемливо строги цени за поддържане на оперативна дисциплина и баланс между планирана и произвеждана/потребявана електрическа енергия. Той е приложим в България още в настоящия момент и може да се препоръча на СО и ДКЕВР да разгледат възможностите за преминаване към него.

ЛИТЕРАТУРА

[1] European Transmission System Operators ETSO. *Current state of balance management in Europe*. Dec 2003. Available on 8 February 2006 at http://www.etsonet.org/activities/BalanceManagement/e_default.asp. Simpson R., *Lighting Control Technology and Applications*, Focal Press 2003, ISBN 0 240 51566 8.

[2] Пазар на електрическа енергия. Резултати от дейността през 2009 година. Очаквания и перспективи, сп. “Енергетика”, бр.3, 2010 г. стр.12-16

Автори: доц. д-р Мария Кънева-Цочева –кат.”Електроенергетика”, бак. инж. Здравко Попов

СТАТИЧНА УСТОЙЧИВОСТ НА ЕЛЕКТРОПРОВОД СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ С ПРИСЪЕДИНЕНИ ВЯТЪРНИ ГЕНЕРАТОРИ

Марин Иванов, Рад Станев, Ясен Тодоров, Димо Стоилов,
Димо Караиванов

Резюме. Статията представя изследване на статичната устойчивост на електропровод средно напрежение с присъединени потребители и вятърни генератори. Предложен е опростен подход чрез определяне на коефициент на запаса по статична устойчивост за всеки един участък (частта от електропровода между два съседни възела) на електропровода за разгледаните характерни режими на работа. Като общ критерий за сравнение на режимите е въведен и използван претеглен коефициент на запаса. Изследването цели да провери дали статичната устойчивост налага ограничения при експлоатацията на електропровода. Резултатите показват, че електропроводът работи с големи запаси по статична устойчивост, т.е. характерните установени режими са далеч от граничните за статичната устойчивост натоварвания.

STEADY STATE STABILITY OF A MIDDLE VOLTAGE POWER DISTRIBUTION LINE WITH CONNECTED WIND GENERATORS

Marin Ivanov, Rad Stanev, Iasen Todorov, Dimo Stoilov

Abstract: The article presents a study of the steady state stability of a middle voltage power line with connected wind generators and supplying residential consumers. A simplified approach is implemented utilizing steady state percent stability index determined for each section of the line for all of the analyzed operation modes. As a global stability criterion a weighted percent stability index is introduced and utilized. The study aims at examination if the steady state stability constrains the operation of the line. The results show that the typical steady state operation modes of the line present very high stability indices.

1. Увод

Устойчивост на ЕЕС означава способността ѝ да поддържа трайно приемливи режимни параметри след управляващи или смущаващи въздействия върху съставлящите я елементи [1]. Възможни са такива режимни състояния, при които тази способност се нарушава – наблюдава се спонтанно неконтролируемо изменение извън допустимите норми на режимните параметри на възли в определени райони на електрическата мрежа.

Статичната устойчивост представлява способността на ЕЕС трайно да поддържа приемливи режимни параметри след подлагането и на малки смущения. При загуба на статична устойчивост системата става неспособна да пренася активни и реактивни мощности от генериращите източници към товарите.

В преносните мрежи високо и свръхвисоко напрежение загубата на устойчивост е сложен и рядко възникващ аварияен преходен процес, който може да има локален характер (в случаите на навременното му овладяване) или да доведе до разделянето на електроенергийното обединение на несинхронно работещи части или до пълното му разпадане (в случаите на каскадно развитие). Анализът на редица инциденти, както и експлоатационният опит на големите електроенергийни обединения показва, че най-тежките аварии стават не при внезапни смущения (при нарушаване на динамичната устойчивост), а при постепенни нарушения на балансите по активна и/или реактивна мощност (нарушаване на статичната устойчивост) [2].

Ограниченията по статична устойчивост могат да бъдат решаващ фактор за реализирането на всеки експлоатационен режим, поради което изчисленията на статичната устойчивост са задължителен елемент от превантивния анализ на допустимостта на електрическите режими.

Загубата на устойчивост може да бъде значим проблем, както за преносните, така и за разпределителните мрежи. Анализът на статичната устойчивост в разпределителните мрежи дава ценна информация и за това кои са слабите места в мрежата, в каква степен са изпълнени изискванията за поддържане на профила на напрежението и качеството на електрическата енергия, доколко оптимално е потокоразпределението в системата.

Целта на настоящата статия е да оцени статичната устойчивост за конкретен електропровод средно напрежение, запазващ трафопостове за електроснабдяване на битови, обществени и малки промишлени потребители, към които са присъединени и два вятърни генератора. Въпреки, че изследването на конкретен случай не може да претендира за представителност, предвид на типичните характеристики на разглеждания разпределителен електропровод, то все пак може да даде известна представа за статичната устойчивост като фактор при проектирането и експлоатацията на разпределителни мрежи с присъединени генератори използващи ВЕИ.

2. Описание на изследването

Съществуват редица подходи за оценка на статичната устойчивост в прости и сложни затворени ЕЕС [3, 4]. Някои се основават на анализ на собствените стойности и собствените вектори на матрицата на Якоби, други на особените стойности, детерминанта на системата, тестови функции на разклонението, енергийни функции и др. За прости електроенергийни системи (ЕЕС) могат да се приложат опростени показатели. Често прилаган и лесен за използване е методът с коефициента на запаса по статична устойчивост [3, 5]. Предимствата на този метод са неговата простота и лесното му инженерно

тълкувание, а недостатък е затруднената му приложимост за цялостна оценка на устойчивостта в сложни ЕЕС.

Коефициентът на запаса по статична устойчивост може да бъде дефиниран с израза:

$$K_3 = (P_{\max} - P_{\Pi}) / P_{\Pi}, \quad (1)$$

или чрез израза [3]:

$$K_3 = (P_{\max} - P_{\Pi}) / P_{\max}, \quad (2)$$

където

P_{\max} е максимална възможна пренасяна активна мощност от захранващия възел към захранвания възел и се определя от параметрите на електропровода и от поддържаните стойности на напрежението в двата възела;

P_{Π} е пренасяната активна мощност от захранващия към захранвания възел, оценена (чрез програма за потокоразпределение) или измерена за конкретния режим.

Нормираните стойности за коефициента [5] определен съгласно (1) са 20 % за нормални и 8% за следаварийни режими, а за определения съгласно (2) в [3] се препоръчва стойност от 30 %. В настоящата статия е предпочетено използването на коефициент на запаса определен по формула (2), тъй като в този случай получаваните стойности на коефициента са в интервала $0 < K_3 < 1$, докато при прилагането на (1) се получават стойности в интервала $0 < K_3 < \infty$ и сравненията са по-неудобни.

Максималната възможна пренасяна активна мощност [6] се дава с израза:

$$P_{\max} = V_{\Pi} (V_3 - V_{\Pi} \cos \varphi_{\text{ЕП}}) / Z_{\text{ЕП}}, \quad (3)$$

където

Π – индекс за потребление (възел получаващ захранване);

3 – индекс за захранване (захранващ възел);

V_{Π} – напрежение на захранвания (получаващия) възел;

V_3 – напрежение на захранващия възел;

$Z_{\text{ЕП}}$ – импеданс на електропровода (участъка м-у двата възела в мрежата средно напрежение) $Z_{\text{ЕП}} = (X_{\text{ЕП}}^2 + R_{\text{ЕП}}^2)^{1/2}$;

$\varphi_{\text{ЕП}} = \arctg (X_{\text{ЕП}} / R_{\text{ЕП}})$.

Изследването се провежда в следната последователност:

Определят се параметрите на характерните установени режими на електропровода чрез програма за потокоразпределение, в която са моделирани отделните участъци на електропровода, активните и реактивните товари във възлите и присъединените вятърни генератори. За всеки характерен режим чрез определените напрежения във възлите на електропровода при прилагане на формула (3) се пресмята максималната възможна пренасяна активна мощност по всеки участък от електропровода (между всеки два съседни - съответно захранващ и захранван възли). За всеки един участък на електропровода чрез определената при изчисленията на установения режим протичаща активна мощност и прилагане на формула (2) се определя K_3 . За сравнения между характерните режими се използва **претеглен коефициент на запаса** $K_{3,\text{п}}$, получаван чрез израза:

$$K_{3, \Pi} = (\sum K_{3, i} * l_i) / L , \quad (4)$$

където $L = \sum l_i$ е дължината на електропровода, l_i е дължината на участък i , $K_{3, i}$ е определеният за участъка коефициент на запаса.

Електропроводът, който е предмет на това изследване е описан в [7]. Там са дадени и сведения относно моделирането, използвано в програмата за потокоразпределение и относно характерните установени режими, резултатите от изчисленията на които са използвани за оценките на статичната устойчивост, извършени по представената тук методика.

3. Резултати от изследването

В следващата таблица са показани подробни резултати за режима на максимален товар и максимално производство от ВяЕГ:

№ участък	li, km	Pmax, MW	Pп, MW	Kз
1	2,127	79,87	1,03	0,98710
2	1,1634	102,70	0,97	0,99055
3	0,315	525,57	0,93	0,99823
4	1,606	103,61	0,91	0,99118
5	0,82	200,74	0,89	0,99555
6	0,668	245,44	0,81	0,99672
7	0,446	366,19	0,78	0,99786
8	0,838	194,87	0,74	0,99621
9	0,596	272,83	0,69	0,99749
10	0,976	166,52	0,63	0,99621
11	0,192	840,20	0,03	0,99996
12	2,276	70,24	0,02	0,99965
13	0,522	307,18	0,16	0,99947
14	1,576	101,49	0,30	0,99705
15	0,088	1821,00	0,36	0,99980
16	0,616	259,92	0,39	0,99850
17	0,468	342,13	0,53	0,99846
18	0,456	351,06	0,58	0,99835
19	0,702	111,57	0,64	0,99430
20	0,79	99,25	0,69	0,99303
21	0,884	88,99	0,91	0,98973
22	0,621	126,68	1,00	0,99210
23	0,491	160,60	1,26	0,99217
24	3,175	25,54	1,28	0,95006
25	0,46	1050,10	1,32	0,99874
26	0,4	1207,60	0,66	0,99945

Тъй като резултатите за останалите характерни режими не се отличават съществено, по-долу е дадена таблица с обобщение на резултатите без подробната им разпечатка. $K_{3,min}$ и $K_{3,max}$ означават минималната, съответно максималната стойности на коефициента на запаса, получени измежду стойностите му по участъците на електропровода за всеки един режим.

№	Режим	$K_{3,min}$	$K_{3,max}$	$K_{3,П}$
1	Максимален товар, изключен ВяЕГ	0,97048	0,99966	0,98880
2	Максимален товар, пр.ход на ВяЕГ	0,97040	0,99999	0,98915
3	Максимален товар, максимално производство от ВяЕГ	0,95006	0,99996	0,98869
4	Максимален товар, пр. ход на ВяЕГс компенсирана реактивна мощност	0,97048	0,99966	0,98922
5	Максимален товар, максимално производство на ВяЕГс компенсирана реактивна мощност	0,95168	0,99997	0,98899
6	Минимален товар, изключен ВяЕГ	0,98976	0,99989	0,99619
7	Минимален товар, пр.ход на ВяЕГ	0,98971	0,99999	0,99629
8	Минимален товар, максимално производство от ВяЕГ	0,94711	0,99943	0,98675
9	Минимален товар, пр.ход на ВяЕГ с компенсирана реактивна мощност	0,98976	0,99989	0,99633
10	Минимален товар, максимално производство от ВяЕГ с копиенсирана реактивна мощност	0,94887	0,99945	0,98702

Анализът на резултатите показва, че всички участъци и електропровода като цяло при всички характерни режими работят при много високи запаси по статична устойчивост, значително (повече от двукратно) надхвърлящи нормативните стойности. Критични по отношение на статичната устойчивост могат да бъдат режимите при максимално производство на ВяЕЦ и минимален товар. Оценката чрез претегления коефициент на запаса и чрез екстремалните стойности за отделните участъци показва, че с повишаване на производството от ВяЕЦ устойчивостта се повлиява (намалява) незначително. Най-ниски стойности на коефициентите на запаса действително се получават при режимите на максимално производство от ВяЕЦ и минимални товари. Доколкото разглежданият електропровод е типичен, изследвания пример навежда към мисълта, че статичната устойчивост не е ограничение, което следва да бъде проверявано при проектирането и експлоатацията на

електропроводи средно и ниско напрежение с присъединени генератори използващи ВЕИ.

4. Заключение

Предложена е методика за изследване на статичната устойчивост при електропроводи средно напрежение с присъединени генератори използващи ВЕИ, чрез определяне на коефициенти на запаса по отделните участъци на електропровода и претеглен коефициент на запаса. Проведеното изследване показва, че присъединяването и работата на такива генератори не довежда до съществено влошаване на високата статична устойчивост на разпределителната мрежа. За да бъде даден определен отговор на въпроса дали статичната устойчивост е ограничение, което следва да бъде проверявано при проектирането и експлоатацията на електропроводи средно и ниско напрежение с присъединени генератори използващи ВЕИ са необходими и други изследвания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kundur, P., et al., Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions. Power Systems, IEEE Trans., 2004. 19: p. 1387-1401.
- [2] Петканчин, Л. Противоаварийно управление в електроенергийни ситеми. Енергетика, бр. 3, 2005.
- [3] Kundur, P. Power Systems Stability and Control, Electric Power Research Institute, 1994.
- [4] IEEE/PES. Voltage Stability Assessment: Concepts, Practices and Tools, Special Publication, 2002, IEEE/PES Power System Stability Subcommittee.
- [5] Правила за управление на ЕЕС, разполагаеми на www.tso.bg, Приложение към т. 1 на Решение № П-5 от 18.06.2007 г., обн., ДВ, бр. 68 от 21.08.2007 г.
- [6] Fox, B., D. Flynn, L. Bryans, etc., Wind Power Integration – Connection and system operational aspects, The institute of Engineering and Technology (IET), 2007.
- [7] Тодоров, Я., Иванов М., Андонов Д., Стоилов Д., Станев Р., Изследване на установените режими в разпределителна мрежа средно напрежение с присъединени вятърни генератори, 2-ра Научна конференция на ЕФ, Сборник доклади, Созопол, октомври 2010.

Автори: Марин Иванов – студент в Електротехнически факултет на ТУ-София, инж. Ясен Тодоров – CEZ Електроразпределение Столично, ас. инж. Рад Станев, доц. д-р Димо Стоилов, докторант инж. Димо Караиванов – кат. „Електроенергетика”

ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЧАСТ НА CERN

Десислав Тодоров, Андрей Крумов, Александър Овчаров,
Мирослав Атанасов

Резюме. Европейският център за ядрени изследвания CERN е международна лаборатория за експериментална физика, с новаторски съоръжения за изследване в областта на основните градивни елементи на Вселената. Тези инсталации включват ускорители на частици и съоръжения за изследвания в областта на фундаменталната физика. В доклада е представена електроенергийната система, намираща се на територията на CERN.

CERN ELECTRIC POWER SUPPLY

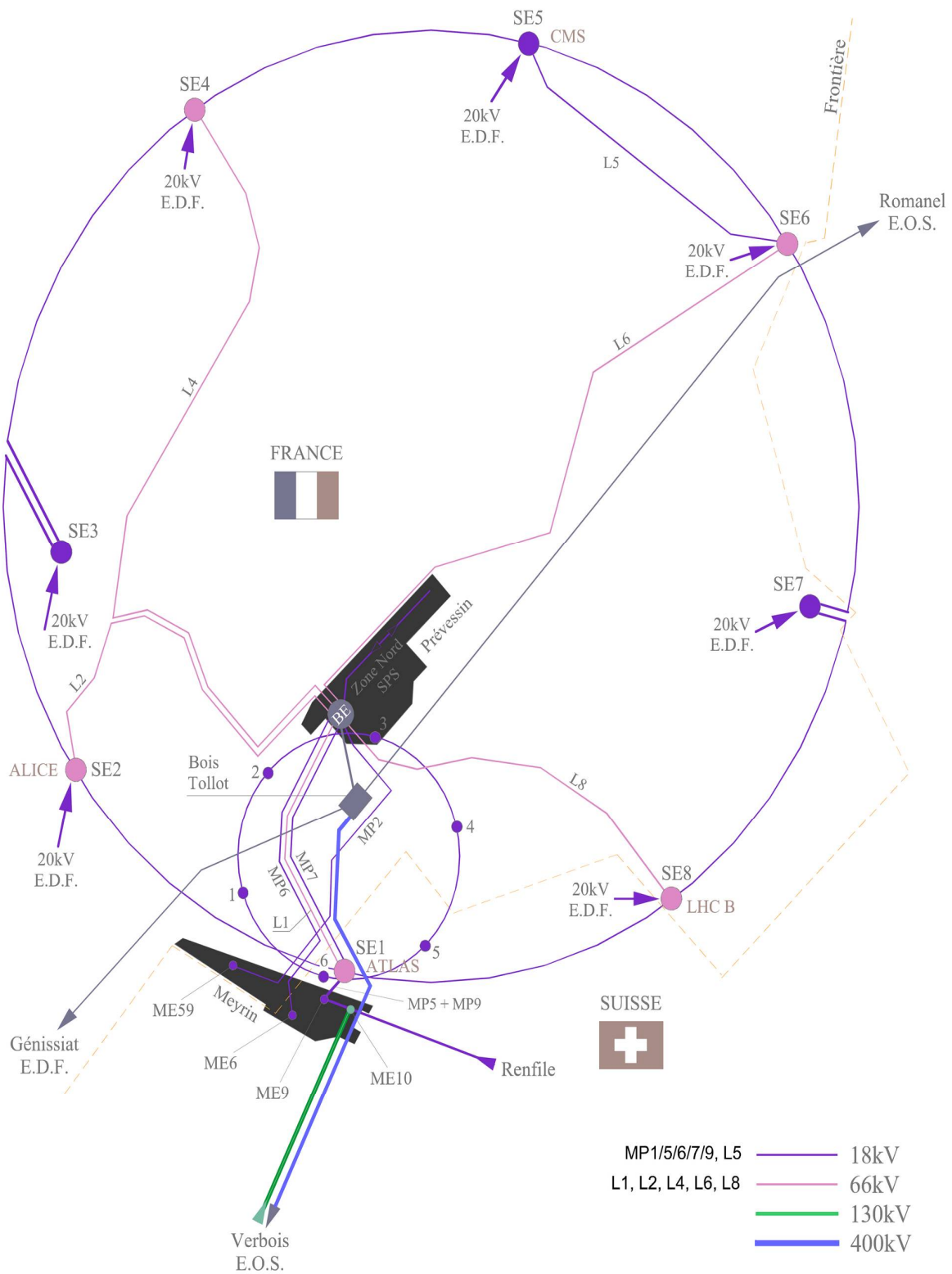
Desislav Todorov, Andrei Krumov, Aleksander Ovcharov, Miroslav Atanasov

Abstract. The European Organization for Nuclear Research, known as CERN, is the world's largest particle physics laboratory. CERN's main function is to provide the particle accelerators and other infrastructure needed for high-energy physics research. This paper describes CERN electric power distribution network

Европейският център за ядрени изследвания CERN е един от най-големите и най-уважаваните институции за научни изследвания в света. Основана през 1954 г., лабораторията на CERN се намира на френско-швейцарската граница, близо до Женева. Това е едно от първите съвместни предприятия в Европа, в които членуват близо 20 страни. Неговата дейност е свързана с фундаменталната физика. Разположеният в CERN ускорител на елементарни частици (голям адронен колайдер - LHC) е най-големият и най-сложен научен инструмент в света.

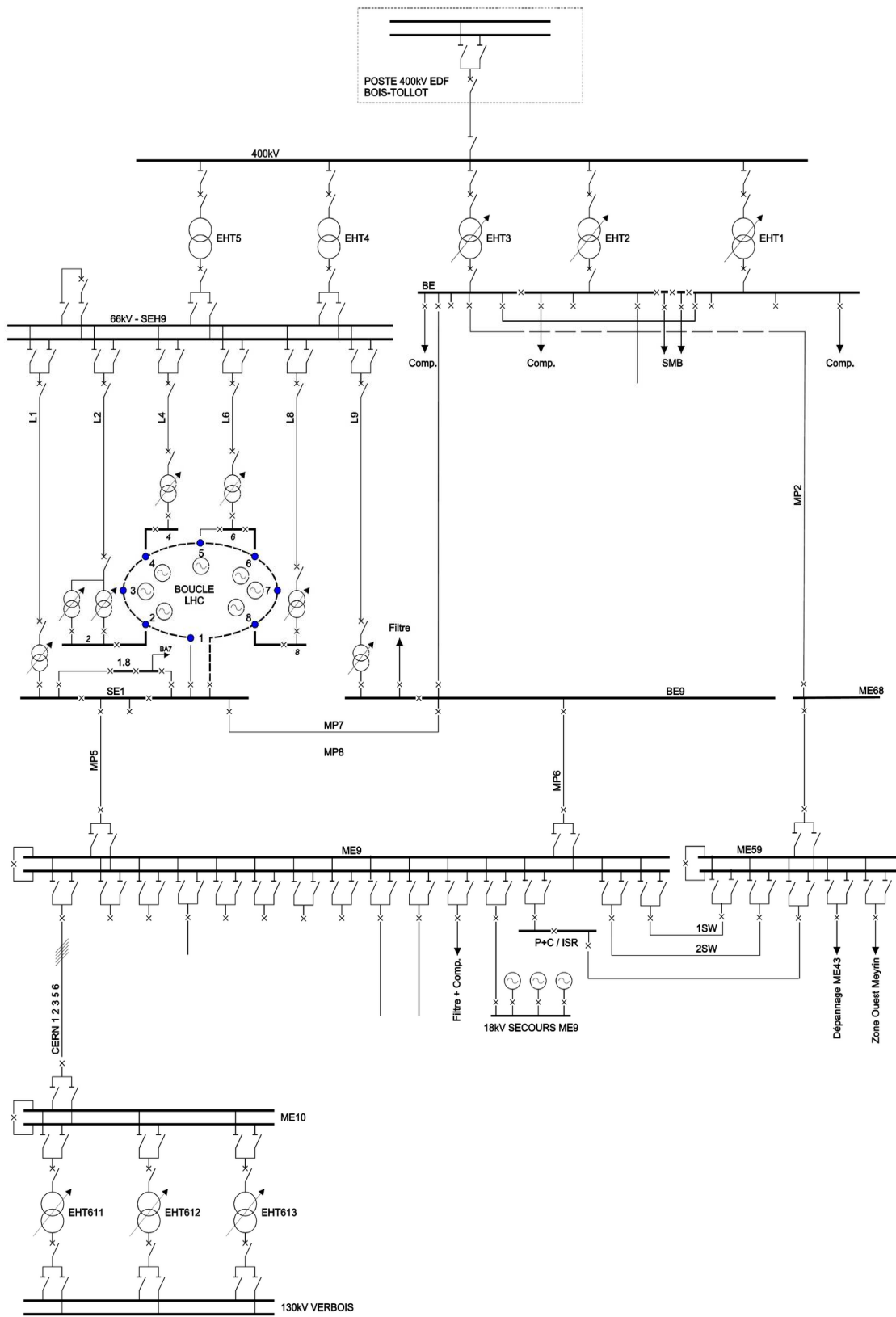
Електрическите потребители, в европейската организация за ядрени изследвания, се захранват от две подстанции Preveessin 400/66/18 kV и Meyrin 132/18 kV. Подстанция Preveessin се захранва от едно присъединение 400 kV, идващо от подстанция BoisTollot, Electricite de France (EDF). Подстанция Meyrin е свързана с швейцарската електроенергийна система (EOS) чрез един извод 130 kV. Главната захранваща линия 400kV е с капацитет около 1000 MVA, достатъчен за LHC и неговите инжектори, консумиращи мощност около 240 MW[1].

На фиг. 1 е показано географското разположение на електроенергийната система, а на фиг. 2 е принципна електрическа схема на CERN[2].



Географски поглед върху захранващата мрежа на CERN

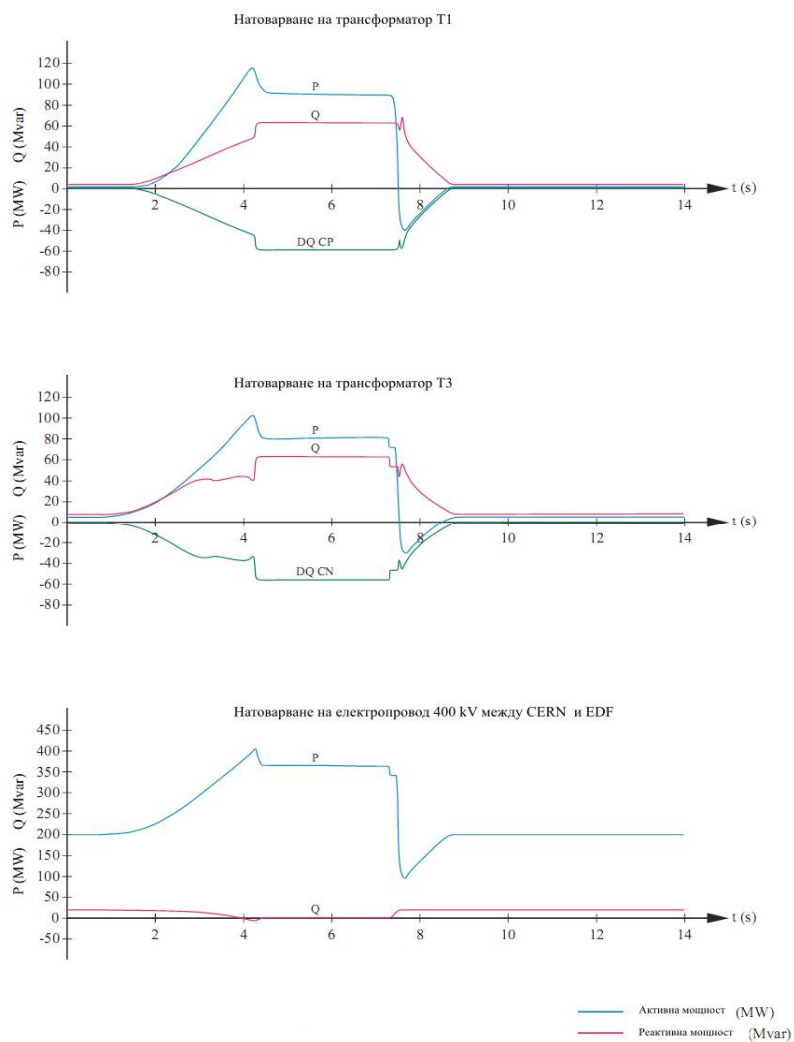
Фиг. 1



Фиг. 2

Специфично за CERN е работата на ускорителите в пулсиращ режим: инжектиране, ускорение чрез радиочестотна система, бавно извеждане и изхвърляне на остатъчния сноп частици. Енергията, съхранена в главната магнитна система се връща в електрическата мрежа с напрежение 18 kV на лабораторията. Периода на този цикъл е около 14.4 секунди[1]. На фиг. 3 е показано:

- Протичащата мощност през силов трансформатор T1 400/18 kV
- Протичащата мощност през силов трансформатор T3 400/18 kV
- Пренасяната през електропровода 400 kV мощност.



Фиг. 3

MVA	Възел 1	Възел 18	Възел 2	Възел 3	Възел 4	Възел 5	Възел 6	Възел 7	Възел 8	Общо
Преобразуватели										
Постоянно	2.20		3.2	2.7	2.9	2.2	3.8	2.5	3.1	22.6
Върхово	2.3		9.8	2.7	9.5	2.3	10.4	2.5	9.8	49.3
Криогенни машини										
3.3kV и 0.4kV	0	8	8.5		14.5	0	14.5	0	15	60.5
Охлаждане и вентилация										
охладена вода	1.8		1.3	0	0.9	1.8	0.9	0	1.3	8
друга вода	1.3		3	0	2.4	2.3	2.7	2.4	1.2	15.3
Транспортиране на въздух										
Зима	1.7		3.5	0.9	3.1	1.4	3.1	0.7	3.3	17.7
Лято	0.5		1.1	0.3	1.1	0.9	1.1	0.3	1.1	6.4
Радиочестотни системи										
					22.4					22.4
Забавяне на частици										
							0.4			0.4
Други машинни системи										
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.3	2
Експерименти										
ATLAS	7									7
CMS						7				7
ALICE			7.8							5.8
LHC-B									7.5	7.5
Машинни системи и експерименти, общо, постоянно										
MVA	13	8.2	25.1	4.1	44.5	14.3	23.7	5.4	29.5	166.9
MW	10	7	20	2.5	31.2	11.2	20.4	4.1	24	130.4
MVA _г			15.2		31.7	8.9	12.1		17.1	
Комп. MVA _г	0	0	24	0	24	0	24	0	24	
Комп. MVA	13.1	8.2	20	4.1	32.2	11.2	20.5	5.4	24	138.7
Машинни системи и експерименти, общо, върхово										
MVA	13.1	8.2	31.7	4.1	51.1	14.4	30.3	5.4	36.2	194.5
MW	10.1	7	24.7	2.5	35.9	11.3	24.9	4.1	28.7	149.2
MVA _г			19.8		36.6	8.9	17.3		22.1	
Комп. MVA _г	0	0	24	0	24	0	24	0	24	
Компенсирани MVA	13.1	8.2	24.7	4.1	38	11.3	24.9	5.4	28.7	158.3
Общи нужди										
MVA	3	1	2	1	2	3	2	1	2	17

Таблица 1. Основни електрически товари на LHC

Нивата на напрежение в електроенергийната система на CERN са:

- 400 kV въвод от EDF – главна подстанция Preveessin
- 130 kV въвод от EOS – главна подстанция Meyrin
- 66 kV Преносна система, главна подстанция Preveessin до главните товарни възли.
- 20 kV Аварийни връзки с EDF във всички възли на LHC
- 18 kV Разпределителна мрежа, CERN.
- 3.3 kV Разпределителна мрежа, предназначена за големите моторно-компресорни уредби.
- 0.4 kV Разпределителна мрежа, общо и специализирано предназначение.

В табл. 1 са показани мощностите на различните видове потребители [2]. В таблица 2 е представено натоварването на трансформатори във възлови подстанции 66/18 kV № 1, 2, 4, 6, 8 (SE2, SE4, SE6, SE8)[2].

Разпределителни уредби високо и средно напрежение в CERN

Prevessin, главната подстанция 400/66/18 kV на CERN, се захранва от подстанция EDF Bois-Tolloy. Тази подстанция е интегрирана във френско-швейцарската междусистемна връзка, и поради това е свързана както с EDF в Genissiat, така и с Energie Ouest Suisse (EOS).

Уредба 400 kV на подстанция Prevessin 400/66/18 kV се състои от шест присъединения: едно входящо и пет трансформаторни. Електропроводът 400 kV, между CERN Prevessin и Bois-Tolloy, е с дължина 600 метра. Въвходното присъединение е снабдено само разединител. Прекъсвачът на линията, в

	Постоянен товар		Върхов товар	
	Товар / MVA	% от ном. мощност на трансформатора	Товар / MVA	% от ном. мощност на трансформатора
SE 1*	40	57	40	57
SE 2**	20	26	24.7	32.5
SE 4	32.2	85	38	100
SE 6 ***	31.7	84	36.2	95
SE 8	24	63	28.7	76

Таблица 2. Товар на подстанции 66/18 kV

* LHC Възел 1, ATLAS и Meyrin site

** Два 38 MVA трансформатора са инсталирани във Възел 2

*** Сума от товарите в LHC Възел 5 и 6

подстанция Bois-Tolloy, може да се управлява от CERN. Уредба 400 kV е класическа, открита, с единична шинна система. На страна 66 kV уредбата е класическа открита с двойна шинна система и шиносъединителен прекъсвач. На страна 18 kV се използва комплектна разпределителна уредба с единична секционирана шинна система. Връзката между секции 18 kV се осъществява през секционни прекъсвачи. Три от силовите трансформатори 400/18 kV са с единична мощност 90 MVA. Останалите два силови трансформатора 400/66 kV са с единична мощност 110 MVA. Уредба 66 kV захранва възлови подстанции № 1, 2, 4, 6, 8 (SE2, SE4, SE6, SE8), подстанция BE 66/18kV за постоянни товари на супер протон синхротрон ускорителя (SPS) и северната част на CERN (надземни лабораторни комплекси).

Към уредба 18kV са присъединени импулсните товари на SPS, системи за подобряване фактора на мощността и филтри – два насищащи се реактора с единична мощност 95 MVA_r, един тиристорно управляем реактор с мощност 150 MVA_r[1]. Поради цикличния прекъсвания на захранването в 18 kV система, основното захранване на LHC се осъществява от 66 kV преносна система[3].

Неутралите на двата трансформатора 400/66 kV са заземени директно на

страна 400 kV и през активно съпротивление съпротивление със стойност 80 ohm на страна 66 kV, като токът на земно съединение е ограничен до 500 A.

Подстанция Meyrin 130/18 kV е без оперативен персонал и се управлява от местната електроразпределителна компания SIG (Service Industrielle de Geneve). Тази подстанция се използва за захранване на лабораторията извън времето на работа на машината. Максималният товар на линията е 60 MVA. Разпределителната уредба 130 kV е открита, с двойна шинна система, едно линейно и три трансформаторни присъединения. Разпределителната уредба 18 kV е с двойна шинна система и шиносъединителен прекъсвач. Два от силови трансформатори 130/18 kV са с единична мощност 63 MVA, а третия е с мощност 30 MVA.

Между подстанции 400\66\18 kV и 130/18 kV съществува автоматика за резервиране. Работата на ЛНС при захранване от подстанция Meyrin 130/18 kV не е възможно. Времето, което отнема автоматичното прехвърляне на източника на захранване е около 20 секунди.

По териториален показател разпределителната система 18 kV е групирана на:

- Система захранваща големия адронен колайдер LHC;
- Система захранваща супер протон синхротрона SPS;
- Система захранваща ускорителни комплекси и административни сгради в район Meyrin.

Според характера на товара разпределителната система 18 kV е разделена на два типа:

- Импулсна мрежа - за основната работа на машините SPS и LHC (мощни преобразувателни уредби)
- Собствени и общостанционни нужди.

Импулсната мрежа на ЛНС се захранва от възлови подстанции № 2, 4, 6, 8, 66/18 kV. На страна 18 kV подстанциите са с комплектни разпределителни уредби. Във всяка от тях, към шини 18 kV, е присъединен тиристорно управляем реактор компенсатор и пасивни филтри. Филтрите се състоят от 4 вериги настроени към 5ти, 7ми, 11ти и 13ти хармоник. В нормален режим между възловите подстанции няма връзка.

Голяма част от собствените и общостанционните нужди на ЛНС се захранват от 18 kV пръстен, разположен в машинния тунел. Работното захранване на тази мрежа е от възлова подстанция 1. Пръстенът обхваща:

- Секции 18 kV на възловите подстанции № 2, 4, 6, 8.
- 20 подземни елегазови разпределителни уредби 18/0,4 kV разположени в каверни и „глухи” тунелни отклонения.

Автоматичното аварийно захранване е през 18 kV кабелна връзка от страна на Meyrin (Electricité Ouest Suisse). Номиналната мощност на тази връзка е 60 MVA, при изисквани от системите на ЛНС 17 MVA. Към всяка от възловите подстанции № 2, 4, 6, 8, на ниво 18 kV е присъединен аварийен автотрансформатор 20/18 kV, който свързва 18 kV пръстен и местната 20 kV френска мрежа.

Подстанции Възел 3 и Възел 7 са прости. Те се захранват единствено от 18 kV пръстен.

Разпределителната уредба 18 kV, на всяка подземна подстанция 18/0,4 kV, съдържа трансформаторно присъединение и два мощностни разединителя, свързващи уредбата към пръстен 18 kV.

В електрическата система 18 kV е създаден изкуствен звезден център, като неутралата е заземена през активно съпротивление. Токът на земно съединение, в 18 kV електрическа мрежа, е ограничен до 1000 А.

В електрическата мрежа на ЛНС мощността на късо съединение, във Възел 4, Възел 6 и Възел 8, е ниска (~ 300 MVA), имайки предвид огромните токоизправители свързани към тях.

Две 6 MVAr резервни кондензаторни уредби са присъединени към пръстена във Възел 4 и Възел 8 за да ограничат понижението на напрежението и хармоничното изкривяване до стойности по-малки от 2%.

Съоръженията за компенсация минимизират преноса на реактивна мощност в система 66 kV.

Част от потребителите, за криогенните технологични системи, представляват мощни моторно-компресорни агрегати. За захранването им са организирани специализирани 66/3.3 kV подстанции.

Разпределителни уредби 0,4 kV

Системата 0,4 kV осигурява захранване на товарите чрез йерархия от 4 мрежи:

- Машинна мрежа - разделена в специализирани LV сектори захранващи всяка главна техническа система на ускорителя.
- Мрежа за общо предназначение - пълната мощност необходима на ЛНС е 17 MVA. Тя е разделена в подразпределителни системи, обслужващи различни сектори на съответната територия.
- „Надеждно захранване” - мрежа, резервирана от дизелов генератор, разделен на много подразпределителни системи, като там се включват и системите за общо предназначение.
- Безопасно захранване - част от системата за надеждно захранване, която се поддържа в действие в случай на спиране при повреда. Цялата тази мрежа се захранва от защитни разпределителни табла. Кабелите са поставени в отделни канали, което осигурява защита от пожар и други рискове.

Всички надземни подстанции са снабдени с 0,4 kV дизелов генератор, който заработва автоматично.

Всички четни възли и възел 5 са оборудвани с 750 kVA дизелов генератор. Възел 3 и 7 са оборудвани с 285 kVA генератори, а Възел 1 с генераторите за аварийно захранване в Meurin.

Определен брой от техническите системи включващи криогенно оборудване, криогенни измервателни уреди и системите за контрол на мощността на преобразувателите изискват непрекъсваемо захранване. В случай

на голяма повреда, статичните системи използващи батерии ще поддържат захранването. Тези непрекъсваеми захранвания (UPS) обикновено имат автономност на батерията от около 10 минути.

Системите, резервирани с дизел генератор, имат практически неограничено време на работа. Броят на UPS системите от различни типове и мощност са:

- 80 kVA UPS системи: 52
- 20 kVA UPS системи: 8
- 20 kVA дизел генератор резервирана UPS система: 10
- 120 kVA UPS системи: 5

Автономността на единичен елемент натоварен на 100% е 10 мин. Същата UPS система, натоварена на 50% ще има автономност 20 минути.

Разпределителната система на CERN е проектирана да осигури електрическото захранване на старият електрон – позитронен колайдер. За въвеждането в експлоатация на новия голям адронен колайдер са извършени незначителни изменения. Цялата мрежа се управлява от диспечерски център. Натрупаната огромна база данни за работата на разпределителната система дава възможност за разработване на сложни инженерни симулации. В процес на проектиране е нов по-голям ускорител. За неговото електрозахранване се предвижда цялостна рехабилитация на всички нива на напрежение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] “Description of CERN Electrical Network“, G. Gumer, J. Pedersen, CERN, 2005;
[2] „Power distribution, signal cabling and optical fibre installation“, CERN, 2004;
[3] „Disturbances and power quality of the 18 KV CERN electrical network and the 400/230 V UPS distribution system for LHC“, K. Kahle, CERN, 2003;

Автори: доц. Андрей Крумов, доц. Александър Овчаров, гл. ас. Десислав Тодоров, инж. Мирослав Атанасов – дипломант към катедра „Електроенергетика“

ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЧАСТ НА CERN

Десислав Тодоров, Андрей Крумов, Александър Овчаров,
Мирослав Атанасов

Резюме. Европейският център за ядрени изследвания CERN е международна лаборатория за експериментална физика, с новаторски съоръжения за изследване в областта на основните градивни елементи на Вселената. Тези инсталации включват ускорители на частици и съоръжения за изследвания в областта на фундаменталната физика. В доклада е представена електроенергийната система, намираща се на територията на CERN.

CERN ELECTRIC POWER SUPPLY

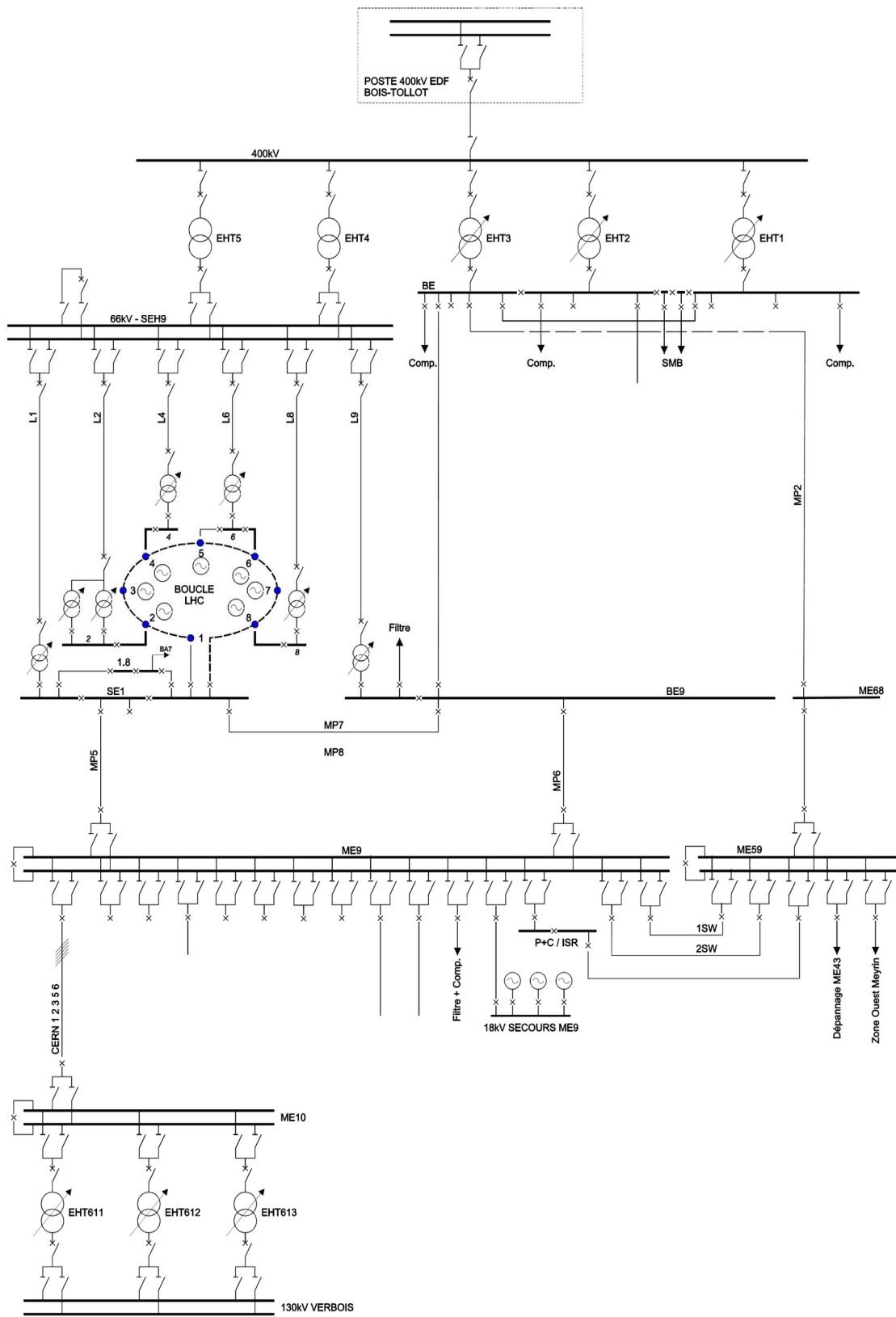
Desislav Todorov, Andrei Krumov, Aleksander Ovcharov, Miroslav Atanasov

Abstract. The European Organization for Nuclear Research, known as CERN, is the world's largest particle physics laboratory. CERN's main function is to provide the particle accelerators and other infrastructure needed for high-energy physics research. This paper describes CERN electric power distribution network

Европейският център за ядрени изследвания CERN е един от най-големите и най-уважаваните институции за научни изследвания в света. Основана през 1954 г., лабораторията на CERN се намира на френско-швейцарската граница, близо до Женева. Това е едно от първите съвместни предприятия в Европа, в които членуват близо 20 страни. Неговата дейност е свързана с фундаменталната физика. Разположеният в CERN ускорител на елементарни частици (голям адронен колайдер - LHC) е най-големият и най-сложен научен инструмент в света.

Електрическите потребители, в европейската организация за ядрени изследвания, се захранват от две подстанции Preveessin 400/66/18 kV и Meyrin 132/18 kV. Подстанция Preveessin се захранва от едно присъединение 400 kV, идващо от подстанция BoisTollot, Electricite de France (EDF). Подстанция Meyrin е свързана с швейцарската електроенергийна система (EOS) чрез един извод 130 kV. Главната захранваща линия 400kV е с капацитет около 1000 MVA, достатъчен за LHC и неговите инжектори, консумиращи мощност около 240 MW[1].

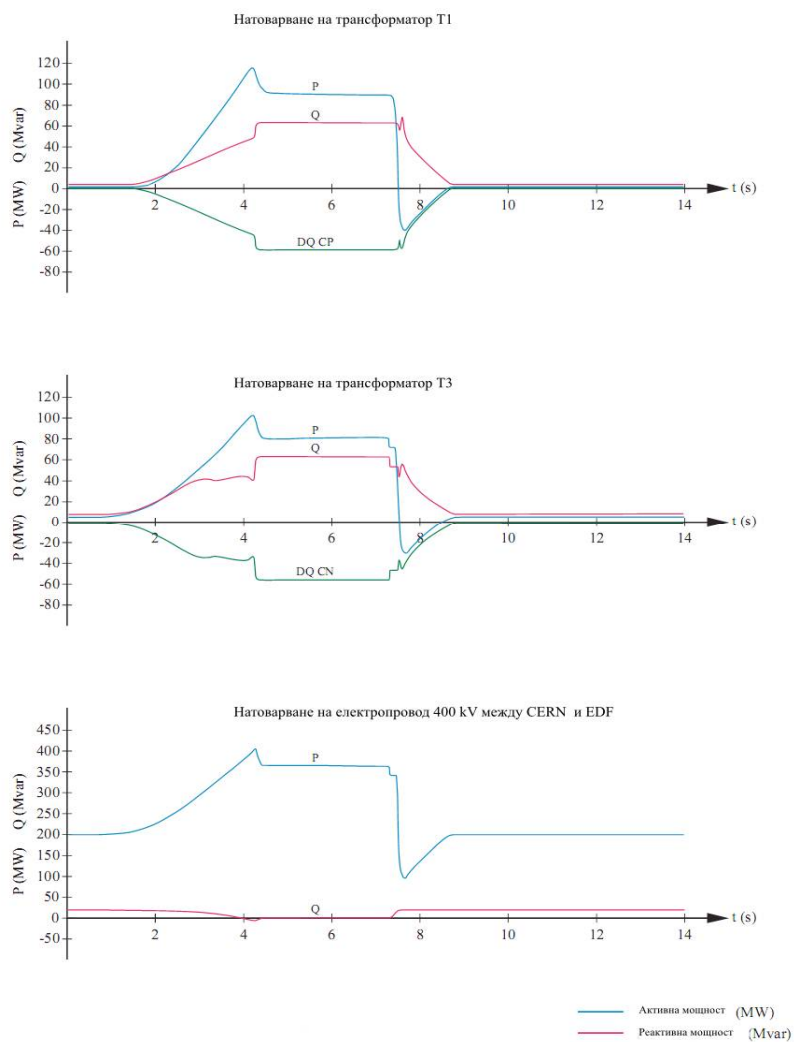
На фиг. 1 е показано географското разположение на електроенергийната система, а на фиг. 2 е принципна електрическа схема на CERN[2].



Фиг. 2

Специфично за CERN е работата на ускорителите в пулсиращ режим: инжектиране, ускорение чрез радиочестотна система, бавно извеждане и изхвърляне на остатъчния сноп частици. Енергията, съхранена в главната магнитна система се връща в електрическата мрежа с напрежение 18 kV на лабораторията. Периода на този цикъл е около 14.4 секунди[1]. На фиг. 3 е показано:

- Протичащата мощност през силов трансформатор T1 400/18 kV
- Протичащата мощност през силов трансформатор T3 400/18 kV
- Пренасяната през електропровода 400 kV мощност.



Фиг. 3

MVA	Възел 1	Възел 18	Възел 2	Възел 3	Възел 4	Възел 5	Възел 6	Възел 7	Възел 8	Общо
Преобразуватели										
Постоянно	2.20		3.2	2.7	2.9	2.2	3.8	2.5	3.1	22.6
Върхово	2.3		9.8	2.7	9.5	2.3	10.4	2.5	9.8	49.3
Криогенни машини										
3.3kV и 0.4kV	0	8	8.5		14.5	0	14.5	0	15	60.5
Охлаждане и вентилация										
охладена вода	1.8		1.3	0	0.9	1.8	0.9	0	1.3	8
друга вода	1.3		3	0	2.4	2.3	2.7	2.4	1.2	15.3
Транспортиране на въздух										
Зима	1.7		3.5	0.9	3.1	1.4	3.1	0.7	3.3	17.7
Лято	0.5		1.1	0.3	1.1	0.9	1.1	0.3	1.1	6.4
Радиочестотни системи										
					22.4					22.4
Забавяне на частици										
							0.4			0.4
Други машинни системи										
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.3	2
Експерименти										
ATLAS	7									7
CMS						7				7
ALICE			7.8							5.8
LHC-B									7.5	7.5
Машинни системи и експерименти, общо, постоянно										
MVA	13	8.2	25.1	4.1	44.5	14.3	23.7	5.4	29.5	166.9
MW	10	7	20	2.5	31.2	11.2	20.4	4.1	24	130.4
MVA _г			15.2		31.7	8.9	12.1		17.1	
Комп. MVA _г	0	0	24	0	24	0	24	0	24	
Комп. MVA	13.1	8.2	20	4.1	32.2	11.2	20.5	5.4	24	138.7
Машинни системи и експерименти, общо, върхово										
MVA	13.1	8.2	31.7	4.1	51.1	14.4	30.3	5.4	36.2	194.5
MW	10.1	7	24.7	2.5	35.9	11.3	24.9	4.1	28.7	149.2
MVA _г			19.8		36.6	8.9	17.3		22.1	
Комп. MVA _г	0	0	24	0	24	0	24	0	24	
Компенсирани MVA	13.1	8.2	24.7	4.1	38	11.3	24.9	5.4	28.7	158.3
Общи нужди										
MVA	3	1	2	1	2	3	2	1	2	17

Таблица 1. Основни електрически товари на LHC

Нивата на напрежение в електроенергийната система на CERN са:

- 400 kV въвод от EDF – главна подстанция Preveſsin
- 130 kV въвод от EOS – главна подстанция Meyrin
- 66 kV Преносна система, главна подстанция Preveſsin до главните товари възли.
- 20 kV Аварийни връзки с EDF във всички възли на LHC
- 18 kV Разпределителна мрежа, CERN.
- 3.3 kV Разпределителна мрежа, предназначена за големите моторно-компресорни уредби.
- 0.4 kV Разпределителна мрежа, общо и специализирано предназначение.

В табл. 1 са показани мощностите на различните видове потребители [2]. В таблица 2 е представено натоварването на трансформатори във възлови подстанции 66/18 kV № 1, 2, 4, 6, 8 (SE2, SE4, SE6, SE8)[2].

Разпределителни уредби високо и средно напрежение в CERN

Prevessin, главната подстанция 400/66/18 kV на CERN, се захранва от подстанция EDF Bois-Tolloy. Тази подстанция е интегрирана във френско-швейцарската междусистемна връзка, и поради това е свързана както с EDF в Genissiat, така и с Energie Ouest Suisse (EOS).

Уредба 400 kV на подстанция Prevessin 400/66/18 kV се състои от шест присъединения: едно входящо и пет трансформаторни. Електропроводът 400 kV, между CERN Prevessin и Bois-Tolloy, е с дължина 600 метра. Въвходното присъединение е снабдено само разединител. Прекъсвачът на линията, в

	Постоянен товар		Върхов товар	
	Товар / MVA	% от ном. мощност на трансформатора	Товар / MVA	% от ном. мощност на трансформатора
SE 1*	40	57	40	57
SE 2**	20	26	24.7	32.5
SE 4	32.2	85	38	100
SE 6 ***	31.7	84	36.2	95
SE 8	24	63	28.7	76

Таблица 2. Товар на подстанции 66/18 kV

* LHC Възел 1, ATLAS и Meyrin site

** Два 38 MVA трансформатора са инсталирани във Възел 2

*** Сума от товарите в LHC Възел 5 и 6

подстанция Bois-Tolloy, може да се управлява от CERN. Уредба 400 kV е класическа, открита, с единична шинна система. На страна 66 kV уредбата е класическа открита с двойна шинна система и шиносъединителен прекъсвач. На страна 18 kV се използва комплектна разпределителна уредба с единична секционирана шинна система. Връзката между секции 18 kV се осъществява през секционни прекъсвачи. Три от силовите трансформатори 400/18 kV са с единична мощност 90 MVA. Останалите два силови трансформатора 400/66 kV са с единична мощност 110 MVA. Уредба 66 kV захранва възлови подстанции № 1, 2, 4, 6, 8 (SE2, SE4, SE6, SE8), подстанция BE 66/18kV за постоянни товари на супер протон синхротрон ускорителя (SPS) и северната част на CERN (надземни лабораторни комплекси).

Към уредба 18kV са присъединени импулсните товари на SPS, системи за подобряване фактора на мощността и филтри – два насищащи се реактора с единична мощност 95 MVA_r, един тиристорно управляем реактор с мощност 150 MVA_r[1]. Поради цикличния прекъсвания на захранването в 18 kV система, основното захранване на LHC се осъществява от 66 kV преносна система[3].

Неутралите на двата трансформатора 400/66 kV са заземени директно на

страна 400 kV и през активно съпротивление съпротивление със стойност 80 ohm на страна 66 kV, като токът на земно съединение е ограничен до 500 A.

Подстанция Meyrin 130/18 kV е без оперативен персонал и се управлява от местната електроразпределителна компания SIG (Service Industrielle de Geneve). Тази подстанция се използва за захранване на лабораторията извън времето на работа на машината. Максималният товар на линията е 60 MVA. Разпределителната уредба 130 kV е открита, с двойна шинна система, едно линейно и три трансформаторни присъединения. Разпределителната уредба 18 kV е с двойна шинна система и шиносъединителен прекъсвач. Два от силови трансформатори 130/18 kV са с единична мощност 63 MVA, а третия е с мощност 30 MVA.

Между подстанции 400/66/18 kV и 130/18 kV съществува автоматика за резервиране. Работата на ЛНС при захранване от подстанция Meyrin 130/18 kV не е възможно. Времето, което отнема автоматичното прехвърляне на източника на захранване е около 20 секунди.

По териториален показател разпределителната система 18 kV е групирана на:

- Система захранваща големия адронен колайдер LHC;
- Система захранваща супер протон синхротрона SPS;
- Система захранваща ускорителни комплекси и административни сгради в район Meyrin.

Според характера на товара разпределителната система 18 kV е разделена на два типа:

- Импулсна мрежа - за основната работа на машините SPS и LHC (мощни преобразователни уредби)
- Собствени и общостанционни нужди.

Импулсната мрежа на ЛНС се захранва от възлови подстанции № 2, 4, 6, 8, 66/18 kV. На страна 18 kV подстанциите са с комплектни разпределителни уредби. Във всяка от тях, към шини 18 kV, е присъединен тиристорно управляем реактор компенсатор и пасивни филтри. Филтрите се състоят от 4 вериги настроени към 5ти, 7ми, 11ти и 13ти хармоник. В нормален режим между възловите подстанции няма връзка.

Голяма част от собствените и общостанционните нужди на ЛНС се захранват от 18 kV пръстен, разположен в машинния тунел. Работното захранване на тази мрежа е от възлова подстанция 1. Пръстенът обхваща:

- Секции 18 kV на възловите подстанции № 2, 4, 6, 8.
- 20 подземни елегазови разпределителни уредби 18/0,4 kV разположени в каверни и „глухи” тунелни отклонения.

Автоматичното аварийно захранване е през 18 kV кабелна връзка от страна на Meyrin (Electricité Ouest Suisse). Номиналната мощност на тази връзка е 60 MVA, при изисквани от системите на ЛНС 17 MVA. Към всяка от възловите подстанции № 2, 4, 6, 8, на ниво 18 kV е присъединен аварийен автотрансформатор 20/18 kV, който свързва 18 kV пръстен и местната 20 kV френска мрежа.

Подстанции Възел 3 и Възел 7 са прости. Те се захранват единствено от 18 kV пръстен.

Разпределителната уредба 18 kV, на всяка подземна подстанция 18/0,4 kV, съдържа трансформаторно присъединение и два мощностни разединителя, свързващи уредбата към пръстен 18 kV.

В електрическата система 18 kV е създаден изкуствен звезден център, като неутралата е заземена през активно съпротивление. Токът на земно съединение, в 18 kV електрическа мрежа, е ограничен до 1000 A.

В електрическата мрежа на ЛНС мощността на късо съединение, във Възел 4, Възел 6 и Възел 8, е ниска (~ 300 MVA), имайки предвид огромните токоизправители свързани към тях.

Две 6 MVAr резервни кондензаторни уредби са присъединени към пръстена във Възел 4 и Възел 8 за да ограничат понижението на напрежението и хармоничното изкривяване до стойности по-малки от 2%.

Съоръженията за компенсация минимизират преноса на реактивна мощност в система 66 kV.

Част от потребителите, за криогенните технологични системи, представляват мощни моторно-компресорни агрегати. За захранването им са организирани специализирани 66/3.3 kV подстанции.

Разпределителни уредби 0,4 kV

Системата 0,4 kV осигурява захранване на товарите чрез йерархия от 4 мрежи:

- Машинна мрежа - разделена в специализирани LV сектори захранващи всяка главна техническа система на ускорителя.
- Мрежа за общо предназначение - пълната мощност необходима на ЛНС е 17 MVA. Тя е разделена в подразпределителни системи, обслужващи различни сектори на съответната територия.
- „Надеждно захранване” - мрежа, резервирана от дизелов генератор, разделен на много подразпределителни системи, като там се включват и системите за общо предназначение.
- Безопасно захранване - част от системата за надеждно захранване, която се поддържа в действие в случай на спиране при повреда. Цялата тази мрежа се захранва от защитни разпределителни табла. Кабелите са поставени в отделни канали, което осигурява защита от пожар и други рискове.

Всички надземни подстанции са снабдени с 0,4 kV дизелов генератор, който заработва автоматично.

Всички четни възли и възел 5 са оборудвани с 750 kVA дизелов генератор. Възел 3 и 7 са оборудвани с 285 kVA генератори, а Възел 1 с генераторите за аварийно захранване в Meurin.

Определен брой от техническите системи включващи криогенно оборудване, криогенни измервателни уреди и системите за контрол на мощността на преобразувателите изискват непрекъсваемо захранване. В случай

на голяма повреда, статичните системи използващи батерии ще поддържат захранването. Тези непрекъсваеми захранвания (UPS) обикновено имат автономност на батерията от около 10 минути.

Системите, резервирани с дизел генератор, имат практически неограничено време на работа. Броят на UPS системите от различни типове и мощност са:

- 80 kVA UPS системи: 52
- 20 kVA UPS системи: 8
- 20 kVA дизел генератор резервирана UPS система: 10
- 120 kVA UPS системи: 5

Автономността на единичен елемент натоварен на 100% е 10 мин. Същата UPS система, натоварена на 50% ще има автономност 20 минути.

Разпределителната система на CERN е проектирана да осигури електрическото захранване на старият електрон – позитронен колайдер. За въвеждането в експлоатация на новия голям адронен колайдер са извършени незначителни изменения. Цялата мрежа се управлява от диспечерски център. Натрупаната огромна база данни за работата на разпределителната система дава възможност за разработване на сложни инженерни симулации. В процес на проектиране е нов по-голям ускорител. За неговото електрозахранване се предвижда цялостна рехабилитация на всички нива на напрежение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] “Description of CERN Electrical Network“, G. Gumer, J. Pedersen, CERN, 2005;
[2] „Power distribution, signal cabling and optical fibre installation“, CERN, 2004;
[3] „Disturbances and power quality of the 18 KV CERN electrical network and the 400/230 V UPS distribution system for LHC“, K. Kahle, CERN, 2003;

Автори: доц. Андрей Крумов, доц. Александър Овчаров, гл. ас. Десислав Тодоров, инж. Мирослав Атанасов – дипломант към катедра „Електроенергетика“

ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЧАСТ НА ITER

Десислав Тодоров, Иван Пандъков, Андрей Крумов, Александър Овчаров

Резюме. Международният Експериментален Термоядрен Реактор ITER е първата стъпка към внедряването на ядрения синтез в производството на електрическа енергия. ITER е реактор, с магнитно задържане на плазмата, тип токамак. В настоящата статия е разгледана електрическата част на ITER.

ITER ELECTRIC POWER SUPPLY

Desislav Todorov, Ivan Pandakov, Andrej Krumov, Aleksander Ovcharov

Abstract. International Thermonuclear Experimental Reactor ITER is the first step towards the deployment of nuclear fusion to electric power industry. ITER is tokamak fusion reactor with plasma magnetic confinement. This paper describes ITER electric power supply.

Перспективите за внедряването на термоядрения синтез, като енергиен източник са огромни. Очаква се електроенергия, произведена от термоядрени реактори да осигури 20% от енергията, която ще се произвежда през 2100 г. [1],[2],[3]. Процесът на синтез осигурява сигурен и дълготраен източник на енергия с важни предимства:

- Няма производство на газове, предизвикващи „парников ефект”. Продуктът от реакцията е хелий, който е инертен газ;
- Няма радиоактивни отпадъци(всички продукти на реакцията ще се рециклират за период не повече от 100 години);
- Гарантира се безопасната експлоатация;
- Първичният продукт, който се използва е почти неизчерпаем;
- Ефективен метод за производство на енергия. Само 1кг от термоядреното гориво се равнява на 10 000 000 кг от конвенционалните горива;
- По предварителни изчисления, цената на произведената електроенергия, ще е сравнима с тази от природните горива, възобновяемите източници и ядрения разпад.

Международният експериментален термоядрен реактор ITER ще развие технологията за продължителен термоядрен горивен цикъл и извличането на топлинна енергия за промишлени цели.

Таблица 1

Напрежение	400kV
Максимална консумирана от системата активна мощност	$\pm 500\text{MW}$
Максимална консумирана от системата реактивна мощност	400MVar
Максимално скокообразно изменение на активната мощност	$\pm 60\text{MW}$
Скорост на нарастване на активната мощност	$\pm 200\text{MW/s}$
Мощност на к.с.	10-25GVA
Дължина на импулса	1000s
Период на повторение на импулсите	1800s
Брой импулси/ден при номинална работа	20
Брой импулси/месец при номинална работа	300

Характеристика на електрическата мрежа в района на ITER

ITER ще се разположи във Франция, в центъра на Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) в Cadarache. На това място вече има изграден токамак (Tore Supra), захранван от системата 400kV. Cadarache е разположен в добре електрифициран район (фигура 1) на около 5км от 400kV възлова подстанция в град Boutre. Тя се свързва, чрез двоен електропровод с дължина около 100км, с възлова подстанция в град Tavel, в долината Rhone. В тази подстанция мощността на късо съединение е една от най-високите в Европа, поради наличието на значителен брой ядрени централи[4].

Захранваща система на ITER

На Фигура 2 е показана предполагаемата характеристиката на мощността, за захранване на термоядрения реактор, на консумираната от системата. В таблица 1 са описани изискванията относно доставяната, за нормална работа на ITER, мощност. През 2001-2002г. Френския системен оператор изследва вероятното влияние на необходимите, за ITER активна и реактивна мощност, върху електропреносните пръстени 400kV и 230kV. Изследването включва кратък анализ на смущенията, произведени от импулсната работа на ITER, върху преносната електрическа мрежа и автоматичните регулатори на напрежение в централите и подстанциите. Заключение е, че необходимата за работата на ITER мощност е възможно да бъде доставена от Френската електропреносна мрежа. Условието, за присъединяване на ITER към електроенергийната система на Франция, е ограничаване на консумираната реактивна мощност до 180 MVar[4].

Разпределителна уредба 400 kV, на ITER, се свързва към електропреносния пръстен 400 kV посредством проходна връзка.

Електрическата мрежа на ITER се състои от две независими системи:

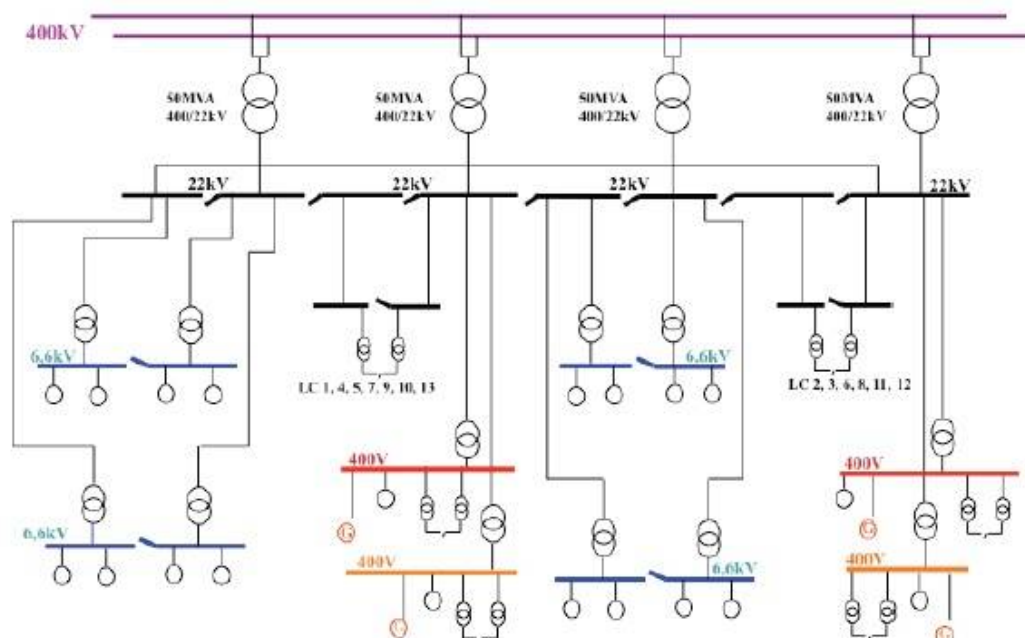
- Електрическа система за захранване на блокови и общостанционни товари - Steady-state Electrical Power Network(SSEPN);
- Електрическа система за захранване на импулсни товари - Pulsed-Power Supply System(PPSS);

Електрическа система за захранване на блокови и общостанционни товари

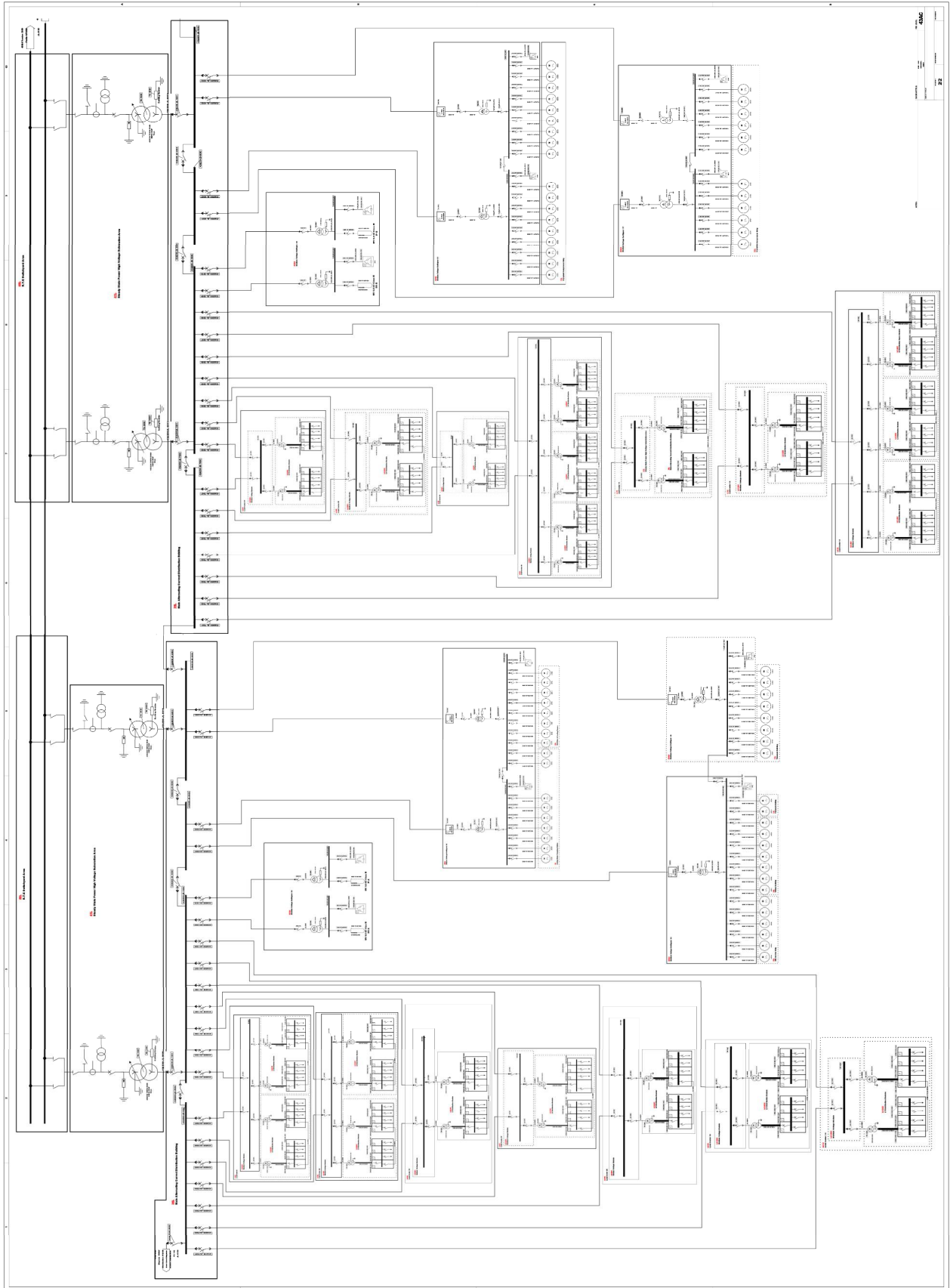
Електрическата разпределителна система за блокови и общостанционни товари осигурява захранване на потребители работещи с честота 50 Hz и напрежения 6,6 kV и 400V. Товарите са основно двигатели, като максималната консумирана мощност се предвижда да бъде 120MW. Водно-охладителните и криогенните системи съставляват заедно около 80% от общата консумация[6]. За захранване на системите за надеждност и безопасност са предвидени непрекъсваеми захранвания с продължителност на работа 10 минути и дизел генератори. На фигура 3 е показана структурната схема на системата, а на фигура 4 – принципната еднолинейна схема[7]. В таблица 2 са описани мощностите на основните товари, към система за захранване на блокови и общостанционни нужди[6].

Таблица 2

Система на Централата	Инсталирана мощност[MW]		Макс.консумирана мощност по време на работа с плазма [MW]
	Шини 400V	Шини 6,6kV	
Охлаждане с вода	16,2	53,0	56,0
Криоцентрала и криогенна разпределителна система	2,1	31,0	27,5
Тритиева централа и детритияция	6,2	2,8	9,0
Сгради, отопление и вентилация	17,5		
Други	13,0	3,2	15,0
Общо	55,0	90,0	120



Фиг. 3



Фиг. 4

Разпределителната уредба 400kV (фигура 4) е класическа, открита, с елегазови прекъсвачи и стандартна комутационна и измервателна апаратура. Във всички останали нива на напрежение се използват комплектни разпределителни уредби за първично електроразпределение, с въздушна изолация. Четири двунамотъчни трансформатора 400/22kV, с единична мощност 50(ONAN)/60(ONAF)MVA и схема на свързване YN/yn, са присъединени към двойна шинна система 400 kV, с еднократно свързване на присъединенията. На страна 400 kV неутралата е заземена директно, а на страна 22kV през голямо активно съпротивление.

Главната разпределителната уредба 22kV е с единична секционирана шинна система, с осем секции, организирана в затворен контур през секционни прекъсвачи. Силовите трансформатори 400/22kV са присъединени към секции № 2, 4, 6, 8. Схемата за захранване на уредби, с напрежение 22\6,6 kV и 22\0,4 kV, е радиална. Секции №1, 2, 5, 6 захранват уредби 22\0,4 kV. Към секции № 3 и 4 са присъединени уредби 22\6,6 kV захранващи мощни консуматори за охлаждане с вода, горещи басейни и охладителни кули, тритиева централа, потребители в сервизни сгради и токамак сграда. Към секции № 7 и 8 са присъединени уредби 22\6,6 kV, захранващи мощни консуматори за криогенната централа. Използваната апаратура е стандартна с изваждаеми прекъсвачи.

Разпределителни уредби за напрежение 22\6,6 kV са изпълнени без шинна система на страна 22kV, като шинната система на страна 6,6 kV е единична, секционирана през прекъсвачи. Всяка секция 6,6 kV се захранва от отделен трансформатор присъединен към различна секция 22 kV. Силовите трансформатори 22\6,6 kV са стандартно изпълнение, с мощност 30 MVA, схема на свързване D\yn. Неутралите им са заземени на страна 6,6 kV през голямо активно съпротивление. На страна 22 kV трансформаторите са присъединени през изваждаеми вакуумни прекъсвачи. За всяка секция е предвидено групово подобряване на фактора на мощността, като кондензаторните батерии са присъединени директно към шини 6,6 kV.

Разпределителните уредби 22\0,4 kV са изпълнени с шинни системи на двете нива напрежение. На страна 22 kV шинните системи са единични, с две кабелни присъединения от съседни секции на подстанция 400/22kV и 2, 4 или 6 трансформаторни присъединения. Шинните системи 0,4 kV са единични, секционирани. В различните подстанции има конфигурации от 2, 4 и 6 секции. Всяка двойка секции е независима. Всеки трансформатор е присъединен към отделна секция 0,4 kV. Трансформаторите се предвижда да бъдат сухи за закрит монтаж с мощности от 1, 1,6 и 2,5MVA.

Към секции №2 и №6 са присъединени 4 уредби 22\6,6 kV, за аварийно захранване. Силовите трансформатори 22\6,6 kV са стандартно изпълнение, с мощност 5 MVA, схема на свързване D\yn. Неутралите им са заземени на страна 6,6 kV през голямо активно съпротивление. Тези подстанции нямат шинни системи 22 kV . На ниво напрежение 6,6 kV шинните системи са единични, като към всяка е присъединена кондензаторна батерия, за регулиране на фактора на мощността.

Електрическа система за захранване на импулсни товари

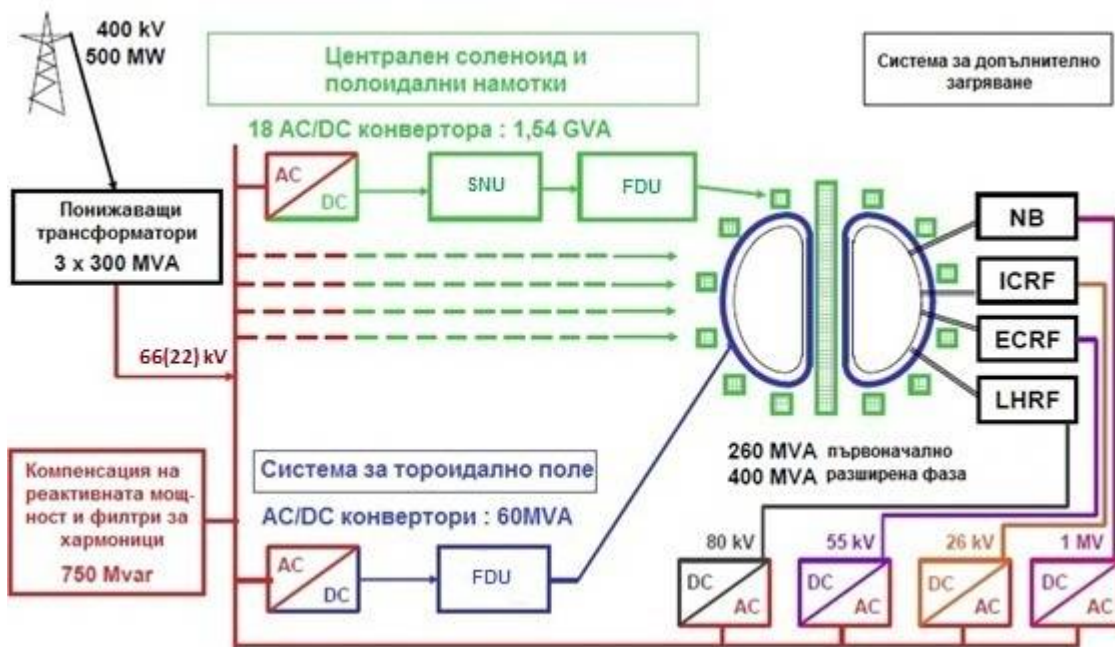
Електрическа система за захранване на импулсни товари изпълнява следните функции:

- Разпределение на импулсните мощности в система променливо напрежение;
- Захранване на електромагнитната система на токамака;
- Захранване на системите за загряване и стабилизация на плазмата;

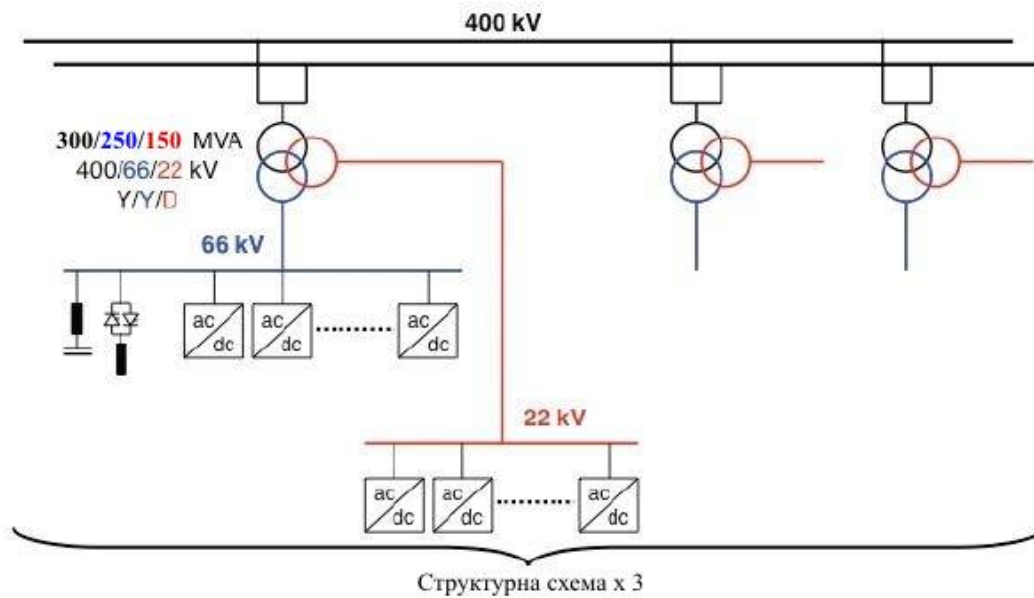
На фигура 5 са показани основните потребители в импулсната система на захранване. В таблица 3 са указани мощностите на присъединените типове товари.

Таблица 3

Подсистеми	Товар(MVA)
AC/DC конвертори за полоидални намотки	1540
AC/DC конвертори за тороидални намотки	60
Допълнителни системи за подгряване и индуциране на ток	260
∅ първоначална фаза(инжектирани 73MW)	400
∅ фаза на развитие(инжектирани 110MW)	
Общо	
– първоначална фаза	1860
– фаза на развитие	2000



Фиг. 5

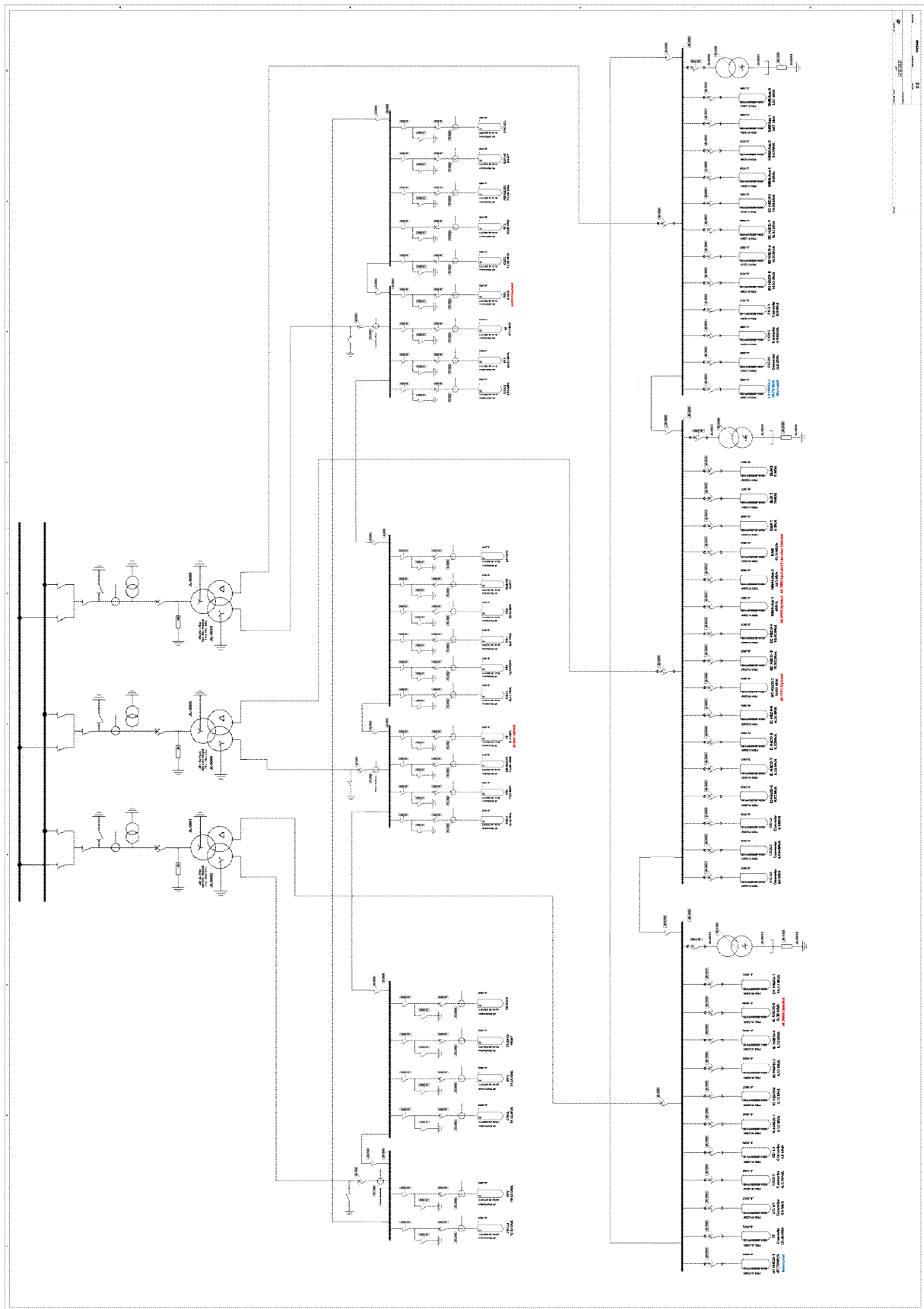


Фиг. 6

Разпределителна уредба 400kV (фигура 7), за захранване на импулсните товари, е продължение на уредба 400kV, към която са присъединени потребители за блокови и общостанционни нужди. Структурната схема е показана на фигура 6, а принципната на - фигура 7 [7]. Три тринамотъчни трансформатора 440/66/22 kV, с единична мощност 300/250/150 MVA, схема на свързване YN/yn-d, са присъединени към двойна шинна система 400 kV, с еднократно свързване на присъединенията. Заземяването на звездните центрове е ефективно на страна 400kV и 66kV, а в уредби 22kV е създаден изкуствен звезден център за всяка секция.

Разпределителната уредба 66 kV е класическа, открита с единична секционирана шинна система. Шинната система 66 kV е с 6 секции, свързани в затворен контур посредством разединители. Силовите трансформатори са присъединени към секции № 2, 4, и 6. Към разпределителна уредба 66 kV са присъединени мощните потребители – основната електромагнитна система на ITER и инжектор на неутрални частици. Към секции № 2, 4, и 6 са свързани филтри и мощни системи за подобряване фактора на мощността.

Разпределителната уредба на 22kV е комплектна, с единична секционирана шинна система, с въздушна изолация. Състои се от три секции, свързани в затворен контур посредством разединители. Всяка секция се захранва от намотки 22 kV на силовите трансформатори. Към тази уредба са присъединени потребители за високочестотно загряване и стабилизация на плазмата в тороида.



Фиг. 7

В процеса на търсене на информация авторите се запознаха с различни концепции за захранване на на ITER – от 242 кV мрежа[6], използване на силови трансформатори с разцепени намотки[7], две аварийни дизел-генераторни групи с единична мощност 7,5 MVA[7]. Развитие е претърпяла и структурата на електрическите системи на ITER.

Трябва да се обърне внимание на факта, че инсталираната мощност на преобразуватели за основните електромагнитни системи ще бъде 2000 MW, при потребявана от системата 500 MW.

Вариантите за изпълнение система за захранване на блокови и общостанционни товари на ITER, са класическо изпълнение и са взаимствани от схемите за захранване на собствените нужди на мощни термични централи. Към собствените нужди на международния експериментален термоядрен реактор са присъединени нови типове големи консуматори – криогенна централа, тритиева централа. В бъдещите термоядрени централи ще се появят нов тип мощни консуматори, изискващи отделна импулсна система за захранване.

Описаната принципна еднолинейна схема представлява редакция 0 на техническия проект.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] “Fusion-A clean future”, Fusion energy research at Culham Centre for Fusion Energy.
- [2] “Why fusion is needed”, http://www.ccfе.ac.uk/Why_fusion.aspx.
- [3] “The path to fusion power”, Chris Llewellyn Smith, Steve Cowley, Euratom/CCFE Fusion Association, Culham Science Centre, Abingdon, 2009.
- [4] “Power converters for ITER”, I. Benfatto, EFDA, Garching, Germany, 2007;
- [5] “Steady state electric power network (SSEPN)”, Charles Neumeier, First information vendor forum, Princeton 2006.
- [6] “Pulsed and Steady-State Power Supplies”, Plant Description Document, 2001.
- “Statement of Work (SOW) Cost Estimate for ITER Electrical Supply & Distribution [7] System”, Charles L. Neumeier, S. Schoen, F. Malinowski, D. Johnson, SOW 411-20091204-NEUMEYER-1 US ITER Doc. No. 14101-PD0001-R00, 2010.

Автори: доц. Андрей Крумов, доц. Александър Овчаров, гл. ас. Десислав Тодоров, инж. Иван Пандъков - дипломант към катедра „Електроенергетика“.

ПОВИШАВАНЕ НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНЕТО С КОГЕНЕРАЦИОНЕН АГРЕГАТ

Димитър Богданов

Резюме. При някои специални приложения, като например в болнични заведения, когенераторът може да бъде използван и като източник на резервно захранване. Конструктивно когенераторът работещ с природен газ има някои плюсове и минуси спрямо конвенционалните дизел-генераторни агрегати за резервно захранване и проектното решение следва да се базира на подробен техникоикономически анализ. Системата за управление и защита следва да бъде проектирана така, че да може да овладее процеса на преминаване “на остров” и да управлява системата за аварийно охлаждане на когенератора.

IMPROVING THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY WITH COGENERATION SET

Dimitar Bogdanov

Abstract. In some special applications – such as medical care buildings, the cogenerator can be used as source of emergency power supply. The construction of the cogenerator has some advantages and disadvantages in comparison with the conventional emergency diesel generators. The system for control and protection shall be designed in such way to be able to respond in the process of transition to “island mode operation” and to control the system for emergency cooling of the cogenerator.

1. Общи положения свързани с когенераторните агрегати

Когенераторите са подходяща алтернатива за намаляване на вредните емисии на база пълноценно оползотворяване на горивото. Постигането на висок коефициент на полезно действие /КПД/ (от порядъка на 90%) е на база максимално използване на топлината, която в типичния случай при използване на двигател с вътрешно горене /ДВГ/ за задвижване на превозно средство или за задвижване на генератор не се оползотворява. За приложения като двигатели на превозни транспортни средства КПД е от порядъка на максимум 25% за бензиновите и 35% за дизеловите ДВГ.

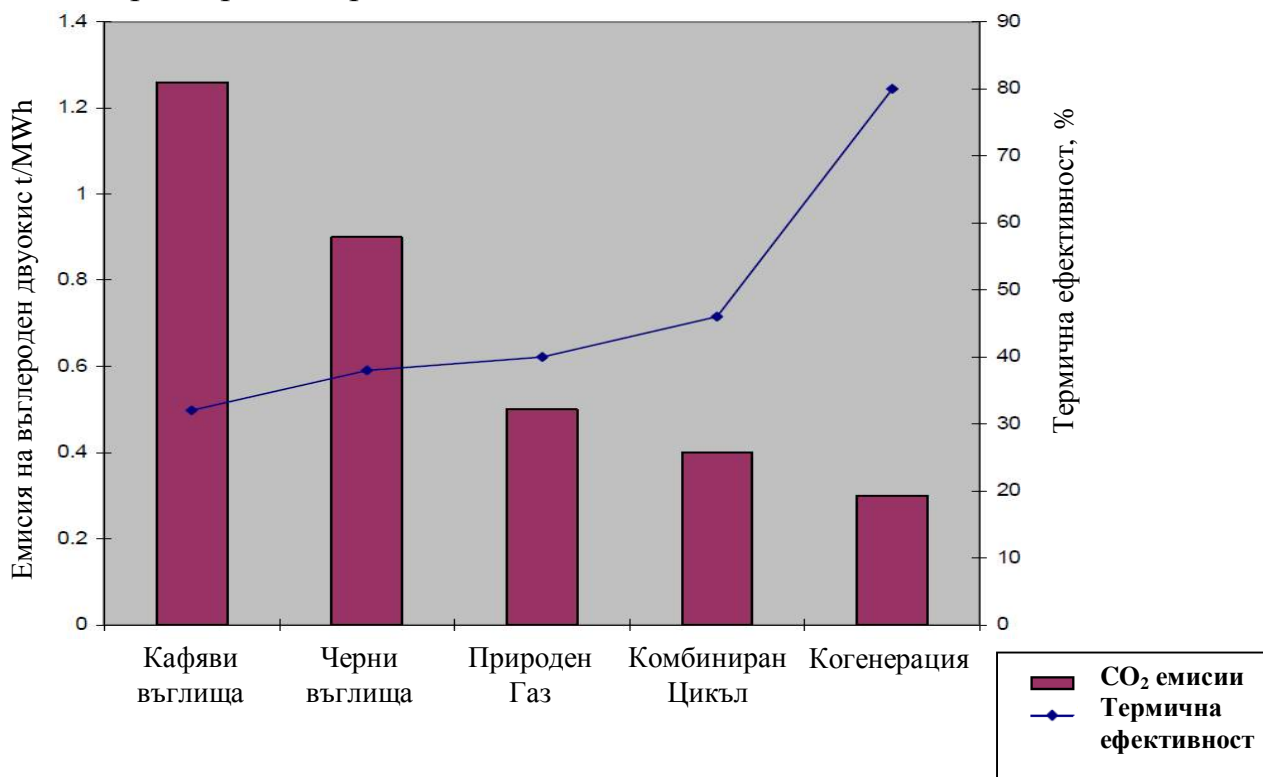
“Усвоената” при когенераторите топлинна енергия е от:

- Топлината от охладителната система на двигателя;
- Топлината на отработените газове;
- Топлината на смазващото масло;

Загубите от около 10% при когенераторите са в топлообменниците, необходимата разлика по налягане и температура за отвеждане на отработените газове, загуби от триене в лагерите на двигателя и генератора, захранване на собствените нужди и др. Те няма как да бъдат избегнати, но при прилагане на съвременните машиностроителни технологии и при използването на микропроцесорни системи за управление на агрегатите се ограничават до минимум.

Когенерационните системи се изграждат основно на база на ДВГ, пригодени за работа с природен газ и на база на газови турбини. Когенерационните системи дават възможност за оползотворяване на отпадни продукти от различни процеси: метан от депа за отпадъци, оползотворяване на отпадна дървесина, отпадъци от различни производства, утилизация на отпадни каучукови продукти и др. За малки и средни мощности е целесъобразно приложението на ДВГ като основен елемент на когенерационната система. За по-големи мощности се използват газови турбини, включително реактиви турбинни двигатели.

На фиг. 1 е представена съпоставка на ефективността на производство на електроенергия по различни технологии.



Фиг. 1

Когенераторът е целесъобразно да бъде инсталиран максимално близо до потребителя на топлинна енергия. Топлинната енергия може да бъде използвана под формата на топла вода за битови и промишлени цели, за локално отопление, както и за охлаждане посредством прилагане на абсорбционни охладители.

Възможността да се използват когенератори като източници на резервно захранване позволява да се реализира икономия на средства и да се подобри качеството на електроснабдяването на резервираните консуматори. При избор на когенераторен агрегат и формиране на проектното решение, следва да се вземат в предвид предимствата и недостатъци на когенераторните модули като източници на резервно захранване.

2. Предимства и недостатъци на когенераторните модули като източници на резервно захранване

Предимства

- Отпада необходимостта от резервоари за съхраняване на дизелово гориво. Повишава се независимостта на резервното захранване от доставки на гориво при евентуални затруднения поради лоши метеорологични условия.
- Времето за пускане на когенератор е по-малко. Ако в момента на отпадане на захранването на потребителите от ЕЕС когенераторът е в работен режим, преминаването на резервно захранване може да стане без прекъсване на захранването или с по-малка токова пауза спрямо тази, която ще бъде налице при дизел генератор.
- Спестяват се представата за изграждане на дизел генератор.
-

Недостатъци

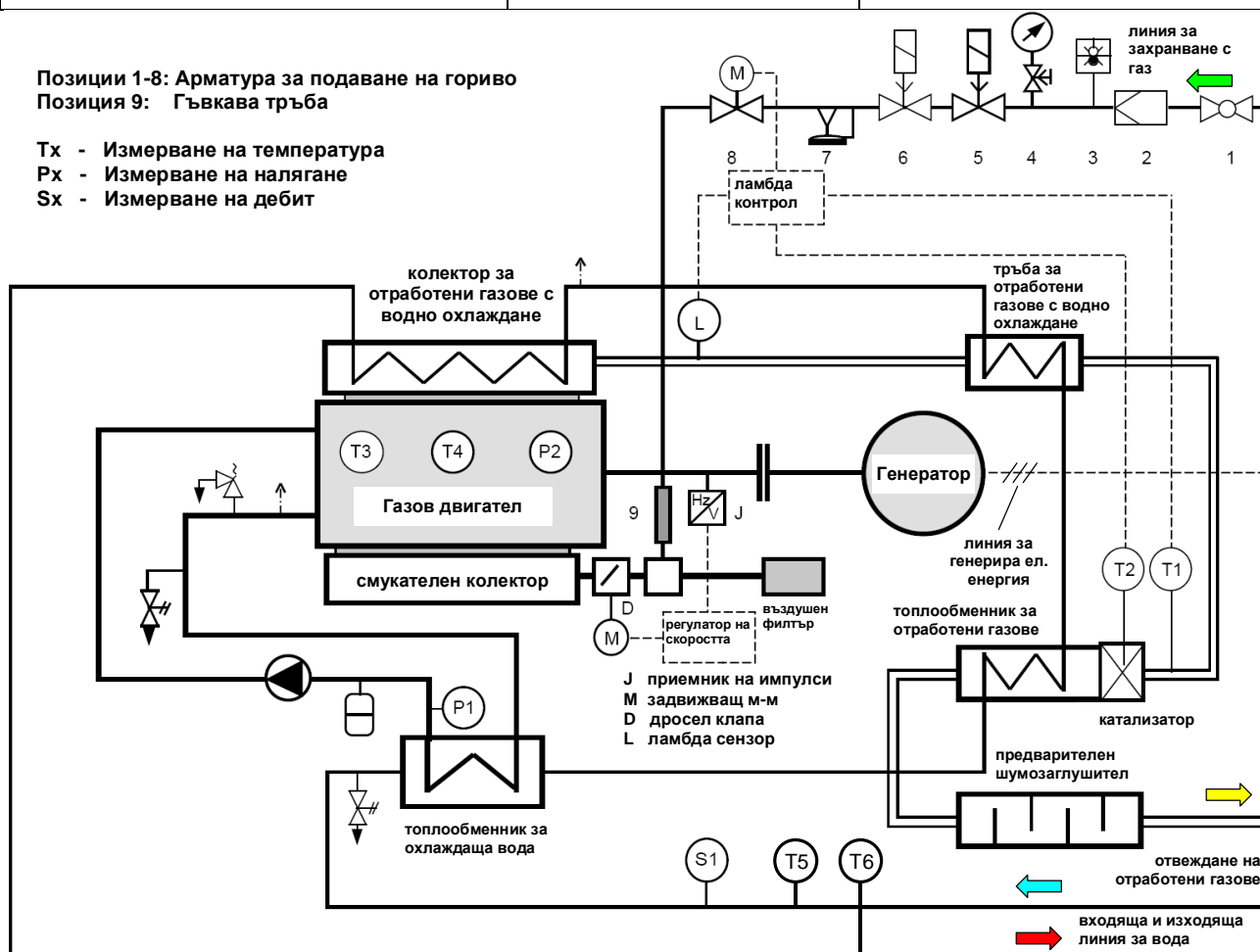
- Двигателят за задвижване на генератора в типичния случай е четиритактов бензинов тип, адаптиран за работа с природен газ. Конструктивно двигателят е по-сложен от дизеловия двигател и изисква по-прецизна поддръжка. Наличието на запалителна система, със свещ за всеки цилиндър увеличава вероятността от възникване на повреди спрямо дизелов двигател.
- След кризата с доставките на природен газ в България от началото на 2008г. става ясно, че може да възникнат ситуации на невъзможност за гарантиране сигурността на доставките на гориво (природен газ). С оглед на високата себестойност на инсталации за локално поддържане на запас от резервни количества природен газ, може да се окаже икономически нецелесъобразно да се възлагат функции за резервиране на захранването на база на когенератор с природен газ. Възможностите за използване на двигатели с комбинирана горивоподаваща система на природен газ и бензин са ограничени и свързани с технологичен риск.
- Като цяло поддръжката на един съвременен тип когенератор е значително по-сложна от един дизел генератор за резервно захранване на конвенционални обекти (не се прави съпоставка със специални дизел генератори за аварийно захранване, като например тези използвани в АЕЦ).

За да бъдат правилно оценени качествата на когенераторите, следва да се анализират техните технологични възможности и допустими режими на работа, в комбинация със съответните ограничения за всеки режим. В табл. 1 са представени възможните режими на работа на когенераторен агрегат.

Посочените в табл. 1 общи случаи на режими на работа на когенераторната инсталация подлежат на дефиниране със стойности за всеки конкретен тип когенератор.

Табл. 1

Режими:	Генерирана топлина	Генерирана електроенергия
<u>Нормален режим на работа</u> Когенераторът работи в паралел с ЕЕС.	Топлината се подава към потребителя на топлинна енергия.	Когенераторът захранва обекта, като ЕЕС изравнява баланса на ел. енергията.
<u>Аварийен режим на работа</u> Отпада захранването от ЕЕС. Има потребление на топлинна енергия.	Топлината се подава към потребителя на топлинна енергия.	Когенераторът осигурява електроенергия за обекта като източник на резервно захранване.
<u>Аварийен режим на работа</u> Отпада захранването от ЕЕС. Няма потребление на топлинна енергия.	Топлината се отделя към околната среда посредством системата за аварийно охлаждане.	Когенераторът осигурява електроенергия за обекта като източник на резервно захранване.



Фиг. 2

Изборът на конкретен тип когенератор следва да се направи на база на очакваната консумация на топлинна енергия и да се изчисли и групира

подходяща мощност на консуматорите, които ще бъдат захранвани в аварийен режим на работа.

3. Резултати от реализиран проект с когенератор

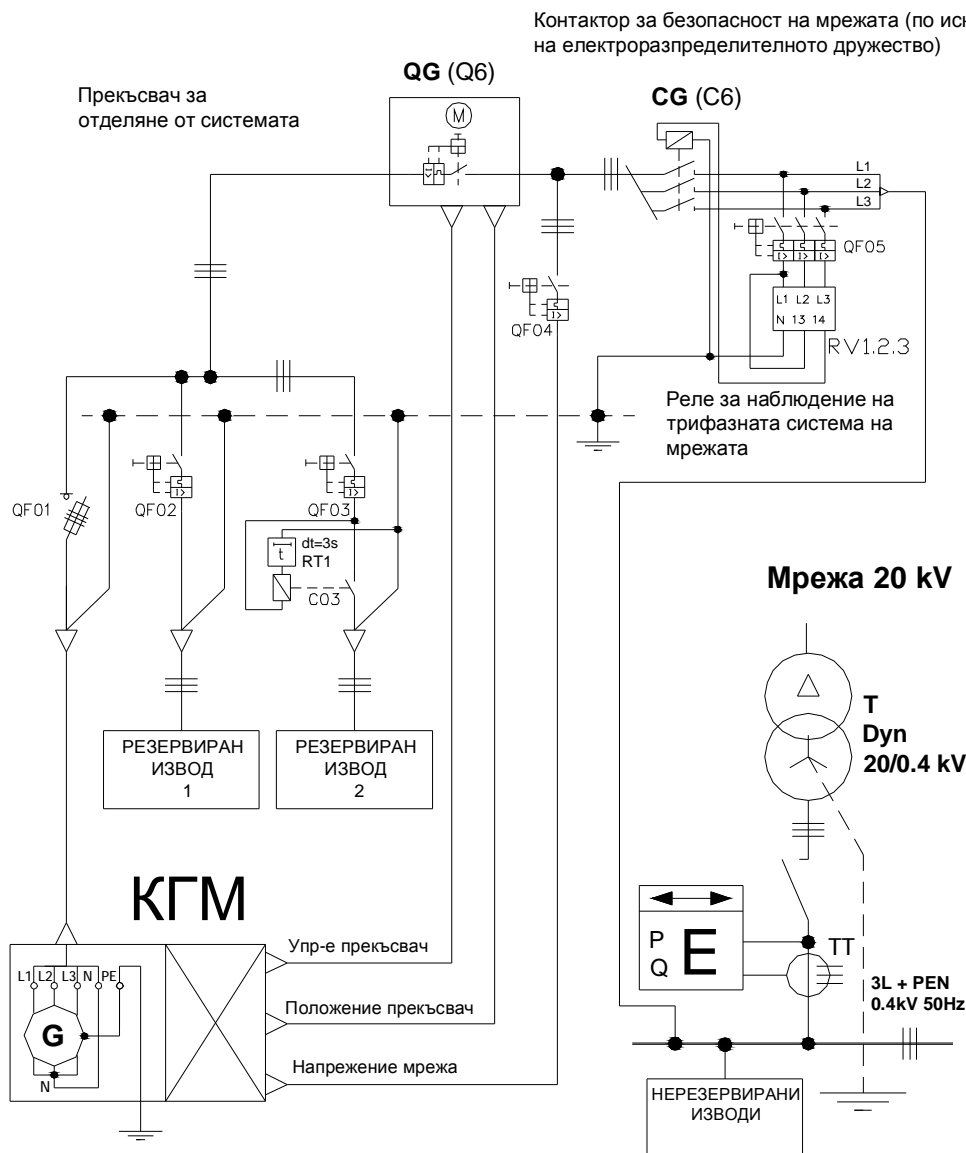
Способността за производство на ел. енергия при отпадане на захранване от ЕЕС и при условие, че няма потребление на топлинна енергия се определя от капацитета на системата за аварийно охлаждане на когенератора. В случай на работа на когенератора “на остров”, ако системата за аварийно охлаждане може да осигури на 100% нормалния термичен режим на двигателя, то могат да бъдат резервирани потребители със сумарна мощност равна на номиналната на когенератора. На фиг. 2 е представена в схематичен вид технологичната схема на когенераторна инсталация. Тази схема представя в общ вид технологичната схема на когенератора и някои основни контролирани параметри. За конкретния реализиран проект охладителния контур на двигателя е запълнен не с вода, а с антифриз. Антифризът циркулира в затворен кръг, към който е свързан разширителен съд и посредством топлообменници се подгръва водата, която се подава като гореща вода за битови цели към обекта. Във водния кръг на подгрятата вода е предвидена рецикулация и буферен обем от 10 m³ вода за да се удължат интервалите между отделните стартове на когенератора, при непостоянна и неравномерна консумация на топла вода.

На фиг. 3 е представена схемата за свързване на когенератора към мрежа 0.4 kV. Схемата е изпълнена за резервиране на захранването на многопрофилна болница за активно лечение. Поради особеностите на обекта, разстоянието от площадката за монтаж на когенератора до основния корпус на болницата и някои други субективни фактори за реализация на проекта, когенераторната инсталация осигурява резервно захранване с електроенергия на няколко обособени в отделни сгради отделения на болницата: хемодиализа, хематология и др. За подобряване на пусковия режим на когенератора натоварването се изпълнява на две стъпала. Стъпаловидното натоварване става при отпадане на мрежовото захранване и последващо пускане на когенератора. Ако когенераторът е работил в момента на отпадане на мрежата, то консуматорите оставащи да работят “на остров” директно се поемат от него.

Икономическият ефект подлежи на оценка. Предварителните изчисления показват един добър срок на откупуване на инвестицията, като същевременно се подобряват значително санитарно-битовите условия в захранвания с топла вода за битови цели обект. С топла вода от когенератора на практика се захранва цялата болница. До монтажа на когенератора с цел икономии на средства, за осигуряване на топла в неотоплителния сезон през деня е пускан водогреен котел за по няколко часа. В условията на такъв своеобразен “режим” на топлата вода не се постига комфорт за персонала и пациентите на болничното заведение.

По отношение на надеждността на захранването ефектът е много добър, тъй като случаите на отпадане на външното захранване не са рядкост.

Съществуващите на територията на болницата няколко дизелови агрегата са без възможност за автоматично пускане и няма система за АВР. Това създава сериозни затруднения за персонала при отпадане на външното захранване.



Фиг. 3

Параметри на монтирания когенератор

Компактен когенерационен модул със синхронен генератор за 400/231 V (AC), 50 Hz и подгряване на вода до 90/70°C. Емисии с 50% по-ниски от Германския стандарт /German emission standard TA-Luft 2002/:

- Нетна електрическа мощност: 104 kW с възможност за 10% претоварване, $\cos \varphi$ 0,8;
- Топлинна мощност (5% толеранс.): 156 kW 148 kW;
- Консумация на газ (5% толеранс.): 290 kW 263 kW;
- Двигател тип MAN E 2876 E 312, 4 тактов, 6 цилиндри;
- Работен обем 12,82 dm³;
- Номинални обороти 1500 min⁻¹;
- Степен на съгъстяване 12 : 1;

- ISO стандартна стойност по DIN 6271 150 kW;
- Пусков електродвигател (Стартер) 24 V; 6,5 kW;
- Система за запалване с микропроцесорно управление и отделни бобини за всеки цилиндър;
- Линия за подаване на газ с DVGW-VP 109, комплектувана с арматура за регулиране и безопасност;
- Катализатор за намаляване на вредните емисии в съответствие с TA-Luft (2002), триходов с 2 “лямбда” сензор за ниско съдържание на пепел. Стойностите на емисиите след катализатора (като нов) се отнасят за 5 % O₂ в отработените газове при номинална мощност;
- NO_x емисии < 125 mg/Nm³;
- CO емисия < 150 mg/Nm³;
- Заглушител за отработени газове от рефлекторно-абсорбиращ тип;
- Генератор от неявнополусен тип, въздушно охлаждане, IP 23, тип V3/V5, по VDE 0530, клас на подтискане N. Синхронният генератор е с интегрирана възбудителна намотка, демпферен контур и компаундиране, безчетков тип, двуслойна намотка, конструкция с ниско ниво на хармоници, клас на изолация H.

Следва да се има в предвид, че важна предпоставка за нормална работа на когенератора в режим “на остров” е да бъде осигурен симетричен товар – балансирано разпределяне на натоварването по фазите.

Получените до момента резултати дават основание за положителна перспектива за прилагането на когенерационни агрегати. За конкретния обект бе постигнато сериозно подобряване на битовите условия и повишаване на надеждността на захранването. Независимо от добрите резултати по отношение повишаване на надеждността на захранването, на обекта бяха запазени съществуващите агрегати за резервно захранване. Кризата с доставки на газ от началото на 2008 г. (преди пускане в експлоатация на когенератора) наложи спешното пренастройване на котлите за отопление от газ на мазут, като същевременно се създадоха условия за претоварване на ел. инсталациите поради големи брой включени отоплителни уреди.

4. Изводи

При използването на когенератори за резервно захранване следва производителите им да гарантират приложимостта им именно като такива и съответствието на стандартите за аварийно електрозахранване. Степента на резервиране на системата следва да бъде повишена спрямо когенератор за производство на електроенергия и топлинна енергия.

С цел подобряване на топлинния режим и предотвратяване на прекалено чести пускани и спирания на когенератора, следва да се предвиди подходящ буферен обем, за междинно “натрупване” на топла вода. Хистерезисът на режима на пускане и спиране трябва да се подбере с подходящи прагови нива за осигуряване на топла вода с подходящи параметри.

Реализираният в България проект с когенератор на фирмата Sokratherm – Германия, тип GG 104 S ME VDE, с газов двигател на MAN и трифазен синхронен генератор на MARELLI е пример за успешно внедряване на технологията с когенерация. Ефективността на когенерационния модул е над 90 % по отношение на консумирания природен газ, като консумацията на горива е с над 30% по-ниска спрямо една голяма ТЕЦ. Постигнатата икономия на гориво спрямо използваните до монтажа на когенератора водогреен котел е значителна.

Същевременно когенерационната инсталация спомага за намаляването на вредните емисии с над 20 % за NOx и почти 60 % за CO2. Това за обекта се равнява на приблизително 1000 t CO2. за целогодишна работа при непрекъснат режим.

Възможността за работа на “остров” е използвана за осигуряване на резервно хранване на част от обекта хранван с гореща вода за битови цели от когенератора. Това позволява да не се създават критични ситуации свързани с пускане и свързване на дизел генератори за резервно хранване и необходимостта от безтокови паузи за важни потребители.

Целесъобразно е където има вече изградени дизел – генераторни агрегати за резервно хранване, те да бъдат поддържани в готовност с цел използването им при евентуални проблеми с доставките на природен газ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] SOKRATHERM - <http://www.sokratherm.de>. Фирмена информация за оборудване.
- [2] Cogeneration – high efficiency and energy quality. Guascor project presentation.
- [3] Cogenerator – an opportunity to control and reduce energy costs by investing in highly efficient energy generation.
- [4] United Nations Environment Program (UNEP). Energy technology fact sheet. Cogeneration.
- [5] Информация от сайта на Sokratherm - <http://www.sokratherm.com>.
- [6] Cogenerator – an opportunity to control and reduce energy costs by investing in highly efficient energy generation.
- [7] Богданов, Д. Teleperm XS система за управление и защита на ДГ агрегат. Енергетика, бр.1/2005.
- [8] Богданов, Д. Повишаване надеждността на дизел-генераторните агрегати за аварийно хранване на блокове 5 и 6 на АЕЦ “Козлодуй” Енергетика, бр.8/2004.
- [9] Работен проект: “Пълен инженеринг на инсталация за комбинирано производство на топлинна и електрическа енергия с инсталирана мощност до 300 kW и ефективност на използване на енергията на горивото над 80%” реализиран с когенерационен модул Sokratherm – GG 104 S ME VDE с газов двигател MAN, проектант по част електрическа инж. Д. Богданов, 2009.

Автор: инж. д-р Димитър Богданов – гл. ас. в кат. „Електроенергетика”

ЛЯТНОТО ЧАСОВО ВРЕМЕ

Методи Димитров, Радослав Кючуков

Резюме: Лятното часово време е въпрос, който поражда много спорове. Прилагането му се обяснява с по-доброто използване на светлата част на деня, но все пак няма единодушно мнение дали то е ефективно или не. Текущата работа изследва този въпрос, като проследява няколко енергийно-икономически показателя на изкуственото осветление по време на летните месеци, когато времето е било приложено. Изследвани са следните показатели: а) относителна използваемост на изкуственото осветление; б) относителна среднопртеглената цена на електрическата енергия за осветление; с) относителен годишен усреднен разход на електрическа енергия в стойностно изражение за 1 kW електрически осветителен товар

DAYLIGHT SAVING TIME

Metodi Dimitrov, Radoslav Kyuchukov

Abstract: Applying the Summer time (Daylight Saving Time) is question that has given rise to much controversy. As far as it is applied for better usage of light part of the day, interest present variation of energy-economical indices of artificial lightning during the months when summer time is been applied. The following relative indices are been researched: a) relative year usage of artificial lightning; b) relative expense of electrical energy for 1 kW electrical lightning charge when summer time is been applied; c) relative average annual price of electrical lightning energy – comparison between summer time and zonal time system is been made. The research is made for typical values of critical day lightning in geographic points over Bulgaria.

1. Въведение

Лятното часово време (Daylight Saving Time (DST); Summer time (ST)) вече има над двувековна история, свързана с противоречиви мнения - от пълното абсолютизиране, през сдържаната трезва и обективна оценка, до пълно отрицание. Въвеждането на лятното часово време най-често се мотивира с реализирането на икономия на електрическа енергия с цел по-доброто използване на дневната естествена светлина (Daylight).

В настоящата работа се разглежда въпросът за целесъобразността и ефективността от въвеждането на лятно часово време в условията на България. Предвид това, че въвеждането на лятното часово време се базира на приемането за по-добро използване на дневната естествена светлина, се изследват

енергийно-икономически индикатори на изкуственото осветление в условията прилагане двата вида часово време - поясно и лятно. Това ще позволи да се формулира националноотговорна позиция по отношение на тази традиционна мярка, която е обаче със спорна енергийна ефективност.

Целта на настоящата работа е да се направи комплексен енергийно-икономически анализ на енергетиката на изкуственото и естественото осветление в условията на двете системи часово време – поясно и лятно – в условията на Република България.

2. Изложение

В [6] е представен метод за оценка на ефективността от въвеждане на лятно часово време. Методът е алгоритмизиран и програмно реализиран като специализиран софтуерен продукт “DELTA LPV”. Настоящото изследване се провежда при зададени следните условия: **1.** Обхваща четири представителни пунктове - големи градове, разположени в южните и северните райони на страната, в т.ч. столицата София. За тях се задават модели на усреднени месечни криви на изменение на дневната естествена осветеност $E = f(N, t)$, където N е съответният месец от годината, t – часът от денонощието [7, 8, 9,10,11]. **2.** Отчита се разликата Δt между пояското и местното часово време на пункта. **3.** Задава се броят на работните дни за всеки месец от изследвания период, който обхваща седем месеца от годината, за които е прието въвеждане на лятно часово време (месеци IV...X). **4.** Прилагат се действащите тарифни условия и актуалните цени на електрическата енергия за всеки пункт (дневна, нощна и върхова, за съответното електроразпределително дружество). **5.** Задават се характерни режими на работното време (сменност, начало и край на работното време). **6.** Задават се стойности на критичната естествена осветеност в интервала от 1 klx до 25 klx със стъпка 2 klx [7,8].

Пресмятат се следните енергийно-икономически показатели [6,7,8, 9,10]:

а) изменение (разлика) на *използваемостта на изкуственото осветление* при въвеждане на лятно часово време $\Delta T_i, h$: $\Delta T_i = T_i^{(л)} - T_i^{(п)}$, където $T_i^{(п)}$ е стойността на годишната използваемост на изкуственото осветление при приложение на система поясно часово време, h , а $T_i^{(л)}$ е стойността на годишната използваемост на изкуственото осветление при приложение на система лятно часово време, h . За установяване на структурата на електропотреблението по тарифните зони, отделно се дава за разликата в използваемостта на дневна, нощна и върхова електрическа енергия $\Delta T_{зона}, h$.

б) изменение (разлика) на *годишният усреднен разход на електрическа енергия в стойностно изражение за 1 kW електрически осветителен товар* при въвеждане на лятно часово време $\Delta c_i, \text{ лв./kW}$: $\Delta c_i = c_i^{(л)} - c_i^{(п)}$, където $c_i^{(п)}$ е стойността на показателя годишен разход на електрическа енергия в стойностно изражение за 1 kW електрически осветителен товар при приложение на система поясно часово време, лв./kW, а $c_i^{(л)}$ е стойността на показателя годишен разход на електрическа енергия в стойностно изражение за

1 kW електрически осветителен товар при приложение на система лятно часово време, лв./kWh.

с) изменение (разлика) на *среднопретеглената цена на електрическата енергия за осветление* при въвеждане на лятно часово време $\Delta\beta_{срi}$, лв./kWh: $\Delta\beta_{срi} = \beta_{срi}^{(л)} - \beta_{срi}^{(п)}$, където $\beta_{срi}^{(п)}$ е стойността на среднопретеглената цена на електрическата енергия за осветление при приложение на система поясно часово време, лв./kWh, а $\beta_{срi}^{(л)}$ е стойността на среднопретеглената цена на електрическата енергия за осветление при приложение на система лятно часово време, лв./kWh.

Гореописаните показатели се определят в именовани и в относителни единици (в %, отнесено спрямо стойността на съответният показател при поясно време) [6].

С приложение на собствения специализиран софтуер "DELTA LPV" са изведени стойностите на цитираните по-горе три показателя за често прилагани режими на работното време в едносменни (06:00 h...15:00 h, 07:00 h...16:00 h, 08:00 h...17:00 h, 09:00 h...18:00 h), двусменни (06:00 h...22:00) и трисменни (00:00 h...24:00) дейности. Получените резултати се отнасят за гореописаните четири представителни географски пункта (Благоевград, София, Русе и Варна). За провеждане на анализ на резултатите, стойностите на горните показатели са пресметнати поотделно в три разреза в рамките на работното време: а) за цялото работно време, разположено преди и след 12:00 h; б) през първата половина на деня - от началото на работния ден до 12:00 h; в) през втората половина на деня - от 12:00 h до края на работния ден. Така оценката на ефекта от въвеждане на лятното часово време, в сравнение с прилагане на поясно време се детайлизира.

В таблица 1 е представена обобщена информация за изменение на стойностите на енергийно-икономически показатели на изкуственото осветление при въвеждане на лятно часово време, в сравнение със случая на прилагане на поясно време. Тя е изведена на базата на анализ на 108 диаграми получени в резултат на изследванети на гореизложените показатели. В таблицата графично е показан ефекта от въвеждането на лятното часово време. Използвани са три графични знака. Там където има увеличение на показателя (ΔT , ΔC , $\Delta \beta$) при въвеждане на лятно часово време е използвана зелена стрелка, там където има намаление на показателя е използвана червена стрелка, а там където няма изменение показателя е използван жълт успоредник. В някои случаи за едно и също работно време при различна критична осветеност използваемостта се променя. Тези изменения са показани в дясната част на таблицата, като за всеки от четирите изследвани града (Благоевград, София, Русе и Варна) е записана критичната осветеност, при която настъпва промяна в алгебричната стойност на показателя.

Таблица 1

Обобщена информация за изменението на стойностите на енергийно-икономическите показатели на изкуственото осветление при въвеждане на лятно часово време, в сравнение със случая на прилагане на поясно време. В дясно на таблицата са показани стойностите на Екр, при които настъпва изменение на алгебричната стойност на показателя (увеличение, намеление или без изменение), съответно за градовете: Благоевград, София, Русе и Варна

Сменност	Обхват на работното време, h	ΔT, h	ΔT, %	Δс, l/kWh	Δс, %	Δβ, l/kWh	Δβ, %	Наст. изм. на ΔT, h и ΔT, % за град: Б, С, Р, В	Наст. изм. на Δс, l/kWh и Δс, % за град: Б, С, Р, В	Наст. изм. на Δβ, l/kWh и Δβ, % за град: Б, С, Р, В	
											3
1	2							9			
Едносменно	06:00-15:00	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
	07:00-16:00	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
	08:00-17:00	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
	09:00-18:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼			8, 8, 8, 8	
Двусменно	06:00-22:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼	9, 9, 11, 11	6, 6, 6, 6	6, 6, 6, 6	
Трисменно	00:00-24:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼	8, 8, 10, 8	8, 8, 10, 8	8, 8, 10, 8	
Данни за: преди обяд (до 12:00 h)											
Режим на работното време											
Сменност	Обхват на работното време, h	ΔT, h	ΔT, %	Δс, l/kWh	Δс, %	Δβ, l/kWh	Δβ, %	Показател			
								Наст. изм. на ΔT, h и ΔT, % за град: Б, С, Р, В	Наст. изм. на Δс, l/kWh и Δс, % за град: Б, С, Р, В	Наст. изм. на Δβ, l/kWh и Δβ, % за град: Б, С, Р, В	Наст. изм. на Екр, klx
1	2							9			
Едносменно	06:00-15:00	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
	07:00-16:00	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
	08:00-17:00	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
	09:00-18:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼	9, 7, 9, 9	9, 7, 9, 9	9, 7, 9, 9	
Двусменно	06:00-22:00	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
Трисменно	00:00-24:00	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
Данни за: след обяд (след 12:00 h)											
Режим на работното време											
Сменност	Обхват на работното време, h	ΔT, h	ΔT, %	Δс, l/kWh	Δс, %	Δβ, l/kWh	Δβ, %	Показател			
								Наст. изм. на ΔT, h и ΔT, % за град: Б, С, Р, В	Наст. изм. на Δс, l/kWh и Δс, % за град: Б, С, Р, В	Наст. изм. на Δβ, l/kWh и Δβ, % за град: Б, С, Р, В	Наст. изм. на Екр, klx
1	2							9			
Едносменно	06:00-15:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼	-, -, 23, 21	-, -, 23, 21	-, -, 23, 21	
	07:00-16:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼	15, 13, 13, 11	15, 13, 13, 11	15, 13, 13, 11	
	08:00-17:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼	5, 7, 5, 3	5, 7, 5, 3	5, 7, 5, 3	
	09:00-18:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼				
Двусменно	06:00-22:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼				
Трисменно	00:00-24:00	▼	▼	▼	▼	▼	▼				
Означения											
▲ Увеличение на показателя при въвеждане на лятно време (положителна стойност)											
▼ Намаление на показателя при въвеждане лятно време (отрицателна стойност)											
◊ Без изменение на показателя при въвеждане на лятно часово време (стойност нула)											

4. Заключение

Анализът на получените резултати позволява да се направят следните констатации:

1. Въвеждането на лятно часово време в изследвани характерни режими на работното време води до увеличаване на използваемостта и на разходите за заплащане на електрическата енергия в едносменни предприятия (с изключение за работно време 09:00-18:00 h). За двусменни предприятия има известно намаление, но само за ниски стойности на критичната осветеност. В трисменни предприятия използваемостта остава без изменение, а разходите за заплащане на електрическата енергия са по-малки, но само за ниски стойности на Екр.

2. Повишените стойности на показателите ΔT , ΔC , $\Delta \beta$ при лятно в сравнение с поясно време се получават основно за сметка на увеличението на използваемостта на осветителните уредби през върховата тарифна зона ($\Delta_{\text{Твърхова}}$).

3. Повишените стойности на показателите ΔT , ΔC , $\Delta \beta$ се получават само през частта от работното време до 12:00 h.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Franklin's, B. Essay on Daylight Saving. Letter to the Editor of the Journal of Paris, 1784
- [2] William Willett's pamphlet. The Waste of Daylight. Sloane Square, London, July, 1907
- [3] Столяров, Ю. К. Об изменении счета времени. Электрические станции, 1981, № 2
- [4] Кючуков, Р. Определяне на годишната използваемост и разхода на електрическа енергия за изкуствено осветление, Енергетика, 1984, №7
- [5] Кючуков, Р. Ст. Стефанов. Електроснабдяване на селскостопанските предприятия, Русе, 1986
- [6] Кючуков, Р., М. Димитров. Метод за количествена оценка на ефекта от въвеждането на лятно часово време, РУ "Ангел Кънчев", Русе, 2007
- [7] Кючуков, Р. Дневно естествено осветление. Русенски университет "Ангел Кънчев", 2003
- [8] Кючуков, Р. Нормиране на разхода на електрическа енергия на осветителни уредби. Русенски университет "Ангел Кънчев", 2003
- [9] Петков, П., Р. Кючуков. Към въпроса за определяне на енергийно-икономическите показатели на изкуственото осветление, Н. трудове на Русенския университет "Ангел Кънчев", том 41, Русе, 2004
- [10] Кючуков, Р., П. Петков. Енергийно-икономически показатели при обследване за енергийна часово време в осветителните уредби", Научни трудове на Русенския университет "Ангел Кънчев", Енергийна-ефективност на осветителни уредби. Енергиен форум 2006, Доклади том 2, Варна, 2006
- [11] Кючуков, Р., О. Петров. Метод и алгоритъм за автоматично степенно управление на осветителни уредби за смесено осветление. Сборник доклади,

XIII национална конференция с международно участие, Осветление '2007, Варна, 2007

[12] Кючуков, Р., М. Димитров, С. Басри. Изследване на енергийно-икономическите показатели на изкуственото осветление през периода на въвеждане на лятно часово време, Енергиен форум, Варна, 2008

Автори: ас. Методи Димитров, доц. Радослав Кючуков, Русенски университет „Ангел Кънчев”

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕТО И РЕЖИМА НА ПОТРЕБЛЕНИЕ НА ОБЕКТ В ОБЛАСТТА НА ТРАНСФУЗИОННАТА ХЕМАТОЛОГИЯ

Васил Господинов, Николай Матанов, Борислав Бойчев

***Резюме:** През последните години в сградите на множество заведения в системата на здравеопазване се извършват реконструкции на електроснабдителните им системи свързани с модернизиране или със смяната на предназначението им. При този процес възникват определени трудности свързани с липсата на всякаква документация по съществуващите системи, липса на информация по режимите на работа, несъобразяване със специфични изисквания на медицинската апаратура. В доклада са представени резултатите от проучването на електроснабдителна система и изследването на режимите на работа на обект свързано с трансфузионната хематология. Дадени са препоръки за нужна реконструкция и при бъдещо проектиране на подобни електроснабдителни системи.*

STUDY OF THE ELECTRICAL POWER SUPPLY AND THE REGIME OF WORK OF AN OBJECT IN THE AREA OF TRANSFUSION HEMATOLOGY

Vasil Gospodinov, Nikolay Matanov, Borislav Bojchev

***Abstract:** During the last few years some reconstructions in the electrical power supply systems have been made in order to modernize great number of buildings in the area of health or to change their function. In the process of work some problems occur due to lack of documentation about the current systems, lack of information about the regime of work and non-compliance with medical appliance requirements. The results of the research of the electrical power supply system and those of the transfusion hematology examination of a subject's regimes of work are introduced in the following report.*

Some recommendations for the reconstruction needed or for realizing similar future projects are given.

1. Въведение

Центровете по трансфузионната хематология имат най-общо следните функции: задоволяване нуждите на лечебните заведения от кръв и кръвни съставки; съхраняване на кръв и кръвни съставки за лечебните заведения; набиране на кръводарители; преработване на взетата кръв; съхранение, експедиция и дистрибуция на кръв и кръвни съставки; поддържане на резерв от кръвни продукти и т.н.

Годишник на ТУ-София, т. 60, кн. 1, 2010

Proceedings of the Technical University - Sofia, v. 60, book 1, 2010

В зависимост от технологичните процеси в сградите за трансфузионната хематология електроконсуматорите могат да се разпределят на няколко групи:

- общи консуматори – неспециализирано оборудване, компютри не пряко свързани с технологични установки, осветление и др.
- лабораторно оборудване, свързано с извършваните изследвания в центровете;
- специализирано оборудване – установки за преработка и съхранение на кръвни продукти; в основната си част специални хладилни съоръжения.

От гледна точка на сигурност на електроснабдяването, имайки предвид проучването направено заедно със специалистите в центъра и [3] се установява, че основните потребители са 0 и II категория.

В следващите точки ще се разгледат схеми и възникнали проблеми по време на експлоатация на съществуваща сграда за трансфузионната хематология, чиято електроснабдителна система на СрН и НН е модернизирани в близките години, но е била обикновено болнично заведение.

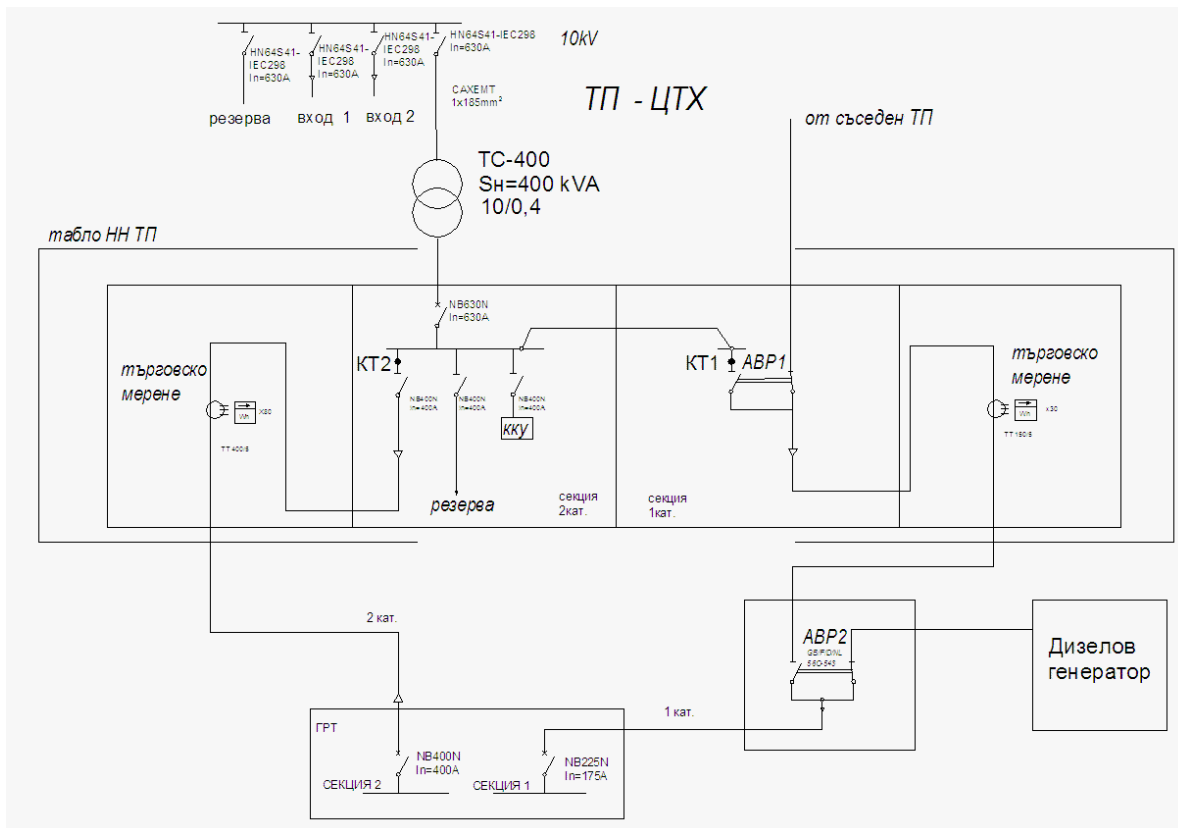
2. Електроснабдяване на обекта

Трансформаторния пост захранващ разглеждания център по трансфузионната хематология е в приземен етаж на сградата и е с обновено оборудване. Използвано е съвременна апаратура за средно напрежение и сух трансформатор 400kW, 10/0,4kV. Въпреки скорошната реконструкция няма документация и след проучване на място се установи следната еднолинейна схема – фиг.1.

Основното захранване идва от по кабелна линия от подстанция 110/10kV на местното разпределително предприятие. Като резервно захранване от вън се ползва линия на ниско напрежение (НН) от съседен трансформаторен пост (ТП). Като автономен източник на електроенергия за потребителите нулева категория е предвиден дизел-генератор.

Схемата на пръв поглед осигурява необходимото резервиране, но при обстоятелството проучване се установиха следните проблеми:

- трансформаторния пост на самия център и трансформаторния пост, от който идва резервната линия на ниско напрежение се захранват от едни и същи шини на подстанция на електроразпределителното дружество; това естествено означава, че не се осигуряват два реално независими източника на захранване
- мощността осигурявана по линията ниско напрежение не е достатъчна да захранва потребителите висока категория, т.е. той става практически ненужен;
- не всички потребители свързани към дизел-генератора са нулева категория, а част от тези с нулева не са към неговата система;
- не е рационално разпределението на консуматорите в инсталациите НН, между дежурните и работни шини на разпределителните табла.



Фиг. 1. Еднолинейна схема на съществуващото електрозахранване

Изброените слаби страни на съществуващата схема по отношение на сигурността са се потвърдили в процеса на експлоатация. Отпаднало е захранването на подстанцията 110/10kV на електроразпределителното дружество, при което й двете захранващи линии остават без напрежение. Дизел-генераторът се пуска, но поради промяна на товарите в сградата в сравнение с времето на монтажа му, се претоварва и изключва.

Установените недостатъци водят до изводите че е необходима нова схема и преустройство на трансформаторния пост на центъра по хематология с осигуряване два независими източника на захранване от разпределителната мрежа и преустройство на разпределителните табла и електроинсталациите на НН в сградата.

3. Товарови графици и качество на електроенергията на обекта

За изграждането на новата структура на ТП и избора на подходящи съоръжения е необходимо да се знаят изчислителните товари [2,5] на разглеждания обект, действителните показатели на електрическата енергия в точката на общо присъединяване [1,4] и възможностите, които електроразпределителното дружество има да осигури независими захранвания на страна СрН.

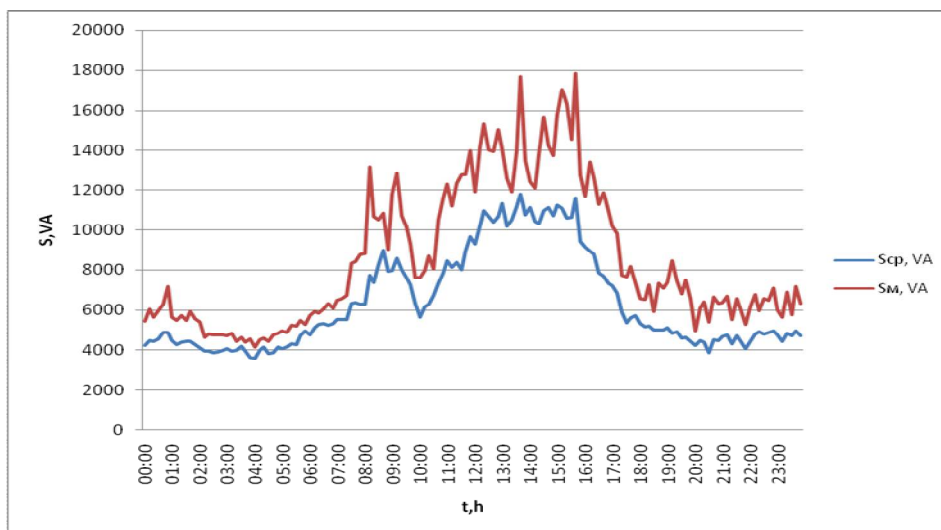
За набавянето на необходимата информация бяха направени измервания и проучване съвместно с представители на електроразпределителното предприятие.

Измерванията са извършени в контролни точки (КТ) 1 и 2 дадени на схемата на фиг. 1, т.е. на всяка от двете работни шини в таблото НН на ТП. Измерванията са извършени с уреди *Chauvin Arnoux C.A.8334* и *C.A.8332B*, като интервалът на измерване е 10 минути в рамките на 7 денонощия (понеделник – неделя). Измервани са всички мощности, ефективните стойности на токовете и напреженията на всяка фаза, коефициентите на несинусоидалност и несиметрия, както хармоничния състав на фазните токове и напрежения до 25 хармоник.

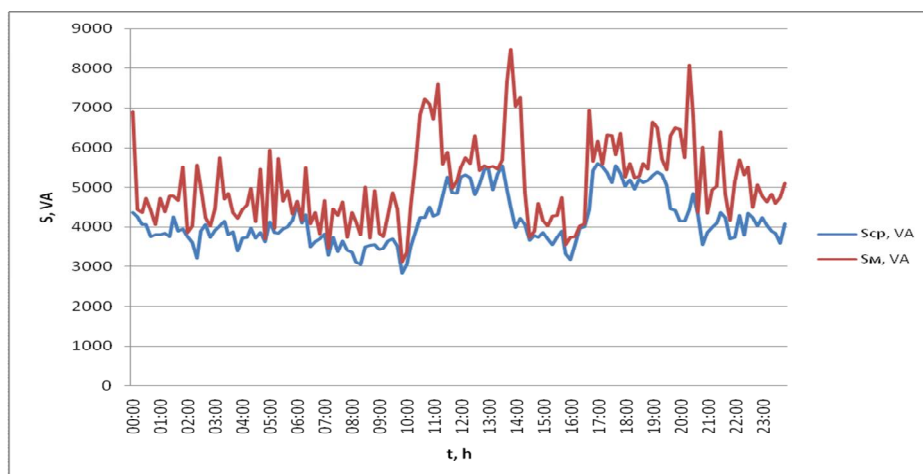
От заснетите произволни товарови графици са получени осреднени товарови графици за денонощие за всяка от контролните точки 1 и 2 отделно за работните и почивните дени (по-ниските криви).

Освен това на същите фигури (с по-високите криви) са представени и обвивните криви на максималните товари получени при статистическата обработка.

На графиките (фиг. 2÷5) са дадени пълните товари, но се разполага и аналогични данни за активните и реактивни товари.

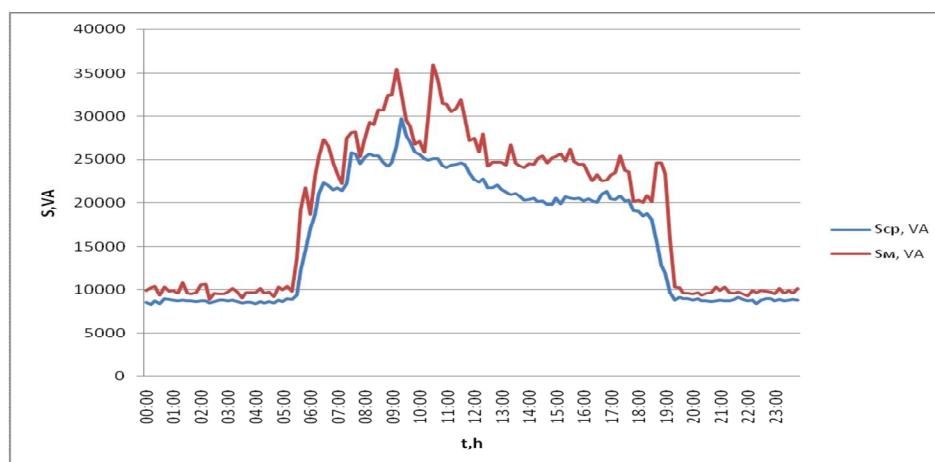


Фиг. 2. Осреднен товаров график за средните и максимални товари за делничен ден – измерен в КТ1

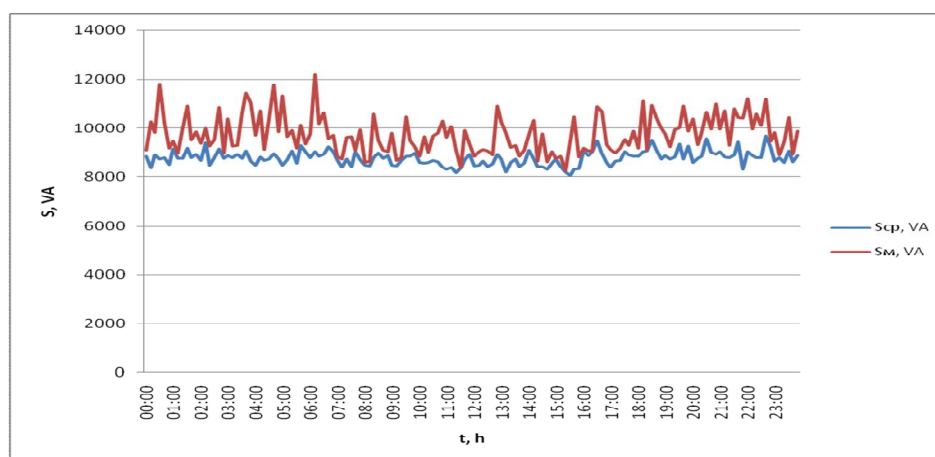


Фиг. 3. Осреднен товаров график за средните и максимални товари за празничен ден – измерен в КТ1

От измерените и изчислени стойности се вижда, че при мощност на трансформатора 400 kVA, максималното му натоварване в работни дни е около 20%. От измерените стойности за фактора на мощност (PF) се вижда, че е в границите $0,7 \div 0,9$ със средната стойност е 0,81; т.е. нужно е компенсиране на реактивните товари, тъй като граничната стойност под която, се плащат глоби е 0,9.



Фиг. 4. Осреднен товаров график за средните и максимални товари за делничен ден – измерен в КТ2

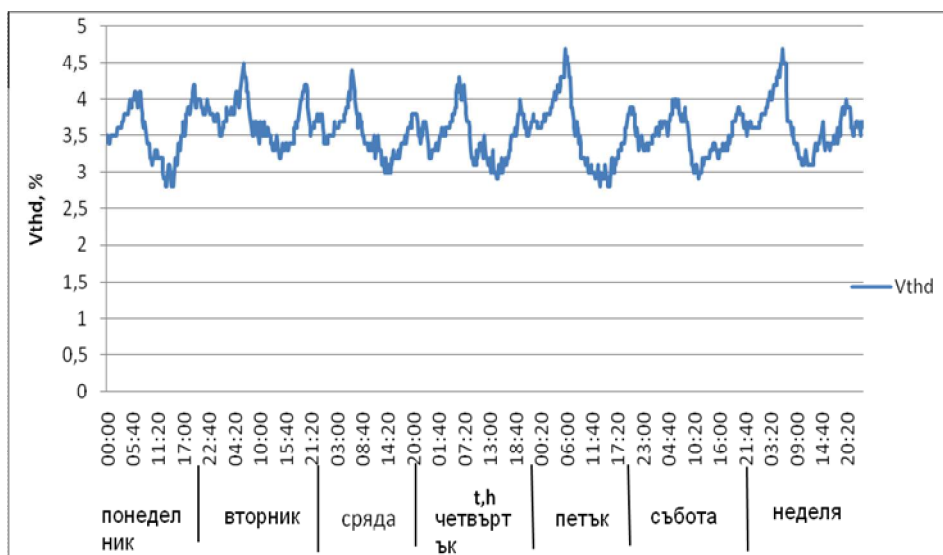


Фиг. 5. Осреднен товаров график за средните и максимални товари за празничен ден – измерен в КТ2

От записите за качеството на напрежението, по-специално за отклонението му от номиналната стойност 230V, се поддържа средна стойност +2%, с максималните стойности -3% и +6% (в неделя). Отклонението на напрежението всъщност не зависи или много малко зависи от електрическите товари на обекта, а зависи повече от външното подаване на напрежение на страна 10kV. Може да се счита, че отклонението на напрежението отговаря на изискванията на [1] и [4].



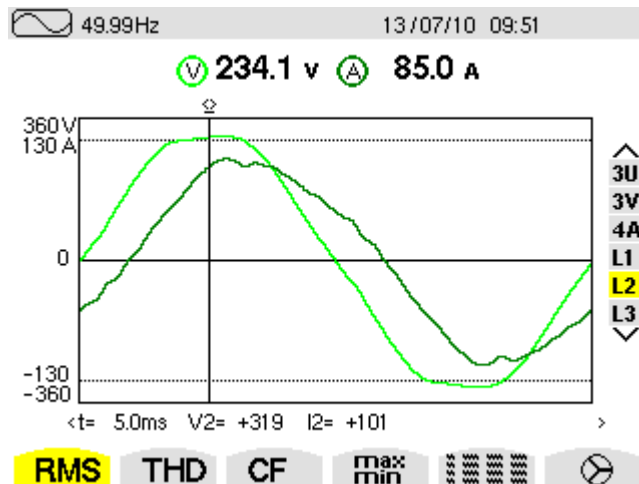
Фиг. 6. График на отклонение на напрежението на фаза L1 – измерено на общите шини ниско напрежение



Фиг. 7. Коэффициент на синусоидалност на напрежението на фаза L1 - на общите шините ниско напрежение

Табл. 1. Изчислителни товари за целия обект

		L1	L2	L3	sum L	3*Lmax
P_{cp},W	раб	18713,65	14101,91	14344,5	47160,06	56140,95
	поч	10462,94	7470,639	6427,864	24361,44	31388,81
P_m,W	раб	24218,3	17749,52	18169,28	60137,1	72654,9
	поч	12065,62	9338,392	7518,309	28922,32	36196,85
Scp,VA	раб	22428,7	16863,31	16710,85	56002,85	67286,09
	поч	12940,14	8950,243	7624,572	29514,96	38820,43
Sm,VA	раб	27492,34	20609,22	20547,39	68648,95	82477,01
	поч	14839,82	10990,8	8866,401	34697,02	44519,45
PF_{cp}	раб	0,821813	0,833131	0,86839		
	поч	0,800401	0,833266	0,847967		
	среден	0,811107	0,833198	0,858178		



Фиг. 8. Форми на напрежението и тока на втора фаза в КТ1

Колкото се отнася до другия показател за качеството на напрежението - несинусоидалност, от фиг. 7 се вижда, че коефициентът на несинусоидалност на напрежението (V_{thd}) се изменя в границите от 2,8% до 4,5% при средна стойност 3,5%. Посочените стойности се срещат в работни и почивни дни. Тези стойности са под допустимите по [1] и [4] до 8%. За коефициентите на отделните хармоници (не са дадени тук) на тока и напрежението нямаше такива, които да надхвърлят граничните стойности дадени в [1] и [4].

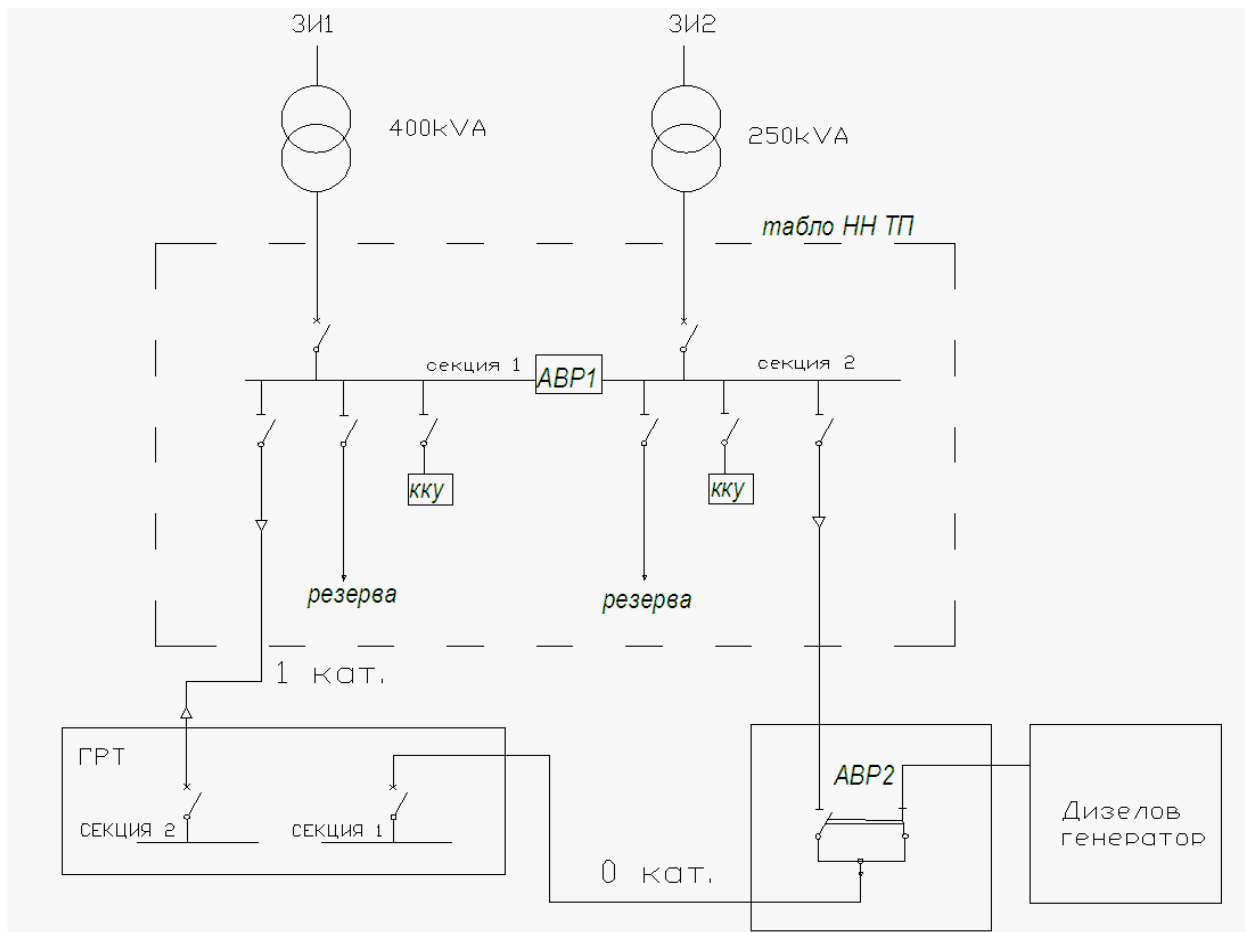
4. Предложение за нова структура на електроснабдяване

След проучване на възможностите за втори, независим захранващ източник (ЗИ) от разпределителната мрежа се оказа, че относително лесно може да се прекара кабелна линия на 10kV от подстанция различна от тази осигуряваща напрежение на ЗИ1. Двете подстанции се захранват от различни електропроводи на 110kV. Това в случая е най-благоприятния вариант и се предлага следната нова принципна схема – фиг. 9.

До помещението на съществуващия ТП има празно помещение подходящо за разположение на втори трансформатор 250kVA. Съществуващата разпределителна уредба СрН, изпълнена с КРУ позволява добавяне на нови елементи (фиг.10), което прави преустройството относително лесно изпълнимо.

Инсталациите и разпределителните табла в сградата също са проучени. При тях основния проблем е, че консуматорите нулева категория трябва да се отделят на отделни шини, захранвани от дизел-генератора, тъй като той е съществуващ, и мощността му не е достатъчна. В момента към него има присъединени товари нулева и втора категория. Има единични консуматори с неголяма мощност, основно компютри към информационната система на центъра, които не допускат никакво прекъсване на захранването. За тях ще се предвидят UPS системи.

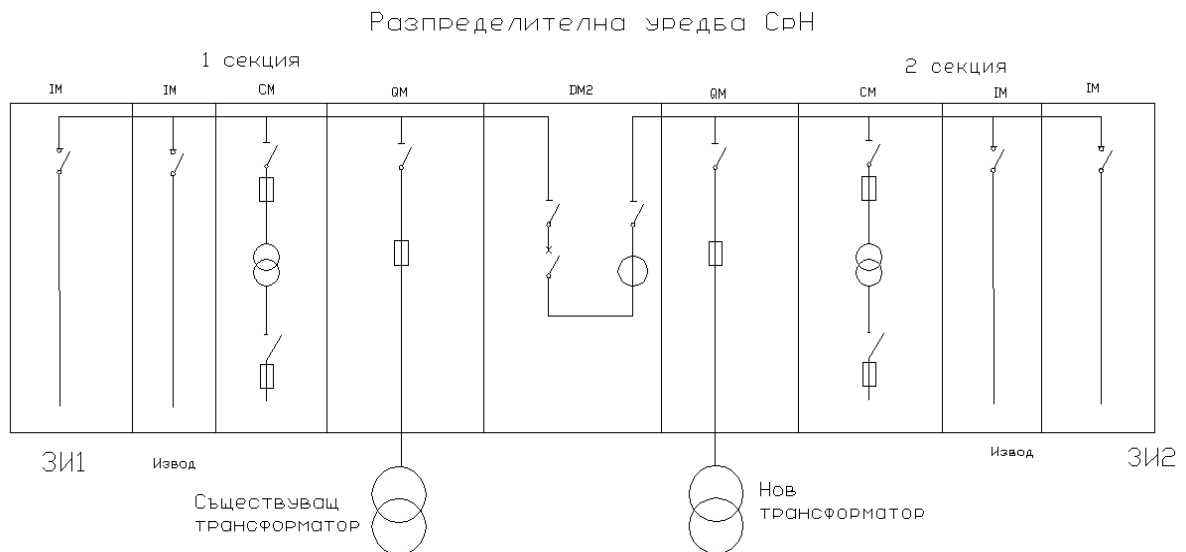
В новата схема консуматорите втора категория, реално ще се захранват със сигурността на първа категория, защото има взаимно резервиране на двете секции НН с АВР.



Фиг. 9. Принципна еднолинейна схема на ново електрозахранване

С цел контролно измерване на основните качествени показатели, контрол потреблението на електроенергия и възникнали аварийни ситуации, е удачно при проектирането на новата схема на захранване на двата входа и избор на информационно-измервателна система, на страна ниско напрежение да се предвиди монтиране на апаратура за измерване и запис. Цялата система за контрол трябва да се състои от три основни елемента:

- Електронни, измервателни уреди с комуникационни възможности и с подходящи характеристиките за измерване на електрическите величини;
- Персонален компютър със специализиран софтуер, чрез който ще става дистанционно наблюдение и записване в база данни на измерваната информация от уредите;
- Комуникационна система, която ще реализира връзката между измервателните апарати и персоналния компютър (сървър).



Фиг. 10. Нова структура на разпределителна уредба СрН

При липса на финансово осигуряване системата може да се изгради и на два етапа. Задължително при реконструкцията трябва да се монтират измервателните апарати, а на втори етап може да се доразвие комуникацията и сървъра с базата данни.

5. Общи препоръки при преустройство и проектиране на подобни обекти

На базата на установените трудности в процеса на проучване електроснабдяването могат да се направят следните изводи и препоръки, които да се отчитат при проектирането на електрозахранване на подобни обекти:

- с помощта на специалисти от районното електроразпределително дружество да се установи предварително и точно възможността от резервиране на външното захранване; да се разработят варианти за осигуряване на втори независим захранващ източник, ако е необходимо изцяло с дизел-генератор;
- да се проучат внимателно потребителите в обекта и да се категоризират по необходимата им сигурност на електрозахранването;
- да се предвиди секционирание на захранването на различните нива, според категорията на потребителите;
- информационно-измервателните системата може да се изградят и на етапи, при липса на финансово осигуряване, но задължително трябва да са проектирани, за да се инсталират минимално необходимите елементи с възможност за доразвитие в бъдеще;
- да се предвиди график за извършване на профилактични прегледи на електроснабдителните съоръжения от специализирана фирма.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 50160 - Характеристики на напрежението на електрическата енергия доставяна от обществените разпределителни електрически системи.
- [2] Василев, Н., С. Сидеров. Електроснабдяване на промишлени предприятия. С. Техника, 1991.
- [3] Наредба №3 от 09.06.2004г. за „Устройство на електрическите уредби и електропроводните линии”.
- [4] Показатели за качество на електроснабдяването на ДКВЕР. Юли, 2004.
- [5] Сидеров, С., Н. Матанов. Ръководство за лабораторни упражнения по Електроснабдяване. ТУ – София, 2009.

Автори: доц. Васил Господинов, гл.ас. Николай Матанов, гл.ас. Борислав Бойчев – кат. “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (ЕСЕОЕТ)

СЪВРЕМЕННИ АСПЕКТИ НА ТЕХНОЛОГИЯТА, ИЗРАЗЕНИ ЧРЕЗ ЕДИН ПИРАМИДАЛЕН МОДЕЛ

Петър Динев

Резюме. Потопени в технологичното ежедневие, ние все по-ясно разграничаваме две съществени страни на технологията. Технологията е инструмент на всяка промяна, която осигурява максимална ефективност на човешките дейности. Това поставя въпроса за полезността на извършваните промени, а контролът върху дейностите се разглежда като инструмент, осигуряващ крайната цел на промяната. От друга страна, технологията е наука, което веднага поставя въпросите за истинността на технологичните знания, валидността на теориите за технологията, разбирането на човешката същност чрез технологията, и формулира крайната цел – познанието. Полезността и избора на стойности се използват за създаването на йерархичен модел на технологиите с ясно изразени стъпки на „пречистване” от действието и дейността, през практиката към технологията, или от целенасочена дейност в полза на потребителя до технологията, която осигурява необходимата ефективност на тази дейност.

CONTEMPORARY ASPECTS OF TECHNOLOGY AS A BASIS OF NEW PYRAMID MODEL

Peter Dineff

Abstract. Immersed in the technology everyday, we more clearly distinguish two major aspects of technology – the technology as an instrument of change ensuring maximum efficiency of human activities, which questions the usefulness of the changes, while the share controlled the activities are seen as a tool providing the ultimate goal of change, and the technology as science, which immediately put the questions on the veracity of technological knowledge, the validity of technology theories, the understanding of human nature through technology, and formulates the ultimate goal - knowledge. Necessity, utility, usability and safety are used to establishing an hierarchical model of technology with distinct steps of precleaning from the act and operation in practice to technology, or purposeful activity for the benefit of consumers to the technology that provides the necessary efficiency of this activity.

1. Същностни характеристики на технологията

Технологията (гр.: *téchne* — изкуство, майсторство, умение и *logos* — изучаване, учение, знание, наука, слово) представлява съвкупност от методи

Годишник на ТУ-София, т. 60, кн. 1, 2010

Proceedings of the Technical University - Sofia, v. 60, book 1, 2010

(начини, пътища, похвати, способности, маниери, прийоми, техники) за постигане на желан краен резултат, [3].

Технологията може да се отнася до дейности по преработване на материали, енергия и/или информация. Тя включва последователността на операциите и процедурите за решаване на поставената задача. Технологията е тясно свързана с използваните средства, оборудването, инструментите и материалите (енергията, информацията). Това означава пълноценно реализиране на всяка целенасочена полезна (имаща смисъл!) дейност или производството на изделие (материално или нематериално) с точно определена потребителна стойност.

Технологията се разглежда още като начин за преобразуване на даденото в нещо необходимо и полезно. Така природните суровини (материали), които не могат пряко да задоволят каквито и да е потребности, се превръщат в изделия с определено служебно предназначение и потребителна стойност. В най-общия смисъл технологията има отношение към промените, които съпътстват дейностите и определят крайния резултат, [3].

Технологията има отношение към всички дейности, при които се преследва резултат (успех, реализация, постижение, печалба, сполука). Технологията е пряко свързана с постигането на резултати, което е смисълът на всяка човешка дейност.

Технологичният подход се състои в разкриване на елементите и цялостната структура на процеса, който определя постигането на успех. Осъзнатото използване на технологичния подход би било истинска революция в организирането и управлението на дейностите. Технологията осигурява постигането на резултат, а не простата реализация на дейността. Целта и нейното постигане стоят в центъра на вниманието на всеки етап от изпълнението на дейността. Брой се резултатът – резултатът от дейността се третира направо като стока!

Технологията в нейната завършеност и цялост се определя от следните четири същностни характеристики, които се пренасят върху нея изцяло от преследвания резултат, [4, 5]:

☒ **потребността** (англ.: *necessity*) – всяка технология преобразува нещо дадено в друго необходимо и полезно нещо, или потребността от дадена технология се диктува преди всичко от потребностите и очакванията, които произведеното изделие (материално или нематериално) или резултатът задоволява;

☒ **полезността** (англ.: *utility*) – всяка технология трябва да осигурява чрез възприетите от нея методи и инструменти целенасочено постигане на строго определения (полезния) краен резултат;

☒ **използваемостта** (англ.: *usability*) – всяка технология трябва да осигурява постигането на крайния резултат при:

първо, оптималност на разходите, което означава минимално възможни разходи, които осигуряват ефективно здравословни и безопасни условия на труд, опазване и възстановяване на околната среда, управление на риска;

второ, задължителност на показателите на качеството на изделието, отразени в техническо задание или в съгласувано техническо предложение

☒ **сигурността** (англ.: *safety*) – всяка технология трябва да осигури стабилност и повторяемост на крайния резултат, независимо от мястото и времето на технологично приложение, и от наличието на заплахи, които могат да възпрепятстват получаването на очаквания резултат.

2. Изкуство ли е технологията

Човекът е трудещо се същество, което непрекъснато работи и преобразува природата. Той използва собствените си впечатления, знания и умения за творческа изява и удовлетворяване на своите потребности и желания. Формирането на технологиите започва още от зората на съществуване на човека като биологичен вид. Човекът първо се научава по какъв начин да използва дървото, камъка и металите. Технологиите дават наименованието на цели периоди от историята на човечеството – каменната, бронзовата и желязната епохи всъщност обозначават технологиите, които човек използва за създаването на сечива и изделия, задоволяващи потребностите на хората. Технологии в рудиментарен вид за извършване на определени дейности използват и някои животни. Разбиването на ореховата черупка с камък и измъкването на мравки от мравуняка със сламка са технологии, които животното използва, за да задоволи своите потребности от храна, [4].

Изкуството, обаче, е това, което господства преди появата на технологията - човекът прави нещо, но резултатът се получава като дар от боговете - дарът му се дава, или не му се дава! Така се стига до митовете, което означава, че всички постижения на човека могат да бъдат обяснени единствено чрез митологията. Отношението между човека и боговете е определяло изцяло сигурния и непоколебим поглед върху живота и това, което трябва да се прави – то е определяло причините и основанието за постигането на резултати. Резултатът е бил достижим за единици, които са избрани от боговете.

С помощта на технологиите, напротив, това, което е било достъпно за избраните, става достъпно за всички! Изработката на една каменна брадва може да се разглежда като акт на изкуството, но също и като резултат на майсторството, т. е. от използването на конкретна технология. В първия случай, брадвата е уникално и неповторимо произведение на изкуството. Изкуството за правене на брадви, обаче, изчезва със смъртта на носителя на това изкуство. Във втория случай, майсторството, или причините и основанието тази дейност да се реализира успешно точно по този начин, се запазва завинаги. Майсторството се предава от баща на син. Майсторството се придобива и чрез обучение. Много хора могат да бъдат обучени – това е начинът технологичното знание да се капитализира и да стане основен ресурс на индустриалното производство.

Моментът на преход от изкуство към технология поставя началото на съвременната **човешка цивилизация** и прави възможно нейното по-нататъшно развитие и усъвършенстване. С течение на времето технологиите търпят значителни промени, и ако някога технологията е била просто навик (техника), то днес технологията обхваща комплекс от знания и умения, наричан често *ноу-*

хau (англ.: *know-how*), получени в резултат на скъпи и сложни научни изследвания.

3. Съществуване и същност - наука и технология

Днес, можем само да предполагаме, че *Й. Бекман* (*Johann Beckmann*, 1739 ÷ 1811) влага представата за *техне* (гр.: *téchne*, *изкуство*, *майсторство*, *умение*) в понятието *технология*, или по-точно по(знанието) за същността на нещата, които се съдържат в *техне*. Той е първият учен, който изучава технологията и пише за нея като обект на научно изследване. Технологията, според *Бекман*, дава систематизирано въведение и изложение, а също така и научно основание, на дейностите и знанията, необходими за развитието на производството. В своя основен труд „*История на изобретенията и откритията, и извори*” (*Beitrag zur Geschichte der Erfindungen, Leipzig*, 1780÷1805), *Бекман* поставя проблема за философско осмисляне на терминологията и нейното систематизиране. Този труд на *Бекман* се цени и днес. С този си труд *Бекман* е признат за основател на **научната технология** – понятие, употребено за първи път от него (1772), [8].

С думата *техне* (*téchne*) се означава всяко знание, умение, техника или наука, което се свързва със **създаването** или **дейността**, извършва от човешкото същество, за да произвежда артефакти – неща, които са създадени от човека и не съществуват в природата. *Й. Бекман* поставя началото на наука за същността, която се съдържа в *technai* (мн. число на *téchne*). Артефактът се **произвежда** чрез *téchne*, която носи неговата същност. Така в резултат от човешката дейност се произвежда артефакт, който е носител едновременно на съществуването (той е) и на същността (какво е).

Категорията **същност** е обект на научното познание, нещо повече, същността представлява съдържанието на познанието. Знанието в *техне* е различно от знанието за природата (гр.: *epistème*), което е наше човешко тълкуване и дело. Нашите представи за природата не са важни и съществени за нея, но нашите представи в технологията са основни, съществени и важни за човешката дейност и за нейните продукти, [5].

Човешкото знание като цяло се състои от две съществени части – знанието за природа и знанието в *техне*. Знанието за природата е наше субективно знание, докато знанието в *техне* е обективно, независимо от човека изражение на света. Знанието за природата изисква непрекъснато да се търси неговата истинност. Технологията не се занимава изобщо с истинността. В центъра на технологията е поставена **полезността** - знанието в *техне* се разкрива при използването на артефактите. **Контролът** върху използването на артефактите трябва да се постави в центъра на технологията. Дейността непрекъснато се пречиства чрез опита, за да се достигне до разкриване на същността в *техне*.

Ножът в ръцете на убиец отнема живот, но същия нож в ръцете на хирург връща към живот. Технологията изисква наличието на контрол, защото когато човек избира една технология, той не само избира един по-ефективен начин на живот, а избира един съвсем различен начин на живот. Даваме нож в ръцете на

хирурга, но в този свят, в който има ножове, се живее по съвсем друг начин. Ето защо технологията трябва да се възприема като продукт на споделени ценности и естествено на най-висшата ценност – живота и запазването на живота, [5].

Целите и средствата са взаимно свързани и трябва да утвърждават общоприетите и споделени ценности в полза на живота. Казано е – целта оправдава средствата, но няма цел, която да оправдава всички средства. И тука може да бъде перифразирана мисълта на Г. Флобер - нищо не внушава такова презрение към резултата (успеха), както мисълта за това, с какви средства е постигнат. Днес живеем в свят, различен от света на древните. Основните различия между природата и артефактите, между съществуването и същността е запазено. Но разбирането за тези разлики е съвсем различно. Това се отнася с особена сила за същността и свързаните с нея понятия. За развитите общества същността на „нещата” е конвенционална, общоприета, предварително угодна. **Същността** вече не е истинска, естествена и автентична. Технологията не осъзнава обективните същности, заложен в природата, така както го прави техне. Значението и целта, заложен в артефактите, не се откриват чрез изучаването на света, а се определят от хората. Това създава пропастта, отворена между човека и природата, която непрестанно се разширява. Човекът не е в собствения си дом - в света и природата. Той непрекъснато завладява природата и упорито отказва да приеме, че тя е неговия дом, [5, 9].

Основният въпрос за съвременния човек не е „какво е” нещото, или каква е неговата същност, а как работи то. Технологията се отъждествява с механизма на съществуването. В съвременния контекст, технологията не осъзнава обективни същности, вписани в природата, така както го прави техне. Технологията се възприема като инструмент, напълно освободен от ценности. Духа на заложеното от Й. Бекман отсъства - смисълът, заложен от него, в понятието технология е подменен.

Технологията не отговаря на присъщи цели, а е средство, което служи на субективните цели, които човек избира по собствено желание. За съвременния разум целта и средствата са независими и самостоятелно съществуващи. Казват: „Оръжията не убиват хора - хората убиват хора!”. Оръжията са средства, които са независими от целите на този, който ги използва. Технологията е неутрална, или не съществуват предпочитания между различните възможни употреби, с които тя може да се свърже – това е инструменталното разбиране за технологията и то се възприема без възражение от природата. **Природата** и **свѣтъ**, [5, 8, 9] вселената съществуват, за да бъдат контролирани и използвани без оглед на собствена вътрешна, скрита от човека, цел. Технологията възприема природата не като това, което се поражда само от себе си, а като източник на суровини, като материал, който подлежи на трансформация в онова, което човек пожелае. Субективната цел оправдава всички средства или използването на всички съществуващи технологии. Човек не може да бъде спрял в експлоатацията на природата и света. Древните са живели в хармония със света, а ние се отчуждаваме от него посредством свободата да дефинираме собствените си цели така, както е удобно на нас, както съвременния човек желае, [5].

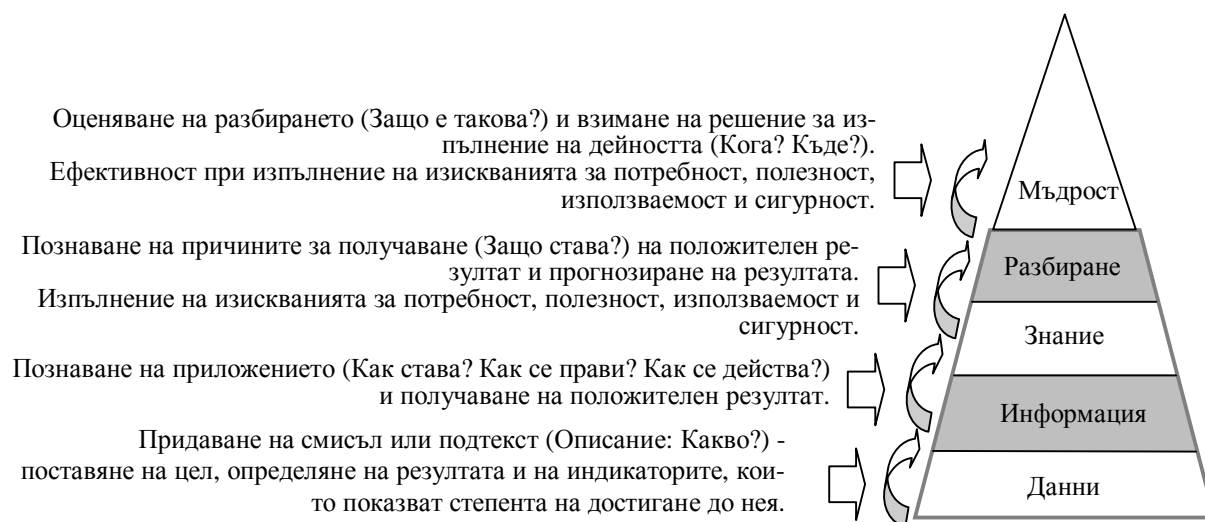
4. Пирамиден модел на технологията

Очевидно е, че съществуват степени на „пречистване“ на дейността от гледна точка на резултата, които се изграждат върху **опита** (англ.: *experience* – опитност, познания, практика), натрупан чрез многократното нейно повторение. Опитът позволява все по-точното дефиниране на резултата, който се произвежда, и това определя едно непрекъснато нарастване на стойността на получения резултат.

Известна е т. нар. **информационна пирамида** (англ.: *information hierarchy, knowledge hierarchy, knowledge pyramid, information pyramid*), която изразява по аналогичен начин идеята за пречистване на информацията чрез целенасочени дейности, които ѝ придават свойствата потребност, полезност, използваемост и сигурност.

Пирамидалният модел (Russell Ackoff, 1988) представя йерархическите връзки (структурно и функционално), които съществуват между данни, информация, знание и разбиране (мъдрост). Това е пирамидалният модел **DIKW - Data, Information, Knowledge, Understanding (Wisdom)**, Фиг. 1.

Йерархичността на пирамидалния модел се изразява в това, че информацията се дефинира чрез данните, знанието чрез информацията, а разбирането (или познанието, мъдростта) чрез знанието. И по-точно, чрез това, което данните не са, информацията не е, знанието не е и разбирането не е. Пирамидалният модел показва, че данните не са информация, информацията не е знание, и т. н., [1, 10], т. е. всяко следващо стъпало добавя нова стойност и „изчиства“ информацията от гледна точка на потребност, полезност, използваемост и сигурност.



Фиг. 1. Информационна или DIKW- пирамида

Информацията е общественото благо, което прави хората съпричастни със знанието. **Знанието**, обаче, е обществено благо, което може да се капитализира и да се превърне в средство и фактор на производството. Това може да стане

или чрез създаването на **технологии** или на човешки капитал, т. е. знанието (науката) намира своето приложение чрез технологиите и чрез образованието. Научните продукти, резултатите от научните изследвания, се предлагат на бизнеса едва след като са преминали през технологиите и са се превърнали в използваем технологичен продукт.

Технологията, определяна доскоро само като практика (*ноу-хау*), занаят или майсторство, вече се възприема като продукт на знанието или на *ноу-уай* (англ.: *know-why*), който става обект на обмен (трансфер), на придобиване (собственост) и потребление (ползване).

Технологията е начинът (методът или пътят), по който всяка дейност се реализира успешно, независимо от обстоятелствата, т. е. *произвежда се технологичен продукт (резултат) с ясно формулирана стойност*. Така определена, технологията представлява нематериален продукт на знанието. Начинът, по който дейността се осъществява може да бъде изразен вербално, да бъде илюстриран графично, да бъде формализиран и да бъде записан върху хартия (или електронно), така, както се записва информацията, [3].

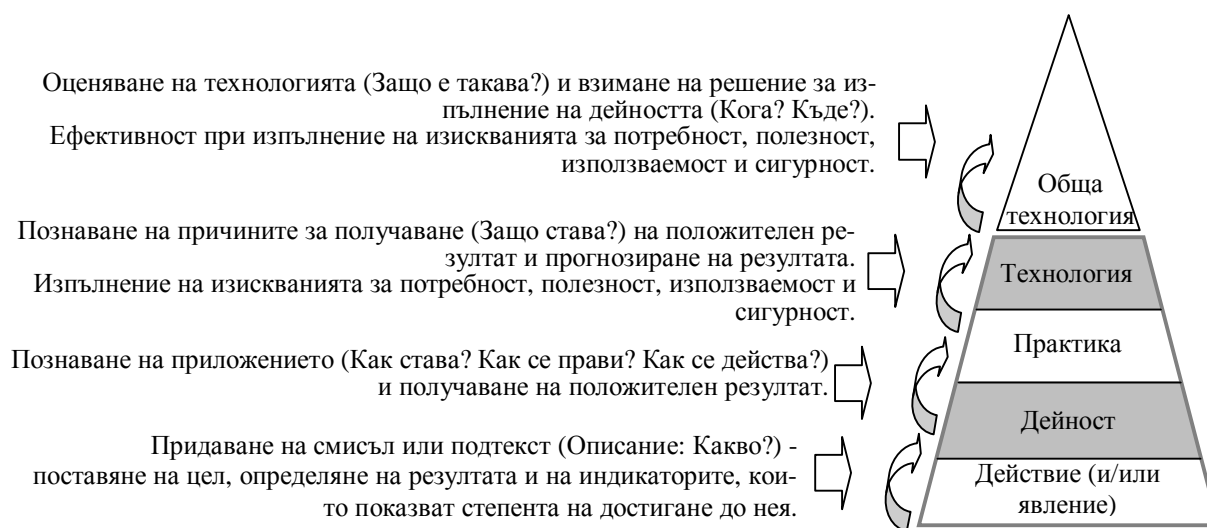
Дейността се превръща в практика, когато се формулират въпросите с „как“, (*know-how*), а практиката се превръща в технология, когато се формулират въпросите със „защо“ (*know-why*). Познаването на причините за получаване на положителен резултат надхвърлят рамките на обикновената практика. Технологията сама по себе си става наука, защото издигането на дейността до равнището на технологията предполага опит за разбиране и обясняване на същността на явленията и промените, които тя предизвиква.

Много автори противопоставят технологията на науката – технологията свършва там, където започва науката, - или „науката започва с митове и завършва с критика на митовете“. Търси се стъпка над технологиите, за да се обоснове прехода към науката. Въпросът „как“ се свързва с технологиите, а въпросът „защо“ с науката, [7].

Ключът за излизане от тази неприемлива позиция се дава от други автори, (*R. Bloor, 2000*), които не свързват двата въпроса „как“ и „защо“ единствено със знанието, а ги разделят – на „как“ отговаря знанието, а на „защо“ – разбирането. Отговорът на въпроса „как“ означава познаване на явлениято, процеса или дейността, което позволява то да бъде използвано, докато отговорът на въпроса „защо“ крие в себе си способността да се прогнозира при какви условия и кога ще се прояви явлениято, или дейността ще завърши с положителен резултат. Митовете (по *K. Popper*) се свързват със знанията и практиките, докато „критиката“ на митовете завършва с разбирането и технологиите. Човек познава (разбира) явлениято, процеса или технологията, когато може да прогнозира при какви условия и кога ще настъпи или ще бъде получен положителен резултат, [1].

Привидно, **технологичната пирамида** (англ.: *act-operation-practice-technology*) може да се въведе симетрично на информационната пирамида, фиг. 2, като йерархията в структурното и функционалното изграждане се проявява по един и същ начин в двете пирамидални схеми. Съществуват съответс-

твия между отделните стъпала на пирамидата – на информацията съответстват дейностите, на знанието – практиките, а на разбирането – технологиите. Технологичната пирамида, обаче, е свързана с полезната промяна, представляваща верига от последователни изменения, трансформации, преобразувания или превръщания, които се проявяват като резултат от извършените дейности. Ефективно извършената промяна позволява реализирането на резултат с максимална стойност.



Фиг. 2. Технологична пирамида или ДДПТ- пирамида

Двете пирамиди се припокриват по един интересен начин, защото насищането с информация на дейностите увеличава тяхната ефективност, добрите практики са резултат от използвани и индивидуализирани знания, а технологията е приложна наука. С тази съществена разлика, че фундаменталната наука не произвежда други блага освен знания – тя разширява познанието на човека за света, позволява му да разбере и да прогнозира резултата от дейностите. Научните изследвания превръщат едно непредвидимо събитие в предвидимо, като откриват причините и механизмите, определящи неговото настъпване. Човек използва, обаче, технологиите като продукт на знанието, за да осъществи по нов и по-ефективен начин промяната (технологичната трансформация), за да произведе блага.

Технологичната пирамида може да се разглежда като едно логично продължение на информационната пирамида, чрез която на бизнеса се представя един готов за ползване продукт. Технологичният продукт съдържа в себе си значително по-висока степен на полезност. Той има, несъмнено, значително по-висока стойност за бизнеса и потребителите. Двете пирамиди трябва да се разглеждат (паралелно) като едно цяло, което отразява нарастването на ползата от непосредственото превръщане на знанието в технологии и чрез тях в средство за производство. Ако информацията прави хората съпричастни към знанието, то дейностите правят хората съпричастни към технологиите.

5. Дейност, практика и технология

Пирамидалният модел показва, че действията не са дейност – това могат да бъдат наистина хаотични, сурови, неорганизирани действия без всякакъв смисъл. Действията трябва да бъдат осмислени, като им се придаде *цел* (целепологане) или се добави *подтекст* (контекст). Всяка дейност води до осъществяването на ясно дефиниран резултат (продукт), който има стойност за потребителя. Дейността се извършва в полза на потребителя (клиента). Задават се и се отговаря на следните пет въпроса, започващи с буквата „к” – „какво”, „кой”, „къде”, „кога”, „колко” – петте „ка”.

Освен към дейностите тази схема може да се приложи и към естествените явления, защото и човешките дейности, и използваните явления, предизвикват промяна и постигане на резултат. Физичните, химичните и биологичните явления, които фундаменталните науки изучават, също така се включват в технологичната пирамида на основното (базовото) равнище.

Още нещо, което е много важно, естествените явления са естествен ресурс на технологиите като практика и обект на изучаване от страна на технологията като наука. Те, също така, могат да станат основа за създаване на нова технология.

Всяко явление (и дейност) може да бъде представено като процес, който се осъществява във времето и пространството и се поддава на управление. Процесът се разглежда по отношение на неговия „вход” и „изход”. Ресурсите на входа се превръщат в продукт (резултат) на изхода. *Процесният подход* е особено полезен, когато става дума за сложен обект на изследване или за неизвестен начин на функциониране.

Водеща за технологията се явява *промяната*, до която водят и естествените явления, и човешките дейности. Смисъл от използването на определени естествени явления и човешки дейности има само ако те позволяват да бъдат организирани и управлявани по такъв начин, че да бъде реализиран желания резултат или промяна. Следователно, водещият мотив при технологията е *ползността*, а не истинността на придобитото знание. Едно явление може да бъде полезно само ако се поддава на организация (по време и по място) и управление, в резултат на което да се получи максимално ефективна промяна.

Ползността отличава също така дейностите от действията – само тези действия, чрез които се постига максимално ефективна технологична промяна могат да се възприемат като дейности. И тук, както при информацията, същността се крие във описанието. Дейностите и явленията се описват като процес.

Трябва да се постави още основния въпрос - *за кого* трябва да се произвежда. Дейността се осъществява и продължава да се прилага в полза на някого или на нещо. Стойността на постигнатия резултат се измерва единствено чрез степента на задоволяване на потребностите и очакванията на хората (потребителя). Това е стойността на създаденото благо. Стойността от продукта се прехвърля

върху технологията. Полезността на продукта се прехвърля върху технологията.

Благата са средства за задоволяване на потребности и очаквания, като част от благата (продукти и услуги) се използват за пряко задоволяване на потребностите – **потребителски блага**, а друга част се превръщат в средства за производство, и служат за производство на други блага – **средства за производство** (машини, инструменти, съоръжения).

Благата създават **права на собственост** – владееене, разпореждане и ползване. Стойността на едно благо се определя от ограничеността в количеството. Човешкият живот има стойност, защото е ограничен във времето. Животът на боговете няма стойност, защото е неограничен и вечен, [20].

Така единствената стойност, която може да се припише на постигнатия резултат, се определя от обществото на потребителите. Те формират обществено мнение за ползата от постигнатия резултат на основа на осъществена комуникация помежду си. Комуникацията стои в основата на проявата на стойността на всеки продукт.

Може да се приеме, че **стойността на резултата** (V_R) се определя въз основа на общата изгода за едно новосъздадено **общество от потребители** (с N члена) според закона на *P. Меткаф* (*R. Metcalfe*, 1980): стойността на създадения продукт V_R е пропорционална на квадрата на броя на потребителите N :

$$V_R = k N^2. \quad (1)$$

Дейността (англ.: *operation*) се разпознава (идентифицира) по четири основни признака:

☒ **активирането** - дейността винаги се разглежда като процес, който започва и трае определено време (продължителност), т. е. има начало, определящо се от момента, в който всички ресурси са налице и може да се даде ход на неговото осъществяване;

☒ **посоката** - дейността бива насочена към постигането на една определена цел и трябва да изтече време, или да има движение, докато се постигне положената цел, или просто докато друг мотив стане приоритетен;

☒ **интензивността** - дейността се осъществява с определена интензивност на преследване на целите, която по-бързо или по-бавно води до осъществяването на дейността или до постигането на целите;

☒ **трайността** - преследването на целите може да бъде интензивно и не толкова интензивно, като преследването на целите трябва да продължи и тогава, когато се появят затруднения от различно естество, например, отрицателното влияние на околната среда (шум), реализира се т. нар. технологичен риск, резултат от незнанието и липсата на опит при формулирането на целите.

Дейността се характеризира с четири фази на развитие:

☒ **фаза на формулиране на намеренията** - за да се стигне до осъществяване на дейността, трябва да възникне мотив за това - **намерението**. Съществуването на мотив предполага подготовка и реализация на намерението за осъществяване на дейността, като се изчаква подходящия момент за това. Тъй като чо-

век не е в състояние да реализира всичките си желания, той трябва да определи кои от тях са приоритетни. Това се осъществява според критериите на реализацията (очакването) и на желанието (стойността), като се отчита наличието на необходимото време, необходимите средства и сигурността на реализацията, която се измерва със степента на поетия риск. Последствията, разходите и усилията стоят в основата на намерението за реализиране на дейността.

☒ *фаза на взимане на решение* - взимането на решение трябва да се основава на силен, неоспорим, вътрешно мотивиран отговор на въпроса „защо искам това да се случи”. При тази фаза човек е сигурен, че желанието му ще се реализира, но въпреки това желанието трябва да бъде превърнато във воля за осъществяване. За да се пристъпи към реализирането на дейността трябва да се изясни кога, как, къде и колко време ще трае процеса на осъществяване.

☒ *фаза на осъществяване на дейността* - задачата, която трябва да бъде решена през тази фаза е успешното завършване на дейността и постигане на целите. Успешното реализиране на дейността се определя преди всичко от готовността за полагане на усилия в преследването на резултата, вършейки каквото е нужно, когато е нужно, и колкото дълго е нужно, започвайки тук и в този момент.

☒ *фаза на осъществяването на дейността* - характеризира се с посочване на резултатите от дейността. Ако резултатът от дейността отговаря на поставената цел, желанието за постигане на целта престава да работи. Ако резултатът се различава от поставената цел, трябва да се създадат нови, или старите намерения да се формулират по нов начин, за да изглежда по-вероятно постигането на целта.

Мотивът, който стои в основата на намеренията за активиране на всяка дейност, се възприема по три начина: *i*) като **импулс**, подбуда, подтик,; *ii*) **причина**, основание, повод, предлог; *iii*) **съображение**, резон, довод; *iv*) **стимул**. Силата на мотивацията (състояние определено от мотивите) се формулира от два фактора: *i*) стойността на резултата, който трябва да бъде реализиран; *ii*) изгледите за успешна реализация на целта, като се оценява степента на риска.

Точно, както действието не е дейност, така и дейността не е практика. Отговорите на въпроса „как става”, „как се прави” или по-точно „как се постига положителен резултат” формират практиката.

Практиката (англ.: *practice*) изисква познаване на дейността (или на явленията). Практиката се дефинира по отношение на дейността. Подобно на дейността практиката може да бъде организирана добре или лошо, да бъде повърхностна или много задълбочена.

Информацията се превръща в знание, а дейността в практика, когато човек започне да си задава въпроса „как”. Детето се научава *как* да пълзи и *как* да се изправя, *как* да угаси пламъка на свещта. То вече знае *как* може да ходи. Резултатът е много важен, детето прохода.

Отговорите на въпроса *защо* обясняват същността на явленията и на промените в света, които ни заобикаля. Детето първо се научава *как* да угаси пламъ-

ка, но доста по-късно може да научи *защо* пламъкът угасва. Отговорите на въпроса *как* водят до създаването на практики, а отговорите на въпроса *защо* разкриват същността на явленията и дейностите (промените) и водят до създаването на научно обосновани технологии. Хронологически не технологията, а практиката предхожда науката - исторически човек първо се научава по какъв начин да използва металите, а доста по-късно разбира тяхната същност. Добрите практики достигат доста високо равнище още в древността (Тракия, Египет, Китай), далече преди началото на съвременната наука (Елада), [7].

Практиката пречиства дейността като отделя добрите от лошите практики – тези практики, които не водят до получаването на достатъчно добър резултат. Практиката определя натрупването на нови знания и създаването на нови **умения** (англ.: *skill* - умение, сръчност, ловкост, вещина). Върви процес на обучение - **добрите практики** се споделят и обменят, защото те гарантират получаването на добър резултат. И накрая, пречистването на дейността продължава докато се стигне до технологията.

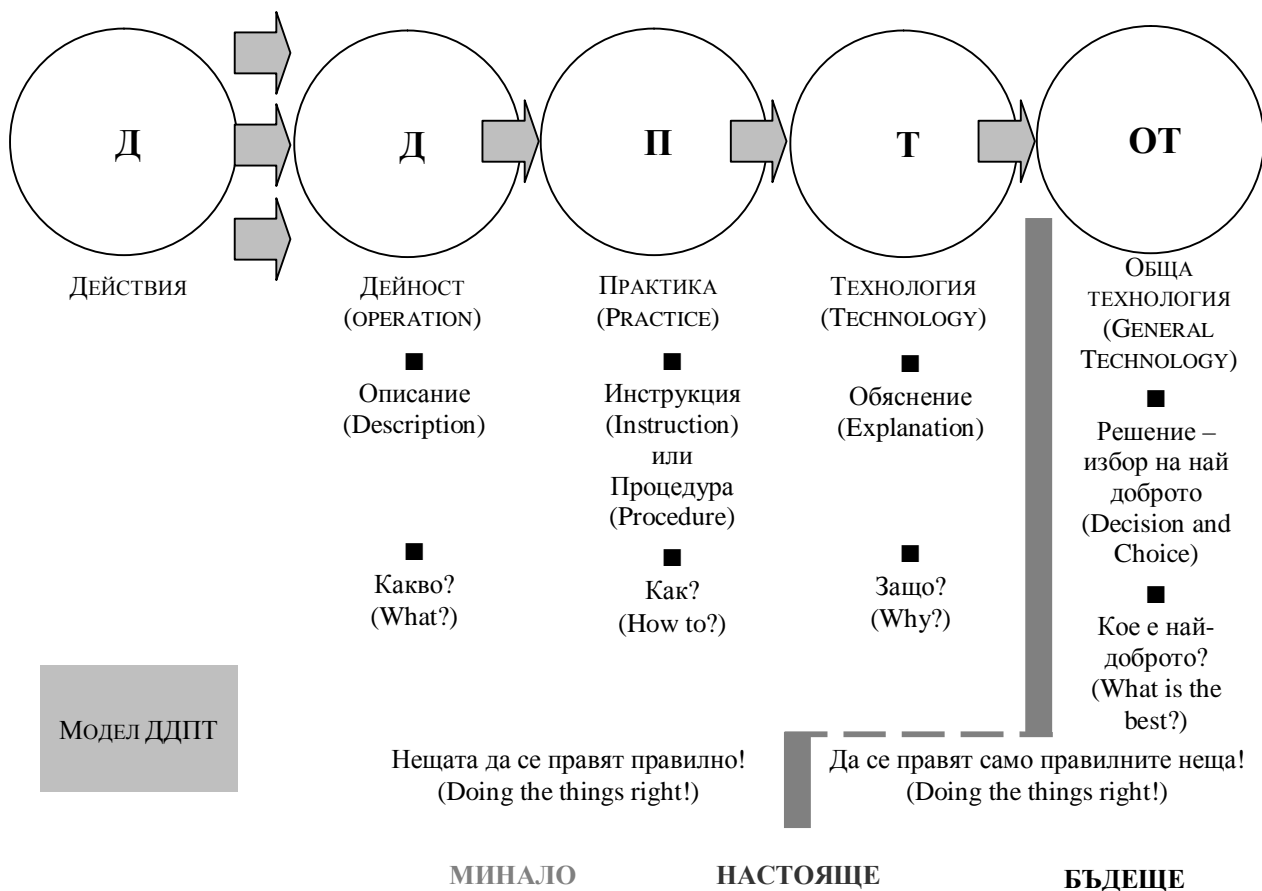
Технологията може да бъде продукт на науката, или на знанието за природата (отговоря се на въпроса „защо“), но това не е задължително, тъй като тя отговаря на изискванията за потребност, ползност, използваемост и сигурност. Тя, обаче, може да бъде продукт просто на практиката – на продължителната практика, критично възприетите резултати, натрупания и оползотворен практически опит и на точната преценка за стойността на продукта. И преди всичко, технологията при наличието на ефективен контрол осигурява винаги производството на положителен резултат или на продукт със стойност, независимо от обстоятелствата.

6. Линеен технологичен модел

Създаденият йерархичен модел, както и предшестващата го информационна пирамида, не отразява строго определени структурни и функционални връзки. Тук, също така, може много да спори по съдържанието и употребата на основните понятия – действие, дейност, практика и технология. На стъпалото „мъдрост“, естествено, може да се съпостави въведеното от *Бекман* понятие „обща технология“ (нем.: *allgemeine technologie*). На този етап трябва да се въздържа от еднозначно определяне на използваните понятия.

Предложения пирамидален модел позволява да се разграничат ясно различните „степени на пречистване“ на резултата (промяната) от извършваната дейност или използваното явление. Определено, това е ползата от създадения нов технологичен модел.

Това разбиране позволява в практиката да се въведе **линеен технологичен модел**, при който йерархичността в отношенията между елементите на диаграмата е по-слабо изразена. Този подход вече се използва спрямо информацията, като в практиката се въвежда линейния информационен модел (англ. *flow diagram*), [10].



Фиг. 3. Линеен технологичен модел

Неговото предимство се състои в това, че може да се изрази линейно във времето взаимната обусловеност и влиянието между основните елементи на модела, да се въведат обратни връзки, както и да се представи управлението на този процес на пречистване на ползата и нарастване на стойността на резултата, фиг. 3.

Въвеждането на координата „време“ определя момента на взимане на решение, или на започване на работа, като отнася към миналото всички етапи, които вече са определили цялостта и завършеността на технологията. Изборът е избор на ползи, ценности и начин на живот, той става част от бъдещето, защото допълва избора на обществото – да се правят само правилните неща, фиг. 3.

Използването на технологията с една или друга цел само по себе си е избор на специфична ценност, а не просто ефективен начин за реализиране на предварително съществуваща ценност от някакъв вид. Въпросът, който философията на технологията поставя, е дали технологията е повече като религия или повече като парц.

Религиите в света се основават на избора на **субстантивни** (самостоятелни, независими, реални и важни) **ценности**. Този избор отразява един предпочитан начин на живот и категорично изключва други неодобренни алтернативи. Парите, от своя страна, са външната основа за съществуване и дейност в обществото. Те се използват за притежаване на различни неща (продукти) и за интегриране

без всякакви предубеждения към различни, дори противоречащи си начини на живот. По принцип парите не притежават **субстантивна ценност** в себе си и могат да служат на всяка ценностна система.

Субстанцивизмът (течение във философията на технологията) отговаря на този въпрос така: технологията е като религията, така че когато избира технология, човек не просто избира по-ефективен начин на живот, а избира **различен начин на живот**. Технологията превъплъщава в себе си ценности, които от своя страна са нещо като изключителния характер на религиозните вярвания.

Дори повече от това – технологията е по-убедителна от религията, тъй като не изисква вяра, за да се признае нейното съществуване и да се следва нейното господство. Веднъж поело по пътя на **технологичното развитие**, обществото неумолимо се превръща в **технологично общество**, т. е. общество, посветено на ценности като ефективност, производителност, власт, могъщество.

Посредством това обяснение става ясно защо традиционните човешки ценности не могат да оцелеят пред предизвикателството на технологията. Технологията за съжаление не защитава това, което наистина има значение за човечеството като цяло, и това е основния проблем не само пред развитието на съвременната технология, но и пред развитието на човешкото общество като цяло. Ето защо трудовете на *Бекман*, както и неговото разбиране за общата технология, са особено актуални днес. Да, много важно е да се правят “правилните” неща, защото трябва да бъде ясно това, че с избора на технология, човек избира своя нов и различен начин на живот.

7. Заключение

Направен е анализ на съществените страни и характеристики на технологията, като се набляга преди всичко върху това, че ползата от получения резултат, или произведеното изделие, стои в центъра на понятието технология. Аналогично на съществуващия информационен пирамидален модел, при който информацията се “пречиства” като се добавя нова стойност на всяко следващо стъпало от пирамидата, се предлага технологичен пирамидален модел, при който дейността се пречиства от гледна точка на ползата и ценността на получения резултат.

Предложен е също така линеен (във времето) технологичен модел, който позволява по-точно и по-пълно да бъдат отразени отношенията между елементите на диаграмата – дейността, практиката и технологията. Въвеждането на координатата време е едно голямо предимство на тази диаграма, защото позволява да се оцени не само избора на технология, но и да се получи представа за различния начин на живот, който обществото избира с избора на технология.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Блор, Р. Електронният б@зар. От пътя на коприната до е-Пътя. София, Exlibris, 2000.
- [2] Даков, И. Интегриране на технологията, организацията и управлението на съвременното машиностроително производство. VII. Международен конгрес „Машины, технологии, материали” – МТМ 2010, 26-27 май 2010, София, България. Scientific Proceedings of the Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering, Year XVIII, Vol. 4/119, May 2010, pp. 5÷7.
- [3] Динев, П. Технологичен практикум. София, Нови знания, 2002.
- [4] Дракър, П. Мениджмънт предизвикателствата през XXI век. Класика и стил, 2005.
- [5] Симеонова, К. Съвременни аспекти на философията на технологията. www.uni-vt.bg.
- [6] Сомлев, П., О. Андреев. Технологии и мениджмънт. Софттрейд, 2005.
- [7] Чобанов, Г. Икономика, основана на знанието. Наука, кн. 4, 2008, стр. 7÷12.
- [8] Bayerl, G., J. Beckmann. Johann Beckmann (1739–1811): Beiträge zu Leben, Werk und Wirkung des Begründers der Allgemeinen Technologie, Waxmann, Münster-New York-München-Berlin, 1999.
- [9] Feenberg, A. Critical Theory of Technology: An overview. Tailoring Biotechnologies, Vol. 1, Issue 1, Winter, 2005, pp. 47÷64.
- [10] Rowley, J.. The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy. Journal of Information Science, 2007, Vol. 33, No. 2, pp. 163÷180.

Автор: доц. Петър Динев, кат. „Електрически апарати”

МАГНИТНО СТИМУЛИРАНЕ НА БАРИЕРЕН РАЗРЯД В ТРИЕЛЕКТРОДНА СИСТЕМА

Петър Динев, Диляна Господинова

Резюме. Съвместяването на два бариерни разряда с различно напрежение на запалване и горене може да бъде осъществено в асиметрична плазмена система с общ заземен електрод. При една от реализациите на тази триелектродна система, единият от двата високоволтови електрода е разположен непосредствено върху диелектричната бариера, захранва се електрически през допълнителен кондензатор и задължително има формата на решетка. Магнитното стимулиране се осъществява с помощта на рядкоземни постоянни магнити откъм страната на заземенния електрод. Реализирани са три схеми на магнитна верига, които осигуряват различен интензитет на магнитното поле. Магнитната схема на триодната плазмена система реализира магнитно стимулиране с преобладаваща напречна компонента на магнитната индукция. Изследването е проведено по известна методика чрез външната характеристика на разряда.

MAGNETICALLY STIMULATED DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE IN TRIODE PLASMA SYSTEM

Peter Dineff, Dilyana Gospodinova

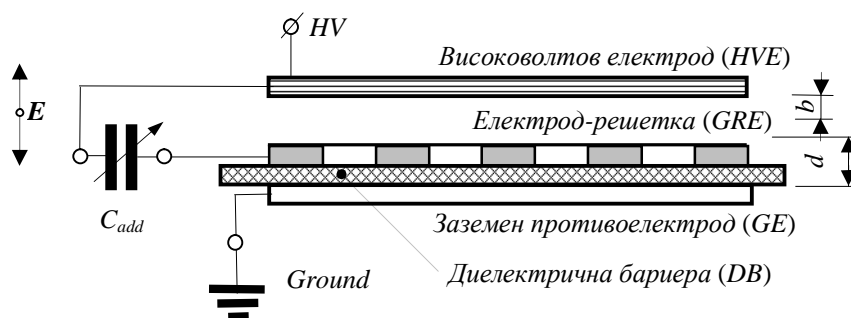
Abstract. Cooperating two barrier discharges with a different voltage of lighting and burning in a collective plasma system can be made in an asymmetrical triode plasma system with a common opposite grounding electrode. One of the two high voltage electrodes was supplied through an additional condenser and it was taken the shape of grid. It was placed directly on the inside surface of the dielectric barrier. Magnetic stimulation was realized with a hall of rare-earth permanent magnets on the side of the thick grounded electrode. Three different schemes of magnetic circuit have been implemented, with different intensity of magnetic field. The magnetic circuits ensure a prevailing transversal component of the magnetic field. This study was performed according to a well known methodology based on the external characteristics of the investigated magnetically stimulated barrier discharges.

1. Триелектродна плазмена система

Проявената възможност за изменение на началната фаза на запалване на бариерния разряд чрез изменение на капацитета на последователно включен спрямо разрядната междина допълнителен кондензатор позволява два бариерни разряда да бъдат съвместени в обема на една триелектродна (триодна) плазмена

система. Последователното включване на кондензатора определя различно напрежение на запалване и горене на бариерния разряд. Двата бариерни разряда трябва да имат различно напрежение на запалване и горене, което определя различна последователност (фаза) на запалване на всеки един от тях, [1, 2, 4].

Внасянето на допълнителен кондензатор във външната електрическа верига на бариерния разряд води до нарастване на напрежението на запалване (и горене) на разряда, така че триодната плазмена система задължително включва захранването на една от двете електродни системи през кондензатор с точно определена стойност. Промяната на капацитета на този допълнителен кондензатор позволява да бъде управлявано закъснението на разряда с по-високо напрежение на запалване, [2, 4].



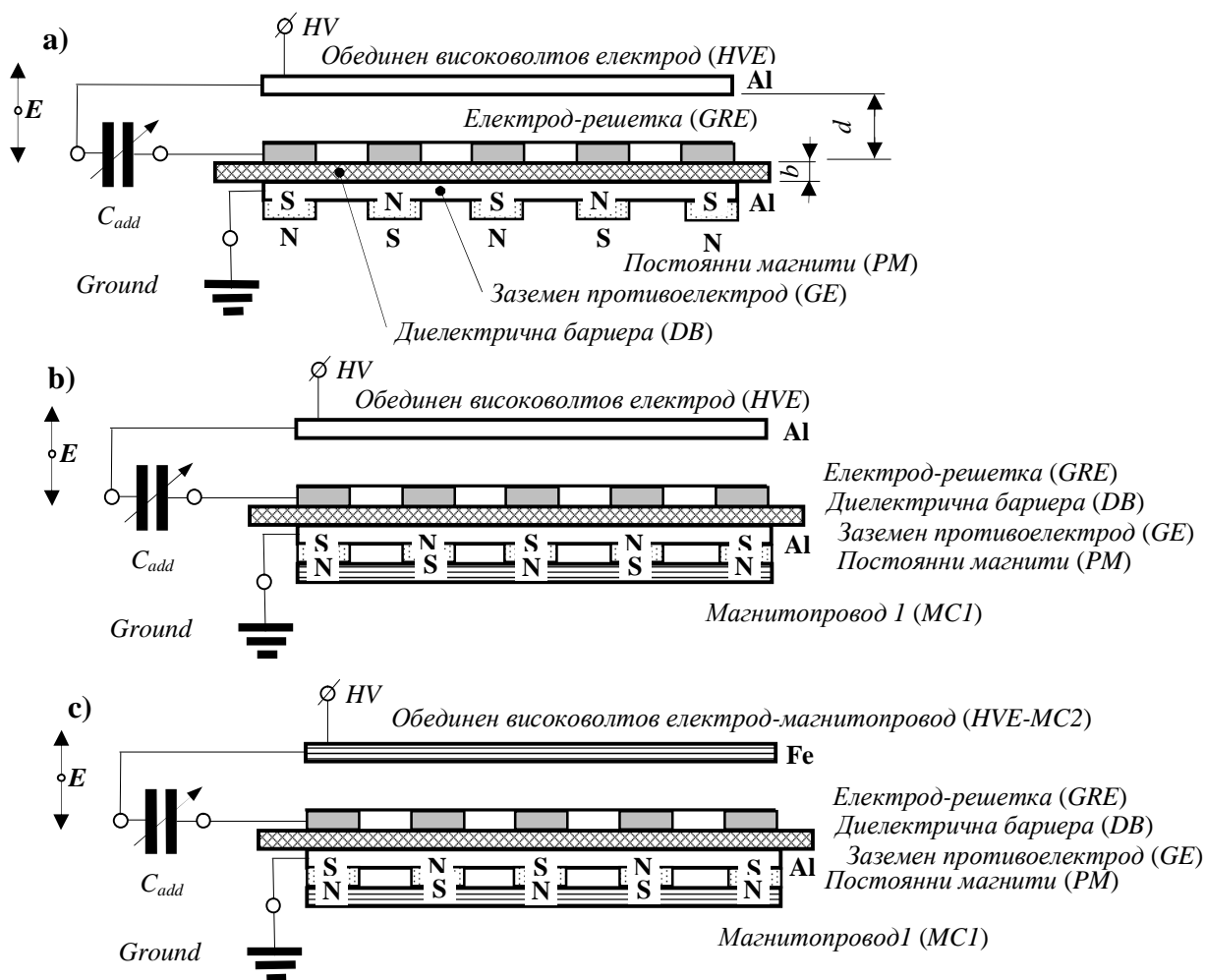
Фиг. 1. Асиметрична триелектродна плоско-паралелна (копланарна) плазмена система с общ заземен протиелектрод (GE) и два високоволтови електрода (HVE , GRE), единият от които с формата на решетка (GRE) е захранен електрически през кондензатор (C_{add})

Асиметричната триелектродна плоско-паралелна (копланарна) плазмена система се съставя като двата заземени протиелектрода се обединяват в един общ (GE), а единият (GRE) от двата високоволтови електрода (HVE , GRE), с формата на решетка, се разполага непосредствено върху диелектричната бариера (DB), фиг. 1.

2. Магнитно стимулиране на бариерния разряд в триелектродна плазмена система

Магнитното стимулиране на бариерния разряд в асиметричната плоско-паралелна триелектродна плазмена система се осъществява с помощта на външно магнитно поле. Единствената диелектрична бариера (DB) се разполага непосредствено до заземен протиелектрод (GE). Реализират се последователно три варианта на изпълнение на магнитната система с постоянни рядкоземни магнити: $HVE(Al)-GRE(Al)DBGE(Al)-PM$ – вариант на изпълнение, при който магнитната система е отворена двустранно; $HVE(Al)-GRE(Al)DBGE(Al)-PMMC$ – магнитната система е отворена едностранно откъм електродната система и $HVE(Fe)-GRE(Al)DBGE(Al)-PMMC$ – магнитната система е затворена и включва работната междина, в която гори бариерния разряд, фиг. 2.

Използването на синтеровани неодимови постоянни магнити ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) позволява много рационално да се реализира относително силно магнитно стимулиране на бариерния разряд при слабо увеличаване на теглото и размерите на електродната система. Това се дължи на добрите магнитни характеристики на неодимовите постоянни магнити: $B_r = 1,0 \div 1,4 \text{ T}$; $H_{c,i} = 750 \div 2000 \text{ kA/m}$; $(BH)_{max} = 200 \div 440 \text{ kJ/m}^3$, $T_C = 310 \div 440 \text{ }^\circ\text{C}$. Те могат с успех да изграждат, както отворени (без магнитопровод, с големи въздушни междини), така и затворени магнитни системи. Трите варианта на магнитната система използват разположение на постоянните магнити под формата на т. нар. *магнитна стена*. Магнитите се разполагат шахматно като периодично сменят полярността си. Електродът-решетка (*GRE*) се изработва, така че страните на елементарната клетка да попаднат в зоната на максимална по стойност нормална компонента на магнитното поле, или представената конструкция предлага магнитна стимулация на разряда с напречна на електрическото поле компонента на магнитното поле - магнетронно магнитно стимулиране, фиг. 3.

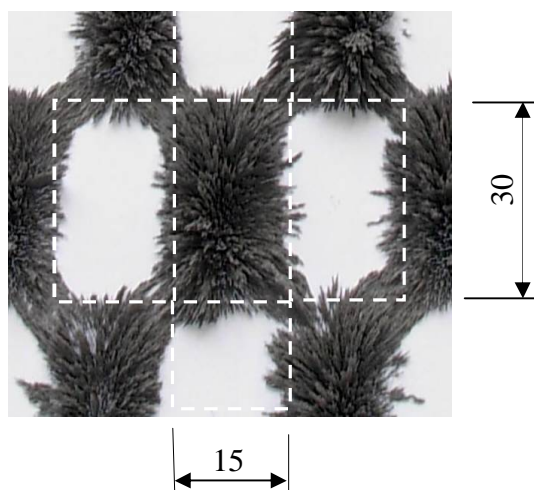


Фиг. 2. Магнитно стимулиране на бариерен разряд в асиметрична триелектродна плоско-паралелна плазмена система с общ заземен противоелектрод (*GE*) при различно изпълнение на магнитната система: **a** – двустранно отворена магнитна система; **b** – отворена едностранно магнитна система; **c** – затворена двустранно магнитна система

Всички феромагнитни магнитопроводи (*MC1*, *HVE-MC2*) се изработват от студено валцувана електротехническа неориентирана стомана М 250-35А (БДС EN 10106:2007) с параметри: 1,5 Т, 50 Hz, 2,5 W/kg.

Магнитопроводите представляват набор от четири ламели, изрязани от лист студено валцувана електротехническа стомана с дебелина $\delta = 0,35$ mm - $\Delta = 4 \times 0,35$ mm.

Максималната измерена стойност на напречната (хоризонталната) компонента на магнитната индукция върху повърхността на стъклената бариера (в областта на решетъчния електрод) заема последователно следните стойности за различните изпълнения на магнитната система – при отворената: до 127 mT; при едностранно отворената – до 135 mT и при затворената – до 154 mT.



Фиг. 3. Визуализиране на разпределението на постоянното магнитно поле по контура на елементарните клетки на електрода-мрежа (GRE), представен с бяла пунктирна линия, при размери на постоянните магнити 30 x 15 mm

3. Експериментални резултати и дискусия

Изследването се провежда по известна методика, при която експериментално се снима външната статична характеристика на магнитно стимулираните бариерни разряди „средна стойност на тока I_{avg} – ефективна стойност на напрежението върху електродната система U_{rms} ” при честота 50 Hz, а след определяне на работните режими, на напрежението на горене и на критичните параметри по ток и напрежение се изчислява активната мощност P като функция на приложеното напрежение U_{rms} . Сравнение на изследваните варианти на триелектродната система се осъществява чрез повърхнинната плътност на активната мощност p_s , която не зависи от площта на електродите, [1, 2].

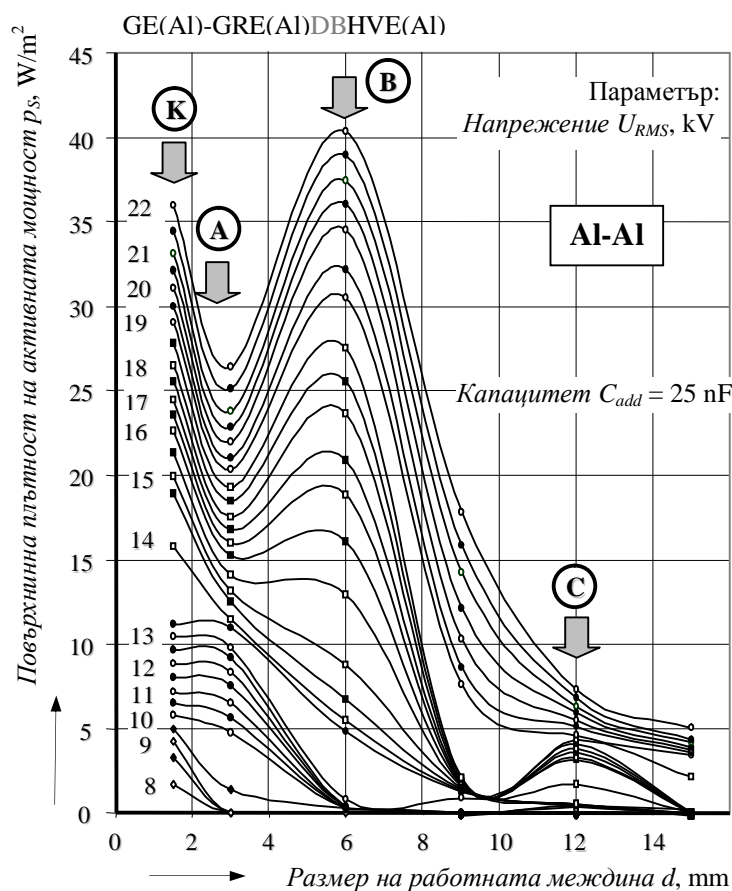
Промяната на работната междина d определя промяна на фактора на подобие на разрядите ($p \cdot d$), тъй като налягането p остава постоянно и равно на атмосферното налягане – $p = p_0$. Това позволява характеристиката “повърхнинна плътност на активната мощност p_s – размер на работната междина d ” да бъде

използвана за разкриване на различните механизми на горене на бариерния разряд. Едно сравнение на характеристиките на магнитно стимулираните разряди с характеристиката на базовата триелектродна система (без магнитно поле) при стойност на капацитета на кондензатора $C_{add} = 25$ nF позволява не само количествено, но и качествено сравнение между тях, фиг. 4, 5 и 6.

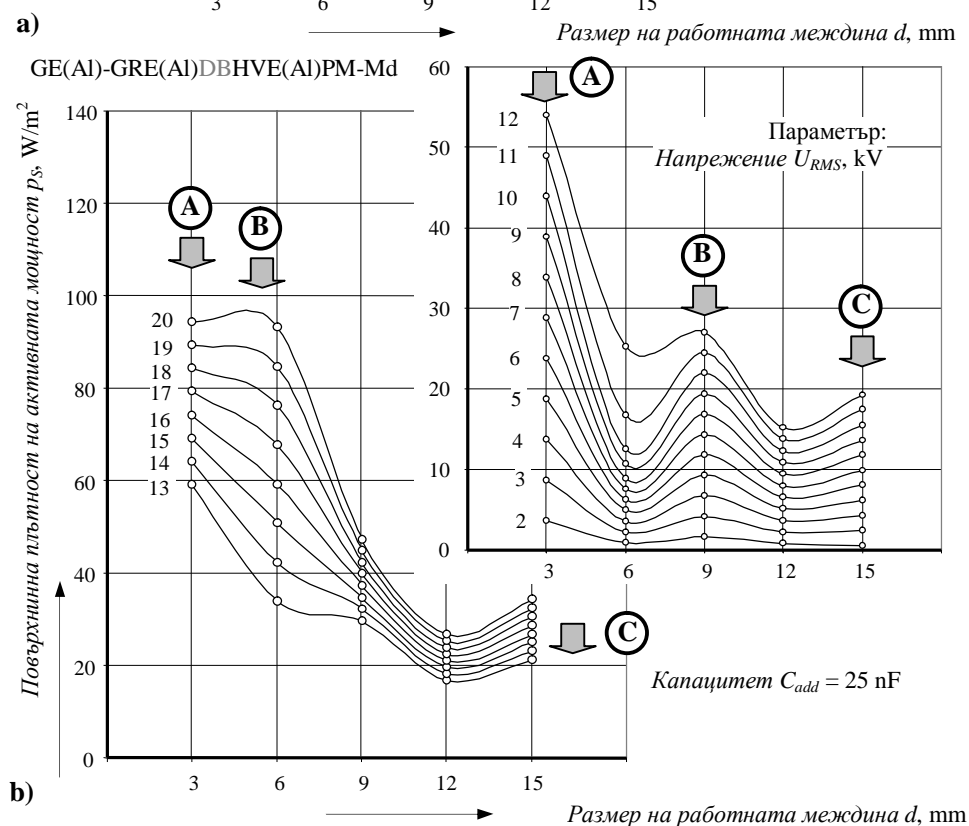
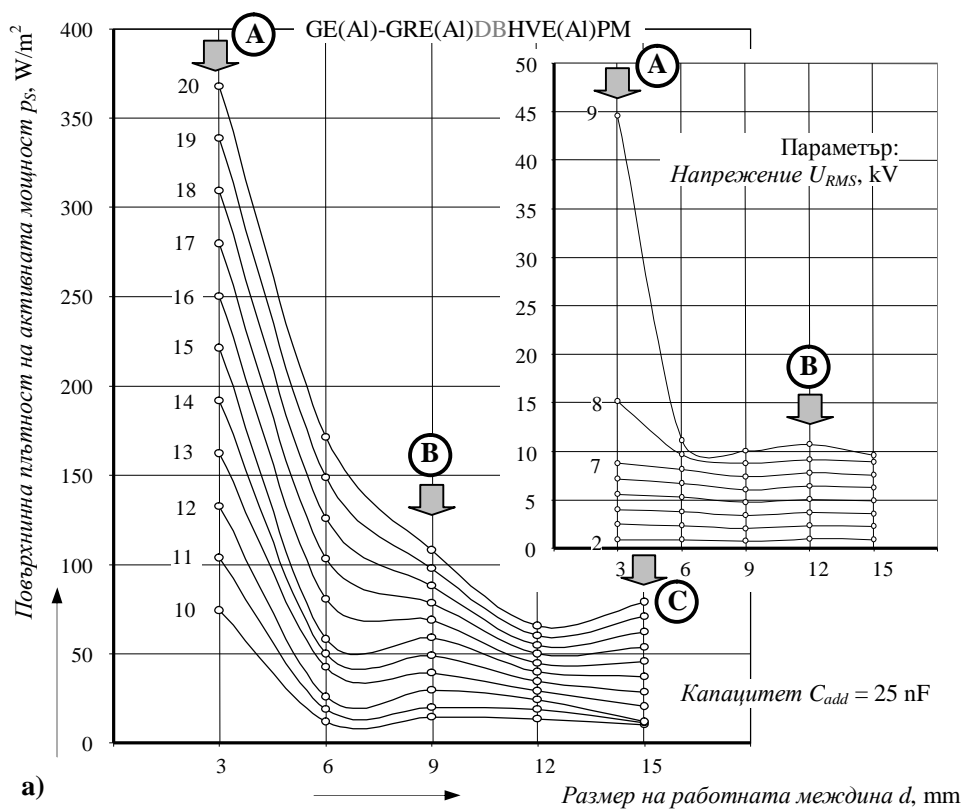
Изменението на размера на работната междина d от 3 до 15 mm разкрива съществуването на три характерни максимума при всички изследвани варианти, означени с **A**, **B** и **C**, които се намират на различно разстояние, в зависимост от интензитета на магнитното поле.

Един поглед към резултатите, получени при другите две стойности на допълнителния кондензатор $C_{add} = 50$ и 100 nF, избрани въз основа на скринингови изследвания, показва също така наличието на трите наблюдавани максимума **A**, **B** и **C**, Фиг. 7, 8 9 и 10.

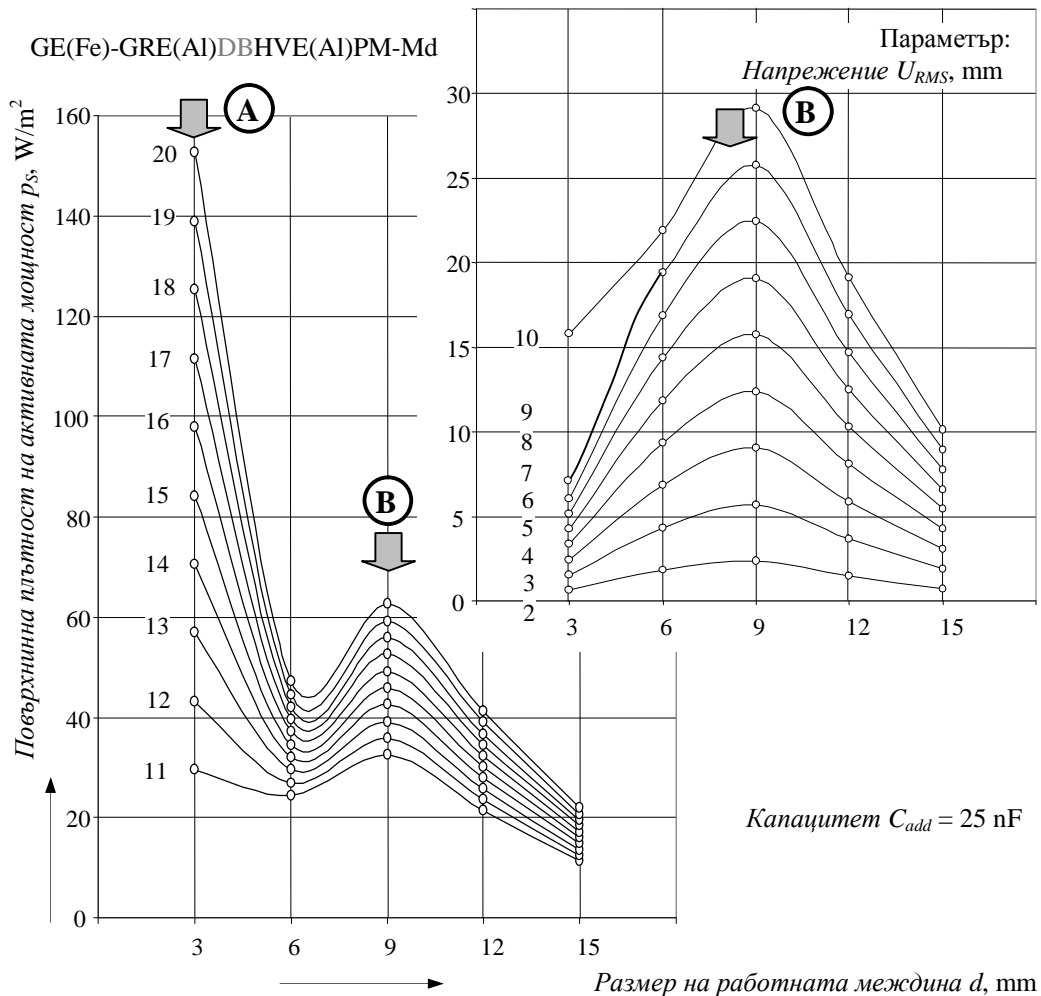
Интензивно магнитно стимулиране на бариерния разряд се наблюдава в областта на първия максимум (**A**) и то при най-ниската стойност на интензитета на външното магнитно поле - при отворената магнитна система, Фиг. 5а.



Фиг. 4. Технологична характеристика на бариерен разряд в триелектродна система с немагнитни електроди (GE , HVE). Капацитет на кондензатора (C_{add}), включен във веригата на електрода решетка (GRE): 25 nF



Фиг. 5. Технологична характеристика на магнитно стимулиран бариерен разряд в триодна система с немагнитни електроди (GE, HVE): **a** – в отворена магнитна система; **b** – в едностранно затворена (полуотворена) магнитна система. Капацитет на кондензатора, (C_{add}), включен във веригата на електрода решетка (GRE): 25 nF

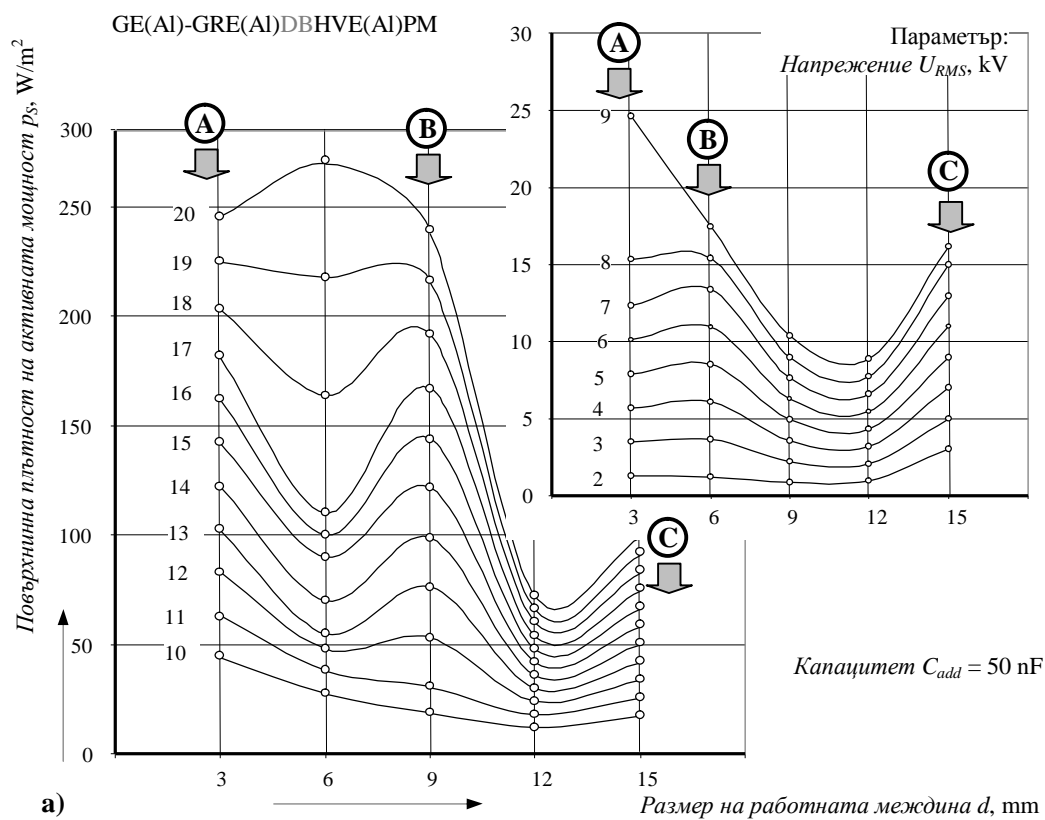


Фиг. 6. Технологична характеристика на магнитно стимулиран бариерен разряд в триодна система с магнитен противоелектрод (GE) – затворена магнитна система. Капацитет на кондензатора (C_{add}), включен във веригата на електрода решетка (GRE): 25 nF

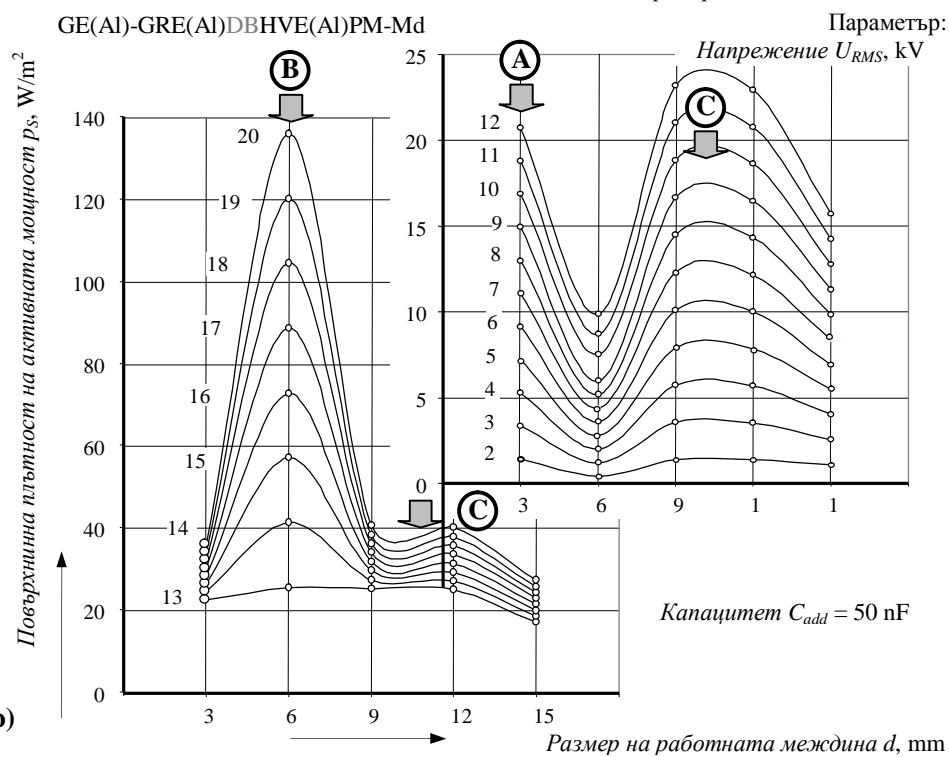
Изменението на капацитета C_{add} и на интензитета на външното магнитно поле (чрез избора на различни магнитни системи) оказва съществено влияние върху големината на повърхнинната плътност на активната мощност p_s , съответстваща на максимума (А). Той се проявява при размер на работната междина $d = 3$ mm. Магнитно стимулиране в най-висока степен се наблюдава при $C_{add} = 25$ nF и отворена магнитна система, Фиг. 5а.

Използването на кондензатори с по-голям капацитет 100 nF $\geq C_{add} \geq 25$ nF не води до нарастване на плътността на активната мощност p_s . При работа с малки работни междини (до 3 mm) едно увеличаване на плътността p_s може да се търси при отворената магнитна система, но при по-ниските стойности на интензитета на магнитното поле (отворената магнитна система) и по-ниски стойности на капацитета C_{add} .

По аналогичен начин може да се направи анализ за останалите максимуми (В и С), които отговарят на различен механизъм на горене на магнитно стимулирания бариерен разряд.

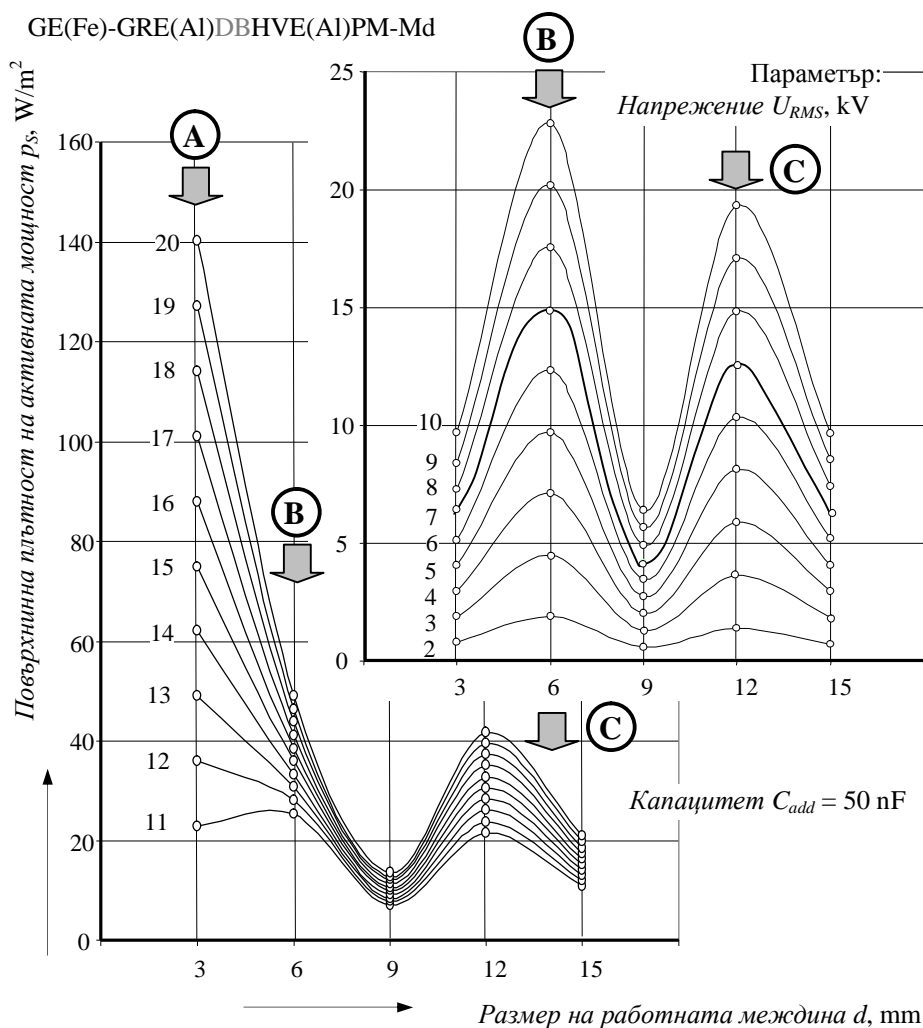


a)



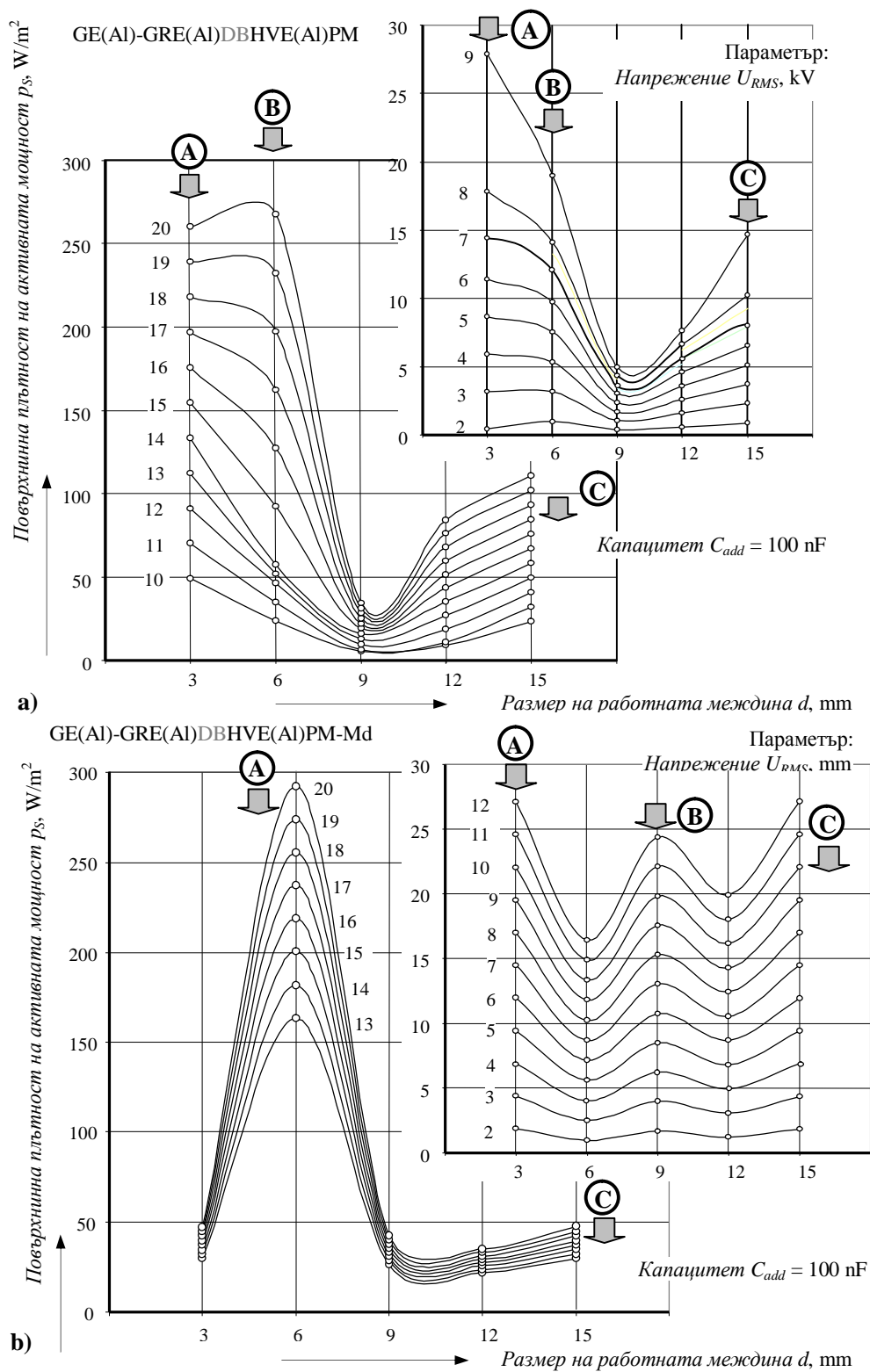
b)

Фиг. 7. Технологична характеристика на магнитно стимулиран бариерен разряд в триодна система с немагнитни електроди (GE , HVE): **a** – в отворена магнитна система; **b** – в едностранно затворена (полуотворена) магнитна система. Капацитет на кондензатора (C_{add}), включен във веригата на електрода решетка (GRE): 50 nF

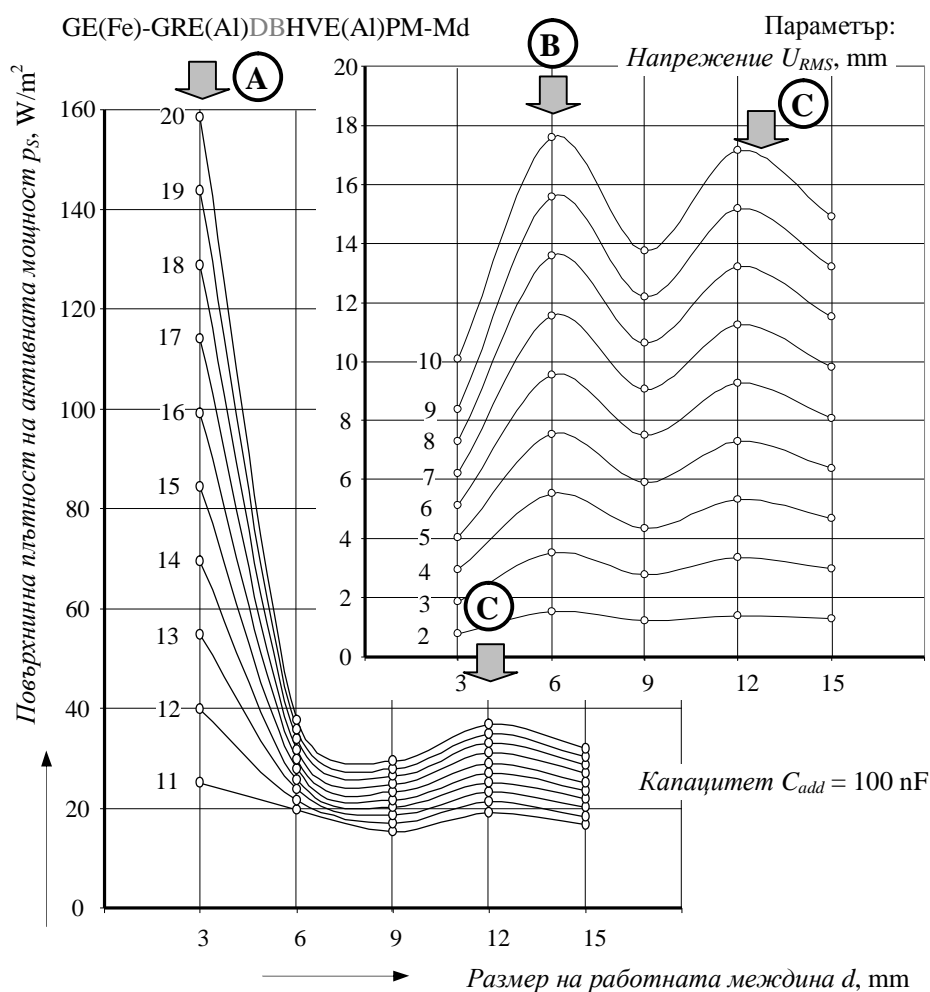


Фиг. 8. Технологична характеристика на магнитно стимулиран бариерен разряд в триодна система с магнитен противоелектрод (GE) – затворена магнитна система. Капацитет на кондензатора (C_{add}), включен във веригата на електрода решетка (GRE): 50 nF

От практическа гледна точка е важно осигуряването на максимална плътност на активната мощност p_s при определена работна междина d . Това е особено важно при големи стойности на работната междина (12 и 15 mm), тъй като там се наблюдава много рязко намаляване на плътността на активната мощност p_s . Така например, бариерният разряд в триелектродна магнитна система осигурява повърхнинна плътност на активната мощност p_s до $5 \div 7$ W/m^2 , докато магнитното стимулиране, в зависимост от избрания капацитет C_{add} и интензитета на магнитното поле, измества тази стойност към $50 \div 120$ W/m^2 – едно нарастване с повече от десет пъти. Това дава основание общо да се говори наистина за магнитно “стимулиран” бариерен разряд.



Фиг. 9. Технологична характеристика на магнитно стимулиран бариерен разряд в триодна система с немагнитни електроди (GE , HVE): **a** – в отворена магнитна система; **b** – в едностранно затворена (полуотворена) магнитна система. Капацитет на кондензатора (C_{add}), включен във веригата на електрода решетка (GRE): 100 nF



Фиг. 10. Технологична характеристика на магнитно стимулиран бариерен разряд в триелектродна система с магнитен протиелектрод (GE) – затворена магнитна система. Капацитет на кондензатора (C_{add}), включен във веригата на електрода решетка (GRE): 100 nF.

Анализът на получените резултати позволява да се направи същественият извод, за това че магнитната стимулация с външно постоянно магнитно поле не променя характера на бариерния разряд. Независимо от механизма на горене на разряда, той гори при постоянно напрежение, което е характерно за всеки от наблюдаваните режими на горене. Благодарение на този факт става възможно да се приложи методиката на изследване, предложена от Динев-Господинова, [1, 2 и 4].

4. Заключение

Проведеното изследване върху горенето на бариерен разряд в триелектродна плазмена система при различни условия на магнитната симулация, осигуряващи различна структура и максимална нормална (напречна) компонента на магнитното поле, показва възможността в различна степен да се увеличи повърхнинната плътност на активната мощност. Това е от особена важност за разши-

ряване на приложимостта на повърхностните плазмени технологии при атмосферно налягане.

Горенето на бариерния разряд в триелектродна плазмена система при условията на магнитно стимулиране разкрива основната черта на разряда, а именно независимо от механизма на горене магнитно стимулираният разряд гори при постоянна стойност на напрежението върху електродите.

Промяната на фазата на запалване на втория от разрядите (чрез промяна на капацитета на допълнителния кондензатор), заедно с избрания начин на магнитно стимулиране (структура и интензитет на магнитното поле), се явява важен инструмент за управление на активната мощност и ефективността на бариерния разряд.

Благодарности

Тази работа е реализирана при изключителната финансова подкрепа на Националния фонд за научни изследвания към Министерството на образованието, младежта и науката чрез изследователския проект **ДО-02-11** ЕФ/2009.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dineff, P., D. Gospodinova. Energy-effective plasma-chemical surface modification of polymers and polymeric materials at atmospheric pressure. International Conference "MEDPOWER'02", November 04÷06, 2002, Athens, Greece. Proceedings of Papers, 2002, pp. 01÷06.
- [2] Dineff, P., D. Gospodinova. Energy-effective Regimes of the Technological Corona Discharge. Energy Forum '03, Varna, Bulgaria, June 12÷15, 2003. Proceedings of Papers, 2003, pp. 276÷279.
- [3] Dineff, P., L. Kostova. Method for Plasma Chemical Surface Modification. WO Patent H05H1/24 WO2006133524; AN: WO2006BG00012; PN: BG20050109189 20050614.
- [4] Dineff, P., A. Asenova. Technological effects in a vacuum capacitive discharge. VI. International Conference on Applied Electromagnetics "ПЕС 2003", Nish, Serbia and Montenegro, June 01-03, 2003. Proceedings of Papers, 2003, pp. 87÷90.

Автори: доц. Петър Динев, доц. Диляна Господинова, кат. „Електрически апарати”

ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА БАРИЕРЕН РАЗРЯД В ДИОДНА СИСТЕМА С ФЕРОМАГНИТНИ ЕЛЕКТРОДИ

Петър Динев, Диляна Господинова

Резюме. Неравновесният характер на бариерния разряд определя неговото специфично поведение при магнитно стимулиране с външно постоянно магнитно поле. Магнитното стимулиране, съчетано с използването на електроди от ферромагнитен материал, отчетливо разкрива електромагнитната страна на бариерния разряд. Този факт разделя практическите подходи за изучаване и практическо използване на инструменти за влияние и управление на бариерния разряд чрез електромагнитните взаимодействия, които са част от неговата поява и развитие, на две групи – пасивен подход, който използва ферромагнитна среда за управление и влияние върху неговите електрически характеристики; и активен подход, който използва външно магнитно (постоянно или променливо) за същата цел.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE IN A DIODE SYSTEM WITH FERROMAGNETIC ELECTRODES

Peter Dineff, Dilyana Gospodinova

Abstract. Non-equilibrium nature of the dielectric barrier discharge (DBD) determines its specific behavior in magnetic stimulation with a permanent external magnetic field. Magnetic stimulation, combined with the use of ferromagnetic electrodes, clearly reveals a substantial electromagnetic side of the DBD. This fact separates two practical approaches for studying the DBD, and using the electromagnetic interactions for improvement of its electrical and technological characteristics - the passive approach that uses ferromagnetic environment management and its impact on electric characteristics, and the active approach that uses an external magnet (permanent or variable) field for the same purpose. The influence of one or two ferromagnetic electrodes and their location toward the dielectric barrier on the ignition and the burning state of the DBD in an asymmetric co-planar diode system was investigated.

1. Въведение

Магнитното стимулиране на диелектричния бариерен разряд (англ.: *dielectric barrier discharge, DBD*) представлява още един инструмент за управление на *DBD*, който не е изучен добре, но обещава сериозни възможности за подобряване на неговите електрически и технологични характеристики, [1, 2].

През 2007 година, са публикувани първите работи по магнитно стимулиране на *DBD*, [3, 4, 5 и 6], които все още търсят проявление на магнетронния ефект при *DBD*, т. е. на лоренцовата сила по подобие на дъговия електрически разряд. Експерименталните факти опровергават тези представи и насочват вниманието към неравновесния характер на *DBD* при атмосферно налягане. Нещо повече, те разкриват влиянието на мястото на електрическия контакт с плоски електроди върху поведението и характеристиките на *DBD*. Това вече е пряко доказателство за електромагнитни взаимодействия в *DBD* и на тяхно влияние върху поведението му при атмосферно налягане. Използването на феромагнитни електроди, заедно с постоянно магнитно поле (постоянни магнити), разкрива влиянието на електромагнитните взаимодействия върху *DBD*. [5, 6]

Електрическият пробив, стримерните процеси, и стационарните режими на горене на неравновесния *DBD* при атмосферно налягане, всичко това намира своето обяснение в таунсендовия квази-хомогенен механизъм и/или в стримерния механизъм на електрическия пробив. Най-често, характерната пространствена структура на *DBD*, включваща множество, появяващи се на едно и също място, микроразряди се определя от взаимодействащите помежду си стримери и пространствени заряди. *Fridman u Kennedy* (2004) въвеждат дори понятието *кулонов кристал* (англ.: *Colombs cristal*), за да представят взаимодействието и самоорганизацията на стримерите. Нещо повече, много широко се използват различни методи за моделиране на пространствената структура на *DBD*. Теорията на *DBD* остава феноменологична по своята същност и се опитва качествено да обхване явлението, но преди всичко от гледна точка на кулоновите взаимодействия между зарядите и стримерите, [7, 8 и 9]

Изследвания върху бариерния разряд определят факти, които променят представата за *DBD* и могат да доведат до получаването на хомогенен разряд при атмосферно налягане. Всичко, обаче, остава в границите на електростатичното взаимодействие между зарядите, електродите и диелектричната бариера. Появяват се множество електрони, които стават начало на паралелно развиващи се електронни лавини – лавинен стадий на разряда;

- електрическото взаимодействие между две движещи се съседни лавини затруднява прехода към стримерна форма на развитие на разряда, което означава това, че взаимодействието между паралелно развиващите се лавини отмества към по-висок критичен интензитет на електрическото поле прехода към стримерната форма на разряда, или прехода към нехомогенен *DBD*;

- преходът към стримерна форма на разряда се осъществява при достигане на критичната стойност на т. нар. *критерий на Meek* ($a.d \geq 20$, $n_e \geq 3 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-3}$, $E_0 = 26 \text{ kV/cm}$), която се влияе от наличието на множество електронни лавини, които едновременно се движат към анод.

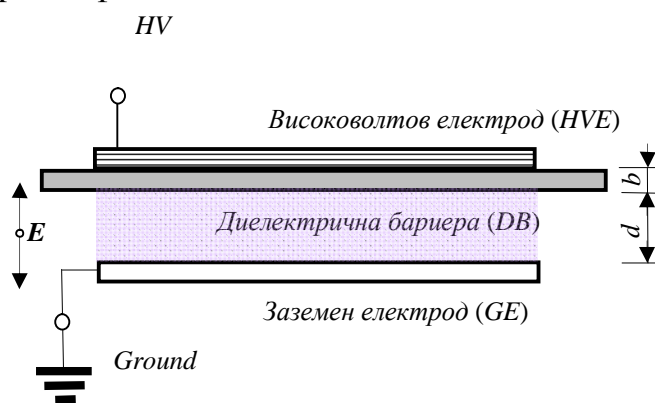
Формираните досега представи за развитието на *DBD* се изграждат изключително върху електростатичното взаимодействие между обемните заряди, диелектричната бариера и електродите. Ако се отчете, обаче, динамиката на развитие на микроразрядите, на лавинния и на стримерния стадий, то веднага може да се предположи, че електромагнитните

взаимодействия също така би трябвало да оказват съществено влияние върху формите и развитието на бариерния разряд. Времетраенето на лавинния стадий е около 10 ns, докато времетраенето на катодно насочения стример е около 1 ns, при живот на микроразряда до 40 ns. Плътноста на тока може да достигне стойности до $0,1 \div 1,0 \text{ kA/cm}^2$ при $n = 10^{14} \div 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Максималният ток достига до 0,1 A, [7, 8 и 9].

Проявата на електромагнитната природа на *DBD* би трябвало да се осъществи без наличието на външно постоянно магнитно поле. Внасянето на среда с висока магнитна проницаемост в непосредствена близост до разряда би трябвало да прояви иначе скритата страна на *DBD*. Тази наша теза се проверява в това изследване пряко по експериментален път чрез внасяне на феромагнитен електрод в областта на развитие на бариерния разряд. Това е най-простата конструктивна реализация на представената идея за разкриване на електромагнитната същност на *DBD*.

2. Експериментални изследвания

Експерименталните изследвания се провеждат в асиметрична плоскопаралелна (копланарна) диодна система, като единствената диелектрична бариера се разполага непосредствено до високоволтовия електрод (*HVE*). Реализират се последователно четири варианта на изпълнение на диодната система: *GE(Al)- DBHVE(Al)* – базов вариант за сравнение, при който и високоволтовия електрод, и заземяния противоелектрод са изработени от алуминий (немагнитен материал); *GE(Al)- DBHVE(Fe)* – вариант с феромагнитен високоволтов електрод; *GE(Fe)- DBHVE(Al)* – вариант с феромагнитен противоелектрод, и *GE(Fe)- DBHVE(Fe)* – вариант с два феромагнитни електрода, фиг. 1.



Фиг. 1. Електродна конфигурация на диелектричен бариерен разряд в плоско паралелна електродна система с една бариера ($b = 3 \text{ mm} = \text{const}$)

Всички феромагнитни електрода се изработват от студено валцувана електротехническа неориентирана стомана М 250-35А (БДС EN 10106:2007) с параметри: 1,5 T, 50 Hz, 2,5 W/kg. Електродите представляват ламели, изрязани от лист студено валцувана електротехническа стомана с дебелина $\delta = 0,35 \text{ mm}$.

Диелектричната бариера се изработва от лист алкално стъкло с дебелина 3 mm и относителна диелектрична проницаемост $\epsilon_r = 10$.

Така съставените варианти на електродна система, позволяват да бъдат разкрити следните влияния върху поведението на бариерния разряд:

- да се установи експериментално влиянието на феромагнитния електрод върху различни стадии на развитие на бариерния разряд при съществуващата асиметрия на диодната система чрез последователно въвеждане на феромагнитен високоволтов електрод (от страната на бариерата) и на феромагнитен заземен противоелектрод;

- да се установи експериментално влиянието на два феромагнитни електрода върху различни стадии на развитие на *DBD* и се провери хипотезата за наслагване на ефектите, които внася всеки от двата феромагнитни електрода.

Таблица 1. Параметри на всеки един от работните режими на горене на DBD

Работна междина	Първи режим			Втори режим			Трети режим		
	B_1	A_1	R^2	B_2	A_2	R^2	B_3	A_3	R^2
d , mm	$\mu\text{A/kV}$	μA	-	$\mu\text{A/kV}$	μA	-	$\mu\text{A/kV}$	μA	-
<i>Електродна конфигурация GE(Al)-DBHVE(Al)</i>									
3	86,558	-34,805	0,9979	145,36	-403,38	0,9878	568,34	-4385	0,9962
6	85,277	-96,392	0,9951	714,24	-8826,2	0,9846			
9	40	0	1						
12	37,706	-20,294	0,9987	70,111	-453,31	0,9961	234,66	-3708,2	0,9973
15	32,016	-11,686	0,9988	59,432	-441,25	0,9956			
<i>Електродна конфигурация GE(Al)-DBHVE(Fe)</i>									
3	111,58	-102,27	0,9955	510,94	-3046,1	0,9970			
6	95,732	-126,06	0,9978	713,5	-8153	0,9909			
9	71,092	-65,065	0,9905	984,05	-15363	0,9951			
12	57,652	-52,788	0,9963	203,81	-2780,7	0,9917			
15	43,677	-34,134	0,9983	59,72	-276,74	0,9933	195,56	-2915,8	0,9950
<i>Електродна конфигурация GE(Fe)-DBHVE(Al)</i>									
3	40	0	1	1,012	0	1			
6	40	0	1	1,012	0	1			
9	40	0	1						
12	40	0	1						
15	32,204	-12,07	0,9987	46,811	-234,19	0,994			
<i>Електродна конфигурация GE(Fe)-DBHVE(Fe)</i>									
3	77,682	-23,724	0,9987	585,98	-3645,2	0,9981			
6	55,856	-27,387	0,9990	66,364	-119,82	0,9948			
9	40,08	-20,165	0,9957	83,363	-594,88	0,9915	987,13	-14230	0,9945
12	34,203	-19,456	0,9978	60,604	-398,54	0,9914			
15	37,843	-25,309	0,9969	51,302	-188,21	0,9950	162,86	-2375	0,9972

Изследването се провежда по известна методика, при която експериментално се снима външната статична характеристика на *DBD* средна стойност на тока $I_{avg}(U_{rms})$, а след определяне на работните режими, на напрежението на горене и на критичните параметри по ток и напрежение се изчислява активната мощност като функция на приложеното напрежение U_{rms} , [1, 2].

3. Експериментални резултати и дискусия

Резултатите, представящи линейните работни участъци от външната статична характеристика, са представени чрез коефициентите B и A , като силата на линейната корелация се определя от коефициента на линейна корелация (R^2), Табл. 1. Напрежението на горене U_{br} и критичните параметри по ток I_{cr} и по напрежение U_{cr} на всеки от работните режими са представени в Табл. 2.

В областта на изучаване (при напрежения до 20 kV) се установяват до три режима на горене на DBD, които се характеризират с постоянно напрежение на горене $U_{br} = const$ и линейна зависимост между средната стойност на тока $I (avg)$ и ефективната стойност на напрежението $U (rms)$. Това налага извода за това, че внасянето на феромагнитен електрод не променя характера на разряда – той има специфичните белези на DBD, Табл. 1 и 2.

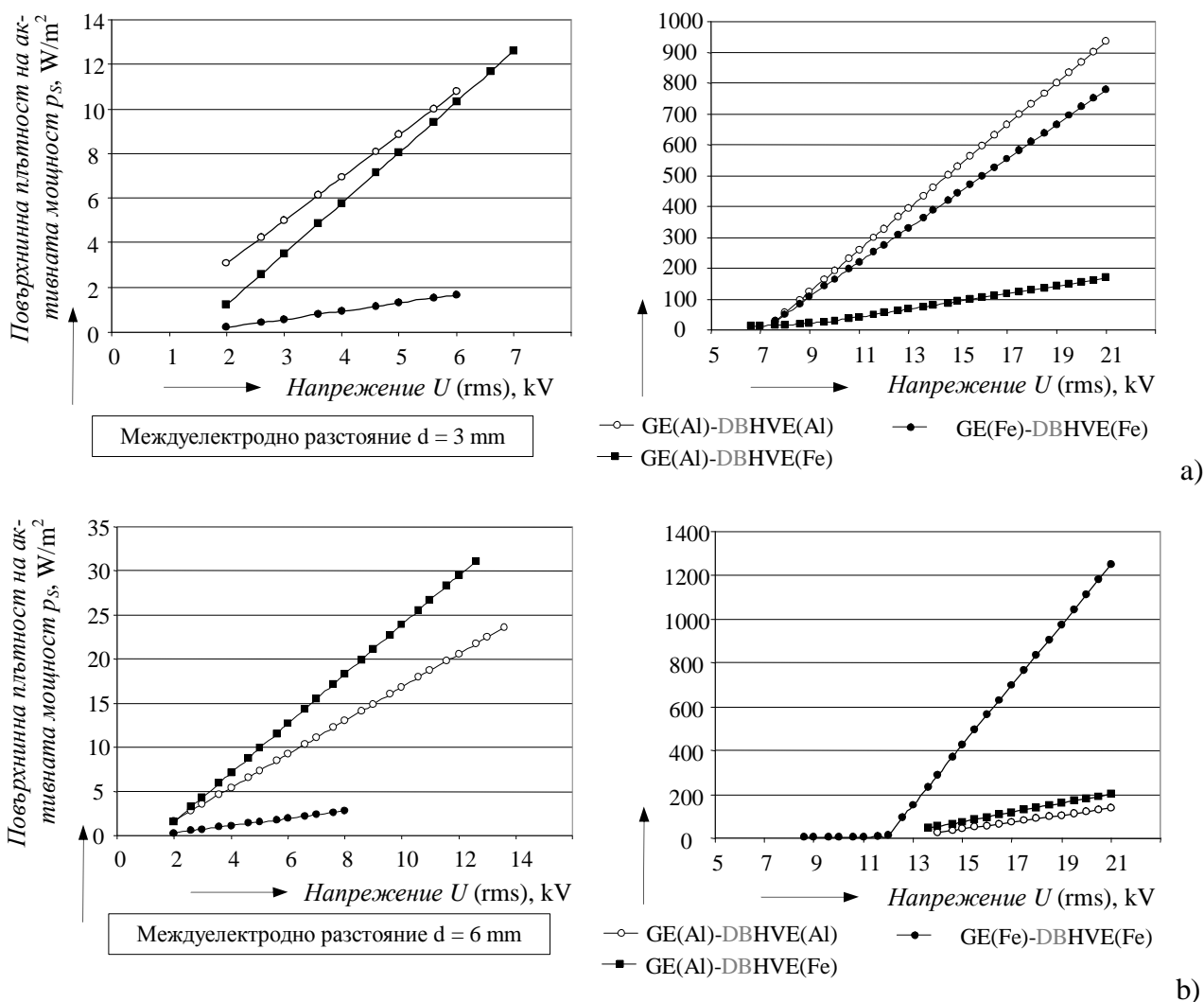
Таблица 2. Критични параметри I_{cr} и U_{cr} и напрежение на горене U_{br} на всеки един от работните режими на горене на DBD

Работна междина	Първи работен режим			Втори работен режим			Трети работен режим		
	U_{cr1}	I_{cr1}	U_{br1}	U_{cr2}	I_{cr2}	U_{br2}	U_{cr3}	I_{cr3}	U_{br3}
mm	kV	μ A	kV	kV	μ A	kV	kV	μ A	kV
Електродна конфигурация GE(Al)-DBHVE(Al)									
3	1,440	89,838	0,402	6,268	507,746	2,775	9,413	964,931	7,715
6	1,470	28,965	1,130	13,880	1087,226	12,357			
9	0	0	0						
12	1,480	35,511	0,538	13,363	483,557	6,466			
15	1,490	36,018	0,365	15,668	489,952	7,424			
Електродна конфигурация GE(Al)-DBHVE(Fe)									
3	1,460	60,637	0,916	7,203	634,426	5,962			
6	1,480	15,623	1,317	12,993	1117,829	11,427			
9	1,780	61,479	0,915	16,756	1126,185	15,612			
12	1,490	33,113	0,916	18,664	1023,236	13,644			
15	1,520	32,255	0,781	15,122	626,360	4,634	19,428	883,483	14,910
Електродна конфигурация GE(Fe)-DBHVE(Al)									
3	0	0	0	0	0	0			
6	0	0	0	0	0	0			
9	0	0	0	0	0	0			
12	0	0	0	0	0	0			
15	1,480	35,592	0,374798	15,206	477,6372	5,003			
Електродна конфигурация GE(Fe)-DBHVE(Fe)									
3	1,450	88,915	0,305	7,125	529,7377	6,221			
6	1,390	50,253	0,490	8,108	452,8804	1,805			
9	1,380	35,145	0,503	13,278	532,1853	7,136	15,087	662,816	14,415
12	1,420	29,112	0,569	14,359	491,1106	6,576			
15	1,390	27,293	0,669	12,104	458,0327	3,669	19,602	817,426	14,583

Наблюдава се ново поведение на базовата диодна система при работна междина $d = 9$ mm, интересно с това, че разрядът не се запалва при напрежения до

20 kV. Тече чисто капацитивен ток, напрежението на горене $U_{br} = 0$, както и повърхнинната плътност на активната мощност $p = 0$. Това неочаквано поведение, обаче, се наблюдава последователно при четири от изследваните пет размера на работната междина – $d = 3, 6, 9$ и 12 mm, когато противоелектродът се изработи от феромагнитен материал. При $d = 15$ mm активната мощност остава минимална спрямо всички останали случаи на изследване. Това ни позволява да говорим за подтискане на запалването и горенето на *DBD* в тези случаи. Приемаме, че диодната конфигурация с феромагнитен противоелектрод е неблагоприятна от гледна точка на запалване и горене на *DBD*. Естествено е, до се отдели специално внимание в едно по-широко изследване на това явление, като се потърсят и неговите положителни реализации за практиката.

Сравнението на останалите три варианта на диодната конфигурация се осъществява чрез технологичната характеристика „повърхнинна плътност на активната мощност p_s (W/m^2) – напрежение”, която не зависи от размера на електродите и е представена в графичен вид за всяка една от изследваните работни междини $d = 3, 6, 9, 12$ и 15 mm, Фиг. 2 и 3.



Фиг. 2. Сравнение на технологичните характеристики на три от изследваните електродни конфигурации на асиметрична плоскопаралелна *DBD* диодна система при малка работна междина d , mm: **a** – 3; **b** - 6

Представени са на отделни диаграми зависимостите, отговарящи на първия (кислородния) режим на горене (вляво) и на останалите (втори и трети) режими на горене на *DBD*. Това се налага от твърде големите разлики в стойностите на специфичната активна мощност p_s , фиг. 2.

Влиянието на внесения феромагнитен електрод може да се отрази по два начина – *първо*, влияе директно върху стойността на специфичната активна мощност p_s , и то по различен начин в зависимост от размера на работната междина; *второ*, изменя ширината на първия режим по напрежение, което при изместване на границата към по-високи напрежения води веднага до режими с по-висока специфична активна мощност p_s , фиг. 2b.

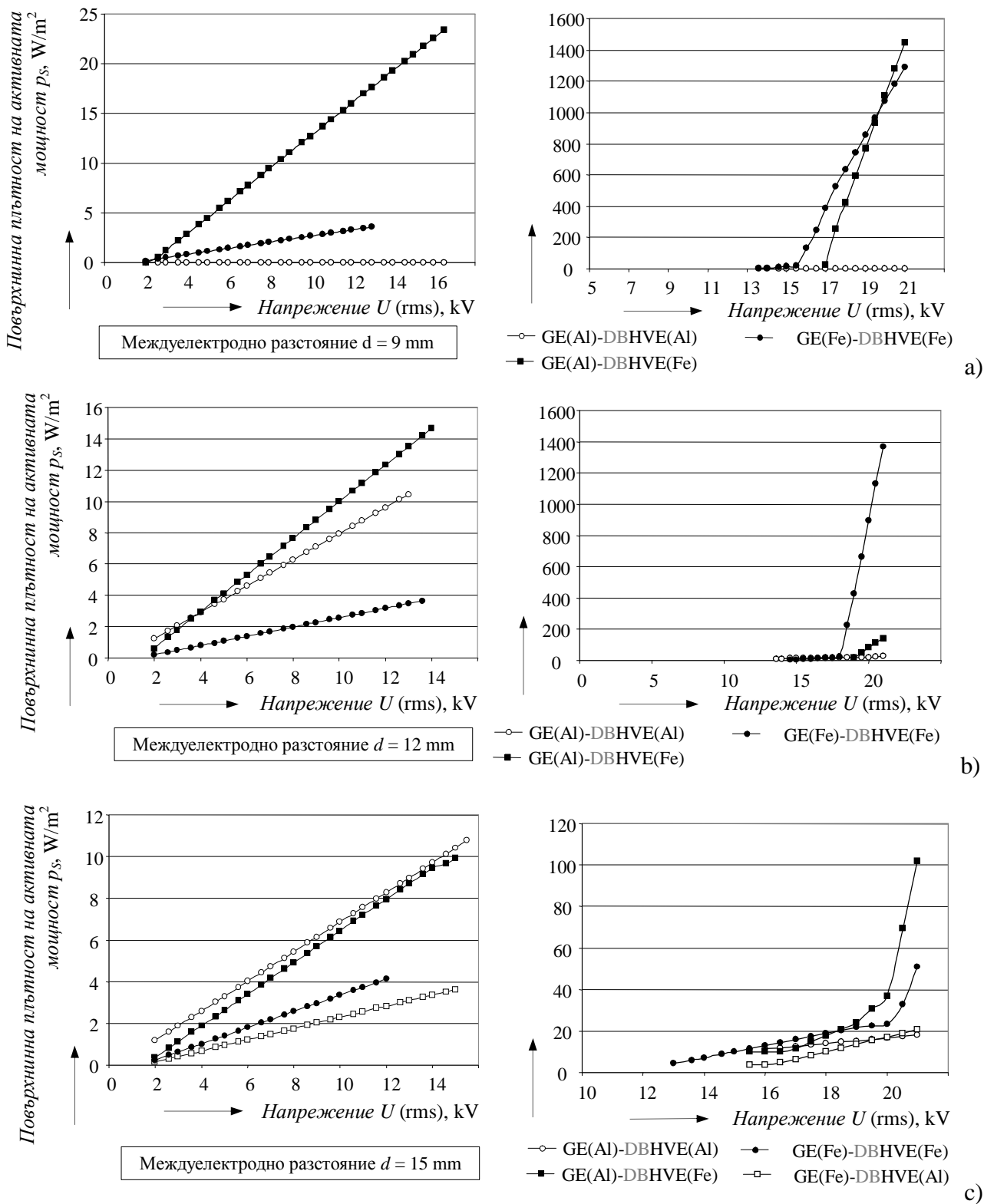
Внасянето на феромагнитна среда в областта на горене на *DBD* не се отразява положително при много малки работни междини (под 3 mm), фиг. 2a.

При всички изследвани случаи се наблюдава различно поведение на разряда в зависимост от размера на работната междина d , при това по различен начин при един и два феромагнитни електрода, фиг. 2 и 3.

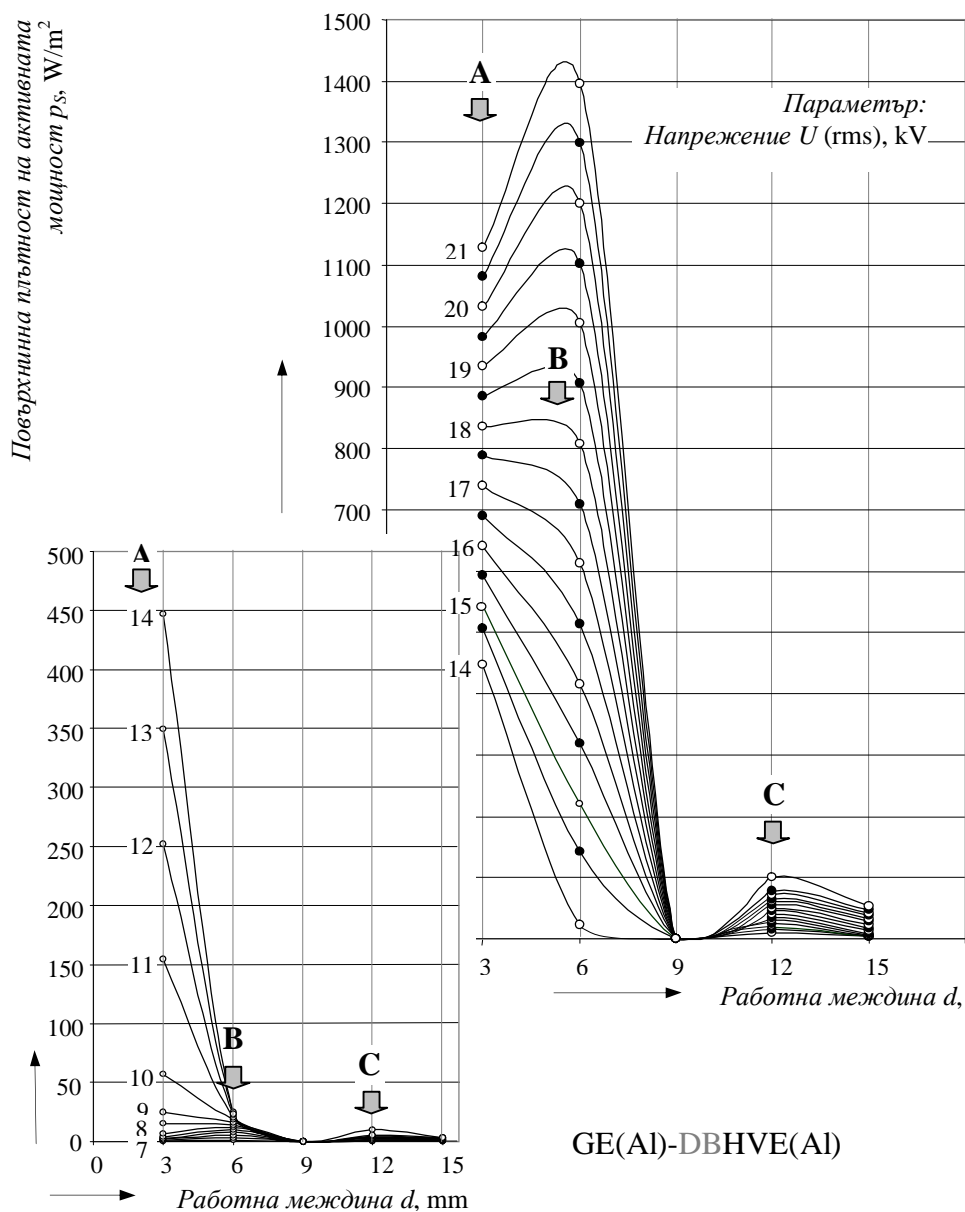
Това става лесно разбираемо, като се отчете факта, че подобие на електрическите разряди зависи от произведението на разстоянието d и налягането p – pd , [2]. Промяната на разстоянието d , при постоянно налягане (равно на атмосферното – $p = p_0$), означава различен електрически разряд и промяна на механизма на горене на *DBD*. Ето защо, резултатите за трите сравнявани диодни конфигурации се представят в координати специфична активна мощност p_s и разстояние d , фиг. 4, 5 и 6.

Базовата електродна конфигурация с немагнитни електроди определя появата на три характерни максимума в областта на изследване, които отговарят на трите основни механизма на горене на *DBD*: *максимума А* - най-вероятно отговаря на таунсендовия квази-хомогенен лавинен стадий в развитието на разряда; *максимума В* – отговаря на прехода от лавини към катодно насочени стримери в областта непосредствено до анода и образуването на пространствена нехомогенна структура; *максимума С* - отговаря на прехода от катодно насочени стримери, които се образуват в непосредствена близост до анода към анодно насочени стримери, които се появяват в обема на разряда и бързо нарастват към анода. Такова разчитане на резултатите се прави въз основа на създадения от Фридман (А. Fridman, 2006) феноменологичен модел на *DBD* при атмосферно налягане, [7], като се отчита нарастващия интензитет на електрическото поле, фиг. 5.

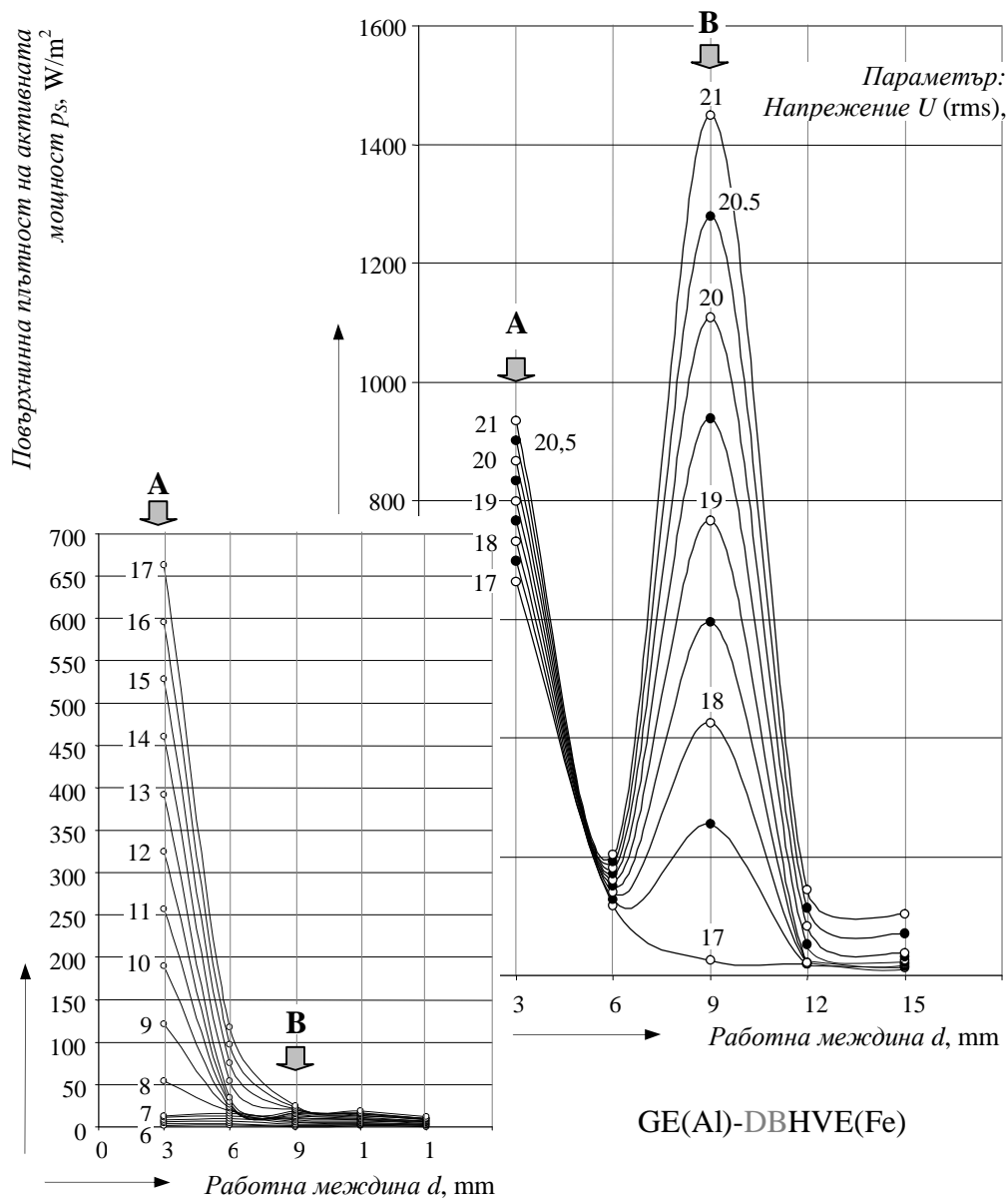
Внасянето на феромагнитен електрод (*HVE*) от страната на диелектричната бариера разширява първия максимум (А) към по-големите работни междини и увеличава специфичната активна мощност p_s . Вторият максимум се измества по същия начин към по-големите работни междини, увеличава височината си, като се проявява едва след напрежение $U (rms) = 17 \text{ kV}$. До тази относително висока стойност на напрежението доминира таунсендовия квази-хомогенен механизъм на горене на разряда при относително високи стойности на специфичната активна мощност p_s . Третият максимум (С) не се проявява до напрежения до 20 kV, което означава, че и той е изместен към по-високите напрежения – над 20 kV, фиг. 5.



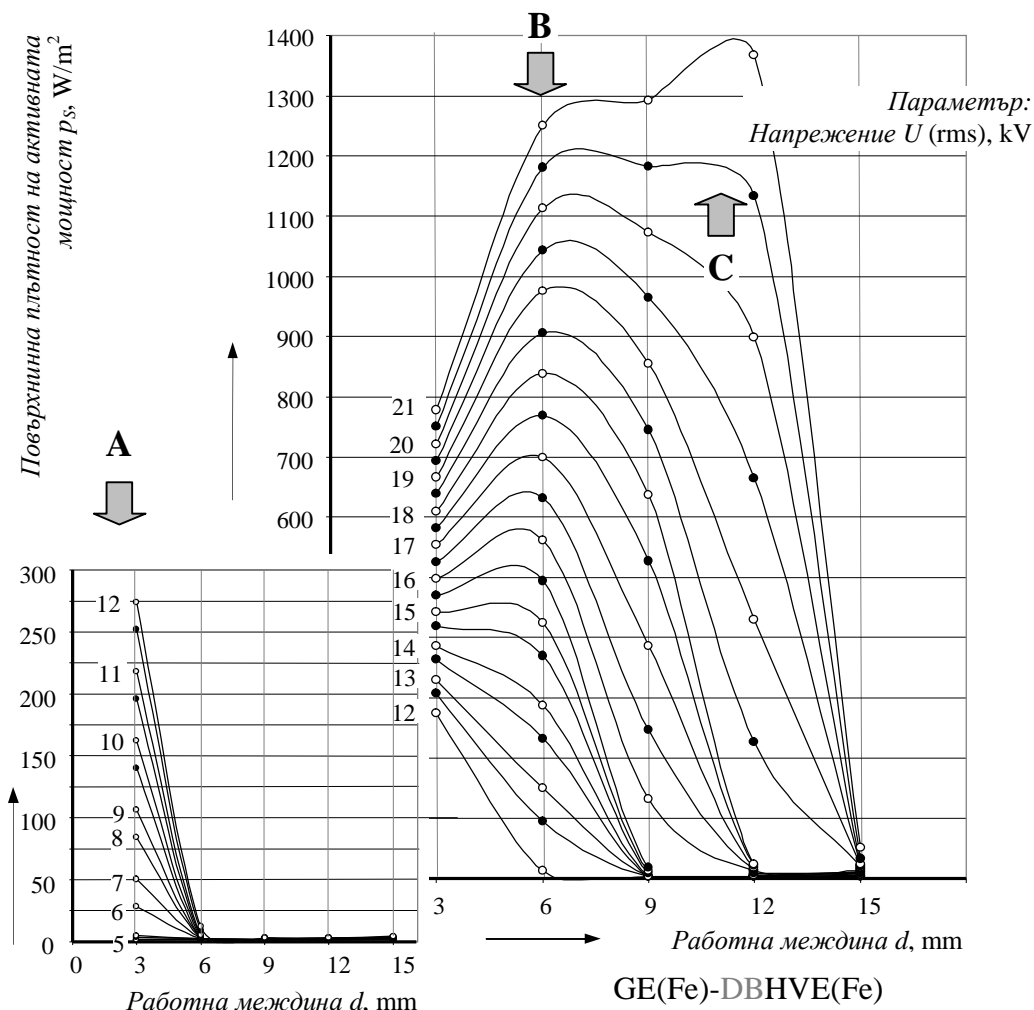
Фиг. 3. Сравнение на технологичните характеристики на три от изследваните електродни конфигурации на асиметричната плоскопаралелна *DBD* диодна система при голяма работна междина d , mm: **a** – 9; **b** - 12 и **c** – 15



Фиг. 4. Характерни максимуми на характеристиката „повърхнинна плътност на активната мощност p – работна (въздушна) междина d ”, които отразяват различни механизми на горене на DBD:
A – таунсендов квази-хомогенен лавинен механизъм;
B – стримерен механизъм с катодно насочени стримери;
C – стримерен механизъм с анодно насочени стримери



Фиг. 5. Характерни максимуми на характеристиката „повърхнинна плътност на активната мощност p – работна (въздушна) междина d ”, които отразяват различни механизми на горене на DBD:
A – таунсендов квази-хомогенен лавинен механизъм;
B – стримерен механизъм с катодно насочени стримери



Фиг. 6. Характерни максимуми на характеристиката „повърхнинна плътност на активната мощност p – работна (въздушна) междина d ”, които отразяват различни механизми на горене на DBD:

- А – таунсендов квази-хомогенен лавинен механизъм;
- В – стримерен механизъм с катодно насочени стримери;
- С - стримерен механизъм с анодно насочени стримери.

Замяната на алуминиевия противоелектрод с феромагнитен води до подтискане на запалването и горенето на DBD – запалване на разряда се наблюдава едва при големи разстояния ($d > 12$ mm). При всички останали работни междини ($d < 12$ mm) не се наблюдава поява на разряд при напрежения под 20 kV.

Асиметрията на диодната система с един електрод определя съвсем различен начин на участие на феромагнитния електрод, в зависимост от това дали е разположен откъм диелектричната бариера или е противоелектрод. Ето защо, не може да се очаква наслагване на ефектите от замаяната на двата електрода с феромагнитни. Диелектричната бариера и най-вероятно нейната специфична поляризация при наличието на феромагнитна среда влияят по специфичен начин върху запалването и горенето на DBD.

При това положение, трябва да се очаква специфично поведение на диодната конфигурация с два феромагнитни електрода. Това може да се види, изразено от характеристиката, показана на фиг. 6.

Характерният таунсендов квази-хомогенен механизъм на горене на разряда се проявява до малко по-ниски напрежения (до около 12÷13 kV) в рамките на първия максимум (А), сравнен с базовата диодна конфигурация. Той е разширен в по-малка степен към по-високи работни междини, в сравнение със случая с един феромагнитен електрод, фиг. 5 и 6.

Вторият максимум (В) се проявява при напрежения около 19÷20 kV и при работни междини $d = 6\div 7$ mm, докато третият максимум (С) се проявява при напрежения над 19,5 kV и вече е добре оформен при 21 kV. Това поведение на DBD се наблюдава, обаче, при работни междини около 12 mm, фиг. 6.

Така, диодната конфигурация с два феромагнитни електрода се разглежда самостоятелно, т.е. независимо от конфигурацията с един феромагнитен електрод. Направеният анализ показва, че различията се проявяват по отношение на трите механизма на горене на DBD и тяхната зависимост от интензитета на електрическото поле и размера на работната междина.

4. Заключение

Направен е анализ на съществени страни и характеристики на DBD като се привеждат експериментални и теоретични факти в полза на съществуването на електромагнитни взаимодействия, които би трябвало да окажат съществено влияние както върху механизмите на горене на разряда, така и върху електрическите му характеристики. Критикува се съществуващия феноменологичен модел на Фридман, който е изграден изцяло върху теориите на Таунсенд и Мик за електрическия пробив и не отразява вероятно съществуващи електромагнитни взаимодействия при запалването и горенето на DBD.

Предложен е експериментален подход, който позволява да се проследи промяната в поведението на разряда при внасянето на феромагнитна среда, като последователно се заменят единия и след това двата немагнитни (алуминиеви) електрода на асиметрична диодна система с магнитни (феромагнитни). Изследването се основава на експериментално снетата външна електрическа характеристика и построената въз основа на нея технологична характеристика на разряда.

Доказано е специфичното влияние на феромагнитните електрода върху поведението на DBD и неговите електрически характеристики и са разкрити режими на горене на разряда, които осигуряват по-голяма интензивност на плазмено-химичните преобразувания благодарение на по-голямата активна мощност на DBD с феромагнитни електрода.

Благодарности

Тази работа е реализирана при изключителната финансова подкрепа на Националния фонд за научни изследвания към Министерството на образованието, младежта и науката чрез изследователския проект **ДО-02-11** ЕФ/2009.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Динев, П., Д. Господинова. Технологични характеристики на магнитно стимулирани повърхностни бариерни разряди при атмосферно налягане. XX. Международна конференция по авангардни материали и обработки – „АМО 2010”, 27÷29 юни, 2010, Варна, България.
- [2] Динев, П., Д. Господинова. Технологична характеристика на магнитно стимулиран бариерен разряд. Международно виртуално списание за наука, техника и иновации за индустрията „Машини, технологии, материали” (International Virtual Journal “Machines, Technologies, Materials”), 2010, година IV, бр. 4÷5, стр. 39÷44.
- [3] Dineff, P., D. Gospodinova. Magnetron Dielectric Barrier Air Discharge at Low Frequency. XLII. International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies “ICEST 2007”, Bitola, Macedonia, June 24÷27, 2007. Proceedings of Papers, 2007, Vol. 2, PO III, pp. 811÷814.
- [4] Dineff, P., D. Gospodinova. Characteristics and Behaviors of Magnetron Dielectric Barrier Discharge. V. International Conference “Challenges in Higher Education and Research in the 21-st Century “CHER-21’07”, June 01÷04, 2007, Sozopol, Bulgaria. Proceedings of full papers, 2007, pp. 269÷272.
- [5] Динев, П., Д. Господинова. Технологични характеристики на магнетронен диелектричен бариерен разряд при атмосферно налягане. XXV. Юбилейна научна конференция с международно участие „МТФ 2007”, 14÷16 септември, 2007, Созопол, България. Сборник с доклади, 2007, том 1, стр. 232÷237.
- [6] Динев, П., Д. Господинова. Технологични характеристики на магнетронен диелектричен бариерен разряд във вакуум. XXV. Юбилейна научна конференция с международно участие „МТФ 2007”, 14÷16 септември 2007, Созопол, България. Сборник с доклади, Издателство на ТУ-София, 2007, том 1, стр. 238÷244.
- [7] Fridman, A. Plasma Chemistry. Cambridge University Press, 2008.
- [8] Becker, K., U. Kögelschatz, K. Schoenbach, R. Barker (Eds). Non-equilibrium Air Plasmas at Atmospheric Pressure. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2005.
- [9] Roth, J. Industrial Plasma Engineering: Application of non-thermal plasma processing. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2001.

Автори: доц. Петър Динев, доц. Диляна Господинова, кат. „Електрически апарати”

СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ НА ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕТО

Иван Стоилов

Резюме: В доклада е описана, разработената от колектив при МГУ”Св. Иван Рилски”-София, система за мониторинг на електропотреблението. Тя е изградена от електронни електромери, локални компютърни станции, централен сървър и работни станции. Системата е внедрена в металургичното предприятие ”СТОМАНА ИНДЪСТРИ” АД.

SYSTEM FOR MONITORING OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION

Ivan Stoilov

Abstract: The paper has described a system for monitoring of the electric energy consumption, designed by a team of experts from the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilsk”-Sofia. The system is composed of electronic electrometers, local computer stations, main server and individual working stations. The system has been commissioned at the metallurgical enterprise “STOMANA INDUSTRY” AD.

1. Въведение

Проблемът за контрола и управлението на консумацията на електроенергия на енергоемките производства винаги е бил актуален. Колектив от Минно геоложкия университет разработва и внедрява в предприятията от минно-добивния и металургичния отрасъл компютърни системи за мониторинг на електропотреблението от 1986г.[1]. Реалната необходимост от изграждане на системи за оперативен контрол на електропотреблението се потвърждава и от факта, че подобни системи в различни модификации и степен на комплектованост се разработват от редица фирми[4÷7] и са внедрени в редица предприятия.

С въвеждането на свободния пазар на електроенергия у нас, изискванията към функциите на системите за мониторинг на електропотреблението се завишиха, така освен контрола в реално време на консумацията на електроенергия и изработването на различни справки, системите трябва да спомагат за планирането и спазването на заявените почасови количества електроенергия към търговеца. Едно от предприятията в категорията „привилигирован потребител на НЕК”-„Елаците мед” АД внедри такава система още през 2004г[2]. Отчитайки постигнатите от „Елаците мед” АД отлични финансови резултати от търговията с електроенергия на свободния

пазар, ръководството на „СТОМАНА ИНДЪСТРИ ” АД възложи на МГУ Инженеринг ЕООД разработването на подобна система. Разработената от колектива система за дистанционно отчитане на консумацията на електроенергия в “Стомана Индъстри” АД бе успешно внедрена в началото на 2008 [3], а през 2009г. бе извършено разширяване на обхвата и въвеждане на нови функционални възможности.

2. Основни характеристики на системата

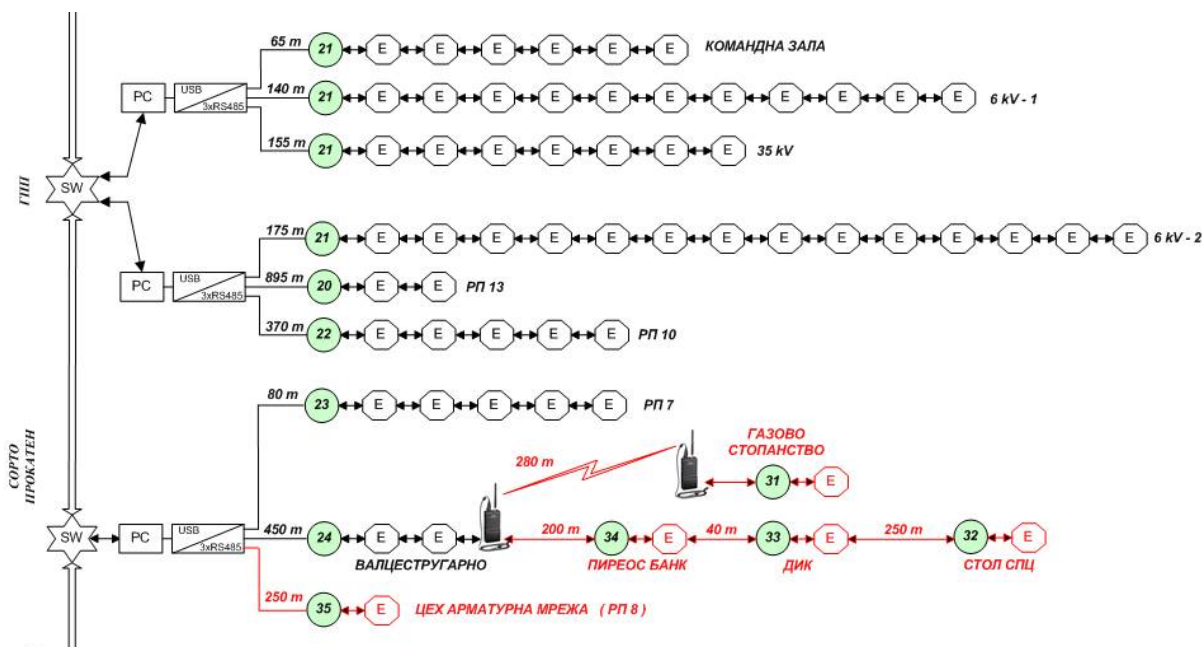
Системата за контрол на електропотреблението, внедрена в “Стомана индъстри” АД, обхваща:

- 135 електронни електромери с възможност за предаване на данни на разстояние. Електромерите са тип EMPS, производство на фирма „Мултипроцесорни системи” ООД ;

- 12 локални компютърни станции, свързани към съществуващата оптична мрежа на предприятието. Те осъществяват извличане, натрупване, първично филтриране и начална обработка на данните от групата електромери, свързани към тях. В зависимост от териториалното разпределение на електромерите, връзката между електромерите и локалните станции се осъществява чрез използване на интерфейс RS 485, или радиомодем (фиг. 1) .

- сървърна станция, която поддържа и управлява базата данни, извършва обработка на информацията, синхронизира работата на локалните и потребителските станции, обработва заявките в цялата система.

- потребителска станция - може да бъде използвана всяка съществуваща компютърна система, включена в локалната мрежа при условие, че в нея предварително е инсталиран съответния софтуер и са осигурени необходимите права за достъп.



Фиг. 1. Част от топологията на мрежата

Информационното осигуряване на потребителя е организирано в следните модули:

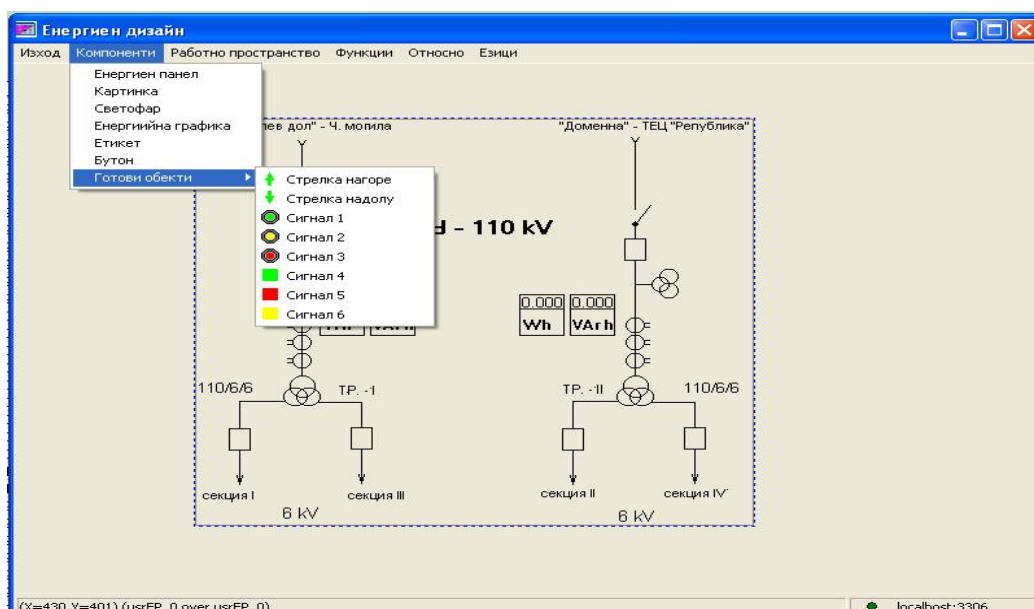
2.1. Енергиен скрийн сейвър - разработен с цел да визуализира информацията за потреблението на електроенергия в реално време, съпоставяйки я с предварително договорените почасови стойности за търговския участник(фиг. 2).

Текуща дата и време : 13.04.2008 13:48:36			
Управление на консумацията			
"СТОМАНА ИНДЪСТРИ" АД			
Дневна зона	14 ч.		Празник
	220kV	110kV	6kV
Договорена енергия MWh	10.000	10.000	10.000
Консумирана енергия MWh	0.000	0.000	0.000
Препоръка за корекция MW	50.000	50.000	50.000
Активна мощност MW	0.000	0.000	0.000

Фиг. 2. Енергиен скрийн сейвър

Извеждат се данни за часовата зона, заявеното количество електрическа енергия за часа, консумираната електроенергия от началото на текущия час. Чрез изчисляване на прогнозни стойности се формира препоръка за увеличаване или намаляване на мощността с цел спазване на договореното количество електроенергия за съответния час. Реалното управление на товарите се извършва от енергийния диспечер.

2.2. Графичен редактор - той позволява лесно конфигуриране на всички работни екрани. За целта се използват обекти от специално създадена библиотека, съдържаща графични изображения на основните компоненти на електрическите мрежи(фиг.3) .



Фиг. 3. Примерен вид на графичен екран

2.3. Справочна система – позволява формиране на справки в табличен вид за произволен времеви интервал. Предвидени са типови справки за денонощен товаров график, консумирана електрическа енергия (фиг. 4), дневно извлечение за сетълмент на търговския участник, разходи за консумирана електрическа енергия и извлечение за консумирана електрическа енергия за външни потребители. Възможно е детайлизиране на информацията чрез разделно отразяване на данните за делнични и празнични дни.

Системата предоставя възможност на потребителя да конфигурира по свое желание съдържанието на типовете справки. Във всеки момент той може да добави или отстрани от дадена справка електромер или контролна точка.

Справочна система											
Исход Справки Функции Относно										Текуща дата : 15.05.2008	
Период от : 01.04.2008										Текущ час : 13:04:26	
Период до : 30.04.2008											
"СТОМАНА ИНДЪСТРИ" АД											
Консумирана електрическа енергия по зони - Консуматори I											
Консуматор	Върхова Wa [kWh]	Върхова Wf [kVAh]	Дневна Wa [kWh]	Дневна Wf [kVAh]	Нощна Wa [kWh]	Нощна Wf [kVAh]	Общо Wa [kWh]	Общо Wf [kVAh]	Върната енергия Wc [kVAh]	cosFi Върхова	cosFi Дневна
Общо СТОМАНА ИНДЪСТРИ	12581713,280	5254455,760	23823149,760	9795040,640	22486017,200	8818072,080	58890880,240	23867568,480	0,000	0,923	0,925
220kV	7463280,000	2923800,000	15300120,000	5940000,000	16106640,000	6186840,000	38870040,000	15050640,000	0,000	0,931	0,932
Е.ДП 1	6013000,000	4842950,000	12344150,000	9895725,000	9707425,000	7777700,000	28064575,000	22516375,000	0,000	0,779	0,780
Е.ДП 3	486850,000	415142,000	1495676,000	1285648,000	4876593,202	4160515,084	6859119,202	5861305,084	0,000	0,761	0,758
КПИ 1	485072,000	392840,000	839244,000	673316,000	743260,000	595700,000	2067576,000	1661856,000	0,000	0,777	0,780
КПИ 2	343168,000	264180,000	430612,000	336672,000	586124,000	453376,000	1359904,000	1054228,000	0,000	0,792	0,788
110kV	5068096,000	2278672,000	8442192,000	3771504,000	6316288,000	2566608,000	19826576,000	8616784,000	0,000	0,912	0,913
ЕСДЦ	1049858,640	823231,000	1724190,620	1354290,460	1440633,943	1145686,218	4214683,203	3323207,678	0,000	0,787	0,786
ЛЛЦ	422703,860	189229,020	683635,880	312567,800	583312,185	269115,390	1689651,925	770912,210	0,000	0,913	0,909
Сортопрокатен цех	550326,600	430527,480	895644,340	792725,100	681250,079	608628,023	2117221,019	1891890,603	0,000	0,747	0,745
стан DANIELLI	661932,000	274680,000	1120392,000	450792,000	669239,751	216036,000	2451563,751	941508,000	0,000	0,924	0,928
AIR LIQUIDE	9483,360	6584,240	15661,200	10956,240	12755,676	8781,757	37900,236	26322,237	0,000	0,821	0,819
Нов цех за арматурна мрежа	28936,800	15310,800	56714,400	30981,600	35729,990	18853,195	121381,190	65145,595	0,000	0,884	0,878
Водоснабдяване	810715,780	496381,600	1349931,860	931238,500	1089371,125	754854,888	3250018,765	2182474,988	0,000	0,853	0,823
Теплостил	42066,000	14760,000	82584,000	41688,000	43632,000	3582,000	168282,000	60030,000	0,000	0,944	0,893
Вътрешни пазари	4617,680	3269,760	6456,240	3700,240	7203,360	3349,120	18277,280	10319,120	0,000	0,816	0,868
Шредер	165896,400	125565,600	255939,000	198160,800	27043,795	19005,598	448879,195	342731,998	0,000	0,797	0,791
Е.л. Снабдяване	35442,160	27766,640	58860,000	46690,240	47878,240	37503,120	142180,400	111960,000	0,000	0,787	0,783
Стан 1040 (Топков цех)	9468,000	9627,600	14763,600	14502,000	11442,000	10495,200	35673,600	34624,800	0,000	0,701	0,713
ЦКЛ	7103,880	4432,520	10437,260	7098,380	8031,460	6300,381	25572,600	17831,281	0,000	0,848	0,827
Общо Външни	191173,620	210036,090	377064,340	324637,440	160676,190	106496,390	728914,150	641169,920	0,000	0,673	0,758
6kV	50337,280	51983,760	80837,760	83536,640	63089,200	64624,080	194264,240	200144,480	0,000	0,696	0,695
Вход Металург	7749,280	8087,760	12875,760	13594,640	10415,200	11098,080	31040,240	32780,480	0,000	0,692	0,688
Вход Пламък	18588,000	15828,000	29196,000	24300,000	20688,000	16524,000	68472,000	56652,000	0,000	0,761	0,769
Вход Миньор	1320,000	5532,000	2244,000	9516,000	1764,000	7392,000	5328,000	22440,000	0,000	0,232	0,230
Вход Лист	22680,000	22536,000	36522,000	36126,000	30222,000	29610,000	89424,000	88272,000	0,000	0,709	0,711

Фиг. 4. Справка за консумираната електроенергия

2.4. Моментни показания на електромерите – във всеки момент потребителят може да получи информация за конкретен електромер, група електромери или за всички електромери, включени в системата (Фиг. 5). В зависимост от избраната опция той може да види пълната информация за електромер (идентификационни данни, консумираните и върнати активни, индуктивни и капацитивни енергии и мощности и моментната стойност на фактора на мощността). Освен електромери е възможно в системата да бъдат дефинирани и контролни точки, които могат да бъдат група от потребители, чията обща консумация представлява интерес или консуматор, чието потребление се формира от показанията на няколко (максимум 50 на брой) електромера.

Настройка и визуализация на данните от Електромери и Контролни точки

Изход Обекти Функции Групи Относно

Визуализация: **Електромери** Вид стойност: **Енергии/Мощности** Величина: **+ Активна Енергия** Зона: **Върхова**

Енерджи солюшънс №2	Адомит	НМ 97 №1	НМ 97 №2
0.000	0.000	0.000	0.000
Екопак	Нефтошисти 97 00Д	Полас - България	ТП 5
0.000	0.000	0.000	0.000
Енерджи солюшънс №1	ТП 4 - 1 Помпена №2	Фагус	Юнекско
0.000	0.000	0.000	0.000
ТП -15 Цех Арматурна мрежа №2	Спортна зала	Вход 220 kV Жиген	Вход 220 kV Студена
0.000	0.000	0.000	0.000
Вход 110 kV Кралев дол	Вход 110 kV Доменна	Тр №1 Собствени нужди	Тр №2 Собствени нужди
0.000	0.000	0.000	0.000
РП 10 - №1	РП 10 - №2	РП 14 - №1	РП 14 - №2
0.000	0.000	0.000	0.000
РП 15 - №1	РП 15 - №2	РП 16 - №1	РП 16 - №2
0.000	0.000	0.000	0.000
РП 17 - №1	РП 17 - №2	AIR LIQUIDE №1	КПИ1 - №1
0.000	0.000	0.000	0.000
КПИ1 - №2	КПИ 2	ЕДП1 - №1	ЕДП1 - №2
0.000	0.000	0.000	0.000
ЕДП3 - №1	ЕДП3 - №2	Вход 6 kV Металург	РП 3
0.000	0.000	0.000	0.000
РП 7 - №1	РП 7 - №2	РП 8 - №1	РП 8 - №2
0.000	0.000	0.000	0.000
РП 11 - №1	РП 11 - №2	РП 13 - №1	РП 13 - №2
0.000	0.000	0.000	0.000

Електромери и контролни точки - Осигурени права за достъп

Фиг. 5. Екранна форма за извеждане на моментни показания на електромери или контролни точки

2.5. База данни

Оторизираният потребител има достъп до цялата информация, съхранена в базата данни. С цел по-лесна обработка тя е организирана по месеци. На всяка отчетена и съхранена стойност е съпоставен в явен вид момента от време, съответстващ на получаването и.

3. Разширяване функционалните възможности на системата

В съответствие с изискванията на специалистите от „СТОМАНА ИНДЪСТРИ” АД бяха монтирани допълнителни електромери и бяха разработени нови програмни модули , даващи следните възможности:

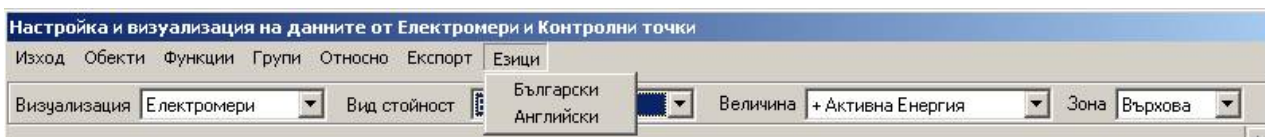
3.1. Директна връзка до модулите от системата през интернет пространството

Специално разработеният софтуер позволява достъп до системата през интернет пространството, без необходимост от допълнителни модули за комуникация. Единственото допълнително изискване е сърверната машина да е

настроена като достъпна в интернет пространството (т.е. да притежава реален IP адрес)

3.2. Мултиезичен интерфейс

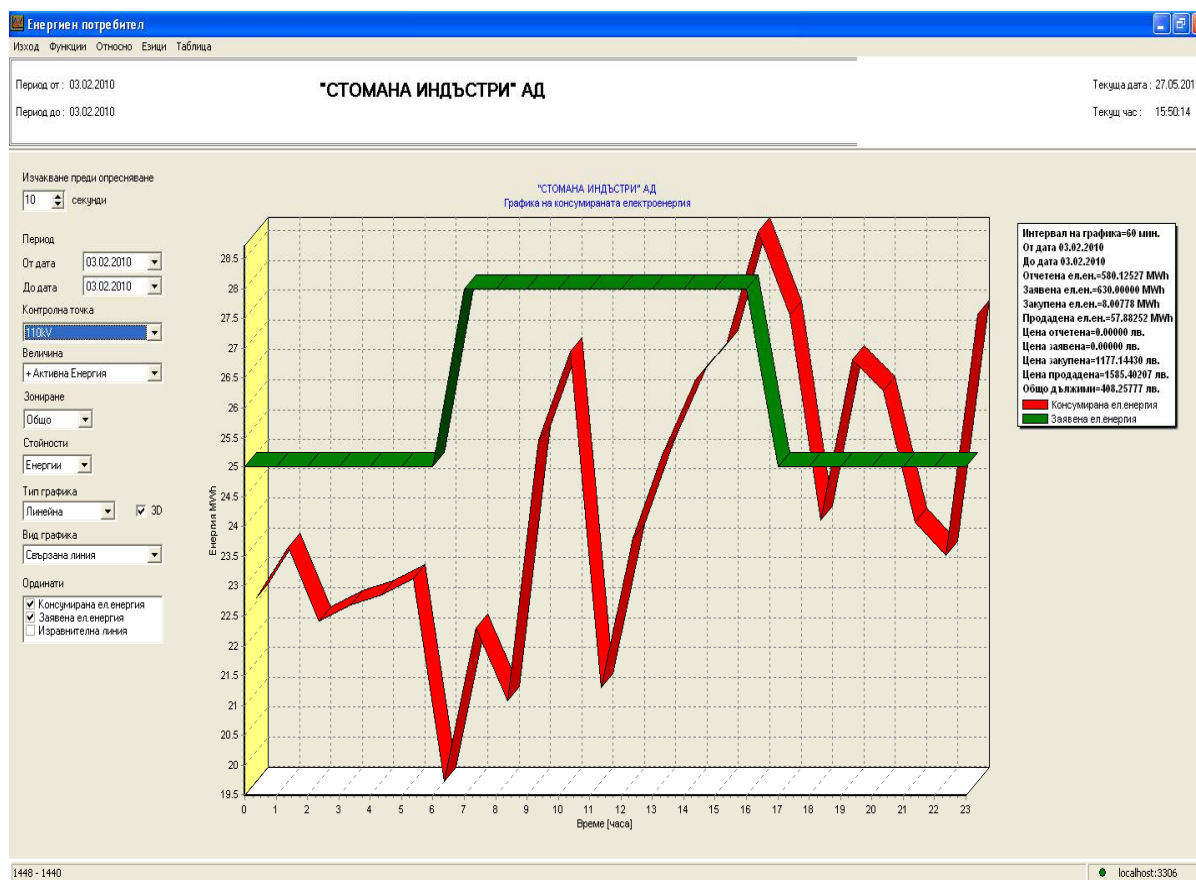
Предвидено е меню, чрез което може да се осъществи избор на езика на които ще се извеждат всички текстови съобщения в системата(Фиг. 6).



Фиг. 6. Меню за избор на език на интерфейса

3.3. Графично представяне на консумацията на електроенергията

Осигурена е възможност за графично представяне на консумацията на електроенергията за избран от потребителя консуматор, обхванат от системата(Фиг. 7). Потребителят може да задава желаната контролна точка, периода от време, обхванат от графичното представяне, типа и вида на графиката.

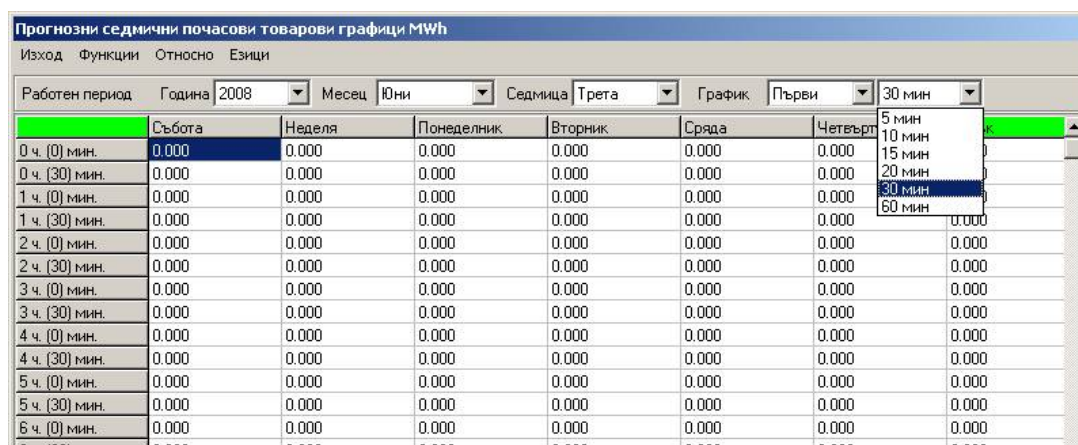


Фиг. 7. Графично представяне на консумацията на електроенергията

Освен за отделен консуматор е предвидена възможност за графична интерпретация и на данните от произволна потребителска справка.

3.4. Избор на времеви интервал при формиране на часови графици

Предвидена е възможност за избор на интервал от 5, 10, 15, 20, 30 или 60 min, през който да се формират данните във всеки един от петте възможни часови графици (Фиг. 8).



Прогнозни седмични почасови товари графици MWh

Изход Функции Относно Езици

Работен период Година 2008 Месец Юни Седмица Трета График Първи 30 мин

	Събота	Неделя	Понеделник	Вторник	Сряда	Четвърт	
0 ч. (0) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5 мин
0 ч. (30) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10 мин
1 ч. (0) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15 мин
1 ч. (30) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20 мин
2 ч. (0) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30 мин
2 ч. (30) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	60 мин
3 ч. (0) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
3 ч. (30) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
4 ч. (0) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
4 ч. (30) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5 ч. (0) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5 ч. (30) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
6 ч. (0) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
6 ч. (30) мин.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Фиг. 8. Меню за въвеждане на прогнозните часови графици

При модернизирването са разработени и други нови софтуерни решения, подобряващи функционалността на системата:

- възможност за съхранение на данните от измерванията на повече от една сърверна машина (база данни) – BackUp Server.
- увеличен брой на възможните потребители в системата – до 500;
- ускорени алгоритми за извличане и обработка на натрупаните данни във всички модули от системата.
- увеличен е броят на поддържаните входни устройства и величини.
- въведен е експортен филтър за генериране на данни към външна САП система и към MS Excel;

4. Заключение

Разработената информационно-измервателна система за контрол в реално време и оперативно управление на електропотреблението се характеризира с голяма гъвкавост и адаптивност по отношение на специфичните особености на конкретния обект. Прилагането и в практиката дава възможност за своевременен анализ на информацията, бърза реакция и провеждане на ефективен енергиен мениджмънт и съответно редуция на паричните разходи за електроенергия на предприятието.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Stoilov, I. Systems for monitoring of Electrical Energy Consumption in Mining Industry of Bulgaria- 3rd BALKAN MINING CONGRESS October 1-3, 2009, IZMIR-TURKEY.
- [2] Стоилов, Ив., К. Джустров, А. Трапов, М. Ментешев. Контрол и управление на разходите за електрическа енергия на привилигиран потребител на НЕК, списание Минно дело и геология, бр. 5,2004.
- [3] Стоилов Ив., А. Трапов, К. Джустров, Д. Ташева, З. Илиев. Система за дистанционно измерване на консумацията на електрическа енергия, Енергиен форум 11-14 юни, 2008, Варна.
- [4] <http://www.incotex.bg> Система 'INCOTEX PLC'
- [5] <http://www.sigmadev.net> Sigma Factor EMS
- [6] <http://www.mps.bg> Система за отдалечен достъп, наблюдение и управление на енергийни мрежи за ниско напрежение
- [7] Power Logic Systems, Schneider Electric Industries, France, 2002.

Автор: доц. Иван Стоилов – кат. „Електрификация на минното производство”, МГУ - София

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА КЛИМАТИЦИТЕ ВЪРХУ ТОВАРОВИЯ ГРАФИК НА АКТИВНАТА МОЩНОСТ НА ГР. СОФИЯ

Димитър Николов, Севгинар Юсеин, Тонка Шаренкова

Резюме. Поради промяна в цените на енергоносителите се увеличава относителния дял на електроотоплението. В последните години значително нарасна броят на климатиците. За изследване на тяхното влияние върху консумацията на активна мощност са използвани статистически данни за денонощните товарни графици и максималните температури за всички дни на 2009г. в гр. София. Според максималната температура дните се разделят на: много студени, студени, нормални, топли и много топли. Допълнително се разделят на работни и почивни. За всеки температурен интервал са изчислени осреднени товарни графици. Изследванията показват силно увеличаване на консумираната активна мощност при много студен ден – от 300 MW през деня до 450 MW следобед и във вечерния връх. За студен ден увеличението е от 250 до 280 MW спрямо нормален ден. При много топли дни, поради работа в режим на охлаждане, климатиците увеличават товара с 70-80 MW в часовете от 12⁰⁰ до 19⁰⁰ часа спрямо нормален ден. При топъл ден това увеличение е в диапазона 20-30 MW в периода от 12⁰⁰ до 20⁰⁰ часа спрямо нормален ден.

CONDITIONER INFLUENCE RESEARCH OVER THE LOAD SCHEDULE OF THE ACTIVE POWER OF SOFIA

Dimitar Nikolov, Sevginar Yusein, Tonka Sharenkova

Abstract. Because of the price change in energy suppliers the share of electrical heating is increasing. During the last years the number of conditioners has been considerably increasing. For the investigation of their influence over the active power consumption there are used statistic data for the twenty four hours load schedules and maximum temperatures for all days in the year 2009 in Sofia. According to the maximum temperature the days divide in: very cold, cold, normal, warm and very warm. Additionally they divide in working days and resting days. For every temperature interval there are calculated average load schedules. The research shows high increasing of consumed active power in a very cold day – from 300 MW during the day up to 450 MW in the afternoon and in the evening peak. For a cold day the increase is from 250 up to 280 MW compared to a normal day. During very warm days and because of the work in the cooling regime, the conditioners increase the load with 70-80 MW between twelve a.m. up to seven p.m. compared to a normal day. During a warm day this increase is in range of 20-30 MW between twelve p.m. up to eight p.m. compared to a normal day.

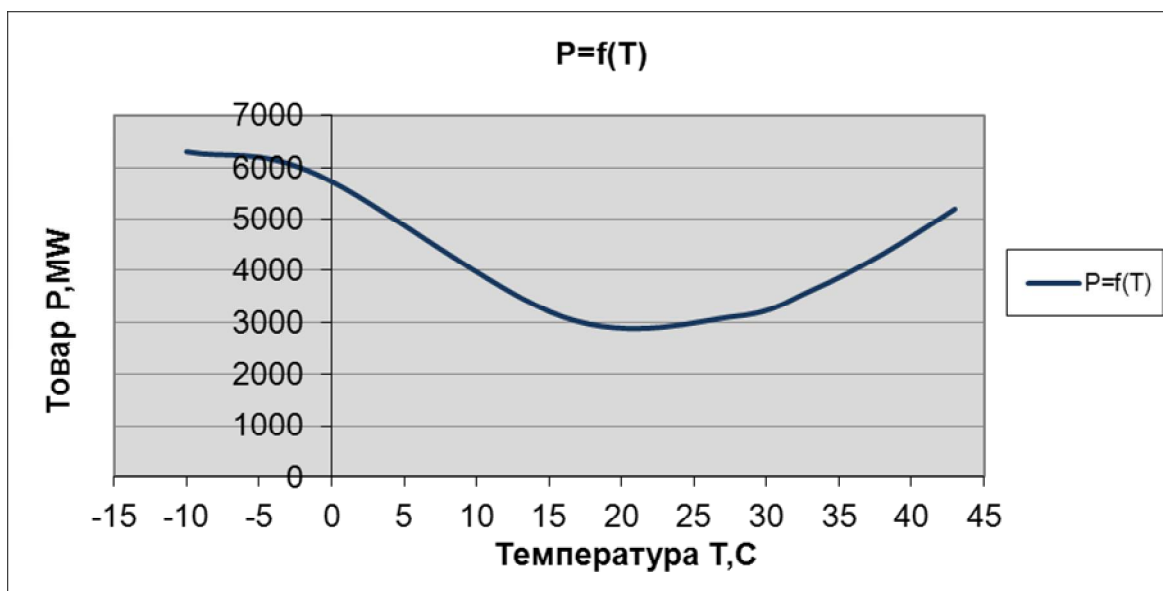
1. Увод

В последните години се наблюдават съществени промени в енергоснабдяването на жилищата и обществените сгради. Това се отнася особено за големите градове, където практически е невъзможно използването на твърдо гориво, което е най-евтино. Поради нарастването на цената на природния газ, а оттам на централното парно отопление, комуналнобитовите потребители се преориентират към използването на електрическа енергия за отопление. Заради значителния брой на жилища, офиси и обществени сгради, които ползват електроотопление нараства влиянието на външната температура върху нивото на товаровия график на активната мощност. Докато за страната делът на електроотоплението е 20%, за град София, въпреки развитата топлофикационна система, то достига 23%.

2. Изследване на формата на денонощния товаров график на активна мощност

Напоследък особено бързо нараства броят и мощността на климатиците. Те осигуряват по-висока енергийна ефективност. Повечето от тях са обратими, като през летния сезон могат да се употребяват за охлаждане, което създава комфорт в помещенията. За да се оцени точно влиянието на температурата върху консумацията на активна мощност в основен възел на е.е.с. е необходима ретроспективна информация за стойностите на активната мощност и температурата за всеки час от денонощието [1]. При проведените изследвания са използвани статистически данни за консумацията на активна мощност на град София за периода от 1.01.2009 до 31.12.2009г. Хидрометеорологичната служба [ХМС] при БАН дава и прогнозира само максималната и минимална температура на територията на големите градове. Зависимостта на консумацията на активна мощност от температурата е дадена на фиг. 1. [2]:

В диапазона от 17-25°C температурата почти не влияе върху консумацията на активна мощност. При температура под 17 °C съществува отрицателна корелация- с понижаване на температурата нараства активният електрически товар. При много ниски температури под -5 °C тази зависимост намалява поради високата цена на електроенергията и ограничения брой на отоплителните електроуреди. При температура над 26 °C съществува положителна корелационна зависимост- с нарастването на температурата нараства активният електрически товар, което се дължи на включването на климатиците в режим на охлаждане. При максимални температури над 33 °C влиянието на ѝ се увеличава поради увеличаването на броя и мощността на включените климатици.



Фиг. 1. Зависимост на консумацията на активна мощност на е.е.с. от максималната температура

Товаровите графици на активната мощност в зависимост от трудовата активност на населението през седмицата се делят на товари графици за работни и за почивни дни. Поради силното влияние на температурата графичите допълнително се разделят на пет групи: много студен, студен, нормален, топъл и много топъл ден. Те са дефинирани в следните температурни интервали (табл. 1):

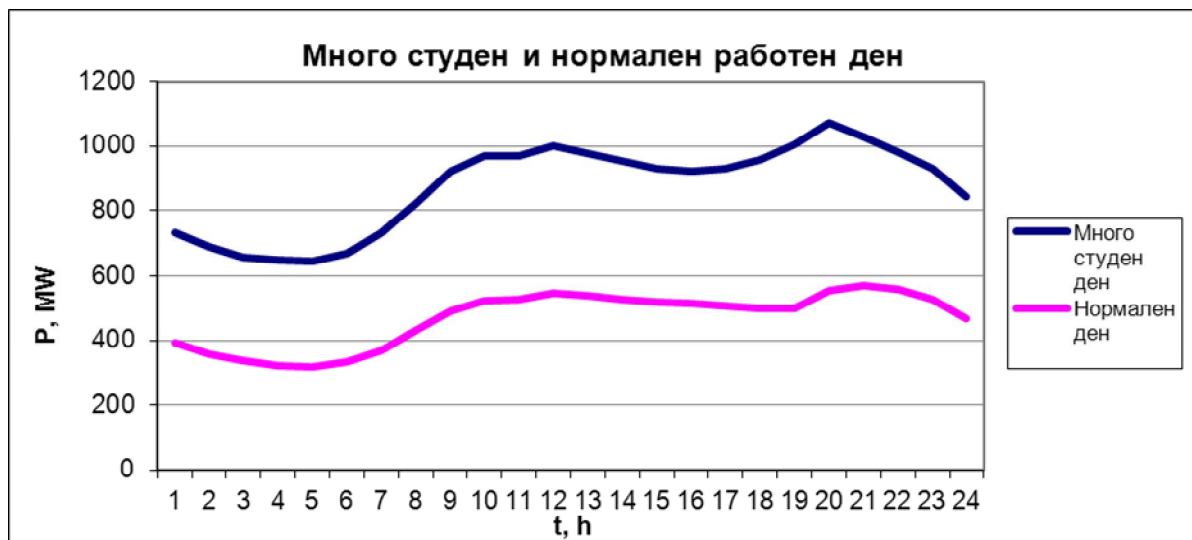
Табл.1. Видове дни в зависимост от максималната дневна температура

<i>Вид ден</i>	<i>Максимална температура, °C</i>
Много студен	до 6 ⁰ C
Студен	от 7 до 17 ⁰ C
Нормален	от 18 до 25 ⁰ C
Топъл	от 26 до 33 ⁰ C
Много топъл	над 33 ⁰ C

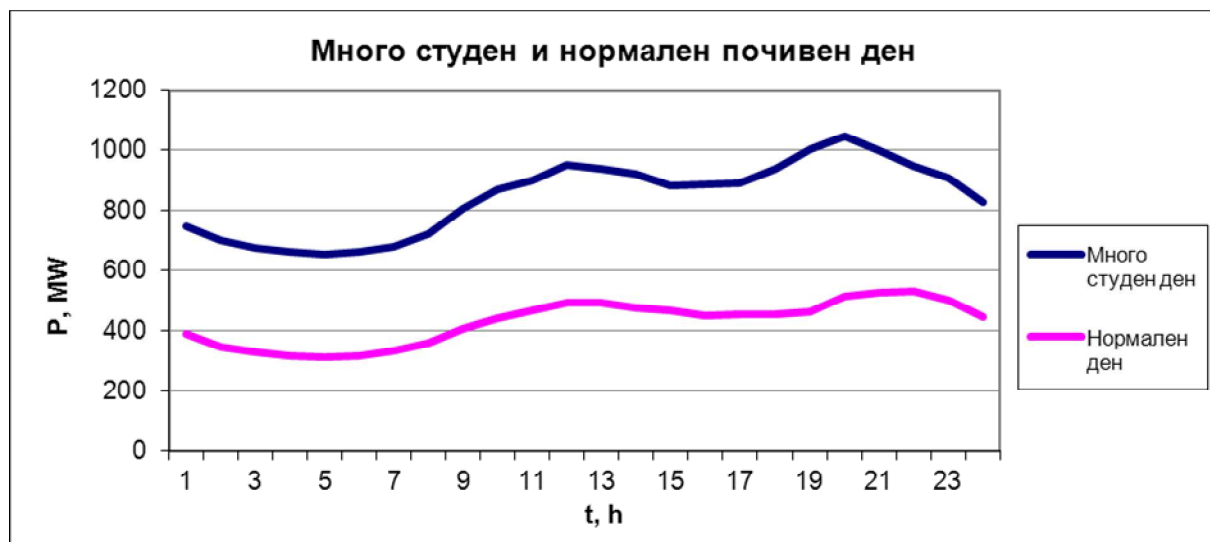
Товаровите графици, които са в един температурен интервал се обработват съвместно. В резултат на това за всеки тип ден се получава осреднен товаров график на активната мощност. Те дават представителна оценка за нивото и характерните особености на консумацията на активна мощност за съответния тип ден.

На фиг. 2 и фиг. 3 са сравнени товарите графици на активната мощност за много студен и нормален ден, съответно за работен и почивен ден. Поради големия дял на електроотоплението, който за София достига 23% от жилищата и обществените сгради, разликата е голяма. През работен ден товарият

график за много студен ден превишава този за нормален ден с 300-450MW, а в почивен ден с около 250-350 MW. През почивни дни консумацията на активна мощност за много студен ден намалява поради изключването на електрическите отоплителни уреди в обществените сгради.

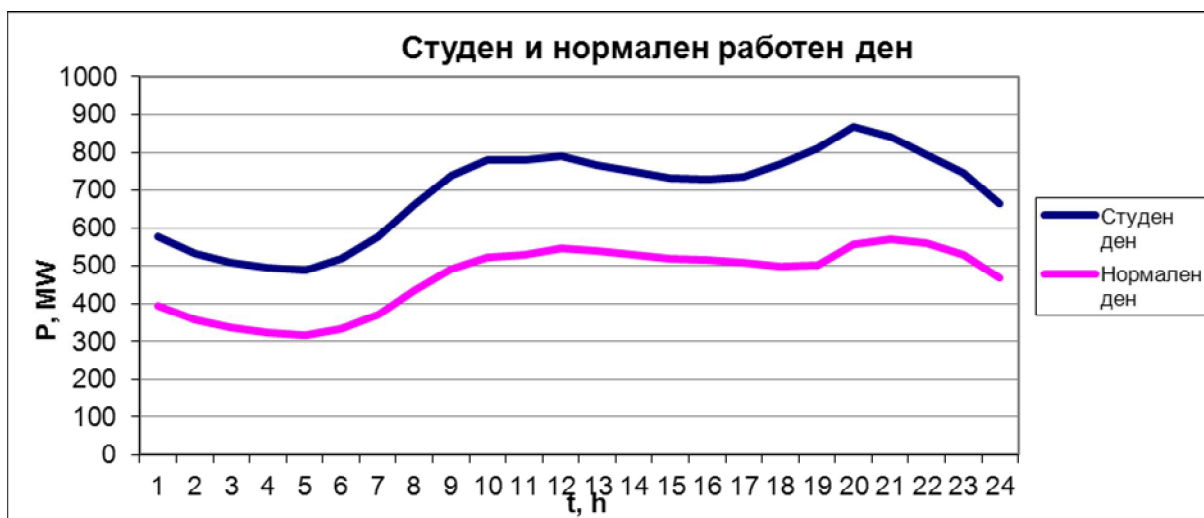


Фиг. 2. Осреднени денонощни товарови графици за работен много студен и нормален ден

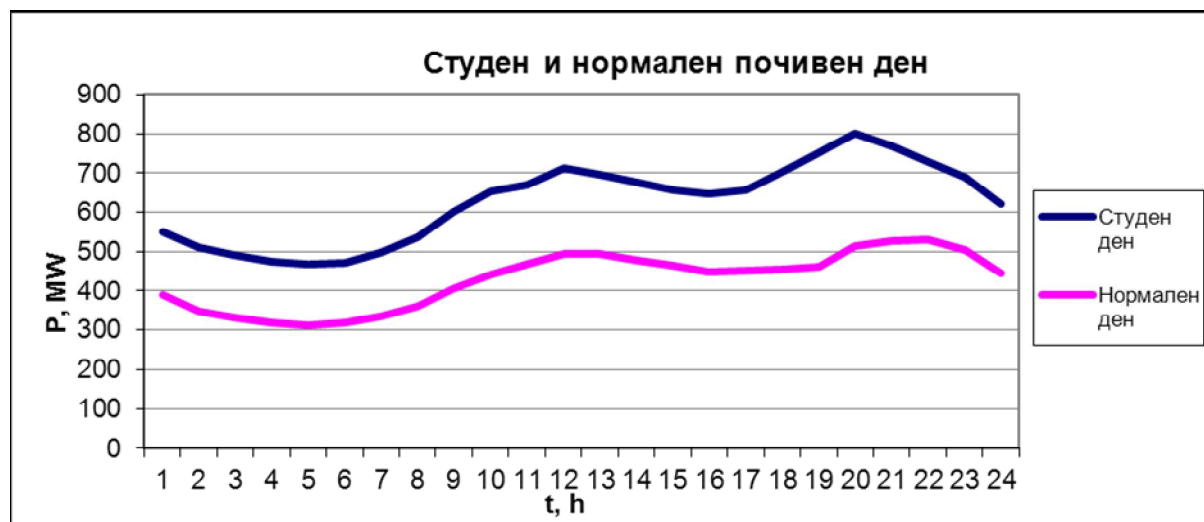


Фиг. 3. Осреднени денонощни товарови графици за почивен много студен и нормален ден

Разликата между товарите графици за студен и нормален ден намалява значително. През работния ден тя е около 200 MW, а във вечерния връх достига до 280 MW. В почивен ден тази разлика намалява съответно на 180 MW и 250MW (фиг. 4 и фиг. 5).

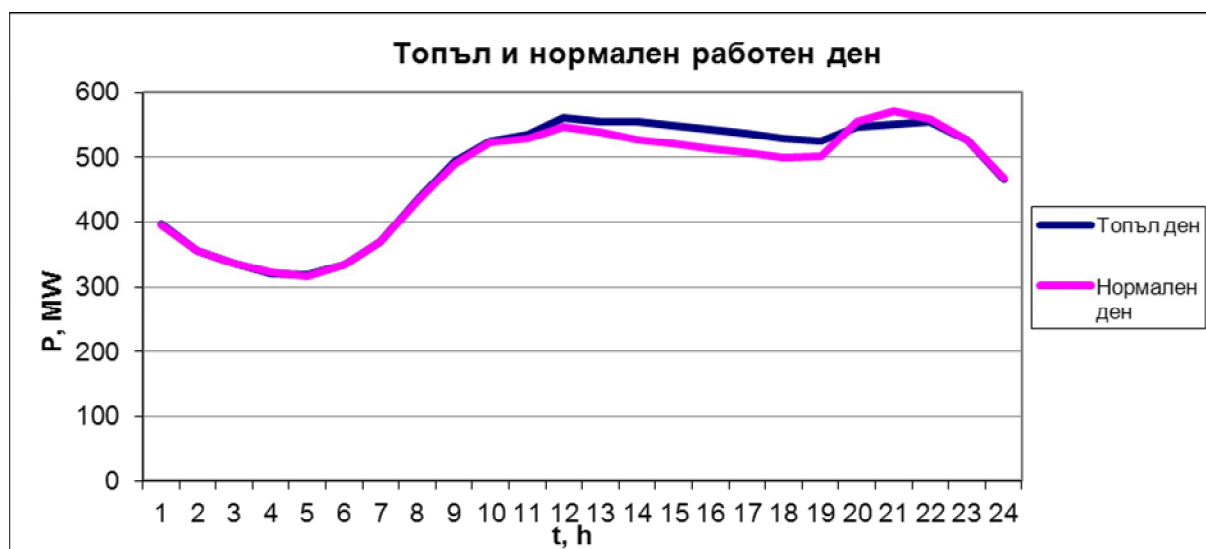


Фиг. 4. Осреднени денонощни товари графици за работен студен и нормален ден

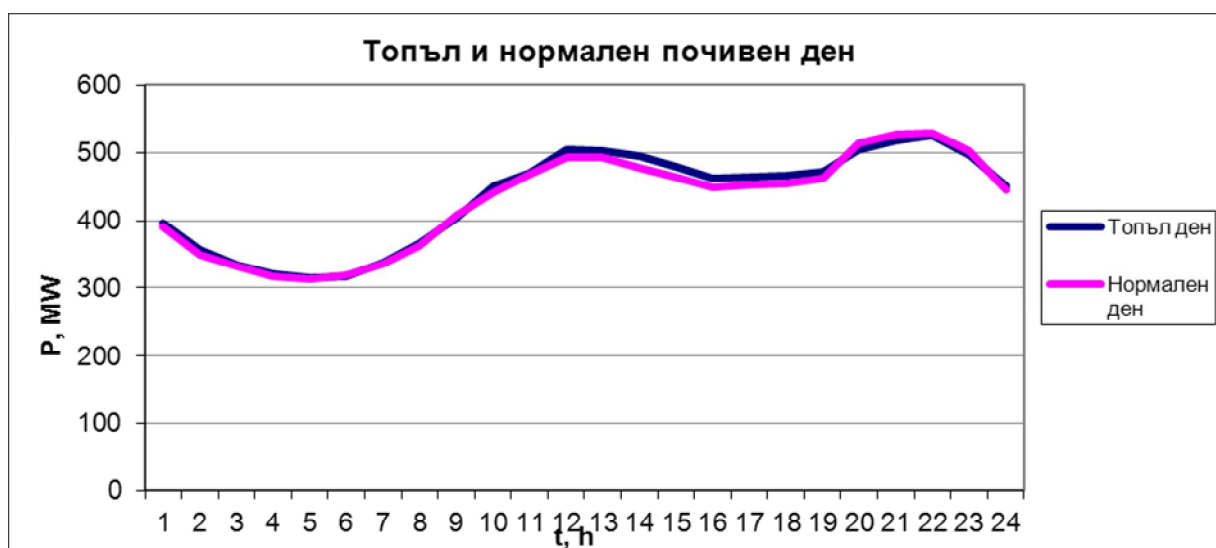


Фиг. 5. Осреднени денонощни товари графици за почивен студен и нормален ден

Товаровите графици на активната мощност за топъл и нормален ден са много близко разположени. В първата половина от денонощието те изцяло се припокриват. Разликата се появява в 12 до 20 часа, когато поради нарастване на външната температура се включват климатиците в режим на охлаждане. През почивен де тази разлика е минимална- около 10-12 MW. Изследванията показват, че мощността на работещите в режим на охлаждане климатици е около 15-20% от тяхната мощност в режим на отопление (фиг. 7). Това се обяснява с обстоятелството, че отоплението е необходимост, а охлаждането все пак е лукс. По-голяма е разликата между двата графика през работен ден. Тя е в диапазона 20-30 MW и се дължи на работата на климатиците, работещи в режим на охлаждане в обществените сгради, офиси и магазини (фиг. 6).

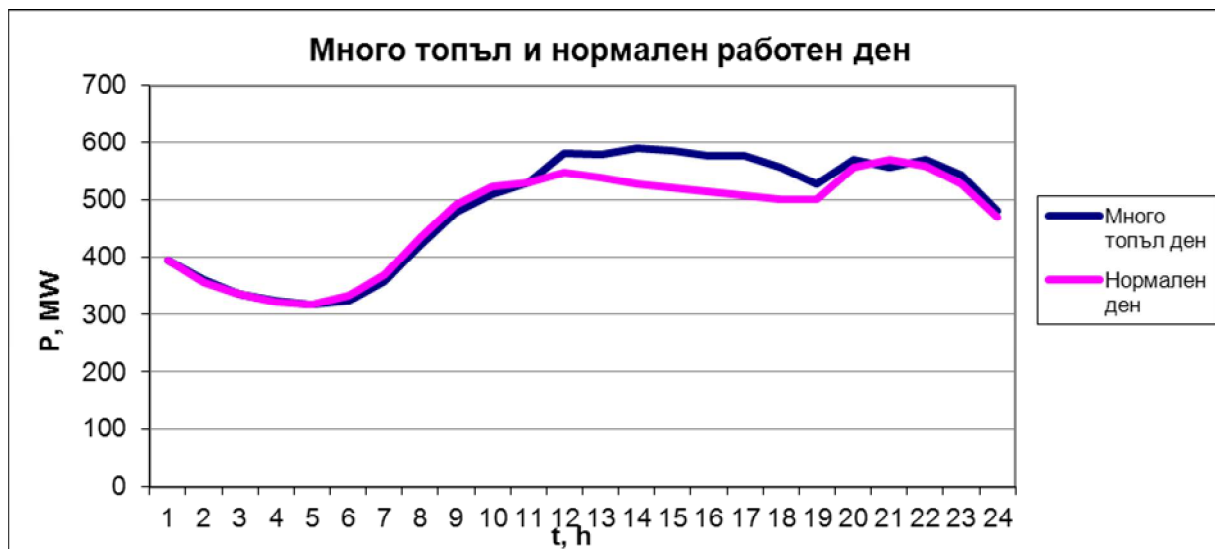


Фиг. 6. Осреднени денонощни товари графици за работен топъл и нормален ден

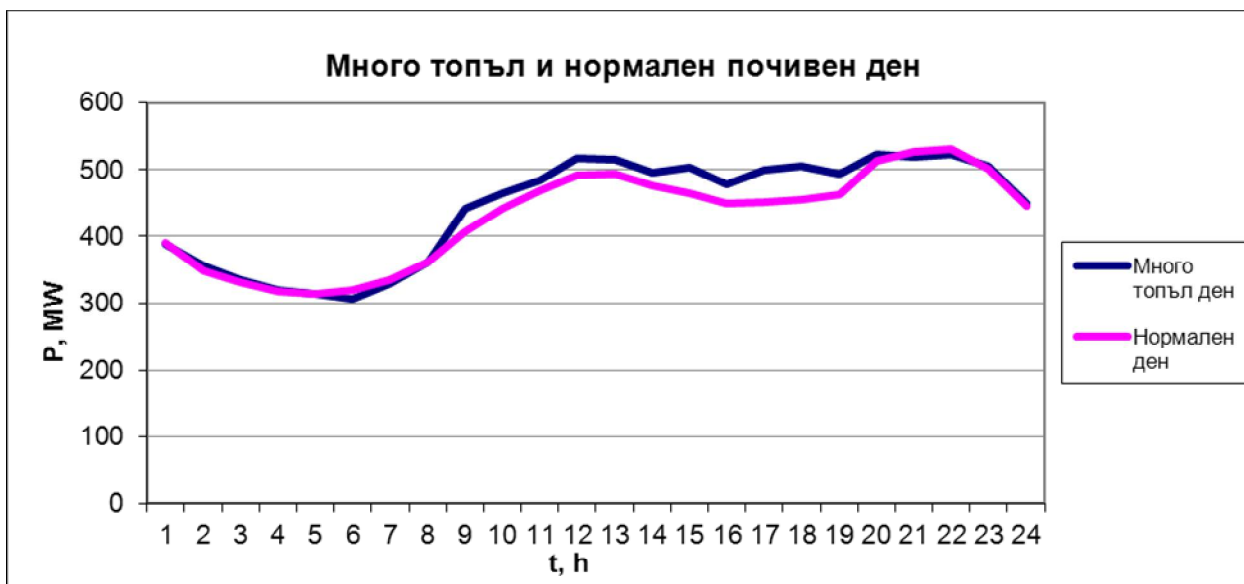


Фиг. 7. Осреднени денонощни товари графици за почивен топъл и нормален ден

Разликата между товарите графици за много топъл и нормален ден е значително по-голяма. Високата външна температура предизвиква включването на по-голям брой климатици. По-силно това е изразено през работен ден. Климатичите се включват по-рано – 9-10 часа, а в интервала 12-19 часа консумацията на активна мощност през много топлия ден превишава с 70-80MW тази през нормалния ден (фиг. 8). през почивен ден много топъл ден разликата е по-малка- около 50 MW, тъй като климатиците в обществени сгради и офиси не работят. Характерно за почивния много топъл ден е, че климатиците работят от 8-9 часа сутринта (фиг. 9).

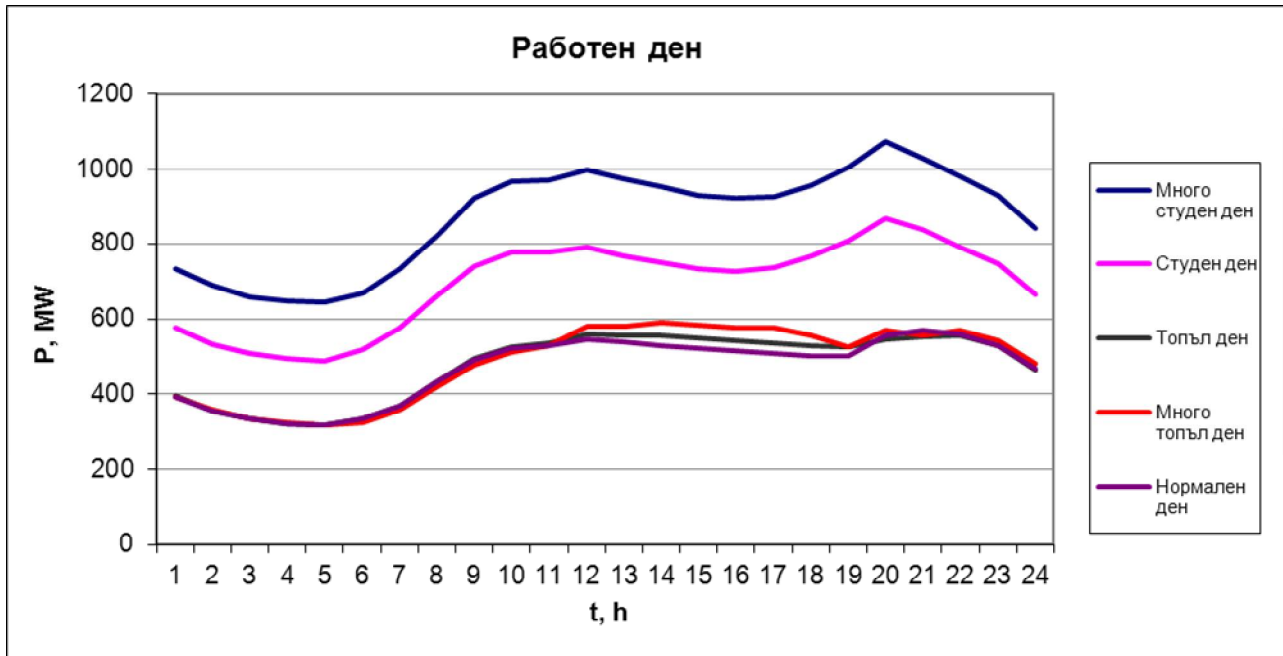


Фиг. 8. Осреднени денонощни товарови графици за работен много топъл и нормален ден

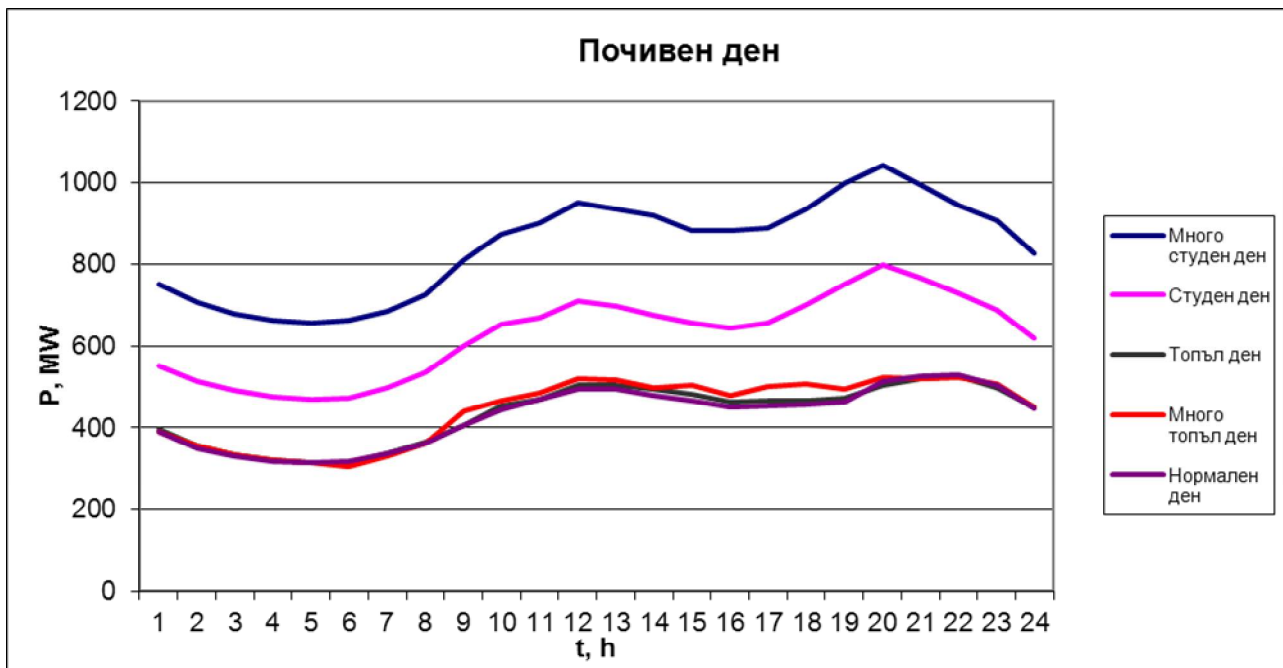


Фиг. 9. Осреднени денонощни товарови графици за почивен много топъл и нормален ден

Комплексна оценка за формата, стойността и съотношението между товарите графици за различните температурни интервали, съответно за работен и почивен ден, дават фиг. 10 и фиг. 11.



Фиг. 10. Осреднени денонощни товари графици за работен ден



Фиг. 11. Осреднени денонощни товари графици за почивен ден

3. Изводи

1. При прогнозиране на товаровия график на активната мощност в е.е.с. и в нейните основни възли трябва да се отчита влиянието на температурата.
2. Поради промяна в цените на енергоносителите трябва периодично да се изследва влиянието на температурата върху консумацията на активна мощност.
3. Заради използването на климатиците, товарният график на активната мощност през летния сезон, който до скоро се считаше за постоянен, сега значително зависи от температурата.
4. Използването на климатиците в режим на охлаждане е значително по-малко от използването им в режим на отопление. При нетоплофицирани жилища, където те основно се използват за отопление, мощността на включените в режим на охлаждане уреди е около 20-25% от тази в режим на отопление. При топлофицирани жилища, където те само в някои периоди се използват за отопление, мощността на основния им режим на охлаждане достига 10-12% от пълната консумация на електроенергия.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Николов, Д. А., Г. Филипов. „Повишаване на точността на прогнозиране на товаровия график на активната мощност на електроенергийната система и на нейните основни възли чрез пряко отчитане на влиянието на температурата“, Сборник доклади на международна конференция „Енергиен форум“ 2003г., Варна, 12-15 юни, стр.341-344.

[2] Полещук, С. В., Н. В. Прийма. „Исследование взаимосвязи нагрузок энергосистем и стохастических метеофакторы“, Техническая электродинамика №1 1993г., стр. 98-103.

Автори: доц. д.т.н. Димитър Николов, маг.инж. Севгинар Юсеин, маг.инж. Тонка Шаренкова – кат. „Електроенергетика“

КОНЦЕПЦИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИЗИСКВАНИЯТА КЪМ СИСТЕМАТА ЗА ЗАЩИТА НА СЛОЖНИ ТЕХНИЧЕСКИ СИСТЕМИ

Евтим Кърцелин, Румен Исталиянов, Йоана Младенова, Николай Лаков

Ако някоя сграда се срути,
има ли значение,
че е правена по талантлив
чертеж?
Георги Константинов - поет

Резюме. На примера на рудничните подежни уредби, използвани в технологичната верига за подземен добив на полезни изкопаеми на големи дълбочини са обосновани и определени изискванията към апаратите за защита и на системата за защита от аварии при зададено ниво на безопасност на уредбата.

CONCEPT TO DETERMINE THE SYSTEM REQUIREMENTS FOR THE PROTECTION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Evtim. Kartselin, Rumen Istalianov, Ioana Mladenova, Nikolai Lakov

Abstract. On example of mine winding gear used in the technological chain for underground mining at large depths are reasonable and specific requirements for apparatus and protection system for against accidents at the specified level of safety regulation.

1. Въведение

В техносферата се намират в експлоатация голям брой обекти, които е възможно да се обединят под общото наименование „обекти със система за защита”. На практика това означава, че при възникването на аварийни ситуации в процеса на експлоатация на обекти от тази категория, трябва да сработи съответния апарат от системата за защита и да изключи (спре) работата на обекта.

Спирането на обектите (технологични процеси) от системата за защита при възникването на аварийна ситуация е съпроводено с формирането на загуби, определени от обема на непроизводствената продукция и от разходите, необходими за отстраняване на факторите, които са станали причина за възникването на аварийна ситуация в обекта. Тези загуби са несравнимо много по-малки в сравнение със загубите и последиците при възникването на аварии и катастрофи в същия обект.

Развитието на аварийна ситуация в авария или катастрофа най-общо е възможно в два случая: първо - в момента на възникването на аварийна ситуация съответният апарат за защита от системата за защита на обекта се намира в състояние на „отказ” и второ – в системата за защита на обекта липсва необходимия апарат за защита.

Задачата за „синтез на надеждни системи от ненадеждни елементи” за първи път е поставена от Джон фон Нейман през 1952 г. [9]

По тази задача работят много научно-изследователски колективи по света и унас. [1, 3, 4, 5]

В технологичната верига за подземен добив на полезни изкопаеми се използват рудничните подемни уредби, предназначени за вертикален транспорт на хора, материали и машини. За високите изисквания, които трябва да удовлетворяват този вид уредби ще се покаже със следния пример. Рудничната подмна уредба на Главна клеткова шахта”, рудник „Бабино”, мини „Бобов дол” е предназначена за вертикален транспорт на хора на дълбочина 400 метра, като клетката (асансьорната кабина) е с капацитет 100 човека.

На примера на рудничните подемни уредби за минната промишленост в доклада се представя една концепция за определяне на изискванията към апаратите и на системата за защита от аварии при зададено ниво на безопасност.

2. Математичен модел за изследване на аварията и катастрофите на рудничните подемни уредби

Аварийната ситуация е случайно събитие, което възниква когато поне един от контролираните параметри на РПУ е достигнал до своята гранична стойност (максимално или минимално допустима). По-нататъшното нарастване (намаление) на този параметър неизбежно води до възникването на аварии и катастрофи в РПУ.

За ограничаване възникването на аварии и катастрофи, всяка РПУ трябва да бъде комплектована с толкова апарати за защита, колкото са контролируемите параметри на уредбата. Предназначението на тези апарати за защита е да подадат сигнал за незабавно (аварийно) спиране на уредбата, когато поне един от контролираните параметри на уредбата достигне до своята гранична критична стойност.

Аварийната ситуация a_i - е случайно събитие, което се характеризира с определена вероятност на възникване q_i .

На множеството аварийни ситуации съответства множеството аварии $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ и множество вероятности за тяхното възникване $\{Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n\}$.

Когато подемната уредба не е комплектована с определен апарат за защита, вероятността за възникването на авария Q_i ще бъде равна на вероятността за възникване на съответната аварийна ситуация q_i , т.е.

$$Q_i = q_i \quad (1)$$

При наличието на апарат за защита, реагиращ на съответната аварийна ситуация, аварията ще представлява сложно събитие, състоящо се в едновременното възникване на аварийна ситуация и отказ на апарата за защита.

Аварията A_i ще се изрази като конюнкция на две събития:

$$A_i = a_i \dot{\cup} b_i \quad (2)$$

а вероятността за възникването на авария ще се определя с произведението от вероятностите на логическите множители:

$$Q_i = q_i \cdot q_{zi} \quad (3)$$

където q_{zi} - вероятност за отказна i -а апарат за защита.

На фиг. 1. е представен логически модел за възникването на аварии по причина на всеки един от възможните n показатели и параметри за оценка на изправното и безопасно състояние на контролирания обект. На фиг.1 са приети следните означения:

a_1, a_2, \dots, a_n - събитие, състоящо се в появата на $1, 2, \dots, n$ -та аварийна ситуация;

b_1, b_2, \dots, b_n - събитие, състоящо се в отказ на апарата за защита, реагиращ на възникването на $1, 2, \dots, n$ -та аварийна ситуация;

C - събитие, състоящо се в отказ на предпазната спирачка на подемната уредба.

Този модел отразява реалния процес на възникването на аварии и катастрофи в РПУ, от който следва, че при съвпадане на всяка една от възможните аварийни ситуации a_i с отказ на предпазната спирачка система C е неизбежно възникването на аварията A_i даже и при изправен апарат за защита ($b_i = 0$). A - събитие, състоящо се във възникването на авария в контролирания обект независимо от изходните причини.

Булевата функция, описваща този логически модел има следния вид

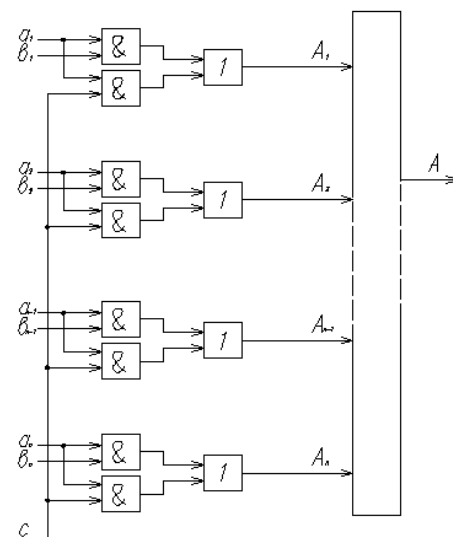
$$A = \bigcup_{i=1}^n A_i = \bigcup_{i=1}^n (a_i \wedge b_i + a_i \wedge C) = \bigcup_{i=1}^n a_i \wedge b_i + C \bigcup_{i=1}^n a_i \quad (4)$$

Изразът за определяне на вероятността Q за възникването на авария A в защитавания обект в съответствие с (4) се представя в следния вид:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i q_{zi} + q_{nc} \sum_{i=1}^n q_i \quad (5)$$

където q_i, q_{zi} - вероятност за появата съответно на събитията a_i и b_i ;

q_{nc} - вероятност за появата на събитието C (отказ на предпазната спирачка на РПУ).



Фиг. 1

Ако се приеме, че всички апарати за защита са равнонадеждни, т.е. ако $q_{31} = q_{32} = \dots q_{3n} = q_3$, а интензивността на сумарния поток за възникване на аварийни ситуации ($a_1, a_2, \dots a_n$) се означава с I_{ac} , то израз (5) се представя в следния вид

$$Q = \dot{a} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Z} + q_{nc} \dot{a} \sum_{i=1}^n q_i = Q_A + Q_{nc}; \quad (6)$$

$$Q_A = \dot{a} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Z} = \frac{I_{ac} t}{Z},$$

където Q_A ; Q_{nc} - вероятност за възникването на авария по причина на отказ на апаратите за защита или по причина на отказ на предпазната спиратка.

Приема се, че експлоатацията на една РПУ е безопасно, ако се изпълнява условието

$$Q \leq Q_{don}$$

където Q_{don} - допустима стойност на вероятността за възникване на аварии на РПУ.

За целите на изследването се приема и следното условие

$$Q_A = Q_{nc} = 0,5Q_{don}.$$

При известна стойност на интензивността на сумарния поток за възникване на аварийни ситуации I_{ac} , структурната схема на всеки от апаратите за защита (включени в системата за защита на РПУ), трябва да

осигурява коефициент за ефективност, чиято стойност се определя по условието

$$Q_A = \frac{I_{ac} \cdot t}{Z} = 0,5Q_{don} \quad \text{или} \quad Z = \frac{I_{ac} \cdot t}{0,5Q_{don}} \quad (7)$$

2. Общ критерии за оценка на ефективността на апарати за защита

За осигуряване на възможност за количествена оценка на структурните схеми и на ефективността от използването на апаратите за защита се въвежда понятието „**коефициент за ефективност на апарат за защита**”.

Под „**коефициент за ефективност на апарат за защита**” ще се разбира величината, която показва с колко пъти се намалява вероятността за възникване на аварии в резултат на използването на съответния апарат за защита.

За аналитично определяне на коефициента за ефективност на апарат за защита ще се използва следния израз:

$$Q_i = q_i \cdot q_{zi} = \frac{q_i}{\frac{1}{q_{zi}}} = \frac{q_i}{Z_i} \quad (8)$$

$$Z_i = \frac{1}{q_{zi}} = \frac{1}{1 - P_{zi}} \quad (9)$$

където Z_i - коефициент за ефективност на i - я апарат за защита;

P_{zi} - вероятност за безотказна работа на i - я апарат за защита.

Стойността на Z характеризира качеството на апарата за защита и се явява един от основните критерии при разработване на тяхната конструкция и избор на структурна схема.

При изследване надеждността на различни обекти се приемат най - разнообразни критерии за оценка на техните функционални качества .

Предложеният в случая коефициент за ефективност на апарата за защита по най -- добър начин ще отразява качеството за функциониране на устройствата за защита, показвайки и оценявайки крайния резултат от тяхното използване - намаляване на вероятността от аварии.

В този случай коефициентът за ефективност на защитата показва колко пъти се намалява вероятността от аварии, независимо от причината за нейното възникване.

3. Структурни схеми и методи за контрол изправното състояние на апарати за защита

Основно изискване, което трябва да удовлетворяват апаратите за защита, е изискването за висока степен на готовност за работа. Апаратът трябва във

всеки момент да имат готовност и способност да реагира на възникването на аварийна ситуация, за която е предназначен.

За изпълнението на това изискване, апаратите за защита трябва да имат структурни схеми, които осигуряват висока надеждност и съдържат устройства за контрол на тяхното функциониране. В използваните методи за проектиране на апарати за защита не се използват строго определени критерии за оценка използването на една или друга структурна схема на апарат за защита при определени условия и целесъобразни методи за контрол на тяхната изправност.

За отстраняването на този съществен недостатък ще се направи анализ на различни структурни схеми на апарати за защита и получаване на математически изрази за определяне на съответстващите им коефициенти за ефективност.

За анализ на структурните схеми на апаратите за защита за изходна основа ще се приема понятието „канал на защитата“. Под „канал за защитата“ ще се разбира пълен набор от датчик, елемент за преобразуване на информационния сигнал от датчика и изходно устройство, осигуряващо спиране работата на РПУ при възникване на аварийни ситуации (включване на предпазната спирачка и осигуряване аварийно спиране на РПУ).

Разглеждат се следните структурни схеми и методи за контрол на апаратите за защита на руднични подемни уредби [2,3]:

- Апарат за защита с „един канал за защита“ и ръчен контрол за проверка изправността на апаратите за защита от обслужващия (дежурния) персонал. Периодичността за контрол най-често е ежесменна или ежедневна. Това е най-елементарната структурна схема и най-простия метод за контрол изправността на апаратите за защита, но свързан и с най-много недостатъци.
- Дублиране на канал за защита. В този случай апарата за защита се изпълнява като двуканален. Всеки канал действа като отделен апарат. По различни причини често се използват и апарати с частично дублиране, когато само част от функционалната схема на апарата за защита се изпълнява двуканална. При дублиране на апаратите за защита отказът на единия канал не води до възникването на аварии, но не предизвиква и защитно сработване. Ето защо отказ в такива апарати се открива само при ръчна проверка от обслужващия персонал.
- Дублиране на канала за защита с непрекъснат контрол за идентичността на сигналите в двата канала. Такъв метод позволява не само да се повиши надеждността на защитата, но също така да се осигури и сигнализация или защитно сработване при отказ на единия от каналите. Следва да се отбележи, че в по-голяма част от случаите не е възможно да се осигури пълен контрол за идентичността на сигналите в каналите за защита.
- Автоматичен тестови контрол на апаратите за защита. Този метод предполага периодично подаване на входа на апарата за защита на набор от специални тестови сигнали и определяне реакцията на апарата на тези сигнали. Ако получената реакция носи информация за възникнал отказ в апарата за защита, то се включва предпазната спирачка или се забранява

следващото пускане на машината. Тестовият контрол се явява един от най-съвършените методи за проверка изправността и работоспособността на апарати за защита. Неговите недостатъци са свързани с невъзможността да се използва за проверка на изправността на датчици на механични величини (скорост, път), тъй като да се симулират техните работни режими е невъзможно.

- Комбинирани методи за контрол. Тези методи предполагат използването поне на два или на няколко от изброените по-горе методи, тъй като нито един от тях не осигурява всеобхватна проверка за изправността на апаратите за защита.

Като критерии за избор на една или друга система за контрол изправността на апаратите за защита се явява коефициентът за ефективност на защитата Z , По-добра система ще бъде тази, която осигурява по-голяма стойност на Z .

Коефициентът за ефективност на апаратите за защита, имащи различни структурни схеми и използващи различни методи за контрол на изправното им състояние се представя със следната формула:

$$Z = \frac{I}{(1-g) \frac{t_n}{T_o} + \frac{ag}{n} \frac{\ddot{t}_n}{T_o} + (1-a)^2 g \frac{\ddot{t}_n}{T_o}} \quad (10)$$

където $I_k = \frac{I}{T_o} = I_1 + I_2 + I_3$ - интензивност на потока на отказите на канала за защита;

$g = \frac{I_2 + I_3}{I_k}$ - показател за пълнота (дълбочина) на дублирането;

$a = \frac{I_2}{g I_k}$ - показател за пълнотата на взаимен контрол за индетичност на сигналите в двата канала за защита;

I_1 - интензивност на потока на отказите на дублираната част на канала за защита;

I_2 - интензивност на потока на отказите на дублираните части на каналите за защита, обхванати от взаимен контрол;

I_3 - интензивност на потока на отказите на недублираните части на канала за защита, необхваната от взаимен контрол;

n - брой на елементите на тази част от канала за защита, които са обхванати от взаимен контрол;

t_n - интервал от време между две последователни проверки за изправност на апарат за защита.

При $g = 0$ и $a = 0$ (в апарата за защита не се реализира дублиране и взаимен контрол), за определянето на коефициента за ефективност на защитата от (5) се получава израза

$$Z = \frac{T_o}{t_n}; \quad (11)$$

при $g = 1,0$ и $a = 0$ (пълно дублиране на каналите за защита и без взаимен контрол) за Z се получава израза

$$Z = \frac{\alpha T_o \ddot{\theta}^2}{\xi t_n \theta}; \quad (12)$$

при $g = 1,0$ и $a = 1$ (пълно дублиране и пълен взаимен контрол на каналите за защита) за Z се получава израза

$$Z = n_k \frac{\alpha T_o \ddot{\theta}^2}{\xi t_n \theta}; \quad (13)$$

където n_k - брой на елементите в канала за защита.

Коефициентът за ефективност Z се явява обективна оценка за структурната схема на апарата за защита. Колкото по-голяма стойност има Z , толкова е по-добър апарата. За окончателната оценка за приложимост на една или друга структурна схема на апарати за защита е необходим критерии, за определяне стойността на коефициента на ефективност Z .

4. Определяне на изискванията към апаратите и системата за защита на РПУ

Тъй като отказът на апаратурата за защита е възможно да стане причина за възникването на тежки аварии и катастрофи на защитавания обект, то като такъв критерии е възможно да се приеме критерия за достатъчност на защитните функции за осигуряване на необходимата безопасност при експлоатацията на защитавания обект.

Тъй като и теоретически е невъзможно да се осигури нулева вероятност за възникване на аварии, е необходимо да се избере такава стойност на Z , при която вероятността за възникване на авария да бъде по-ниска от някаква безкрайно малка, но допустима стойност Q_{don} .

В нормативните документи [6,7,8], които регламентират определени изисквания при проектирането и експлоатацията на РПУ, включително и като обекти от нулева категория по условието за непрекъснатост на електроснабдяването, няма утвърдени нормативи за допустима стойност на

вероятността за възникването на аварии в РПУ. Единствен, близък по смисъл нормативен документ се явява стандартът, определящ допустимата стойност на вероятността за възникването на експлозии на взривоопасна среда (на газ метан в подземни въглищни рудници) при експлоатацията на електрически апарати във взривозащитено изпълнение във взривоопасна среда. Стойността на тази вероятност е равна на 10^{-6} в продължение на една година.

Ако се приеме, че възникването на авария в една подемна уредба по своите последици представлява също такава опасност, каквато е и експлозията, може да се приеме, че $Q_{don} = 10^{-6}$ за времето на работа на РПУ в продължение на една година. (С клеткова подемна уредба на „Централна клеткова шахта” в рудник „Бабино” се осигурява вертикален транспорт на 100 човека в клетка едновременно при 400 m дълбочина на шахтата).

Съгласно нормативите за проектиране на РПУ за подземни рудници за механизирани добиви на въглища се приемат 300 работни дни в годината по 18 часа работа в денонощие. При тези условия за времето t в (7) се получава следната стойност $t = 300.18 = 5400$ часа.

В резултат на проведено изследване за интензивността на сумарния поток за възникване на аварийни ситуации на РПУ е получена следната стойност: $I_{ac} = 0,6.10^{-5}$ 1 / час.

При $t = 5400$ часа, $Q_{don} = 10^{-6}$, $I_{ac} = 0,6.10^{-5}$ 1 / час по (7) за Z се получава следната стойност $Z \approx 0,648.10^6$. Такова изискване се удовлетворява от апарати за защита, които имат структура с два канала на защита и пълно дублиране на каналите, при които

$$Z = \frac{6500 \cdot 0,6}{8} = 0,660.10^6.$$

Въвеждането на взаимен контрол за идентичност на сигналите в каналите за защита осигурява още по-висок запас по Z .

5. Заключение

За осигуряване на зададеното ниво на безопасност е необходимо апаратите, включени в системата за защита на РПУ, да имат двуканална структура с взаимен контрол за идентичност на сигналите в двата канала.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Богданов, Д. Надежност на релейните защиты в АЕЦ, Автореферат на дисертация за получаване на образователната и научна степен „доктор”, 2009.
- [2] Кърцелин, Е. Количествена оценка за качеството на апаратите за защита на руднични подежни уредби, Нац. конф. с межд. участие „Автоматика и информатика-97”, България, София, 1997, сб. доклади, том 5, с. 91-97;

- [3] Кърцелин, Е. Разчет безопасности функционирования шахтных подъемных установок на основе марковских моделей, сб. науч. тр. „Комплексное освоение и экология росипных и морских месторождений, Москва, 1998, с. 134-150.
- [4] Макаров, М., Е. Кърцелин. Надежность шахтных подъемных установок , ДонГТУ, Донецк, 1966;
- [5] Малчев, К. Надежност в електроенергетиката, ТУ-София, 2008.
- [6] Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, (Обн. в Д.в., бр. 90 и 91 от 2004;
- [7] Правилник по безопасност на труда в подземните въглищни рудници (В-01-01-01), София, 1992, том 1 и 2;
- [8] Правилник по безопасност на труда при разработването на рудни и нерудни находища по подземен начин (В-01-02-04), София, Техника, 1971;
- [9] Хенли, Э. Дж., Х. Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска (превод от английски), М., Машиностроение, 1984

Автори: доц. д-р Евтим Кърцелин, гл.ас. Румен Исталиянов инж. Йоана Младенова - докторант, инж. Николай Лаков - докторант в катедра „Електрификация на минното производство” при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”- София.

АНАЛИЗ НА УСТАНОВЕНИТЕ РЕЖИМИ НА МРЕЖИ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ

Рад Станев, Панайотис Романос, Анастасия Кръстева,
Петър Наков, Беноа Блетерие

Резюме. Статията представлява изследване на установените режими на електрическите мрежи средно и ниско напрежение с присъединени към тях разпределени енергийни източници. Въз основа на анализ на потокоразпределението на различни типични състояния на системата е оценено влиянието на разпределените генериращи източници върху мрежата.

Разгледани са характеристиките на генераторите, свързани към мрежата посредством инвертори. За да се онагледи представената методика е разгледан представителен тестов пример. Изследвани са типични установени експлоатационни режими за илюстрация на влиянието на инверторите с регулиране на реактивната мощност върху режима на мрежата.

STEADY STATE ANALYSIS OF NETWORKS WITH DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES

Rad Stanev, Panayiotis Romanos, Anastassia Krusteva, Peter Nakov,
Benoît Bletterie

Abstract. This article presents a steady state analysis of low voltage and middle voltage electrical networks with distributed energy resources. Based on a power flow computation for a different typical system states the impact of the distributed generation (DG) on the network is examined. The characteristics of the generators connected via inverters with reactive power control are considered. A representative test case is considered in order to illustrate the methodology presented. The typical steady state operation modes of the test system are studied in order to show the impact of the inverters with reactive power control on the network state.

1. Introduction

Distributed Generation (DG) has recently become a major issue for many distribution power systems. According to the EU target of 20% of renewable energy by 2020 a significant amount of renewable energy sources is installed in the Electrical Power Systems of the European countries. Taking into account the inherent and the geographical distribution of the primary energy resources it can be expected that the majority of this renewable energy will be gained by distributed generation units connected to the low voltage (LV) and middle voltage (MV) network [1,4].

Годишник на ТУ-София, т. 60, кн. 1, 2010

Proceedings of the Technical University - Sofia, v. 60, book 1, 2010

The conversion of the distribution networks from passive networks to active one with distributed energy resources (DER) faces new challenges for the distribution network operators. The enormous growth of decentralised generation may lead to voltage control problems, power quality problems, and grid stability problems.

The variability and the stochastic inherent of loads and the generators originates in a large number of different operating conditions which have to be examined. In order to respond on the current and the expected states in the distribution networks a new network control strategies, grid codes and regulations are needed.

The distribution network must be planned and operated in order to comply with Quality of Supply targets or standards (EN 50160). Thus the voltage rise due to active power injection is one of the main barriers to DG integration in rural areas.

In case of incompliance with the planning requirements costly measures such as change of the point of common coupling (PCC), reinforcements of the network, limiting of the maximal active power of the generators have to be made. The main objective of this article is to assess the potential for extension of DG penetration level in the network using generators connected to the network via inverters with reactive power control. This article continues the work carried out in [1].

2. Methodology

The methodology used in this study is based on a static (steady-state) analysis of the network parameters. The data needed for the analytical power system state estimation are the data for the topology of the network, the data for the active and reactive loads in the system and the data for the active and reactive power capability of the generators.

The steady- state behaviour of the system is defined using the nonlinear power flow equations [1,2]:

$$P_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \cos q_{km} + B_{km} \sin q_{km}); \quad (1)$$

$$Q_k = \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \sin q_{km} - B_{km} \cos q_{km}), \quad (2)$$

where

P_k is the active power at node (bus) k ;

Q_k - reactive power at node m ;

V_k - voltage magnitude at node k ;

V_m - voltage magnitude at node m ,

q_k - voltage angle at node k ;

q_m - voltage angle at node m ,

and $q_{km} = q_k - q_m$.

For the solution of the nonlinear power flow equations the conventional Newton-Raphson method [2] is used.

According to the properties of the distributed generators connected to the network the following types of generators are distinguished:

- Generators without reactive power and voltage control – These generators do not possess the ability to control the reactive power injected in or absorbed from the network. Thus these units can not provide a voltage control in the point of common coupling. Such sources are wind, diesel and small hydro squirrel cage asynchronous generators, photovoltaic and wind generators connected to the grid via inverters with fixed power factor. In the analytical description given above these generators are modeled as a PQ busses.

- Generators with reactive power control- These generators provide reactive power support and voltage control at the point of common coupling respectively. Such units are the generators using synchronous generators with automatic voltage regulation (AVR) and the inverters with reactive power control. Each of these units is analytically modeled as a PV bus being able to control its reference voltage unless the boundaries of its particular PQ capability curve are reached. When PQ boundaries of a given generator are reached the bus type is automatically changed and the generator is modeled as a PQ bus.

For the estimation of the impact of distributed generation on the electrical network the following typical states are considered as limiting:

- System state with minimum load and maximal generation- this state arises to be a main limiting factor for the amount of the distributed generation connected to the network.. Under this condition the highest voltage rise at the PCC and the highest power flows can be reached. A very high voltage rise due to the DG can harm the normal work of the other network users. A very high power and current flows respectively may overload the power lines.

- System state with minimum generation and maximal load- this state limits the maximum amount of the loads in the system. Under this condition the highest voltage drop and the highest power flows can be reached. The high voltage drop can disturb the normal work or even damage the loads. As in the previous case the voltage variation and the current flows are checked.

3. Case study

A simple and representative test case of an existing 0,4 kV distribution network of a village near Sofia, Bulgaria [1] will be presented (Fig. 1). The 21 bus network has uniformly distributed, symmetric, predominantly active load (Fig. 1). All the quantities are presented in named units. More detailed description of the system and the results obtained can be found in [5].

The minimal and the maximal system load are $P_{\min}=33,2$ kW and $P_{\max}=110,8$ kW respectively. Two inverter tied photovoltaic generators should be interconnected at bus 10 and at bus 18. The photovoltaic generator G1 has nominal power $P_{G1}=30$ kW and has to be connected at bus 10. The photovoltaic generator G2 has nominal power $P_{G2}=50$ kW and has to be connected at bus 18. A system state estimation before and after the penetration of the new generation sources is made. In order to estimate the impact of the distributed generators on the network depending

on their type and voltage regulation capabilities the following three cases are considered:

- System state before the PV penetration
- System state after the connection of photovoltaic generators without reactive power / voltage regulation
- System state after the connection of photovoltaic generators with reactive power / voltage regulation

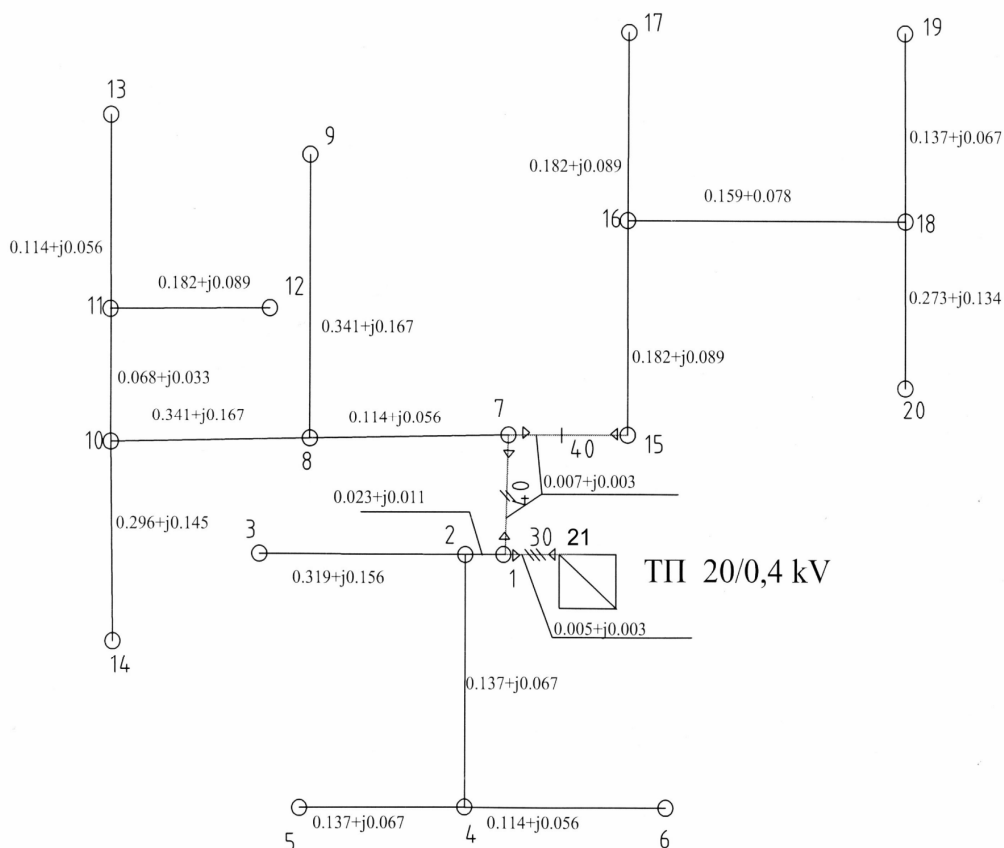


Fig. 1. One- line scheme of the tested system

System state before the penetration of distributed generators

Before the penetration of the distributed generators the system operates as a typical radial network with unidirectional power flow serving the loads from the transformer substation. The minimal and maximal load conditions are analysed.

With transformer tap setting of $V=1,05V_{rated}$ the system keeps normal voltage levels under minimal load conditions (Fig. 2) and nearly admissible voltage levels under maximal load conditions (Fig. 3). However busses 10, 11, 12, 13 and 14 show high voltage sensitivity.

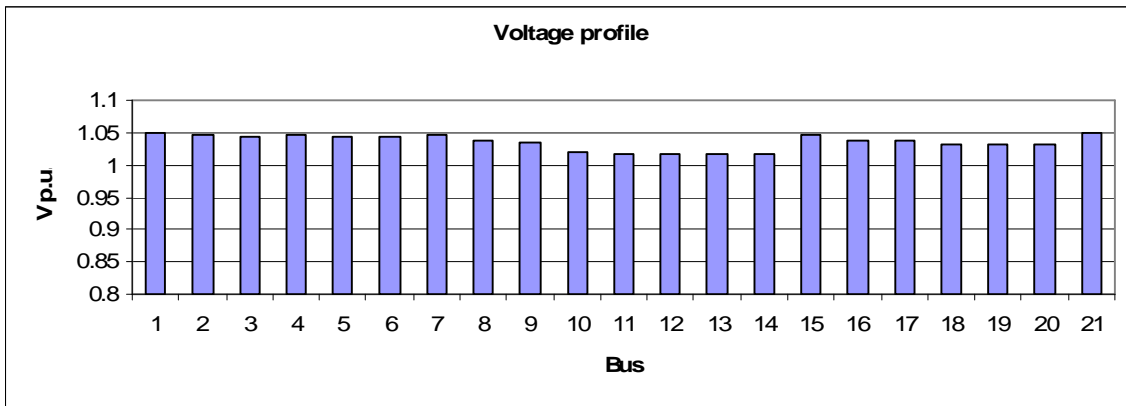


Fig. 2. Voltage profile under minimum load conditions

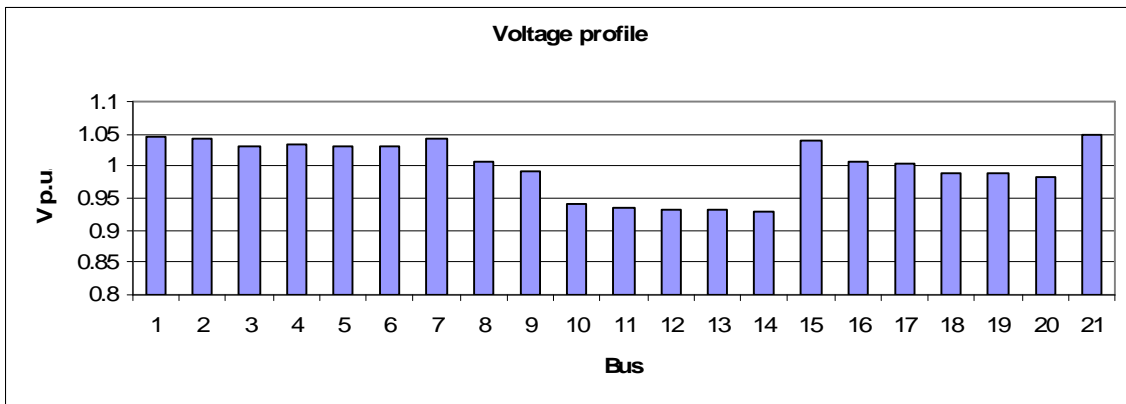


Fig. 3. Voltage profile under maximum load conditions

System state after the penetration of distributed generators without voltage control

With the connection of the photovoltaic generators to the network the power flow becomes bidirectional. Both photovoltaic generators G1 and G2 are connected to the network via classical inverters with unity power factor ($\cos(\varphi)=1$) without reactive power and voltage control.

The conditions of minimal load and maximal generation are recognized to be critical for keeping the voltage within the admissible boundaries of $\pm 5\%$. The minimal load which occurs during conditions of maximum generation from the photovoltaic systems is $P_{Lmin}=66,48$ kW.

With transformer tap setting of $V=1,025V_{rated}$ and maximum generation ($P_{G1}=30$ kW, $P_{G2}=50$ kW) the system voltages are rising significantly above the admissible boundaries (Fig. 4). Under these conditions the maximum penetration level at bus 18 has to be restricted to 27 kW which guarantees admissible voltage levels (Fig. 5).

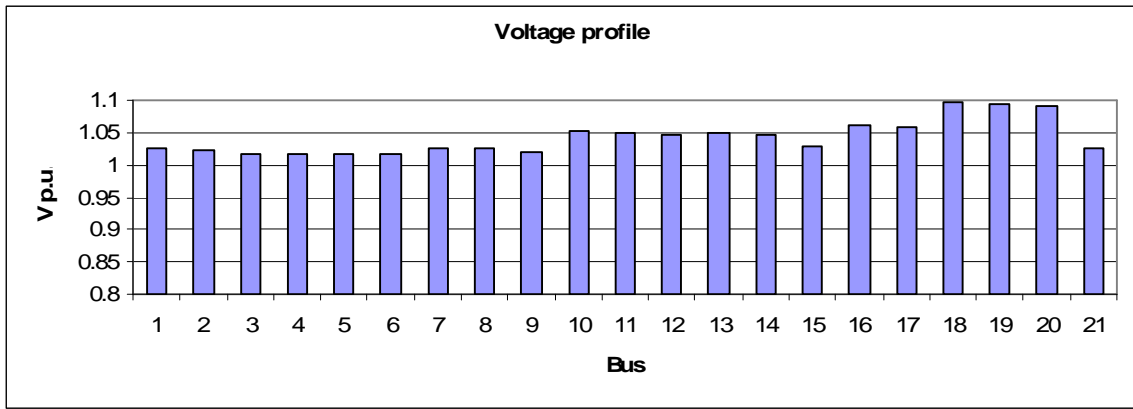


Fig. 4. Voltage profile with PG1=30kW и PG2=50 kW

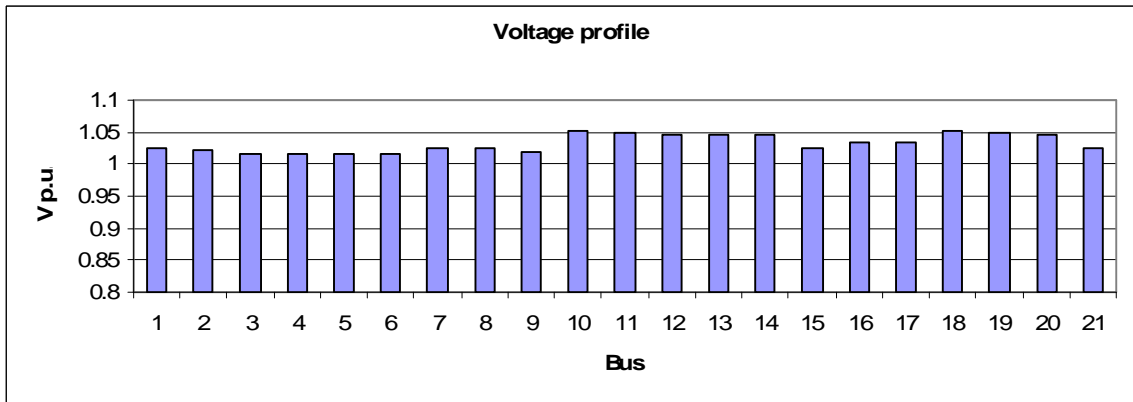


Fig. 5. Voltage profile with PG1=30kW и PG2=27 kW

System state after the penetration of distributed generators with reactive power and voltage control

As in the previous case the conditions of minimal load and maximal generation are determined to be critical for the fulfillment of the voltage control objective. The minimal load occurring during maximal photovoltaic generation from G1 and G2 is $P_{Lmin}=66,48$ kW. Both photovoltaic generators are connected to the network via inverters with reactive power control which are able to regulate the voltage at their terminals for any point within the range from $\cos(\varphi)=0,8$ leading to $\cos(\varphi)=0,8$ lagging.

With transformer tap setting of $V=1,00V_{rated}$ and maximum generation ($PG1=30kW$, $PG2=50kW$) the connection of both photovoltaic generators with voltage control leads to small voltage rise at the point of common coupling which results in admissible voltage profile in the network (Fig. 6).

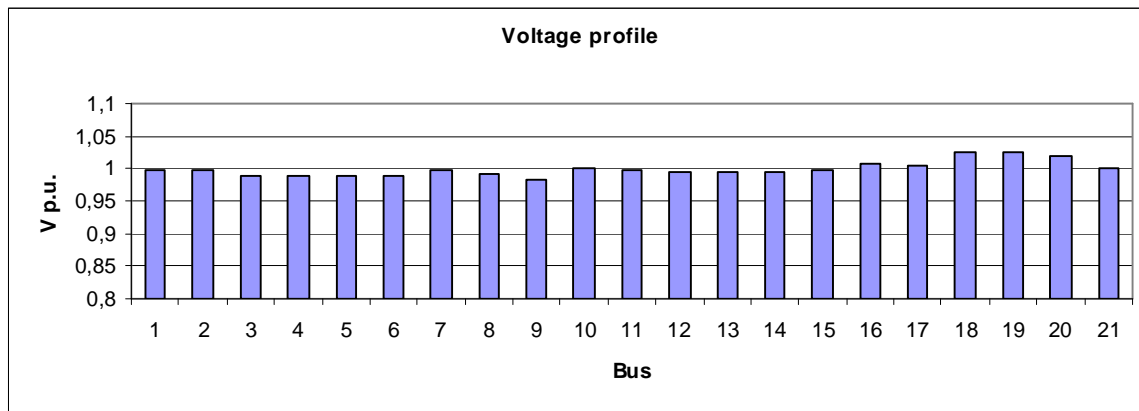


Fig. 6. Voltage profile with PG1=30kW и PG2=50 kW

It has to be noted that the reactive power support of the inverters results in higher currents in the network. In this particular case study none elements of the overhead network were overloaded. However a more extensive research on other representative networks has to be done. The rise of the currents flowing into the network due to the active and reactive power support could be another limiting factor especially for cable networks which posses lower overloading capabilities.

4. Conclusion

A methodology for estimation of the impact of the distributed generation on the network is presented. A simple and representative test case of an existing network is demonstrated. The results show that the connection of distributed generation sources to the low voltage and middle voltage networks via inverters with reactive power control can provide significant improvements of the voltage regulation and the power quality in these networks.

The inverters with reactive power control allow integration of higher installed capacities of distributed generation without significant additional reinforcements in the network needed.

5. Acknowledgement

The authors would like to thank the European Commission for the support of the NoE DERlab (SES6-CT-2005-518299) see also <http://www.der-lab.net>. The authors are solely responsible for the content of this publication, it does not represent the opinion of the European Community and the European Community is not responsible for any use that might be made of data appearing therein.

6. Additional remarks

This work was carried out in the scope of NoE DERlab (SES6-CT-2005-518299) <http://www.der-lab.net>.

REFERENCES

- [1] Stanev, R., P. Nakov, A. Krusteva, P. Romanos. B. Bletterie, Estimation of voltage controllability of distribution systems with locally distributed generation sources, Energy forum, June 2009, Varna, Bulgaria
- [2] Kundur, P. Power Systems Stability and Control, Electric Power Research Institute, 1994.
- [3] Voltage stability static analysis of distribution networks”, Stanev, R., P. Notov, ELMA International Conference, 2005
- [4] Lugmaier, A., H. Brunner, B. Bletterie. Intelligent distribution grids in respect of a growing share of distributed generation, CIRED International conference on electricity distribution, Vienna, 2007
- [5] www.elektroenergetika.tu-sofia.bg

Автори: Рад Станев – гл.ас. д-р в кат. „Електроенергетика”, Панайдитс Романос – доц. В Национален технически университет – Атина, Анастасия Кръстева доц. д-р кат. „Силова електроника”, Петър Наков, Беноа Блетерие

СТЕНД-СИМУЛАТОР ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСИ И ЦИФРОВИ РЕГУЛАТОРИ

Ангел Цолов

Резюме.: Целта на изследването е синтез на физическо устройство, с чиято помощ да се изследват процесите при работни, аварийни и гранични режими на малки електрически централи. Особен интерес представляват обектите, присъединени към ЕЕС на средно напрежение 20kV. Като готов продукт се използва програмируем контролер AVR36 с функциите на цифров регулатор на възбуждане на синхронен генератор.

Разработен е модул, симулиращ действието на синхронен генератор (СГ). Генерират се физически сигнали, които в максимална степен симулират работата на реален СГ. Предвидени са аналогови входове за регулиране на механичната мощност и възбуждането, както и дискретни входове за управление и контрол на режимите.

STAND-SIMULATOR FOR THE STUDY OF PROCESSES AND DIGITAL REGULATORS

Angel Tzolov

Abstract.: The purpose of this study was to synthesize a physical device that helps to explore the work, emergency and border regimes and processes for small electrical plants. Of particular interest are items related to EPS of medium voltage 20kV. As a standard product is used AVR36 programmed controller with features a digital control of synchronous generator excitation. An additional controller has been developed. It generates physical signals that simulate the utmost the work of a real synchronous generator. There are analogue inputs for the regulation of mechanical power and excitation, the voltage of power System and separate discrete inputs and outputs for monitoring and management regimes.

1. Общи изисквания

Особен интерес в ЕЕС представляват генериращите източници, присъединени към ЕЕС на средно напрежение 20kV. Целта на изследването е синтез на физическо устройство – модел на обекта, с което да се изследват електрически процеси при работни, аварийни и гранични режими на малки електрически централи. За максимално съответствие с реалните процеси се използва реален цифров регулатор на възбуждане на СГ – PLC_AVR36.

Необходим е допълнителен модул, симулиращ действието на синхронен генератор. В съответствие със симулирания режим модулет трябва да генерира

сигнали, които са еквивалент на сигналите на вторичната страна на измервателните напреженови и токови преобразуватели в различните режими. Основните необходими сигнали са:

- U_{gen} - приведено генераторно напрежение на статора;
- U_{sys} - приведено напрежение на ЕЕС;
- i_{gen} - статорен ток на генератора;
- i_f - ток на ротора;
- U_f - напрежение на роторната намотка.

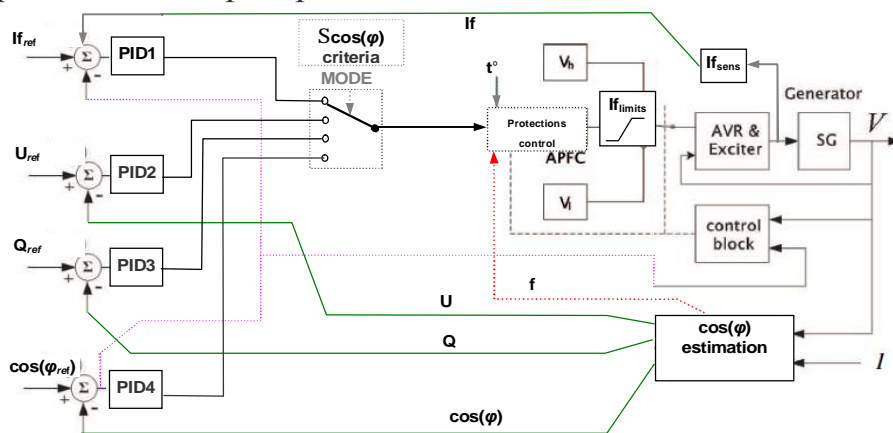
2. Параметри на регулатора на възбуждане AVR36

Подробно описание на AVR36 може да се намери в [6,7]. Тук се разглеждат само параметри и функционални особености, които детерминират изискванията към типа, спектъра, точността и динамиката на генерираните от допълнителния модул сигнали. Дадени са и ограничения и защиты, които определят вида на възможните за симулация аварийни процеси и гранични режими.

Структурата на контролера позволява регулиране в различни режими и безударно превключване между тях (фиг.1). Вграден е блок за избор на типа на изходното регулиращо въздействие.

- *Вградени регулатори:*

◇ на напрежение; ◇ по ток на възбуждане; ◇ по реактивна мощност или $\cos\varphi$; ◇ по възбудителен ток с корекция по $\cos\varphi$ -осигурява оптимална за момента и необходимата за даден период реактивна мощност. Гарантира устойчива работа на генератори на обща шина.



Фиг. 1. Структура на регулаторите на AVR36

- *Ограничения и защиты* – използват се като основни и/или като резервни на защитите на генератора, със съответните настройки:

- максимално и минимално генераторно напрежение U_{gmax} , U_{gmin} ;
- максимален и минимален ток на възбуждане i_{fmax} , i_{fmin} ;
- максимален ток на статора I_{gmax} ;
- високо напрежение на ротора U_{fmax} ;
- максимално напрежение на шина 20kV – U_{sys_max} ;
- претоварване на възбудителната система (термична защита);

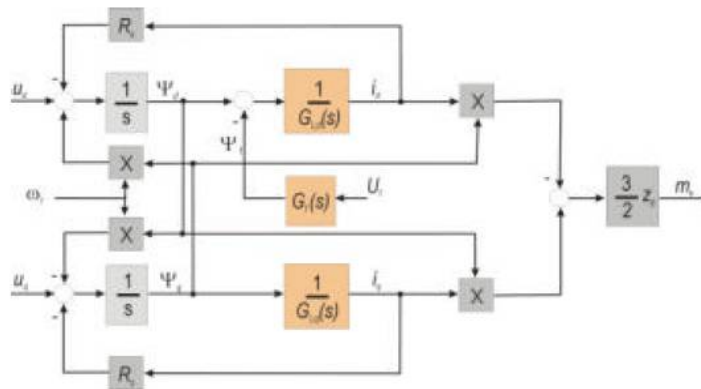
- минимална активна мощност на генератора;
- ‘земя’ в роторната намотка;
- свръхобороти;
- загуба на измерване.
- несиметричен режим на статора;
- повишена честота;

- *Комуникации* – серийни комуникационни портове. Програмиране и настройка със специализиран софтуер AVR37.
- *Запис на събития* – контролерът съхранява в реално време /GPS синхронизация/ всички информативни величини и сигнали за състоянието на обекта и за формираните управляващи въздействия.
- *Мониторни функции* – AVR37 позволява ‘on-line’ контрол на входните и изходни за контролера величини и промяна на работния режим и настройките.

3. Математически модел на СГ

Моделиран е 3MW синхронен генератор с независимо възбуждане, свързан с турбина с регулируема скорост и с вход за връзка с регулатор на напрежение.

Описание за използвания математически модел на машината (фиг.2) и трансформацията на модела в микроконтролера са дадени по-долу.



Фиг. 2. Блокова схема на модела на синхронния генератор

Използван е класически модел на синхронна машина с независимо възбуждане в ‘dq’ координатна система [3,4]. Предвидена е и възможност за добавяне на демпферен контур в модела. Основните уравнения за статора в непрекъснатата област на времето са (1).

$$(1) \quad \begin{cases} u_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d}{dt} \Psi_{sd} - \omega_r \Psi_{sq} \\ u_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d}{dt} \Psi_{sq} + \omega_r \Psi_{sd} \end{cases},$$

където Ψ са потоците и ω_r е ъгловата скорост на вала на генератора.

Диференциалното уравнение за възбудителната верига се определя по следния израз:

$$(2) \quad u_f = R_f i_f + \frac{d}{dt} \Psi_f.$$

Ако в модела се използва демпферния контур, трябва да се активира и трансформацията на следните уравнения (в честотната област):

$$(3) \quad \begin{cases} y_{sd}(s) = G_{L_d}(s)i_{sd}(s) + G_f(s)u_f(s) \\ y_{sq}(s) = G_{L_q}(s)i_{sq}(s) \end{cases},$$

където уравненията на трансформиращите функции $G_f(s)$, $G_{L_d}(s)$ и $G_{L_q}(s)$, като функции на индуктивностите на генератора и на времеконстантите са взети от литературата [1,2]. Получената връзка се вижда от изразите (4), (5) и (6), съответно:

$$(4) \quad G_{L_d}(s) = L_{sd} \frac{s^2 T_d' T_d'' + s(T_d' + T_d'') + 1}{s^2 T_{d0}' T_{d0}'' + s(T_{d0}' + T_{d0}'') + 1}$$

$$(5) \quad G_{L_q}(s) = L_{sq} \frac{s T_q'' + 1}{s T_{q0}'' + 1}$$

$$(6) \quad G_f(s) = L_{sq} \frac{L_{sd} - L_{sd}'}{L_f} \cdot \frac{T_{d0}'}{1 + T_{d0}'}$$

Тези изрази моделират всички необходими за целта взаимодействия между различни вериги на синхронна машина.

Електромагнитният въртящ момент като функция на тока на статора и Y_e :

$$(7) \quad T_e = \frac{3}{2} Z_p (y_{sd} i_{sq} - y_{sq} i_{sd})$$

където Z_p е броят на чифтовете полюси.

Моделът на работния режим на невъзбуден генератор, както и този преди синхронизация се описва с уравнения (8) и (9).

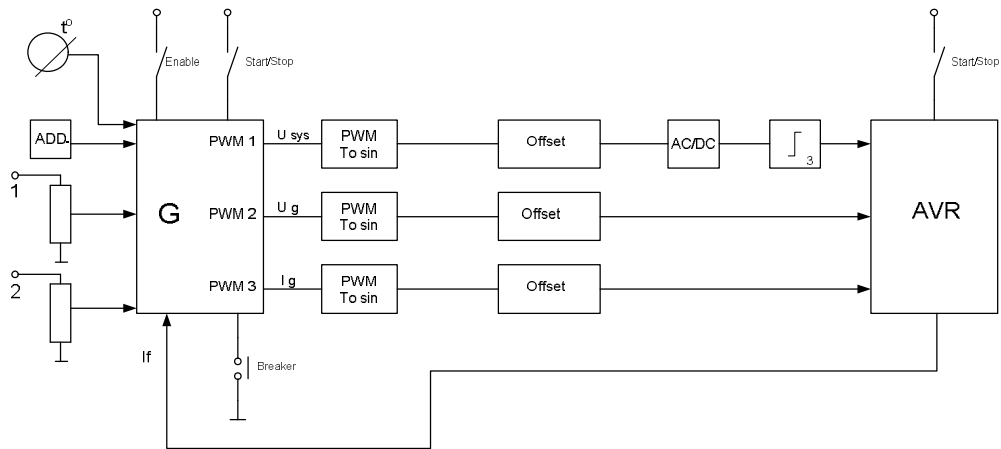
$$(8) \quad \begin{aligned} e_{sd} &= \frac{d}{dt} y_{sd} - w_k y_{sq} \\ e_{sq} &= \frac{d}{dt} y_{sq} - w_k y_{sd} \end{aligned}$$

Ако магнитният поток е постоянен и различен от нула, от (3) и (8) следва:

$$(9) \quad \begin{cases} y_f = y_{sd} = cte \Rightarrow y_{sd}^g = 0 \\ y_{sq} = 0 \Rightarrow y_{sq}^g = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} e_{sd} = 0 \\ e_{sq} = w_k y_f \end{cases}$$

4. Синтез на тестови сигнали и възможности за симулация на различни динамични режими

Идеята е чрез задаване на различни режими на регулатора на възбуждане и съответно управление на модела на СГ, да се наблюдават различни динамични режими. Блоквата схема на разработения стенд е показана на фиг.3.



Фиг. 3 Структура на модул за симулация на СГ с AVR и турбина

Предвидени са аналогови входове за регулиране на механичната мощност и възбуждането, както и дискретни входове за управление и контрол на режимите.

Съответните и функционални блокове са:

- G** - модел на синхронен генератор;
- 1** - аналогов вход за задаване нивото на първичния енергоносител;
- 2** - аналогов вход за задание на нивото на U_{sys} ;
- t°** - аналогов вход от температурен сензор;
- ADD** - допълнителни аналогови входове за разширение на функциите;
- Enable** - цифров вход за активиране модела на генератора;
- Start/Stop** - цифров вход за пускане и спиране на 'G' и AVR от система за общостанционно управление;
- AVR** - Програмируем контролер AVR36 с функции на цифров регулатор на възбуждане и PWM изходен сигнал за управление;
- PWM/sine** - преобразуване на PWM сигнал в синусоидален;
- Offset** - изместване на синусоидата с регулиране на постоянната съставка;
- AC/D** - прецизен изправител формира еквивалента на ефективната стойност на напрежението на системата U_{sys}

Моделът на СГ има три аналогови изхода. Чрез PWM генератори се получават синусоидални сигнали, съответстващи на фазни ток и напрежение, както и сигнал, еквивалентен на напрежението на мрежата, към която се свързва генератора.

Симулират се сигнали с ниво еквивалентно на това, което се получава в реални условия след измервателните токови и напреженови трансформатори (150/5A, 6300/100V, 20000/100V) и последващите междинни трансформатори – 5A/5V; 100/5V.

Амплитудата и фазата на тези сигнали зависят от управлението на: възбудителния ток (изхода на регулатора на възбуждане);

от нивото на входа за промяна на механичната мощност;
от зададеното ниво за напрежение на системата.

В стенда има вграден блок за подаване на дискретни сигнали към цифровите входове на регулатора. Входните сигнали, които определят режима на работа и състоянието на изпълнителните устройства са:

състоянието на прекъсвача;

старт на възбуждането.

Тези два сигнала са подадени и към входове на модела на СГ.

Другите режимни и аварийни сигнали, които се използват при изследване на работата и настройките на стенда са:

‘готовност на изправителя’

Аварийен стоп;

Земя в ротора;

Непълнофазен режим;

Смяна на регулируем параметър;

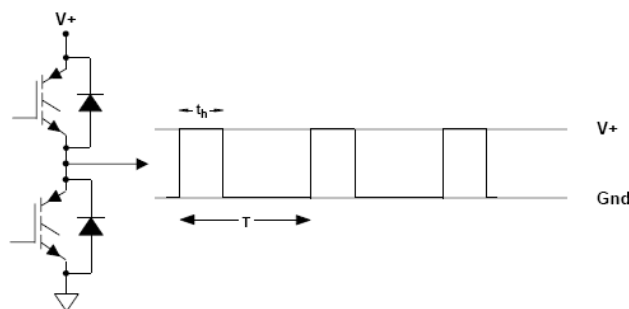
Корекция по $\cos\phi$

Задание за U_0 на генератора при празен ход /мрежа или вътрешно/

5. Генериране на сигналите

Използваният алгоритъм дава възможност за бързо изчисление и формиране на необходимата стойност за PWM регистрите на използвания микроконтролер MC9S08MP16. Взети са и необходимите мерки за избягване на препълването или на пропускането на цикли при записа на новите стойности.

На фиг.4 е показана конфигурацията на изходния драйвер при генерацията на PWM сигнал.



Фиг. 4

При активна синусоидална модулация и нулев ‘dead-time’, средният или филтрираният изходен сигнал е:

$$(10) \quad \overline{V_o(t)} = \frac{t_h(t)}{T} = \frac{1}{2} + \frac{M}{2} \sin(w_0 t + q)$$

където:

$\overline{V_o(t)}$ = средна стойност на изходното напрежение

$t_h(t)$ = максимална стойност на PWM сигнала

T = период на PWM

M = модулиращ индекс (от 0 до 1)

Решението за максималното време е:

$$(11) \quad t_h(t) = \frac{T}{2} + \frac{M.T}{2} \sin(w_0 t + q)$$

Очевидни са и следните връзки /при 40MHz bussclock/:

$$(12) \quad \begin{aligned} T &= PMOD.50ns \\ t_k(t) &= PVAL(t).50ns \end{aligned}$$

където:

$PMOD$ е стойността на регистъра за настройка на честотата на PWM.

$PVAL(t)$ е стойността в регистъра за определяне на продължителността на импулса.

Като резултат следва:

$$(13) \quad PVAL(t) = \frac{PMOD}{2} + \frac{PMOD.M}{2} \sin(w_0 t + q)$$

Стандартният подход за генериране на синусоидален сигнал е генериране на таблици и индексирано търсене на текущата стойност за всяка точка. За да се увеличи броят на точките е добре да се спести време при изчисленията за мащабиране. Това може да стане, ако не се работи с числа със знак. Работният диапазон вече не е -1 и $+1$, а е изместен между 0 и 1:

$$(14) \quad wave(t) = \frac{1}{2} + \frac{\sin(w_0 t + q)}{2}$$

$$(15) \quad wave(t).PMOD.M = \frac{PMOD.M}{2} + \frac{PMOD.M.\sin(w_0 t + q)}{2}$$

За да получим точна стойност на $PMOD/2$ без участие на M (модулацията) преобразуваме:

$$(16) \quad \frac{PMOD.M}{2} + Z = \frac{PMOD}{2} \quad \text{а} \quad Z = \frac{PMOD}{2}(1-M)$$

$$(17) \quad wave(t).PMOD.M + \frac{PMOD.M}{2}(1-M) = PVAL(t)$$

$$(18) \quad wave(t) = PMOD \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\sin(w_0 t + q)}{2} \right)$$

Таблицата за формата на вълната вече се състои от стойности между 0 и $PMOD$. Уравнение (13) се преобразува в:

$$(19) \quad PVAL(t) = wave(t).M + HalfPMOD.(1-M)$$

Опростяването на определянето на новата стойност дава възможност да се увеличи броят на точките в период до 256. Това дава възможност за прецизно управление на фазата на тока от модела на генератора в различните работни режими.

6. Резултати от изследвания с модела

Изследванията се извършват с помощта на цифров осцилоскоп и чрез специализирания софтуер 'AVR37graf' и 'AVR37C'. Подробен анализ се прави като се изведат записи от вградения регистратор. Симулирани са нормални работни състояния и аварийни режими. Изследвани са процеси, на синхронизация, стъпално или линейно изменение на активната и реактивната мощност, както и на 'хвърляне на товар', работа срещу система с високо ниво на напрежението и др.

Изборът на процесите е определен от наличието на записи на идентични ситуации в реални обекти, при същата система за управление. Това дава възможност за адекватна оценка на достоверността на получените резултати и степента на съответствие на физическия модел.

На фиг.5 и фиг.6 са показани типични резултати от две изследвания. Показани са статус екрана на AVR37 и величините напрежение на мрежата и ток на генератора, записани с осцилоскоп. Симулират се:

Фиг.5 Работа в паралел и натоварване с пълна мощност. Активен регулатор на възбуждане е $i_{f0}(\cos j)$.

Фиг.6 Работа в паралел и динамична промяна в натоварването поради включване на втори генератор. Активен регулатор на възбуждане е $i_{f0}(\cos j)$.

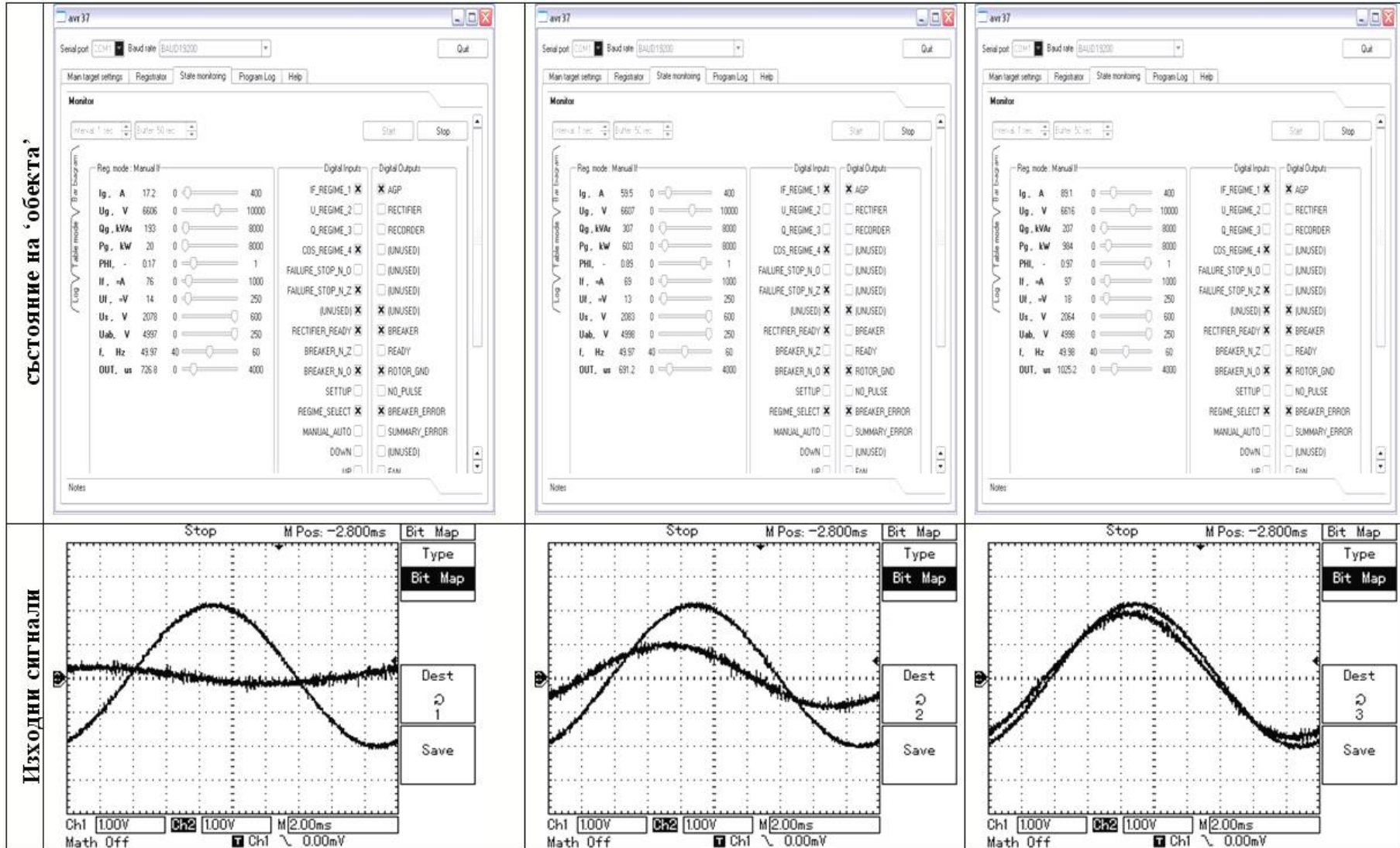
За оценка на резултатите са симулирани следните динамични процеси:

- *Регулиране* на възбуждането при работа на празен ход на СГ при задания от панела на настройка и при 'следене' U_{sys} .
- *Изменение* на генераторното напрежение (при празен ход) – плавно и скокообразно изменение на заданието;
- *Процеси* при включване в паралел и натоварване на генератора;
- *Работа на СГ в паралел* при: регулиране по напрежение със статизъм; регулиране по реактивна мощност; регулиране по $\cos\varphi$; регулиране по ток на възбуждане, с корекция по $\cos\varphi$;
- *Изменение* на реактивната мощност при задействало ограничение на възбудителния ток;
- *Плавно разтоварване* на СГ при изключване от паралелна работа с ЕЕС;
- *Аварийно 'хвърляне'* на товар;
- други процеси...

Анализът на записите на получените резултати от симулациите на различните работни и аварийни ситуации показват пълно съответствие с тези от реалните обекти (сравнени >25 записа). За конкретните поставени цели физическият стенд с вградените алгоритми на математически модел на синхронен генератор е достатъчно точен модел на реалния обект.

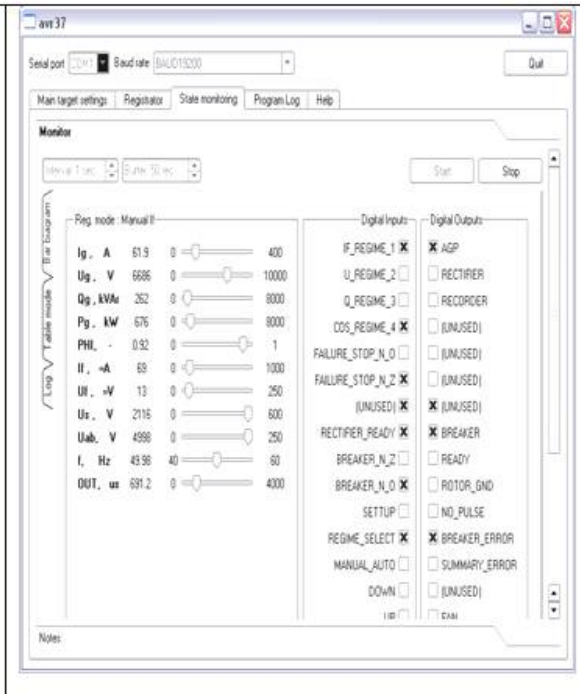
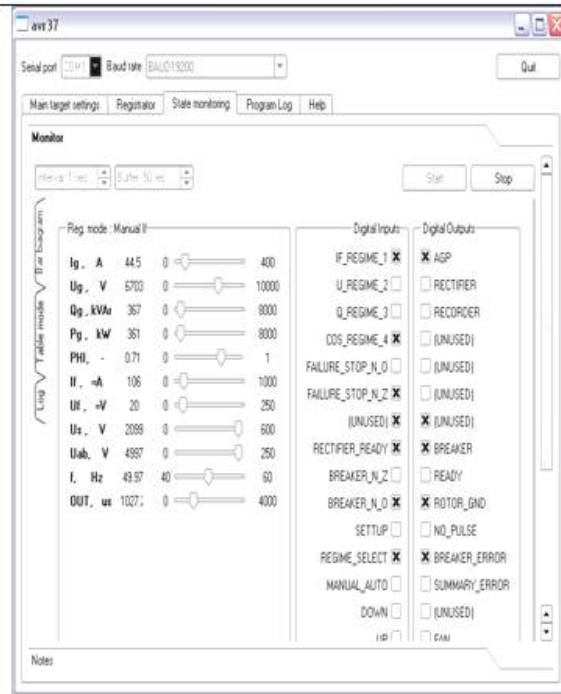
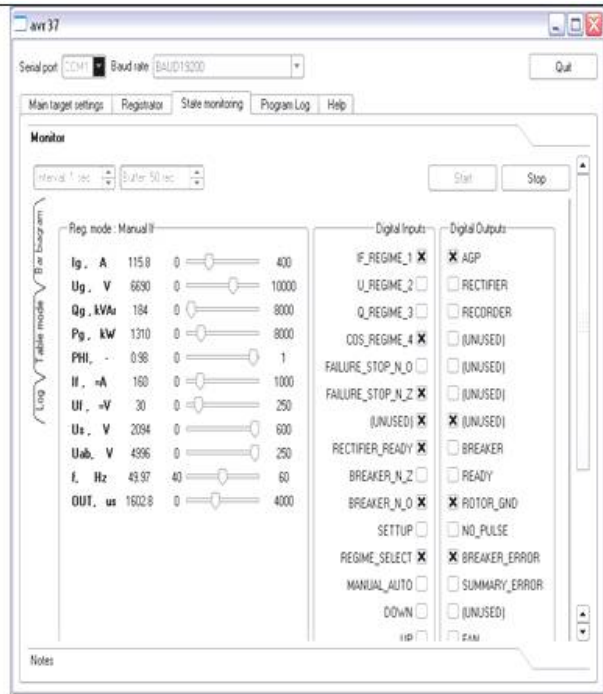
Това дава възможност с предварително изследване на различни режими и процеси да се направи оценка на поведението и се оптимизират настройките на реална система за управление.

Възможността за 'параметризация на модела (обекта)' позволява да се изследват и процеси при други генериращи източници.

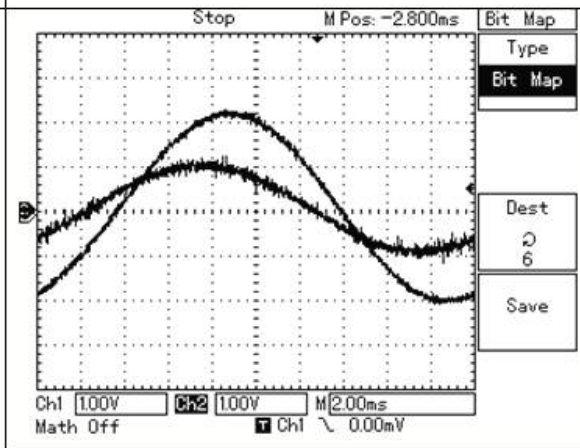
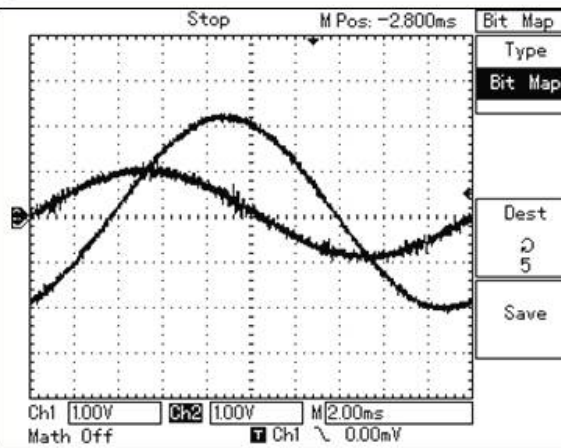
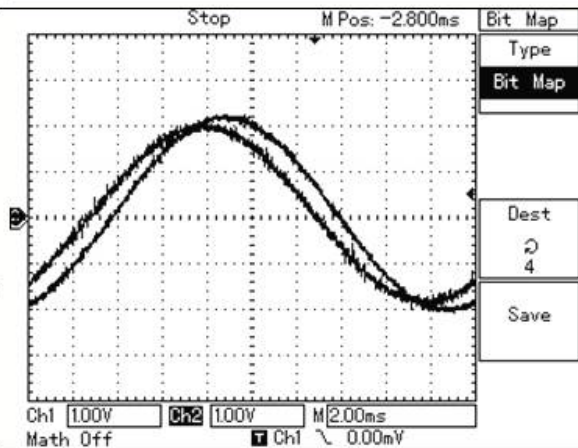


Фиг. 5

СЪСТОЯНИЕ НА 'ОБЕКТА'



ЗХОДНИ СИГНАЛИ



Фиг. 6

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rabelo, B., and Hofmann, W. “Optimal Reactive Power Splitting with the Doubly Fed Induction Generators for Wind-Turbine”, *Proceedings of DEWEK'2002*, CD. Wilhemshaven, Germany, October 2002.
- [2] Rabelo, B., Hofmann, W. “Wind Generator Control in Compliance with New Norms”, *Proceedings of ISIE'2003*, CD. Rio de Janeiro, Brazil, July 2003. H. Poor, *An Introduction to Signal Detection and Estimation*. New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.
- [3] Kovács, K.P., Rácz, I. “Transiente Vorgänge in Wechslstrommaschinen”, Verlag der Ung. Akademie der Wiss. Budapest, Hungary, 1959.
- [4] Müller, G., “Betriebsverhalten rotierender elektrischer Maschinen”, VEB Verlag Technik, Berlin, 1990. J. Wang, “Fundamentals of erbium-doped fiber amplifiers arrays (Periodical style—Submitted for publication),” *IEEE J. Quantum Electron.*, submitted for publication.
- [5] Цонева, Д., А. Цолов, А. Крумов. Разпределение на реактивното натоварване на синхронни генератори от една електрическа централа при различни принципи на регулиране – математически модел, *Proceedings Of The Technical University – Sofia, Volume 59, book1, 2009, p151*
- [6] Цонева, Д., А. Цолов, А. Крумов. Особености при регулирането на реактивното натоварване на мини ВЕЦ, *Proceedings Of The Technical University – Sofia, Volume 59, book1, 2009, p161*
- [7] Цолов А, Програмируем контролер AVR36, Сборник материали по дисциплината АЕЧЕЦ – магистърски курс на ЕФ, 2010, стр.175

Автор: доцент д-р инж. Ангел Цолов, кат. “Електроенергетика”

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ НА ТРИФАЗНА СИСТЕМА ПРОМЕНЛИВИ НАПРЕЖЕНИЯ В ИЗТОЧНИК НА ПОСТОЯНЕН ТОК, ИЗПЪЛНЕН С ПРИЛОЖЕНИЕ НА СХЕМА "БУШЕРО"

Камелия Николова, Никола Трифонов

Резюме. Зследва се преобразовател на трифазна система система променливи напрежения в източник на постоянен ток с използване на три еднофазни преобразователя, изпълнени по схема на „Бушеро“, хранващи постояннотков товар чрез трифазен двуполупериоден изправител. Определят се условията за постигане на режим на товара с ток, независим от съпротивлението му, режимите на съставните елементи на преобразователите и параметрите им, необходими за тяхното оразмеряване.

CONVERTER OF THREE PHASE SYSTEM ALTERNATIVE VOLTAGES IN CONSTANT CURRENT SOURCE, REALIZED BY APPLICATION OF "BOUCHEROT" SCHEME

Kamelia Nikolova, Nikola Trifonov

Abstract. The present paper represents a research of a converter of three phase system of alternating voltages in a constant current source with the application of three single phase converters, realized by "Boucherot" scheme. The research aims to define the conditions for realization of working conditions of the load with current, independent of its resistance, the working regimes of the components of the scheme and the needed parameters for defining of their dimensions.

1. Въведение

Преобразователят на източник на променливо напрежение в източник на променлив ток с неизменна ефективна стойност, независима от включен товар към изхода с променливо съпротивление, изпълнен по различни еквивалентни схеми „Бушеро“, съставени от реактивни елементи – дросели и кондензатори, е широко приложим [1], [2]. За разглеждан конкретен случай е възможно да се използва схема, с която се създават условията, съответстващи на спецификата на товара. Заедно с това трябва хранващият източник да е в благоприятен режим, например за режим на товара с относително висок фактор на мощността. В случай на товар за постоянен ток, за ограничаване на пулсациите му трябва да се използва трифазен двуполупериоден токоизправител [3]. Подходяща схема на включване тип „Бушеро“ е представена на фигура 1 [4], където са означени:

U_R, U_S, U_T – трифазно хранване, V;

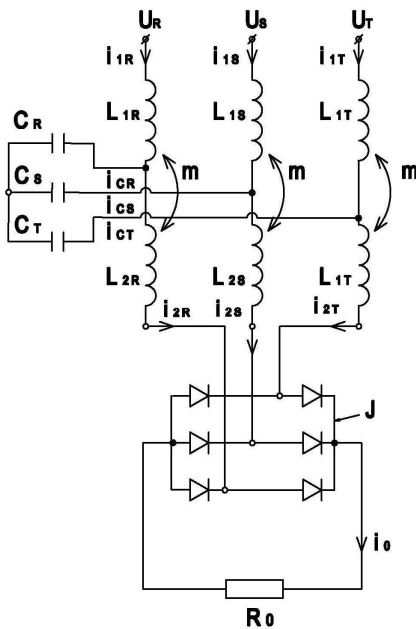
$L_{1R}, L_{2R}, L_{1S}, L_{2S}, L_{1T}, L_{2T}$ – три комплекта еднакви дросели с магнитни връзки между тях, H;

C_R, C_S, C_T – три еднакви кондензатора, F;

J – трифазен двуполупериоден токоизправител;

R_0 – товарен резистор, Ω ;

$i_{1R}, i_{2R}, i_{1S}, i_{2S}, i_{1T}, i_{2T}, i_{CR}, i_{CS}, i_{CT}$ и i_0 – токове, A.



Фиг. 1 [4]

За да се определят условията за постигане на режим на товара с ток, независим от съпротивлението му, е необходимо да бъдат изпълнени следните задачи:

- Да се определят числените стойности на индуктивностите на дроселите и капацитетите на кондензаторите така, че режимът на товарния резистор да е с ток $i_0 \neq f(R_0)$;

- Да се определят числените стойности на всички токове $i_{1R}, i_{2R}, i_{1S}, i_{2S}, i_{1T}, i_{2T}, i_{CR}, i_{CS}, i_{CT}, i_{D1-6}$ и i_0 в зависимост от съпротивлението r_0 ;

- Да се определят числените стойности на напреженията на всички елементи от схемата - $u_{1R}, u_{2R}, u_{1S}, u_{2S}, u_{1T}, u_{2T}, u_{CR}, u_{CS}, u_{CT}, u_{D1-6}$ и u_0 ;

- Да се определят изходни данни за оразмеряване за кондензаторите, токоизправителя и дроселите, включително потокосцепленията ψ_R, ψ_S, ψ_T на техните намотки, Wb.

Представеното изследване е реализирано при следните условия:

1.1. Захранващата трифазна система променливи напрежения е с безкрайна номинална мощност, следователно

$$U_R = U\sqrt{2} \sin wt \neq f(R_0)$$

$$(1) \quad U_S = U\sqrt{2}(\sin wt - \frac{2p}{3}) \neq f(R_0)$$

$$U_T = U\sqrt{2}(\sin wt + \frac{2p}{3}) \neq f(R_0)$$

1.2. Индуктивностите, капацитетите, съпротивлението R_0 и диодите на токоизправителя са идеални – с пренебрегнати загуби;

1.3. Дроселите са с линейни индуктивности;

1.4. Кондензаторите са с линейни капацитети;

1.5. Решенията са за установен режим.

2. Анализ на режимите на работа

Схемата от фигура 1 съдържа три еднофазни преобразователя по схема „Т”, режимите на които се определят от фазните напрежения на трифазната система.

Режимите на еднофазните преобразователи се определят от параметрите им и от взаимовръзките им, определени от съвместната им работа с токоизправителя.

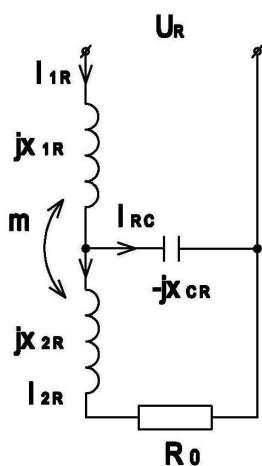
Анализът се привежда на два етапа:

В първият се определят условията за работа при самостоятелно действие на всеки от фазните преобразователи, независимо от другите.

Във вторият се уточняват решенията за съвместна работа на трите фазни преобразователя, токоизправителя и товара.

2.1. Фазен преобразовател.

Работната схема за предстоящия анализ е дадена на фигура 2. Всички токове и напрежения на тази схема са синусоидални, което позволява използване на комплексен метод за изследване.



Фиг. 2

Решенията по схемата от фигура 2 водят до следните резултати:

2.1.1. Условието за получаване на източник на ток е:

$$(2) \quad j(x_{1R} - x_{CR}) = 0; \quad x_{1R} = x_{CR}; \quad \omega L_{1R} = \frac{1}{\omega C_R}.$$

2.1.2. При изпълнение на условие [2] токът на товара е:

$$(3) \quad \dot{I}_{R2} = \frac{\dot{U}_R}{jx_{R2}(1+m)} \neq f(R_0);$$

2.1.3. Токът към фазния източник е:

$$(4) \quad \dot{I}_{1R} = \frac{U}{jx_{1R}(1+m)} \frac{x_{CR} + x_{2R} + R_0}{j(x_{CR} - mx_{1R})}$$

От (4) следва, че за реализация трябва да се избере решението при $m=1$ ($x_{1R}=x_{2R}$), тъй като от (4) се получава, че режимът на захранващия източник е при изпълняване на два благоприятни показателя:

а) Минимален ток I_{1R} , защото при $m=1$ ($x_{1R}=x_{2R}$), следователно $j(x_{CR}+x_{2R})=j(x_{CR}+x_{2R})=0$:

$$(5) \quad \dot{I}_{1R} = \frac{U}{x_{1R}^2} \frac{R_0}{(1+m)^2},$$

при което за късо съединение на товара ($R_0=0$) $I_{1R}=0$.

б) Факторът на мощността към захранващия източник, независимо от съпротивлението на товара е

$$(6) \quad \cos \varphi_H = 1.$$

2.2. Трифазен преобразовател по фиг. 1

Съставните еднофазни преобразователи на трифазния преобразовател, трябва да имат избрани показатели на елементите им, съобразени със зададените данни на товара и съвместната работа с необходимия трифазен

токоизправител. Режим на източник на ток се създава със съгласуване на индуктивността на дроселите с капацитета на кондензатора. За трифазен преобразовател с изход на постоянен ток, параметрите на фазните дросели и кондензатори, се определят с отчитане на съответствието между тока на товара I_0 и фазните токове. От предварителни анализи е определено, че еквивалентният (изчислителен) фазен ток $I_{\phi \text{ екв. eff}}$ може да бъде:

$$(7) \quad I_{\phi \text{ екв. eff}} = \frac{I_{0A}}{0,78},$$

където I_{0A} е амплитудната стойност на очаквания ток I_{0A} .

С този ток и захранващото напрежение се определят необходимите фазни индуктивности и кондензатори от реактанса:

$$(8) \quad x = \frac{U_{\text{mp. eff}}}{2I_{\phi \text{ екв. eff}}} = \frac{U_{\text{mp}}}{1,56I_{0 \text{ ном. eff}}}$$

При изследването на трифазния преобразовател трябва да се намерят моментните стойности на токовете и напреженията на гравивните елементи и товара. Анализът се прави за трифазната система напрежения (1) и изпълнено условие (2).

Извършени са числени решения при използване на стандартния програмен продукт ORCAD [5]. Решенията се отнасят за основен (базов) числен модел със следните базови данни:

$$(9) \quad U^* = 1,56V; f^* = 50Hz; I_{0A}^* = 1A; x^* = 1\Omega; \\ L^* = x^*/2\pi f^* = 3,185mH; 1/\omega C^* = x^* = 1\Omega; C^* = 1/\omega x^* = 3185\mu F.$$

Схемата на базовия модел от фиг. 1 при тези числени базови данни е със следните параметри:

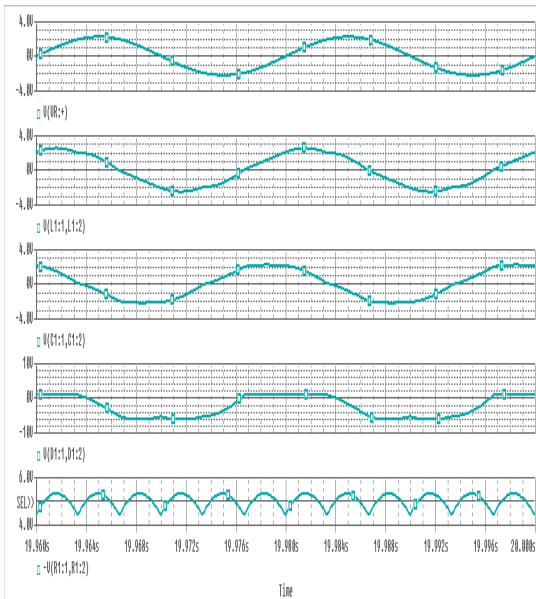
$$(10) \quad m=1; L_{1R}=L_{2R}=L_{1S}=L_{2S}=L_{1T}=L_{2T}=L^*; C_R=C_S=C_T=C^*.$$

Направени са изчисления за различни стойности на товара в границите $0,5 \leq R_0^* = R_0/x^* \leq 10$ със стъпка на изменение на товара 0,5. На фигура 3 са представени всички изчислени променливи величини с моментните им стойности, за една стойност на товарното съпротивление $R_0^* = 5$, за фаза R. Вижда се, че при синусоидално захранващо напрежение всички други величини се изменят по периодични несинусоидални закони.

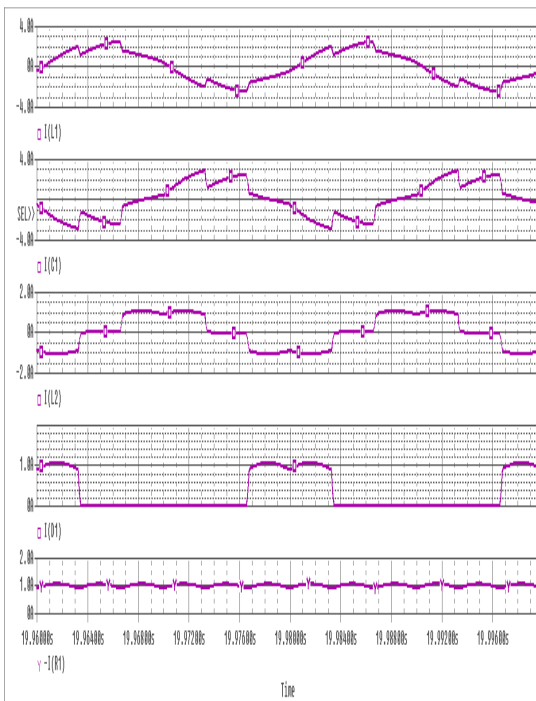
Режимите на работа на товара и елементите на преобразователя за практически цели се представят с характерните интегрални стойности на величините, в зависимост от нуждите – ефективни, средни и амплитудни. По тези стойности се избират каталожните данни на конкретните елементи.

Токът на товара е непрекъснат, и както се очаква, пулсиращ с честота на пулсациите му $f_{i0} = 6f^*$.

Избраните числени стойности на елементите на схемата са подбрани така, че да се получи обобщено решение за всички възможни случаи. Решенията, представени с относителни бездимензионни единици са за основния най-общ случай. Чрез тях е възможно изчисляване на всички основни величини и характерните режими на работа на преобразователите при всеки необходим частен случай.



а)



б)

Фиг. 3. Моментни стойности за фаза R на: а) напрежения на мрежата u_{mp} ; дроселите $u_{1R} = u_{2R}$; кондензатора u_{CR} ; диода D1 - u_{D1} и на товара u_{r0} ; б) ток към мрежата $i_{mp} = i_{1R}$; на дросела L2 - i_{2R} ; на кондензатора i_{CR} ; на диода D1 i_{D1} и на товара i_{r0} .

На фигура 4 са представени всички изчислени базови величини при различни стойности на относителното съпротивление на товара R_0^* , с помощта на които може да се изберат номиналните данни на елементите при зададени условия, различни от данните на базовия модел. Означените на фигурите относителни величини, отбелязани със * са следните:

- за всички напрежения:

$$(11) \quad U_k^* = \frac{U_k}{U^*};$$

- за всички токове:

$$(12) \quad I_k^* = \frac{I_k}{I^*};$$

- за съпротивлението на товара:

$$(13) \quad R_0^* = \frac{R_0}{x^*};$$

Изчисленията се отнасят за трите фази по еднакъв начин.

По дадените зависимости конкретен преобразовател може да бъде оразмерен по дадени характерни номинални данни: $U_n, I_{0eff\text{ ном}}, f_{\text{ном}}, R_{0\text{ max ном}}$.

За избраното $m=1$, необходимите изчисления трябва да се изпълнят в следния ред:

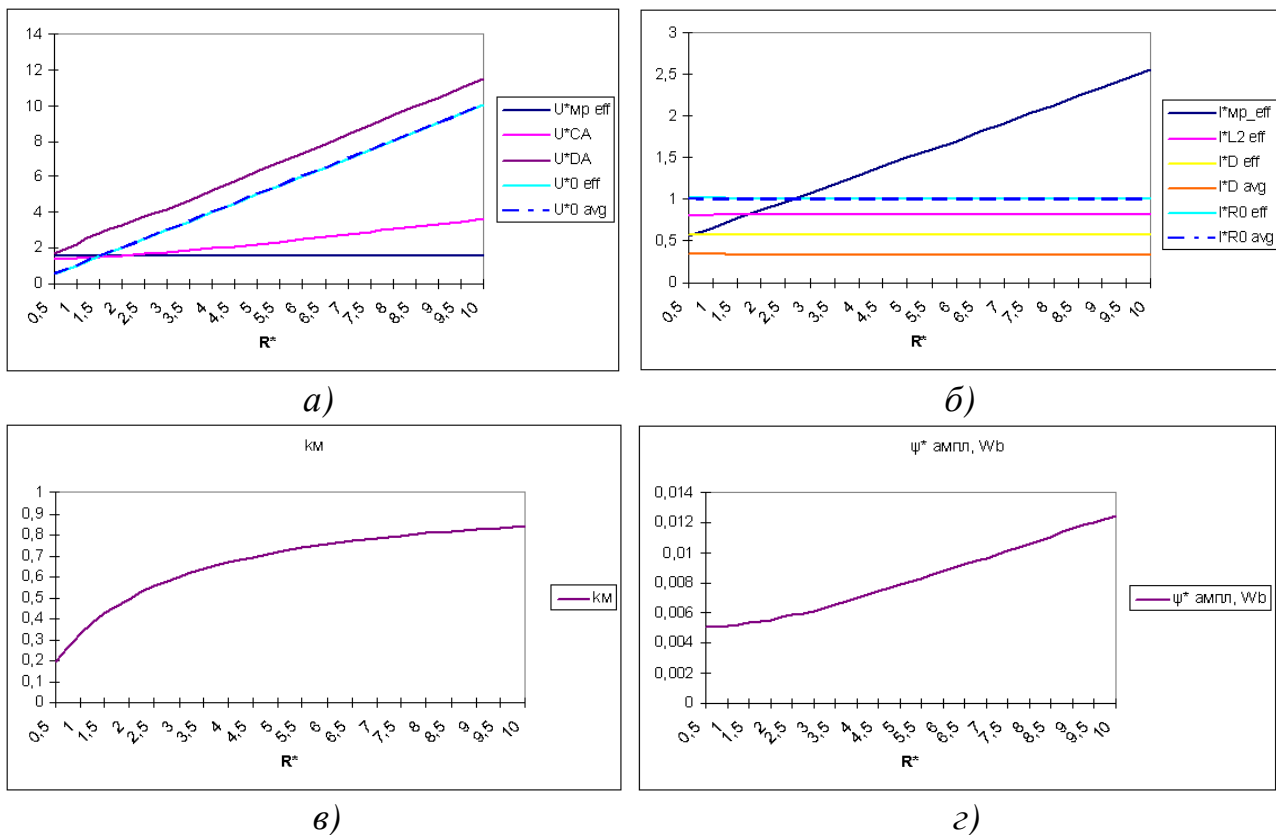
2.2.1. Определят се $x_{\text{ном}}, L_{1\text{ ном}}=L_{2\text{ ном}}$ и $C_{\text{ном}}$:

$$(14) \quad x_{\text{ном}} = x^* \frac{U_n I^*}{U^* I_n};$$

$$L_{1\text{ ном}} = L_{2\text{ ном}} = L \frac{U_n I^*}{U^* I_n};$$

$$C_{\text{ном}} = C^* \frac{U^*}{U_n};$$

$$R_{0\text{ max ном}}^* = \frac{R_{0\text{ max ном}}}{x_n}.$$



Фиг. 4. Зависимости на относителните стойности на а) напреженията и б) токовете на елементите на преобразователя; в) фактора на мощността k_M и г) потокосцепленията на индуктивностите за фаза R при изменение на товара в относителни единици от 0,5 до 10

1.2.2. Отчитат се за R^*_{max} бездименсионните числени стойности на напреженията и токовете на елементите на преобразователя;

1.2.3. Определят се действителните числени стойности на величините на елементите, съответно:

$$\begin{aligned}
 U_{CAmax} &= U^*_{CAmax} \frac{U_{НОМ}}{U^*}; & U_{DAmax} &= U^*_{DAmax} \frac{U_{НОМ}}{U^*}; \\
 I_{mpmax} &= I_{L1max} = I^*_{L1max} \frac{I_{НОМ}}{I^*}; & I_{Davgmax} &= I^*_{Davgmax} \frac{I_{НОМ}}{I^*}; \\
 I_{Deffmax} &= I^*_{Deffmax} \frac{I_{НОМ}}{I^*}; & Y_{LA1max} &= Y_{LA2max} = Y^*_{LA} \frac{U_{НОМ}}{U^*}.
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Съответните стойности на величините при максимален режим определят каталожните данни на елементите на преобразователя. При необходимост за конкретно оразмеряване на дроселите се отчита, че те трябва да имат индуктивност $L_1 = L_2 = L_{НОМ}$ (14), намотки с равен брой навивки, в които токовете са съответно I_{L1max} и I_{L2max} (15).

Изчисленията, представени на фигура 4 се отнасят за честота на захранващото напрежение 50 Hz. Дадените конкретни данни са валидни за всяка друга честота, като единствено се преизчисляват индуктивността на дроселите и капацитета на кондензаторите, съответно:

$$(16) \quad L(f_{\text{ном}}) = \frac{50}{f_{\text{ном}}} L(50); \quad L(f_{\text{ном}}) = \frac{50}{f_{\text{ном}}} L(50); \quad ;$$

$$(17) \quad y_A(f_{\text{ном}}) = \frac{50}{f_{\text{ном}}} y_A(50).$$

Зависимостите (16) и (17) показват, както е добре известно, че при използване на повишени честоти $f_{\text{ном}}$ за преобразователите, при равни други данни, се изискват съответно олекотени градивни елементи.

3. Заключение

Направеният анализ показва, че при зададените условия преобразователят има външна(изходяща) характеристика на източник на ток при изменение на R_0 в целия разгледан диапазон на R_0^* .

Получените резултати за режимите на работа на изследваните преобразователи от тип „Бушери“, при постоянна стойност на променливото напрежение за захранването им, дават основание да се направят следните изводи:

- Границите на стабилизиране на преобразователя за конкретно приложение може да бъдат предварително определени и съответно да се заложи обхват на изменение на товара, при който преобразователят ще осигурява приемлива стойност на поддържане на работния ток;

- За направеното разглеждане, грешката на стабилизирания ток е много малка, в рамките на 0,14%, което се дължи на грешки от закръгленията при изчисленията;

- Пулсациите на тока и напрежението на товара са незначителни, което личи от това, че техните средни и ефективни стойности са съвсем близки, фигура 4;

- Обхватът на изменение на товара трябва да бъде определен в зависимост от поставени изисквания към коефициента на мощност за устройството, при което долната граница се определя от допустимия минимум на k_m . При помалки товари работата на преобразователя се влошава, тъй като се увеличават хармониците на тока към захранващия източник, а коефициентът на мощността значително намалява. Това се определя от несинусоидалните режими на токовете и напреженията, които се дължат на съвместното действие на преобразователя с токоизправителя. Работа на преобразователя с товари под долната граница на заложен обхват не е препоръчителна;

- Определените зависимости на базовия модел с относителни бездимензионни величини представляват най-общо решение за синтезиране на разглежданите преобразователи при изискващите се разнообразни условия.

В зависимост от изискванията за конкретни приложения на източник на ток, реализиран посредством трифазен преобразовател на променливи напрежения по разглежданата схема “Boucherot”, с използване на данните от изчисления за посочени режими на работа в относителни единици, може да се определят

всички необходими показатели на съставните елементи на схемата, граничните стойности на товарния обхват, както и коефициента на мощността.

Благодарности

Разработката е финансирана със средства от Министерството на образованието, младежта и науката, Фонд “Научни изследвания”, договор № МУ-ФС-07/2007 “Оптимизиране по разход на енергия на осветителни уредби за улици и пътни тунели”.

Благодарим на доц. Е. Гаджева от ФЕТТ, катедра ЕТ за ценните съвети при разработването на програмния модел на трифазния преобразовател.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Волков, И. В., А. Н. Милях. Индуктивно-емкостные преобразователи источников напряжения в источники тока, Киев: Наукова думка, 1964.
- [2] Милях, А. Н., И. В. Волков. Системы нэизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей, Киев, Наукова думка, 1974.
- [3] Bartlett, A.C., Boucherot's constant-current networks and their relation to electric wave filters, Journal of Electrical Engineers, 1963.
- [4] Трифонов, Н., А. Пачаманов, К. Николова. Приложение на източници с пасивни елементи за неизменен ток в осветителни уредби с ХНЛ и СД, XIV Национална конференция с международно участие Bullight 2010, Варна, България=
- [5] Гаджева, Е., Т. Кюмюрджиев, С. Фархи, М. Христов, А. Попов, Компютърно моделиране и симулация на електронни и електрически схеми с Cadence PSpice.

Автори: инж. Камелия Николова, редовен докторант в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, проф. д-р Никола Трифонов, кат. „Електрически апарати”

ОПТИМИЗИРАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКОТО ОБСЛУЖВАНЕ И РЕМОНТА НА КОНТАКТНАТА СИСТЕМА НА ЕЛЕКТРИФИЦИРАНИТЕ ЖЕЛЕЗОПЪТНИ ЛИНИИ, ОБОСНОВАНО НА ТЕОРИЯТА ЗА НЕЙНОТО ПРОЕКТИРАНЕ

Кръстю Биларев

Резюме. в доклада се разглежда възможността проектирането, строителството, монтажа и експлоатацията на контактната система да се свържат в неразривна верига от събития с единен жизнен цикъл, с цел повишаване надеждността и качеството на работата ѝ.

OPTIMIZATION MAINTENANCE AND REPAIR OF CONTACT SYSTEM RAILROAD ELECTRIFICATION JUSTIFIED ON THE THEORY OF ITS DESIGN

Krastyu Bilarev

Abstract. The Report is considering the design, construction, installation and operation of the contact system make use of the integral chain of events with a single lifetime, to improve reliability and quality of her work

1. Увод

Контактната система (КС) е важен съставлящ елемент в системата на електрифицирания железопътен транспорт. Тя участва в три процеса едновременно – изменение на техническото състояние, техническата и търговска експлоатация.

Непрекъснатото усъвършенстване на КС и съответно теориите и методите за нейните разчети, експлоатация и поддържане в изправно състояние може да се разглеждат в три етапа:

1. Систематичното изследване в областта на КС е започнало в през първата половина на 20-ти век. Значителната ѝ сложност, както и малкото райони на изграждане са ограничавали дълбочината и резултатността на тези работи;

2. За втори етап може да се приемат 50-60-те години на 20-ти век, когато масово се електрифицират железопътните мрежи на Западна Европа, Япония и в Съветския съюз. Това рязко увеличение на участъци с КС е послужило за стимул за интензивни научни изследвания;

3. Третия съвременен етап на развитие на КС е свързан с развитието на високоскоростното движение и с това, че значителна част от участъците на контактната мрежа се приближават или са с изтекъл ресурс.

Проектирането, разработването на идеен проект, строителството, монтажа и експлоатацията на КС трябва да се разглеждат като взаимосвързани събития на единния жизнен цикъл. Като се има предвид, че КС сама по себе си не определя протичащите в нея процеси, е задължително да се отчетат всички натоварвания действащи от страна на околната среда и възникващи в процеса на токоснемане. Само при такъв подход може да се осигурят действително оптимални технически решения.

Основните направления в усъвършенстването конструкцията на КС при проектиране на нови възли и детайли, както и при изпълнение на проекти за междугария и гари, е било и си остава до сега желанието да се повиши качеството на токоснемане, намаляването на експлоатационните разходи и увеличаване на надеждността ѝ. Всичко това обяснява изискванията за определяне на срок на служба на отделните елементи

На базата на горе казаното е и целта на представения вариант за оптимизация на техническото обслужване на контактната система на електрифицираните железопътни линии, обосновано на теорията за нейното проектиране

2. Техническо обслужване на КС

Редовността и безопасността на железопътните превози съществено зависи от надеждността на функциониране на КС. Необходимото ниво на надеждност на КС може да бъде обезпечено с организиране на система за високоефективно техническо обслужване.

Система за техническо обслужване (СТО) на КС е комплекс от взаимосвързани действия, технически средства, а също така и нормативни документи, определящи реда за изпълнение на работите по техническото обслужване и ремонт, за осигуряване на зададените показатели за качество, удовлетворяващи необходимостта за извършване на превози в системата на железопътния транспорт.

СТО включва поддържане на проектно ниво на количествените стойности на показателите за надеждност, ремонтпригодност и експлоатационна готовност [4] в процеса на експлоатация за целия жизнен цикъл чрез прилагане на система за диагностика и ремонт на контактната система, както и извършване на ремонт по необходимост (случаен ремонт) след излизане от строя на възел или елемент на контактната система.

В идеалния случай, СТО трябва да гарантира поддържането на КС в добро състояние, обуславящо работоспособността, максималната производителност и определящо високото качество на предаваната електрическа енергия. Управлението на количеството регламентирани работи и тяхната периодичност зависят от избраната стратегия за техническо обслужване.

Изборът на стратегия за техническо обслужване се явява една от основните и най-сложни задачи при организиране на СТО и от правилността на нейното решаване, в значителна част зависят както надеждността на функциониране на КС, така и икономическата ефективност. Обемът на работа при такава

стратегия за техническо обслужване $Q_i(t)$ на определен обект i за време t обуславя количеството и трудоемкостта на отделните операции и тяхната периодичност и може да се определи със следната формула:

$$(1) \quad Q_i(t) = \sum_{j=1}^K \frac{T_{pj} t}{t_{pj}} + \sum_{C=1}^V T_{\partial C} + T_{cp.vi} m_i + T_{ni} n_i$$

където:

T_{pj} – нормирано време за изпълнение на една регламентирана работа ($j=1,2,\dots,K$), ч.ч.;

K – брой на изпълняваните работи;

t_{pj} – периодичност на j -тия регламент на работа, ч.ч.;

$T_{\partial C}$ – нормирано време за изпълнение на C -та допълнителна работа по плана за повишаване надеждността, във всяка V работа, ч.ч.;

$T_{cp.vi}$ – средните разходи за труд за възстановяване на i -тия обект след отказа;

m_i – средно число откази за период t ;

T_{ni} – разходи за труд от комплексни проверки на устройствата на i -тия обект, ч.ч.;

n_i – количество комплексни проверки за време t .

Във връзка с (1) основно внимание при оптимизиране на СТО, трябва да се обърне на усъвършенстването и по-възможност, съкращаването обема на регламентираните работи (j). За тяхното изпълнение съществуват три възможности:

- съкращаване броя на регламентираните работи j ;
- управление периодичността на регламентираните работи (t_{pj});
- намаляване трудоемкостта (T_{pj}) на отделните операции чрез усъвършенстване технологията на извършваните работи.

3. Развитие на теорията за проектиране на контактната система

Проектирането на КС традиционно се разделя на две части: проектиране на типови конструкции, възли и детайли и приспособяването им към местните условия. Това позволява да се изберат различни варианти и видове окачвания, дължини на междустълбия, броя и разположението на опорните конструкции, дължината на анкърните участъци, натягането на проводниците, схемите за разположение на струните, дължината и натягането на ресорните струни, схемите на разположение на електрическите съединители и др.

Основния проблем е липсата на точни методи за избор на оптимални проектни решения, основани на местните условия. Теорията на проектиране е разработена с редица приближения и допускания, с които се определят съответните стойности – допустима дължина на междустълбие, допустима дължина на анкърен участък, минимална носимоспособност. Способите за оптимизация са още в етап на разработка и се отнасят към частните показатели.

Стойността на жизнения цикъл на КС се състои от капитални и експлоатационни разходи.

Капиталните разходи се състоят от разходите за проектиране и проучване, за строителство, изграждане и монтаж, научни изследвания и разработване на примерни проекти. Капиталните разходи се определят от прогнозираните разходи. Стойността на проектно-изследователска работа обикновено се приема за 3-5 % от стойността на прогнозираните разходи за строителство на контактна мрежа.

Експлоатационните разходи се определят от стойността за профилактика и отстраняване на повредите по КС.

В общ вид капиталните разходи K_{Π} , участващи в стойността на работите по строителството и монтажа на i -тата група еднотипни елементи r_i , , отчитащи всичките местни особености за изпълнение на работата k_{mi} и доставката на оборудване или материали на i -тата група еднотипни елементи k_{ri} , могат да се запишат в матрична форма:

$$(2) \quad K_{\Pi} = \begin{pmatrix} m_i k_{mi} & r_i k_{ri} \\ m_n k_{nm} & r_n k_{rm} \end{pmatrix},$$

където:

m_i - цена на материали и/или оборудване на i -тата група еднотипни елементи;

n – брой на групите елементи в проекта.

Експлоатационните разходи, включващи в себе си разходите за техническо обслужване и ремонт (ТО и Р), предоставените „прозорци” и вложените материали, изцяло зависят от стойностите на управляващите въздействия (УВ), тяхната интензивност и срока на служба на КС.

Във всяка техническа система (ТС) съществува функционална част – обект на управление (ОУ). Функциите на обекта на управление в техническата система се заключават във възприятията на управляващото въздействие (УВ) и в измененото в съответствие с тях техническо състояние. ОУ на ТС не изпълнява функции за вземане на решения, не формира и не избира алтернатива за своето поведение, а само реагира на външните (управляващи и смущаващи) въздействия, изменяйки състоянието си до предопределения от конструкцията му образ.

В теорията на автоматичното управление „управляващото въздействие” (УВ) е сигнал. Анализът на особеностите на такива „сигнални” УВ показват, че тяхното информационно съдържание определя параметрите на материалния носител, представен във вида на механично, химично, електрическо, електромагнитно и т.н. въздействие на ОУ. Това въздействие се оказва непосредствено на ОУ и предизвиква (при отсъствие на смущения) еднозначна реакция в изменение значението на параметрите, характеризиращи състоянието на ОУ, т.е. „сигналът” може да се разглежда като първопричина за изменение състоянието на ОУ.

В теорията на системите, това понятие се разглежда не само като сигнал, но и като команда, заповед, разпореждане, инструкция, стимул и т.н.. За

разлика от „сигналния” вид на УВ, всички други изброени по-горе варианти на УВ, предполагат необходимост за предварително изпълнение на някакви допълнителни функции за представянето си, в резултат на което „сигналното” въздействие е непосредствената причина за изменение състоянието на ОУ.

Стойността и интензивността на УВ се определят от здравината и износоустойчивостта на конструкциите на КС, действащите натоварвания и приетата система за ТО и Р. Амортизационните отчисления се определят по действащите норми на амортизационните фондове.

Експлоатационните разходи (с отчитане на аварийните c_{aj} и профилактичните c_{nj} стойности на УВ за елементите от j -тия тип) се представят в матрична форма, отнесени към времето, т.е. във форма на единични разходи:

$$(3) \quad E = \begin{pmatrix} c_{aj} I_{aj} & c_{nj} I_{nj} \\ c_{a\Pi} I_{a\Pi} & r_{\Pi} k_{r\Pi} \end{pmatrix},$$

където:

I_{aj} – интензивност на аварийните УВ (може да се приеме за равна на параметрите на потока откази на групите елементи от j -тия тип. За нейното намиране може да се използват разработени модели откази);

I_{nj} – интензивност на профилактичните УВ (може да се намери с помощта на разчет на параметрите, съответстващи на стратегията за техническо обслужване).

Стойността на УВ включва в себе си и заплащане на труда, данъци, стойност на суровини, материали, гориво. Дължащите се на натрупване на повреди, остаряване и износване на оборудването на КС единични експлоатационни разходи ще зависят от времето на експлоатация.

Броят на неизвестните в задачата за оптимизацията параметрите на КС, винаги ще е по-голям от броя на уравненията, като някои от неизвестните се приемат за дадени във всеки един конкретен случай.

Оптимално решение например, може да се получи при задаване на вида подвижен състав, скоростта на движение и конкретното месторазположение на анкърния участък, защото в процеса на взаимодействие анкърният участък се води като едно цяло. Отчитайки, разбира се, скоростта на разпространението на колебанията по мрежата и нейната съизмеримост със скоростта на движение на електрически подвижен състав (ЕПС), може с пълна увереност да характеризираме системата анкърен участък – токоснемател, като обект с памет. Това означава, че моментното значение на силата на натиск на всеки токоснемател зависи не само от приложената в момента сила, но и от състоянието на системата в предходните моменти на времето и величините на силите в тези моменти. Най-силните фактори, причиняващи смущения, се явяват при навлизане на токоснемателя в преходното междуствълбие на анкърния участък, параметрите на което зависят от много местни условия. Затова, оптималното регулиране на различните анкърни участъци, разположени един след друг на един и същи път, ще бъде индивидуално (даже и за един вид ЕПС). Това, че е оптимално в един случай, не означава че ще бъде различно при друг. Трябва да се отчита вероятностният характер на всяко едно събитие:

параметри на токоснемателите и скоростта на движение на ЕПС в участъка, случайния характер на външните натоварвания и разрегулиране. Възможно е достигане на случайно оптимизиране, когато оптималният режим на работа (максималният ресурс, добрите показатели на качеството на токоснемане) ще осигури за системата като цяло отчитане на законите на разпределение на случайните величини и функциите, описващи поведението на отделните елементи, но за всяка отделна реализация оптималност може да не бъде достигната никога.

Всички съществуващи проекти и конструкции на КС са разработвани по същество, емпирически. Разработването на типовете проекти и обвързването им с местните условия се е извършвало без отчитане стойностите на жизнения цикъл и потребителския ефект. При избор на оптимален или рационален вариант при проектирането на КС може да има два подхода. При зададени ограничения на разходите е възможно да се максимизира търговския ефект или задаването на ниво на търговския ефект ще предизвика намаляване на разходите. КС не само има време за възстановяване, много по-кратко от времето между повредите, но и времето за строителство и монтаж е безкрайно малко, спрямо срока на експлоатация. При такива обекти за оптимизирането на ТО и Р се налага да се отчитат отделните показатели и критерии (освен ако целта на отчета не е периодът от време, съизмерим със строителството на контактната система). В съответствие с праксиологическия подход за оценка на потребителската ефективност на проектните решения, може да се каже, че тя се определя от съотношението на потребителския ефект (в настоящия случай това е разликата между търговския ефект до и след i -тото УВ, т.е. $\Delta\Pi = \Pi_i - \Pi_0$) към стойността на жизнения цикъл LCC:

$$(4) \quad \varepsilon = \frac{\Delta\Pi}{LCC}$$

Използването на такъв критерий е възможно само тогава, когато съществува детерминирана или дори случайна зависимост на два от показателите на параметрите на проектираната контактната система. Сложността на разрешаването на проблема се крие в ниската степен на формализация на такива отношения.

За да се определи влиянието на потребителския ефект трябва да се знаят цената и доходите, които са характерни за съответния участък от железопътната мрежа до провеждането на УВ, с изключение на всички други фактори, оказващи влияние (състояние на пътя, или ЕПС и т.н.) но не променящи се в резултат на УВ. Цената, необходима за проектиране, построяване, поддържане и експлоатация се приема със знак „минус“, доходите от експлоатация – със знак „плюс“. Всички откази, причинени от износване, отчетени в експлоатационните разходи, отказите предизвикани от претоварване от екстремални метеорологични условия, откази на ЕПС, катастрофи, вандализъм и т.н трябва да се отчитат като компоненти на търговската експлоатация.

За да бъде възможно проектиране на контактната система с отчитане на целия жизнен цикъл е необходимо изработване на модели на всички процеси и обекти, описващи целия жизнен цикъл и тяхната взаимовръзка в рамките на единен модел от най-високо ниво. При този обобщен модел, КС трябва да се строи по йерархични нива.

Целта на функциониране на КС е да предава електрическата енергия до ЕПС и да обезпечи токоснемането. Контактната система се явява система човек-машина, но хората участват само в процеса на експлоатация. Последното обстоятелство не изключва наличието на система за управление на процеса, като начин на определяне на въздействието върху системата за осигуряване на нейната ефективност. Както е отбелязано в [1], всяко управление е процес, включващ в себе си получаване на информация за системата и околната среда, разработване на решения, провеждане на УВ и контрол на изпълнението.

КС, като система се състои от отделни елементи. Понятията система и елемент са относителни [2], в зависимост от целта на изследване различните възли, конструкции и детайли на контактната система могат да се разглеждат както в качеството на система, така и в качество на елемент. КС и всички електрифицирани участъци имат йерархическа структура. Взаимоотношенията между отделните елементи в тази структура се характеризират като отношения на подчиненост и взаимодействие. Отношението подчиненост може да означава, че който и да е елемент се явява съставна част от някоя система (подсистема), или че, състоянието на разглеждания елемент (параметри, положение в пространството) се поддава на управление от страна на друг елемент. Отношението взаимодействие подсказва двупосочен обмен на сигнали между елементите, например взаимодействие между двете подвески на въздушна стрелка, където едновременното повдигане на проводниците се явява обратна връзка между тях. Общото множество на взаимодействията между елементите в системата и между системата и околната среда ще наричаме [1] процес на функциониране на системата, който в съответствие с [3] се разпада на два едновременно съществуващи процеса – на търговска и техническа експлоатация.

Още една характерна особеност на КС се явява постоянното изменение на състоянието на елементите и системата в цяло. Тези изменения засягат както измененията при натоварване, положение в пространството, температура и други параметри, така и измененията в техническото състояние на системата при повреди и тяхното отстраняване. Количествените изменения на системата не водят до изменение в нейната структура и се изразяват в износване и остаряване на отделните елементи. Качествените изменения настъпват при частични и/или пълни откази, както и при провеждане на УВ при модернизация на КС.

КС, като сложна техническа система се характеризира с голямо число елементи, със сложни пространствено-времеви връзки, със зависимост на показателите на токоснемане не толкова от съставлящите я елементи, но и от взаимовръзките помежду им. Всичко може да се разглежда на няколко нива: цялата експлоатирана КС, КС за постоянен или променлив ток, организационно

– КС на една железопътна линия, КС между две възлови гари, КС на отделни гари или междугария, за гарите – на главни или второстепенни коловози, отделни анкърни участъци, възли и конструкции, детайли и арматура. Например на ниво анкърен участък е възможна класификация по начините на натягане на проводниците, по разполагане на проводниците в план, по тип на проводниците, по конструкция на окачващите възли и т.н. с което той се явява първото пълно функционално йерархично ниво.

4. Изводи

1. Проектирането на КС трябва да се изпълнява, като се имат предвид последващите етапи на жизнения цикъл и най-вече експлоатацията;

2. В етапа на проектиране на КС не бива да се поставят ограничения само за размера на капиталните разходи, а е необходимо да се отчита целия жизнен цикъл на обекта;

3. Техническото обслужване и диагностика на КС не бива да се разглеждат отделно в качеството си на „допълнителни“ елементи на съществуващите обекти;

4. Мониторинг, който не е включен в единна система на жизнения цикъл на КС, не може да достигне оптимални показатели.

В заключение може да се посочи че, всички представени направления, обосновани на теорията за проектиране на КС, биха били полезни и могат да доведат до оптимизиране на техническото обслужване и ремонта ѝ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Тараканов, К. В., Л.А. Овчаров, А. Н. Тырышкин. Аналитические методы в исследования систем. — М.: Сов. радио, 1974.

[2] Ефимов, А. В., А. Г. Галкин. Надежность и диагностика технических систем электроснабжения железных дорог. — М.: УМК МПС России, 2000.

[3] Ефимов, А. В., А. Г. Галкин. Роль информации об отказах в управлении системой электроснабжения электрических железных дорог // Повышение эффективности и надежности устройств электроснабжения: Сб. научн. тр. / МИИТ. — М., 1988. — Вып. 788. — С. 78–84.

[4] BS EN 50126:1999 Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)

Автор: Кръстю Биларев, маг. инж., редовен докторант към катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта“, факултет „Комуникации и електрообзавеждане в транспорта“

КОМПЕНСАТОР НА ЗНАКОПРОМЕНЛИВИ РЕАКТИВНИ ТОВАРИ

Вълчан Георгиев, Стилиян Гюров, Николай Матанов,
Борислав Бойчев, Васил Господинов

Резюме: В доклада е описан разработен в катедра ЕСЕОЕТ на ТУ-София контролер за компенсиране на знакопроменливи реактивни товари, при които се изменя характера на реактивната мощност – от капацитивен в реактивен и обратно..

COMPENSATING CONTROLLER FOR REACTIVE LOADS WITH VARIABLE CHARACTER

Вълчан Georgiev, Stiliyan Gyurov, Nikolay Matanov,
Borislav Bojchev, Vasil Gospodinov

Abstract: A controller for compensation of sign changing reactive loads is presented. The character of the reactive power switches between inductive and capacitive with such loads depending of the operating regime. The lack of compensation in that particular case can bring serious financial penalty.

1. Знакопроменливи реактивни товари

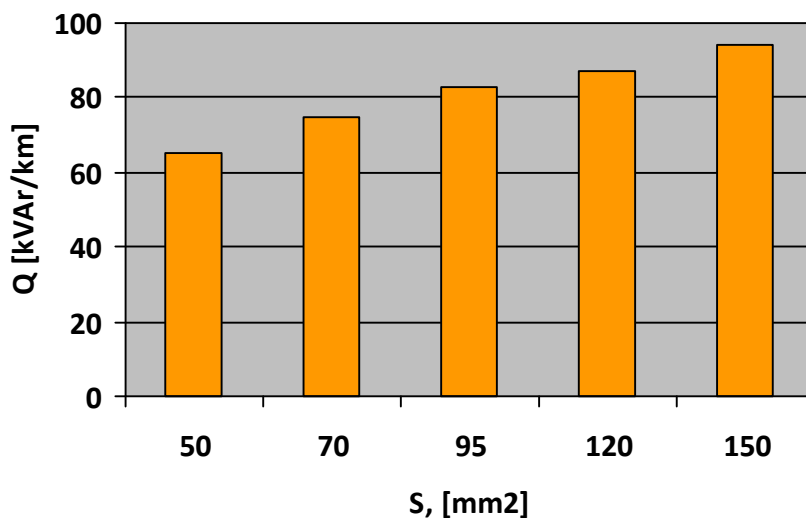
При голяма част от индустриалните потребители, реактивните товари са активно-индуктивни. При тях консумираният ток изостава спрямо захранващото напрежение. Факторът на мощността (или $\cos \varphi$ при синусоидални режими) е по-малък от единица и е положителен. Рекативната мощност се определя като индуктивна. Тъй като това е най-често срещаният случай в практиката, съществува голямо разнообразие от стандартни контролери ($\cos\varphi$ регулатори), които работят именно при тези условия.

В определени случаи обаче, е възможно товарът да бъде капацитивен [5,6]. Най-честата причина за това е наличието на дълги кабелни линии, които поради различни съображения се държат под напрежение. Те генерират реактивна енергия, чиято мощност може да се определи с израза:

$$Q = 3(wCU^2 - wLI^2),$$

където Q е реактивната мощност създадена от линията. $w = 2.p.f$ е кръговата честота на захранващото напрежение, U и I са ефективните стойности на напрежението и тока, а C и L са нейните съответни капацитет и индуктивност. За кабелните линии е характерно много голяма стойност на капацитета спрямо тази на индуктивността. Следователно втората съставка във формулата се

пренабрегва. На Фиг. 1 са дадени примери, с най-често използваните сечения кабелни линии.



Фиг. 1. Генерирана реактивна мощност на километър кабелна линия според сечението

Колкото по-голяма е дължината на линията, толкова по-голяма е реактивната мощност която тя генерира. Това, в случай на минимално потребление от страната на консуматора, може да доведе до изменение на характера на товара.

В България, цената и начина на заплащане на активната и индуктивна енергия се регулира с „Наредба за регулиране на цените на електрическата енергия”, издадена от ДКЕВР. Според тази наредба, всички консуматори с декларирана мощност по-голяма от 100 kW, заплащат консумираната реактивна енергия, ако техния $\cos\phi$ е по-малък от 0,9. На практика, консумираната реактивна енергия се заплаща на месечната база и то по цена равна на 10% от средната цена на активната енергия за предходната година.

Върнатата реактивна енергия, (т.е. капацитивнатата такава), се измерва отделно и се заплаща по цена равна на 100% от средната цена на активната енергия за предходната година.

Именно начина на заплащане на върнатата реактивна енергия прави особено неприятен за потребителите случая, в който дългите кабелни линии могат да изменят характера на товара в зависимост от неговия режим.

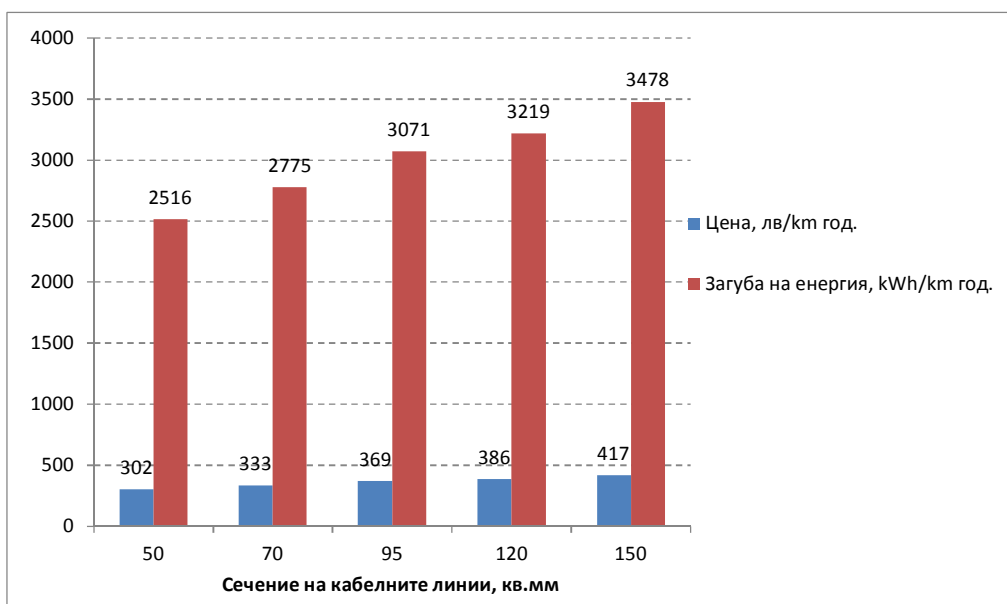
Съществуват различни технически решения за компенсирането на **капацитивни** товари:

- Прекомпенсиране с голям реактор.
- Превключваеми реактори и кондензатори
- Тиристорно управляем реактор с кондензаторни банки
- Статичен коменсатор

Разликите между тях са както в сложността на изпълнение, така и в цената на внедряването им.

При компенсирането с голям реактор се използва индуктивност, която е непрекъснато включена към мрежата. Целта е да се гарантира, че във всички случаи, дори когато няма консумация реакторът ще компенсира капацитивната енергия създадена от кабелните линии и ще направи характера на товара индуктивен. Такова решение е свързано с увеличаване на активните загуби в постоянно работещия реактор, както и с по-големи инвестиции, необходими за инсталиране на много по-голяма капацитивна мощност, която да компенсира реактивния товар в режим на номинално натоварване. Загубата на електроенергия, при този начин на борба с проблема, както и цената на тази енергия, изчислени за всеки километър кабелна линия с дадено сечение, нуждаеща се от компенсиране, са дадени на фиг. 2.

Предимство на метода е възможността да се използва стандартен cosφ регулатор, за да се поддържа желания фактор на мощността.



Фиг. 2. Загуби на активна енергия и нейната цена, при прекомпенсиране с голям реактор

3. Контролер за компенсиране на знакопроменливи реактивни товари

За изледването на реактивните товари с променлив характер и тяхното компенсиране, е изграден контролер, с който да се компенсира реактивната енергия, независимо от нейния характер. Контролерът работи с тиристорно управляем реактор (TRC), както и с превключваеми индуктори и кондензаторни банки. Методът на компенсиране може да бъде софтуерно задаван.



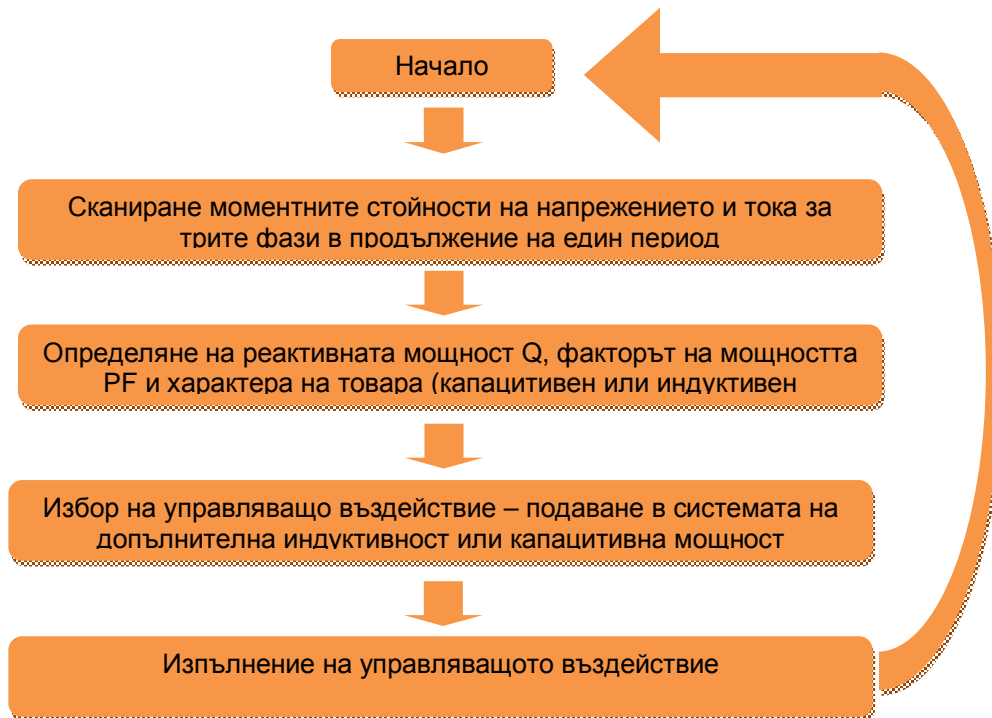
Фиг. 3. Варианти за компенсирание с превключваеми индуктор и кондензатор, както и с TCR

На фиг. 4 е показана конкретна схема на работата на контролера. В контролера са реализирани входни преобразуватели за измерване на ток и напрежение. В зависимост от големината на реактивната енергия се извеждат сигнали за управлението на тиристорно управляемия реактор (TCR), както и още четири цифрови изхода. При свързването на последните към разширител (PLC) се постигат до 16 изхода, които могат да се използват като допълнителни превключваеми индуктори или кондензатори. Алгоритъмът на контролера е даден на фиг. 5.



Фиг. 4. Блок-схема на контролер за компенсирание на знакопроменливи реактивни товари

Дискретизацията на напрежението и тока на всяка фаза се извършва през $312,5\mu s$, което дава възможност за точното определяне на величините, дори при несинусоидални режими със силно изразени хармоници с висока честота (теоритично до 32 хармоник).



Фиг. 5. Блок схема на контролер за компенсиране на знакопроменливи реактивни товари.

Определянето на факторът мощност (PF), реактивната мощност (Q), както и характера на товара е тривиална задача само при синусоидални режими. При несинусоидални режими са разпространени различни подходи за определяне на фактора на мощността и неговия характер. Похватите се различават по сложност и по точност на резултата, когато е налице силна несинусоидалност. При чисто синусоидални режими всички подходи дават еднакъв резултат.

Реактивната мощност и факторът на мощността в контролера могат да се изчислят по няколко различни метода [4, 7]:

1. Триъгълник на мощностите [3]

Изчисляват се активната мощност P , пълната мощност S , ефективните стойности на тока I и напрежението U по:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j \cdot i_j \quad U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j^2} \quad I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N i_j^2} \quad S = U \cdot I$$

а след това от триъгълника на мощностите се определя:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2},$$

2. Времезакъснение на четвърт период.[5]

Реактивната мощност се изчислява по:

$$Q = \frac{1}{n} \dot{a}_1^n u_j \cdot i_{j+\frac{n}{4}},$$

където n е броя на отчетите за един период, а u_j и i_j са дискретните стойности на тока и напрежението.

3. Теория на моментната реактивна мощност[1, 2]

Използва се трансформация на Кларк за преминаване към ортогонална координатна система:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

След което могат да се изчислят величини, чиито физически смисъл може да се счита за еквивалентен на моментната активна и реактивна мощност:

$$p = v_a \cdot i_a + v_b \cdot i_b$$

$$q = v_b \cdot i_a - v_a \cdot i_b$$

Използването на триъгълника на мощностите дава неточни резултати при несинусоидални режими и отнема сериозни ресурси на контролера.

Използването на моментна реактивна мощност има смисъл, когато е необходимо да се компенсират много бързопроменливи товари.

Методът с времезакъснение предлага добра точност при константна честота и при това е свързан с изчислителни удобства.

3. Заключение

Разгледан е специфичен проблем, характеризиращ се с променлив характер на реактивния товар, в зависимост от режима на работа на съоръженията, възникващ при наличие на относително дълги кабелни линии под напрежение. Разработен е контролер, който позволява компенсиране на знакопроменливи реактивни товари с използване на превключваем реактори или TCR. Това позволява ефективно и евтино решаване на проблема с връщане на реактивна енергия към енергийната система.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Akagi, H., Y.Kanazawa, A. Nabae; Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits.
 [2] Akagi, H., E. H. Watanabe, M. Aredes; Instantaneous power theory and applications to power conditioning.

- [3] Acha, E., V. G. Agelidis, O. Anaya-Lara, T. J. E. Millerp. Power electronic control in electrical systems, Newnes Power Engineering Series
- [4] Moulin, E. Measuring reactive power in energy meters, Metering International-Issue
- [5] Gueorgiev, V., N. Matanov, B. Bojchev, V. Gospodinov. Energy efficiency of different approaches for compensation of capacitive loads, in proceedings of XVI-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA 2009, June – 2009, Burgas, Bulgaria, vol.II. pp.123-129.
- [6] Георгиев, В. Б. Бойчев, Н. Матанов, В. Господинов, Стенд за изследване на реактивни товари с променлив характер и тяхното компенсирание, Годишник на ТУ-София, 2009г. – приета за отпечатване
- Rodrigues Limongi L, R. Wojoi, G. Griva, A. Tenconi, DIGITAL CURRENT CONTROL SCHEMES, IEEE Industrial Electronics Magazine, vol 3, num 1, March 2009, pp.21-31.

Автори: гл.ас. д-р Вълчан Георгиев, Стилиян Гюров – студент, гл.ас. Борислав Бойчев, гл.ас. Николай Матанов, доц. д-р Васил Господинов – кат. “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”.

ГОРИВНИ КЛЕТКИ В ЕЛЕКТРОИНЖЕНЕРНОТО ОБУЧЕНИЕ

**Вълчан Георгиев, Иван Ячев, Кръстьо Хинов, Минчо Минчев,
Калина Милетиева, Стилиян Гюров, Костадин Иванов**

Резюме. В настоящия доклад са разгледани възможностите за акумулиране на електроенергия с помощта на хибридна система с възобновяеми енергийни източници и горивни клетки.

FUEL CELLS IN ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION

**Valchan Georgiev, Ivan Yatchev, Krastu Hinov, Mincho Minchev,
Kalina Miletieva, Stilian Giurov, Kostadin Ivanov**

Abstract. The current paper studies the energy accumulation based on hybrid system of renewable energy sources and fuel cells. The laboratory model is build and its efficiency studied.

1. Въведение

Горивните елементи са електрохимични преобразователи на енергия, които по някои свои характеристики са сходни с галваничните елементи - токообразуващата реакция протича необратимо в една посока и електрохимично активните вещества не се регенерират в рамките на самия елемент, както и дългият им експлоатационен живот. Основна разлика от галваничните елементи е, че горивния елемент е проектиран за непрекъснато подаване на консумираните реагенти.

Произвеждането на електричество чрез подаване на гориво водород и кислород е непрекъснато и може да бъде постоянно, докато капацитетът на една обикновена батерия е ограничен от количество на реагентите в нея. Електродите в една батерия реагират (химически) и се променят при зареждане и разреждане на батерията, докато електродите на горивната клетка (ГК) са катализаторни и са относително стабилни.

Тъй като горивните клетки (ГК) превръщат химичната енергия директно в електрическа, то този процес не включва топлинен цикъл и превръщането на топлина в механична енергия. Ето защо, ефективността на горивните клетки превишава ограничението присъщо на цикъла на Карно, дори когато работят при сравнително ниски температури (например 80 °C).

2. Видове горивни клетки и тяхното развитие

Според вида на използвания електролит, горивните клетки биват следните видове:

- 1) Водородно/кислородна горивна клетка с протонно-обменна полимерна мембрана (ПОМГК; Polymer electrolyte membrane fuel cell, PEMFC)
- 2) Алкална горивна клетки (Alkaline fuel cell, AFC).
- 3) Фосфорно – киселинна горивна клетка (Phosphoric acid fuel cell, PAFC).
- 4) Горивна клетка със стопен карбонат (Molten carbonate fuel cell, MCFC)
- 5) Твърдооксидна горивна клетка (Solid oxide fuel cell, SOFC)

Някои основни параметри на горивните клетки са обобщени в Таблица 1.

Таблица 1. Основни параметри на горивните клетки [7]

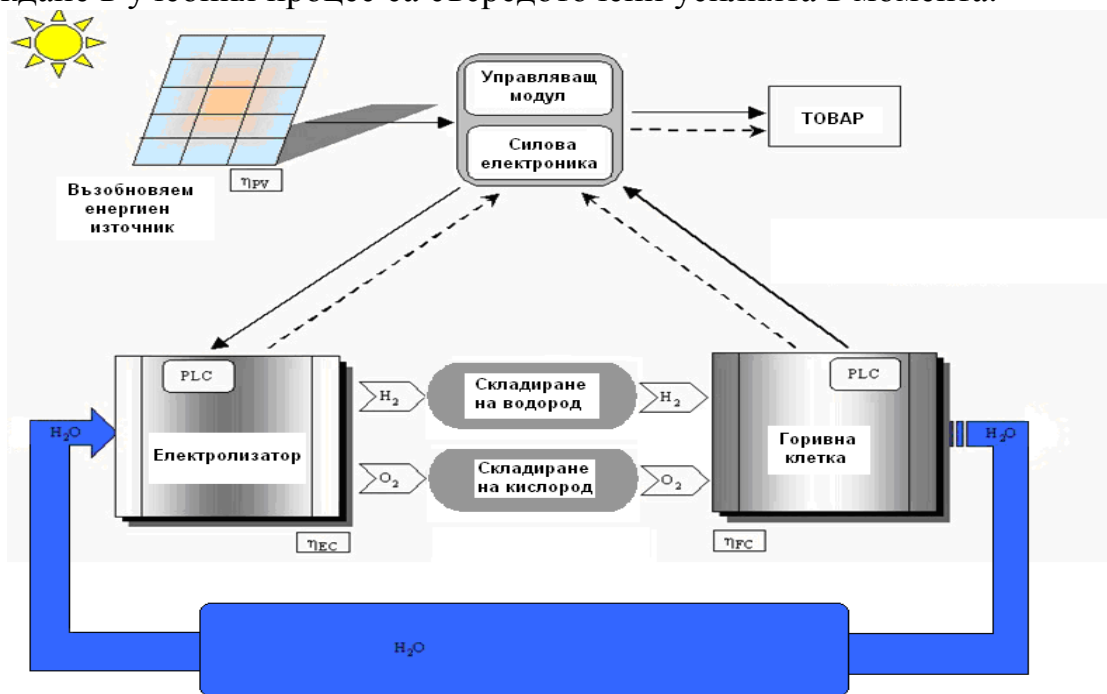
	1	2	3	4	5
Наименование	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Електролит	<i>протонно - обменна мембрана</i>	<i>калиев хидрооксид в азбестова матрица</i>	<i>течна фосфорна киселина в SiC</i>	<i>Разтопен Карбонат в LiAlO₂</i>	<i>Perovskites (Керамика)</i>
Работна температура	40 – 80 C°	65 – 220 C°	205 C°	650 C°	600 - 1000 C°
Носител на заряда	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	CO ₃ ⁼	O ⁼
Мощност, kW	<1 kW - 1 MW	<1 kW - 5 kW	50 kW - 1 MW	<1 kW - 2 MW	5 kW - 3 MW
Ефективност, %	34 - 36	50	40	50	45 - 65

Първото поколение горивни клетки работи (ГК) само с водород. Поради трудността за добив на водород, тенденцията е за преминаване към природен газ. Освен това, изследователите са успели да използват като гориво за горивни клетки и въглеводороди, в това число и дизел. В този случай отпадният продукт съдържа и въглероден диоксид. Независимо от горивото, дори когато то е водород, процесът на неговото получаване все още е енергоемък, и води до замърсяване. В това отношение не може да се каже, че водородната горивна технология може да намали зависимостта от изкопаемите горива.

Смята се, че ГК ще намерят приложение в транспортните средства, защото предлагат по-високо КПД и по-добро отношение тегло-мощност от двигателя с вътрешно горене. Понастоящем по пилотни проекти, в Европа работят няколко десетки автобуса, задвижвани от водородни горивни клетки

Друго очаквано приложение са локалните електроцентрали, които ще направят възможно произвеждането на електроенергия близо до консуматорите, като по този начин се елиминират скъпите, генериращи загуби преносни съоръжения. Реализирани са няколко пилотни проекта, в които хибридни системи с фотоволтаици и ГК захранват отдалечени консуматори [2, 3, 4]. Водородното гориво играе ролята на акумулиращ елемент.

Най-перспективното приложение на ГК в електроенергетиката е възможността за акумулиране на електроенергия с тяхна помощ. При комбинацията на възобновяем източник на енергия с електролизатор се получава система за съхранение на енергията, при това без зависимост от изкопаеми горива, които водят до замърсяване [6]. Схематично една такава система е показана на Фиг. 1. Именно върху това приложение и неговото въвеждане в учебния процес са съсредоточени усилията в момента.



Фиг. 1. Хибридна система с възобновяем енергиен източник, в която енергията се акумулира във вид на водород и се преобразува обратно в електрическа чрез горивна клетка

При излишък на енергия (слънчева или вятърна), тя се използва за разлагане на вода до водород и кислород с помощта на електролизатор. Получените газове се складираат и се преобразуват обратно в електроенергия от ГК във времето, когато има нужда от тях.

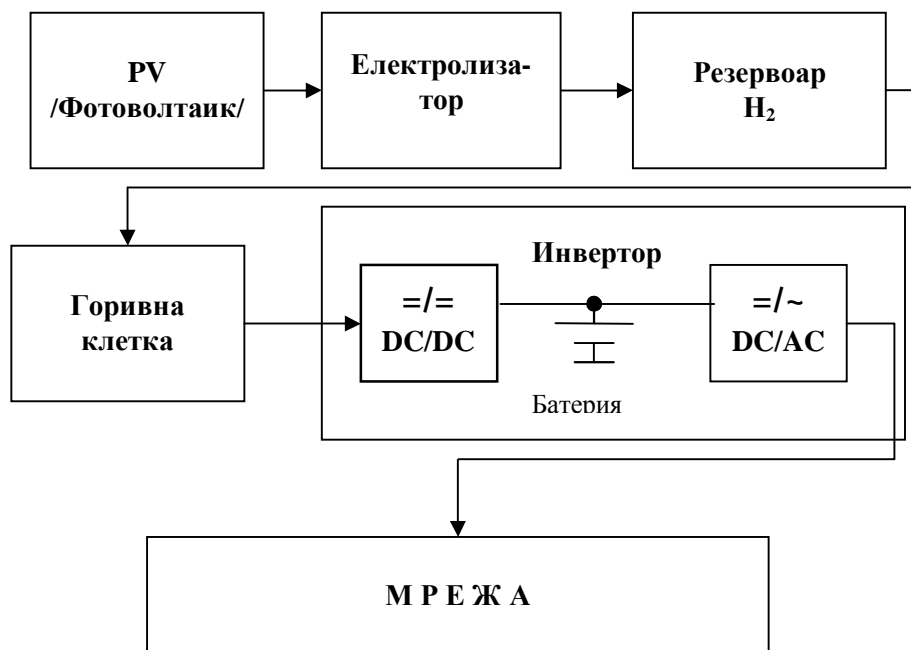
Системата може да работи както автономно, така и свързана с енергийната система. И в двата случая основното предимство е възможността за акумулиране на голямо количество енергия и високото КПД на преобразуване.

Складирането на водорода може да стане в съдове за втечнен газ или в металхидридни резервоари, където се елиминира високата степен на взривоопасност на този газ[8].

3.Лабораторен модел

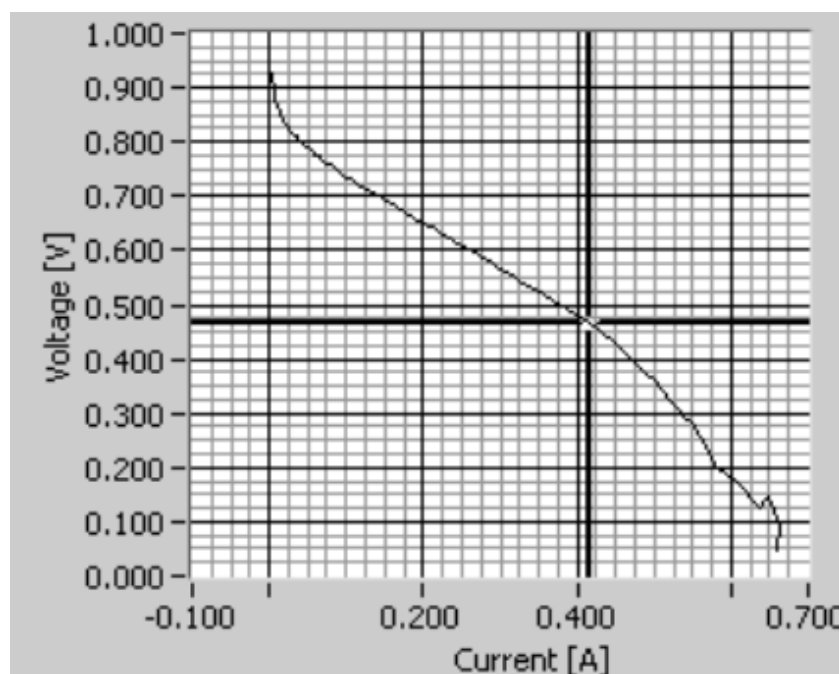
За лабораторни цели е използван пакет от 10 горивни клетки на фирмата H-teh [1] с мощност по 1 W всяка и активна площ 2 cm², както и електролизатор на същата фирма. Малката мощност на моделите позволява да се работи с малки количества водород – до 80 cm³. По тази причина не се изискват специални мерки за пожаро и взривобезопасност. За резервоар се използва стъклен съд.

Структурата на разработената система е показана на фиг. 2:



Фиг. 2. Блокова схема на експерименталната система

Волт-амперна характеристика на горивната клетка е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. V-A характеристика на горивната клетка

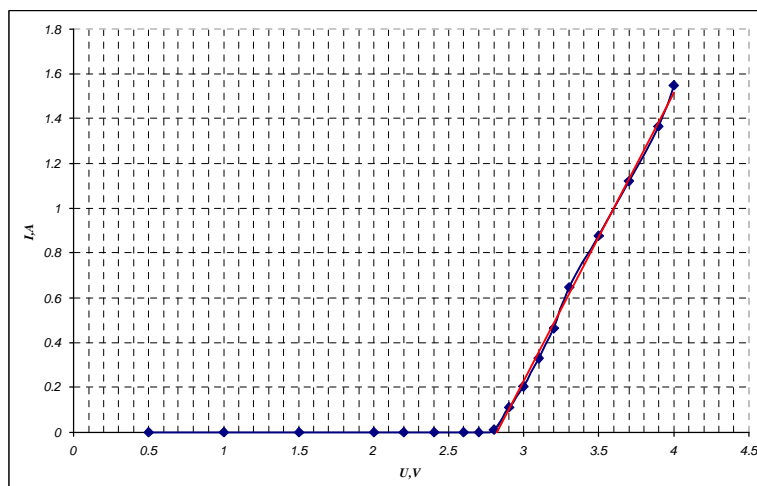
Коефициентът на полезно действие на горивната клетка се дефинира с:

$$h_{ен.} = \frac{E_{електрическа}}{E_{водородна}} = \frac{U_{раб.точка} \cdot I_{раб.точка}}{\frac{V_{H_2} H_l}{t}} = 40\%$$

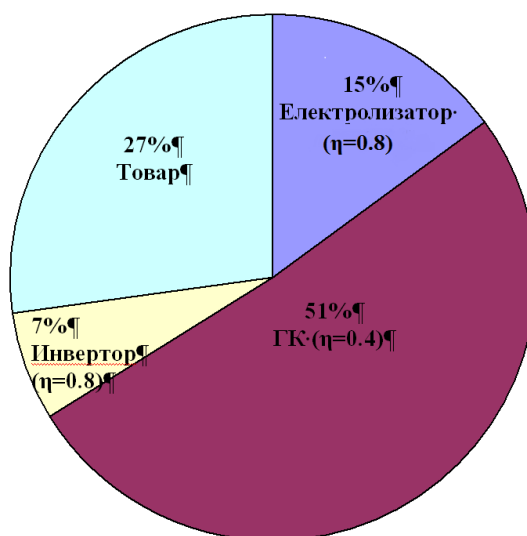
където: t – сумарно време за изгаряне на водорода, s ; V_H – пълния обем на водорода в резервоара, m^3 ; H_1 – водородна константа.

По аналогичен начин се дефинира и КПД на електролизатора, чиято волт-амперна характеристика е дадена на фиг.4:

$$h_{ен.} = \frac{E_{водородна}}{E_{електрическа}} = \frac{\frac{V_{H_2} H_1}{t}}{U_{раб.точка} I_{раб.точка}} = 85\%$$



Фиг. 4. V-A характеристика на електролизатор



Фиг. 5. Разпределение на енергийните потоци, при положение, че постъпващата от възобновяемия енергиен източник енергия е 100%

При това положение и при КПД на инвертора 80%, лесно може да се определи процентното съотношение на енергията, която може да се върне в системата за всеки киловатчас, получена от фотоволтаика или друг възобновяем енергиен източник енергия. Както се вижда от Фиг. , около три четвърти от постъпилата енергия се губи в системата за акумулиране.

3. Заключение

Наличният модел позволява да се демонстрира и изследва цялостна система за водородна енергоакумулация.

Необходимо е да се оптимизират електронните преобразуватели в системата и техните режими на работа.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] H-teh Wasserstoff-Energie-Systeme GmbH, U102 Stack Experimentation Set Complete Operating instructions, www.h-tec.com.
- [2] Busquet, S., R. Metkemeijer, P. Leroux, D. Mayer. Stand-alone power system coupling a PV field and a fuel cell : Experimental results of the FC system, Proceedings of the France-Deutschland Fuel Cell Conference 2002, October 7th to 10th 2002, Forbach-Saarbrücken, pp. 8592,2002.
- [3] Busquet, S., F. Domain, R. Metkemeijer, D. Mayer. Stand-alone power system coupling a PV Field and a fuel cell : Description of the selected system and advantages, Proceedings of the PV in Europe conference, Rome, Italy, 7-11 October, pp. 667-670, 2002.
- [4] Busquet, S., J. Labbe, P. Leroux, R. Metkemeijer, D. Mayer. Stand-alone power system coupling a PV field and a Fuel Cell, 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, 25th - 26th September 2003, Kassel, Germany.
- [5] Busquet, S., C. E. Hubert, J. Labbé, D. Mayer and R. Metkemeijer. A new approach to empirical electrical modelling of a fuel cell, an electrolyser or a regenerative fuel cell, Journal of Power Sources, Volume 134, Issue 1, 12 July 2004, Pages 41-48.
- [6] Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Generation in Energy Systems, Brussels, 25-26 September 2001.
- [7] EG&G Technical Services, Inc, „Fuel Cell Handbook” U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy National Energy Technology Laboratory P.O. Box 880 Morgantown, West Virginia 26507-0880, November 2004.
- [8] Иванов, Р. Системи за преобразуване и съхранение на енергия на базата на водород, автореферат на дисертация за присъждане на научна степен "доктор", София, 2009.

Автори: гл.ас. д-р Вълчан Георгиев – кат. “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, проф. д-р Иван Ячев – кат. „Електрически апарати”, доц. д-р Кръстьо Хинов – кат. „Електрически апарати”, проф. д-р Минчо Минчев – кат. „Електрически апарати”, инж. Калина Милетиева – проектант в НИС при ТУ - София, инж. Стилиян Гюров, Костадин Иванов – студент в кат. “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”.

НАСОКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА ЕКСПЛОАТИРАНИ В ПАРКА НА БДЖ

Георги Павлов, Илко Търпов, Радка Васева

Резюме. в доклада са разгледани основните технически и организационни насоки за повишаване на енергийната ефективност на електрическия транспорт използван в БДЖ. Направен е анализ на параметрите влияещи върху качеството на консумираната от транспортните средства електрическа енергия, като някои от резултатите са показани в графичен вид.

GUIDELINES FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC VEHICLES IN THE PARK OF BDZ (BULGARIAN STATE RAILWAYS). EXPLORATION OF THE MAIN ENERGETIC ITEMS

George Pavlov, Ilko Tarpov, Radka Vaseva

Abstract. The report presents the main technical and organizational guidelines for improving the energy efficiency of electric transport used in BDZ. An analysis of parameters influencing the quality of the electric power consumed by the vehicles was made, some of the results are shown in graphic form.

1. Увод

Все по-драстичното увеличаване цената на енергийните ресурси и засилване влиянието на парниковия ефект, ни принуждават да внедряваме нови транспортни средства, които да гарантират повишаването на енергийната ефективност в железопътния транспорт. По този начин ще се допринесе и за намаляване на емисиите въглероден диоксид във въздуха.

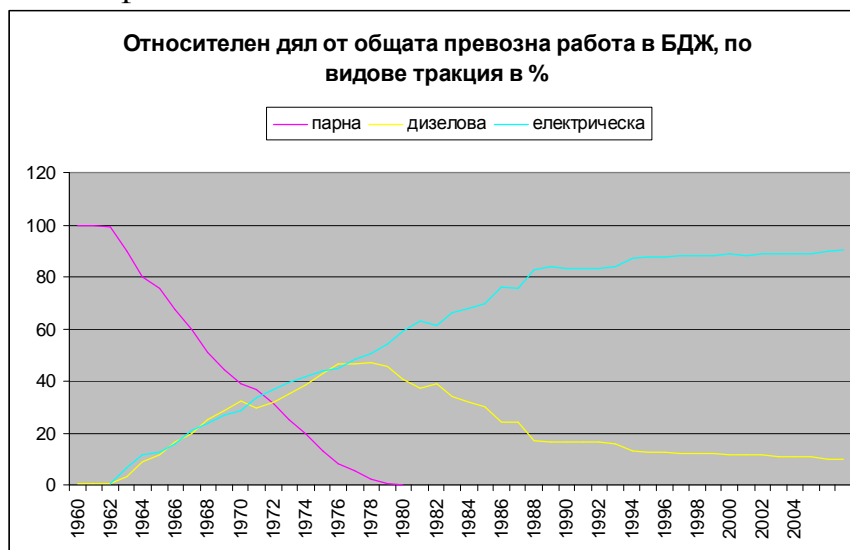
С разделянето на БДЖ на отделни дружества, въпросът за изразходваната електроенергия ще става все по-актуален. Поради тази причина железопътните превозвачи трябва да се ориентират към по-ефективни, в енергийно отношение, транспортни средства. Това ще ги присъедини към общите усилия за опазване на околната среда.

На територията на България около 65% от железопътната мрежа е електрифицирана и се експлоатират 50 понижаващи тягови подстанции (ТП), собственост на ДПНК"ЖИ", които захранват контактната мрежа (КМ) с напрежение 27,5 kV, 50 Hz и имат обща инсталирана мощност 990MVA.

Българските държавни железници са един от големите консуматори на електрическа енергия в България. Средно годишната консумация на

електроенергия в отрасъл „Транспорт” е 1,885 през 2000г., 1,37% през 2007г. и през 2030г. ще бъде 1,52% от националното производство на електрическа енергия и зависи от интензивността на влаковото движение. В системата на БДЖ се експлоатират около 6000 km разгъната дължина електрифицирана жп мрежа, която до 2012г., след електрификацията на участъците от транспортен коридор № 4 Пловдив - Свиленград и Дупница – Кулата ще нарастне до около 7000 km и ще измени установеното съотношение между електрическата и дизеловата тяга. Прогнозата за потребление на електроенергия в сектор „Транспорт” е 384 ГВтч за 2010г., като това потребление ще нараства с 6,06% до 2020г. и 2,86% за следващото десетилетие до 2030г. [6]

През последните години съотношението на общата превозна работа е 90,4% към 9,6% в полза на електрическата тяга за сметка на дизеловата. [2] Въвеждането в експлоатация на електрическите локомотиви и разпределението на общата превозна работа в железниците, по видове тракция от 1960г. до 2007г. е показано на фиг. 1.



Фиг. 1

Днес особено силно се откроява въпросът за по-нататъшното повишаване на ефективността на електрическата тяга в светлината на съществуващият енергиен проблем. Навсякъде по света се работи за създаване на електрически транспортни средства с намален енергиен разход. В областта на електрическата тяга, където се използват големи мощности, намалението на разхода на енергия може да бъде значително. Всичко това налага да се използват всички възможни начини за повишаване на енергийната ефективност на електрическия транспорт.

2. В какви насоки могат да се търсят възможностите за повишаване на енергийната ефективност на електрическия транспорт?

Съществуват редица мероприятия, които биха могли да се приложат за да се подобри положението и да се преодолеят тези проблеми, по важните от които са:

1. Изготвяне на програми за икономия на електрическа енергия от електрифицирания подвижен железопътен състав и за градския електрически транспорт, като с най-важното значение са:

а) усъвършенстване на технологичния процес на превозите с оглед минимизация на електроенергийния разход за тях;

б) внедряване на нова техника, включително подвижен състав и стационарни електроенергийни съоръжения, за електрозахранване на подвижния състав, която да е с подобрени енергийни характеристики, респективно намален разход на електрическа енергия.

2. Формиране на тарифна политика стимулираща ефективно потреблението на електрическа енергия.

3. Централизирано управление на диспечерската дейност.

4. Повишаване квалификацията на кадрите по експлоатация на електрически транспорт.

Например у нас поради намалелия железопътен трафик периодично се следи часовото тягово електропотребление във всички подстанции и се изготвят денонощни товарни графици. Те са необходими за изготвяне на анализи за подобряване на енергийната ефективност на товарните превози, чрез пренасочването им през нощта, когато цената на нощната тарифа е три пъти по-евтина от върховата. Прилагат се и редица допълнителни мерки с цел оптимизиране на тяговия разход, но резултатите биха могли да бъдат далеч по-добри.

Разбира се, че повечето от изброените дейности със сигурност повишават в известна степен ефективността на транспорта, но проведените проучвания от нас в тази насока показват, че най-голямо влияние върху параметрите, характеризиращи енергийната ефективност на тяговата система, като цяло оказва тяговото електрозадвижване на транспортното средство. Ето защо изследването на тяговите електрозадвижвания и възможностите за тяхното усъвършенстване представлява цел, която е стояла и стои пред изследователите в областта на електрическата тяга. Тази тенденция се вижда от постигнатите резултати в това отношение в развитите европейски администрации.

3. Основни параметрир характеризиращи енергийната ефективност на ЕТС, захранвани от променливотокова мрежа

Основен показател, характеризиращ енергийната ефективност на тягов подвижен състав е неговият коефициент на полезно действие η - КПД. Той се разглежда при еднопосочен път на електроенергията от ТП към движещите колела и е отношение на изходящата мощност към входящата. Трябва да отбележим, че общият КПД за едно превозваческо предприятие η_T зависи и от КПД на системата за електрозахранване, тъй като то е произведение на отделните съставляващи компоненти. Най-голямо влияние за колебанията на общия КПД на ЕПС оказва тяговото електрозадвижване и нивото на захранващото напрежение на енергийната система. КПД на ЕС намалява с

понижаване на номиналното захранващо напрежение. Големината на КПД охарактеризира възможностите на определено техническо решение. При последователно свързани няколко съоръжения или системи, общият КПД е произведение на КПД на отделните съставящи. Така например за превозваческото предприятие общият КПД за неавтономна тяга е:

$$(1) \quad \eta_{TC} = \eta_{ce} \eta_{cn} \eta_{tz}$$

Където:

- η_{ce} - КПД на системата за електроснабдяване;
- η_{cn} - КПД на ЕПС за собствени нужди;
- η_{tz} - КПД на тяговото електрозадвижване.

Системата за тягово електрозадвижване се състои от три основни подсистеми - предавателна система, тягов електродвигател и пускорегулиращо устройство (ПРУ). КПД на тяговото електрозадвижване е произведение от КПД на отделните подсистеми.

$$(2) \quad \eta_{tz} = \eta_{td} \eta_{ps} \eta_{пу}$$

Може да се докаже, че КПД на ПРУ се оказва особено важен за енергийната ефективност. Той се изменя в твърде широки граници както при пускане, така и при регулиране ($\eta_{пу} = 0,5 \div 1$). В съвременните ПРУ за тягови електрозадвижвания се използват електронни статични преобразователи (токоизправители АС/DC, импулсни регулатори DC/DC, инвертори DC/AC). Затова ролята им придобива решаващо значение както за енергийната ефективност, така и за развитието и усъвършенстването на тяговите електрозадвижвания.

Друг основен показател даващ ни представа за енергийната ефективност на сравнявани транспортни средства е коефициента на мощност – Км. Той се дефинира като отношение на приетата активна мощност към цялата пренасяна мощност. При идеални условия Км достига максимална стойност - 1, а при режим на рекуперативно спиране получава отрицателен знак. При нисък Км на транспортно средство загубите в преносната мрежа се увеличават, тъй като те се обратно пропорционални на квадрата на Км.

Коефициента на мощност има две съставни, които се разглеждат поотделно. Това са фактор на мощността $\cos\varphi$ и коефициент на синусоидалност v .

Фактора на мощността се определя като косинус от ъгъла, на който вектора на първия хармоник на тока изостава от напрежението.

$$(3) \quad \cos\varphi = \cos(\bar{U}_1, \bar{I}_1);$$

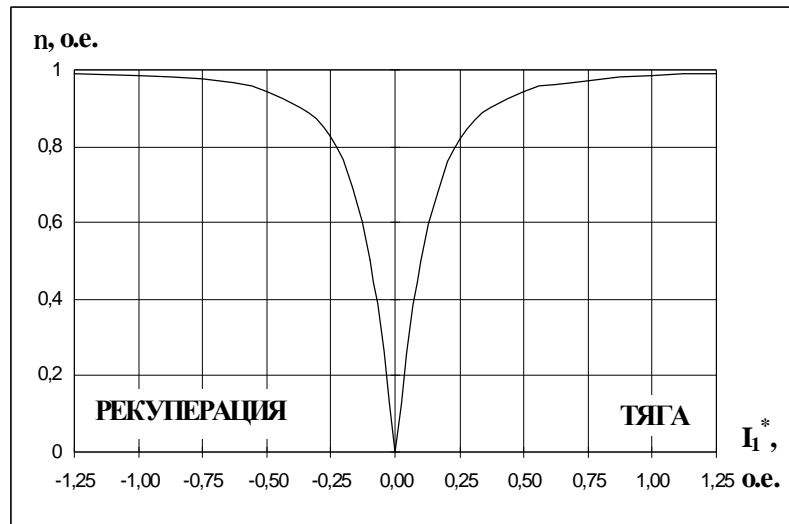
Коефициента на синусоидалност v (коефициент на формата на тока) се определя като;

$$(4) \quad v = \frac{I_1}{I} = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + In^2}}$$

където: I – ефективна стойност на тока;

I_1 – ефективна стойност на първия хармоник на тока;

I_v – обща ефективна стойност на висшите хармонични в кривата на тока;



Фиг. 1. Зависимост на коефициента на синусоидалност v от относителното натоварване на трансформатора

Големината на паразитния високочестотен ток се запазва постоянна при различни натоварвания, затова висок коефициент на мощност се получава при по-високите товари показано на фигура 1. Изследването е направено за променливотоково тягово задвижване изпълнено с трифазни асинхронни двигатели с инверторно захранване и четириквadranten преобразувател на входа.

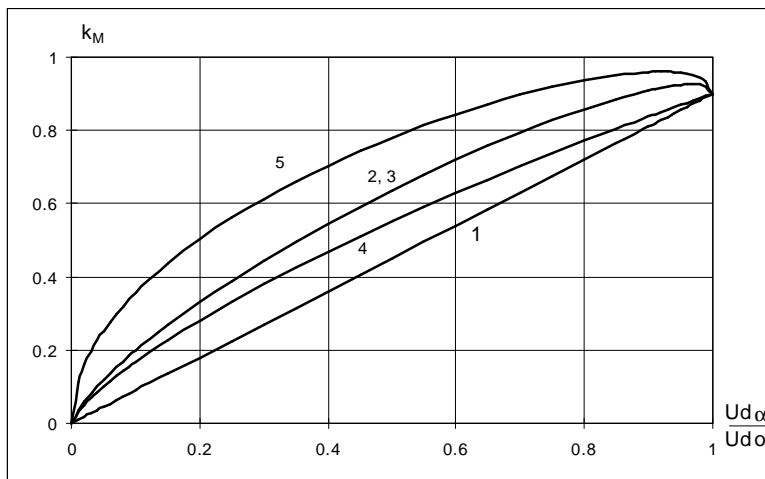
Общото определяне на това, каква част от разпространяваната по системата за електрозахранване енергия се използва активно от електрическия подвижен състав съобразно коефициентът на мощност – K_m е:

$$(5) \quad K_m = \frac{P}{S} = v \cos \varphi_1$$

Коефициентът на мощност се изчислява при разлагане на кривата на получения ток в ред на Фурие и получаването на ефективните стойности на токовете, което се прави по следния начин:

$$(6) \quad \begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{2}{p} \int_0^p [i(w \cdot t)]^2 \cdot d(w \cdot t)} \\ \text{Im}_1^I &= \frac{2}{p} \cdot \int_0^p i(w \cdot t) \cdot \sin(w \cdot t) \cdot d(w \cdot t) \\ \text{Im}_1^{II} &= \frac{2}{p} \cdot \int_0^p i(w \cdot t) \cdot \cos(w \cdot t) \cdot d(w \cdot t) \\ I_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\text{Im}_1^I)^2 + (\text{Im}_1^{II})^2} \\ j_1 &= \arctg \left(\frac{\text{Im}_1^{II}}{\text{Im}_1^I} \right) \end{aligned}$$

С тези формули се изчисляват съответно ефективната стойност на пълния ток I , синусовата Im_1^I и косинусовата съставна Im_1^{II} на първия основен хармоник на тока, ефективната стойност на първия хармоник I_1 и неговото дефазиране спрямо напрежението φ_1 . Поради трудностите на аналитичното интегриране се използва числено интегриране.



Фиг. 2. Изменение на коефициента на мощност във функция относителната стойност на изправеното напрежение.

- 1 – тиристорно регулиране с естествена комутация;
- 2 – диодно–тиристорно регулиране;
- 3 – регулиране от началото на кривата на напрежението;
- 4 – симетрично изменение на напрежението от двете страни на полупериода;
- 5 – широчинно-импулсен метод на регулиране

Кривите са построени при различни схеми на тягови изправители и закони на регулиране на теглителната сила. Вижда се, че при ниските стойности на относителното напрежение, т.е. в зоната на потегляне на транспортното средство k_M има много ниски стойности, което влошава енергетичните параметри на системата и увеличава загубите в нея.

Направен е подробен сравнителен анализ на основните енергетични параметри на ЕТС използвани в парка на БДЖ. Те ще бъдат показани в друг материал.

4. Изводи

Изследванията в тази насока показват, че за да се повиши енергийната ефективност на електрическия транспорт и да се оптимизира енергийния разход трябва спешно да бъдат предприети следните дейности:

- **Технически средства**

- Поетапно изваждане от експлоатация на морално и физически остарелите диодни и тиристорни ЕТС и внедряване на локомотиви и мотрисни влакове с IGBT захранване и управление;

- Модернизация (там където има ресурс) на ЕПС с постояннотоково електрозадвижване, на базата на IGBT технология и вграждане на импулсни преобразователи за подобряване на енергетичните параметри;

• **Организационни и експлоатационни мероприятия**

- Подобряване на методиката за преразпределение на тяговата ел. енергия между отделните превозвачи и депа, чрез отчитане на енергийните показатели на отделните видове локомотиви и времето за използването им с цел стимулиране на превозвачите да използват по-енергийно ефективни транспортни средства.

- Провеждане на курсове сред експлоатационния персонал на тема “Как да возим икономично” и въвеждане на стимули при реализирани икономии.



Локомотив ES64U2 на Сименс в триажна гара Пловдив

- Товарното движение да се организира през нощните часове.

- Съставяне на влакове до определената норма за участъка с цел намаляване на относителния разход на ел. енергия и използване на мощните локомотиви само за товарно движение.

- Определяне на технологично време за отопление-охлаждане (климатизация) на ЕМВ 30, 31 серия с цел ограничаване на енергийните разходи при престой в гарите - работа на място.

- Закупуване на периферни устройства за дистанционно отчитане на разхода на ел. енергия.

Очевидно търсенето на пътища за повишаване на коефициента на мощност и от там на енергийната ефективност на тяговия подвижен железопътен състав е от особено актуално значение. Днес то се превръща в едно от основните направления за техническо усъвършенстване на съвременния електрически подвижен състав. Пътят за достигане на високи положителни икономически резултати е в коренното техническо преоборудване на преобразователната техника с такава, създаваща силно понижена консумация на реактивна енергия и много висока надеждност.

Литература

- [1] Минчев, М. Преобразователна техника Авангард Прима, София 2006.
- [2] Павлов, Г. Дисертация “Изследване на преобразователи с изкуствена комутация в електрически подвижен състав с неавтономно захранване”.
- [3] Пантев, П. и др. Електрически подвижен състав на БДЖ. Техника, 1980.
- [4] Попов, Р. Й. Една концепция за тиристорен преобразовател за тягово електрозадвижване. Годишник ИЕЖТ, 1992.
- [5] Здрок, А. Г. (6642 - ЦИНТИ) Выпрямительные устройства электропитания и управления. Энергия, 1975.
- [5] Цветанов, П. и колектив „Електроенергетиката в България - развитие и обществена цена”. БАН 2009.

Автори: доц. д-р Георги Павлов, инж.Илко Търпов - задочен докторант, инж. Радка Васева - докторант към катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта” на ВТУ „Тодор Каблешков.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГЕТИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ТЯГОВИ ПУСКОРЕГУЛИРАЩИ УСТРОЙСТВА ЗА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА НА БДЖ

Георги Павлов, Илко Търпов, Радка Васева

Резюме. В доклада са разгледани различни схемни решения на тягови преобразователи използвани в електрическите транспортни средства на БДЖ и е направен анализ на основните енергетични параметри. Въз основа на получените резултати са дадени конкретни предложения и препоръки за повишаване на енергийната ефективност на използваните електрически транспортни средства в БДЖ.

EXPLORATION OF THE ENERGY ITEMS OF THE START CONTROLLING DEVICES USED IN THE ELCTRIC VEHICLES OPERATING IN THE PARK OF BDZ (BULGARIAN STATE RAILWAYS)

George Pavlov, Ilko Tarpov, Radka Vaseva

Abstract. This report presents different scheme solutions of the energy transforming technology of the electric transport used in BDZ; it has been made an analysis of the main energy items.

1. Увод

Един от основните показатели за сравнение в енергетично отношение на електрически транспортни средства, захранвани от променливотокова мрежа, с различни пускорегулиращи устройства (ПРУ) това е коефициента на мощност – Км. Той дава реална оценка за качеството на приеманата енергия от едно електрическо превозно средство.

Мощността, която реализира локомотивът, се определя от машиниста чрез изискване на определена теглителна сила при определена моментна скорост. Затова е необходимо при конкретно захранващо напрежение на контактния проводник да протича само активен ток. Ако допълнително протича реактивен ток, то тогава се увеличава общия ток, а от там и загубите в контактния проводник. По тази причина стремежът е да се получава или да се отдава само активен ток.

Само при по-големи разстояния от порядъка на няколко десетки километра между захранващия източник и електрическото транспортно средство (ЕТС) и същевременно с това лош коефициент на мощността, биха могли да възникнат загуби по-големи от 20%. Затова и редуцирането им рядко може да доведе до съществено спестяване на енергия при работа. Основната

причина за търсене на пътища за намаляване на реактивната мощност е в създаването на топлина. Във всяко електрическо съоръжение температурата трябва да остане ограничена, за да не се повредят използваните материали. Ако температурата в контактния проводник стане твърде голяма, медта която е под механическо напрежение би могла да се деформира. В екстремни случаи това би могло да доведе до скъсване на контактния проводник.

Електрическите загуби се увеличават в преносната мрежа обратно пропорционално на квадрата на коефициента на мощност. Ако се сравнят типичните средни коефициенти на мощност от около 0,8 при фазово управляемите локомотиви и тези от около 1 при съвременните локомотиви, изградени на базата на IGBT технологии с импулсен преобразовател, се вижда, че при еднакви контактни инсталации, при фазово управляемите транспортни средства, има 2 пъти по-големи загуби. От това може да се направи извода, че при непроменено разпределение на енергията при ЕТС с импулсен преобразовател би могло да се получи почти удвоена тягова мощност. От само себе си се разбира, че това важи само за пренасянето на енергията.

Всички тези недостатъци на използваните устройства за регулиране на теглителната сила в ЕТС за променлив ток, намаляващи K_m , водят до влошаване на енергийната ефективност на тяговата енергоснабдителна система.

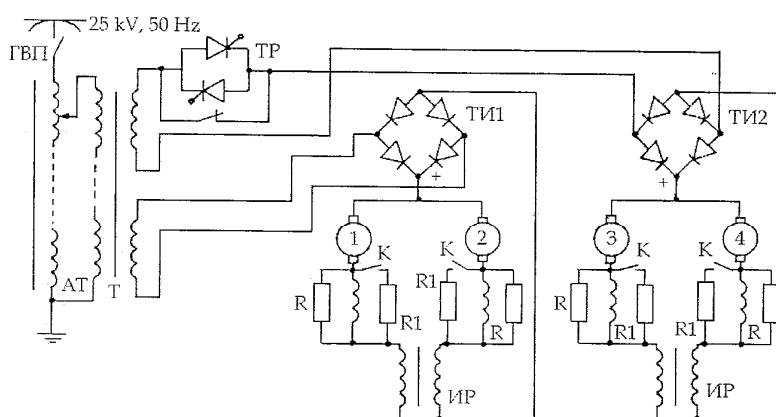
Във връзка с това, най-перспективния вариант за решаване на тези проблеми е търсенето на начини за намаляване потреблението на реактивна енергия в самото транспортно средство.

2. Сравнителен анализ на енергетичните параметри на ЕТС експлоатирани в БДЖ

Системата на захранване на ЕТС в БДЖ е еднофазна с ниво на напрежението 25kV, 50Hz. Тя изисква в електрическия подвижен състав да съществува понижаващ трансформатор и регулатор на напрежението. Необходимостта от регулиране скоростта на движение налага изменение на подаваното напрежение на тяговите двигатели, което в зависимост от вида на ПРУ може да става степенно или плавно. Регулирането на напрежението в голяма част на експлоатираните у нас електрически локомотиви и електрически моторни влакове (ЕМВ), става чрез промяна коефициента на трансформация от голям брой отклонения на регулационната намотка и специален електрически апарат. Този апарат, наречен автотрансформаторен превключвател на степените, променя напрежението със скок, а не плавно, което води до неблагоприятни електрически и механични последици, а също така нарушава комфорта на пътниците.

По-големия брой локомотиви (серии 43, 44 и 46), които се използват в парка на БДЖ са с неуправляеми силови изправители (диодни) фиг. 1. Те се отпушват и запущват само под въздействието на поляритета на входното захранващо напрежение. Поради наличие на ъгъл на комутация γ и отсъствие на фазово регулиране коефициента на мощност е приблизително – $K_m = 0,8 \div 0,85$. Тази система на преобразуване има сравнително добър коефициент на

мощност, но не достатъчно висок. За неговото частично компенсиране се използват компенсаторни капацитивни уредби. В този случай, обаче, проблемът не се решава напълно, тъй като обменът на реактивна енергия между тяговите подстанции и транспортните средства остава, това предизвиква допълнителни загуби в тяговата мрежа, а също така мощността на компенсаторите не се регулира във функция от товара. От друга страна приетата “Наредба за образуване и прилагане на цените на електрическата енергия”, в която цената на тяговата ел.енергия включва и връщаната реактивна енергия в енергийната система, увеличава цената на тяговата енергия с 55% без компенсация и с 300% при капацитивна компенсация, при една и съща транспортна дейност. Това налага съществуващите компенсаторни уредби да бъдат изключени.



Фиг. 1. Принципно схемата на електрически локомотив с неуправляеми вентили

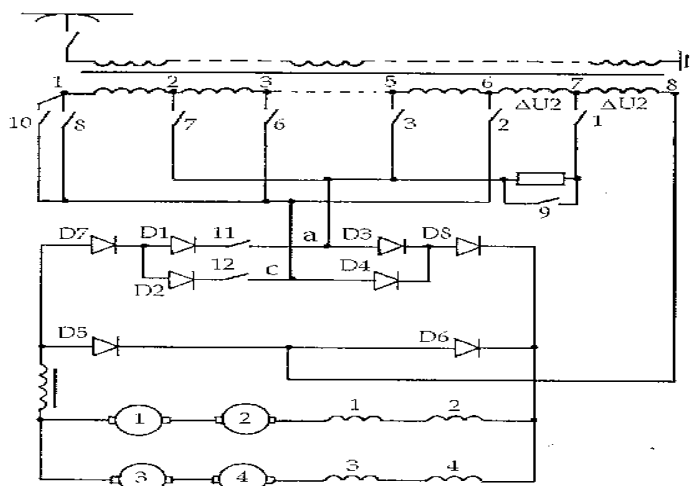
Друг представител на ЕТС в парка на БДЖ от същото поколение с диоден изправител и степенно регулиране на напрежението е ЕМВ серия 32-00.

Характерна особеност при тази серия е регулирането на скоростта на движение, чрез изменение на напрежението от вторичната страна на главния трансформатор (фиг. 2). Използвана е специфична силова схема на токоизправител, при който се осъществява разнополупериодно изправяне. Това води до постоянно подмагнитване на трансформатора и повишаване на консумираната реактивна енергия, а оттам и до влошаване на K_m .

Тези схемни недостатъци водят до проблеми при реализация на теглителното усилие, свързани с това, че при ускоряване на ЕМВ се получава голямо понижаване на напрежението в контактната мрежа. В тази връзка са проведени измервания, които отчитат най-характерните показатели на ЕМВ. Изразходваната средна активна енергия за едно потегляне с продължителност 84 сек. е 1761,3 kW. Пълната електроенергия за това ускорение е 41,1 kWh за достигане до 108 km/h. Полученият разход е с 64% по-висок от нормативния. Консумираната енергия за първите 38 сек. на ускорение е 18,1 kWh.

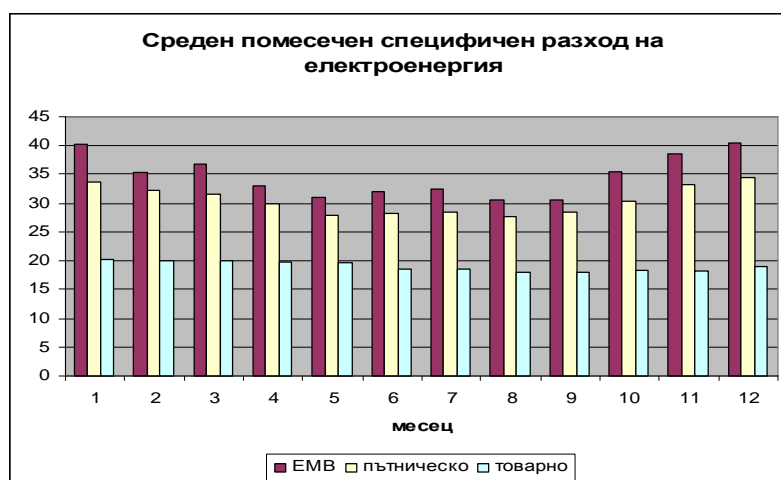
Фактора на мощността при ускорение до 65 km/h., на база измерена активна и реактивна енергия е $\cos\phi=0,675$. Отчетените максимална и

минимална стойности на напрежението са съответно 26,7 и 19,3 kV. Получените резултати при направените изследвания показват, че в крайградската зона, характеризираща се с къси междугария, специфичният разход на енергия нараства допълнително, а това от своя страна води до увеличен специфичен разход на енергия за цялото пътуване. Същевременно енергетичните параметри на състава са ниски. Тези недостатъци водят до необходимост от съставяне на оптимална техника на управление на ЕМВ от страна на локомотивния машинист в характерните междугария.



Фиг. 2. Принципна схема на свързване на тягов изправител в силовата схема на ЕМВ 32-00 серия

На показаната диаграма на фиг. 3 съставена от получени данни от измервания се вижда, че специфичният разход на електроенергия на ЕМВ превишава до 19% специфичния разход на електроенергия на ел. локомотив за пътническо движение.



Фиг. 3

Изискването за плавно регулиране, по-добър комфорт и възможност за използване на рекуперация е наложило смяната на диодните силови изправители при тези локомотиви с тиристорни. В миналото основно са се

използвали полууправляеми (еднооперационни) тиристори. В нашата техника те намират приоритетно приложение, тъй като цената им е значително по ниска от двуоперационните тиристори (GTO). Обикновенните тиристори имат възможността да се управляват само при отпушване, докато запушването им става по естествен начин, вследствие на подаваното обратно напрежение върху структурата.

При този тип изправители се прилага фазово регулиране, поради това, че при него управлението се осъществява благодарение на изменението на фазата на подаване на отпушващия импулс (ъгъл α). Това регулиране се характеризира с много ниския коефициент на мощност, основно поради изоставане на първия хармоник на тока спрямо кривата на напрежението, т.е. влошаване на $\cos\phi_1$. За да се намали този проблем се прилагат различни схемни варианти за изкуствено повишаване на K_M , като известното от 70-те години многозоново регулиране, а след това и прилагане на изкуствена комутация. На базата на тиристорен изправител с многозоново регулиране преди няколко години в парка на БДЖ се модернизираха в завод „Раде Кончар“ няколко наши локомотиви серии 46-200, 44-01 и 44-02 (фиг. 4).

Прилагането на изкуствена комутация при токоизправителите дава възможности за повишаване на K_M и на к.п.д. (η) при променливотоковите електрозадвижвания. Изследвани са с подходящи аналитични и графоаналитични методи конкретни схеми на двузоново регулиране с прилагане на изкуствена комутация, по критерии за реализация на оптимално управление за постигане на максимален K_M в целия работен диапазон на транспортното средство. От тези изследвания са определени и конкретни стойности на параметрите, които системата за управление трябва да поддържа - $x=0,35$; $y=0,61 \cdot \pi$ и $k_M=0,979$. Параметърът x е отношение на коефициентите на трансформация на двете зони, а y представлява ширината на втора зона.

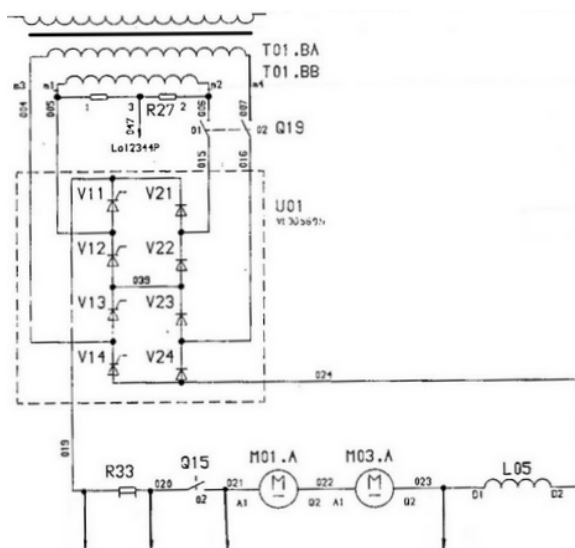
Теоретично коефициента на мощност нараства от 0,957 при еднозоновия токоизправител с изкуствена комутация на 0,979 при двузоновия токоизправител. При посочените транспортни средства успоредно с регулирането ъгъла на отпушване на тиристорите се изменя и коефициентът на трансформация, поради секциониране на вторичната намотка на трансформатора.

В модернизирания локомотиви на БДЖ се използват еднофазни изправители с реализация на многозоново регулиране на напрежението без изкуствена комутация.

Зависимостта от която се определя стойността на коефициента на мощност има следния вид:

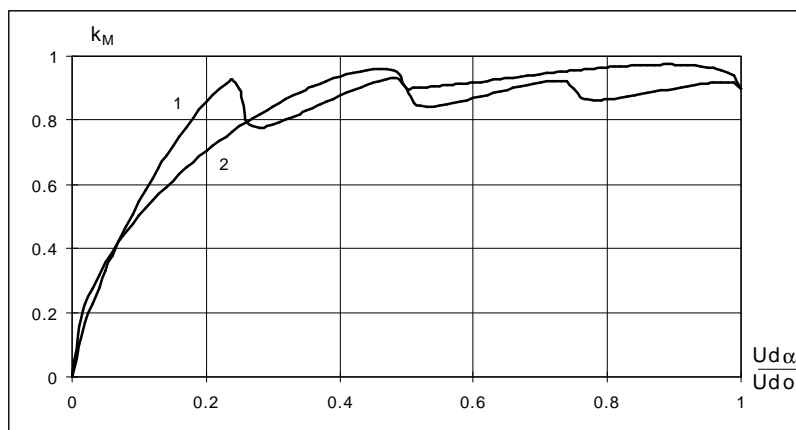
$$(4) \quad k_M = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{p} \cdot \frac{m - 1 + \sin(a)}{\sqrt{\frac{1}{p} \cdot [(m-1)^2 \cdot (p-2a) + 2a \cdot m^2]}}$$

Където: m – брой на секциите на вторичната намотка на тяговия трансформатор;



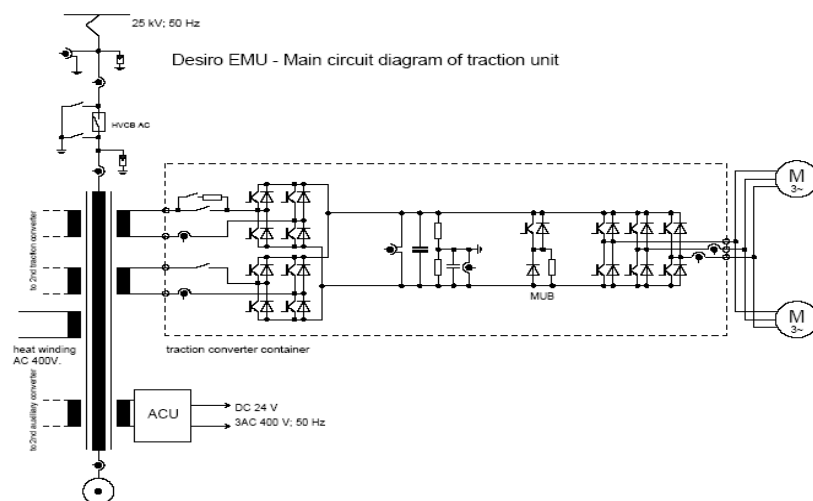
Фиг. 4. Принципна схема на свързване на тиристорен изправител при електрически локомотив серия 61-00

На фиг. 5 са показани зависимостите $k_M = f(U_{d\alpha} / U_{d0})$ за многозоново регулиране с естествена комутация (крива 1) и двузоново регулиране с изкуствена комутация (крива 2). Вижда се, че крива 2 в зоната на номинални и повишени натоварвания лежи над крива 1. Може да се направи извода, че при двузоновото регулиране с изкуствена комутация се получават по-добри резултати в енергетично отношение в сравнение с тези при многозоновото регулиране без прилагане на изкуствена комутация.



Фиг. 5

Модерното управление, което се наложи в практиката на европейските жп администрации, е импулсното регулиране на силови полупроводникови елементи. В транспортната техника се въведоха в експлоатация най-модерните силови полупроводникови елементи IGBT (insulated gate bipolar transistor). IGBT се използват само като ключови елементи.

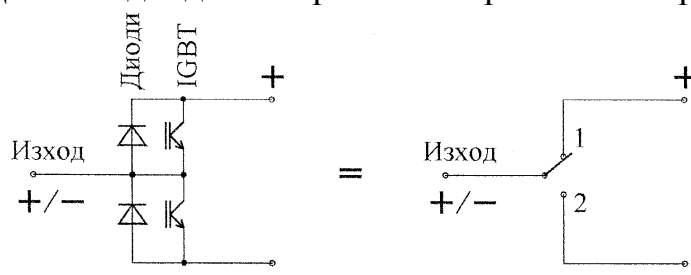


Фиг. 6. Принципна схема на силовите вериги на ЕМВ 30-000

Представители на електрически транспортни средства в БДЖ с напълно управляеми вентили са ЕМВ 30-00 и 31-00 серия. На фиг. 6 е показана принципна силова схема на ЕМВ 30-00 серия с асинхронни двигатели.

В тези ЕТС с помощта на специално устройство (четириквadranten преобразувател, наричан още импулсен токоизправител) се контролира качеството на консумираната електрическа енергия. Главният елемент за функциониране на импулсия токоизправител е фазовият елемент. Той би могъл да се смята за обикновен превключвател, който свързва изхода по избор с положителния или с отрицателния полюс на постояннотоковата междинна верига. За един фазов елемент са необходими 2 IPM елемента по един за свързване на изхода с положителния и с отрицателния полюс на постоянното напрежение.

Ако изхода на фазовия елемент трябва да се свърже с положителния полюс на постоянното напрежение горният IGBT се включва, а долният остава запушен. Токът от положителния полюс към изхода протича само през този IGBT. Ако посоката на тока е обратна, той протича през антипаралелния диод на горния IGBT. Долният диод е с обратна полярност и не провежда ток.

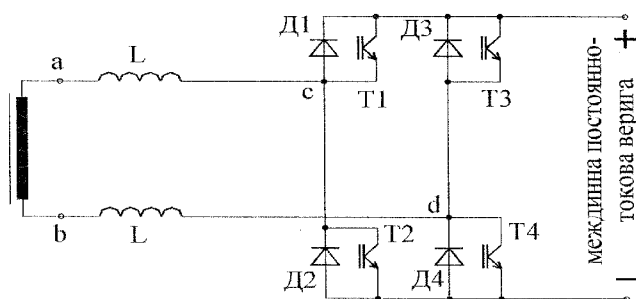


Фиг. 7

За да се получат дефинираните полярности на напрежението може да бъде отпушен един от двата транзистора на един фазов елемент. Два фазови елемента фиг. 7 създават пълен еднофазен импулсен токоизправител.

Схемата от фиг. 8., освен импулсен токоизправител, се нарича още четириквadranten преобразувател, защото може да пропуска ток, който да е дефазирен на произволен ъгъл от напрежението, т. е. да прехвърля активна

енергия от трансформатора към постояннотоковата междинна верига в тягов режим, а също и произволна реактивна енергия – индуктивна или капацитивна.



Фиг. 8

На базата на съставена заместваща схема и математическо моделиране на основните режими на работа на преобразувателя е изведено уравнение, което описва изменението на входния импулсен ток. То има вида:

$$(5) \quad i_1 - i_{i-1} = \frac{U_m}{\omega \cdot L_e} \cdot [\cos \alpha_{i-1} - \cos \alpha_i - k_S \cdot k_P \cdot k_U \cdot (\alpha_i - \alpha_{i-1})]$$

където: L_e – еквивалентна индуктивност на веригата;

k_S - зависи от положението на ключовете S_1 и S_2 . Ако изводите на трансформатора са дадени накъсо (S_1 и S_2 са в еднакви положения) то $k_S=0$. Ако S_1 и S_2 са в различни положения, то $k_S=1$.

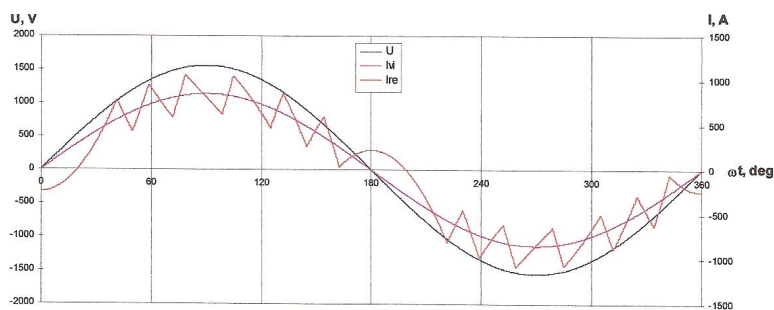
k_P - зависи от начина на свързване на кондензаторната батерия към изводите на трансформатора. В тягов режим по време на полупериода с поляритет на мрежовото напрежение т. а - "+" и б - "-" и в рекуперативен режим с обратния поляритет $k_P=1$. При "обратен" поляритет в тягов режим и в "прав" при рекуперативен $k_P= -1$.

k_U - е коефициент, показващ колко пъти напрежението на междинната постояннотокова верига превишава амплитудата на мрежовото напрежение.

Това дава възможност с помощта на подходящ програмен продукт (в случая е използван Excel) да се изследва работата на импулсния токоизправител в режим на тяга, рекуперация и компенсация.

По този начин се получава формата на реалния ток за конкретно транспортно средство и зададен режим на работа. Формата на реалния ток в тягов режим е показана на фиг. 9., където I_{vi} - вид на търсения (желания) ток; I_{re} - вид на реалния ток.

Чрез управлението на двата превключвателя се създава показаната форма на напрежение на токоизправителя. Когато това напрежение е по-малко от синусоидалното мрежово напрежение, токът в трансформатора се увеличава, а ако то е по-голямо - токът намалява. Ако първия хармоник на импулсното напрежение съвпада по фаза с мрежовото напрежение, ток с мрежова честота не тече. Съществува само високочестотна съставна на паразитния ток. За да се



Фиг.9

предава активна мощност чрез токоизправителя в едната или другата посока, е необходимо да се измества фазата на импулсното напрежение.

3. Изводи

- Транспортните средства с IGBT елементи подобряват значително енергетичните си показатели и играят ролята на подвижни компенсатори за контактната мрежа;

- Поетапно изваждане от експлоатация на диодните транспортни средства и внедряване на лакомотиви с IGBT елементи и АД;

- Модернизирание на ЕПС с постояннотокови двигатели, чрез прилагане на импулсни преобразователи с IGBT елементи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ганов, М. М. Електрообзавеждане на електрически транспортни средства, Техника, 1989г., София.

[2] Попов, Р. - Тягови електрозадвижвания и развитието на преобразувателната техника.

[3] Павлов, Г. М. Дисертационен труд, ВТУ "Т. Каблешков", 2001г., София

[4] Тихменев, Б. Н. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями. М.: Транспорт, 1988г.

[5] Hilpert, G., Th. Züllig - Integrated Power Module in IGBT Technology for Modular Power Traction Converters (Интегрирани мощностни модули с IGBT за модулни мощностни преобразователи)" - ADtranz - ABB Daimler-Benz Transportation (Switzerland) Ltd.

[6] IPM - based IGBT Traction Chopper (Тягови импулсни регулатори с IGBT, основани на интегрирани мощностни модули) - ADtranz - ABB Daimler-Benz Transportation (Switzerland) Ltd.

Автори: доц. д-р Георги Павлов, инж.Илко Търпов - задочен докторант, инж. Радка Васева - докторант към катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта” на ВТУ „Тодор Каблешков.

СИСТЕМИ ЗА СЪХРАНЯВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ

Георги Ганев, Георги Тодоров

Резюме. Разглежда се развитието на системите за съхраняване на електро-енергия. Анализирани са съвременните тенденции в развитието на електроенергетиката и на тази основа са посочени областите на приложение на системите за запазяване на електроенергия. Направен е преглед на технико-икономическите им показатели и са анализирани техните предимствата и недостатъците им. Очертани са перспективите за развитие на някои системи за съхраняване на електроенергия с оглед на техните съвременни приложения.

ENERGY STORAGE SYSTEMS

Georgi Ganev, George Todorov

Abstract.: The energy storage systems development is discussed in this paper. The modern trends of power development are analyzed and the areas of energy storage systems applications are specified. The review of technical and economical parameters is made and their advantages and disadvantages are analyzed. The trends in the development and implementation of the different types of energy storage systems are specified.

1. Въведение

Развитието на електроенергетиката през последните години може да се характе-ризира със следните особености:

а/ Трайно нарастване на електропотреблението в световен мащаб, в това число и в страните от ЕС. На фона на тези очаквания, перспективите за изчерпването на наличните ресурси от първичните природни енергоизточници (нефт, природен газ, въглища) стават все по-реални. Това налага да се работи интензивно в две насоки – търсене на други източници на енергия и повишаване на енергийната ефективност при производството, разпределението и потреблението на електроенергията.

б/ Все по-широко се използват възобновяеми енергийни източници (ВЕИ). Според енергийната стратегия възприета в ЕС, 20% от общата електроенергия консумирана в съюза през 2020, трябва да се произвежда от ВЕИ.

в/ Засилване на влиянието на човека и неговите дейности върху околната среда. През последните десетилетия, става все по-осезаемо отрицателното влияние на ня-кои човешки дейности върху околната среда. Затова,

изискванията за опазване на екологичното равновесие налагани към енергийните обекти стават все по-строги, а тяхното удовлетворяване – все по-скъпо.

г/ Устойчивото нарастване на цената на електроенергията.

д/ Либерализация на електроенергийния пазар. В България, демонополизирането на електроенергийния пазар започнато през 2003г. ще продължи с очакваното създаване на т.нар.”енергийна борса“. Предварителното договаряне на количеството генерирана/консумирана електроенергия позволява на производителите /потребителите да използват преференциални цени за енергия.

В резултат от съвременното развитие на електроенергетиката и на електропотреблението, на преден план излизат следните проблеми:

а/ Качеството на електроенергията макар, че е отдавна известен проблем, доби-ва особена актуалност през последните години. Все по-широко се използваните електронни консуматори на електроенергия, отличаващи се с висока енергийна ефективност, по-добри масогабаритни показатели и с нови, неприсъщи за другите консуматори, функции, са особено чувствителни към различни смущаващи въз-действия, разпространяващи се по хранящата мрежа. От друга страна, те самите са нелинейни консуматори и са източник на смущения (висши хармоници, високо-честотен шум др.), оказващи влияние върху останалите консуматори. Втора важна предпоставка за влошаване на качеството на доставяната електроенергия е участи-ето на много фирми-доставчици на енергийния пазар, използващи общи съоръже-ния за пренос и за разпределение на електрическа енергия.

б/ Добивът на електроенергия при използване на възобновяеми енергийни из-точници (ВЕИ) зависи от случайни фактори. Интензивността на слънчевото греене или на въздушните течения са определящи за количеството произвеждана електро-енергия и обикновено максимумът на генерираната енергия не съвпада със макси-мумата на електропотреблението. В този смисъл, ВЕИ работещи в паралел на енер-гийната система поставят на преден план въпросите свързани с устойчивостта на електроенергийната система (с осигуряването на резерв от мощност чрез който да се компенсира случайното изменение на действителната генерирана мощност и др.).

в/ Производителите и потребителите на електроенергия, участващи на свободния пазар на енергия не винаги могат да регулират генерираната / консумираната електроенергия.

Една от възможностите за повишаване на ефективността в използването на енергийните ресурси е разработване на системи за съхраняване на електроенергия. (ССЕ). Приложенията на системите за съхраняване на електроенергия са обект на многобройни изследвания, научни публикации и авангардни разработки, засягащи различни области на електротехниката. Някои от тези приложения, напр. системи-те за непрекъсваемо храняване (UPS) са получили широко приложение и се счи-тат за ефикасно средство за осигуряване на електрохранването на маломощни, чувствителни към смущаващи въздействия консуматори. Други ССЕ се използват космически станции,

транспортни средства за военни и граждански цели (т.нар.хибридни автомобили) и са обект на усилено промишлено разработване. Трета група ССЕ (т.нар.STATCOM, DVR и др.) са предназначени за подобряване на качеството на електроенергията с електропреносните и електроразпределител-ните мрежи.

В доклада се разглеждат някои особености на системите за натрупване и съхраняване на електроенергия и тяхното приложение в електроенергетиката и електро-потреблението. Направен е сравнителен анализ и са очертани перспективите за развитието на някои видове системи за съхраняване на електроенергия.

2. Приложения на системите за съхраняване на електроенергия

Най-общо, приложенията на системите за съхраняване на електроенергия може да се разделят на следните групи:

а/ Изравняване на денонощни и седмични товарни графици в електроенергий-ната система. В редица страни, в това число и в България, основното количество на произвежданата електроенергия става чрез термични електроцентрали (ТЕЦ и АЕЦ). Чрез ССЕ произвежданата за интервалите на минимално потребление електроенергия може да се запаси и използва при максимума на потреблението. Така, чрез осигуряване на необходимата върхова енергия става възможно да се избегне изграждането на резервни генериращи мощности. Чрез използване на ССЕ може да се компенсира влиянието на случайните фактори върху количеството произвеждана енергия от централите използващи възобновяеми енергийни източници (ВЕИ).

б/ Управление на товарите графици на потребителите на електроенергия. Либерализирането на електроенергийния пазар създава възможност потребителите да договарят и да закупуват на преференциални цени необходимите им количества електроенергия. Консумирането на количества различни от договорените е свързано с налагане на сериозни санкции от страна на електроразпределителните пред-приятия. Понастоящем, възможностите за управление на товарите графици на потребителите са доста ограничени. Използуването на ССЕ би позволило на потребителите ефективно да управляват своето потребление.

в/ Подобряване на качеството на електроенергията. Измененията на напрежението на кратък интервал от време – т.нар. бързи изменения на напрежението, крат-котрайните прекъсвания и краткотрайните спадания на напрежението понякога причиняват срив на съвременните електронни системи. Присъединяването на ССЕ към разпределителни мрежи или непосредствено при чувствителните консуматори ниско напрежение би позволило да се намалят преразходите, дължащи се на влошеното качество на енергията.

Различните приложения на ССЕ налагат и специфични изисквания. Наред с изискванията за високо КПД, дълъг срок за експлоатация, стойност на началната инвестиция, разходи за поддръжка, срок за откупуване и др., важно място сред технически изисквания заема времето за отдаване на запасената енергия,

означавано като време за генериране (табл.1). То е определящо за инсталираната мощност на ССЕ.

Според продължителността на времето за отдаване на запасената енергия, ССЕ може да се класифицират в три групи [1,13]:

а/ с кратко действие (до 1 минута) – това са ССЕ, служещи за захранване на консуматори, чувствителни към смущаващи въздействия разпространявани в елект-рическата мрежата (т.нар. - UPS) и ССЕ за стабилизиране на енергийната система (запасяваната енергия гарантира поддържане на захранването до 20 периода на напрежението);

б/ със средна продължителност (до няколко часа) – служат за управление на генерираната енергия от ВЕИ, на товара на потребителите и др.;

в/ с продължително действие (от няколко часа до няколко денонощия) - използват се за управление на товарите графици в енергийната система.

Таблица1. Изисквания към ССЕ при различните им приложения [2,13]

Параметри	Подобряване на качеството на енергията в		Управление на товарите графици на	
	потреблението	разпределението	потребители	производители
Мощност, MW	0,5-2	10-50	1-100	20-10.000
Енергия, MWh	0,0003-0,001	0,01-2	1-3	100-10.000
Време за генериране	0,1s	1s-1min	5-20min	15min -10h
Време за реакция	<10ms-10min	-	-	<10min

3. Видове системи за съхраняване на енергия

Към настоящия момент, най-перспективни са следните системи за съхраняване на електроенергия [2]:

1. Помпено-акумулиращи електроцентрали (ПАВЕЦ)

В ПАВЕЦ електрическата енергия се запасява като потенциална енергия на во-дата, изпомпана от долното в горното водохранилище. Експлоатационните разходи на ПАВЕЦ са ниски, те се отличават с висока надежност и дълъг срок на експлоатация; единичната мощност може да достига големи стойности; времето за преминаване от режим на максимална консумирана към максимална генерирана мощност е сравнително кратко (табл.2). Недостатъците на ПАВЕЦ са високата стойност на първоначалната инвестиция, зависимостта от специфичните природни ресурси; промяната на екосистемата, на речния отток и др. Възможностите за развитие на този тип ССЕ може да се търсят в увеличаването на денивацията, което би довело до намаляване на обема на водосборните езера [5]; съчетаването на ПАВЕЦ с електроцентрали на ВЕИ [5], изграждане на системи работещи с мор-ска вода или под земната повърхност [14] и др. В България работят три помпено-акумулиращи централи – „Орфей”, „Белмекен” и „Чаира” (с обща генерираща мощност 1,4GW); в Европейския съюз – общата мощност на помпено-акумулиращите електроцентрали е 38,3GW, в САЩ – 21,5GW [2].

2. ССЕ чрез компресиране на въздух (ССЕ/КВ)

При тези ССЕ, чрез компресорна станция се нагнетява въздух в подземна кухи-на (напр.изоставена мина) или съд с достатъчен обем. При необходимост, компре-сираният въздух се освобождава и се използва за производство на електроенер-гия. ССЕ/КВ са алтернатива на ПАВЕЦ, като щетите върху околната среда са мно-го по-малки [10]. Единичната мощност зависи от конкретните условия и може да достига сравнително големи стойности (табл.2). Основният им недостатък е необ-ходимостта от подходящи геологически структури - изоставени подземни мини, изчерпани газови находища или други подземни кухини. Бъдещото развитие на ССЕ/КВ е свързано с оползотворяването на отделяната топлина в процеса на ком-пресиране и използването ѝ вместо традиционно гориво.

Понастоящем, в света има две работещи ССЕ/КВ[10]:

а/ край гр.Хунторф, Германия, с мощност 290MW x 2h - въведена е в експло-атация през 1978г., използват се две подземни кухини с дълбочина над 600 m и обем 310 000 m²; налягането на сгъстеният въздух достига 100 atm.

б/ край гр.Макинтош, Алабама, САЩ, с мощност 110 MW x 26h - въведена е в експлоатация през 1991г., използват се подземна кухини с дълбочина около 450m и с обем 500 000m²; налягането на сгъстеният въздух достига 74atm.

3. ССЕ с маховици (ССЕ/М)

При този тип ССЕ, електрическата енергия се преобразува в кинетична и се за-пасява във въртящ се маховик. Запасената кинетична енергия е пропорционална на масата на маховика и на квадрата на скоростта му. Процесът на преобразуване на енергията от електрическа в механична и обратно се характеризира с висока ефек-тивност. ССЕ/М се отличават с висок кпд, дълъг срок на експлоатация и висока плътност на енергията, не причиняват непосредствено замърсяване на околната среда; съотношението запасена/отдадена мощност се ограничава от мощността на двигател/генератора (табл.2). Като механични устройства ССЕ/М се нуждаят от периодична профилактика и поддръжка и имат сравнително висока цена. Харак-терно за съвременните ССЕ/М е увеличаването на скоростта на въртене на махо-вика. При ССЕ/М с висока скорост (ССЕ/М(вс)), скоростта на въртене надвишава 7000 min⁻¹ [8]. Поради използването на леки композитни материали [2,3,10], на магнитни опори [3,10] и вакуумни камери [3,10], кпд и масогабаритните показатели са значително по-добри от тези на ССЕ/М с ниска скорост (ССЕ/М(нс)). Изискванията за безопасност ограничават единичната мощност на ССЕ/М и налагат използването на защитни обвивки, което допълнително повишава цената им [10]. Въпреки това, ССЕ/М(вс) намират все по-широко приложение [15].

ССЕ/М(нс) са изградени и функционират в Германия (в гр.Аусбург - 1100kW x 16s; в гр.Хановер -1100kW; в гр.Дрезден – 3x1,65MW x10s), САЩ (гр.Панама сити - 1300kVA x15s; гр.Омаха – 4x1,65MW x10s) и др.[16]. Разработват се ССЕ(вс) с параметри 100kW x 2h при 8400 min⁻¹ [17].

4. ССЕ със свръхпроводяща бобина (ССЕ/СБ)

При този тип ССЕ, електрическата енергия се запасява в магнитното поле създадено от ток, протичащ през бобина. Тъй като бобината е в свръхпроводящо състояние, нейното съпротивление и съответно загубите са сравнително малки. При ССЕ/СБ е възможно отдаване на запасената енергия за кратко време, имат висока ефективност, нямат движещи се детайли, не изискват периодично обслужване и имат неограничен срок на експлоатация (табл.2). Основният им недостатък е високата цена на системата за охлаждане и наличието на силно магнитно поле (с индукция около 9 Т [1]). Възможностите за развитие на ССЕ/СБ включва използването на нови материали, достигащи свръхпроводящо състояние при високи температури [3].

Предстои въвеждане на ССЕ/СБ в Odaiba, Япония (300MW за 1,5 часа и запасена енергия 450MWh) която ще се използва при свързване на енергийни системи, работещи на различна честота [12].

5. ССЕ с акумулаторни батерии (ССЕ/АБ)

При ССЕ/АБ, запасяването на електрическата енергия става чрез електрохимични реакции, протичащи в акумулаторна батерия. Използват се различни видове акумулаторни батерии – оловни (LA), никел-кадмиеви (NiCd), литиево-йонни и др. Параметрите на съществуващите ССЕ/АБ се изменят в много широк диапазон (табл.2). ССЕ/АБ се характеризират с ниски загуби, висока плътност на енергията, със сравнително висок КПД и кратък срок за експлоатация, зависещ и от степента на разряд при отделните цикли. Въпреки това ССЕ/АБ са най-често използваните системи за съхраняване на енергия – обикновено като системи за непрекъсваемо захранване със сравнително малка мощност (UPS), но има и изградени системи работещи като „горещ резерв“ за стабилизиране на напрежението/честотата на енергийната система:

а/ PREPA в Пуерто Рико с LA-батерии и мощност 20MW [5,10,13];

б/ Golden Valley в Аляска, САЩ с NiCd-батерии и мощност 27MW x 15min [10] и редица други.

Особено популярни през последните години са електрохимичните поточни акумулаторни батерии (flow batteries) [4,10]. При тях електрическата енергия се запазва чрез поляризация на два електролита, разделени с полупропусклива полимерна мембрана. В зависимост от използваните материали, съществуват различни типове поточни батерии – polysulphide-bromide batteries (PSB, с наименование RegenesysTM), zinc-bromine batteries (ZBB) и vanadium-redox batteries (VRB).

След 2000г. са въведени в експлоатация редица ССЕ/ГК с промишлено пред-назначение, като повечето от тях използват VRB[10]:

а/ Tottory Sanyo Electric, Япония с мощност 3MW x 1,5sec /1,5MW x 1h;

б/ Huxley Hill Wind Farm на о.Тасмания, Австралия с мощност 200kW x 4h;

в/ Castle Valley, Юта, САЩ, с мощност 250kW x 8h.

Таблица 2. Типични параметри на ССЕ, според различни литературни източници [1,2,3, 4,5,7,8,9,10,11,14,15,17]

Параметри		Системи за съхраняване на електроенергия						
Наимен.	Мярка	ПАВЕЦ	ССЕ/КВ	ССЕ/М	ССЕ/СБ	ССЕ/ АБ		ССЕ/СК
Мощност	MW	2100	350	<1,6 ¹ <0,7 ²	3	20	3 ⁶ 15 ⁷ 1 ⁸	0,25
Коеф.на запас.	kWh/kW	>5	~5	-	0.001	2	8	-
Специф. мощност	kW/kg	-	-	3		0,4	-	2,5
	kW/m ³	-	-	1700	530	7000	-	170000
Специф. енергия	kWh/kg	-	-	-	530	50 ³ 75 ⁴ 240 ⁵	0,6 ⁶	-
	kW/m ³	-	-	424	7	247	-	53
КПД,%		75	70	90 ¹ 93 ²	>95	80	<70	>95
Време за генериране		12h	24h	120s ¹ 1h ²	60s	24h	-	10s
Време за преход		30ms	15min	5ms	5ms	30ms	-	5ms
Срок на експлоатация	бр.цикли.	-	-	1000000	-	1000 ³ 2500 ^{4,5}	10000 ⁶ 2000 ⁸	-
	час./ год.	60г	40г	30г	30г	2-10г	15г ⁶	>30г
Цена	€/kW	35-70	10-70	140-350	200-500	70-4000	-	70-400
	£/kW	450	500		1000	1000	1000	
	\$/kW	600	480	300 ¹ 350 ²	300	300 ³ 600 ⁴ 800 ⁵	1830 ⁶ 1100 ⁷ 640 ⁸	300
	\$/kWh	-	-	300 ¹ 20000 ²	120	400	1000 ⁶	13000 - 28000

Забележка: Числата, означени като степенен показател се отнасят за:

- 1,2 - ССЕ/М - ¹ниска/ ²висока скорост на маховика;
 3,4,5 - ССЕ с акумулаторни батерии - ³LA; ⁴NiCd; ⁵NaS;
 6,7,8 - ССЕ с поточни батерии - ⁶VRB; ⁷PSB; ⁸ZBB;

6. ССЕ със суперкондензатори (ССЕ/СК)

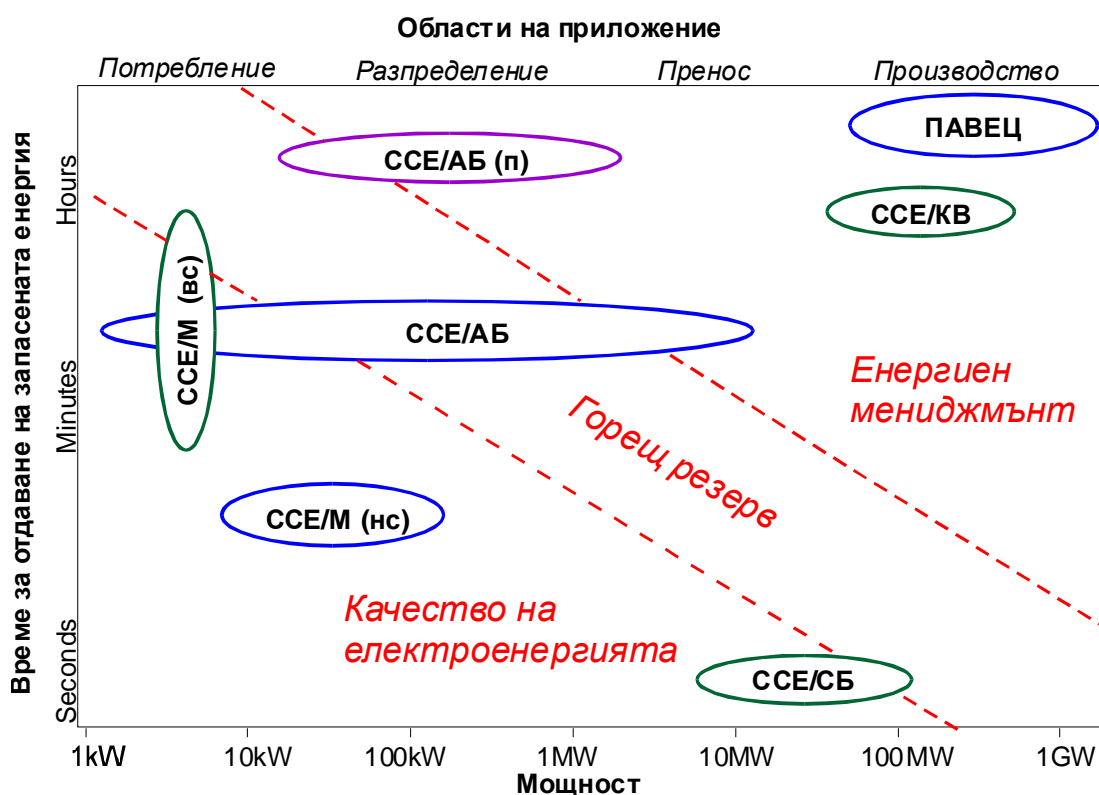
При ССЕ/СК, електрическата енергия се запасява в електрическото поле между два заредени електрода, разделени с диелектричен сепаратор, напоен с електролит. Макар, че принципът на действие е добре известен, използването на нови техно-логии за производство и съвременни материали (въглеродни нанотръби, аерогели и др.) увеличават капацитета, срока за експлоатация, намаляват времето за разряд и тока на утечка. Суперкондензаторите притежават редица предимства пред акумулаторните батерии и въпреки високата цена, ССЕ/СК се считат за алтернатива на широко разпространение ССЕ/АБ [6].

4. Сравнителен анализ на системите за съхраняване на енергия

Еднозначна технико-икономическа оценка на възможните приложения на ССЕ не е възможно да се направи. Изборът на една или друга система може да стане само като се отчитат специфичните изисквания за конкретното приложение.

По отношение на ефективността на преобразуване на електроенергията (запасе-на/отдадена енергия) най-перспективно е използването на ССЕ със свръхпрово-дящи бобини, на ССЕ със суперкондензатори и ССЕ с маховици. За останалите ССЕ е характерно КПД под 90% (табл.1).

На фиг.1 са дадени времената за отдаване на запасената енергия в зависимост от мощността на ССЕ и са означени възможните им приложения. За да се осигурят необходимите параметри на един елемент от ССЕ или за да се увеличи инсталира-на мощност на една ССЕ като цяло, много често се използват голям брой пара-лелни елементи или устройства. Така, в ССЕ/СБ в Odaiba, Япония е предвидено паралелно-последователно включване на 4000 бобини с параметри $L=1,9\text{H}$, $V=7\text{T}$, $I_{\text{ном}}=535\text{A}$ [12], а 10 единични ССЕ/М(вс) произведени от Weacon Power с номинал-на мощност 250kW осигуряват 2,5MW x 5min и 0,5MW x 30min [15].



Фиг. 1. Продължителност на времето за отдаване на запасената енергия в зависимост от мощността на ССЕ

ПАВЕЦ и ССЕ/КВ са особено подходящи за осигуряване на върхова енергия за електроенергийната система. Тяхното изграждане е свързано с осигуряване на голям финансов ресурс и в голяма степен се определя от природните дадености.

ССЕ/АБ, в това число ССЕ с поточни батерии, могат да се използват за подобряване на качеството на електроенергията на консуматорите и в разпределителните системи. Поради модулния принцип на изграждане те са подходящи и за използване като “горещ резерв” в системата.

ССЕ/М, ССЕ/СБ и ССЕ/СК се характеризират с голямо бързодействие и са особено подходящи за подобряване на показателите за качество на електроенергията – краткотрайни спадания и краткотрайни прекъсвания на напрежението.

Полупроводниковите преобразуватели са важна съставна част на ССЕ. Те са своеобразен буфер между системата за запасяване на енергия и електрическата мрежа. Развитието на технологиите за производство на мощни, високоволтови полупроводникови елементи и модули през последните двадесетина години, силно намали цената на преобразувателните и сега тя е от 20% до 60% от стойността на цялата ССЕ[2].

Развитието на новите технологии създава възможност за получаване на нови материали – достигащи състояние на свръхпроводимост при високи температури, с висока устойчивост на механични, термични и електрически натоварвания, с ниска цена и др [2]. Широкото използване на тези нови, съвременни материали е предпоставка за бързото развитие на ССЕ в цялото им многообразие.

5. Изводи

1. Може да се твърди, че ССЕ са ”липсващото звено” в съвременната електроенергетика. Тяхното използване би позволило да се решат някои актуални проблеми на електроенергетиката – да се управляват, в известни граници, товарите графици на производителите и на потребителите и да се коригират едни или други показатели на качеството на доставяната електроенергията.
2. Реализирането на някои ССЕ (напр. ПАВЕЦ или ССЕ/КВ) е свързано с използването на природните дадености на отделните страни и преди всичко - с големи финансови ресурси; при други ССЕ (напр. ССЕ/СК или ССЕ/ГК) от решаващо значение са развитието и използването на нови материали и на съвременни технологии за тяхното производство.
3. Разработването на пилотни проекти е важен етап в популяризирането и развитието на системите за съхраняване на електроенергия. Наред с реализирането на проектираните ССЕ, следва да се създават адекватни симулационни модели, чрез които да се прогнозира поведението на системите за съхраняване на електроенергия и тяхното взаимодействие със системата към която е присъединена.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sahay, K., B. Dwivedi. Energy-Storage-Technology-for-Performance-Enhancement-of-Power-System, Electrical Power Quality & Utilization Magazine, vol.4, issue 1, march, 2009.
- [2] Challenges of Electricity Storage Technologies, A report from the APS Panel on Public Affairs Committee on Energy and Environment, May 2007.
- [3] Ribeiro, P., B.K.Jonson, M.L.Crow, Aysen Arsoy, Yilu Liu. Energy Storage Systems for Advanced Power Applications, Proc.of IEEE, vol.89, no.12,Dec.2001,pp.1744-1755.
- [4] Faias S., P. Santos, J. Sousa, R. Castro. An Overview on Short-Term and Long-Term Response Energy Storage Devices for Power Systems Applications.
- [5] Cole, S., D. van Hertem, L. Meeus, R. Belmans. Energy storage on production and transmission level: a SWOT analysis.
- [6] Guerrero, M. A., E. Romero, F. Barrero, M. I. Milanés, E. Gonzales. Overview of Medium Scale Energy Storage Systems, Power Quality, Alternative and Distributed Systems CPE2009, pp.93-100.
- [7] Schoenung, S., W. Hassenzahl. Long-vs.Short-Term Energy Storage Technologies Analysis, Sandia Nat. Laboratories, SAND2001-0765, march, 2001.
- [8] Tiwari, H. P. DC Energy Storage Schemes for DVR Voltage Sag Mitigation Systems, International Journal of Computer Theory and Engineering, vol.2, no.3m june, 2010, pp.313-317.
- [9] Sels, T., C. Dragu, T. Van Craenenbroeck, R. Belmans. New Energy Devices for an Improved Load Managing on Distribution Level, IEEE Porto Power Tech. Conf., Porto, Portugal, 10-13 Sept., 2001.
- [10] Review of electrical energy storage technologies and systems of their potential for the UK,
- [11] Lumb, D., Energy storage & renewables.
- [12] Nomura, S., T.Nagita. Back-to-Back Interconnection Systems with Energy Storage, IPEC-Niigata, 2005.
- [13] FACTS with Energy Storage: Conceptual Design Study, EPRI, Palo Alto, CA, USA, 1999.
- [14] Connolly, D. A Review if Energy Storage Technologies, University of Limerick, Ireland, 2009.
- [15] Gonzalez, A., B. Ó'Gallachóir, E. McKeogh. Study of Electricity Storage Technologies and Their Potential to Address Wind Energy Intermittency in Ireland, SEI, may, 2004
- [16] Banerjee, B., Energy Storage Application Brief-case History for Large Flywheel System, EPRI, nov.1999.
- [17] Fiske, O. J., M. R. Ricci. Third Generation Flywheels for High Power Electricity Storage, MAGLEV'2006, Dresden,Germany, 13-15 sept.2006

Автори: Георги Ганев – доц. д-р в кат. “Електротехника”, ТУ-София, филиал Пловдив, Георги Тодоров - доц. д-р в кат. “Електрически машини”

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАГУБИТЕ НА МОЩНОСТ ПРИ РАБОТА НА СИЛОВ ТРАНСФОРМАТОР ПО СХЕМА Y/Y С ИЗОЛИРАН ЗВЕЗДЕН ЦЕНТЪР

Владимир Чиков

Резюме. В материала са показани изследвания на загубите в различни режимни ситуации при работата на силов трансформатор по схема Y/Y. Направено е сравнение на загубите в силов трансформатор при работа с линеен и нелинеен товар и загубите определени по традиционните подход.

INVESTIGATION OF POWER LOSSES IN TRANSFORMERS Y/Y CONNECTION

Vladimir Chikow

Abstract. This paper presents researches for different working regimes of power transformer Y/Y connection and increasing of power losses in these situations. There are shown cases of linear or nonlinear loads compare to power loss calculated with traditional methods.

Интензивното прилагане на силови полупроводникови преобразуватели и на други нелинейни товари наред с положителния ефект свързан с подобряване качеството на управление на промишлените агрегати, води след себе си и до негативни влияния върху електрозахранващата мрежа. Тези негативни влияния са свързани с генериране в мрежата от страна на нелинейните товари на единични импулси или на серия от такива, които водят до несинусоидални изменения в електромагнитното състояние на локалната електроснабдителна система. Тези несинусоидални режими на работа на системата създават възможност за реализиране на допълнителни загуби при трансформацията и преноса на електрическа енергия. Като част от електроснабдителната система силовия трансформатор представлява елемент от електроснабдителната система където се реализират най-големите загуби а и той в най-голяма степен се влияе от наличието на несинусоидални режими на косумация или захранване.

Настоящата статия е посветена на една възможността за измерване на загубите в силови трансформатори при наличието на несинусоидалности в тока и/или захранващото напрежение.

Както е известно загубите в който и да е преобразувател представляват разлика между входящата и изходящата мощност. В случая обаче директното измерване на загубите в трансформатора би било с голяма неточност по следните причини:

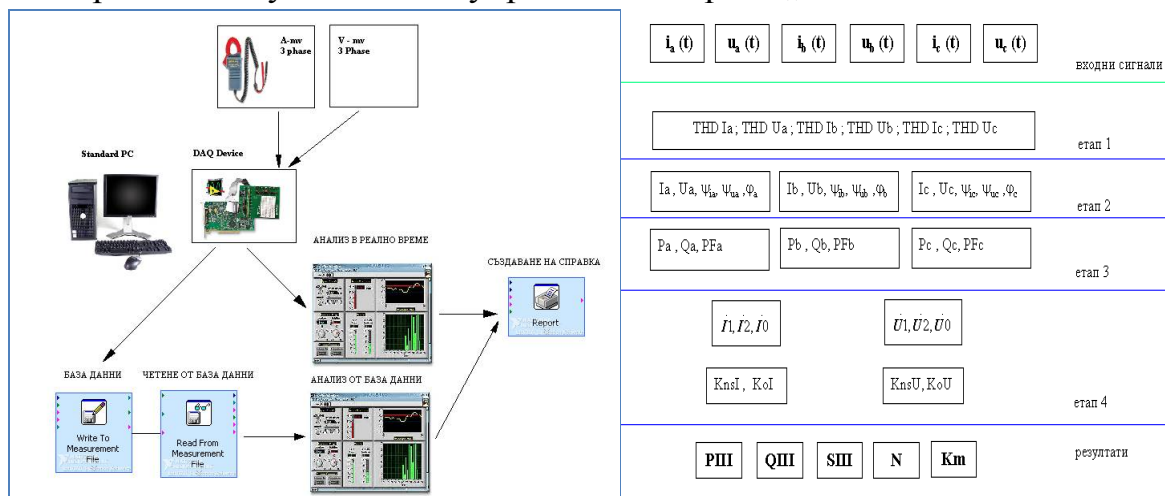
- загубите представляват разликата между две големи величини;
- к.п.д. на съвременните трансформатори $\eta \geq 98\%$.

Съществуват и индиректни методи, като опит на празен ход определящ загубите в сърцевината и опит на късо определящ загубите в намотките. Тези резултати обаче не могат да се използват в пълна степен при частично или пълно натоварване на трансформатора както и за конкретните работни условия.

Загубите в трансформатора основно имат две компоненти загуби от хистерезис и загуби в намотките. В повечето случаи загубите от хистерезис се пренебрегват, но в условия на висши хармоници и по причина на факта, че силовите трансформатори работят близо до точката на насищане на магнитната сърцевина (с цел намаляване на габарите и цената им) тези загуби имат значителен дял при наличие на изкривявания във формата на напрежението. Загубите в намотките се определят от активното им съпротивление. При наличие на хармоници в тока неговата стойност нараства $P_{зд.} = RI^2$. Загубите от висши хармоници допълнително нарастват и поради наличие на „скин” ефект за хармониците с висок порядък за тях се намалява и ефективното сечение на тоководещите части.

По долу е разгледана възможност за директно определяне на загубите в трансформатор по време на експлоатация при наличие на линеен и/или нелинеен товар. Измерването се базира директно определяне на разликата между токовете и напреженията на входа и изхода на трансформатора като се взема в предвид и тяхното дефазирание.

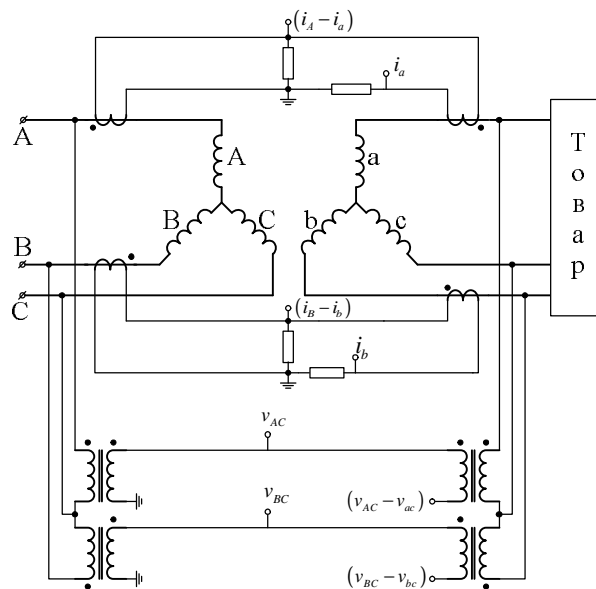
Проведените измервания са извършени с трансформатор 10 kVA по схема Y/Y като за товарно устройство в качеството на линеен товар се използва активно съпротивление с мощност 5kW и възможност за регулиране. В качеството на нелинеен товар честотен преобразувател на фирмата „Moeller” от серията „DF5”. Честотният преобразувател захранва асинхронен двигател с мощност 4.7kVA в качеството на товарно устройство е използван постояннотоков генератор. За измерване е използвана DAQ карта NI6024 на фирмата National Instruments. Реализирана е визуализация в среда „LabView” на данните от DAQ картата като краен резултат е визуализация на измерваните величини и определяне активните загубите на електроенергия в измервания трансформатор. На фиг. 1 е представена блоковата схема на реализираното измервателно устройство и екрана за визуализация и управление в среда „LabView”



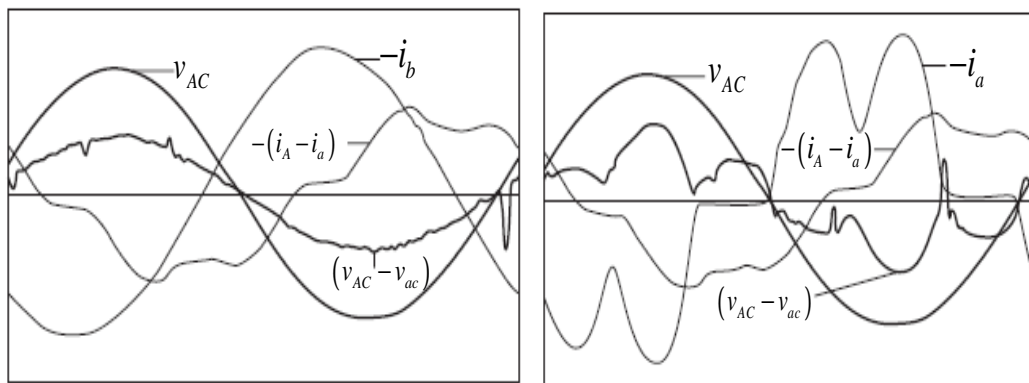
Фиг. 1. Блокова схема – система за измерване и реализиран софтуер

Чрез метода на измерване на загубите като разлика между входящата и изходната мощност може да се опише по следния начин:

$$\begin{aligned}
 P_{заг} &= P_{вход} - P_{изх.} = \\
 &= \frac{1}{T} \int_0^T [(v_{AC} i_A + v_{BC} i_B) - (v_{ac} i_a + v_{bc} i_b)] dt \\
 &= \frac{1}{T} \int_0^T [v_{AC} (i_A - i_a) + v_{BC} (i_B - i_b) + (v_{AC} - v_{ac}) i_a + (v_{BC} - v_{bc}) i_b] dt
 \end{aligned}$$



Фиг. 2. Принцилна схема за измерване на загубите в трифазен трансформатор Y/Y



Фиг. 3. Криви на напрежението и тока

На фиг. 3 е показано изменението на напреженията и токовете при провеждане на такъв експеримент. Табл. 1 показва някои опитни резултати.

От полученият резултат могат да се разграничат двата вида загуби в трансформатора $p_c(t) = v_{AC} (i_A - i_a) + v_{BC} (i_B - i_b)$ - определя загубите в магнитната сърцевина;

$$P_n = (v_{AC} - v_{ac})i_a + (v_{BC} - v_{bc})i_b; \text{ определящи загубите в проводниците.}$$

На фиг. 2 е представена принципна схема за измерване загубите в трифазен трансформатор свързан в схема Y/Y с изолиран звезден център.

Таблица 1

Наименование	Линеен товар	Нелинеен товар	Измерване чрез опит на к.с. и п.х.
$v_{AC} [V_{RMS}]$	378.5	375.5	
$i_A - i_a [A_{RMS}]$	1.10	1.12	
$v_{AC} - v_{ac} [V_{RMS}]$	8,25	7.19	
$i_a [A_{RMS}]$	6.64	6.52	
Загуби в стоманата [W]	100.7	103.9	119.8
Загуби в намотките [W]	161.3	157.6	134.8
Общо загуби [W]	262.0	261.5	254.6
Исходна мощност [W]	4425	3971	
КПД [%]	94.1	93.5	

След анализ на резултатите получени при реализацията на разгледаният по-горе подход могат да се направят следните изводи:

1. Подходът е лесно реализуем в промишлени условия.
2. Подходът дава възможност за определяне загубите в разделителни трансформатори дросели и др. устройства при работа в конкретни промишлени условия.
3. Подходът дава възможност да се определи енергоефективността от при-лагане на полупроводниковите устройства като се оценят загубите в захран-ващите и филтровите устройства.
4. Подходът е приложим и при трансформатори свързани по схема Δ/Δ
5. Подходът засега не може да се прилага при силови трансформатори по схема Δ/Y и такива които захранват несиметрични потребители свързани към нулевия проводник.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Erickson R. W. and D. Maksimovic,; „Fundamentals of Power Electronics”, second edition, Springer, 2002.
- [2] Kelly, A.W., S.W. Edwards, J.P. Rhode and M. Baran. Transformer derating for harmonic currents: a wideband measurement approach for energized transformers, Proceedings of the Industry Applications Conference, 2004
- [3] Masoum, M.A.S. and E.F. Fuchs. Derating of anisotropic transformers under nonsinusoidal operating conditions, Electrical Power and Energy Systems, Vol. 25 (2003), pp. 1–12.

Автор: Владимир Чиков, д-р, гл. асистент, кат. „Електроснабдяване и електрообзавеждане, Технически университет – Варна

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОСТИГАНЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЖИЛИЩНО СТРОИТЕЛСТВО ПО КОНЦЕПЦИЯ „ИНТЕЛИГЕНТЕН ДОМ”

Валентин Гюров

Резюме. В доклада са разгледани възможностите за постигане на електро-енергийна ефективност в жилищното строителство на проектно ниво. Тези изисквания са поставени от действащите наредби за енергийна ефективност, като в случая се разглежда допълнителната възможност при проектиране адаптирано към концепция „Интелигентен дом”. Разгледано е техническо решение за конкретен обект пета категория строителство – еднофамилна сграда. Направени са съответните технико-икономически анализи и изводи.

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS USING “SMART HOME” ELECTRICAL DESIGN

Valentin Gyurov

Abstract. This paper presents possibilities for improving energy efficiency in buildings on project stage. The requirements according to the newest decrees and standards with combination with the concept “Smart Home” design, give opportunities to increase electrical energy efficiency. Typical example of technical solution for residential building – single family house, 5th category according to construction regulations is given. Energy indicators and efficiency factors are defined.

1. Критерии за енергийна ефективност в сгради

Стремежът за подобряване на енергийната ефективност, намаляне разхода на енергия, ограничаване на вредните емисии и др. е основно изискване към страните членки на Евросъюза. В тази връзка в Република България са приети редица нормативни документи касаещи енергийната ефективност, които поставят сериозни предизвикателства пред специалистите инженери и проектантите от различни технически области. Този процес води до резултати в две основни направления :

- Ø Развиване, усъвършенстване и прилагане на нови енергоефективни технологии ;
- Ø Нови концептуални решения в процеса на инвестиционното проектиране.

Взаимовръзката между тези две направления е необходимо и задължително условие за покриване на изискванията за енергийна ефективност. Докладът разглежда възможностите за постигане на енергийна ефективност, както и ко-

личествената ѝ оценка при проектиране част „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електрически инсталации” адаптирано към съвременните концепции за сградна автоматизация „Интелигентен дом”.

Основни нормативни актове, поставящи изискванията към проектантите част „Електрическа”, са Наредба №7/15.2004 г, изм. и доп. 02.2010, Наредба № РД 16-1058/12.2009 г. [1,2] и ЗУТ [3]. В тях е поставено задължителното изискване проектантите да вземат всички необходими решения за достигане на енергийна ефективност на сградата, в съответствие с класът, в който попада. Според действащата класификация те са [1]:

Ø Най-малко клас „В” за нови сгради, които са в процес на проектиране или изграждане;

Ø Най-малко клас „С” за сгради въведени в експлоатация в периода 1991-2009 г.;

Ø Най-малко клас „D” за сгради въведени в експлоатация до 1990 г., включително.

Като основен критерий се счита енергийната характеристика на сградата EP и нейното съответствие спрямо референтни стойности. Класификацията е показана в табл. 1 [2].

Таблица 1

<i>Граници</i>	<i>Клас на енергопотребление</i>	<i>Словесно изразение</i>
$EP \leq 0,5 \cdot EP_{\max,r}$	A	Висока енергийна ефективност
$0,5 \cdot EP_{\max,r} \leq EP \leq EP_{\max,r}$	B	
$EP_{\max,r} < EP \leq 0,5 \cdot (EP_{\max,r} + EP_{\max,s})$	C	
$0,5 \cdot (EP_{\max,r} + EP_{\max,s}) < EP < EP_{\max,s}$	D	
$EP_{\max,s} < EP \leq 1,25 \cdot EP_{\max,s}$	E	
$1,25 \cdot EP_{\max,s} < EP \leq 1,5 \cdot EP_{\max,s}$	F	
$1,5 \cdot EP_{\max,s} < EP$	G	Голям разход на енергия

В съответствие с [2] показаните характеристики се определят по следния начин:

$EP = \{P_i, i = 1, 2 \dots M\}$, където P е показател определен по чл.9 [2], M – общ брой на избраните показатели. За проектантите част „Електрическа”, това са показателите група 3 [1]:

- общ годишен разход за отопление, охлаждане, вентилация, гореща вода, осветление и уреди [kWh];
- общ годишен специфичен разход за отопление, охлаждане, вентилация, осветление и уреди [kWh/m²].

Класификация спрямо Табл. 1 може да се направи с използването на втория показател.

$EP_{\max,r}$, $EP_{\max,s}$ – референтни стойности за общ специфичен разход на енергия за отопление, охлаждане, вентилация, гореща вода, осветление и уреди [kWh/m^2]. Практически, референтните стойности се получават с използването на пределни нива на коефициентите на топлопреминаване U_{\max} [$W/m^2.K$] и касаят проектираването част ОВК (отопление, вентилация и климатизация). Получените стойности за специфичен разход на енергия [kWh/m^2] имат характер на топлинна енергия. В съответствие с използваните методики, те са средномесечни и/или средногодишни величини. В тях осветлението, като източник на топлина, е включено в неявен вид с отчитане на топлинната мощност за m^2 – енергия подпомагаща процеса на отопление и влошаваща процеса на охлаждане в зависимост от сезона. Тук обаче, осветлението като ел. потребител, служещ за осигуряване на светлинна среда, не се отчита. Също така, ОВК частта не разглежда проблема с какъв разход на ел. енергия се постига нужната енергия в kWh (топлинни) за отопление, охлаждане, вентилация и битова топла вода. Енергийните показатели използвани от ОВК проектантите са:

$$EP_{ОВК} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot e_i = (Q_H + Q_C + Q_{AC} + Q_{HW}) \cdot e_i \text{ [kWh/(m}^2\text{.год)]} \quad (1)$$

Където: Q_H – потребна енергия за отопление (heating) [kWh/m^2]; Q_C – потребна енергия за охлаждане (cooling) [kWh/m^2]; Q_{AC} – потребна енергия за вентилация (air conditioning) [kWh/m^2]; Q_{HW} – потребна енергия за битова топла вода [kWh/m^2]; e_i – коефициент, отчитащ загубите за добив/производство и пренос на i -тата съставляваща на потребната енергия. В случая на използване на първичен енергоносител електрическа енергия $e_i = 3$ [2].

2. Критерии за електроенергийна ефективност

За нуждите на проекта част „Електрическа“, при познаване на избраните ОВК съоръжения може да се използва следния показател:

$$EP_{ОВК,ЕЛ} = W_{ОВК,ЕЛ} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{h_i} \cdot e_i = \left(\frac{Q_H}{h_H} + \frac{Q_C}{h_C} + \frac{Q_{HW}}{h_{HW}} \right) \cdot e_i \text{ [kWh/(m}^2\text{.год)]} \quad (2)$$

За съвременните ОВК съоръжения използвани в жилищни сгради η може да се приеме за:

$\eta_H = (2,2 \div 3,1)$ – при инверторни сплит системи;

$\eta_C = (1,6 \div 1,8)$ – при инверторни сплит системи;

$\eta_{HW} = 1$ – при ел. нагревателни бойлери;

При включване на осветлението показателят придобива вида:

$$EP_{ЕЛ} = W_{ОВК,ЕЛ} + W_{ОСВ,ЕЛ} \text{ [kWh/(m}^2\text{.год)]} \quad (3)$$

Изискванията към осветителни уредби в сгради, касаещи енергийната им ефективност, се дефинират от стандарт EN 15193 [3]. Като индикатор се използва специфичния годишен показател LENI (Lighting Energy Numeric Indicator).

$$LENI = W_{OCB,EL} = \frac{W_L + W_P}{A} \text{ [kWh/(m}^2\text{.год)]} \quad (4)$$

Където:

A- обща разгъната осветяема площ на сградата [m²];

W_L –количество енергия консумирана от осветителната уредба за осигуряване на необходимата светлинна среда [kWh/год];

W_P – паразитна енергия свързана със загубите в акумулаторните елементи на аварийно и евакуационно осветление и stand-by функциите на системите за управление на осветлението [kWh/год].

Изчисляването им се извършва по следните формули [3]:

$$W_L = \sum [(P_N \cdot F_C) \cdot (t_D \cdot F_0 \cdot F_D + t_N \cdot F_0)] / 1000 \text{ [kWh/год]} \quad (5)$$

$$W_P = \sum [P_{PC} \cdot (t_Y - t_D - t_N) + P_{EM} \cdot t_{EM}] / 1000 \text{ [kWh/год]} \quad (6)$$

Където: P_N – инсталирана мощност [W]; P_{PC} – обща паразитна мощност [W]; P_{EM} – обща зарядна мощност на всички евакуационни и аварийни осветители [W]; t_Y – годишен времеви период 8760 ч.; t_D – времеви период за работа на осветителите в светлата част от денонощието [ч.]; t_N – времеви период за работа на осветителите в тъмната част от денонощието [ч.]; t_{EM} – времеви период за заряд на аварийните и евакуационни осветители [ч.]; F_C – фактор зависещ от използването на инсталираната мощност, F_C=(1+MF)/2; F₀ – фактор зависещ от присъствието(отсъствието) на хора; F_D – фактор зависещ от използването на естественото осветление.

Отделните фактори за всеки конкретен обект се изчисляват с използването на приложенията в EN15193.

3. Електроенергийна ефективност при проектиране на сгради по концепция „Интелигентен дом”

Новост в проектирането и изграждането на жилищно строителство са системите за сградна автоматизация „Интелигентен дом”. Внедряването им води до следните основни положителни ефекти:

- *Осигуряване на надеждно управление на сградните инсталации – ОБК, осветление, електрически инсталации;*
- *Гарантиране на по-висок комфорт на обитателите на сградите;*
- *Повишаване нивото на енергийна ефективност чрез оптимизация на използваните ресурси;*
- *Автоматизирано разпределяне на консумираните енергии между обитателите на сградите;*
- *Улесняване на фасилити менджмънт екипите при експлоатация на сградните съоръжения;*

- Увеличаване на сигурността на обитателите с внедряването на пожароизвестителни и сигнално-охранителни системи и др.

За оценка на енергийната ефективност на сградите при проектиране и изграждане на системи „Интелигентен дом” могат да се използват показателите дефинирани от стандарт EN 15232 [4]. В съответствие с него за всяка сграда в зависимост от използваната система за автоматизация се определя съответния ВАС клас на ефективност (Building Automation and Control). ВАС класовете са буквено изражение от А до D, в две групи – жилищни и нежилищни сгради. На база направената класификация по ефективност, в зависимост от типа сграда се избират ВАС факторите на ефективност $f_{BAC,HC}$ и $f_{BAC,EL}$. Първият показва влиянието на системите за автоматизация върху подобряване на енергийната ефективност за използваната топлинна енергия, а вторият - за използваната електрическа енергия. В сгради, където основен енергиен носител е електроенергията, системите за автоматизация имат двустранен ефект – от една страна намаляване на общото потребление за електрическа енергия на системите, от друга – подобряване на работата на ОВК системите, което води до допълнително намаляване разхода на ел. енергия. Количествената оценка се извършва на база предложената в [4] методика:

Отоплителни системи :

$$Q_{H,Tot,BAC} = (Q_{H,nd,B} + Q_{H,Sys}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} = Q_H \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{год})] \quad (7)$$

Където: $Q_{H,nd,B}, Q_{H,Sys}$ - топлинна енергия за отопление и загуби на топлинната система; $f_{BAC,HC}$ – референтен ВАС фактор.

Охлаждащи системи :

$$Q_{C,Tot,BAC} = (Q_{C,nd,B} + Q_{C,Sys}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} = Q_C \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{год})] \quad (8)$$

Осветление :

$$W_{OCB,BAC} = W_{OCB} \frac{f_{BAC,EL}}{f_{BAC,EL,ref}} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{год})] \quad (9)$$

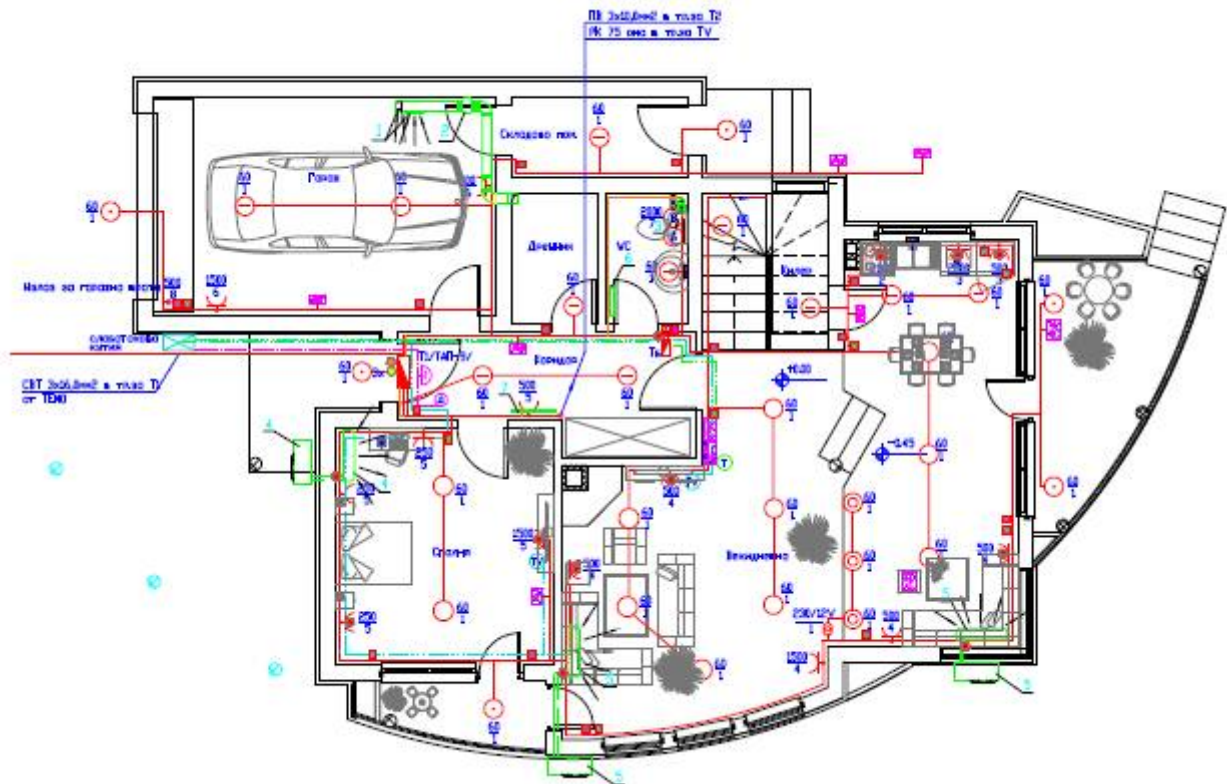
Замествайки изрази (7),(8) и (9) в израз (3) се получава:

$$EP_{EL,BAC} = \left[\left(\frac{Q_H}{h_H} + \frac{Q_C}{h_C} \right) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} + \left(\frac{Q_{HW}}{h_{HW}} + W_{OCB} \right) \frac{f_{BAC,EL}}{f_{BAC,EL,ref}} \right] \cdot e_i \quad (10)$$

Изразът (10) може да се използва като показател за оценка на електроенергийната ефективност на сградите при наличие на система за сградна автоматизация и е съвместим с Европейските стандарти и изискванията на действащите в Република България наредби.

4. Оценка на електроенергийната ефективност на проект еднофамилно жилище пета категория с. Доброглед, община Аксаково, област Варна по концепция „Интелигентен дом”

Планът на луксозно еднофамилно жилище проектирано по концепция „Интелигентен дом” е показан на фиг. 1



План на етаж 1 част „Електрическа”

Фиг. 1

Използвани елементи за контрол и управление производство на Marmitek:

	2xLED - MASTER LED bulb 7w E27 A60		Моментен ключ
	КЛЛ - Softone ESaver 16W E27 T60		Модул AW10 /+ ключ/
	ХЛ - EcoClassic30 53W E27 A55		Модул SW10 /+ ключ/
	НХЛ - MASTERLine 30W GU5.3 12V 36D		Модул LW11 /+ ключ/
	Сензор за движение - MS13E		Модул - AW12
	Сензор за дим - SD90		Модул - AD10
	Конзола за управление - ETP10		Модул - FD10
	Конзола за сигурност - S9000		CMPRO15
	Домофонна система - DPhone300		
	UKA7205 - CCTV Camera, Light & DVR		
	UKA00896 - Индикатор температура вода		

Използвани ОВК съоръжения:

1. Решетка хоризонтална с регулираща секция тип РХ-Р-300/100;
2. Вентилатор канален 230V, 102 W, 2440 об./мин, 45 dB;
3. Вентилатор противовлажен 230V, 65W, 45 dB;
4. Сплит система (инверторна), охл. мощност 1,5 kW, топл. мощност 2,2 kW, консум. ел. мощност 1,2 kW;
5. Сплит система (инверторна), охл. мощност 2,2 kW, топл. мощност 3,4 kW, консум. ел. мощност 1,34 kW;
6. Електрически противовлажен подгревател за баня 230V, 0,5 kW;
7. Електрически конвекторен радиатор 2 kW (230V, 0,8 kW)

Планът на етаж 2 е изграден по същата концепция с използването на еднотипни уреди, източници на светлина и елементи за контрол и управление. Избраната система се базира на X10 протокол за управление (PowerLine Communication), модификация за Европейски електроснабдителни системи (230V/50Hz).

За разгледания обект е осъществена пълна система за сградна автоматизация осигуряваща:

- Контрол на съоръженията на ОВК инсталацията;
- Контрол на битовата топла вода;
- Контрол на осветлението;
- Пожароизвестяване;
- Сигнално-охранителни функции;
- Контрол на битовите електрически уреди;

5. Оценка за електроенергийна ефективност

На база на показаната методика и проектите част „ОВК” и част „Електрическа”-адаптирана към „SmartHome” са изчислени съответните показатели:

ОВК и БТВ съоръжения			Осветление
Q_H [kWh/m ² .год]	Q_C [kWh] [kWh/m ² .год]	Q_{HW} [kWh] [kWh/m ² .год]	$W_{OCB,EL}$ (LENI) [kWh/m ² .год]
99.7	5.09	17.6	3.13
$W_{ОВК,ЕЛ}$ [kWh/m ² .год]			
58.93			

$A = 185 \text{ m}^2$ - разгънатата площ на сградата;

ВАС клас на сградата – А

$$\frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} = 0.81 \quad \frac{f_{BAC,EL}}{f_{BAC,EL,ref}} = 0.92 \quad EP_{EL} = EP_{EL,BAC} = 50.6 \quad EP_{max,r} = 65$$

Следователно сградата е в енергиен клас В

Показател за екологично въздействие [1] $E_c P = \left(\sum_{i=1}^4 Q_i \cdot f_i \right) 10^{-6}$ [g CO₂/год]

Където: Q_i – количество на i-я енергиен ресурс/енергия в годишен разход [kWh/год]; f_i – коефициент на екологичен еквивалент на i-я енергиен ресурс/енергия [g CO₂/kWh]. За електрическа енергия f_i = 683 [g CO₂/kWh] [2].

6. Изводи

1. Разгледани са възможностите за оценяване на електроенергийната ефективност на сгради жилищно строителство с използването на обобщен специфичен показател за разход EP_{ЕЛ} [kWh/m².год]

2. Направена е оценка за влиянието на сградната автоматизация върху електроенергийната ефективност и класификацията на сградите по ВАС клас.

3. Изведен е израз за критерий на оценка на общия показател за специфичен разход EP_{ЕЛ} отчитащ енергийната ефективност на ОВК системите, осветлението, ел. потребителите и системите за сградна автоматизация.

4. Показаният подход е съвместим с Наредба №7 за енергийна ефективност и Европейските стандарти EN 15193 и EN 15232.

5. Показаният подход за оценка на електроенергийната ефективност е приложен в конкретен обект – еднофамилна жилищна сграда в с. Доброглед, общ. Аксаково, обл. Варна.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Наредба №7/15.2004 г, изм. 02.2010 г. „Енергийна ефективност, топло-съхранение и икономия на енергия в сгради”

[2] Наредба № РД16-1058 09.2009 г. „Показатели за разход на енергия и енергийни характеристики на сградите”

[3] Закон за устройство на територията, 31.03.2001, изм. 16.07.2010 г.

[4] EN 15193 Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting

[5] EN 15232 Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management

[6] Анализ на нормативната уредба за енергийна ефективност в България и сравнение със стандарта пасивна сграда, ИГ Пасивни сгради, www.passive.bg

[7] Енергийна ефективност посредством eu.bas продукти, Радер М., Centra Line 5/2008, www.eubacert.eu

Автор: гл. ас. д-р Валентин Гюров - кат. „Електроснабдяване и електро-обзавеждане, Технически университет – Варна

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИТЕ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОЛИЗНИТЕ УСТАНОВКИ

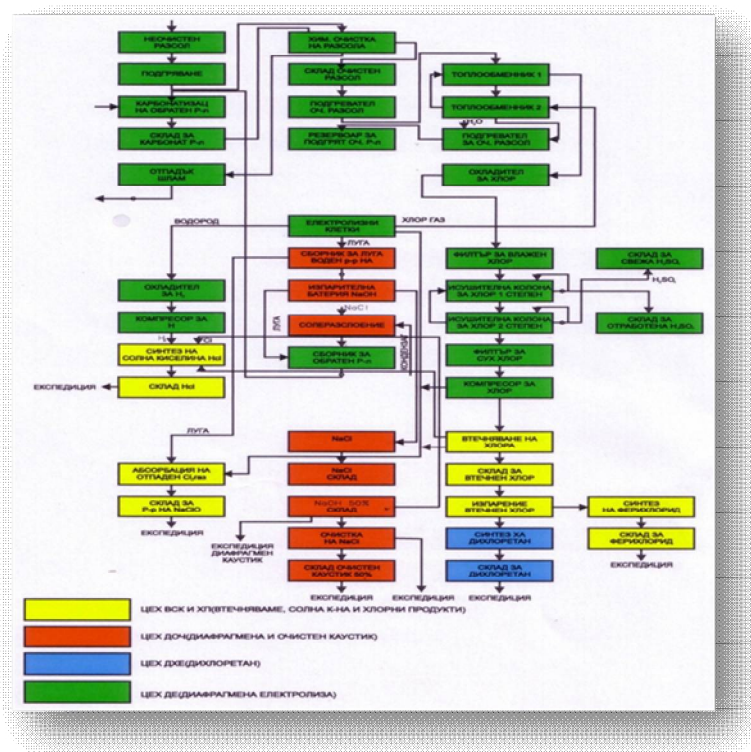
Румен Киров, Владимир Чиков, Валентин Гюров, Никола Македонски

RESEARCH ELECTRICITY PROCESSES IN ELECTROLYSIS PROCEEDINGS

Rumen Kirov, Vladimir Chikov, Valentin Gyurov, Nikola Makedonski

1. Технологични особености

Обект на настоящото разглеждане е ЕСС на голям химически завод, а именно Полимери АД. Производствените му звена преработват до стокови продуктите на хлоралкалната електролиза от цех „Електролизен” (фиг. 1). Постъпващият от „Провадсол” – Провадия разтвор на натриев хлорид под въздействието на постоянен ел. ток се разлага на ванна луга /12 – 13 % NaOH/, влажен хлор и водород. Ванната луга се подава в цех „Каустик” за концентриране. Изсушеният и компримиран хлор и водорода се приемат в цех „Втечняване” за преработка до стокови продукти – течен хлор и солна киселина.



Фиг. 1

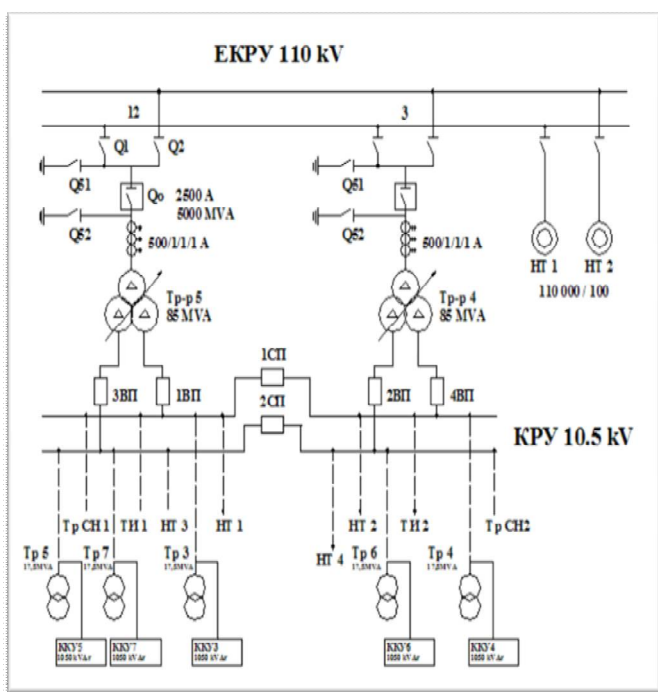
В цех „Каустик” ванната луга се концентрира до 50 % диафрагмен каустик, а в цех „ДХЕ” чрез директен синтез на изпарения хлор от цех „Втечняване

и солна киселина” и получавания от „Нефтохим” – Бургас по тръбопровод етилен се получава дихлоретан. Синтезът се осъществява в реактор и скрубър в присъствие на катализатор.

Цех „АВ” и цех „ПВК” осъществяват производството и доставката на необходимите за производствените процеси азот, компримиран въздух, охладена оборотна и свежа вода и топлоенергия.

2. Електроенергийни процеси и характеристики

Електролизният процес се осъществява в електролизери НУ 42 – 75 с общ брой на ваните 168. Същите са с модифицирана азбестова диафрагма и са произведени в САЩ, Италия и Германия. Електролизата се съпровожда със сложни процеси по повърхността на електродите. Границата електрод – разтвор играе ролята на кондензатор с активно – капацитивна проводимост, като тук се генерират и висши хармоници на тока (в.х.т.). По такъв начин към анодния ток се наслагват и променливи съставлящи, които нарушават стационарността на електролизния процес. Експерименталните изследвания показват, че при наличие на пулсации в изправения ток технологичния процес протича по – интензивно, от



Фиг. 2

Това са трансформатори Tr 3, 4, 5, 6, 7, $U_{\text{мр}} = 10,5 \text{ kV}$, при които регулирането на напрежението се осъществява ръчно под товар с диапазон на регулиране 11x1,5 %. Зависимостта $U_{\text{ел}} = f(I_{\text{ел}}, U_{\text{мр}})$ е необходимо да се оптимизира не само по отношение на технологичните параметри на електролизера, но и с отчитане на съществуващия фактор $U_{\text{мр}}$.

Изследванията показват, че приведените годишни разходи 3 [лв] зависят в квадратична форма от $U_{\text{мр}}$ и $I_{\text{ел}}$ (фиг. 3) и могат да се дефинират оптимални

колкото при тяхното отсъствие [3]. При пулсации с честота до 100 Hz, капацитета на кондензатора „електрод – разтвор” е най – голям и рязко се увеличава скоростта на протичане на технологичния процес. Пулсациите на тока подобряват също така равномерното му разпределение по повърхността на електродите, а също и газоотделянето от последните. Съществено влияние върху тока и напрежението ($I_{\text{ел}}$, $U_{\text{ел}}$) на електролизерите оказва отклонението на напрежението в захранващата мрежа на обекта $U_{\text{мр}}$ (фиг. 2).

стойности $U_{\text{мронт}}$ и $I_{\text{е.лонт}}$, при които β има минимум. Оптималната стойност $I_{\text{е.лонт}}$ е от съществено значение за минимизиране на β като не винаги минималните стойности на β , определени по двата критерия съвпадат. Икономическият ефект от въвеждане на стабилизация на $I_{\text{е.л}}$ в околността на оптималната стойност $I_{\text{е.лонт}}$ достига стойности (35 – 40) хил. лв. за година. Електролизните уредби се хранят с постоянно напрежение и ток $U_{\text{е.л}} = 600 \text{ V}$; $I_{\text{е.л}} = 240 \text{ A}$ получени от 12 фазни неуправляеми изправители схема Ларионов с естествено минимизиране нивото на висшите хармоници $n=12$; $k = \pm 1$. Техен основен недостатък е генериране на в.х.т. и консумация на реактивна мощност от мрежата, което налага съответната компенсация. Компенсиращата система на 10,5 [kV], $Q_k=5100$ [kVAr], е изградена основно за подобряване фактора на мощността на цех “Електролиза”, който е основен енергиен консуматор на завода. Необходимата компенсираща мощност се определя с помощта на израза :

$$Q_K = k \cdot P_{\text{ср.}} \cdot (tgj_e - tgj_{\text{ж}})$$

където : $P_{\text{ср.}}$ [kW] – среден месечен товар за пром. обекти ; tgj_e и $tgj_{\text{ж}}$ - естествения и желания tgj , съответстващи на $\cos(j_e)$ и $\cos(j_{\text{ж}})$; k – коефициент, отчитащ неравномерността на товаровия график ($k = 1,05 - 1,25$).

В таблица 1 са представени показаните по-горе величини като средни стойности за съответния месец на 2008 год.

Месец	k	$P_{\text{ср.}}$	$Q_{\text{ср.}}$	tgj_e	$tgj_{\text{ж}}$	Q_k
	[-]	[kW]	[kVAr]	[-]	[-]	[kVAr]
Януари	1,01	9 688,28	7 970,11	0,823	0,484	3 317,146
Февруари	1,01	9 235,57	7 441,81	0,806	0,484	3 003,592
Март	1,01	11 930,72	9 183,47	0,770	0,484	3 446,308
Април	1,01	10 244,21	7 610,63	0,743	0,484	2 679,783
Май	1,01	12 197,78	9 260,68	0,759	0,484	3 387,933
Юни	1,01	10 018,86	7 657,08	0,764	0,484	2 833,334
Юли	1,01	11 745,86	8 480,69	0,722	0,484	2 823,47
Август	1,01	12 983,06	8 850,42	0,628	0,484	2 596,352
Септември	1,01	14 281,67	10 099,38	0,07	0,484	3 216,661
Октомври	1,01	14 623,89	10 275,07	0,703	0,484	3 234,658
Ноември	1,01	18 075,14	18 075,14	0,682	0,484	12 321,53
Декември	1,01	17 971	17 971,25	0,718	0,484	12 899,79

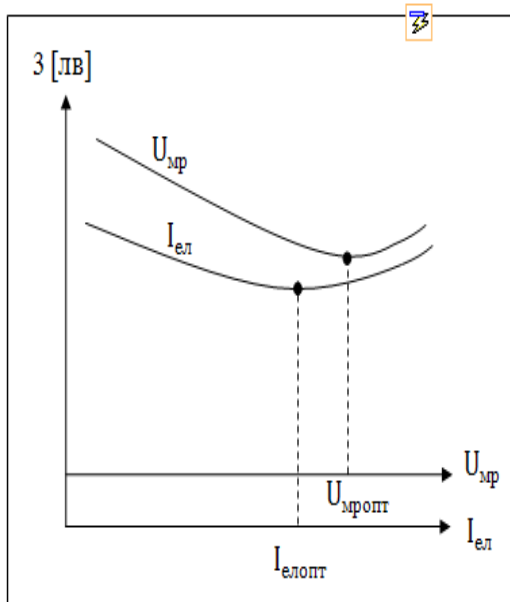
Анализа на получените в табл.1 резултати показва, че най-голямата реактивна мощност е за месец декември, при която $Q_k = 12\,899,79\text{ kVAr}$.

На базата на тази мощност са избрани кондензаторните батерии и е уточнено тяхното разпределение по групи. Мощността на кондензаторните батерии се избира в съответствие с формулата :

$$\sum Q_{KB} \approx Q_k$$

Възприемаме принципа на групова компенсация на реактивните товари, като броя на групите съответства на броя на токоизправителите, и всяка група е присъединена към съответен изправител (фиг.2). Мощността и енергетичните параметри на отделните изправители са еднакви, което е основание компенсиращите мощности на отделните групи да бъдат също еднакви.

Отчита се също така и факта, че прекомерното раздробяване води до значително увеличаване на комутационно – защитната апаратура и усложнява схемата. Мощността на комплектните кондензаторни устройства, при компенсация на средно напрежение (6 – 10 kV), се определя от табл. 2 .



Фиг.3

Препоръчителна мощност на ККУ за $U_n = 6 - 10\text{ kV}$						
300	450	600	750	900	1 050	1 200

Изхождайки от горните съображения, а също и от стандартната гама на мощностите на произведените от различни фирми кондензаторни батерии, се избира кондензаторната мощност на всяка група (ККУ) да бъде $Q_{KBг} = 805\text{ kVAr}$, следователно за общата компенсираща мощност се получава :

$$\sum_{i=1}^5 Q_{KBi} = 4025\text{ kVar}$$

За подобряване на мощностите във всяка група се изхожда от статистическите данни за динамиката на необходимата компенсираща мощност Q_k , представена в табл. 1 . Вижда се, че разликата между най-голямата и най-малката стойност на Q_k е $\Delta Q_{K\text{ max}} = Q_{K\text{ max}} - Q_{K\text{ min}} \approx 2000\text{ kVar}$.

Най-правилен от практическа гледна точка е подхода за разпределение на $\Delta Q_{K\text{ max}}$ правопрпорционално на всяка компенсираща група. Последното означава схемно да се осигури възможност за включване и изключване на ком-

пенсираща мощност в границите 350 – 400 kVAr. Понастоящем, съобразно Европейските норми, повечето кондензаторни батерии се произвеждат за $U_H = 7,2 \text{ kV}, 12 \text{ kV}, 24 \text{ kV}$.

Това е основание всяка група да бъде съставена от две кондензаторни батерии със стандартни мощности при $U_H = 7,2 \text{ kV}$, съответно равни на : $Q_{KB1} = 700 \text{ kVAr}, Q_{KB2} = 350 \text{ kVAr}$. Същите, работещи при номинално напрежение $U_H = 10,5 \text{ kV}$ ще имат мощност съответно : $Q_{KB1} = 536 \text{ kVAr}, Q_{KB2} = 268 \text{ kVAr}$. Полученото дотук се определя с израза :

$$Q_{KB} = Q_{KBH} \frac{U^2}{U_H^2}$$

Така реализираното три стъпково изграждане на всяка група дава възможност за постигане на оптимизирани режими на реактивните мощности. Вследствие на всичко това се избират пет броя ККУ, като мощността на всяко едно е $Q_{ККУ} = Q_{KB1} + Q_{KB2} = 700 + 350 = 1\,050 \text{ kVAr}$. Всяко от тях е съставено от два броя ККУ с посчена мощност и се изгражда от две самостоятелни полета с възможност за независимо комутиране.

Избрани са трифазни кондензаторни батерии, чешко производство :

Q_{KB1} – тип СРЕFS 23 – 12,5/700 производство на ZEZ Silko ;

Q_{KB2} – тип СРЕFS 23 – 12,5/350 производство на ZEZ Silko ;

Q_{KB21} – тип СРАKS 11 – 12/100 производство на ZEZ Silko ;

Q_{KB22} – тип СРАKS 11 – 12/250 производство на ZEZ Silko ;

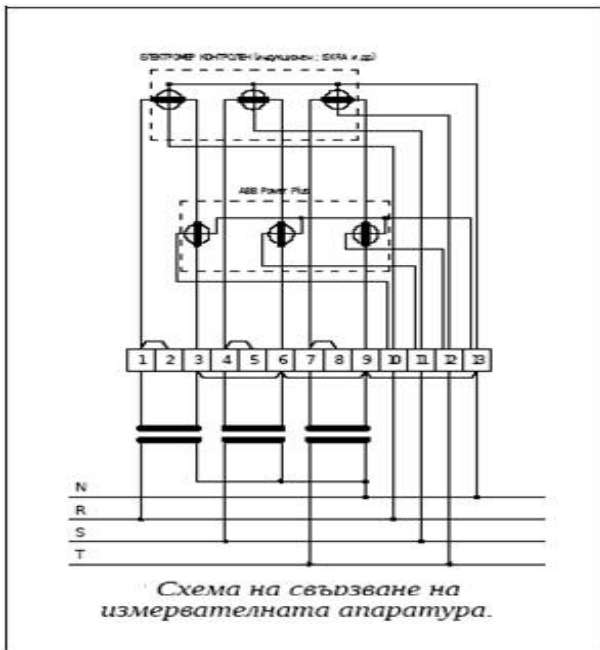
Q_{KB21} и Q_{KB22} са свързани паралелно, работещи като една КБ с мощност 350 kVAr.

При синтеза на схемното решение е застъпен принципа за реализиране на максимално опростена схема, като в същото време се осигурява необходимата надеждност в работата на съоръжението. Освен това, схемното решение в много силна степен трябва да застъпва основната функция на съоръжението, а именно ефективна компенсация на реактивните товари и в по-малка степен останалите по второстепенни функции, като например регулиране на напрежението, регулиране на тока и др.

Висшите хармоници на напрежението влияят съществено на режима на работа на кондензаторните батерии. Изменя се в значителна степен линейния характер на честотните характеристики на мрежата и е възможно възникването на резонансни явления в L – C контура на мрежата и КБ. Използването на ФКУ за намаляване на K_{HC} чрез подтискане на част от висшите хармоници е не винаги ефективно, тъй като освен канонични хармоници съществуват и аномални, които трудно се прогнозират и анализират. Като най-прост метод за реализиране на ФКУ може да се счита използването на КБ, включени непосредствено към шинната система без реактори, какъвто е случаят в настоящата схема. КБ имат основна функция компенсация на реактивните товари, но наред с това те се явяват и естествени филтри на висшите хармоници на тока, тъй като съпротив-

лението им се намалява с нарастване на честотата и се осъществява шунтиране на съответния хармоник на тока.

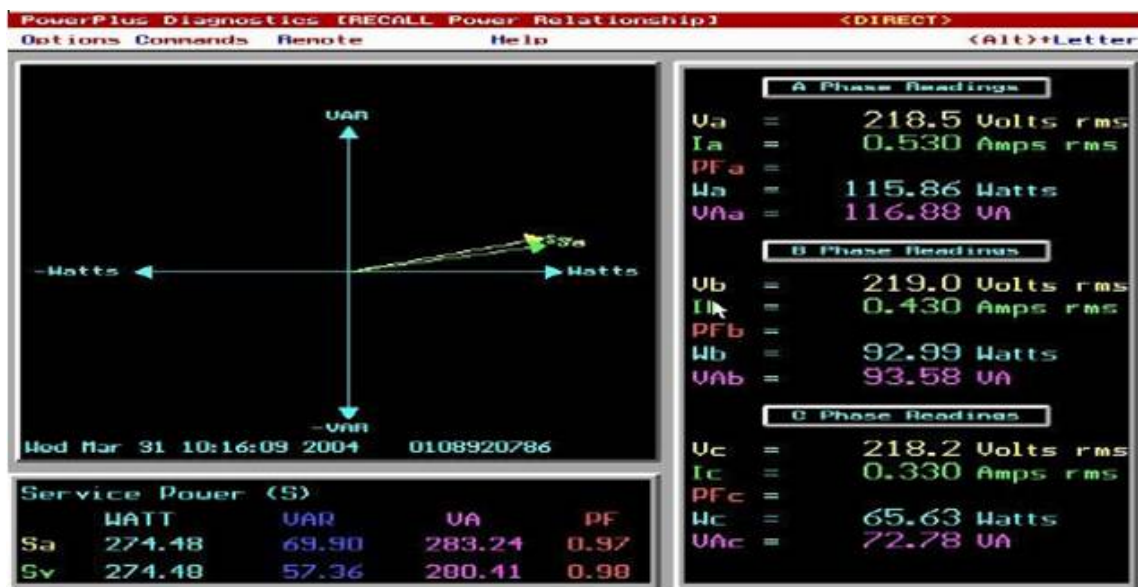
За определяне на показателите на качество на ел. енергия и ефекта от компенсацията на реактивните товари са проведени изследвания с помоща на измервателна система на базата на ABB Power Plus работеща със софтуер PPDS, разработен от Power T&D. За нуждите на изследването е разработен специален алгоритъм в среда Mathcad.



Фиг. 4



Фиг. 5



Меню, показващо съотношението на мощностите Sa (трифазна пълна аритметична мощност) и Sv (трифазна пълна векторна мощност), трифазния фактор на мощността PF в двата случая, трифазната привидна реактивна мощност, както и стойностите на токовете, напреженията, пълната и активната мощност за всяка фаза.

Фиг. 6

Системата се свързва към съществуващото измерване по схема показана на фиг.4, а на фиг.5 и фиг.6 са показани някои типични графични изображения от разнообразното меню на използваната апаратура.

Ефектът от компенсацията се изразява с намаляване на реактивния товар Q и деформационната мощност D , съответно с около 29 % и 52 %, с което загубите на мощност и ел. енергия се намаляват в границите (30 – 40) % и се снижава консумацията на ел. енергия с (2 – 4) %.

3. Изводи:

1. В разработката е потвърдена необходимостта от оптимизиране режима на работа на електролизните установки. Освен с технологични средства това се осъществява с регулиране на захранващото напрежение 10,5 kV, с което може да се достигне икономически ефект над 40 хил. лв годишно. При това не е необходимо да се правят допълнителни капиталовложения.
2. Установено е благоприятното влияние на пулсациите на изправения ток върху интензивността на технологичния процес на електролизата. Равномерното разпределение на тока по повърхността на електродите и ускоряването на газоотделянето подобряват износването на анодите.
3. Компенсацията на реактивните товари минимизира реактивните и деформационните мощности, осигурява икономия на ел. енергия в границите (2 – 4) % и спестява парични средства от неплащане на глоби за лош $\cos\phi$ от порядъка на 150 хил. лв в годишен разрез.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Жежеленко, Н. Висшие гармоники в системах Электроснабдения промышленных предприятий, М. Энергия, 1984 г.
- [2] Шевченко, В. Эффективные системы электроснабдения промышленных предприятий цветной металлургии, М., 1986 г.
- [3] Гусейнов, Ф. И др., Экономичность режимов Электрических сетей, М., Энергоатомиздат, 1984 г.

ОТНОСНО МЕТОДИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОНВЕНЦИОНАЛНИТЕ ЗАГУБИ НА МОЩНОСТ И ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ

Румен Киров

Резюме. Анализирани са съществуващите методи за определяне на загубите на мощност и енергия, с цел да се маркират най-адекватните от тях за приложение в ЕСС на промишлени обекти.

FOR CALCULATING THE CONVENTIONAL LOSS OF POWER AND ELECTRICITY IN THE INDUSTRIAL SITES.

Rumen Kirov

Abstract. Analyzed the existing methods for determining the loss of power and energy in order to mark the most appropriate of them for use in the ESS of industrial sites.

Структурно загубите на мощност и ел. енергия, включват в себе си загуби при транспортиране, или трансфер (това са всички технически загуби) и загуби при потребление на ел. енергия (загуби от грешки, кражби, разхищения и др.). За промишлени обекти, частта от техническите загуби, зависещи от товара, могат да се определят с един от следните детерминирани методи [1 ÷ 8] : метод със средните товари (6,10,20,35,110,220 kV); метод с времето на максималните загуби (6,10,20, 35 kV) ; метод на обобщената информация за схемите и товарите на промишлените обекти (0,4 kV); практическиприложни вероятностно-статистически методи и подходи (0.4,6,10,20, 35 kV) .

1. Метод на средните товари

Загубата на електрическа енергия ΔW , при този метод се определя от изразите :

$$\Delta W = \Delta P_{cp} \cdot T \cdot K_{\phi}^2 \quad (1) \quad K_{\phi}^2 = \sum_{i=1}^m P_i^2 \cdot \Delta t_i / P_{cp}^2 \cdot T \quad (2)$$

където : ΔP_{cp} - загуби на мощност в мрежата при средни стойности на товара в разглеждания възел; T - продължителност на разглеждания интервал; K_{ϕ} - коефициент на формата на товаровия график (Т.Г.) за разглеждания интервал; P_i - товар на i -тата степен на Т.Г. с продължителност Δt_i ; m - брой на степените на Т.Г. ; P_{cp} - среден товар за разглеждания период T .

При липса на почасов годишен Т.Г., което е нормално явление, K_{ϕ}^2 се определя от израза :

$$K_{\phi}^2 = K_{\phi_0}^2 \cdot K_{\phi_m}^2 \cdot K_{\phi_2}^2 \quad (3)$$

където : $K_{\phi_0}^2$; $K_{\phi_m}^2$ и $K_{\phi_2}^2$ са коефициенти на формата съответно за денонощния, месечния и годишния Т.Г.

При липса на горните товарови графици, K_{ϕ}^2 се изчислява от изразите :

$$K_{\phi}^2 = \frac{1+2K_3}{3K_3} \quad (4) \quad K_3 = \frac{W_0}{P_{max} \cdot T} = \frac{T_{max}}{T} = \frac{P_{cp.}}{P_m} \quad (5)$$

В (5) W_0 е консумираната електроенергия в мрежата за време T ; T_{max} са часовете на използване на максималния товар в ЕСС на обекта ; $P_{cp.} = W/T$ - среден товар за обекта, определен като консумирана електроенергия W за време T , към това време.

2. Метод с времето на максималните загуби

За определяне на ΔW , по този метод се използва израза :

$$\Delta W = \Delta P_{max} \cdot T \cdot \tau \quad (6) \quad \tau = \sum_{i=1}^m P_i \cdot \Delta t_i / P_{max}^2 \cdot T \quad (7)$$

където : ΔP_{max} - загуби на мощност в режим на максимален товар на обекта ; τ - относителният брой часове с максимални загуби на мощност ; P_{max} - максимална стойност на товара от всичките m стойности P_i в разглеждания интервал.

При липса на почасов годишен Т.Г., относителната стойност τ , се определя от израза :

$$\tau = \tau_0 \cdot \tau_m \cdot \tau_N \quad (8)$$

където : τ_0 , τ_m и τ_N - относителен брой часове с максимални загуби за денонощен, месечен и условен N-период (най-често годишен) .

При липса на каквито и да е товарови графици, τ се определя от израза (по аналогия с (4)) :

$$\tau = \frac{K_3 + 2K_3^2}{3} \quad (9)$$

3. Метод на обобщената информация за схемите и товарите на обекта

Метода е приложим за мрежи 6, 10 и 0,4 kV и се състои в определяне на загубите на ел. енергия в зависимост от дължината и количеството на линиите, сумарната мощност и количеството на ел. оборудването, получени на база техническите параметри на захранващите линии и ел. оборудването. Използват се обобщени данни за мрежите – брой линии, сечение и дължина на кабелите в главните участъци, сумарна дължина и средно сечение на магистралите,

аналогична информация за отклоненията (еднофазни, двуфазни, трифазни и т.н.). Необходимо е да се отчита и делът на електроенергията d_n , която се консумира директно от шинната система в ЦП без загуби от пренос. Отчитайки горните съображения се предлага следния израз за определяне на ΔW :

$$\Delta W = K_{HH} \cdot \frac{W^2(1-d_n)^2 \cdot (1 + \tan^2(j) \cdot L_{екв.})}{F_T \cdot D} \cdot \frac{1 + 2K_3}{3K_3} \quad (10) \quad K_{HH} = 7,78 - 2,67d_p - 1,48d_p^2 \quad (11)$$

където : W - консумирана електроенергия за D на брой дни ; $L_{екв.}$ - еквивалентна дължина на захранващата линия ; F_T - сечение на главната захранваща линия; K_{HH} - коефициент отчитащ разпределението на товарите по дължината на захранващата линия и разпределението им по фази, за $r_0 = 28,5/F$; d_p - дял на товарите , разпределени по дължината на захранващата линия;

4. Практично-приложни вероятностно-статистически методи и подходи

Разглеждат се три основни групи методи :

I Първа група статистически методи

Базират се на адекватно определяне на товарите и еквивалентните съпротивления в ЕСС на разглежданите обекти R_e и X_e . Това са съпротивления на условно неразклонена мрежа, токът по която е равен на тока на главния участък на мрежата и загубите на ел. енергия са равни на действителните загуби в мрежата. За магистрална линия с дължина l и m на брой разпределени ел. товари, R_e и X_e са приблизително равни [10] :

$$R_e \approx 0,166 \cdot r_0 \cdot l \cdot h ; X_e \approx 0,166 \cdot x_0 \cdot l \cdot h ; h = (1 - m^{-1})(2 - m^{-1})$$

За радиална мрежа на цехово табло с m присъединени потребители със захранваща линия с $R_{запр.}$, R_e и X_e са :

$$R_e = R_{запр.} \left(\gamma + \sum_{(i=1)}^m R_i \right) \gamma ; X_e = X_{запр.} \left(\gamma + \sum_{(i=1)}^m X_i \right) \gamma ; \gamma = m^{-2} \cdot R_{запр.}^{-1}$$

Предлагат се следните изрази за определяне на загубите на електроенергия:

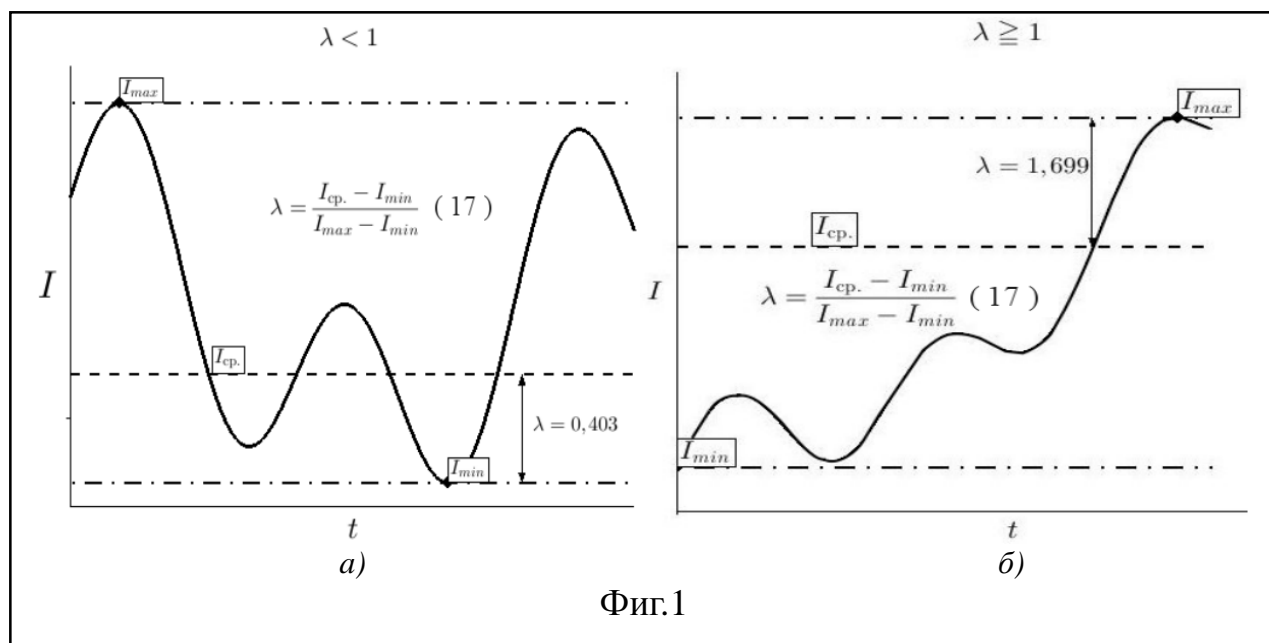
$$\Delta W = \frac{R_{екв.}}{\gamma^2} \left(\frac{W_P^2 + W_Q^2}{T} + 3U^2 \cdot D_I \cdot T \right) \quad (12) \quad \Delta W = \frac{R_{екв.}}{\gamma^2 \cdot T} (W_P^2 + W_Q^2) \left(1 + \frac{D_I}{I_{cp.}^2} \right) \quad (13)$$

където : D_I - дисперсия на тока на разглеждания обект ; $I_{cp.}$ - средна стойност на тока за разглеждания интервал от време T , определен от израза :

$$I_{cp.} = \frac{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot T} \quad (14)$$

В (12), (13) и (14) ΔW_P и ΔW_Q са консумираните за разглеждания период активна и реактивна енергия.

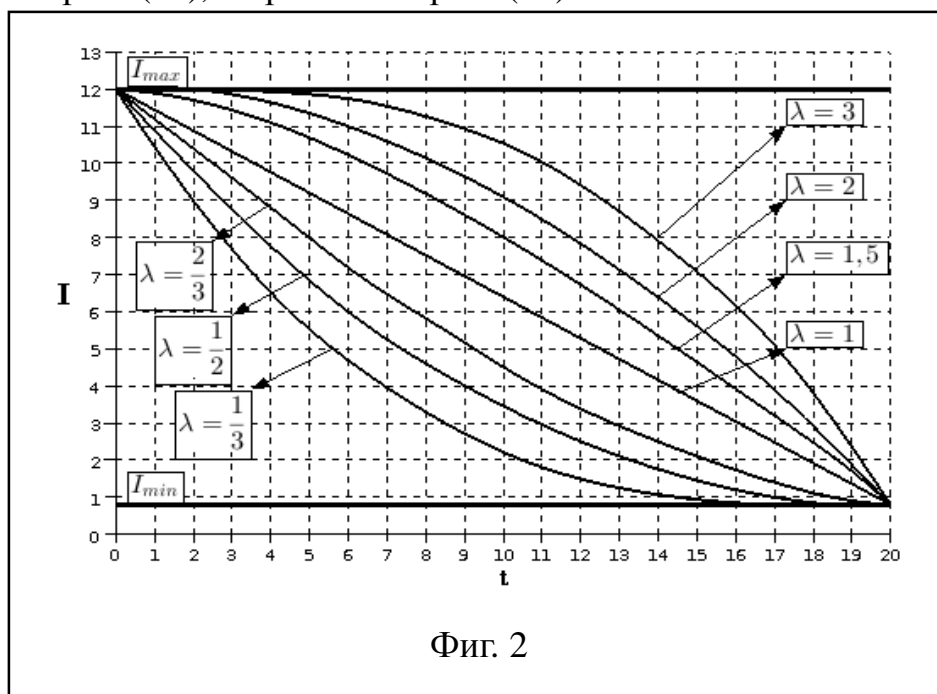
Разглежданият метод е графоаналитичен (фиг. 1).



Той се основава на определяне на изчислителна стойност на тока I , в зависимост от параметъра λ , представени с помощта на изразите :

$$I = I_{max} - (I_{max} - I_{min}) \left(\frac{t}{T} \right)^\lambda \quad (15) \quad I = I_{min} + (I_{max} - I_{min}) \left(1 - \frac{t}{T} \right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad (16)$$

На фиг. 2 са представени семейство криви $I(\lambda, t) = f(t)$, описвани от изразите (15), (16) и (17), за различни стойности на λ . Препоръчва се при $\lambda > 1$ да се използва израза (15), а при $\lambda < 1$ - израза (16).



Дисперсията D_t в (12) и (13) се определя в зависимост от стойността на λ :
 ∅ за $\lambda < 1$

$$D_I = \frac{(I_{max} - I_{cp.})^2 (I_{cp.} - I_{min})^2}{(I_{max} - I_{cp.} - 2I_{min})^2} \quad (18)$$

Ø за $\lambda \geq 1$

$$D_I = \frac{(I_{max} - I_{cp.})^2 (I_{cp.} - I_{min})^2}{(I_{max} + I_{cp.} - 2I_{min})^2} \quad (19)$$

В представената аналитична постановка (изрази 12 ÷ 19) се вижда, че всъщност ΔW се определя в зависимост не само от интегралните величини W_p и W_Q , но и от дискретните характеристики на товара, каквито са I_{min} , $I_{cp.}$ и I_{max} . Друга съществена особеност на метода е липсата на допълнителни измервания и разчети при определяне на $R_{екв.}$. То се определя непосредствено от параметрите на мрежата и за СТ и захранващи линии се използват изразите :

$$R_{екв.}^{CT} = \frac{\sum_{j=1}^m R_j^{CT} \cdot S_{H_j}^2}{S_{\Sigma H}^2} = \frac{U_H^2}{S_{\Sigma H}^2} \cdot \sum_{j=1}^m \Delta P_{H_j} \quad (20) \quad R_{екв.}^{Л} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^{Л} \cdot S_{H_i}^2}{S_{\Sigma H}^2} \quad (21)$$

където : S_{H_i} - сумарна мощност на СТ, получаващи захранване по участъци със съпротивления R_i ; $S_{\Sigma H}$ - сумарна обща мощност на СТ ;

Общото еквивалентно съпротивление е сума от еквивалентните съпротивления на СТ и захранващите линии.

I Втора група статистически методи

Определянето на загубите на електроенергия става с отчитане на β -разпределението на товара. Основна характеристика на груповия годишен товаров график, е продължителността на максималния товар T_{max} . В зависимост от стойността на T_{max} , функцията на разпределение на товара се мени между крайните стойности I_{min} и I_{max} (фиг.1). Може да се построи график по продължителността на товара (подреден график). Той се подчинява на β -разпределението $B(x, \gamma, \eta)$, което се дефинира с интеграла [5] :

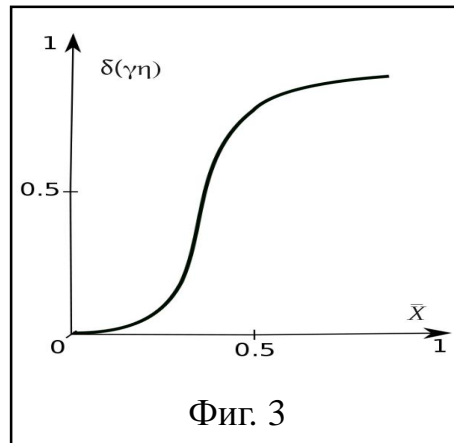
$$B(x, \gamma, \eta) = \int_0^1 x^{\gamma-1} \cdot (1-x)^{\eta-1} \cdot dx \quad ; \quad \text{за } 0 \leq x \leq 1 \quad ; \quad \gamma > 0 \quad ; \quad \eta > 0 \quad (22)$$

Загубите на електроенергия с отчитане на β - разпределението на товара, се определят от израза [3] :

$$\Delta W = R_{екв.} \cdot T \cdot [I_{min}^2 + (I_{max}^2 - I_{min}^2) \delta(\gamma, \eta)] \quad (23)$$

където : $\delta(\gamma, \eta)$ - коефициент на формата на подредения график на товара, определен като сума от произведенията на товара x_i по вероятността P_i за неговото появяване :

$$\delta(\gamma, \eta) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i \quad (24)$$



Параметрите γ и η , зависят от средната стойност \bar{x} и дисперсията D_x , следователно $\delta(\gamma, \eta)$ се определя също от \bar{x} и D_x . В първо приближение на фиг.3, е представена зависимостта $\delta(\gamma, \eta) = f(\bar{x})$. Всъщност в случая, случайната величина \bar{x} е относителна средна стойност на тока $I_{cp.}^*$, определен от израза :

$$\bar{x} \equiv I_{cp.}^* = \frac{I_{cp.} - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (25)$$

където : $I_{cp.}$ се определя по (14).

Когато е необходимо да се анализират загубите на електроенергия за период от една година, по (17) се определя съответното λ , от фиг.2 се засичат конкретните разчетни максимален и минимален ток, по (14) и (25) се определят стойностите за $I_{cp.}$ и \bar{x} , след което от фиг.3 се получава $\delta(\gamma, \eta)$. По този начин всички неизвестни величини са определени и с помощта на (23) се изчислява ΔW .

I Трета група статистически методи

Това са най-съвременни методи с използване на регресионни модели, получени, чрез прилагане на теорията за планиране на експеримента (ТПЕ). При планиране от втори порядък, се използват следните многофакторни модели от вида :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{\substack{i,k=1 \\ i < k}}^m b_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 \quad (26)$$

където : b_0, b_i, b_{ik}, b_{ii} - регресионни коефициенти на модела (свободен член, пред първите степени, ефекти на взаимодействие и пред квадратичните членове); x_i - съществени фактори (СФ) на брой m ; Y - изходен параметър (ИП);

Изследователският процес се развива в няколко етапа :

- Ø Идентификация на изследваната целева функция (ЦФ). За параметър на оптимизация (ПО), функция на отклика (ФО), или ЦФ, обикновено се избират ΔW , или ΔP . При изследване на множество от промишлени обекти с различен режим на работа и различни времена на експлоатация, ΔP е с по-висока тъждественост и обоснованост от ΔW . За

ПО може да бъде избрана и величината δW , представляваща отклонение на фактическите (реалните) загуби на електроенергия ΔW_ϕ от икономически целесъобразните (минимално допустими) загуби ΔW_0 , валидни за моментното състояние на електроенергетиката:

$$\delta W = \Delta W_\phi - \Delta W_0.$$

- ∅ Изследване на математическите модели (ММ). По критерий на Кохрен или Бартлет се извършва проверка за еднородността на корелираните дисперсии в отделните точки от плана на експеримента. За целта е необходимо да се проведат паралелни опити в тези точки. Потвърждаването на тази проверка е гаранция за възпроизводимост на резултата от изследването. Адекватността на ММ се проверява с помоща на критерий на Фишер.
- ∅ Избор на СФ. По априорна информация и на базата на експертен опит за СФ могат да се приемат потребяваната в ЕСС активна енергия W_a ; активната и реактивната мощност (товара на потребителите) P ; сумарната дължина и брой на линиите в ЕСС - L и n ; съответната дължина и брой на магистралите и отклоненията от тях - L_M, n_M и L_0, n_0 ; сумарната мощност, броя и коефициента на трансформация на СТ - $S_{T\Sigma}, n_{CT}, K_T$; сумарната мощност на източниците на реактивна мощност $Q_{ИРМ}$; коефициента на формата на товаровия график - K_ϕ ; отклонението на напрежението в отделните възли на ЕСС - δU ; загубите на мощност на КС и празен ход в СТ - ΔP_K и ΔP_0 и др. Както се вижда, СФ могат да имат режимен и схемен характер. При изследването е възможен подход на еквивалентирание както на режимните, така и на схемните параметри. Най-правилно е това да става с помоща на средностатистическите стойности на характеристиките в структурата на техническата йерархия и топология на ЕСС на обекта. Естествено при реализирането на този подход трябва да се съблюдават всички основни изисквания в ТПЕ, предявени към СФ, а именно: СФ да имат интервал на определение, в който да допускат количествена оценка; СФ да бъдат управляеми; СФ да бъдат независими.
- ∅ Изследване на регресионните коефициенти на ММ. Извършва се проверка за значимост на регресионните коефициенти на ММ по критерий на Стюдънт. Статистически незначимите регресионни коефициенти предизвикват отпадане на съответните членове от ММ и се опростява математическият анализ на процесите. Ако се работи в среда Matlab, е допустимо ММ да остане напълно окомплектован с всички свои възможни членове.
- ∅ Изследване на оптимума на ЦФ и СФ. По принцип мрежите СН в промишлените обекти имат съществен дял в общите загуби на мощност и електроенергия. Те обаче се характеризират със сложност на схемите, широка номенклатура и разнообразие на електрическите съоръжения и апаратура, неустановеност и нееднозначност на характеристиките и

състоянието на елементите на мрежата – включено или изключено състояние, изменение на схемите, елементите, потребителите и др. Всичко това влияе негативно върху възможностите за минимизиране и оптимизиране на загубите на мощност и електроенергия. По принцип се счита, че активния и реактивния товар P и Q са главни СФ, влияещи върху загубите на мощност и електроенергия, и те трябва да служат като основен инструмент за въздействие върху режима на загубите. Такъв подход обаче на практика не може да се реализира, защото P и Q са технологично обвързани с работата на потребителите и в крайна сметка с производствения процес.

Следователно основно средство за въздействие върху ΔW и ΔP трябва да се търсят сред другите СФ, като процеса на оптимизация се свежда до определяне на статистически значими оптимални нива на L и n ; L_M и n_M , L_0 и n_0 ; $S_{T\Sigma}$; n_{CT} ; K_T ; $Q_{ИРМ}$; K_ϕ ; δU ; ΔP_K и ΔP_0 , които определят съответно и оптимални стойности на ЦФ. Естествено, в съответствие с условията на експериментите в ММ може да фигурират само някои от изброените по-горе СФ. Ако ММ от втори порядък са адекватни, оптимизацията им се извършва в следния порядък: 1. Определя се центъра на ЦФ (26), след което полученото регресионно уравнение се привежда в канонична форма и се определя неговия тип; 2. Определя се местоположението на оптимума на изследвания ИП вътре в областта на вариране на СФ, или на границата на тази област. Координатите на центъра на ПО се определят като се решат уравненията (27). Корените на тази система определят центъра Ц, с координати $x_{1Ц}, x_{2Ц}, \dots, x_{mЦ}$.

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial Y}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{\partial Y}{\partial x_2} = 0 \\ \mathbf{M} \\ \frac{\partial Y}{\partial x_m} = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{След трансляция на началото на координатната система в} \\ \text{т.Ц, ММ (27) се преобразува във вида:} \\ (27) \quad Y - Y_u = \sum_{\substack{i,k=1 \\ i < k}}^m b_{ik} x'_i x'_k + \sum_{i=1}^m b_{ii} x'^2_i \quad (28) \\ \text{където: } x'_i = x_i - x_{iЦ}; i = 1, 2, \dots, m; Y_u - \text{стойност на ИП в т. Ц;} \end{array}$$

Дясната част на (28) е квадратична форма $F(x'_1, x'_2, \dots, x'_m)$, чийто коефициенти съвпадат с регресионните коефициенти на нелинейната част на ММ (26). Привеждайки тази квадратична форма в каноничен вид, получаваме следното регресионно уравнение:

$$Y - Y_u = \lambda_1 \cdot z_1^2 + \lambda_2 \cdot z_2^2 + \dots + \lambda_m \cdot z_m^2 \quad (29)$$

където $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ - собствени числа на матрицата на квадратичната форма $F(x'_1, x'_2, \dots, x'_m)$, т.е. на матрицата:

$$H = \begin{vmatrix} b_{11} & 0,5b_{12} & 0,5b_{13} & \dots & 0,5b_{1m} \\ 0,5b_{21} & b_{22} & 0,5b_{23} & \dots & 0,5b_{2m} \\ & & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ 0,5b_{m1} & 0,5b_{m2} & 0,5b_{m3} & \dots & b_{mm} \end{vmatrix} \quad (30)$$

елементите на която са съставени от съответните коефициенти b_{ik} и b_{ii} на (26). Параметрите z_1, z_2, \dots, z_m са нови фактори, които съвпадат с т.н. главни оси на матрицата H , а следователно и с главните оси на ПО. Те са свързани с междинните фактори x'_1, x'_2, \dots, x'_m , чрез неизроденото преобразуване :

$$X' = U.Z \quad (31)$$

където стълбовете на матрицата U е съставена от нормираните собствени вектори на матрицата H . При това на всяко собствено число λ_i , съответства вектор C , наречен собствен вектор. Ако всички собствени числа $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ имат еднакви знаци, то ПО има екстремум в центъра на плана Ц. Този екстремум е максимум, ако всички собствени числа са отрицателни и минимум, ако всички са положителни. Оптималната стойност на ЦФ съвпада в този случай с т.Ц., ако тя се намира в областта на вариране на СФ и някъде по границата на тази област, ако т.Ц. се намира вън от нея. Ако собствените числа имат различни знаци, то ЦФ е минимаксна и оптималната точка ще бъде винаги на границата на областта на вариране на СФ.

5. Изводи

1. В изследването са подбрани методи с интегрални характеристики, при които за разлика от методите с диференциран подход загубите не се определят по отделни звена и елементи (отделно за СТ, хранващи линии, потребители и др.), а глобално за ЕСС като цяло. Всички разгледани методи са приложими за ниско, средно и високо напрежение.

2. Първите три метода имат основно детерминиран характер. Те използват данни от измервателните прибори за W_i , $P_{ср.}$, P_{max} и др. величини схемотехническа информация за параметрите на линиите (сечения, дължини, съпротивления), а също така информация за режимните параметри (τ , K_3 , K_f , D и др.). Точността на методите се определя от достоверността на информацията, която много често има ограничена пълнота, зависи от субективни фактори, така че освен систематичен тя има и случаен характер. Метода на средните товари и метода с τ , се характеризират с голям брой допускания и условности за τ , K_f , K_3 . Това внася допълнителна постоянна неточност, а също така и погрешност от неадекватност, изразяваща се в несъвпадане по време на характеристиките на отделните елементи с тези на мрежата като цяло.

3. Мрежите СН и НН в промишлените обекти поради своята сложност се характеризират с ниска степен на достоверност и пълнота при обследване на

параметрите им, което води до неточности в разчетите. Това обуславя и високата по литературни данни погрешност при метода на обобщената информация (до 37 %), който е приложим основно за мрежи НН.

4. С висока адекватност и значимост са регресионните методи, построени на базата на ТПЕ. Получените многофакторни ММ, могат да отчетат различни схемотехнически промени, а също и динамиката на режимните параметри, което ги характеризира с висока достоверност и точност. Освен това те са универсално приложими, с грешка на разчетите до 10 % както за цехови мрежи НН и СН, така и за хранващи и разпределителни мрежи. Тези обстоятелства превръщат вероятностно-статистическите подходи, респективно ТПЕ, в доста привлекателни за изследователите, още повече, че методологията на планирания експеримент позволява решаване на оптимизационни задачи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Железко, Ю. С. Методика расчета нормативов технологических потерь электроэнергии в электрических сетях, Промышленная энергетика, 2007 №1
- [2] Железко, Ю. С. Интервалы неопределенности расчетных потерь электроэнергии в электрических сетях, Электричество 2009, № 2.
- [3] Воротицки, В. Э. и др. Потери электроэнергии в электрических сетях, Энергоатомиздат, 1983.
- [4] Вакулко, А. Г. Прогнозирование уровня потерь электроэнергии в сетях 6 ÷ 10 kV с помощью методов факторного планирования эксперимента, Сборник научных трудов, № 96, 1986.
- [5] Гринь, А. И. и др. Расчеты потерь электроэнергии в электрических систем, Сборник трудов, № 104, 1986.
- [6] Токаренова, М. С. Применение факторно-регрессионного анализа для управления уровнем потерь электроэнергии в электрических сетях, Сборник труды, № 125, 1987.
- [7] Шевченко, В. В., Е. И. Грачева. Определение потерь электроэнергии в цеховых сетях напряжением до 1000 В, Промышленная энергетика, № 10, 2001.
- [8] Славгородский, В. Б. и др. Расчет потерь электроэнергии в системе электроснабжения Магнитогорского металлургического комбината, Промышленная энергетика, № 3, 2001.
- [9] Тъкер, Х. Математическа статистика, НИ, София, 1968.
- [10] Фьодоров, А. А., Н. Василев, С. Сидеров. Електроснабдяване на ПП., С. Техника 1979.

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СЪВМЕСТИМОСТ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИ СИСТЕМИ НА ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ

Румен Киров, Владимир Чиков, Валентин Гюров, Никола Македонски

Резюме. Анализирани са съществуващите методи за определяне на загубите на мощност и енергия. Целта е да се определят най-адекватните постановки приложими в ЕСС на промишлените обекти и реално да се приложат и апробират.

RESEARCH AND ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN OPERATIONS OF THE POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL SITES

Rumen Kirov, Vladimir Chikov, Valentin Gyurov, Nikola Makedonski

Abstract. Analyzed the existing methods for determining the loss of power and energy. The goal is to determine the most appropriate formulations applicable in the electrical supply systems of industrial sites and effectively implement and testing.

1. Увод

Електромагнитната съвместимост (ЕМС), представлява способността на отделните потребители да работят нормално в електромагнитната среда, съществуваща в ЕСС на промишлените обекти и да не създават недопустими смущения, нарушаващи нормалната работа на другите потребители. Генерираните от потребителите смущения могат да влошат както параметрите на мрежата, с което намаляват нейната пропускателна способност, така и на електрическата енергия (ЕЕ) и да влошат нейното качество. Заложените в стандартите изисквания за показателите за качеството на електрическата енергия (ПКЕЕ), респективно за ЕМС, се определят от вида на ЕСС на различните държави (1,2,3,4). В Република България, като член на Европейския съюз, валидност имат стандартите от група БДС EN, като съществуват тесни релации със стандартите от група IEC. Стандартите и препоръчителните практики от групи IEEE, тези на САЩ (ANSI), Русия(ГОСТ), Китай (CNS), Япония (JIS), нямат задължителен характер, но е препоръчително да се вземат предвид при внедряване на ел. съоръжения от чуждестранен произход. За оценка на изискванията към нечетните хармоници на тока от трети до тридесет и девети хармоник, Европейската организация по стандартизация в електротехниката (CENELEC) и Международната електротехническа комисия (МЕК), въведоха стандартите IEC 555 и EN 60 555.

Нивата на допустимите стойности за хармоничен състав на напреженията се дефинират от различни стандарти имащи различна тежест на изискванията спрямо потребителите и енергосистемата. Основни са IEC 19-1992 разработен от IEC, група стандарти IEC61000 (част I до част IV) разработени от International Electrotechnical Commission (IEC) със седалище Женева, Швейцария, БДС EN 50160 и БДС EN 60555-2. БДС EN 50160 има приемственост от стандарт IEC 61000-3-6, а БДС EN 60555-2 от стандарт IEC61000-3-2 и IEC61000-3-4. От своя страна БДС EN 60555-2, произхожда от IEC555-2 и вече отменения BS555 (British Standard) [1, 5, 6].

Стандарти касаещи електромагнитната съвместимост (EMC) [3] :

- Ø IEC61000-3-2 (2000) EMC – допустими нива на хармоничния състав за потребители ниско напрежение с ток до 16А включително ;
- Ø IEC61000-3-4 (1998) EMC – допустими нива на хармоничния състав за ЕСС ниско напрежение с потребители с консумация по-голяма от 16А ;
- Ø IEC61000-3-6 (1996) EMC – допустими нива на хармоничния състав за ЕСС средно и високо напрежение ;

По-голямата тежест на посочените IEC стандарти идва от факта, че те поставят сериозни ограничения не само върху хармоничния състав на напрежението, а и върху този на тока. Най-големи изисквания има стандарт IEC519, където различните допустими нива се определят не само от номера на хармоника, а и от отношението на консумирания ток към тока на късо съединение в точката на присъединяване на потребителят (табл. 1).

Таблица 1

$I_{кв.} / I_H$	Максимално допустим коефициент на изкривявания на тока v – хармоник.					$I_{ТНД}$ [%]
	$v < 11$	$11 < v < 17$	$17 < v < 23$	$23 < v < 35$	$35 < v$	
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 - 50	7,0	7,0	2,5	1,0	0,5	8,0
50 - 100	10,0	10,0	4,0	1,5	0,7	12,0
100 – 1000	12,0	12,0	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1 000	15,0	15,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Изискванията на стандарта БДС EN50160 касаят мрежи СН и НН. Той по същество не поставя изисквания върху хармоничния състав на токовете, а разглежда единствено напреженията (за разлика от IEC61000-3-X стандартите и IEC519). Допустимите стойности на хармоничния състав на напреженията спрямо БДС EN50160 са показани в таблица 2. Наличието на хармоничен състав на напрежението и/или тока влияе изключително негативно върху работата на

компенсиращи системи на базата на КБ. Създават се предпоставки за резонансни явления, които могат да доведат до съкращаване на живота на електрооборудването, елементите на компенсиращите системи, или дефектирането им [7, 8, 9].

Таблица 2

Нечетни хармоници				Четни хармоници	
Не кратни на 3		Кратни на 3			
Номер ν	U [%]	Номер ν	U [%]	Номер ν	U [%]
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6 - 24	0,5
13	3	21	0,2	-	-
17	2	-	-	-	-
19	1,5	-	-	-	-
23	1,5	-	-	-	-
25	1,5	-	-	-	-

2. EMC при работа на ЕСС и компенсиращи системи

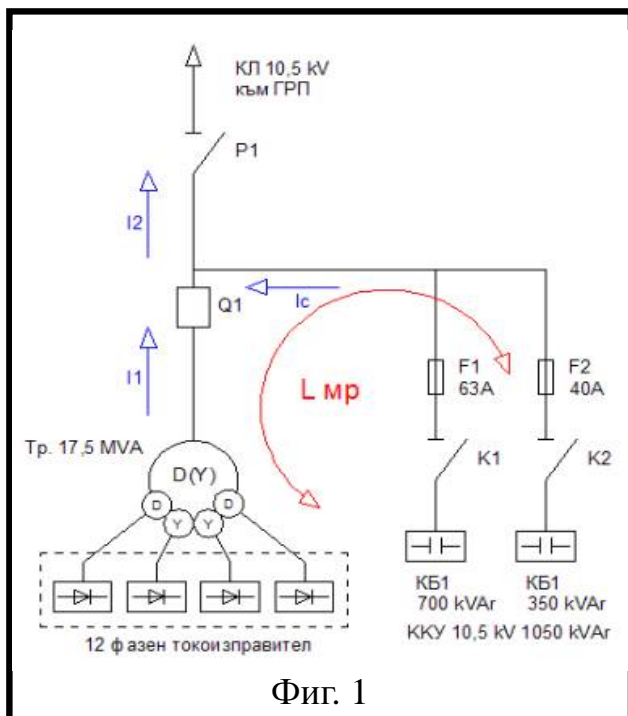
Компенсиращите системи оказват пряко и съществено влияние върху ПКЕЕ. Между компенсацията на реактивните товари и ПКЕЕ съществува двустранна връзка – от една страна компенсиращите системи имат силен положителен ефект върху някои от показателите, а от друга влошаването на някои от ПКЕЕ може да окаже силно негативно влияние върху надеждността и работата на компенсиращите системи. Особено силно това проличава в условията на несиметрични и нелинейни режими. Това е причина компенсацията на реактивни товари да се разглежда винаги в тясна връзка с процесите за минимизиране на ПКЕЕ [10, 11].

В тази връзка се вземат специални технически мерки. В последните години в този аспект се появиха множество технически решения, най-популярните от които са :

- Ø Използване на специализирани КБ за тежък режим на работа (THD 30 %) ;
- Ø Използване на стандартизирани разстройващи индуктивности ;
- Ø Използване на микропроцесорни регулатори с антирезонансни защиты ;

В настоящата разработка е извършено изследване на EMC на работата на ЕСС и компенсиращата уредба на ф. Полимери АД гр. Девня. Компенсиращата система на 10,5 kV, $Q_k = 5 \cdot 100 \text{ kVAr}$ (фиг.1). КБ освен основната им функция за компенсация на реактивните товари, представляват естествени филтри на в.х. на тока, т.к. с повишаване на честотата, съпротивлението им се намалява и се постига шунтиране на съответните хармоници. Те се генерират основно от 12

фазни неуправляеми изправители захранващи петте електролизни уердби. Изследванията показват [12,13], че при схемотехнически постановки подобни на фиг. 1, екстремума на честотната характеристика се намира между V и XIII хармоник на тока и за да се избегне възникване на резонанс на напрежението е необходимо да се намали мощността на захранващия токоизправител.



Фиг. 1

В случаите когато имаме няколко изправителя, работещи практически към обща шинна система с мощност на късо съединение $S_{КС}$ фиг. 1 е необходимо да се оптимизира броя на включените изправители в съответствие с параметрите на ЕСС, така че увеличението на общия коефициент на несинусоидалност при съвместната им работа да бъде минимално. Следователно могат да се дефинират две задачи:

- ∅ да се оцени какво е влиянието на групата токоизправители при съществуващата схемотехническа даденост върху интегралния коефициент на несинусоидалност $K_{НС}$;
- ∅ да се определят такива параметри на ЕСС, че да обезпечават изискваните нива на $K_{НС}$ при съвместната и работа с включените токоизправители.

Решаването на така формулираните задачи, означава да се определи каква е ЕМС на компенсиращата система със ЕСС на фирмата.

3. Технически средства използвани при изследванията

За установяване на ЕМС на компенсиращата система с ЕСС са проведени експериментални изследвания в продължение на 90 работни дни. За техническо средство е използвана разработена система за анализиране на електропотреблението и определяне на загубите на мощност предизвикани от влошаване на ПКЕЕ, съставено от следните компоненти:

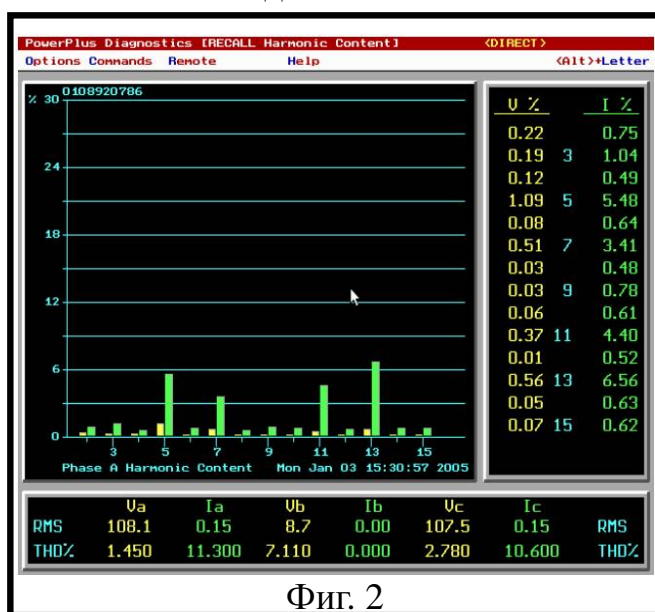
- ∅ АВВ Power Plus тип А1RL+ с клас на точност 0,2 с допълнително обезопасени (чрез изолиран сноп) токови и напреженови вериги;
- ∅ IRDA към RS232 преобразувател;
- ∅ Преносим персонален компютър – мин. конфигурация Pentium II;
- ∅ Power Plus Diagnostic Software (PPDS) v.1.08 разработен от АВВ Power T&D;

PPDS дава възможност за установяване на място коректността на измерването (съответствие на токовете и напреженостите вериги ; поредност на фазите и др.) както и за наблюдение на текущите стойности на измерваните токове, напрежения, мощности и хармоничен анализ, но съществените за анализа данни се записват в DAT файл за допълнителна обработка и изчисления. Програмата позволява показването на някои величини в процеса на измерването в графичен вид.

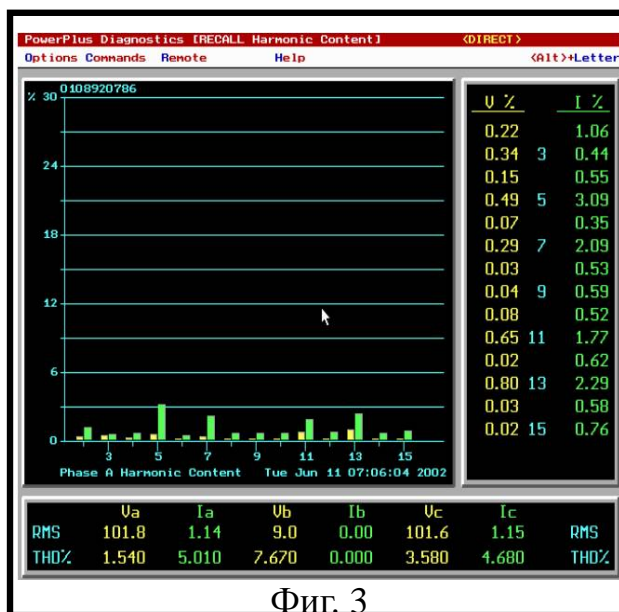
Ø Режим на работа на отделни изправители

С помощта на представената методика е изследван хармоничния състав на напрежението и тока до 15-и хармоник, без и с включена компенсираща уредба. На фиг. 2 и фиг. 3 са показани резултатите за фаза А на СТЗ. Вижда се, че в спектралния състав фигурират и четни хармоници, макар и с много малко дялово участие в THD [%]. Най-големи стойности имат 5-и, 7-и, 11-и и 13-и хармоник на тока, които са в границите (3,41 – 6,52) %. След компенсацията на реактивните товари те се изменят в границите (1,77 – 3,09) %, т.е. намаляват се около два пъти.

Това се дължи на филтриращите способности на кондензаторните батерии. Интегралния коефициент на несинусоидалност на тока (THD_I [%]) също намалява около два пъти.

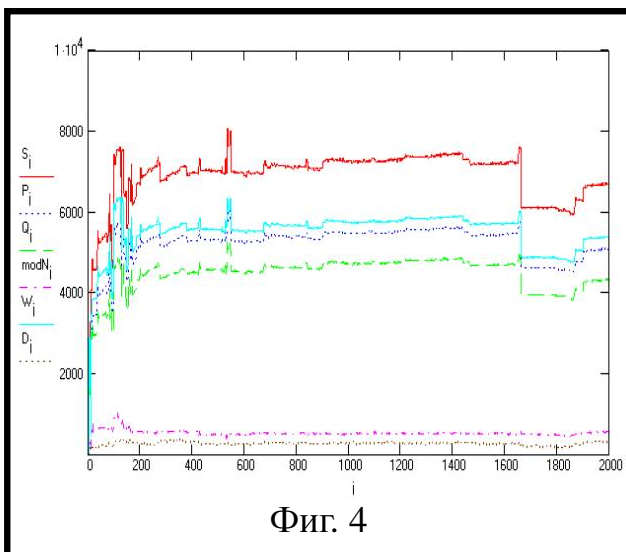


Фиг. 2

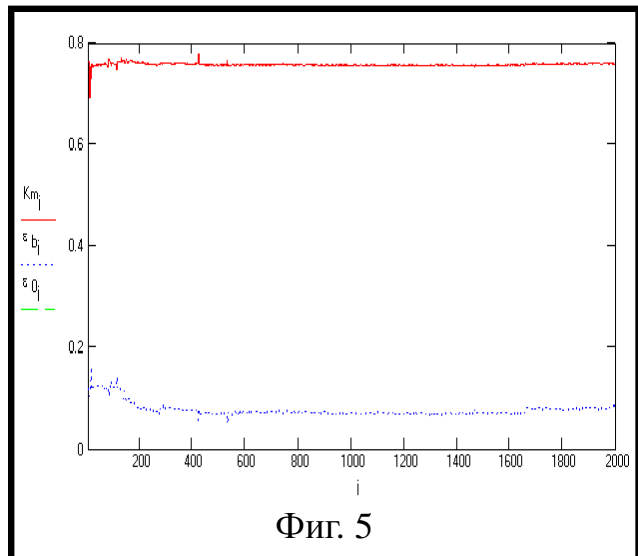


Фиг. 3

На фиг. 4 и фиг. 5 са представени измененията на трифазната пълна, активна и реактивна мощности S, P, Q ; модула на трифазната пулсираща мощност, деформационната мощност D, фактора на мощността и коефициента на несиметрия по ток за СТЗ преди компенсацията и след компенсацията на реактивните товари. По абсцисната ос са нанесени точките на измерване $i = 2000$. Всяко i съответства на 3 минутен интервал.



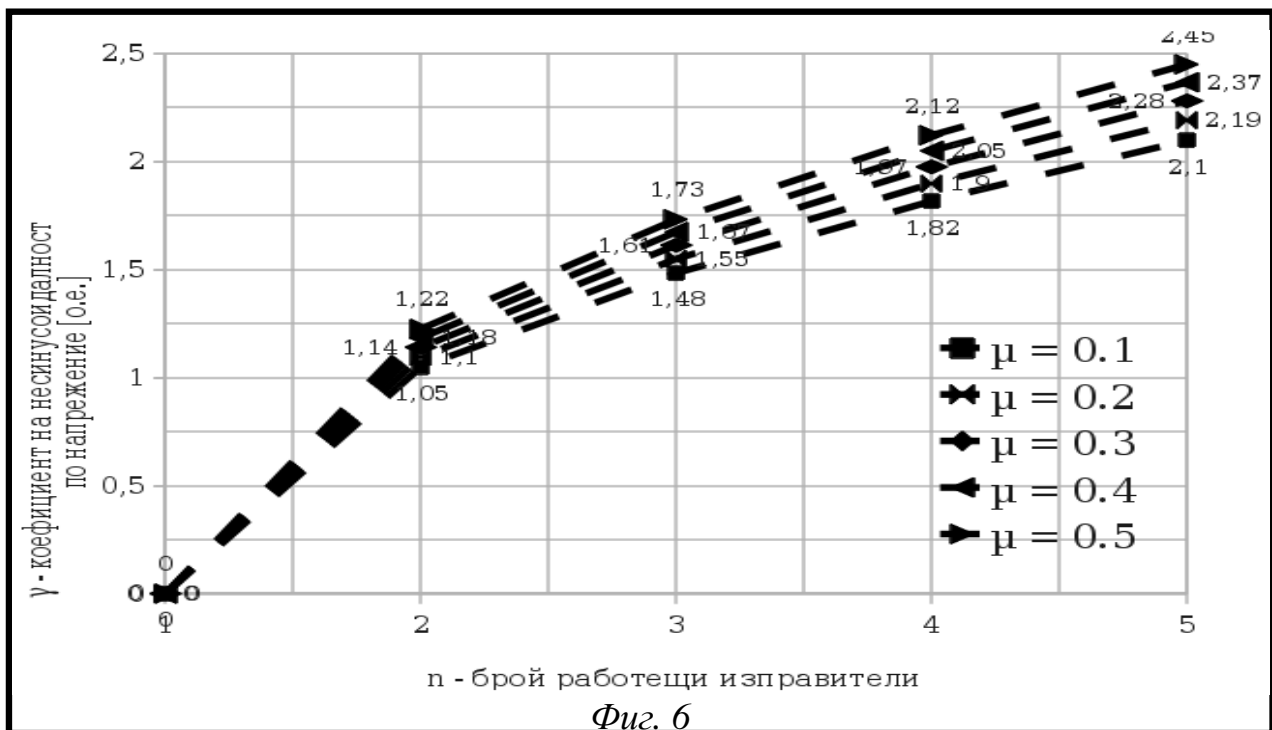
Фиг. 4



Фиг. 5

Ø Режим на работа на група изправители

При съвместната работа на няколко изправителя общия коефициент на несинусоидалност $K_{НС}$ се увеличава, като това увеличение може да се определи с помощта на израза:



Фиг. 6

$$\gamma = \frac{K_{НС0}}{K_{НСi}} = \sqrt{1 + \frac{X_T}{X_T + X_{II}} \cdot (n-1)} \quad (1)$$

където: $K_{НС}$ – коефициент на несинусоидалност на i -тия изправител, като се приема, че $K_{НС1} = K_{НС2} = \dots = K_{НС5}$; X_T – индуктивно съпротивление на захранващите СТ; X_{II} – индуктивно съпротивление на изправителя, като $X_{II1} = X_{II2} = \dots = X_{II5}$;

На фиг. 6 е показана зависимостта на увеличението на коефициента на

несинусоидалност γ от броя на работещите изправители, при различни стойности на отношението $\mu = \frac{X_T}{X_T + X_{II}}$.

Коефициентът на несинусоидалност K_{HC} за всеки един изправител зависи от редица параметри и може да се измери опитно, или да се определи по израза:

$$K_{HC} = \frac{S_{II}}{S_{K_1}} \cdot \left\{ \beta \left[\frac{(1 - \chi^2)}{U_k (1 + 0,25 K_T)} \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{2}} ; \quad K_{HC} = f(S_K, \beta, U_k, \chi, K_T) \quad (2)$$

където β – коефициент на натоварване на токоизправителя ; S_{II} – номинална мощност на СТ ($S_{II} = 17,5 [MVA]$); S_{K_1} – мощност на късо съединение в точката на включване на токоизправителя ($S_{K_1} = S_T / U_{kT} [MVA]$); χ – коефициент отчитащ несиметрията и изкривяването на тока на изправителя; K_T – коефициент на трансформация на СТ ; $U_k [\%]$ – напрежение на късо съединение на СТ захранващ токоизправителя ;

Ако означим в (1) израза в средните скоби с μ , т.е. :

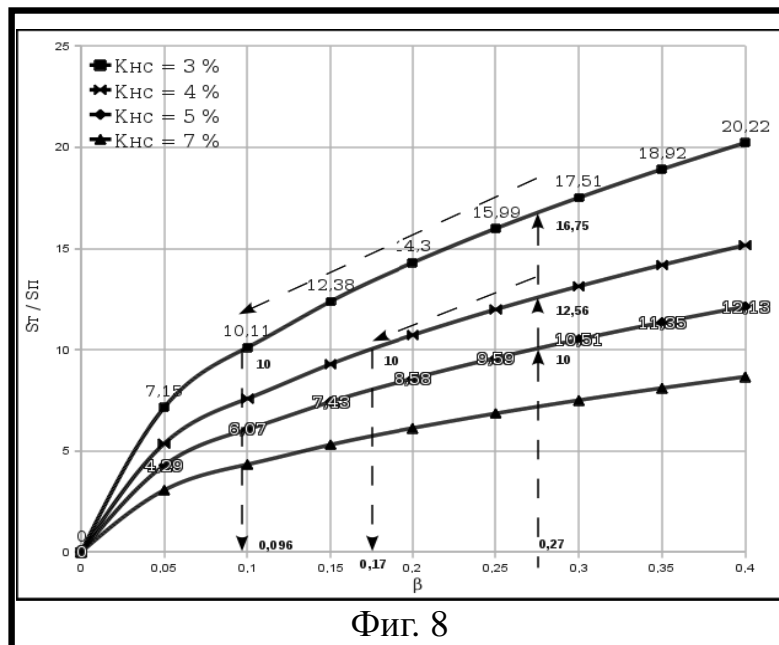
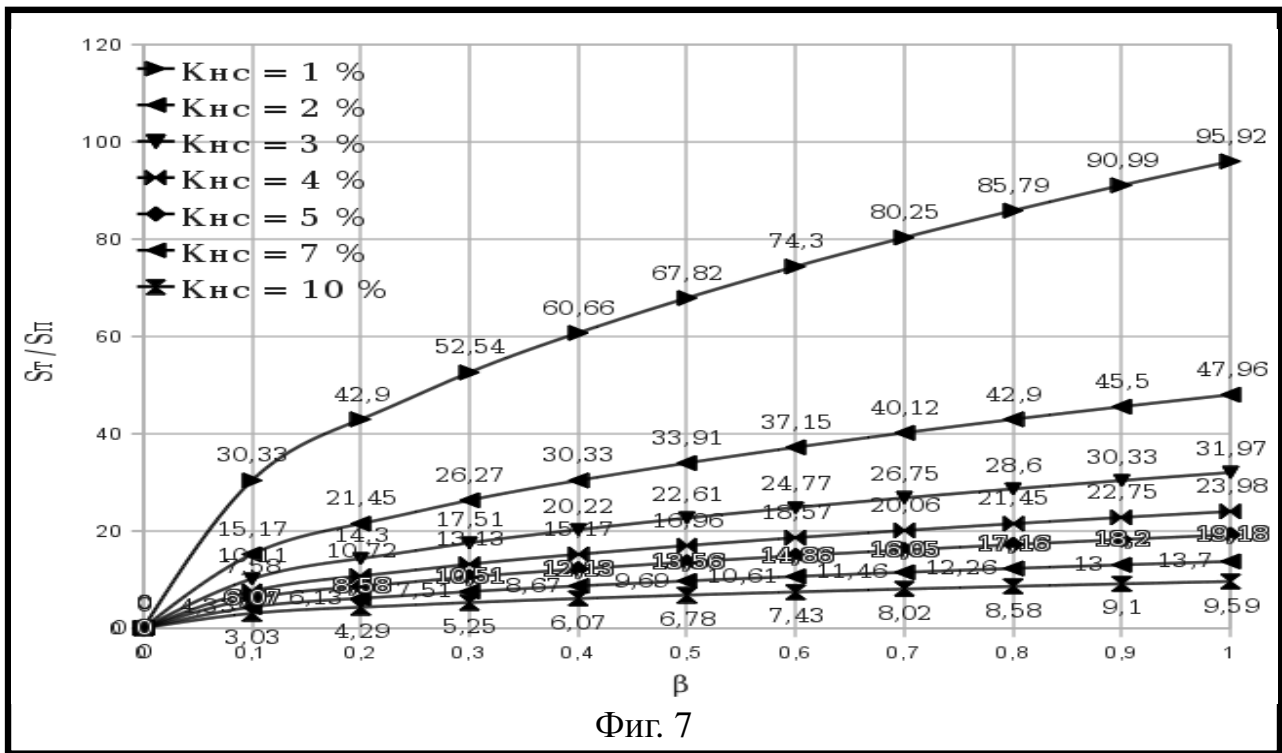
$$\mu = \left[\frac{(1 - \chi^2)}{U_k (1 + 0,25 K_T)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

и отчитайки, че $\chi = 0,85$ в работен режим се получава израза :

$$\frac{S_T}{S_{II}} = \frac{\sqrt{\beta \cdot \sqrt{\mu}}}{K_{HC}} = f(K_{HC}, \beta)$$

От израза може да се определи при различни стойности на K_{HC} ($K_{HC} = 3\%$, 5% , 7% , 10%), в каква степен мощността на захранващия СТ трябва да превъзхожда мощността на СТ на съответния преобразувател.

От фиг.8 се вижда, че с увеличаване на $K_{HC} [\%]$, съотношението S_T / S_{II} намалява, т.е. при зададена мощност на захранващия СТ, $S_T = 85 MVA$, е необходимо да се завиши мощността на СТ на съответния изправител. Тъй като при изграденото схемно решение това е невъзможно, т.е. $S_T / S_{II} = 85 / 17,5 = 4,86$ за да може системата да работи при високи стойности на K_{HC} , без да изпада в резонанс, е необходимо да се намали съществено товара на съответния изправител.



На практика, това става чрез изключване на клетки на електролизерите и намаляне на тяхната производителност.

При натоварване на изправителя, не повече от 27 % и фиксирана стойност $S_T / S_{\Pi} = 10$, може да се определи допустимия граничен за работа на един изправител $K_{НС} = 5\%$. Например, при тези данни и подобряване на $K_{НС}$ с 1%, т.е. $K_{НС} = 4\%$, от фиг.3 се вижда, че съотношението S_T / S_{Π} става равно на 12,56 от което следва, че трябва да се намали натоварването до стойност $\beta = 17$

%, при което съотношението S_T / S_{II} запазва стойността си. Ако искаме да подобрим коефициента на несинусоидалност с 2%, т.е. $K_{НС} = 3\%$, трябва да намалим натоварването до стойност малко под 10%.

При съвместна работа на няколко изправителя с $\beta = 40\%$, техният допустим брой може да се определи от фиг.6, като се има в предвид, че допустимото увеличение на $K_{НС}$ зависи от непопадането на схемата в областта на екстремума в кривата на честотната характеристика на мрежата, т.е. несъвпадането с резонансната честота f_p . Ако това условие е изпълнено, например при $\chi = 2$ и е определена стойност на $\mu = 0,4$, то от фиг.6 се определя броя на възможните работещи токоизправители $n = 4$.

Ø Защита от резонансни явления

В схемата от фиг.1, е възможно възникването на резонанс на напрежението и тока, като резонанса на тока може да предизвика значителни повреди. При компенсация на реактивните товари с кондензаторни батерии, режим на резонанс на тока при $\nu \leq 30$ е недопустим за батерията и комутационно – защитната апаратура, тъй като може да настъпи недопустимо натоварване по ток и разрушаване на оборудването. При $\nu > 13$ такива явления рядко се наблюдават. При компенсация на реактивните товари на 10 [kV] при положение, че източника на висши хармоници е изправител, тока на ν -тия хармоник през кондензаторната батерия и силовия трансформатор (фиг.1), при токов резонанс се определя от израза :

$$I_{KB_\nu} = I_{H_{KB}} \cdot \frac{S_{PP}}{\sqrt{\nu} \cdot Q_{H_{KB}} \cdot K_r} \quad (3)$$

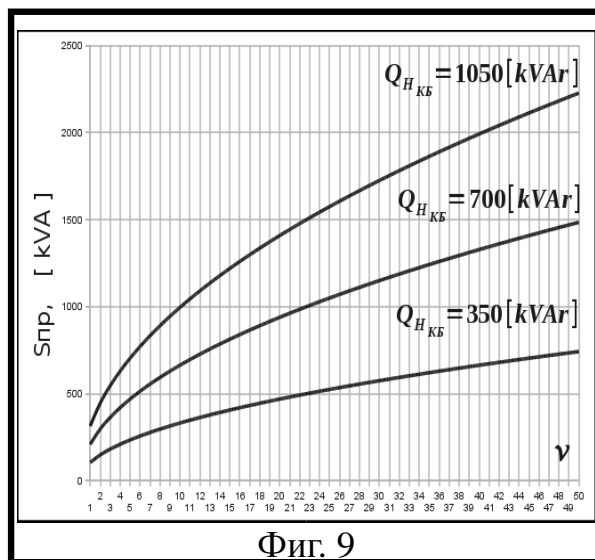
където : $I_{H_{KB}}$ - номинален ток на КБ ; $S_{PP}, [kVA]$ - пълна мощност на преобразувателя ; $Q_{H_{KB}}, [kVAr]$ - номинална реактивна мощност на КБ ;

$K_r = \frac{R_{екв.}}{X_{екв.}} = (0,1 \div 0,3)$ - за промишлени мрежи 6 – 10 kV ;

По формула 3 за коефициента на претоварване при токов резонанс на ν -тия хармоник $K_{PP_\nu} = I_{KB_\nu} / I_{H_{KB}} \leq 1,5$, се определя граничната мощност на КБ с помощта на израза :

$$Q_{H_{KB}} \geq \frac{S_{PP}}{0,3 \cdot \sqrt{\nu}} \quad (4)$$

При намаляване мощността на преобразувателя при зададена $Q_{H_{KB}}$, вероятността за настъпване на токов резонанс при ниски честоти е по-малка, което се констатира от фиг.9 построена в съответствие с израза (4), за три стандартни стойности на $Q_{H_{КБ1}} - Q_{H_{КБ1}} = 350 [kVAr]$, $Q_{H_{КБ1}} = 700 [kVAr]$ и $Q_{H_{КБ1}} = 1050 [kVAr]$.



В процеса на експлоатация на компенсиращата уредба, спазването на условие (4) е не винаги възможно, което е и предпоставка за възникване на аварийни състояния. През втората година на експлоатация на петте ККУ са настъпили два независими отказа, като и в двата случая се наблюдава механично разрушаване на стопяем предпазител вследствие на топлинно и токово претоварване. В единия от случаите, поради невъзможност за гасене на дъгата в предпазителя, аварията прераства в двуфазно и земно късо съединение, изключено от защитата на въвода. Това налага прилагането на конкретни мероприятия за реализиране на защита от резонансни явления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 5016 : 2003. Характеристика на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществени разпр. електр. системи.
- [2] Захариев, В., Г. Михов. Технически възможности за определяне на ПКЕЕ, Сборник доклади, Енергиен Форум, 2005, стр. 223 – 226.
- [3] Dugan, R. C. etc, Electrical Power Systems Quality, McGraw Hill Press, 2004.
- [4] Short T. A., „Elektrikal Power Distribution Guide, Schneider Electric, 2005.
- [5] Cristopher K. D., P. Ray „ Vpdate of harmonic standart IEE – 519 : IEEE recomendet practices and requirements for harmonik control in elektric power sistem“ , IEEE transaction on Industry Application Vol. 25. №6 , Nov/Dec. 1989 pg. 1025 – 1034 / vil 27 № 2 March /April 1991 pg. 244.
- [6] Talon, R „, Electrical Installation Guide „, Schneider Electric , 2005.
- [7] Arrillag, J и др. Power System Harmonics , Chichester U. K. : Wiley 1985.
- [8] Карпов, И. Вършии гармоника в трехфазных цепях, М.. Электричество,11,19, стр. 53-58
- [9] Toumainen, M. Harmonics and Reactive Power Compensation, Nokian Capacitors, 2004.
- [10] Желязко, Ю. Компенсация реактивном мощности в сложных электрических

системах, М., Энергия, 1981.

[11] Захариев, В. и др. Качество на электроснабдяването, Т. София 1980.

[12] Жежеленко, И. Высшие гармоники в системах электроснабжения ПП, М., Энергия, 1984.

[13] Шевченко, В. Эффективные системы электроснабжения ПП., Цветной металлургии, М., 1986.

СВЪРЗВАНЕ НА ПАВЕЦ С ВЪЗОБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ ЗА УВЕЛИЧАВАНЕ НА ПРОНИКВАНЕТО ИМ В ОСТРОВНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ СИСТЕМИ

Жил Нотон, Владимир Лазаров, Людмил Стоянов, Мотаз Езат

Резюме. Внедряването на възобновяеми източници на енергия (ВИЕ) в островни мрежи с ниска мощност е ограничено от стохастичния им характер, а разпръскването на инсталациите с цел намаляване на вероятността за пълна липса на продукция е ограничено поради малката територия. Акумулирането на електричество рядко е целесъобразно, но въвеждането на ПАВЕЦ в островните мрежи може да подпомогне контрола на мрежата и да намали необходимите мощности от дизелови агрегати. Публикацията представя проблематиката на малките мрежи и използването на ВИЕ в тях. Показани са първите резултати от симулирането на системата, различни пресметнати параметри и влиянието им. Обяснени са допусканията и бъдещите насоки за проучване.

COUPLING HYDRO-PUMPING SYSTEM WITH RENEWABLE SOURCES FOR A PENETRATION RATE INCREASE IN ISLAND ELECTRICAL GRID

Gilles Notton, Vladimir Lazarov, Ludmil Stoyanov, Motaz Ezzat

Abstract. Integration of renewable energy systems (RES) in an island grid with a small interconnection is limited by their stochastic nature; in small territory, the dispersion of sites is too limited for modifying the wind and solar variability and to smooth the “fatal” energy production. Introducing energy storages is rarely justified but, in islands, adding a hydro-pumping storage can improve the “quality” of the electricity, reduce the number and peak power of fuel engines and improve the energy management. This paper presents the problematic of the island electricity production and of RES use in islands. First results of the system simulation are presented and we observe the behavior of the various energy flows. Numerous parameters are calculated and their influence is estimated. The assumptions are explained and the future trends developed.

1. Introduction

The traditional limitations in the energy field like distance from the major grids, small scale, distribution difficulties and the lack of large conventional markets, are more than off-set by the extreme abundance of renewable energy sources, and the

incredible adaptability and capacity of integration of renewable energy technologies; factors that are in sharp contrast with the progressive inefficiency and high cost of conventional energy systems in island regions. *In fact, we would go as far as to say that islands have become genuine laboratories of the future of energy sustainability” [1].* The islands problem is worth raising; there are 300 islands in Europe (6% of the territory, 14 M-inhab.) and more than 100.000 in the World (500 M-inhab. for 1/6 of the Earth area) [2].

2. Energy in islands

The island problem differs from inland one by:

- no or limited link between local and European electrical grid: islands must produce themselves energy and reach a precise production/consumption balance. Short-circuits induce a voltage drop in the entire grid.

- small population and consumption require the use of small plants for a better adaptation to the load; but the loss of one plant induces high disturbances. Thus, the unit power of each plant is limited to 25% of the average power on the grid – the total system must not be weakened if a unit is down. A small grid implies a bad electricity frequency and voltage;

- over-specialisation of economy (tourism) forces utilities to install an over-sized energy capacities to cover the seasonal demand.

The most appropriate power plant for small islands is diesel engines (Fig. 1 and 2).

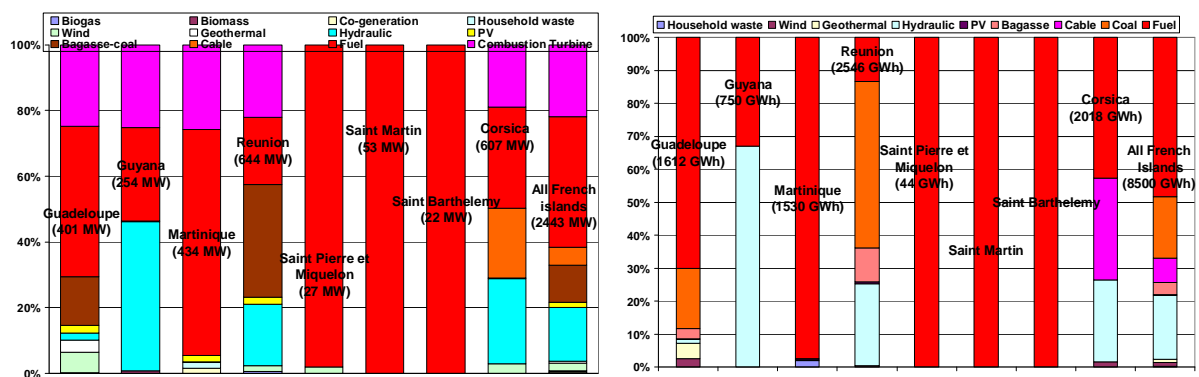


Fig. 1. Parts of power and production sources in the main French Islands (2008 data) [3].

In Corsica and overseas departments, the electricity cost is at least twice the purchase price secured by the French electricity tariff. The isolation is a strong constraint, with an energy supply/demand equation difficult to solve, and some problems of power cut by rota and blackout often occur, which implies the need to have a power reserve continuously.

3. Specific case of Corsica

Corsica has 294000 inhab. for 8680 km². 25% of the consumption depends on climatic hazards (23% heating/2% cooling). Tourism is the basis of economy. The maximum power is 434 MW for an energy of 2018 GWh in 2008 (+2.9%/2007). Corsica is connected to Italy by 2 cables: SACOI (Sardinia-Corsica-Italy) 50 MW 200 kV DC and SARCO (SARDINIA-CORSICA) 80 MW AC (Fig. 2).

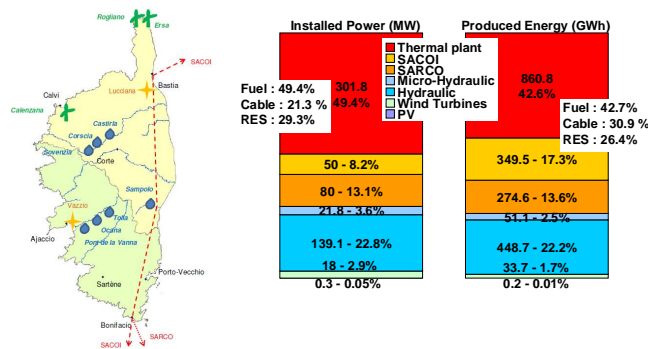


Fig. 2. Energy situation in Corsica (2008) [4].

Cables are mainly the production basis: 50MW guaranteed (SACOI) and 80MW (SARCO) according to Sardinia needs. Vazzio and Lucciana have 7x18.9MW and 5x10.9MW fuel motors used as basis/semi-basis. Hydraulic means are used in winter and combustion turbines (40 MW+3x25MW) produce in winter or in summer when dam are empty or served for tourism and agriculture. The repartition for two typical days is shown in Figure 3.

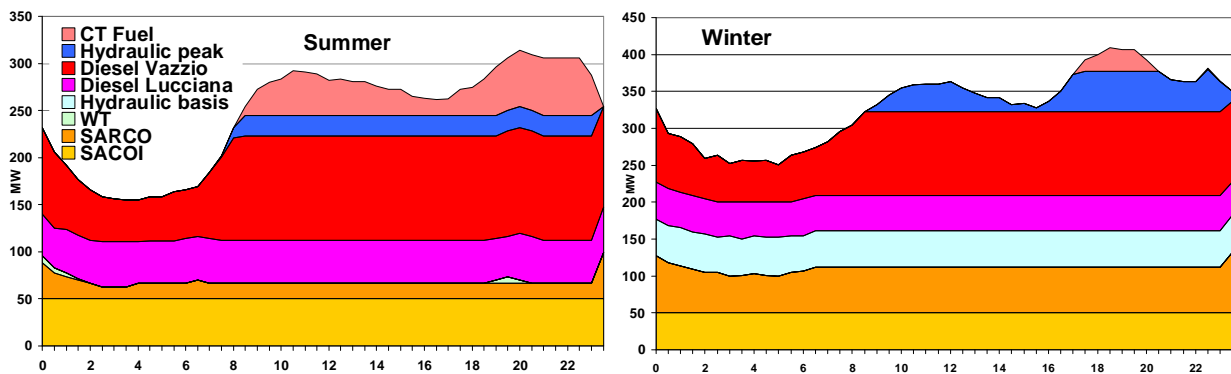


Fig. 3. Energy balance for a typical winter and summer days (2008) [4]

There is 13.8% (279 GWh, 2008).of losses between the energy produced and consumed.

4. Problem of renewable energy integration

The power system is a dynamic system, subject to continuous changing conditions, able to be anticipated or not. The system reliability is dependent on the ability of the system to accommodate load changes while maintaining quality and

continuity of service. The variability and unpredictability of wind and solar energies are higher as the penetration levels rises. When RES power is lower or higher than the demand, other generation units must compensate the difference. Thus, a system with a high amount of installed RES must be operated with a sufficient reserve margin, as most traditional generation units require a considerable start-up time. The insertion of electrical energy plant using “fatal” energy sources creates some problems in all electrical networks but more again in small island networks because:

- no guaranteed power: obligation to have other production means in reserve;
- intermittence : obligation to compensate the power variations by other plants with reserves and able to react immediately.
- the “expansion”: RES distribution over an island territory is limited. In cases of large expansion, production will never be either zero or maximum. At any moment the probability to have all the RES stopped simultaneously is smaller if they are spread over a large area than if they were all in the small area.
- sensibility to voltage and frequency drops cutting production and increasing incidents;
- no participation to network stability.

RES penetration rate (PR) is limited for guarantying a production/consumption balance and electrical grid stability. For PR upper to 20-30%, stability problems occur [5]. In France, any plant whose power is at least 1% of the minimum network power and implementing randomness fatal energy can be disconnected when the active power from these plants reached 30% of the total active power. In small systems particularly sensitive to disturbance and with a low inertia, as in islands, introduction of RES must be limited to 30% of the power generated at any time.

The electrical storage is rarely justified [6] but it can be a good solution for island grid in view to improve the management and the balance of the production and it allows: a frequency control and a primary reserve, a smoothing and a predictability of production, the modulation and availability of the energy, an increasing of the PR in using excess RES power when PR of 30% is reached.

5. The studied system

It is a first stage of a more general study and the assumptions presented here will be greatly improved in a future work. The configuration of our system is given in Figure 4.

The system must satisfy a load profile with a maximal power of 421 MW (annual energy: 2003 GWh) corresponding to the load profile of Corsica (Fig. 5). We consider that the system is composed by:

- 50 MW SACOI cable in basis always present;
- SARCO up to 80MW in basis if necessary;
- 8x25MW fuel motors in semi-basis; each motor runs between 60 and 100% peak power;
- a hydro-pumping system with two dams of 0.5 Mm³ and 5 reversible 25MWe

turbines for a 400 m manometric head.

- PV plants and wind farms of variable power.

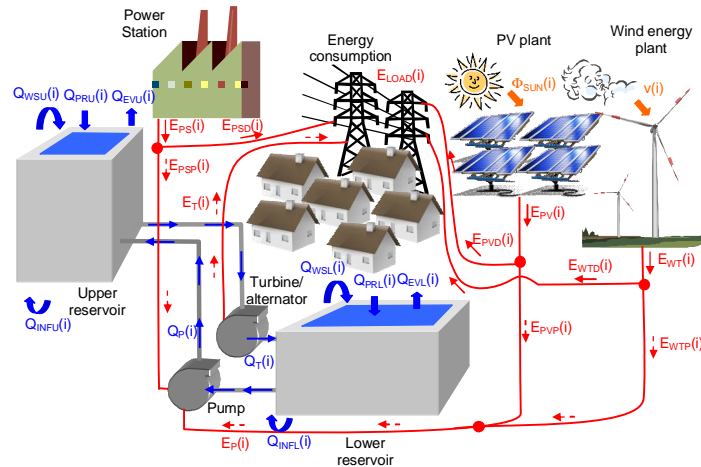


Fig. 4. Principle diagram of the RES system.

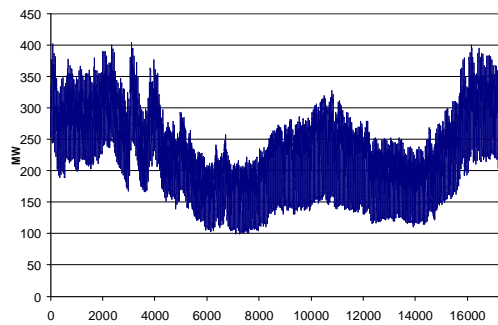


Fig. 5. Annual load profile (Corsica, 2008)

We use 30 mn data for load, wind speed, solar irradiance and ambient temperature.

A. PV system

We consider an optimized PV system with m-Si PV modules coupled to an inverter as described in [7]. The PV output power is calculated using the Durish model [8]. The inverter is modelled by its efficiency curve [7]. The annual average of solar irradiation on horizontal surface is $4.25 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$.

B. Wind turbines (WT)

We use wind speed data of the windiest site (Ersa) with an annual wind speed of 7.11 m/s. The WT output power is calculated using the power curve of a commercial WT (Fig. 6).

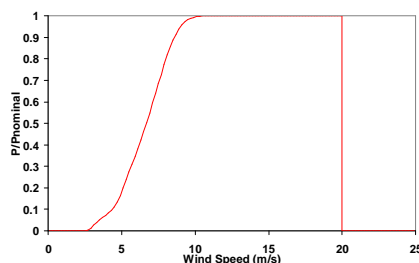


Fig. 6. WT power curve

C. Pumping Hydro-System (HPS)

The HPS stores energy in the form of water lifted from a lower reservoir into a higher one. In a RES, excess power of RES ($>PR$) is used to pump water into a higher reservoir and then, when there is a high demand, the water is released back in the lower reservoir through a turbine. We consider one unique water way, a reversible aggregate (Fig. 7) is used for storing and generating; it is designed as a motor and pump in one direction and as a turbine and generator in the opposite rotation.

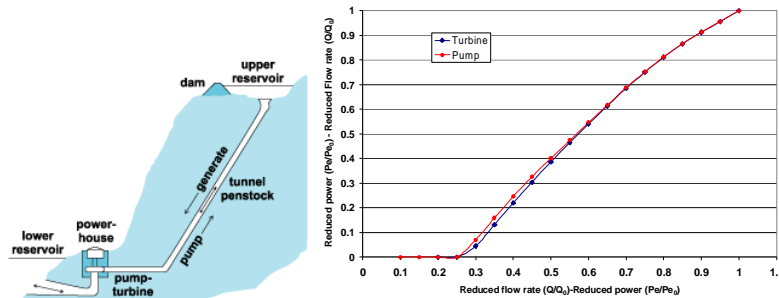


Fig. 7. HPS system and reversible Francis turbine efficiency curve

For efficiency reason, each 25 MW reversible turbine will be used in a range of 30-100% for pumping and 50-100% for turbine of its rated power. We chose a maximum efficiency equal to 0.90. Various pumped storage plants exist worldwide with power varying from 1 MW (RHE Lepenica, 1985, Croatia) to 2700 MW (Kannagawa, 2005, Japan). PHS is available at almost any scale with discharge times ranging from several hours to a few days. The advantages of such systems are [9]:

- More than 100 years of experience;
- High efficiency, in the 70% to 85% range.
- Environmental friendly and CO₂ avoiding;
- Highest availability, quick response to load variation (few seconds) and reserve capacity.

Kaldellis *et al* [10] showed that PHS for island autonomous electrical networks is the optimal solution for all size islands for an electrical autonomy of 24 hours.

D. Running hypothesis

Assumptions are based on ref [11]: RES part supplying the load at each moment must not exceed 30%, the excess part is used for pumping if the dam is not full. SACOI is always used. If (SACOI+RES) $>$ load, the excess is pumped or lost if the upper dam is full; In the opposite case, the turbines are used if the high dam is available. If the power is still too low, SARCO is used with diesel engines if necessary. When the upper dam is 90% full, the turbines are automatically switch-on till the dam emptying in view to make HPS cycle. The number of pump/turbines used depends on the needed power. Each diesel engine works in a range of 60-100% of its nominal power. If all the production means cannot satisfy the load then a breakdown occurs (in reality, a combustion turbine is used or secondary charge is disconnected).

6. Results

First simulations were realized for various WT and PV systems configurations, tank volumes and number of turbines. We calculate:

- energies: WT, PV, turbine, pump, diesel motors, RES to load or lost and not satisfied load energy.
- number of PSH cycles and breakdown;
- global PSH efficiency, thermal energy saved.

As an example, we plotted in Figure 8, results obtained for the following configuration: 2.5 Mm³ storage (17h production at peak power), 75 MWp PV and 180 MW WT, 5 x 25 MWe reversible turbines. The chosen period is 6 days of January. Figures 8a and 8b show respectively the repartition of various energies and RES energies with the part directly supplying the load (limited at 30% of the load power), the part supplying the pumps (if the tank is not full and if turbines are not producing) and the lost part. Only a small part of RES is lost, if HPS is not used this part is greatly increased. Figure 8c shows the HPS behaviour with two pumping periods (a slow and a rapid one) and a turbine period.

We simulated the behaviour of this system for various configuration and the yearly parameters are presented in Table 1.

Table 1. Energy and parameter values for different system configurations on a yearly basis

		75	75	75	75	75	75	75	75	150	37.5	150	37.5
P _{PV}	MWp	75	75	75	75	75	75	75	75	150	37.5	150	37.5
P _{WT}	MW	90	180	180	180	180	180	180	45	90	90	180	45
Storage	Mm ³	0.5	0.5	1	2.5	5	5	5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Turbine	Nb	5	5	5	5	5	10	8	5	5	5	5	5
E _{PV}	GWh	120	120	120	120	120	120	120	120	241	60	241	60
E _{WT}	GWh	378	756	756	756	756	756	756	189	378	378	756	189
E _{EnR}	GWh	498	877	877	877	877	877	877	309	619	438	997	249
E _{Diesel}	GWh	500	417	408	400	396	403	402	595	463	530	393	636
E _{Turbine}	GWh	57	160	169	177	183	196	196	12	92	42	179	2
E _{EnRpump}	GWh	92	251	265	277	287	307	306	21	146	68	281	4
E _{EnRload}	GWh	378	427	427	427	427	427	427	284	405	351	448	243
E _{EnRlost}	GWh	29	199	185	172	163	143	143	4	68	19	268	1
	%	5.8	22.6	21.1	19.6	18.6	16.3	16.3	1.4	11.0	4.4	26.9	0.6
	GWh	3.3	2.5	2.5	2.3	2.3	2.4	2.3	4.7	3.2	3.4	2.5	4.9
Breakdown	%	0.17	0.13	0.13	0.12	0.11	0.12	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
	Nb	305	239	238	224	218	226	221	470	290	322	233	496
HPS cycles	Nb	142	393	212	90	47	50	50	31	228	106	439	6
Pumps max	Nb	5	5	5	5	5	8	8	3	5	3	5	2
Turb. max	Nb	5	5	5	5	5	10	8	5	5	5	5	5
HPS effic	%	62.0	63.8	63.9	63.8	63.9	63.8	63.9	58.7	63.1	61.5	63.8	50.7

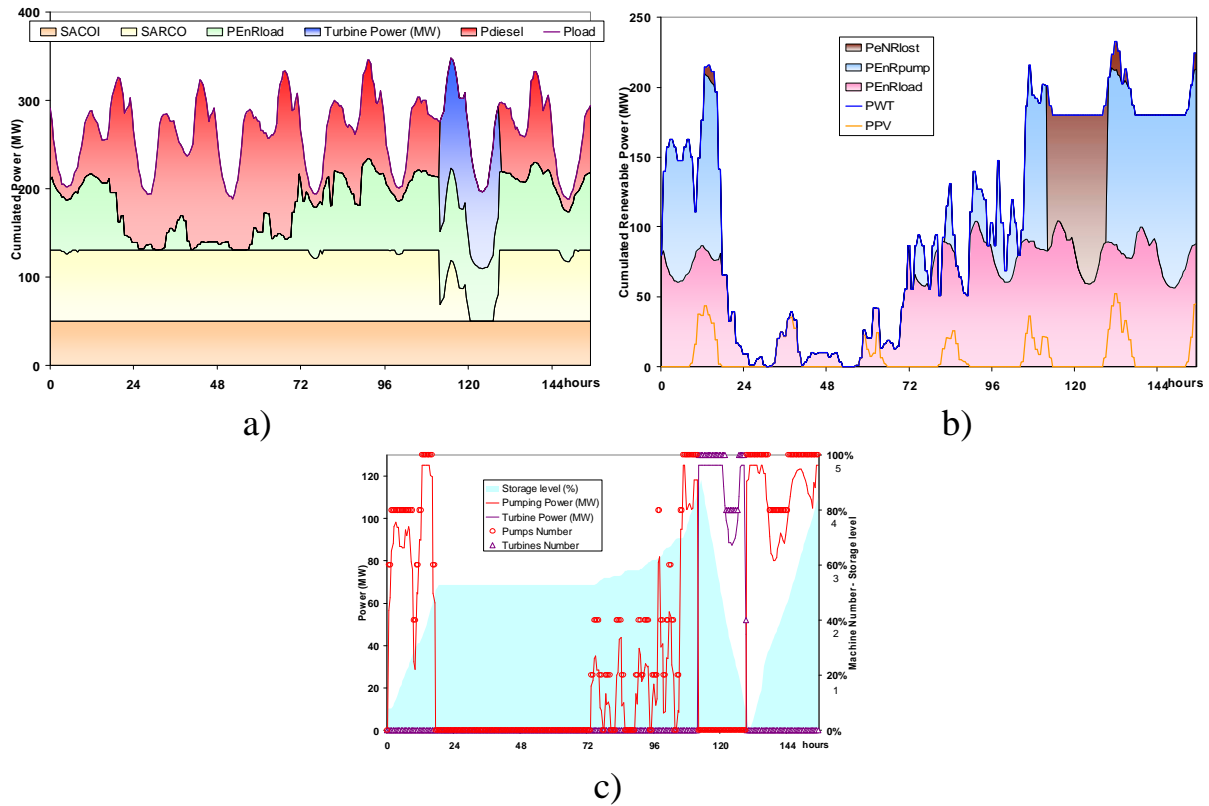


Fig. 8. Behavior of various energy flows and parameter (January).

We note that in all cases the not satisfied energy is small (really supplied by combustion turbines). The part of the RES energy lost and of the Diesel energy depend greatly of the WT size because the wind potential of the chosen site is high but the storage size and the number of turbines seem to have a small influence. The number of HPS cycles is related to the storage size (almost proportional) and the RES production (more for WT than for PV) but the global efficiency stays always around 63%. In the last case (37.5 MW PV–45 MW WT), the HPS efficiency is low because the turbines peak power and number are not adapted to the RES system. In some cases, all the pumps are not used because the RES peak power is too small, thus an optimization must be realized but using a reversible turbine does not allow to differ the turbine peak power to the pump one, the first one depending on the load and the second of the RES power. Using two separate machines is possible but increases the HPS cost. To reduce the RES energy lost, it would be interesting to add other storage means.

To see the improvement due to the HPS, we calculated the same parameters for the same system without HPS. The results are presented in Table 2. A high part of the RES production is lost when the RES system is important. For the second configuration, the HPS allows to increase the useful renewable energy 2 times. If the size of the RES system is small, HPS does not improve the performances sufficiently to justify such an investment. We don't see a high decrease of the diesel energy due to HPS (maximum 15%) but this fact is due to the strategy and the size and the number of the diesel engine used in this paper.

Table 2. Energy and parameter values for system configuration without HPS on a

yearly basis								
P_{PV}	MWp	75	75	75	150	37.5	150	37.5
P_{WT}	MW	90	180	45	90	90	180	45
E_{Diesel}	GWh	514	470	598	489	539	451	636
$E_{EnRlost}$	GWh	121	450	251	2143	88	549	6
	%	24.22	51.28	8.11	34.63	20.03	55.06	2.31
Breakdown	GWh	3.3	2.5	4.7	3.2	3.4	2.5	4.9
	%	0.17	0.13	0.24	0.16	0.17	0.12	0.24
	Nb.	305	244	470	290	322	233	496

7. Conclusions and perspectives

We presented a first approach of the behaviour of a HPS system coupled with renewable energy systems supplying an island electrical network. The first results show that with such a system, the part of the renewable energy in the total production can be greatly increased. Unfortunately, we don't see a high decrease of the fossil energy used but the running hypothesis were not optimal and numerous improvements will be realized about the operating strategy for optimizing the energy management and for be closer to the reality of the utilities.

The final objective of this work is to optimize the configuration and working strategy of an island electrical system. The next steps of this works will be:

- to study the influence of the coupling between RES peak power and hydraulic machine nominal power;
- to change the hypothesis of the energy management;
- to add other production means in the electrical system;
- using wind farms and PV plants spread over the island area in several different sites.

Acknowledgment

The authors would like to thank the University Agency of French-speaking communities (AUF), the French Agency for Environment Energy Management (ADEME), the French Ministry of Foreign Affairs (via Eco-Net program) and the Technical University of Sofia (Research sector (NIS), contract 102НИ225-1) for their financial supports.

REFERENCES

- [1] Marin, C. *Towards 100% RES supply. An objective for the islands*, 2005, ISBN 84-609-6326-8.
- [2] Report of the Ad Hoc Technical Expert Group on Island Biodiversity, 2004 NEP/CBD/SBSTTA/10/INF/1.
- [3] EDF SEI, 2008, available at sei.edf.fr.

- [4] EDF SEI, Bilan prévisionnel pluriannuel-investissement production. EDF Report, 2009.
- [5] Robyns, B., A Davigny, C Saudemont, A Ansel, V Courtecuisse, B Francois, S Plumel, J Deuse. Impact de l'éolien sur le réseau de transport et la qualité de l'énergie. *J3eA*, **5**, 2006
- [6] Swift-Hook, D. Grid connected intermittent renewables are the last to be stored, *Renewable Energy* **35**, 2010, pp. 1967-1969.
- [7] Notton, G. V Lazarov, L Stoyanov. Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations. *Renewable Energy* **35**, 2010, pp. 541-554.
- [8] Durisch, B., B Bitnar, JC Mayor, H Kiess, K Lam, J Close. Efficiency model for P modules and demonstration of its application to energy yield estimation, *Solar Energy Material & Solar Cells* **91**, 2007, pp. 79-84.
- [9] Pirker, O. Role of storage and pump storage hydro power plants for grid regulation. In *Proceeding 2nd Eurelectric Small Islands Seminar*, Ajaccio, France, 14-15/04/2008.
- [10] Kaldellis, JK, D Zafirakis, K Kavadias. Techno-economic comparison of energy storage systems for island autonomous electrical networks. *Renewable & Sustainable Energy Review* **13**, 2009, pp. 378-392.
- [11] Bueno, C., JA Carta. Technical–economic analysis of wind-powered pumped hydrostorage systems. Part I: model development. *Solar Energy* **78**, 2005, pp. 382-385.

Authors: Gilles Notton is assistant professor and responsible of the French Research ADEME network between France and Oriental and Central European Countries; Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and is responsible for the “Laboratory on Renewable Energy Sources”;

Ludmil Stoyanov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia and master of research of the Grenoble National Institute of Technology. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia and University of Corsica;

Motaz Ezzat is graduated engineer in Mechanical Power from the French University in Egypt. Actually, he is a teacher assistant at this university (since 2008) and has begun a PhD on Renewable Energies in the University of Corsica (since 2009).

МОДЕЛИРАНЕ НА ДВОЙНО ЗАХРАНЕН АСИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР С ЕЛЕКТРОНЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ В РОТОРА ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В ПРЕОБРАЗУВАНЕТО НА ВЯТЪРНАТА ЕНЕРГИЯ

Владимир Лазаров, Жил Нотон, Людмил Стоянов, Захари Зарков

Резюме. Статията представя моделирането на двойно захранен асинхронен генератор и изучаването на енергийните потоци в него. Показани са посоките на енергийните потоци при различни скорости на въртене на ротора и моделите на различните елементи от системата. Моделите са реализирани в средата на програмния продукт Matlab/Simulink и са представени някои резултати от извършените изчисления с цел показване на работоспособността на моделите.

MODELING OF DOUBLY FED INDUCTION GENERATOR WITH ROTOR-SIDE CONVERTER FOR WIND ENERGY CONVERSION APPLICATION

Vladimir Lazarov, Gilles Notton, Ludmil Stoyanov, Zahari Zarkov

Abstract. The paper deals with the modeling and study of power flows in doubly fed induction generator (DFIG). The power flows directions are presented in different rotor speed conditions and the system components models are illustrated. The models are realized in the Matlab/Simulink environment and some numeric results are presented to justify the model correctness.

1. Introduction

The renewable energy sources (RES) stochastic character implies the research of different solutions for generators operation with variable rotor speed [1], [2], [3]. There are different technical solutions according to the electrical generator used in the energy conversion system. In this paper, the doubly fed induction generator solution is presented. This generator is used for small hydro power plants and for wind energy conversion systems (WECS). The study aim is the DFIG modeling to prepare a model library for transient processes simulation till the WECS operation in parallel with the power grid.

2. Doubly fed physics

The power transfer in the rotor of asynchronous motor with wound rotor is a well known solution for regulating the motor speed [4]. The idea in the doubly fed induction generator is the utilization of the power flow in the rotor to increase the rotor speed variation margin [5]. Thus, it is possible that the induction machine

generates even in sub-synchronous speed, operation mode, impossible in the standard asynchronous machine. The DFIG technological realization consists in the connection of back to back structure in the rotor's windings terminals (Fig. 1) [1], [3]. The back to back structure represents two voltage source converters (VSC) interconnected with a DC-link capacitor on their DC terminals. Each VSC can operate in two regimes – rectifier or inverter. The first one converter three phase terminals are connected with the rotor windings and the second one converter terminals – with an electrical grid. The grid connection might be direct or by transformer in accordance with the asynchronous machine voltage ratio. The rotor side converter realizes the power flow control in the rotor windings. The grid side converter fulfills the power transfer with the grid – energy consumption or energy injection. Moreover this VSC carries out the maintenance of the DC-link voltage – an essential condition for the correct rotor side converter operation.

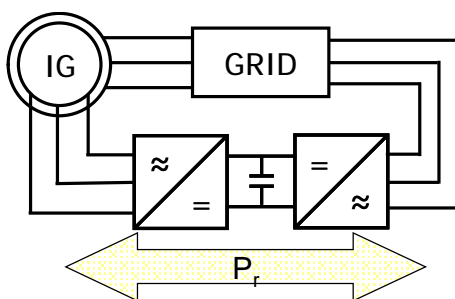


Fig. 1. DFIG structure

There are three possible situations according to the rotor speed – sub-synchronous, synchronous and super-synchronous [6].

The first possibility is obtained when the stator power is higher than the available mechanical power. Thus the difference and the Joule's losses are furnished by the grid into the generator rotor via the back to back structure (Fig. 2). In this operation mode the grid side converter work like rectifier while the rotor side one – like inverter.

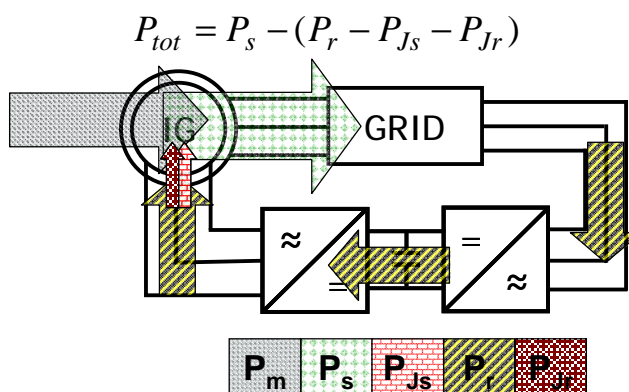


Fig. 2. Power flows in sub-synchronous rotor speed

The DFIG rotor turns with synchronous speed when the stator power is exactly equal to the available mechanical power minus the electrical losses in the machine stator. Through the rotor is injected active power equal to the Joule's losses in the rotor. The converters operate like in the first case. The power flows are shown on the fig. 3.

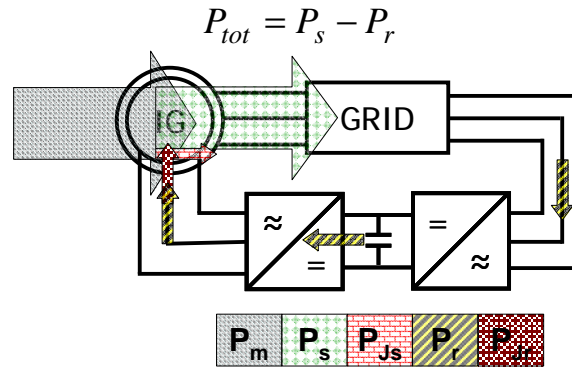


Fig. 3. Power flows in synchronous rotor speed

The last possible case is the rotor rotation with speed upper than the synchronous speed. This operation mode occurs when the stator power is lower than the available mechanical power, decreased with the Joule's losses. The power excess is injected in the grid through the rotor (Fig. 4), so the converters' operation mode is inverted – the rotor side converter is a rectifier and the grid side one is an inverter.

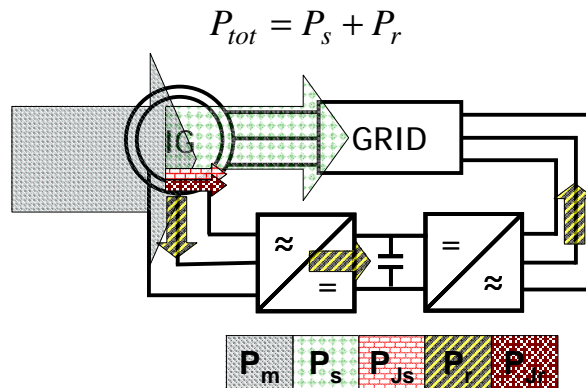


Fig. 4. Power flows in super-synchronous rotor speed

The influence of the reactive power reference on the rotor speed is smaller than the active power one. It is due to the currents variation which changes the thermal losses in the machine.

In this study is considered only the rotor side converter and DC bus with a constant voltage. The grid side converter elimination allows however the power flows observation, necessary for the models verification. Moreover, the wind turbine characteristics are not considered and only its output mechanical power is taken into account.

3. Models

A. Machine model

The machine in the doubly fed induction generator is an asynchronous generator with wound rotor. The created model assumes that the mechanical and iron losses are zero, the machine is connected to infinite power electrical grid and the magnetic system is linear. After Park's transformation of the real three phase stator and rotor winding in two phase windings, the electrical processes in the asynchronous machine are modeled with four equations, obtained by the Kirchoff's law. The

equation system is presented in equations (1) [7], [8], [9]. Because of the wound rotor terminals, in the system there are rotor voltages on the direct and the quadrature axes (u_{dr} , u_{qr}) in the third and the fourth equation.

$$\begin{cases} u_d = r_1 \cdot i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega_s \cdot \Psi_q \\ u_q = r_1 \cdot i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega_s \cdot \Psi_d \\ u_{dr} = r_2 \cdot i_{dr} + \frac{d\Psi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega_r) \cdot \Psi_{qr} \\ u_{qr} = r_2 \cdot i_{qr} + \frac{d\Psi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) \cdot \Psi_{dr} \end{cases} \quad (1)$$

where u_d and u_q are the voltages on the transformed stator winding respectively on the direct and the quadrature axes; r_1 and r_2 are the stator and referenced rotor resistances; Ψ_d , Ψ_q , Ψ_{dr} and Ψ_{qr} are the stator and rotor flux linkages on the d and q axes; i_d , i_q , i_{dr} and i_{qr} are the stator and rotor windings currents; ω_s and ω_r are the frame and rotor speeds.

The equation (1) is completed by the system bonding the flux linkages and the winding currents. The four equations in this system are presented in (2).

$$\begin{cases} \Psi_d = L_s \cdot i_d + L_m \cdot i_{dr} \\ \Psi_q = L_s \cdot i_q + L_m \cdot i_{qr} \\ \Psi_{dr} = L_m \cdot i_d + L_r \cdot i_{dr} \\ \Psi_{qr} = L_m \cdot i_q + L_r \cdot i_{qr} \end{cases} \quad (2)$$

where L_s is the stator inductance; L_r is the referenced rotor inductance; L_m is the mutual inductance.

The model implementation in the Matlab/Simulink environment needs system composed by differential equations with only one state space variable and the model in equation (1) is not suitable [10]. Two state space variables exist in the system - the currents and the flux linkages [10], [11]. In this paper, the flux linkages are chosen for state space variables and the stator and rotor currents are substituted in the equation (1) using equations (3). In this way is obtained system composed by 4 differential equations, presented in equations (4).

$$\begin{cases} i_d = \frac{L_r}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_d - \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_{dr} \\ i_q = \frac{L_r}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_q - \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_{qr} \\ i_{dr} = \frac{L_s}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_{dr} - \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_d \\ i_{qr} = \frac{L_s}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_{qr} - \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_q \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
\frac{d\Psi_d}{dt} &= u_d - \frac{r_1 L_r}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_d + w_s \Psi_q + \frac{r_1 L_m}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_{dr} \\
\frac{d\Psi_q}{dt} &= u_q - w_s \Psi_d - \frac{r_1 L_r}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_q + \frac{r_1 L_m}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_{qr} \\
\frac{d\Psi_{dr}}{dt} &= \frac{r_2 L_m}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_d - \frac{r_2 L_s}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_{dr} + (w_s - w_r) \Psi_{qr} \\
\frac{d\Psi_{qr}}{dt} &= \frac{r_2 L_m}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_q - (w_s - w_r) \Psi_{dr} - \frac{r_2 L_s}{L_s L_r - L_m^2} \Psi_{qr}
\end{aligned} \tag{4}$$

The rotor speed knowledge is necessary for the model simulation, thus the swing equation is calculated [10]:

$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{p}{J} (T_m - T_e) \tag{5}$$

where J is the rotor inertia, p is the machine pole pairs, T_m is the input mechanical torque and T_e is the electromagnetic torque found by [7], [8], [10]:

$$T_e = \frac{3}{2} p L_m (i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq}) \tag{6}$$

Finally, the induction machine model contains Equations (4), Equation (5) and Equation (6). It is realized in Matlab/Simulink for implementation in the DFIG system.

B. Voltage source converter model

The converter electrical scheme is presented in fig. 5. The currents and voltages directions correspond to rectifier operation mode. For an inverter, the directions are inverted. This study needs the knowledge of the three alternative voltages V_{s1n} , V_{s2n} and V_{s3n} . They are function of the DC voltage V_0 and the control commands in the converters branches g_1 , g_2 , and g_3 [12]. The equations are shown in (7).

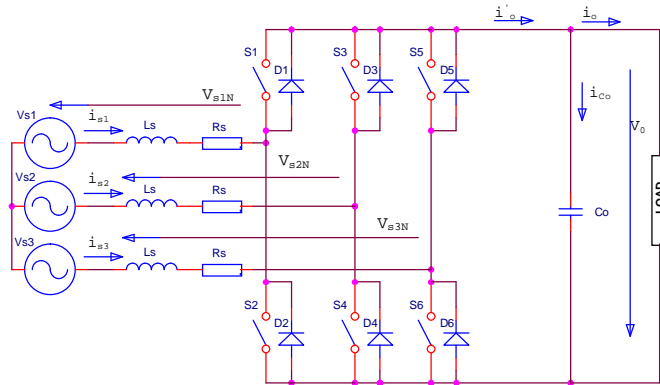


Fig. 5. Converter electrical scheme (currents and voltages directions for rectifier operation mode)

$$\begin{aligned}
V_{s1n} &= \frac{2}{3} g_1 \cdot V_0 - \frac{1}{3} g_2 \cdot V_0 - \frac{1}{3} g_3 \cdot V_0 \\
V_{s2n} &= -\frac{1}{3} g_1 \cdot V_0 + \frac{2}{3} g_2 \cdot V_0 - \frac{1}{3} g_3 \cdot V_0 \\
V_{s3n} &= -\frac{1}{3} g_1 \cdot V_0 - \frac{1}{3} g_2 \cdot V_0 + \frac{2}{3} g_3 \cdot V_0
\end{aligned} \tag{7}$$

The command g_i respects the following logic [12]:

$$g_i = \begin{cases} 1, & \text{if } S_{2i-1} \text{ is closed} \\ -1, & \text{if } S_{2i} \text{ is closed} \end{cases} \text{ for rectifier} \quad \text{and} \quad g_i = \begin{cases} -1, & \text{if } S_{2i-1} \text{ is closed} \\ 1, & \text{if } S_{2i} \text{ is closed} \end{cases} \text{ for inverter}$$

C. Rotor side converter control

The control aim is the stator output power management. That means to manage the rotor voltages in way to inject power through the converter in the rotor or in the grid. The transition from powers references to rotor voltages references needs two steps (Fig. 6) [13], [14]. First, the active power reference P_s^* is converted in quadrature rotor current reference i_{qr}^* and the reactive power reference Q_s^* – in direct rotor current reference i_{dr}^* . Step two consists in transformation of each current reference in the respective voltage reference (u_{dr}^* , u_{qr}^*). Finally the rotor voltage references serve to the Pulse Width Modulation (PWM) generator for the command signals g_i creation.

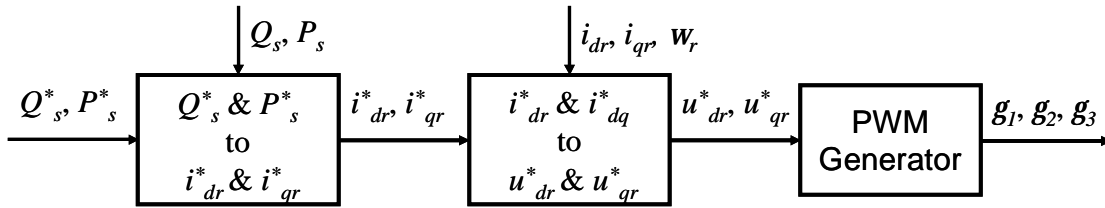


Fig. 6. Rotor side converter control block scheme

For step one the following system equations is used [14], [15]:

$$\begin{cases} P_s = -\frac{u_q \cdot L_m}{L_s} \cdot i_{qr} \\ Q_s = \frac{u_q^2}{\omega_s \cdot L_s} - \frac{u_q \cdot L_m}{L_s} \cdot i_{dr} \end{cases} \quad (8)$$

where P_s is the stator active power and Q_s is the reactive one.

The second step uses equations (9) [14], [15]:

$$\begin{cases} u_{dr} = r_2 \cdot i_{dr} - s \cdot \omega_s \cdot \left(L_r - \frac{L_m^2}{L_s} \right) i_{qr} \\ u_{qr} = r_2 \cdot i_{qr} + s \cdot \omega_s \cdot \left(L_r - \frac{L_m^2}{L_s} \right) i_{dr} + s \cdot \omega_s \cdot \frac{L_m \cdot u_q}{\omega_s \cdot L_s} \end{cases} \quad (9)$$

where s is the asynchronous machine slip.

The correct control operation can be accomplished only with the rotor and stator currents, the stator voltages, the rotor speed and the machine parameters knowledge.

4. Simulation results

The presented models are introduced in the Matlab/Simulink environment for simulations of the transient process in the doubly fed induction generator. The model correctness should be verified. There are two conditions to be satisfied – following the stator power references and respecting the physics described in point 2. As the turbine is not considered in the simulations, the generator is putted in sub-synchronous or super-synchronous speed by changing the ratio between stator powers references and the mechanical power. The power is injected to the grid if it is negative otherwise it is consumed.

A. Stator active power step

In this simulation, the stator active power reference is followed in a step transition. The reactive stator power is fixed to zero – the generator transfers only active power with the grid. The mechanical power is also fixed to 1500 W. The power reference changes from 75% (-1125 W) from the mechanical input power to 125% (-1875 W) in time $t=0.5$ s. Figure 7 shows the stator active and reactive powers and the active power reference and Figure 8 – the active and reactive power in the rotor. The stator active power follows the reference in its step variation. The new value is obtained after a transient process. The DFIG operates in two modes. First (before $t=0.5$ s), the generator turns in super-synchronous speed, because the stator power is smaller than the available mechanical power decreased by the Joule's losses. This is the last case described in point 2. In this operation mode the excess power is injected from the rotor in the DC grid through the rotor-side converter (it is negative). The power reference increases to its new value which is upper than the mechanical power decreased by the Joule's losses at $t=0.5$ s. Thus the active power in the rotor changes its direction – now the DC grid injects power to the machine rotor, and its value – the consumed power covers both the heat losses and the difference, needed to obtain the reference. On the other hand, the reactive power changes only its direction due to the slip sign variation. This operation mode corresponds to the first case in point 2 – operation with sub-synchronous speed.

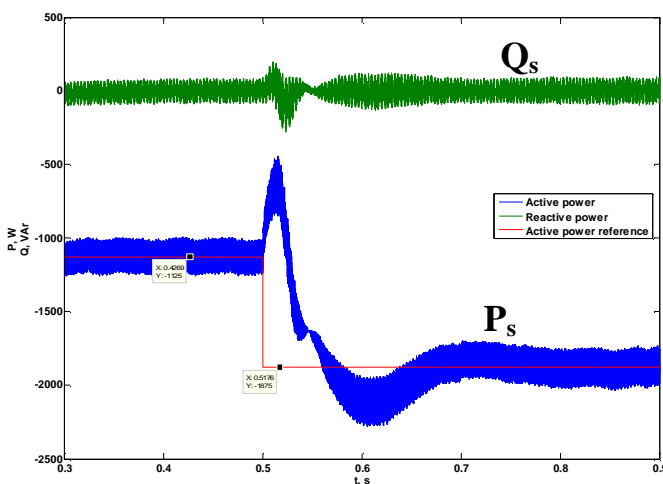


Fig. 7. Stator powers

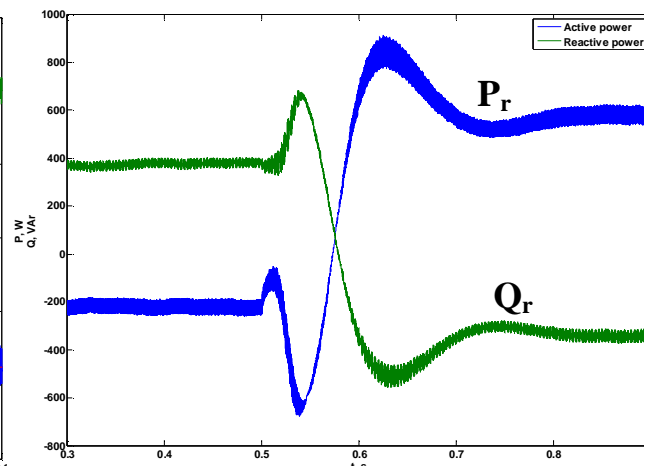


Fig. 8. Rotor powers

B. Reactive power step

The reactive stator power has a little participation in the rotor speed definition. However its control is necessary to respect the operator requirements on the reactive power. As for the active power control, a step variation of the stator reactive power reference is simulated. The reference changes from 0 to 1000 VAR in time $t=0.5$ s. To distinguish the reactive power variation influence from the active power one, the other reference is fixed. The Figures 10 and 11 show the stator and rotor powers. It can be seen that the reference is respected after a transient process. The stator reactive power variation reflects the both rotor powers because of the currents augmentation. Thus the Joule's losses increase and the rotor active power can even change its direction.

5. Conclusions

This paper presents the power flows in the doubly fed induction generator. Moreover the system components models are shown in equation form, appropriate for model implementation in the Matlab/Simulink environment. Some simulation results are presented to prove the system model correctness. The DFIG system model is actually part of the laboratory model library created to modeling and simulating the transient processes in the wind energy conversion systems. Moreover, the models will be used in the microcontroller of the laboratory experimental test bench.

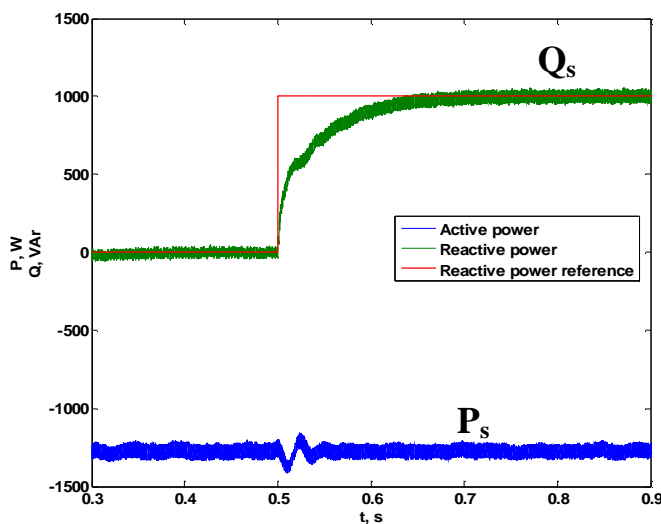


Fig. 10. Stator powers

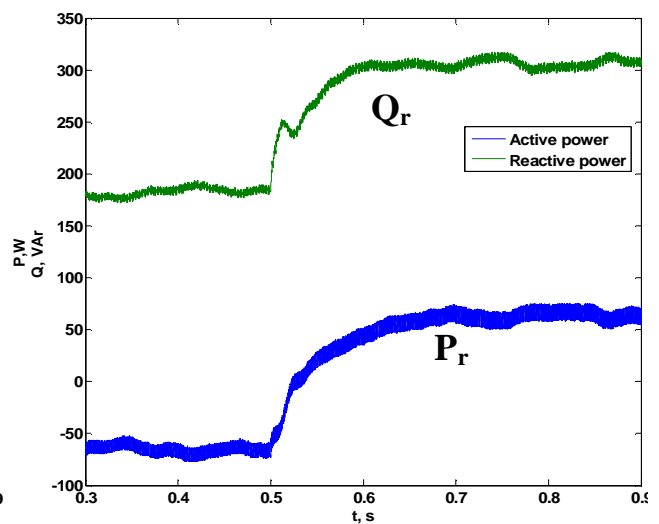


Fig. 11. Rotor powers

Acknowledgements

The authors would like to thank the University Agency of French-speaking communities (AUF), the French Agency for Environment Energy Management (ADEME), the French Ministry of Foreign Affairs (via Eco-Net program) and the Technical University of Sofia (Research sector (NIS), contract 102НИ225-1) for their financial supports.

REFERENCES

- [1] Feijóo, A., J. Cidrás and C. Carrillo. “A third order model for the doubly-fed induction machine”, *Electric Power Systems Research*, vol. 56, pp. 121–127, 2000.
- [2] Baroudi, J., V. Dinavahi and A. Knight. “A review of power converter topologies for wind generators”, *Renewable Energy* 32 (2007) 2369–2385.
- [3] Perdana, A., O. Carlson and J. Persson. “Dynamic Response of Grid-Connected Wind Turbine with Doubly Fed Induction Generator during Disturbances”, *Nordic workshop on power and industrial electronics*, Trondheim 2004.
- [4] Angelov, A. and D. Dimitrov. “Electrical machines part 1”, *TECHNIKA*, Sofia 1976.
- [5] Lazarov, V. and K. Bundevea. “Power balance in wound rotor induction machine”, *Proceedings of Technical University – Varna*, vol. 10, pp. 37-44, 2004.
- [6] Cuniere, A. “Etude et commande d’une machine asynchrone à double alimentation. Application aux éoliennes”, *La Revue 3EI*, vol. 38, pp. 36-44, 2004.
- [7] Bojilov, G. „Transient processes and generalized theory of electrical machines”, *Technical University-Sofia*, Sofia 2007.
- [8] Dinov, V. „Unsymmetrical regimes and transient processes in the electrical machines”, *TECHNIKA*, Sofia 1974.
- [9] Ghedamsia, K., D. Aouzellaga and E.M. Berkoukb. “Control of wind generator associated to a flywheel energy storage system”, *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 2145–2156, 2008.
- [10] Iov, F., A. Hansen, P. Sørensen and F. Blaabjerg. “Wind Turbine Blockset in Matlab/Simulink. General Overview and Description of the Models”, *Aalborg University*, March 2004.
- [11] Ozpineci, B. and L. Tolbert. “Implementation of Induction Machine Model - A Modular approach” *IEEE International Electric Machines and Drives Conference*, June 1-4, pp. 728-734, Madison, Wisconsin, 2003.
- [12] Pires, V. F. and F. A. Silva. “Teaching Nonlinear Modeling, Simulation, and Control of Electronic Power Converters Using MATLAB/SIMULINK”, *IEEE Transaction on education*, vol. 45, n. 3, pp.253-261, 2002.
- [13] El-Sattar, A.A., N.H. Saad and M.Z.S. El-Dein. “Dynamic response of doubly fed induction generator variable speed wind turbine under fault”, *Electric Power Systems Research*, vol. 78, n. 7, pp. 1240-1246, 2008.
- [14] Ninov, Y., sous la direction de prof. A. Mpanda. “Modélisation et Contrôle d’une Machine Asynchrone à Double Alimentation pour l’application dans l’énergie éolienne”, *Projet de fin d’études dans Université Technique de Sofia et Ecole Supérieure d’Ingénieurs en Electrotechnique et Electronique – Amiens*, 2009.
- [15] Gaillard, A., P. Poure , S. Saadate and M. Machmoumc. “Variable speed DFIG wind energy system for power generation and harmonic current mitigation”, *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 1545–1553, 2009.

Authors: Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and is responsible for the “Laboratory on Renewable Energy Sources”.

Gilles Notton is assistant professor and responsible of the French Research ADEME network between France and Oriental and Central European Countries.

Ludmil Stoyanov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia and master of research of the Grenoble National Institute of Technology. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.

Zahari Zarkov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СУПЕРКОНДЕНЗАТОРИ В ХИБРИДНИ СИСТЕМИ

**Владимир Лазаров, Брюно Франсоа, Християн Кънчев,
Захари Зарков, Людмил Стоянов**

Резюме. В доклада са описани приложенията на суперкондензатори в хибридни системи с възобновяеми източници на енергия, както и в други устройства за съхранение на енергия. Суперкондензаторите са подходящи за компенсиране на колебанията в мощността на възобновяемите източници на енергия, дължащи се на непостоянния характер на първичния ресурс. Описаните приложения могат да бъдат използвани в много области, като електротранспорт, захранване на електронни устройства и за автономно захранване в отдалечени местности. Представени са също основните параметри на суперкондензаторите и техните еквивалентни схеми.

APPLICATION OF SUPERCAPACITORS IN HYBRID SYSTEMS

**Vladimir Lazarov, Bruno François, Hristiyan Kanchev,
Zahari Zarkov, Ludmil Stoyanov**

Abstract. This paper presents the applications of supercapacitor energy storage in hybrid systems with renewable energy sources, as well as with other energy storage technologies. Supercapacitors are capable to compensate the power variations of renewable energy sources due to the stochastic nature of the primary resources. These applications can be used in numerous domains, such as electrical transport, power supply to electronic devices and in combination with renewable energy sources for autonomous power supply in remote areas. The supercapacitors main parameters and equivalent circuits are also presented.

1. Introduction

Electrochemical Double Layer Capacitors (EDLC), or Double Layer Capacitors (DLC) are called Supercapacitors. Their operation principles are similar to the well known electrostatic capacitors. The two electrodes are made from a porous substance and between them there is a solution of electrolyte and an ion-permeable membrane. If no voltage is applied between the electrodes, the ions in the solution are dispersed. When voltage is applied, the ions are collected on the electrodes. This process gives them the name "Electrochemical Double Layer Capacitors"[1]. The capacity of such capacitor can be as high as thousands of Farads [2], [3]. They have high power density and very low time of charge/discharge. Their long cycle life ($\sim 10^6$) makes them very convenient for applications needing high power for short

periods of time [4], [5] and [6]. The last years, supercapacitors are subject to numerous researches for their use in hybrid systems with Renewable Energy Sources (RES), as well as with other energy storage technologies. In the hybrid system with RES, supercapacitors can compensate the power fluctuations from RES, which are due to the fast changing stochastic character of the primary source (wind, sun) [7], [8]. Moreover, supercapacitors can be used to supply electricity for electro mobiles or tramways [9], [10], [11] and [12]. In this paper a review is made on the supercapacitors structure, parameters, equivalent circuits and applications.

2. Comparison of supercapacitors and other storage technologies

On fig. 1, 2 and table 1 a classification, based on specific power (W/kg) and specific energy (Wh/kg) of electrostatic capacitors, supercapacitors, batteries, fuel cells, flywheels and SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) is presented [13], [14], [15], [16] and [17]. It is visible, that based on specific power, the supercapacitors have better characteristics than batteries and based on specific energy, they are situated between batteries and conventional capacitors. The advantage of supercapacitors are that they have a high specific power, they can be charged and discharged with a greater current than batteries and their theoretical life is about 10^6 cycles of charge/discharge. Their capacity can be as high as 5000 F. When working in AC, their capacity drops and the equivalent series resistance increases. At frequencies higher than 1 kHz the drop in capacity is 10 times the nominal value [18]. On Table 2 are presented several supercapacitor technologies. With advanced carbon/metal oxide technology specific energies as high as 15 Wh/kg can be achieved, which is comparable with some of the lead-acid battery technologies. The nominal operational voltage of supercapacitors V_w is between 1.5 and 3,3 V per cell. Although specific power of all supercapacitor technologies is much higher than batteries.

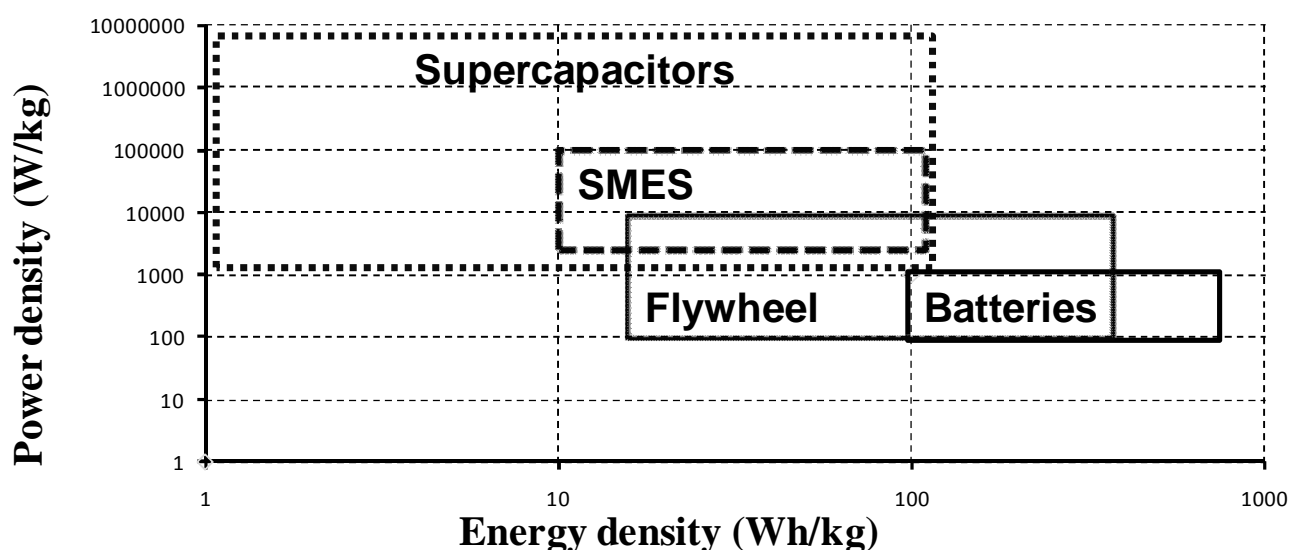


Fig. 1. Specific power and specific energy characterization of Supercapacitors, SMES, Flywheel and Batteries

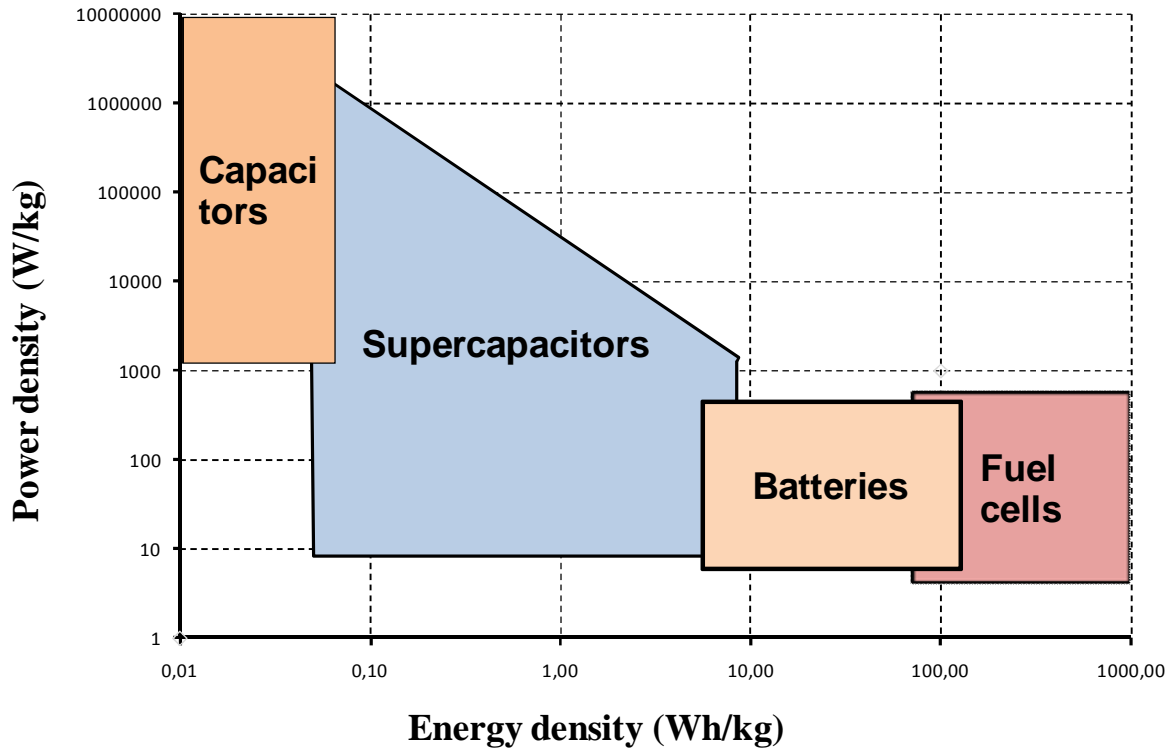


Fig. 2. Specific energy and specific power of conventional capacitors, supercapacitors, batteries and fuel cells

Table 1. Characteristics comparison of several energy storage technologies

Technology	Discharge time	Specific Power(W/kg)	Specific Energy(Wh/kg)	Expected cycle-life	Charge/discharge efficiency (%)
Lead-acid battery	> 0,3 h	10÷1000	10÷100	<500	0,7÷0,85
Li-Ion and Li-polymer battery	>1h	600÷1800	60÷180	1000÷2500	85÷90
Supercapacitors	1÷30 s	10÷10 ⁶	1÷10	~10 ⁶	0,8÷0,98
Capacitors	10 ⁻³ ÷10 ⁻⁶ s	10 ⁴ ÷10 ⁷	<0,1	~10 ⁶	0,9÷0,98

3. Supercapacitor equivalent circuits

On figure 3 is presented the simplified equivalent circuit of a supercapacitor. In this circuit to the capacity C are connected an Equivalent Series Resistance (ESR) and Equivalent Parallel Resistance (EPR) [19], [20]. ESR represents the operational losses inside the capacitor and EPR represents the self-discharge (leakage). When these parameters are determined, an approximation of real supercapacitor operation is achieved for short-term applications (<10s). However, for long-term application a more precise model with three branches is created [21], [22]. The three-branch

supercapacitor equivalent circuit is presented on Figure 4. In this circuit each branch has a different time constant.

Table 2: Characteristics of different Supercapacitor technologies

Technology type	Electrode materials	Energy storage mechanisms	Cell voltage (V)	Specific energy (Wh/kg)	Specific power (W/kg)
Electric double-layer	Activated carbon	Charge separation	2,5÷3	5÷7	1000÷3000
Advanced carbon	Graphite carbon	Charge transfer or intercalation	3÷3,5	8÷12	1000÷2000
Advanced carbon	Nanotube forest	Charge separation	2,5÷3	Not known	Not known
Pseudo-capacitive	Metal oxides	Redox charge transfer	2÷3,5	10÷15	1000÷2000
Hybrid	Carbon/metal oxide	Double-layer/charge transfer	2÷3,3	10÷15	1000÷2000
Hybrid	Carbon/lead oxide	Double-layer/faradaic	1,5÷2,2	10÷12	1000÷2000

The first branch, containing R_i (immediate) characterizes the supercapacitor behavior for short term applications (from a few milliseconds to a few seconds). The second one represents supercapacitor behavior in the time domain from a few seconds to a few minutes and the third one is for long-term (more than a few minutes). As on the simplified equivalent circuit, the equivalent parallel resistance R_{lea} represents the leakage.

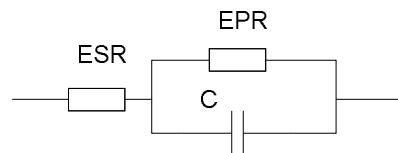


Fig. 3. Simplified equivalent circuit of supercapacitor

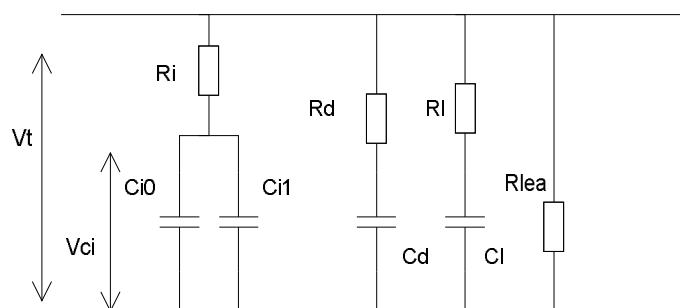


Fig. 4. Three-branch equivalent circuit of supercapacitor

4. Supercapacitor applications

4.1. Supercapacitor and wind turbine

Due to the non-constant nature of the prime mover, the wind turbine energy yield can vary quickly. In the frame of seconds these variations might have high values. In order to compensate this, batteries are associated to wind turbines. Due to the high power and the fluctuations double nature (positive and negative), a supercapacitor can be added to the system in order to serve as a "power buffer". The supercapacitor "shaves" peak power and delivers short term power for balancing the system [23], [24]. In this case, battery is used only in long term. On Figure 5 is presented the system's bloc scheme. The battery used in this system is a VRB (Vanadium-Redox Battery). The wind turbine is coupled to an AC/DC converter and on the DC circuit are coupled the supercapacitor and the battery via DC/DC converters. The battery and the supercapacitor are controlled by a management system that monitors the wind turbine power output and the wind speed, and gives power references to the battery and the supercapacitor when needed. The system is connected to the grid through an AC/DC converter.

On fig. 6 the wind turbine power output is presented. With the dotted line is the output of the generator and with solid line is the hybrid system power output. On fig. 7 is presented the power given to the system and received by the Supercapacitor: it can accept or deliver instantaneous power in case of excess or demand.

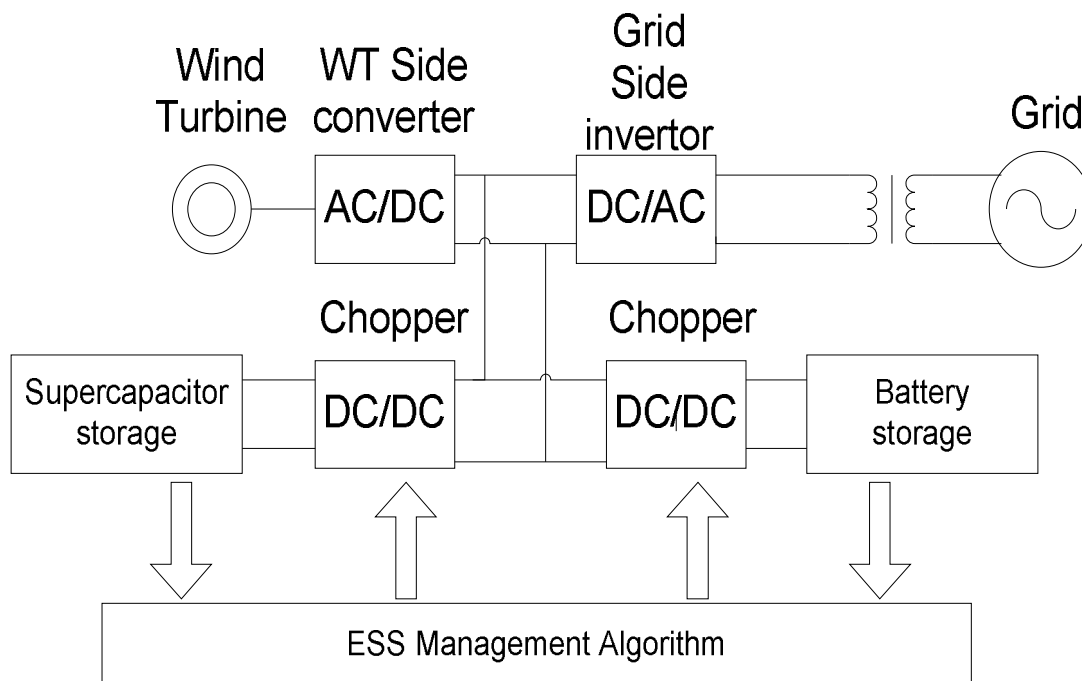


Fig. 5: Block scheme of a wind generator/supercapacitor/battery hybrid system

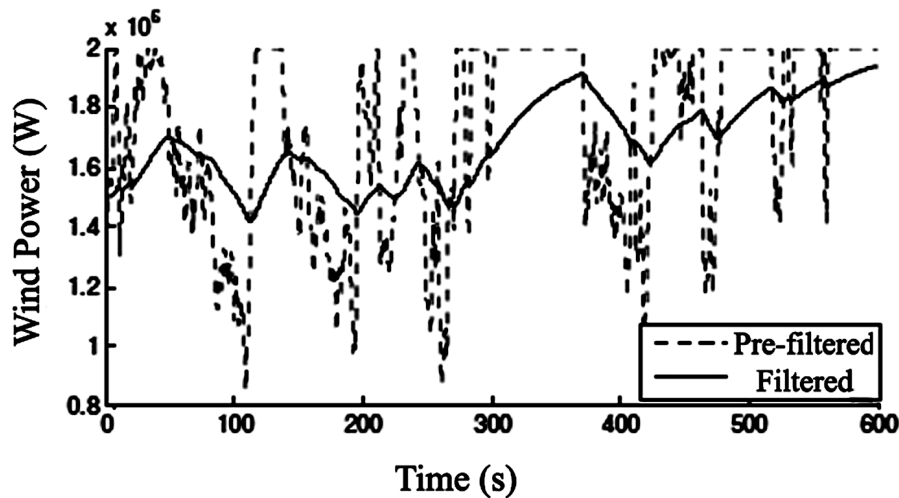


Fig. 6. The wind turbine power output and the power delivered to the grid, filtered by the storage system

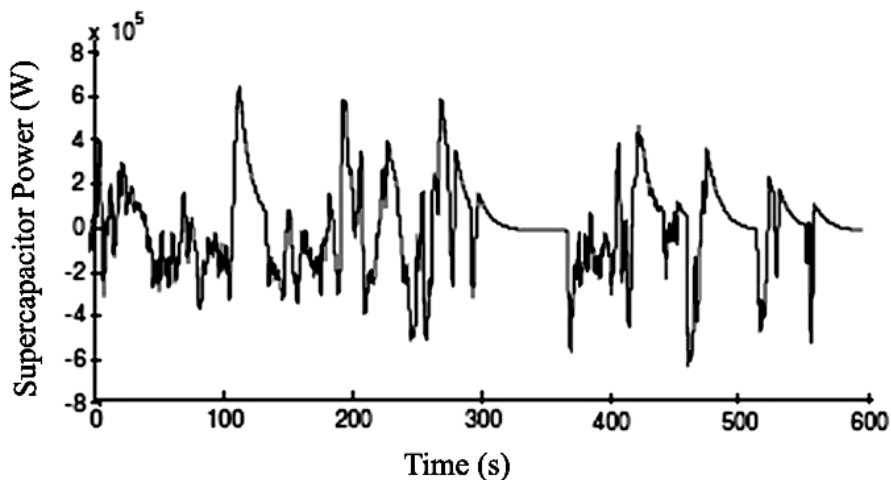


Fig 7. Power, injected into the grid and received by the Supercapacitor

4.2. PV array with supercapacitor and battery

The non-constant character of the primary source is one of the main problems in PV-installations. The photovoltaic panels output power can vary fast, due to clouds or birds passing over the installation. This induces the need of energy storage association to the PV array. From the power system's point of view, a PV installation is a negative load. In the presence of batteries and a supercapacitor, the passive PV-generator can be transformed into an active generator which can follow a constant power reference [25], [26]. The principal schematic of such a hybrid system is presented on fig. 8. The supercapacitor is used for compensating the fast power variations from the PV array and battery is used when long-term power has to be delivered to the system. The system is controlled by a monitoring device which gives power references to the supercapacitor and the battery. The PV array is coupled to a common DC bus with the Supercapacitor and the battery, all of them through DC/DC converters. The hybrid system is coupled to the grid through a DC/AC converter.

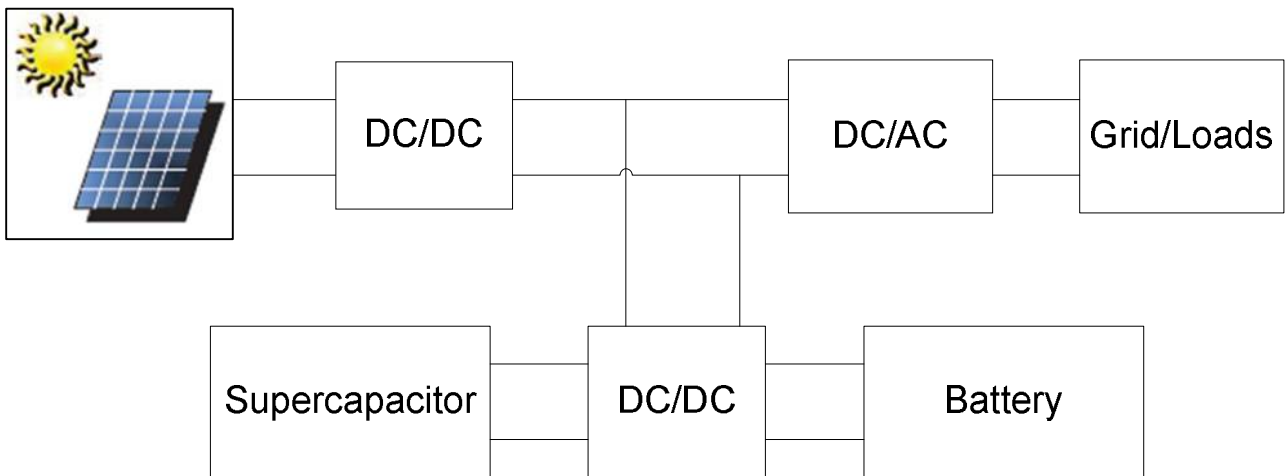


Fig. 8. Block scheme of a PV/Supercapacitor/Battery hybrid system

4.3. PV/Supercapacitor/Micro gas turbine hybrid system.

In this application, each system's component is controlled by the supervisory control through a communication bus. The supervisory control monitors the PV power production and the load power demand and sends power references to the micro gas turbine and the supercapacitor. The micro gas turbine has a response time of about 30 seconds to increases in power demand. Thus, the supercapacitor is used as a power buffer to compensate PV power fluctuations and the micro gas turbine response time. The system bloc scheme of this is presented on fig. 9. In this application the sources (PV, micro gas turbine, supercapacitor) are coupled to a common AC bus.

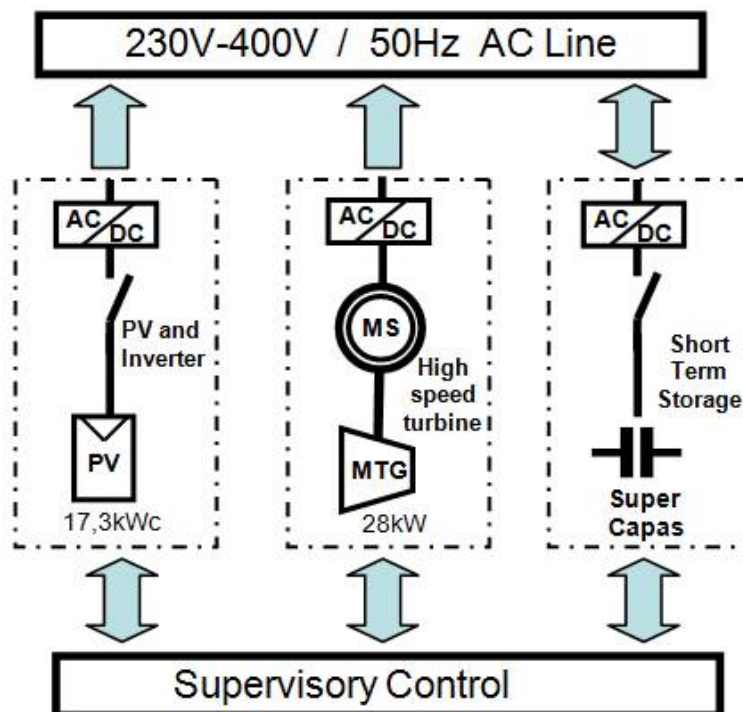


Fig. 9. Block scheme of a PV/Supercapacitor/Micro gas turbine hybrid system

From the difference between the load power demand and the PV power output, the reference for the supercapacitor and the micro gas turbine is deduced. This reference passes through a low pass filter and is send to the micro gas turbine. The fast fluctuations are used as a reference to the supercapacitor [27].

4.4. Fuel cell and supercapacitor hybrid system

The fuel cells represent a great interest to research as low-carbon emissions power source. They can be used in hybrid systems for power supply, as well as in the electric transport. In combination with a hydrolyser they can be used for energy storage in the form of hydrogen. One of the main disadvantages of fuel cells is their slow response on load changes. This can be compensated by using a supercapacitor in combination with the fuel cell, as presented on fig. 10. The fuel cell is connected to the system via a DC/DC converter, because the fuel cell output voltage has a low value. Then, the supercapacitor is coupled in parallel on the DC bus. The load is satisfied through another DC/DC converter for DC consumers or a DC/AC converter for alternative ones. On fig. 11, the fuel cell and supercapacitor power output are presented. The supercapacitor compensates the slow response of the fuel cell, thus supplying constant power to the loads [28], [29] [30] and [31].

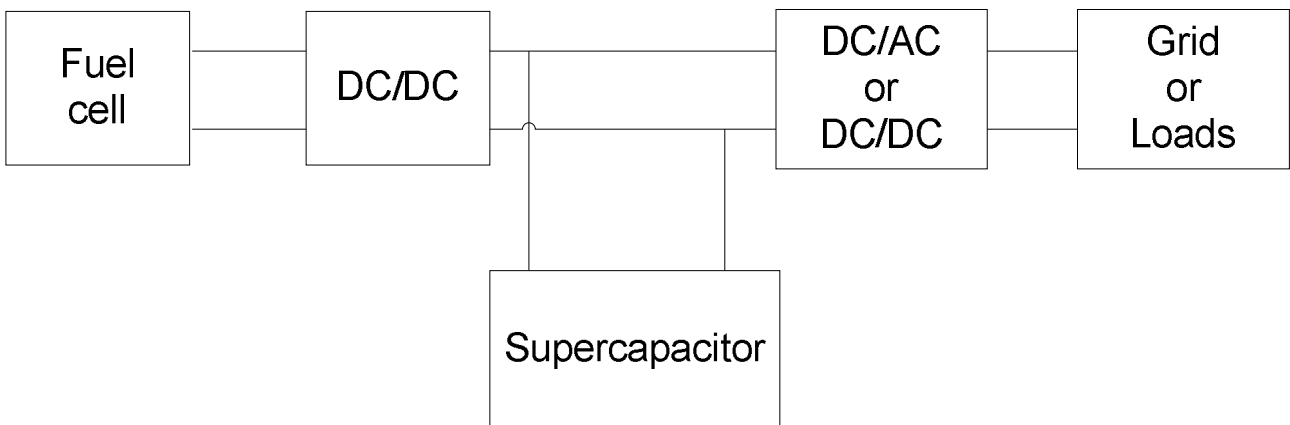


Fig. 10. Block scheme of a PV/Fuel cell hybrid system

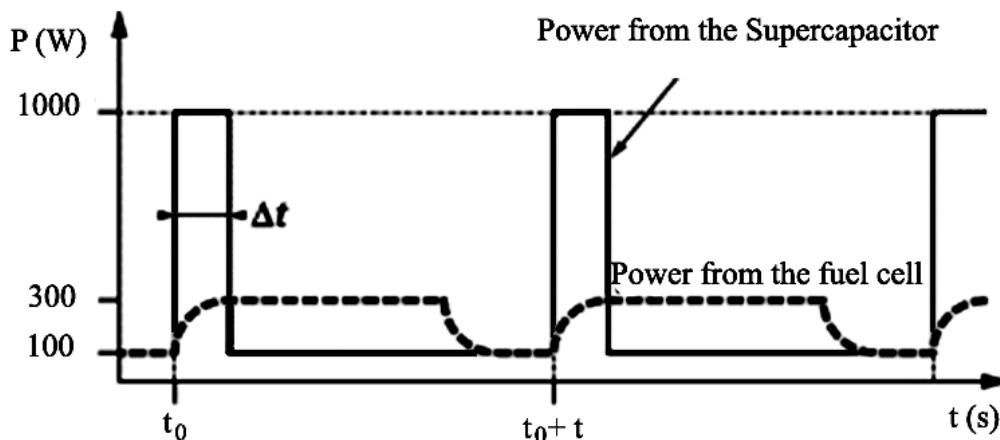


Fig. 11. Fuel cell and Supercapacitor power output

4.5. Starting system for internal combustion engine

The internal combustion engine starting needs a high current, which decreases the battery life. The supercapacitor can supply this current, thus facilitating the battery operation and increasing its life cycle. Moreover, the engine will start easier in low temperatures, due to the supercapacitor high power density and its capability to supply high currents for short time [32], [33]. On fig. 12 is presented the system bloc scheme. The generator and the battery are used to charge the supercapacitor and the supercapacitor supplies power to the engine starter. If the supercapacitor is already charged, the engine can be started immediately. If it isn't charged, the battery has to charge the supercapacitor for some 30 seconds and the engine can be started. The advantage of this system is that the battery can charge the supercapacitor for longer period than starting the engine, thus the current consumed from the battery is lower than the direct supply to the engine starter.

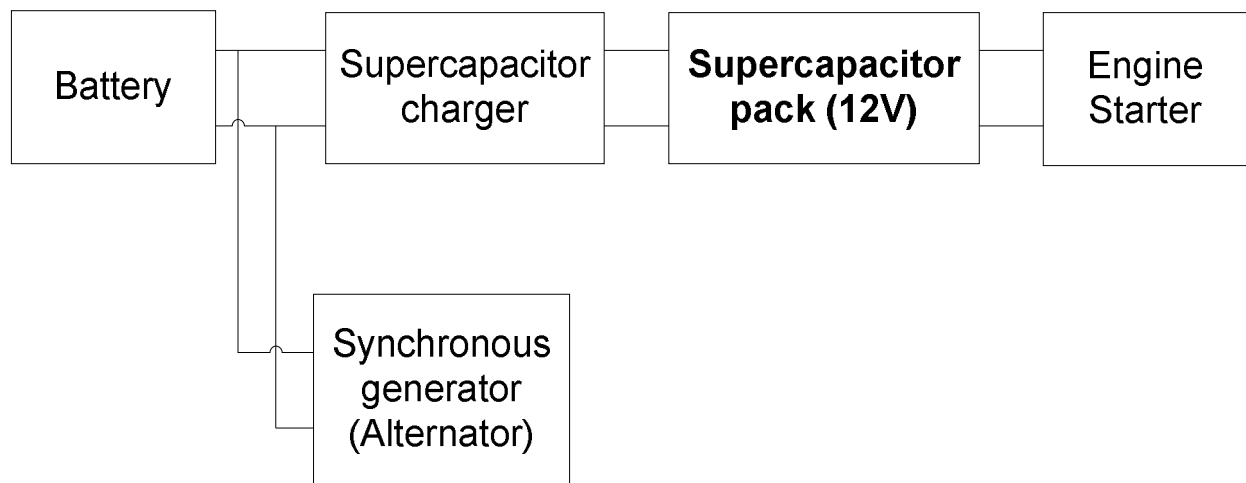


Fig. 12. Block scheme of a system for starting an internal combustion engine by using supercapacitor

5. Conclusions

In the last years, the supercapacitors and their applications are subject to intensive research. In this paper emphasis was given to the use of supercapacitors in hybrid systems with renewable energy sources. The supercapacitors main parameters, equivalent circuits and applications were highlighted.

Numerous studies based on the supercapacitor equivalent circuits are made. Other researches focus on new materials (carbon nanotubes, carbon/metal oxide), which will decrease internal losses in supercapacitors or increase their energy density to reach values similar to the new batteries technologies (Li-Ion, Li-Polymer, VRB). At this moment, supercapacitors have power density, and life cycle greater than all battery technologies. They can be charged and discharged much faster than batteries which is an advantage in applications needing fast buffering.

In hybrid systems with renewable energy sources, supercapacitors are used to compensate the fast-changing stochastic character of the renewable energy sources

output power. Supercapacitors are used as a power buffer, because of their high power density and instantaneous reaction time. These characteristics are most useful in a hybrid system with wind turbine and supercapacitor or PV installation and supercapacitor. They are also used to compensate the high fuel cells time constant.

The supercapacitors are also applied in systems such as: mobile communications power supply, UPS devices and internal combustion engine starting devices.

At this moment the main disadvantage of supercapacitors is their high price.

Acknowledgement

The authors would like to thank to the Technical University of Sofia - contract 102НИ225-1 for the financing.

REFERENCES

- [1] Schneuwly, A., R. Gallay, Properties and applications of supercapacitors from state of the art to future trends, Proceedings PCIM 2000, 2000.
- [2] Namisnyk, A., A survey of electrochemical supercapacitor technology, project for the degree of bachelor of engineering, University of Technology, Sydney, Faculty of engineering, 2003.
- [3] Yao, Y., D. Xu, A study of supercapacitor parameters and characteristics, International conference on power system technology, 2006.
- [4] Virtanen, A., H. Tuusa, Power compensator for high power fluctuating loads with a supercapacitor bank energy storage, 2nd IEEE International Conference on Power and Energy, PECon, 2008.
- [5] Han, J., I. Seo, J. Shon, H. Jeon, Development of On-line type dynamic voltage compensation system using supercapacitor, The 7th International conference on Power Electronics EXCO, Daegu, Korea, 2007.
- [6] Zhai, N., D. Zhang D. Xu, Design and optimization for a supercapacitor application system, International conference on power system technology, 2006
- [7] Belyakov, A., D. Sojref, High power supercapacitor's solutions for reliable power supply, Powereng 2009, Lisbon, Portugal.
- [8] Bilbao, E., H. Gatzanaga, L. Mir, A. Milo, E.Etxeberria-Otadui, Design and development of a supercapacitor-based microgrid dynamic support system, EPE '09, European conference on Power Electronics and Applications, 2009.
- [9] Burke, A., Ultracapacitor Technologies and Application in Hybrid and Electric Vehicles. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-09-23, 2009.
- [10] Shynkaruk, O., V. Martinyuk, Supercapacitor modeling and testing for hybrid vehicle, International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings, 2008.

- [11] Lohner, A., W. Evers, Intelligent Power management of a supercapacitor based hybrid power train for light-rail vehicles and city buses, 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists conference, 2004.
- [12] Mir, L., I. Exteberria-Otadiu, I. Perez, I. Sarasola, T. Nieva, A supercapacitor-based light rail vehicle : System design and operation modes, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition ECCE , 2009.
- [13] Zhong, Y., J. Zhang, G. Li, A. Lui, Research on energy efficiency of supercapacitor energy storage system, International conference on power system technology, 2006.
- [14] Cultura, A., Z. Salameh, Performance evaluation of a supercapacitor module for energy storage applications, IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008.
- [15] Srithorn, P., M. Aten, R. Parashar, Series connection of supercapacitor modules for energy storage, 3rd International Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2006.
- [16] Hadjipaschalis, I., A. Poullikkas, V. Efthimiou, Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13, Issues 6-7, August-September 2009, Pages 1513-1522.
- [17] Delille, G., B. François, A review of some technical and economic features of energy storage technologies for distribution system integration, 12th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA, 16-18 October 2008, Sofia, Bulgaria.
- [18] Rafik, F., H. Gualous, R. Gallay, A. Crausaz, A. Berthon, Frequency, thermal and voltage supercapacitor characterization and modeling, Journal of Power Sources, volume 165, 2007, p.928-934.
- [19] Grama, A., D. Petreus, P. Borza, L. Grama, Experimental determination of equivalent series resistance of a supercapacitor, 32nd Seminar on Electronics Technology, ISSE 2009.
- [20] Grama, A., L. Grama, D. Petreus, C. Rusu, Supercapacitor modeling using experimental measurements, International symposium on Signals, Circuits and Systems, 2009. ISSCS 2009.
- [21] Spyker, R.L., R.M. Nelms, Classical equivalent circuit parameters for a double-layer capacitor, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 36, pp. 829-836, 2000.
- [22] Zubieta, L., R. Bonert, "Characterization of double-layer capacitors for power electronics applications," IEEE transactions on industry *applications*, vol. 36, pp. 199-205, 2000.
- [23] Li, W., G. Joós, A power electronic interface for a battery supercapacitor hybrid energy storage system for wind applications, IEEE Power Electronics Specialists Conference PESC, 2008.
- [24] Li, W., G. Joós, J. Bélanger, Real-time simulation of a wind turbine generator coupled with a battery supercapacitor energy storage system, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 57 , April 2010.

- [25] Glavin, M., P. Chan, S. Armstrong, W. Hurley, A stand-alone photovoltaic supercapacitor battery hybrid energy storage system, 13th Power Electronics and Motion Control Conference, 2008. EPE-PEMC.
- [26] Wang, S., T. Wei, Z. Qi, Supercapacitor based multiple independent sources input and output series bi-directional DC-DC module, International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN, 2009. SUPERGEN.
- [27] Li, P., Ph. Degobert, B. Robyns, B. François, Participation in the Frequency Regulation Control of a Resilient Microgrid for a Distribution Network, International Journal of Integrated, Vol.1, No1, January-June 2009.
- [28] Boulon, L., M.C. Péra, D. Hissel, A. Bouscraol, Ph. Delarue, Energetic macroscopic representation of a fuel cell-supercapacitor system, VPPC, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007.
- [29] Thounthong, P., S. Raël, B. Davat, Energy management of fuel cell/battery/supercapacitor hybrid power source for vehicle applications, Journal of power sources, 193 (2009), p. 376-385.
- [30] Thounthong, P., S. Raël, B. Davat, Analysis of supercapacitor as second source based on fuel cell power generation, IEEE Transactions on Energy Conversion, volume 24, issue 1, 2009.
- [31] Payman, A., S. Pierfederici, F. Meibody-Tabar, Energy control of a supercapacitor-fuel cell hybrid power source, Energy conversion and management, 49 (2008), p. 1637-1644.
- [32] Cheng, Z., W. Chen, Q. Li, Z. Jiang, Z. Yang, Modeling and dynamic simulation of an efficient energy storage component – supercapacitor, APPEEC, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 2010.
- [33] Guidi, G., T. M. Undeland, Y. Hori, An optimized converter for battery-supercapacitor interface, IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2007. PESC 2007.

Authors: Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and is responsible for the “Laboratory on Renewable Energy Sources”.

Bruno François is Associated Professor at the department of Electrical Engineering at Ecole Centrale of Lille, France.

Hristiyan Kanchev is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia. He is working towards his PhD in electrical engineering at the Technical University of Sofia, Bulgaria and Ecole Centrale de Lille, France.

Zahari Zarkov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia.

Ludmil Stoyanov is graduated master engineer from the French Faculty of the Technical University of Sofia and master of research of the Grenoble National Institute of Technology. Actually he is PhD student in the Technical University of Sofia.

УПРАВЛЕНИЕ НА ИЗХОДЯЩАТА МОЩНОСТ ВЪВ ВЕТРОЕНЕРГИЙНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛНИ СИСТЕМИ С ПРОМЕНЛИВА СКОРОСТ

Владимир Лазаров, Даниел Роа, Димитър Спиров, Захари Зарков

Резюме: В доклада се изследва работата на Ветроенергийна Преобразователна Система (ВЕПС) с DC-DC преобразовател при ограничени условия за отдаване на мощност към електрически товар. Системата се състои от синхронен генератор с постоянни магнити, свързан към диоден изправител, повишаващ постояннотоков преобразовател и товар. Използване е нова стратегия за управление, основана на алгоритмите за следене на точката на максимална мощност (СТММ) и следене на точката на ограничена мощност (СТОМ, която подобрява работата на ВЕПС. Когато е необходимо да се ограничи отдаваната в мрежата мощност, поради претоварване на мрежата или изисквания на системния оператор, управляващия блок превключва между два режима на работа: режим на отдаване на максимална мощност и режим на отдаване на ограничена мощност. Управлението е реализирано чрез регулиране на входящия ток на постояннотоковия преобразовател, като системата за следене на мощността предоставя на регулиращия блок референтната стойност на тока. Работата на динамичните модели и системите за управление на ВЕПС е симулирана при променливи условия на вятъра. Резултатите доказват надеждността и ефективността на новата стратегия за управление на изходящата мощност на ВЕПС.

OUTPUT POWER CONTROL FOR VARIABLE SPEED WIND GENERATORS

Vladimir Lazarov, Daniel Roye, Dimitar Spirov, Zahari Zarkov

Abstract: The paper studies the performance of variable speed wind turbine (VSWT) configuration with DC-DC converter under restricted output power condition. The wind turbine system consists of permanent magnet synchronous generator (PMSG) connected to diode rectifier, boost converter and load. New control strategy, based on the maximum power point tracking (MPPT) and limited power point tracking (LPPT) algorithms is used to improve the system operation. When necessary to limit the power injected to the grid, due to over-production or system operator demands, the control unit switches between two regimes of wind generator operation: from maximum power to limited power. The MPP and LPP trackers are based on fuzzy logic controller. The power control is realized by controlling the input current of the DC-DC converter. The power point tracker gives the current reference for the current controller of the boost converter. The

Годишник на ТУ-София, т. 60, кн. 1, 2010

Proceedings of the Technical University - Sofia, v. 60, book 1, 2010

performance of the dynamic models and the control loops is tested under various wind conditions. The simulation results are shown. The results prove the strategy and models reliability.

1. Introduction

The permanent magnet synchronous generator (PMSG) for variable speed wind turbines (VSWT) is widely used in the wind industry because of his advantages such as compact size and weight, dense flux, etc. To operate in VSWT system, this type of generator should be connected to the electrical grid by an electronic converter. Two configurations are commonly used: full size back-to-back configuration with two voltage source converters and configuration with diode rectifier, DC-DC converter and inverter. The boost converter is most used DC chopper for such configuration, possessing important advantages in islanding systems (micro hydro turbines) or in hybrid operation systems 0. Combined with appropriate control strategy, the advantages of the boost DC-DC converter can ensure the VSWT with more flexibility and operation time.

The standard maximum power point tracking (MPPT) algorithm is often used in VSWT as main control strategy to increase the produced power and to improve the turbine operation at different wind speeds. However, when the power consumption during specified periods is reduced, the generator power should be reduced as well 0.

In this paper the authors propose a new control strategy for the wind generator output electric power. There are two regimes of wind turbine operation: at maximum power and at limited power. This strategy combines hybrid MPPT algorithm 0, 0 for the normal operation of the VSWT and Limited Power Point Tracking (LPPT) algorithm for the limit power operation. Thus, the turbine operation time is extended, even at restricted conditions and the turbine control is electrically realized through the generator and the power converters instead of using mechanical pitch system. The advantages of the faster electrical system response and his relatively simple control can make the VSWT very attractive for standard networks application, as well for smart grid systems. The strategy can be implemented in the system controller and represents a combination of maximum power point tracking (MPPT) algorithm 0, when the full available aero dynamical power can be converted and limited power point tracking (LPPT) algorithm, when the power have to be limited at the system output.

The aim of this work is to develop a controller which implements appropriately this new approach. The program method for the controller is based on fuzzy logic 0. The fuzzy logic controller is more complex than simple look-up table method, but does not require information about the specific turbine characteristics.

2. System modeling

The considered configuration is presented in Fig. 1. It includes wind turbine, drive train, PMSG, diode rectifier, boost converter and appropriate controllers. In order to investigate the different modes of operations, every element of the conversion system is modelled and simulations are performed. The models are developed in the MATLAB/Simulink[®] software environment.

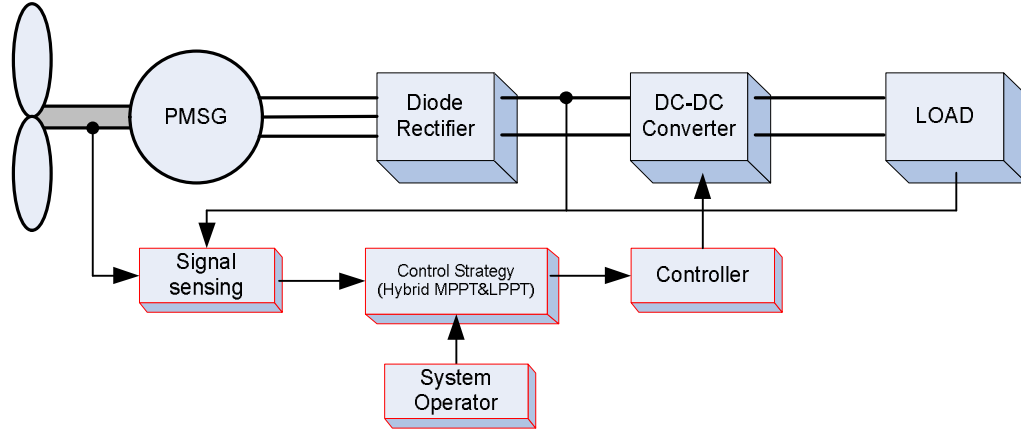


Fig. 1. Control concept of VSWT with DC-DC converter

A. Wind profile model

The model of the wind profile is tightly related to the wind turbine model and is important to recreate realistic aerial conditions. For the present study, the detailed model is simplified to filtered band limited white noise, added to rising or falling rate limited ramp. The wind speed, the magnitude of the wind speed variations and the power of the wind gust can be tuned.

B. Wind turbine model

The wind turbine extracts the wind aero dynamical power. Its model is based on three general equations:

- 1) Equation for the extracted aero dynamical power (1);
- 2) Equation for the turbine power coefficient C_p (2);
- 3) Equation for the tip speed ratio λ (3).

The model of the wind turbine uses several inputs to estimate precisely the mechanical torque and power, such as: the wind speed, the blade pitch angle and the rotor speed. The wind speed is provided by a wind model. Detailed wind models for complex aero dynamical calculation can be found in [0] and [0]. For the electrical simulations in this study, simplified model is used.

The aero dynamical power P_{wind} is expressed as follows.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p(\lambda, \theta) \quad (1)$$

where ρ is the air density equal to 1.225 kg/m^3 , A is the turbine blade surface, v is the wind speed, C_p is turbine power coefficient which depends on the tip speed ratio (3) and θ is the pitch angle. The power coefficient is different for every particular turbine and a convenient way to reproduce the power curve is found in [0], using (2)

$$C_p = a_1 \left(\frac{a_2}{\lambda_i} - a_3 \theta - a_4 \right) e^{-\frac{a_5}{\lambda_i}} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (3)$$

The pitch angle is θ and λ is the tip speed ratio (TSR). The coefficients a_i and b_i are chosen to fit very small power wind turbine (approximately 2 kW). Their values are shown in the appendix. The power coefficient of the turbine is shown in f .

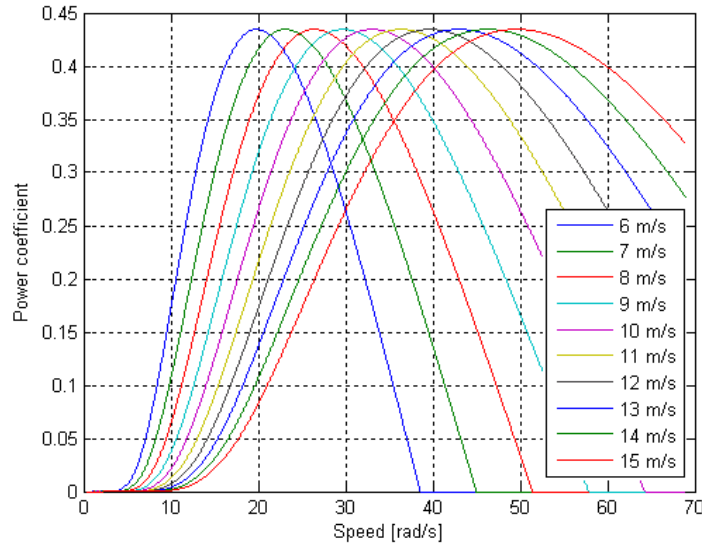


Fig. 2. Power coefficient curves for 2 kW wind turbine model

The turbine rotor swing is described by a standard one-mass model 0, 0, which equation is:

$$(J_T + J_G) \frac{d\omega_g}{dt} = T_T - T_G - D\omega_g \quad (4)$$

where J_T and J_G are the turbine and generator moment of inertia, T_T and T_G are the turbine and electromagnetic torque, D is the viscous friction factor and ω_g is the generator rotor speed.

C. Generator and diode rectifier models

The models of the generator and the diode rectifier (DR) are developed using the SimPowerSystem[®] library in the Matlab/Simulink[®]. The used generator parameters are presented in the appendix. The DR is universal bridge 3 arms diode rectifier.

D. The DC-DC converter model

The used DC-DC converter is a boost converter with one switch, driven by a PWM modulator as it is shown in Fig. 3.

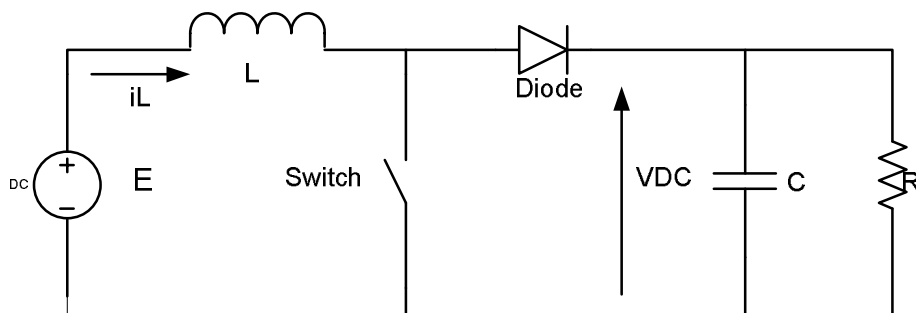


Fig. 3. Boost converter

The boost converter model is implemented in the study simulations using the electrical ports of Matlab SimPowerSystems[®] library 0. The control circuit of the boost converter is designed with current PI regulator. The regulator compares two current signals: the inductor current of the boost converter and the reference current obtained from the power point tracker controller. The error offset output is pulse width modulated and connected to the switch gate drive port.

3. New control strategy

In order to extract the maximum power available at various wind speeds, two different control algorithms are normally applied to the VSWT: pitch angle control and speed (torque) control.

The pitch control algorithm is used to change the pitch angle and the blades turn out slightly of the wind stream as so limiting the aero dynamical power in above rated wind speeds. This control acts directly upon an additional hydraulic system and is very important to protect the blades from breaking.

The speed control algorithm serves to keep the generator rotor speed in certain boundaries. As the wind fluctuates, the rotor will accelerate or decelerate in order to maintains that TSR, which give the maximum power coefficient. The control governs the generator by power converters electrical means. The grid synchronization is also accomplished by the converters. As the foreseen power converter configuration consists of passive diode rectifier and of DC-DC converter, the speed control is achieved by the boost converter.

The reference signal for the DC-DC converter current PI regulator is derived from the power point tracker. The tracker is ruled by new control strategy. The strategy is focused on the possibility to control the VSWT in the right-side of power curve (Fig. 4), only using the electrical generator and the power converters, instead of the pitch mechanism.

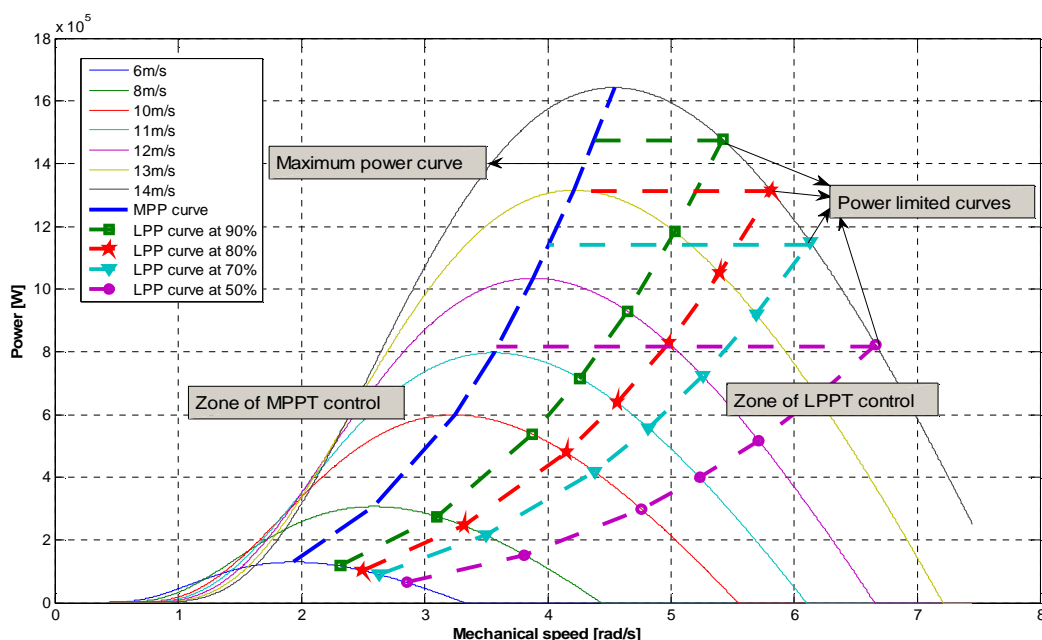


Fig. 4. MPPT and LPPT control regions

The control strategy is based on MPP and LPP trackers. When conditions are normal, i.e. all produced electric power is authorised to be transferred to the grid, the MPPT algorithm is switch on to keep the turbine converting the maximum available aero dynamical power. When the network system operator enforces to limit the turbine output power 0, the switch logic algorithm enables the LPPT algorithm. The algorithm keeps the turbine at one of the limited power point curves, as it can be seen on Fig.4, depending on the restricted conditions. Over again, the switch logic algorithm recalls the MPPT algorithm, when restricted conditions are cancelled. Nevertheless, when sudden large change in the wind speed occurs, the MPP tracker can use predefined turbine characteristics of the MPPT curve as it is shown in fig. 5.

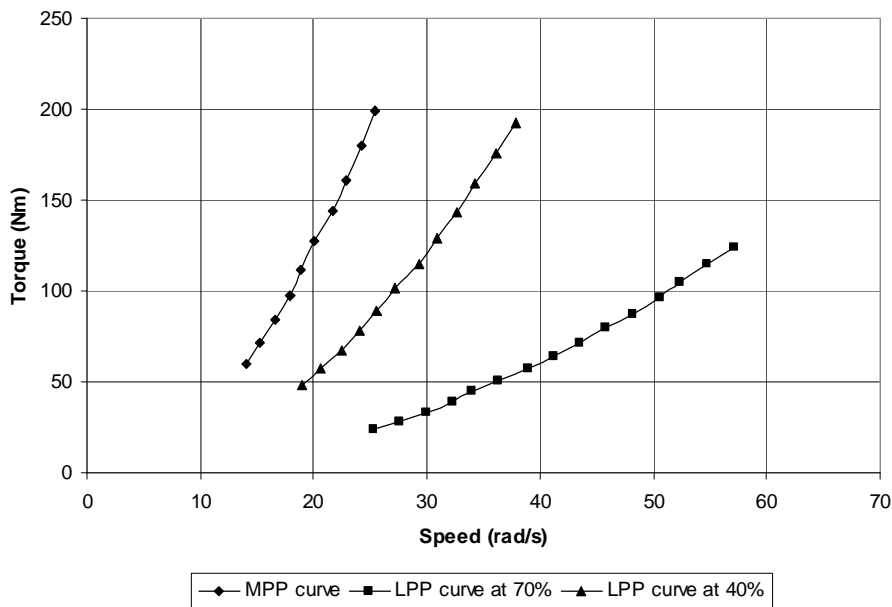


Fig. 5. Predefined maximum torque curves

The VSWT system exhibit nonlinear behavior and to model such system is often troublesome. The classical controllers are not suitable for nonlinear control application. The need to overcome such problem and to have a controller well-tuned not only for one operating point but also for a whole range of operating points emerge the use of controller such as fuzzy logic controller.

The VSWT is a multi-input multi-output system and the fuzzy logic method combines these two strategies in two fuzzy logic controllers (FLC) – MPPT controller (FLC-1) and LPPT controller (FLC-2). The structure schemes of the two controllers are shown in Fig. 6 and Fig. 7.

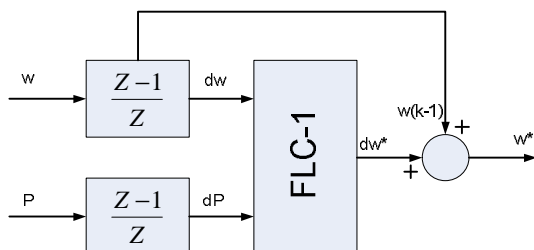


Fig. 6. MPPT fuzzy logic controller

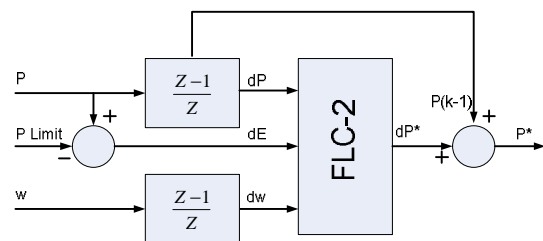


Fig. 7. LPPT fuzzy logic controller

The controllers are separated in three modules: fuzzification module, rules module and defuzzification module. The fuzzification module serve to assign the inputs and the outputs with seven linguistic variables in form of triangle membership functions called: NB (negative big), NM (negative medium), NS (negative small), ZR (zero), PS (positive small), PM (positive medium), and PB (positive big). The functions for the power input ΔP of FLC-1 is shown in Fig. 8. The membership functions for the FLC-2 are presented in Fig. 9.

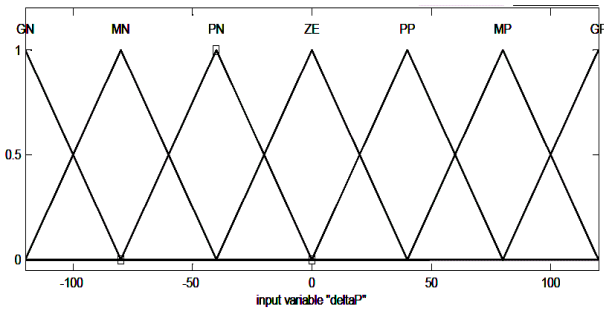


Fig. 8. Membership function for dP of FLC-1

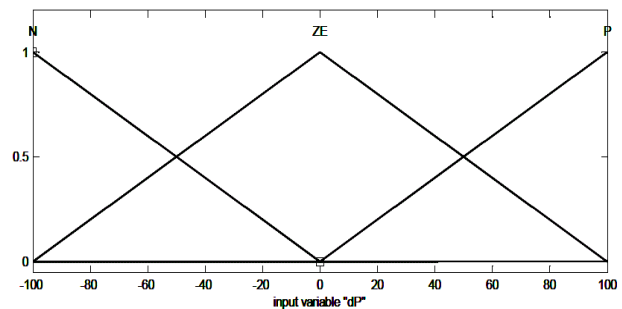


Fig. 9. Membership function for dP of FLC-2

The rules module consists of two sub blocks namely, fuzzy rule base and fuzzy implication. The inputs which are now fuzzified are fed to the inference engine and the rule base is then applied; the output fuzzy sets are then identified using fuzzy implication method. table I and table II show the rule base of fuzzy logic controllers FLC-1 and FLC-2.

TABLE I
BASIC RULES FOR FLC-1

d ω /dP	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	ZE	NM	NB	NB
NM	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
NS	PM	PS	PS	ZE	NS	NS	NM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	NS	ZE	PS	PS	PM
PM	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	NB	NB	NM	ZE	PM	PB	PB

TABLE II
Basic Rules For FLC-2

dP/dE	NB		NM		NS		ZE		PS		PM		PB	
N	PB	PB	PB	PM	PB	PS	ZE	ZE	ZE	NS	ZE	NM	ZE	NB
ZE	PB	PB	PB	PM	PB	PS	ZE	ZE	ZE	NS	ZE	NM	ZE	NB
P	PB	PB	PM	PB	PS	PB	ZE	ZE	NS	ZE	NM	NM	NB	ZE

*The white cells indicate the input condition $\Delta\omega < 0$; the gray cells indicate the input condition $\Delta\omega > 0$

4. Simulation results

The MATLAB/Simulink[®] model of the whole system was developed (see fig. 10). The model contains all the above described subsystems connected in one complex structure. The key role of the model is played by switch that the appropriate controller. This switch can be remotely governed by a network operator or locally by the turbine owner.

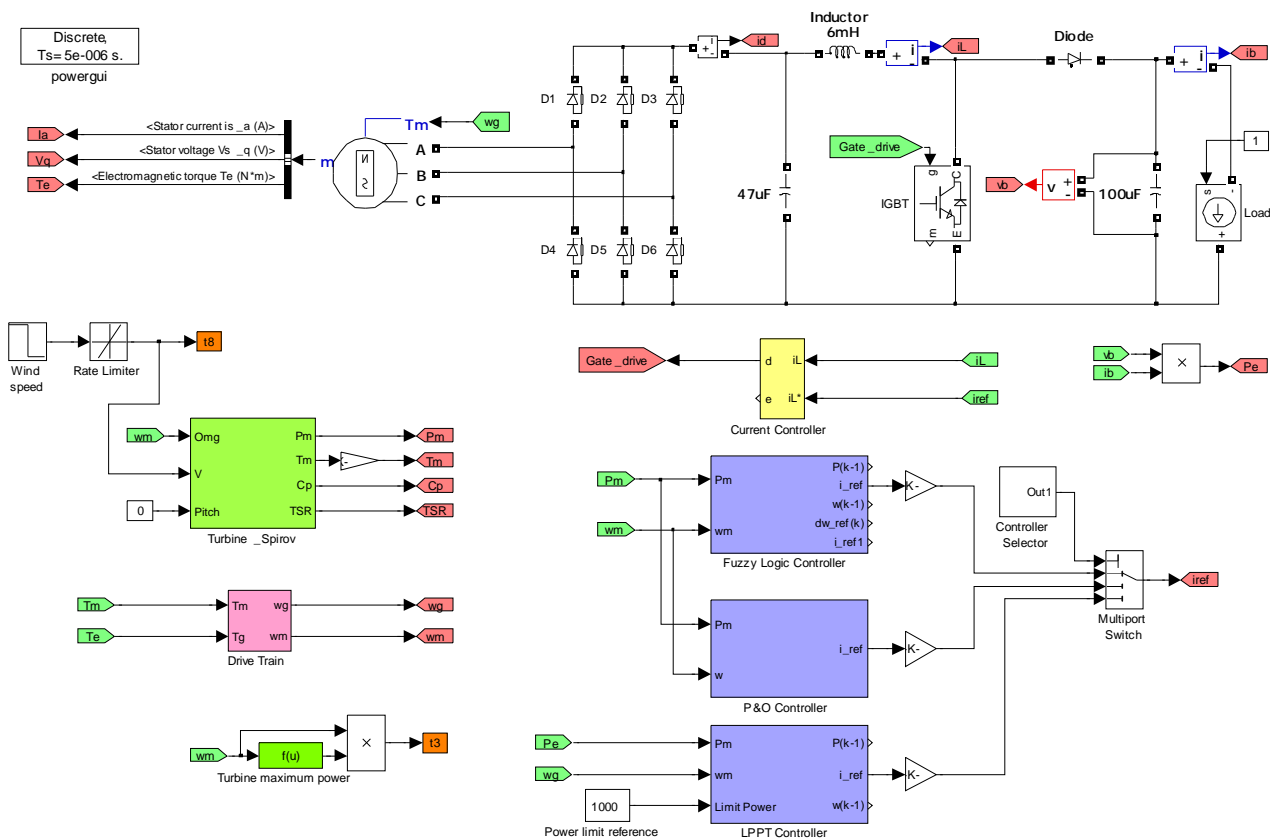


Fig. 10. MATLAB/Simulink[®] model of the system

Different simulations with the model were performed. Main results for the LPPT controller are shown in the following figures. The system was tested under a step change of the wind speed from about 6.5 m/s to 6 m/s of the modeled turbine, as it shown on Fig. 11. The output limited power reference is set to 1000W. The fuzzy logic controller response lags after the moment of wind speed change, as it can be seen on Fig. 12, but if the wind change is not extremely sudden (less than 0.5s for the simulation), the algorithm manages to keep the limited power operation point.

The DC converter input and output voltages are shown in Fig. 13. The converter always boosts the input rectifier voltage and after small transient response the output voltage remains constant.

In Fig. 14 the power curves are shown. As it can be seen, the output power is kept constant to about 1000W while the maximum available turbine power changes considerably. The output electrical power is less than the real turbine power with about 50W, because of the power losses in the generator and the DC-DC converter.

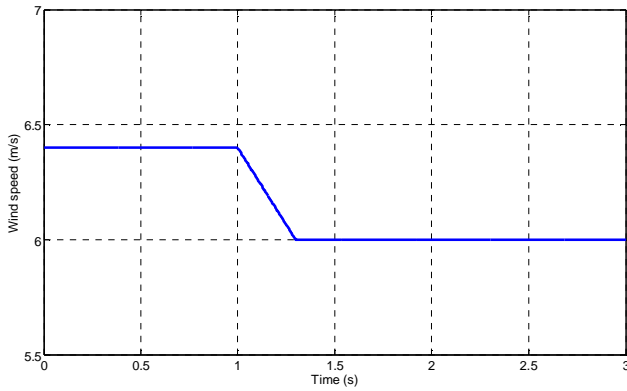


Fig. 11. Wind speed

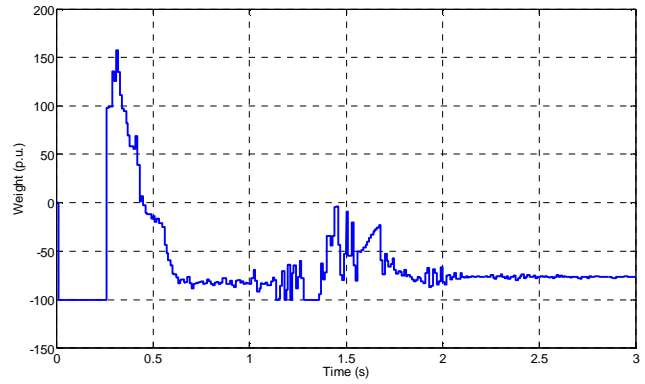


Fig. 12. Fuzzy logic controller response

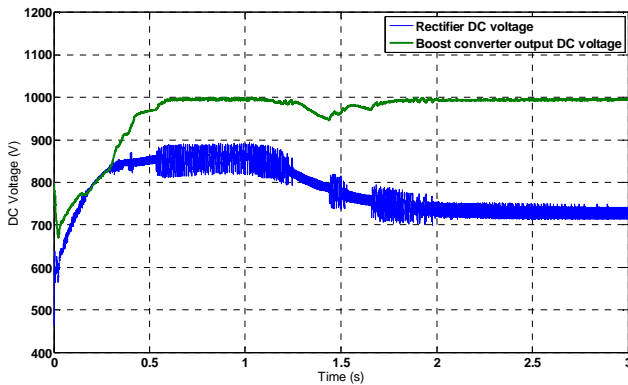


Fig. 13. DC-DC converter voltages at real wind conditions

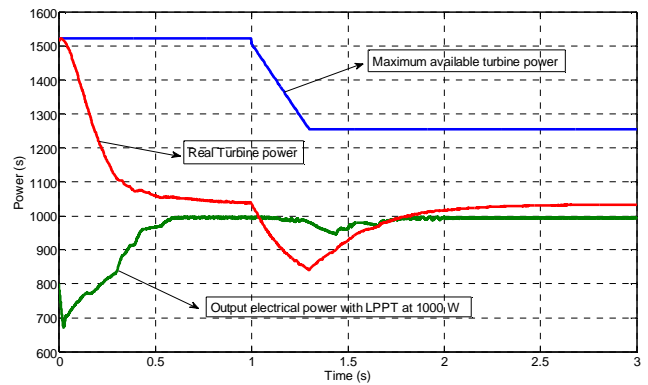


Fig. 14. Power curves with LPPT control

5. Conclusion

The proposed new strategy for output limited power control was successfully implemented with the developed fuzzy logic controllers. MATLAB/Simulink[®] model of the whole system is developed. The simulation results show good performance of the LPPT controller when the wind changes occur. The fuzzy logic controller has relatively fast response and succeeds to find and keep the referenced power points in a complex nonlinear system like the wind generator. The possibilities of control the output power of a VSWT by means of the electrical generator and the power electronic converter are proven. Nevertheless, investigation in more complex control algorithms strategy is foreseen to improve the advantages of this new limited power control strategy. The advantages of the LPP control can be also applied in hybrid systems and smart grids.

APPENDIX

Generator parameters:

Type: SG; Nominal torque: $T = 10$ Nm; Stator resistance: $R_s = 4.9\Omega$; d-axis inductance: $L_d = 0.025$ H; q-axis inductance: $L_q = 0.00911$ H; Flux: $\lambda_{fd} = 1.1$ Wb;

Inertia: $J = 0.006 \text{ kgm}^2$; Gearbox ratio: $N_{mult} = 15$.

Turbine coefficients:

$a_1 = 0.08$; $a_2 = 100$; $a_3 = 0.4$; $a_4 = 38$; $a_5 = 2.56$;

$b_1 = 0.08$; $b_2 = 0.035$;

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Bulgarian National Research Fund for the financial support (contract EE106/07) and the Technical University of Sofia for the financial aid (contract 102НН225-1/2010).

REFERENCES

- [1] Lazarov, V., D. Roye, Z. Zarkov, D. Spirov. Analysis of DC converters for wind generators. Proceedings of the XVI International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA, Bourgas, Bulgaria, June 2009.
- [2] Braun, M., G. Arnold, H. Laukamp. Plugging into the Zeitgeist: Experiences of photovoltaic network integration in Germany. IEEE Power & Energy magazine, Vol.7, No.3, pp.63-76, 2009.
- [3] Patsios, C., A. Chaniotis, A. Kladas. A hybrid maximum power point tracking system for grid-connected variable speed wind-generators. IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC, vol., no., pp.1749-1754, 15-19 June 2008.
- [4] Lazarov, V., D. Roye, D. Spirov. Study of Variable Speed Wind Turbine with Boost and Non-inverting Buck-Boost choppers and Maximum Power control strategy. Proceedings of the 6th Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting and Nano Materials, Bucharest, July 2009.
- [5] Datta, R., V. T. Ranganathan. A Method of Tracking the Peak Power Points for a Variable Speed Wind Energy Conversion System. IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 18, no 1, pp. 163-168, 2003.
- [6] Abo-Khalil, A.G., D-C. Lee, J-K. Seok. Variable speed wind power generation system based on fuzzy logic control for maximum output power tracking. IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference PESC 04, vol. 3, pp. 2039- 2043, 2004.
- [7] Wasynczuk, O., D.T. Man, J.P. Sullivan. Dynamic Behavior of a Class of Wind Turbine Generators during Random Wind Fluctuations. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, No. 6 June 1981.
- [8] Lubosny, Z. Wind Turbine Operation in Electric Power Systems. Springer 2003.
- [9] Heier, S. Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems. WILEY, 2006.
- [10] Spirov D., V. Lazarov, D. Roye, Z. Zarkov, O. Mansouri. Modélisation des convertisseurs statique dc-dc pour des applications dans les énergies renouvelables en utilisant MATLAB/Simulink. EF 2009, Compiègne, France.

Authors: Vladimir Lazarov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia and is responsible for the “Laboratory on Renewable Energy Sources”, Daniel Roye is a professor in INP – Grenoble; Zahari Zarkov is Associated Professor in the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia.

МОДЕЛИРАНЕ НА АКТИВЕН ИЗПРАВИТЕЛ ЗА ВЕТРОЕНЕРГИЙНА СИСТЕМА СЪС СИНХРОНЕН ГЕНЕРАТОР

Владимир Лазаров, Захари Зарков, Димитър Спиров

Резюме. Статията е посветена на изследването на съвместната работа на активен изправител с ШИМ, предназначен за ветроенергийна система със синхронен генератор. Разработен е компютърен модел на системата, който позволява да се симулира работата ѝ при промяна на скоростта на въртене на машината и при променлива мощност. Използвана е програмна среда Matlab/Simulink. Показани са резултати от симулациите при променлива скорост на въртене и при промяна на товара. Тези резултати доказват адекватността на модела и позволяват неговото използване и доразвиване с цел практическа реализация на управлението на изправителя и генератора.

MODELING OF PWM RECTIFIER FOR WIND ENERGY CONVERSION SYSTEM WITH SYNCHRONOUS GENERATOR

Vladimir Lazarov, Zahari Zarkov, Dimitar Spirov

Abstract. This paper is devoted to the study of the common work of a PWM rectifier with synchronous generator for a wind energy conversion system. A computer model of the rectifier with the generator is developed. The model allows the simulation of the system operation under variable machine speed and variable output power. The model and simulation study have been realized using Matlab/Simulink software environment. Simulation results carried out at variable speed and variable load are shown. The results confirmed the physical adequacy of the model and allow its use and further development for the practical control of a real PWM rectifier and synchronous generator.

1. Въведение

Системите за преобразуване на вятърна енергия станаха едни от най-важните обекти за изследване в областта на възобновяемите източници на енергия (ВИЕ). Тези изследвания продължават с бързото нарастване на мощността на ветрогенераторите и развитието на силовите електронни преобразуватели и тяхното управление 0, 0, 0.

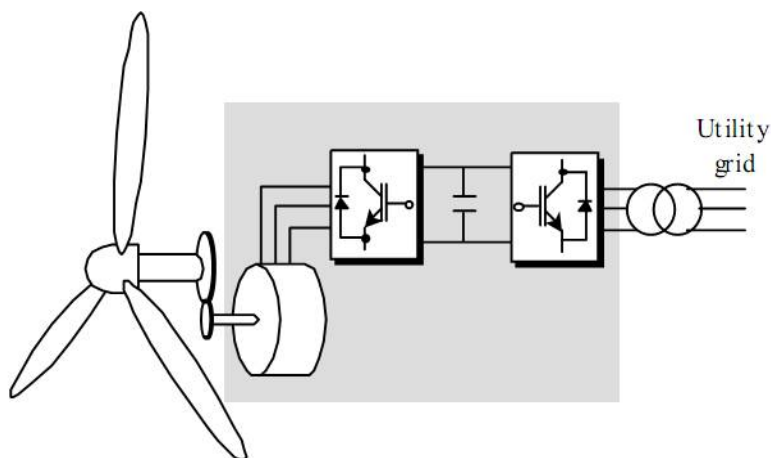
През последните години бяха разработени различни видове преобразуватели на енергия, които имат за цел по-лесното интегриране на ветроенергийните системи (ВЕС) към електрическата мрежа. Използването на силови електронни преобразуватели позволява работа на турбините и генераторите при променлива скорост и по този начин увеличава произведената енергия. При

всички случаи е необходимо да се използват управляващи системи с MPPT (следене на точката на максималната мощност) с цел да се извлече максимална мощност при всяка скорост на вятъра.

Синхронните генератори (СГ) при работа с променлива скорост се свързват към електрическата мрежа посредством преобразувател, състоящ се от изправител и инвертор 0, 0. Най-простото решение е да се използва неуправляем диоден изправител. Неговият недостатък е, че предизвиква хармоници в токовете на генератора и така намалява неговия к.п.д. Системите с активен изправител (или изправител с ШИМ 0, 0, 0) имат следните основни предимства 0:

- консумират почти синусоидален ток от генератора;
- позволяват обмен на енергия в двете посоки;
- работа с фактор на мощността, равен на едно, и регулиране на реактивната мощност, ако е необходимо;
- регулиране и стабилизация на изправеното постоянно напрежение;
- намален капацитет на филтровия кондензатор на постоянното напрежение.

Освен това регулирането на работата на генератора се извършва също чрез този преобразувател. Така се формира системата с два трифазни преобразувателя с ШИМ за връзка на СГ към електрическата мрежа (back-to-back преобразувател) – фиг. 1.

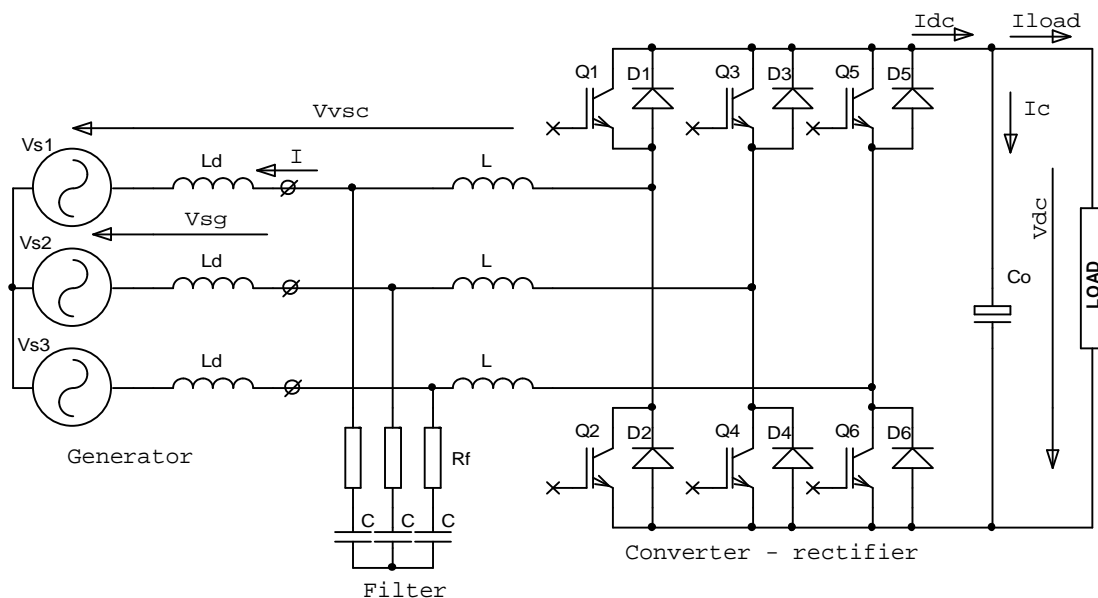


Фиг. 1. Схема на синхронен генератор, свързан към електрическата мрежа посредством back-to-back преобразувател

Обект на изследването в тази работа е активният изправител съвместно със синхронния генератор. Целта е да се създаде компютърен модел за симулиране на работата на тази система при различни условия – променлива скорост на въртене, променлив товар и др. Моделът ще позволи да се изпробват различни алгоритми и стратегии за управление преди да се пристъпи към практическа реализация. Програмната среда Matlab/Simulink с библиотеката SimPowerSystems позволява създаване на симулационни модели, които много добре отразяват физическата структура на реалните обекти и след това сравнително бързо програмиране на микроконтролер, който да управлява тези обекти.

2. Теоретична обосновка на принципа на работа на активен изправител

Общата схема на синхронния генератор и активния изправител е показана на фиг. 2. Между електронния преобразувател и СГ е включен LC филтър, който има за цел да филтрира високочестотните пулсации на тока, породени от ШИМ-а. Филтърът може да бъде и само индуктивен, но с кондензаторите се постига по-добро изглаждане както на тока, така и на напрежението на изводите на генератора. В схемата всяка от фазите на генератора е представена чрез източник на променливо напрежение (V_{s1} , V_{s2} , V_{s3}) и индуктивността на фазата L_d . Преобразувателят се състои от 6-раменен мост с IGBT транзистори и обратни диоди и филтров кондензатор C_o .



Фиг.2. Схема на силовата част на изправителя, свързан с генератора

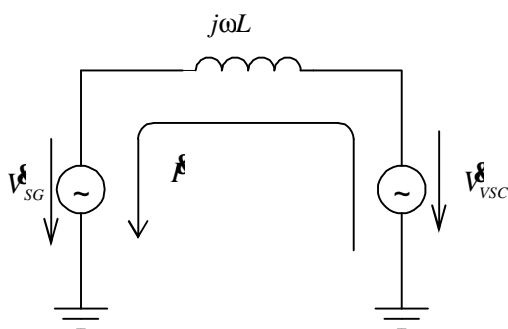
Обменът на енергия между синхронния генератор и активния изправител може да бъде обяснен с помощта на еквивалентната схема от фиг. 3. В нея има два източника на синусоидално напрежение с еднаква честота. Единият източник е СГ, а другият е активният изправител. Изправителят формира синусоидално напрежение посредством ШИМ. Токът, който протича между тях, се определя от импеданса на връзката. В нашия случай тази връзка е индуктивна, като влиянието на кондензаторите от филтъра е пренебрегнато за основната честота 50Hz. СГ отдава енергия, когато напрежението на изводите му изпреварва по фаза напрежението на изправителя – фиг. 4.

На фиг.3 е приета условна положителна посока на тока \hat{I} от изправителя към генератора, за да има общност с предишни работи на авторите 0. Големината на тока се определя от импеданса на индуктивността L и разликата на двете напрежения

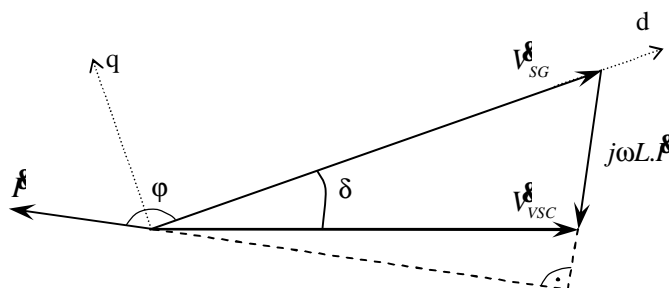
$$\hat{I} = \frac{V_{VSC} - V_{SG}}{j\omega L}, \quad (1)$$

където V_{VSC}^{δ} е ефективната стойност на първия хармоник на напрежението на изправителя, V_{SG}^{δ} – напрежението на изводите на генератора. Активното съпротивление във веригата между преобразувателя и генератора е пренебрегнато.

Векторната диаграма на напреженията и токовете, съответстваща на (1), е показана на фиг.4.



Фиг. 3. Заместваща електрическа схема на изправителя и генератора



Фиг. 4. Векторна диаграма на напреженията и токовете

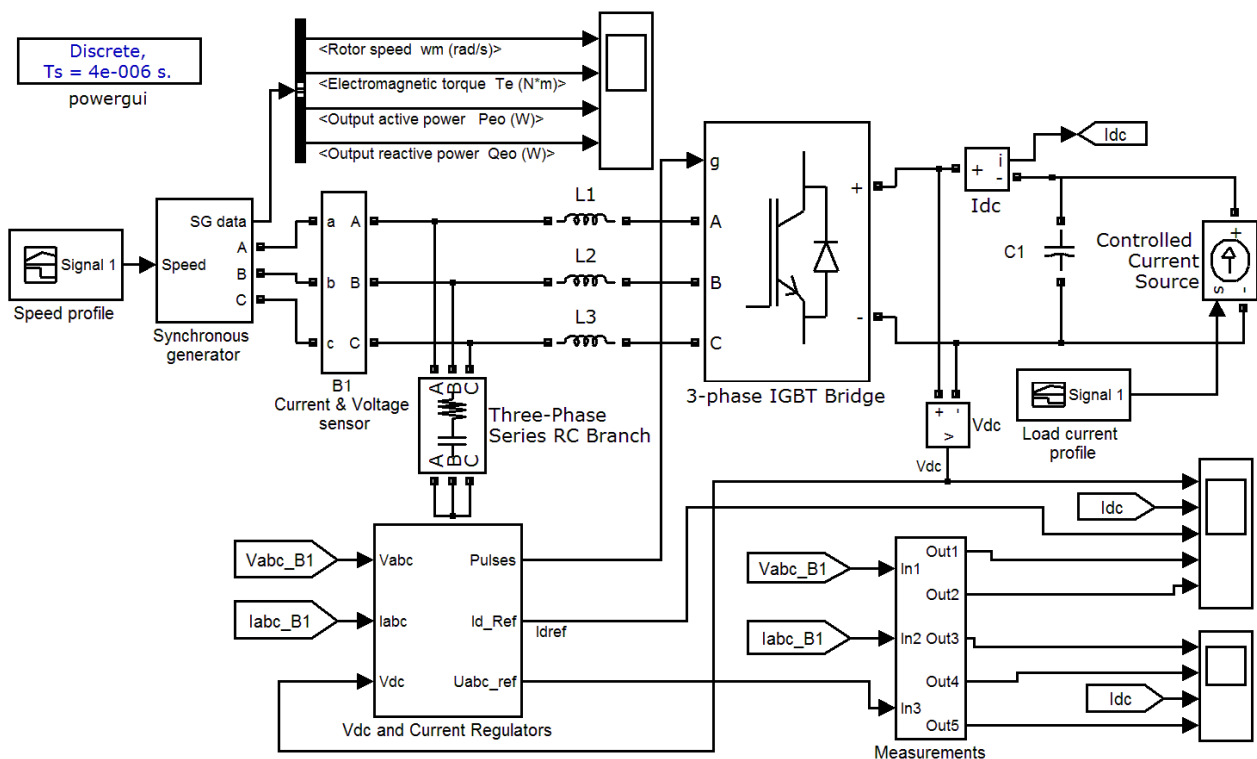
При отдаване на енергия от генератора към изправителя ще протича ток, който е дефазан на повече от 90° от напрежението на СГ, както е показано на фиг.4. При $\varphi < 90^{\circ}$ е обратното – енергията се предава към източника на напрежение и електронният преобразувател работи като инвертор. В практиката обикновено се използва $\varphi = 180^{\circ}$, при което се обменя само активна мощност, а реактивната мощност да е нула.

3. Модел на активен изправител със синхронен генератор в среда Matlab/Simulink

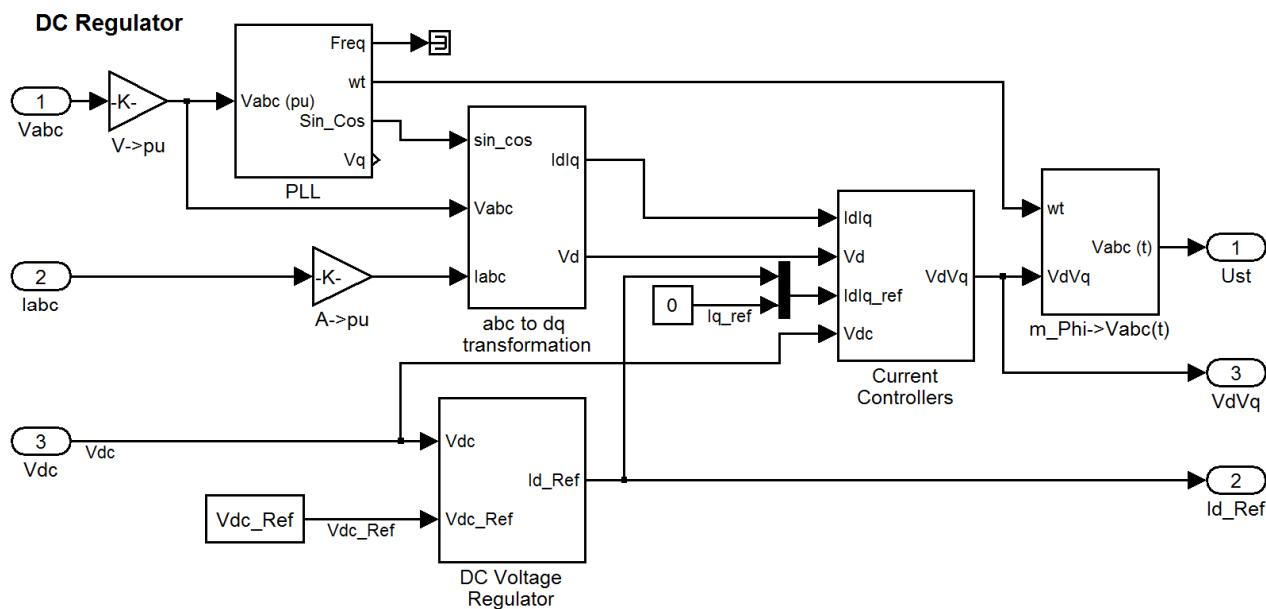
Един от основните проблеми при работата на ветрогенераторните уредби е променливата мощност на изхода на генератора, която се получава от промяната на скоростта на вятъра. Тук се появява необходимостта от съгласуване на мощностите на двата преобразувателя от системата back-to-back (изправител и инвертор). Много добър метод за съгласуване на тези мощности е поддържането на напрежението на междинния постоянен ток V_{dc} постоянно. Това се налага и от необходимостта V_{dc} да е винаги поне два пъти по-високо от амплитудата на фазовото напрежение на мрежата и генератора, за да може да се поддържа нормалната работа на преобразувателите.

Моделът е разработен в среда Matlab/Simulink като са използвани средствата на библиотеката SimPowerSystems. Общата схема на разработения модел е показана на фиг. 5. Схемата включва модел на СГ, който е описан подробно в 0. Трифазният мост с IGBT транзистори блок от библиотеката на SimPowerSystems. Регулаторите на тока и напрежението се намират в блока “Vdc and Current Regulators”. Освен това са прибавени и модули за измерване на величините в системата.

Управлението на изправителя става по два регулиращи контура – регулатор



Фиг. 5. Обобщена структура на разработения модел в Simulink



Фиг. 6. Структура на регулаторите на V_{dc} и на тока

на напрежението на изхода V_{dc} и регулатор на тока I , който е подчинена обратна връзка 0, 0. Схемата на модела е показана на фиг. 6. Регулаторите на тока работят в синхронно въртяща се d-q координатна система. Ориентацията на тази система може да бъде направена по два основни начина – Virtual Flux Oriented Control (VFOC) и Voltage Oriented Control (VOC) 0. В случая е избран VOC метод за ориентация, при който d- оста на к.с. съвпада с вектора на фаза 1 от трифазната система напрежения на изводите на генератора.

Синхронизацията с напрежението на СГ става с помощта на цифров PLL

(Phase Locked Loop). PLL дава текущия ъгъл на завъртане на вектора на напрежението и негова помощ се извършват трансформациите на Парк за токовете и напреженията в схемата. Регулаторите на тока са два – поотделно за d и за q съставката на тока. Така става възможно да се регулират активната и реактивната мощност на генератора. Обикновено се иска да се консумира само активна мощност и тогава заданието за реактивната съставка I_q се задава 0, както е показано на фиг.6.

Регулаторът на изходното напрежение V_{dc} дава на изхода си задание за активната съставка на тока I_d , което се подава към входа на регулатора на тока. По този начин изправителят е преобразувател на напрежение, но с токово управление (Current controlled Voltage Source Converter) На изхода на токовите регулатори се получават необходимите съставки на напрежението на изправителя V_d и V_q . Те се преобразуват отново в трифазна система напрежения, които се подават към модулятора за ШИМ. Модулаторът работи с честота 10kHz и изработва управляващите импулси за транзисторния мост.

В схемата на фиг. 5 управляемият източник на ток (*Controlled current source*) служи за имитиране на промените във времето на товарния ток на изправителя. Профилът на изменение е зададен от сигналгенератора *Load current profile*. Зададено е напрежението на изхода да се поддържа равно на 700V, което е нормално за трифазен преобразувател, който работи с променливо фазово напрежение с максимална стойност до 330V (230V – ефективна стойност).

4. Резултати от симулациите

С разработения модел са направени симулации при различни условия на работа. Стойностите на параметрите на схемата са следните:

- СГ тип MSM20 с електромагнитно възбуждане, мощност 1,5kW, $n=1500\text{rpm}$, линейно напрежение 400V, ток 2,2A;
- номинална мощност на инвертора 1,5kW при напрежение на мрежата 230V/50Hz;
- носеща честота на ШИМ – 10kHz;
- елементи на филтъра $L=4\text{mH}$, $C=4\mu\text{F}$, $R_f=4,4\Omega$;
- кондензатор на изхода на изправителя – 330 μF .

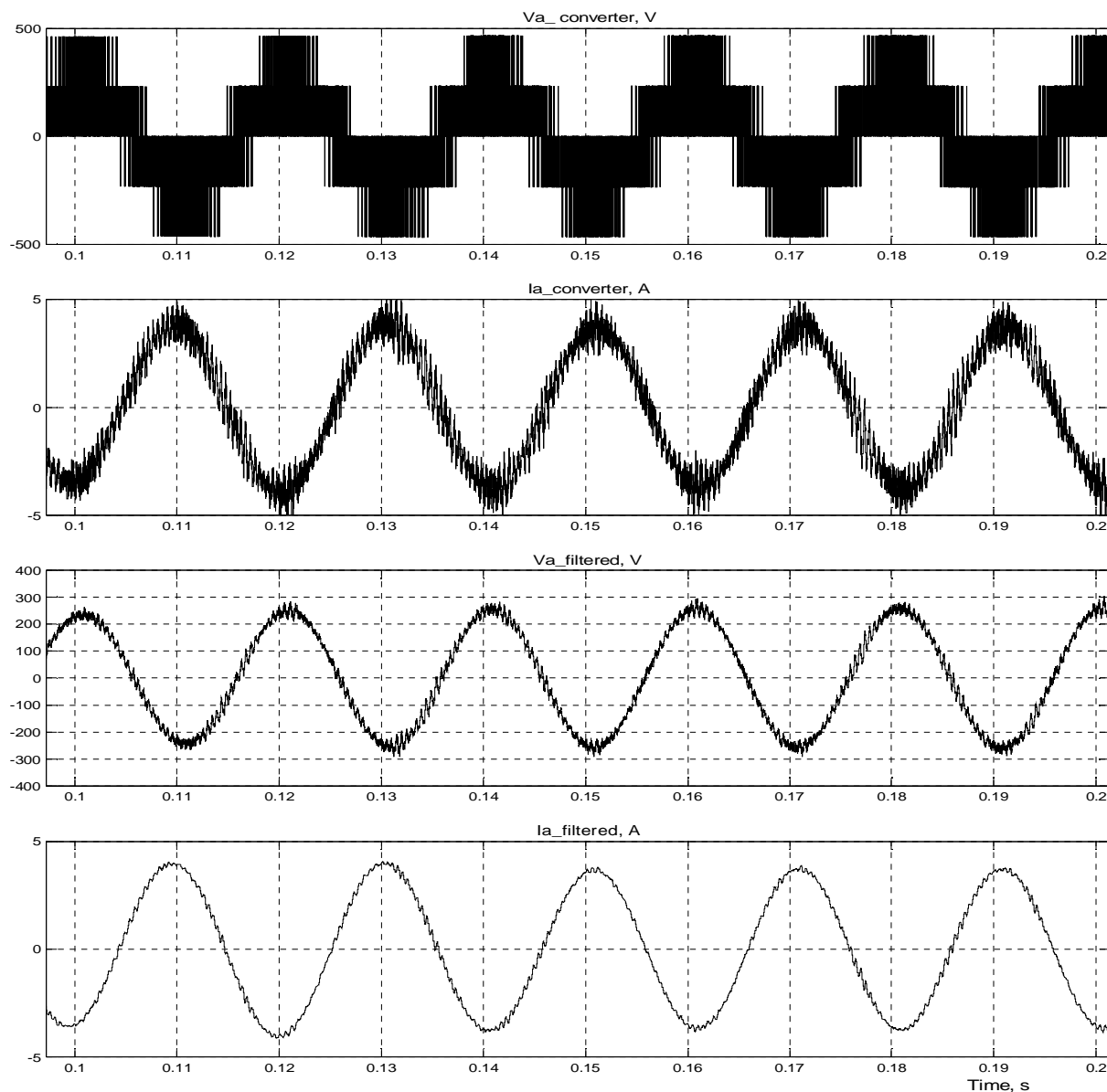
Най-важните резултати от симулациите са представени по-долу.

На фиг. 7 са показани формите на токовете и напреженията, които показват работата на изправителя с филтъра и токовия регулатор. Вижда се, че токът съвпада по фаза с напрежението на генератора. Високочестотните пулсации на тока, породени от модуляцията, са изгладени много добре от филтъра.

На фиг. 8 е показана работата на системата при промяна на товарния ток на изправителя I_{load} във времето. Регулаторът на напрежението съответно променя заданието за променливия ток I_a , който е показан на втората графика. Така напрежението на изхода V_{dc} се поддържа постоянно. Промените са в рамките на $\pm 2\text{V}$, което представлява $\pm 0,3\%$ от зададената стойност 700V. На 4^{-тата} графика е показан въртящият момент на генератора, а на последните две – активната P и

реактивната Q мощност на изхода му.

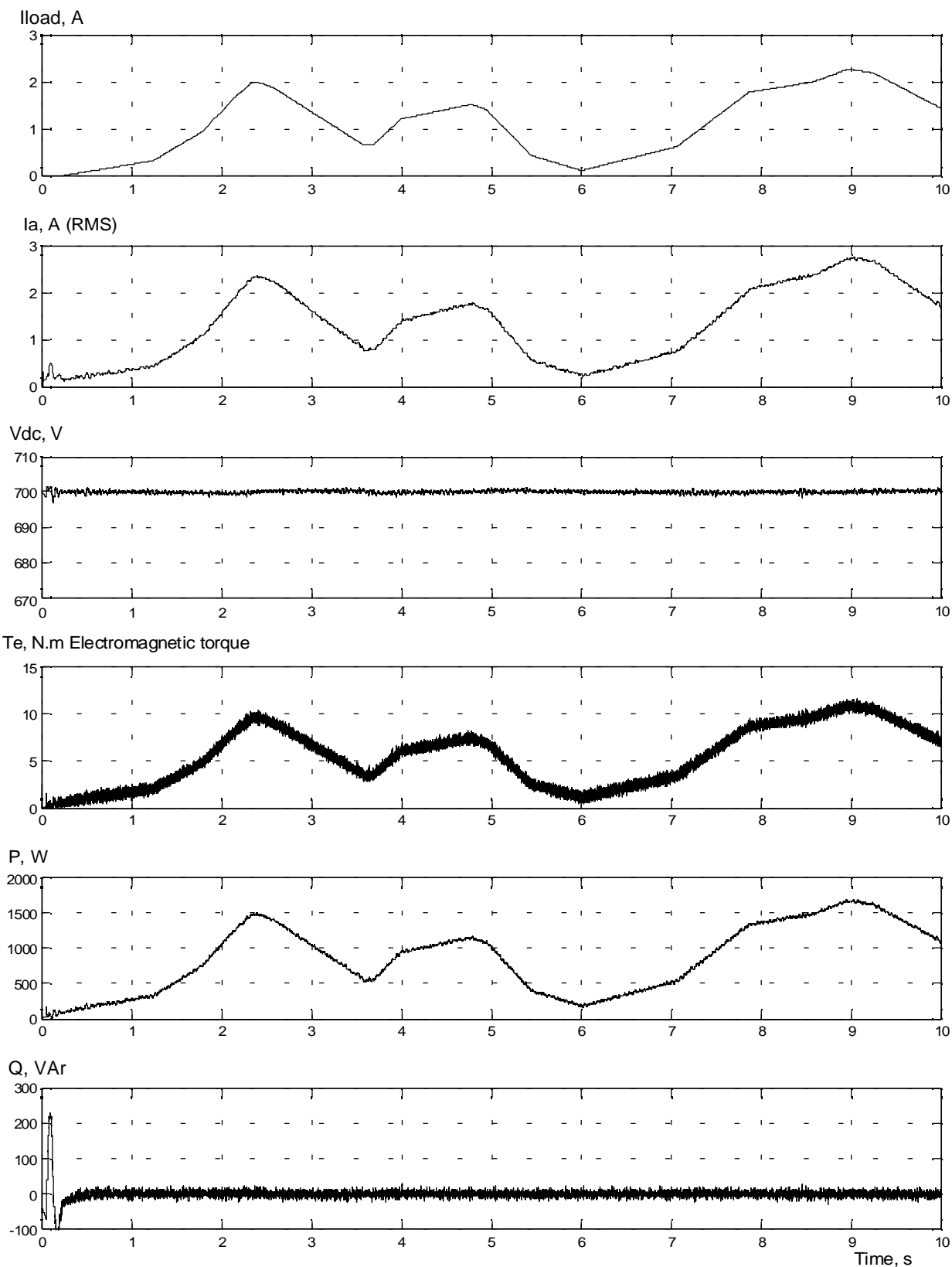
Вижда се, че моментът и активната мощност следват формата на товарния ток, което е обусловено от баланса на мощностите. Реактивната мощност е нула, защото такава е заданието за реактивната съставка на тока.



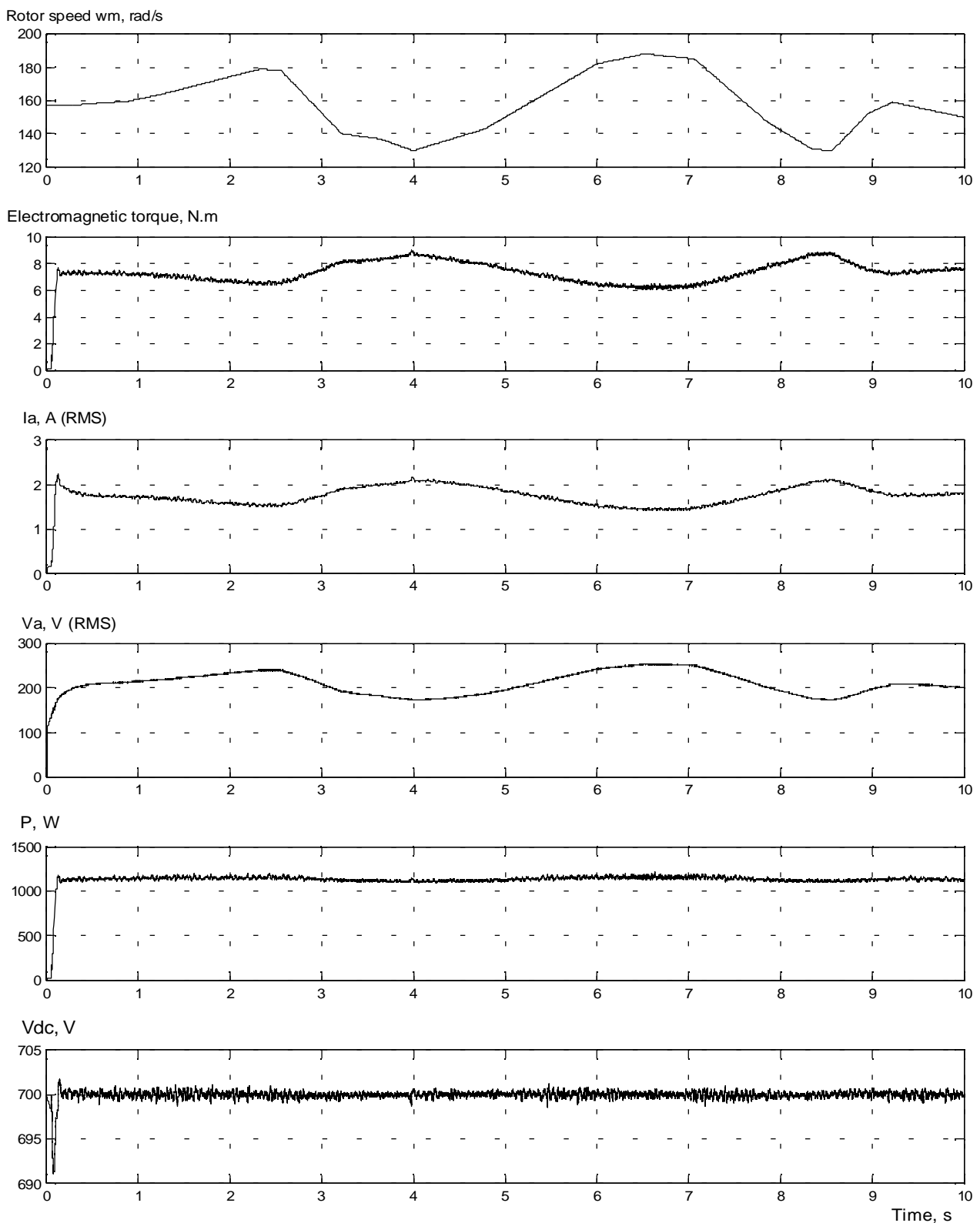
Фиг. 7. Форми на токовете и напреженията на изправителя и на генератора

На фиг. 9 е показана работата на системата при промяна на скоростта на въртене на генератора. Товарният ток на изправителя е постоянен във времето (1,5A). Тъй като регулаторът на напрежението поддържа напрежението на изхода постоянно (последната крива от фигурата), системата работи при константна мощност, което се вижда и от графиката на мощността P . И тук регулаторът на V_{dc} променя заданието за тока I_a , (3-тата графика), за да компенсира промените на напрежението на генератора V_a , предизвикани от промяната на скоростта на въртене.

Резултатите при двата режима на генератора показват правилната работа на регулаторите в модела.



Фиг. 8. Форми на величините при промяна на товарния ток.
 Отгоре надолу: I_{load} – товарен ток на изхода; I_a – ефективна стойност на фазовия ток на СГ; V_{dc} – постоянно напрежение на изхода на изправителя;
 T_e – електромагнитен момент на СГ; P – активна мощност на СГ;
 Q – реактивна мощност на СГ



Фиг. 9. Работа при промяна на скоростта на въртене. Отгоре надолу: ω_m - механична скорост на въртене на СГ; T_e - електромагнитен момент; I_a - ефективна стойност на тока на СГ; V_a - ефективна стойност на фазовото напрежение; P - активна мощност на СГ; V_{dc} - постоянно напрежение на изправителя.

5. Заключение

Създаден е компютърен модел на активен трифазен токоизправител с ШИМ съвместно със синхронен генератор. Проведените симулации показват работоспособността на модела. Разработените регулатори на напрежението и на токовете следят достатъчно точно заданията при изменение на скоростта на генератора и при изменение на товара. Това дава основание да се твърди, че това управление може да бъде използвано за реализиране на алгоритми за МРРТ и за работа при ограничена мощност на ветроенергийната система.

Регулаторът на постоянното напрежение осигурява правилен баланс между мощностите на генератора и товара. Регулаторите на тока осигуряват много добра форма на тока, а филтърът потиска високочестотните пулсации от модулацията и така се осигурява работа на синхронната машина при най-добри условия. Разработеният модел позволява да се регулира и реактивната мощност, обменяна с генератора, ако това е необходимо.

Моделът може да бъде използван и за други системи с електронни преобразуватели с конфигурация back-to-back като: двойно захранен асинхронен генератор или асинхронен генератор с накъсо съединен ротор, работещи при променлива скорост. Тъй като преобразувателят е реверсивен и може да обменя енергия в двете посоки, той може да се използва и за свързване на средства за запасяване на енергия, като суперкондензатори и акумулатори, към променливотокови електрически мрежи.

Моделът ще бъде използван за програмиране на микроконтролер за управление на реален обект – изправител за стенд, моделиращ работата на ветрогенератор при променлива скорост.

Благодарности

Авторите благодарят на НИС при ТУ-София за финансовата подкрепа – договор 102ни225-1.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Roye, D., V. Lazarov, D. Spirov, L. Stoyanov. Comparison of Energy Conversion Systems for Variable Speed Wind Turbine Application. Proc. of Int. Conf. ELMA2008, Sofia, Bulgaria, 2008, pp.136-141.
- [2] Baroudi, J.A. V. Dinavahi, A.M. Knight. A review of power converter topologies for wind generators. Elsevier, Renewable Energy 32 (2007) 2369–2385.
- [3] Malinowski, M., M.P. Kazmierkowski, A. Trzynadlowski. Review and comparative study of control techniques for three-phase PWM rectifiers. Elsevier, Mathematics and Computers in Simulation 63, 2003, 349–361.
- [4] Lazarov, V., Z. Zarkov, H. Kanchev. Grid-connected single-phase inverter for renewable energy sources. Proceedings of the TU – Sofia, vol.59, book 2, 2009, pp.122-130.
- [5] Rodríguez, J. R. et all. PWM Regenerative Rectifiers: State of the Art. . IEEE Transactions on Ind. Electronics, Vol. 52, No. 1, February 2005, pp. 5-401.

- [6] Zargari, N.R. and G. Joos. Performance Investigation of a Current-Controlled Voltage-Regulated PWM Rectifier in Rotating and Stationary Frames. IEEE Transactions on Ind. Electronics, Vol. 42, No. 4, August 1995, pp. 396-401.
- [7] Lazarov, V., D. Spirov, Z. Zarkov, L. Stoyanov. Modeling and simulation of synchronous generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 103-111.

Автори: доц. Владимир Лазаров, доц. Захари Зарков – кат. “Електрически машини”, инж. Димитър Спиров - Melexis Bulgaria Ltd

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОКАЗАТЕЛИТЕ ЗА КАЧЕСТВО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ, ВЪВ ФИРМА ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПЕЧАТНИ ПЛАТКИ

Светлана Цветкова, Ангел Петлешков, Иво Георгиев

Резюме. В доклада са дадени резултати от измерване и анализ на показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителната система захранваща фирма за производство на печатни платки по отношение на дадените норми в БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР “Показатели за качество на електроснабдяване”.

INVESTIGATION OF THE POWER QUALITY INDEXES IN COMPANY FOR PRODUCTION OF PRINTED-CIRCUIT BOARDS

Svetlana Tzvetkova, Angel Petleshkov, Ivo Georgiev

Abstract. Results from measurement and analysis of the power quality indexes in the electric supply system supplied company for production of printed-circuit boards with respect to the given norms in BDS EN 50160 and regulation of State energy and water regulatory commission “Electricity supply quality indexes” are given in the paper.

1. Въведение

Електрическата енергия е вид стока, която се произвежда и продава на потребителите, и като такава трябва да отговаря на определени изисквания. При окачествяване на електрическата енергия има няколко особености:

- Производството, пренасянето и доставянето практически се извършват в момента на потреблението. Непрекъснатостта на електрозахранването се оценява с показатели за надеждност.
- Всички основни електропотребители са включени и се захранват от обща електроенергийна система. Честотата в нея се осигурява общо от всички електрически централи, като потребителите не могат съзнателно да влияят върху честотата на захранващото напрежение.
- За разлика от другите стоки, върху качеството на електрическата енергия оказват влияние и самите потребители. Генераторите произвеждат електрическа енергия с определена големина и синусоидална форма на променливото напрежение. Но докато достигне до консуматорите, върху качеството на напрежението се отразяват както параметрите на веригите за пренасяне и разпределение, така и работата на самите потребители.

- Качеството на напрежението е различно в различните точки от електроенергийната система и електроснабдителните системи на потребителите. Общата техническа закономерност е показателите да се влошават по посока от генераторите към консуматорите на електрическа енергия.
- Качеството на напрежението може да се осигурява само съвместно от производители, снабдители, доставчици и потребители на електрическа енергия, като възможностите и отговорностите са по посочения ред.

Понятието качество на електрическата енергия се определя като съвкупност от характеристики на електрическата енергия, при които консуматорите ще работят нормално и ще изпълняват заложените в тях функции. Решаването на въпросите за контрола на показателите за качество на електрическата енергия изисква да се анализира структурата, параметрите и режимите на работа на електроснабдителната система и да се планира експериментално измерване и изследване, чрез които да се изясни характера на изменение на параметрите, определящи качеството ѝ.

В доклада е направено изследване и анализиране на показателите за качество на електрическата енергия, измерени във фирма за производство на печатни платки. Целта на доклада е да покаже, какво е качеството на електрическата енергия във фирмата, като се направи сравнение на измерените показатели за качество на електрическата енергия, със съответните нормативни документи които ги нормират [1, 2, 3].

2. Изследване на показателите за качество на електрическата енергия, във фирма за производство на печатни платки

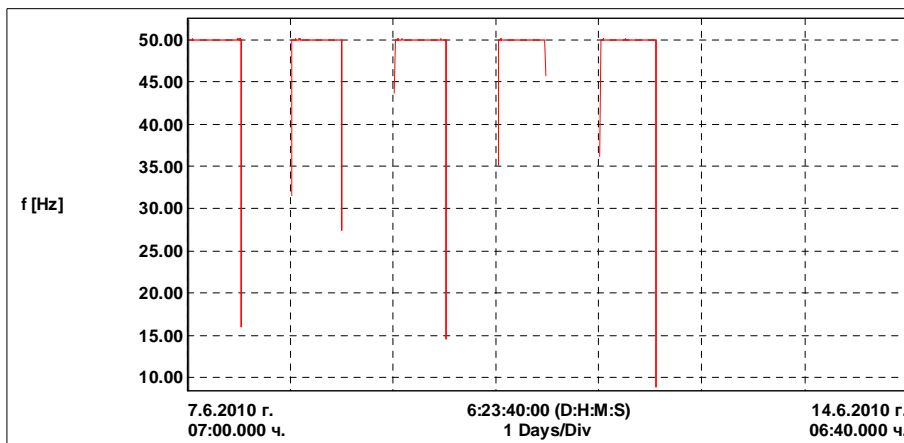
Проведено е изследване на показателите за качество на електрическата енергия, в електроснабдителната система ниско напрежение, захранваща фирма за производство на печатни платки.

Производственият процес включва дейности по автоматичен монтаж на електронни елементи, обемен електронен монтаж, механичен монтаж, както и свързаните с тях спомагателни технологични процеси.

Измерванията са проведени с трифазен анализатор на качеството на електрическата енергия QUALISTAR C.A 8332B, който дава възможност за измерване, изчисляване, запис и анализ на всички електрически величини и показателите за качеството на електрическата енергия, съгласно БДС EN 50160 [1]. Получената информация от измерванията е обработена със софтуер Data Viewer Professional. Измерванията са проведени в една контролна точка [4], намираща се на шините на главното разпределително табло.

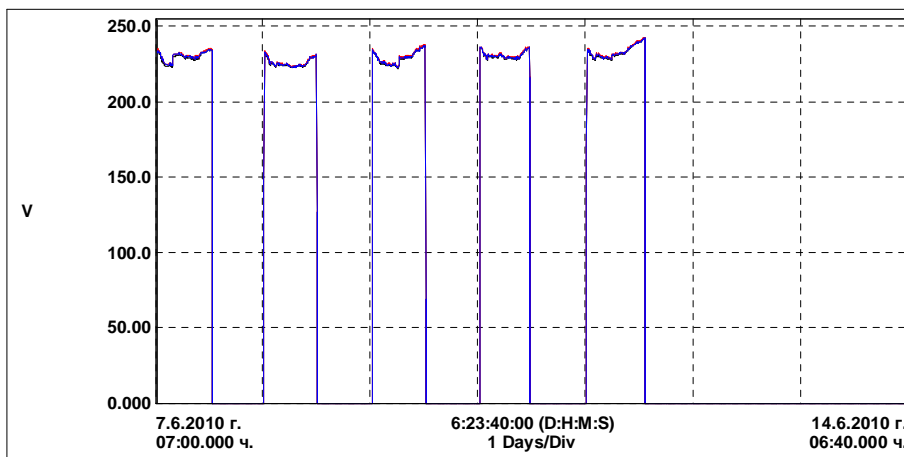
Периодът на измерване е 1 седмица – от 7.06.2010 г. 7:00 часа до 14.06.2010 г. 6:40 часа. Захранващата мрежа е трифазна, трипроводна с изолирана неутрала. Особеност на електрозахранването на фирмата, е че включването и изключването на захранването ѝ с електрическа енергия става в началото и в края на всеки работен ден.

На фиг. 1 е показана честотата на захранващото напрежение. Виждат се пропадания на честотата, които се дължат на включването и изключването на захранването в началото и края на всеки работен ден. Като се пренебрегнат тези пропадания, по време на производствения процес, честотата на захранващото напрежение е почти постоянна, като нейната средна стойност за целия период на измерването е 49,99 Hz. Максималната стойност на честотата е 50,07 Hz, а минималната – 49,94 Hz. Тези стойности напълно отговарят на нормата от $50\text{Hz} \pm 1\%$ (49,5 Hz до 50,5 Hz), дадена в [1, 2, 3].



Фиг. 1. Изменение на честотата на захранващото напрежение

На фиг. 2 е показано изменението на ефективните стойности на фазните напрежения за целия период на измерването – L_1 , L_2 и L_3 .



Фиг. 2. Ефективни стойности на фазните напрежения

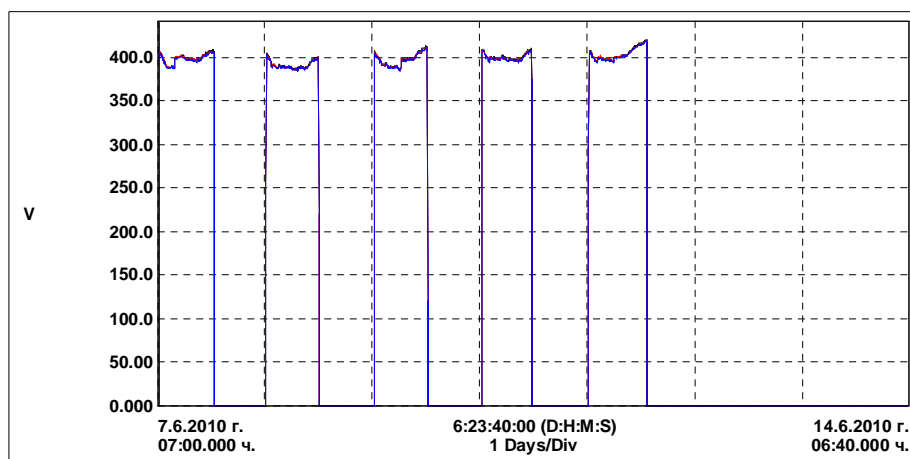
В Таблица 1 са дадени минималната, средната и максималната стойност на фазните напрежения. Максималното отклонение на напреженията е съответно за фаза L_1 и фаза L_3 5,3%, за фаза L_2 5,7% .

Таблица 1

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
U, V	L_1	221,8	229,66	242,1
	L_2	222,6	230,51	243,1
	L_3	222,4	230,05	242,3

От направеното изследване, следва че фазните напрежения за целия период на измерване се изменят в допустимия диапазон от $\pm 10\%$ от номиналното фазно напрежение, което е 230 V, регламентиран от БДС EN 50160 [1].

На фиг. 3 са показани ефективните стойности на линейните напрежения – L_{12} , L_{23} и L_{13} .



Фиг. 3. Ефективни стойности на линейните напрежения

В Таблица 2 са дадени минималната, средната и максималната стойност на линейните напрежения. Максималното отклонение на линейните напрежения е съответно за L_{12} е 5,3%, за L_{23} 5% и за L_{13} 4,8%.

От направеното изследване, следва че линейните напрежения за целия период на измерване се изменят в допустимия диапазон от $\pm 10\%$ от номиналното напрежение, което е 400 V, регламентиран от БДС EN 50160 [1].

Таблица 2

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
U, V	L_{12}	385,3	399,24	421,1
	L_{23}	385,1	398,62	420,1
	L_{23}	384,4	397,74	419

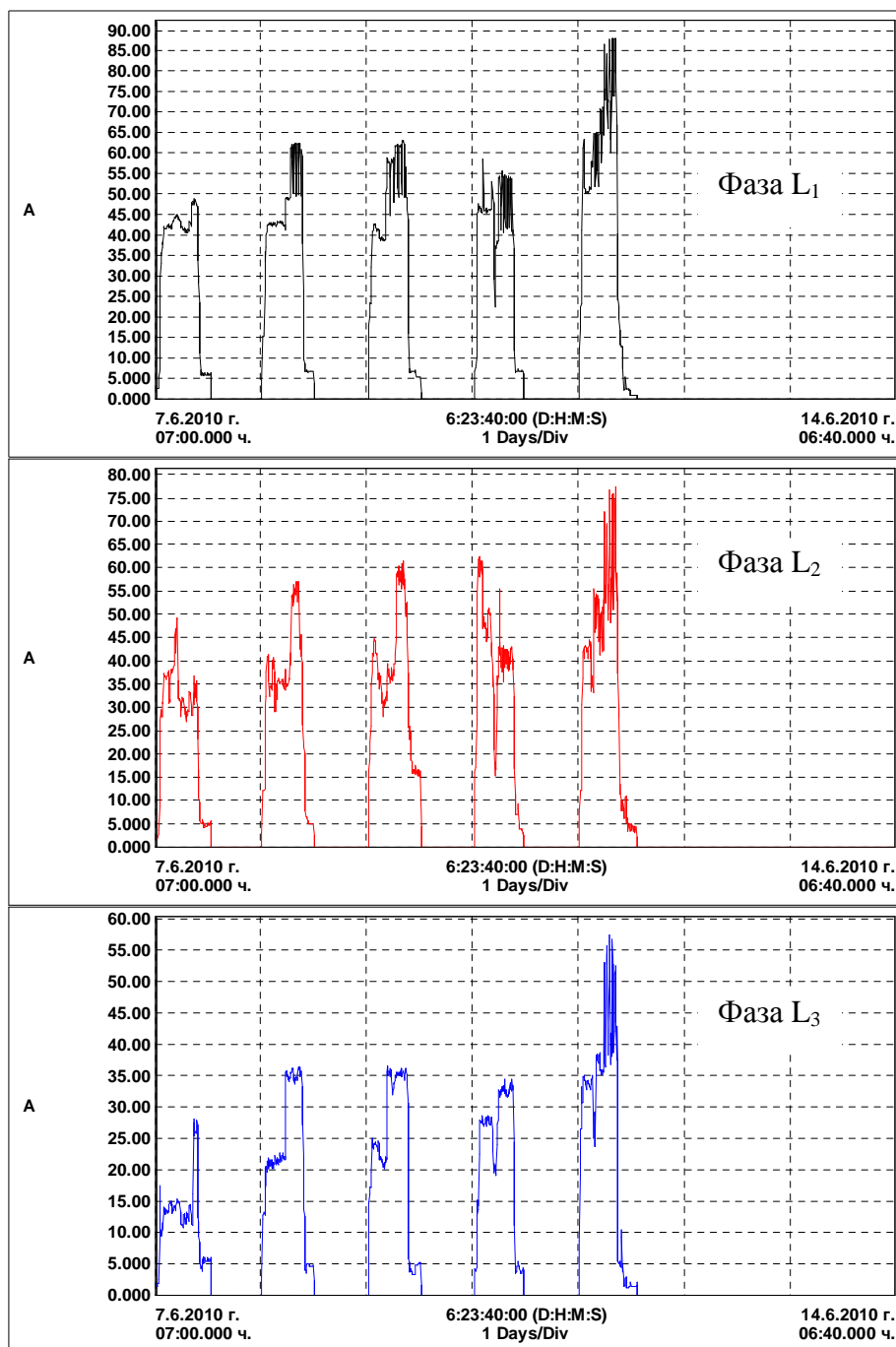
Краткотрайни спадания и пренапрежения на захранващото напрежение не се наблюдават.

За времето, през което уредът е бил включен не са регистрирани случайни прекъсвания на захранващото напрежение. Линейните, както и фазните напрежения достигат стойност 0 V, което се дължи на изключването на захранването, в края на всеки работен ден. Тези прекъсвания на захранващото напрежение могат да се класифицират като планирани прекъсвания, свързани с естеството на работа във фирмата.

На фиг. 4 е показано изменението на тока в трите фази, а в Таблица 3 са дадени минималната, средната и максималната стойност на тока в трите фази.

Таблица 3

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
I, A	L ₁	1	37,97	88,1
	L ₂	1,7	32,73	77,5
	L ₃	1,2	21,06	57,6

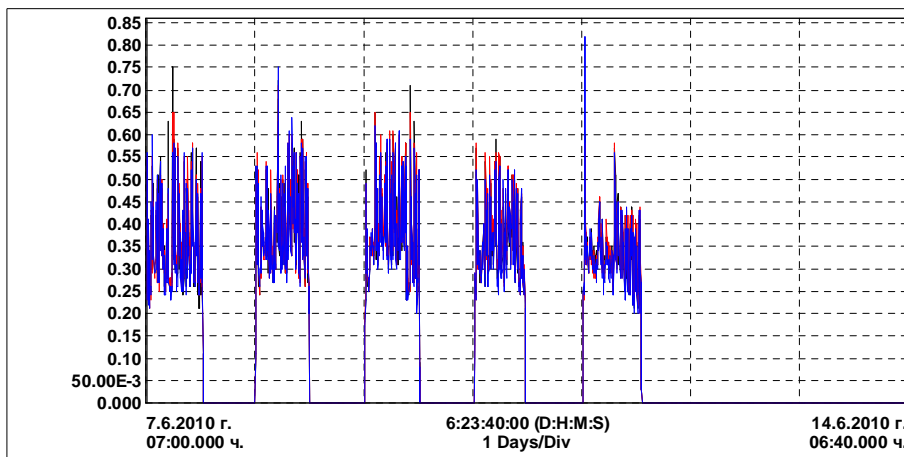


Фиг. 4. Ефективна стойност на фазните токове

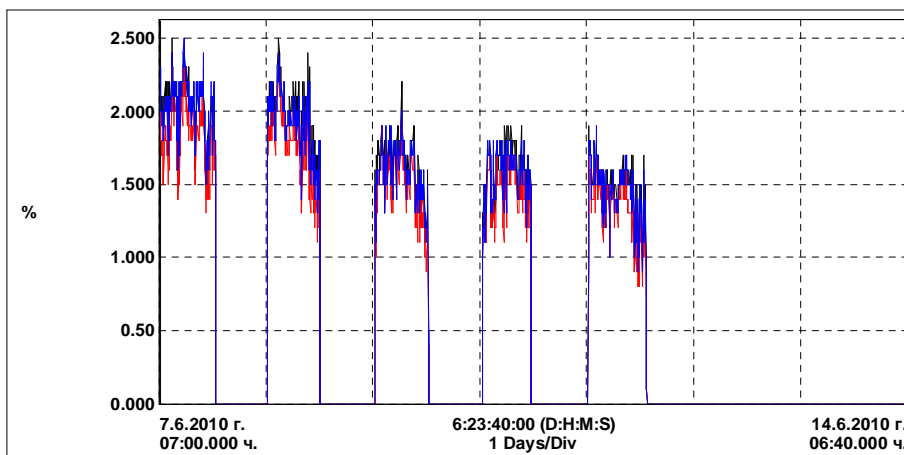
Краткотрайните изменения на напрежението се оценяват по стойността на фликера и неговата строгост. На фиг. 5 са дадени измерените стойности на фликера за трите фази. От фигурата се вижда, че максималната стойност до която достига фликера е 0,82, която е под допустимата стойност 1, нормирана в БДС EN 50160.

На фиг. 6 и фиг. 7 е дадено общото хармонично изкривяване, съответно на линейните и фазните напрежения, в % от номиналното напрежение.

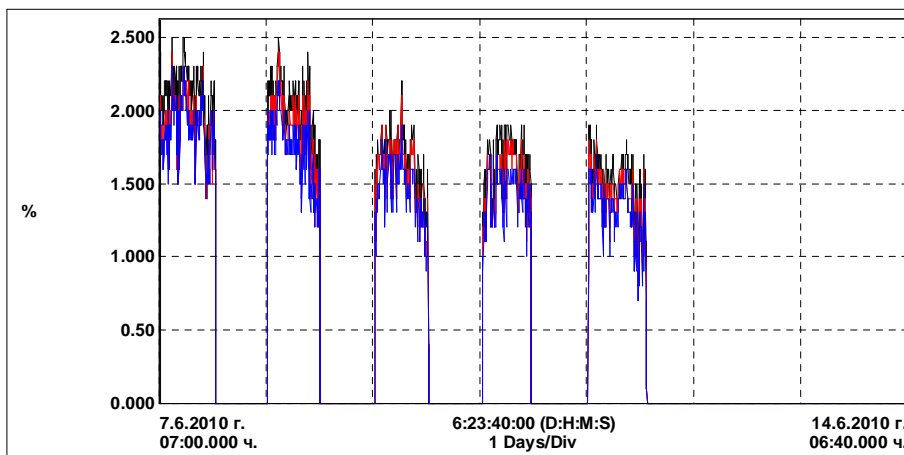
Най-големите стойности до които е достигнало общото хармонично изкривяване, както при линейните напрежения (за L_{12} – 2,5%, за L_{23} – 2,3% и за L_{13} – 2,5%), така и при фазните напрежения (за L_1 – 2,5%, за L_2 – 2,4% и за L_3 – 2%) отговарят на нормите дадени в стандарт БДС EN 50160 [1], който регламентира големината на общото хармонично изкривяване на захранващото напрежение да не превишава 8%.



Фиг. 5. Фликер

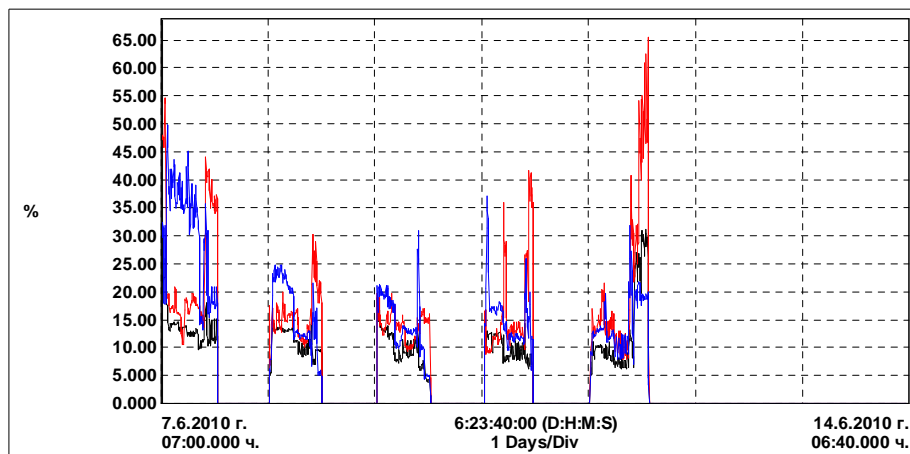


Фиг. 6. Общо хармонично изкривяване на линейните напрежения



Фиг. 7. Общо хармонично изкривяване на фазните напрежения

На фиг. 8 е показано общото хармонично изкривяване на токовете в трите фази. В Таблица 4 са дадени мимималните, средните и максималните стойности, които са отчетени за целия период на измерването.



Фиг. 8. Общо хармонично изкривяване на фазните токове

Таблица 4

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
Athd, %	L ₁	3,8	11,44	31,1
	L ₂	6,7	18,29	65,6
	L ₃	4,4	17,94	49,7

Стойностите на общото хармонично изкривяване на токовете в трите фази са значително по-високи от допустимата стойност от 25% регламентирана в IEC 61000-3-4 [5].

В Таблица 5 са дадени най-силно изразените хармонични съставлящи на захранващото напрежение – 5, 7, 11 и 13 хармоник. Вижда се, че техните стойности са много по-ниски от допустимите норми дадени в БДС EN 50160 [1]. Четни хармоници на напрежението не се наблюдават.

Таблица 5

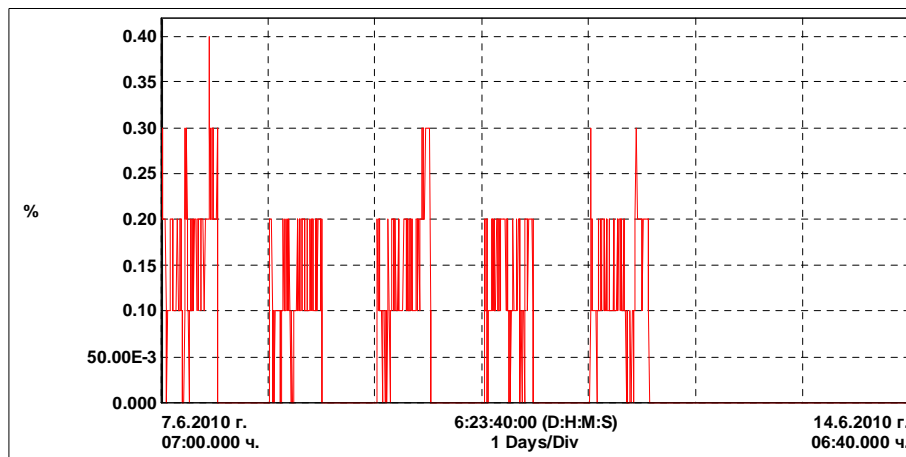
Ред на хармоника	Напрежение	Средна стойност, %	Минимална стойност, %	Максимална стойност, %	Допустима стойност, %	Отговаря
5	L ₁	1,34	0,4	2,2	6	Да
	L ₂	1,15	0,2	2,1	6	Да
	L ₃	1,35	0,5	2,2	6	Да
7	L ₁	0,80	0,1	1,3	5	Да
	L ₂	0,78	0,1	1,3	5	Да
	L ₃	0,79	0,1	1,3	5	Да
11	L ₁	0,44	0,2	0,8	3,5	Да
	L ₂	0,42	0,2	0,8	3,5	Да
	L ₃	0,42	0,2	0,7	3,5	Да
13	L ₁	0,34	0	0,7	3	Да
	L ₂	0,28	0	0,6	3	Да
	L ₃	0,33	0	0,6	3	Да

Най-силно изразени са 5, 7, 11 и 13 хармоник на тока. Стойностите им са дадени в Таблица 6. Вижда се, че техните стойности са много по-големи от допустимите от IEC 61000-3-4 стойности. Наблюдават се и четни хармоници на тока, големината на които е в допустимата от стандарта норма от 8/h, където h е номера на хармоника.

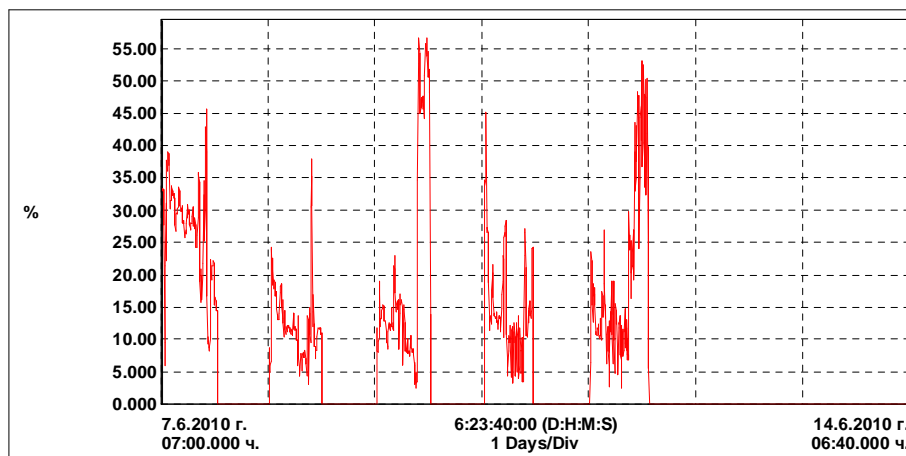
Таблица 6

Ред на хармоника	Ток	Средна стойност, %	Минимална стойност, %	Максимална стойност, %	Допустима стойност, %	Отговаря
5	L ₁	5,86	0,5	17,2	20,7	Да
	L ₂	8,86	0,6	32,7	20,7	Не
	L ₃	10,37	0,4	31,2	20,7	Не
7	L ₁	4,77	1,0	12,1	7,2	Не
	L ₂	7,63	0,8	24,6	7,2	Не
	L ₃	8,27	0,6	24,2	7,2	Не
11	L ₁	2,12	0,3	8,5	3,8	Не
	L ₂	3,77	0,1	20,0	3,8	Не
	L ₃	4,58	0,4	13,1	3,8	Не
13	L ₁	1,54	0,1	6,1	3,1	Не
	L ₂	2,45	0,1	12,9	3,1	Не
	L ₃	3,09	0,2	10,2	3,1	Не

На фиг. 9 и фиг. 10 са показани несиметрията на напрежението и токовете.



Фиг. 9. Несиметрия на напрежението



Фиг. 10. Несиметрия на токовете

Максималната стойност на несиметрията на напрежението е 0,4%. Следователно несиметрията на напрежението е под допустимата граница от 2% в 100% от времето на провеждане на измерването. Максималната и средната стойност на несиметрията на токовете е съответно 56,7% и 6,93%.

В Таблица 7 са дадени минималната, средната и максималната стойност на измерените стойности на активната, реактивната и пълната мощност, за периода на измерването.

Таблица 7

Величина	Фаза	Стойност		
		Минимална	Средна	Максимална
P, kW	L ₁	0,10	6,99	18,07
	L ₂	0,15	6,65	17,28
	L ₃	0,08	4,08	12,43
Q, kVAr	L ₁	0,20	5,03	9,58
	L ₂	0,46	3,17	6,69
	L ₃	0,37	2,30	4,79
S, kVA	L ₁	0,24	8,69	20,43
	L ₂	0,42	7,53	17,98
	L ₃	0,28	4,84	13,34

Средната стойност на фактора на мощността, за времето на работа, при синусоидален режим е 0,801, а при несинусоидален режим е 0,816.

Консумиранта активна енергия за периода на измерването е 1068 kWh, реактивната е 631,4 kVArh, а пълната електрическа енергия е 1269 kVAh.

3. Заключение

От направените измервания и анализ, може да се каже, че електрическата енергия с така измерените показатели за качество на електрическата енергия отговаря на нормите дадени в БДС EN 50160. Изключение правят високите нива на хармониците на тока, които не отговарят на нормите дадени в IEC 61000-3-4, който не е със задължителен характер. Високите стойности на хармониците на тока могат да доведат до допълнителни загуби на електрическа енергия в електроснабдителната система на фирмата и влошаване на изолационните свойства на електрообзавеждането.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 50160 „Характеристики на напрежението на електрическата енергия доставяна от обществените разпределителни електрически системи”, 2006.
- [2] ДКЕВР, „Показатели за качество на електроснабдяване”, юли, 2004.
- [3] ДКЕВР, „Методика за отчитане изпълнението на целевите показатели и контрол на показателите за качество на електрическата енергия и качество на обслужването на мрежовите оператори, обществените доставчици и крайни снабдители”, юни, 2010.

[4] Цанев, Ц., С. Цветкова, В. Цветкова, „Определяне на контролните точки за монтаж на апаратура за измерване на качеството на електрическата енергия”, Енергиен форум 2008, 11-14 юни 2008, Варна, стр. 321-329.

[5] БДС IEC 61000-3-4 „Електромагнитна съвместимост (EMC) Част 3-4 Граници – ограничаване на емисиите на хармоничните токове в слаботокови системи, захранване за оборудването, с номинален ток над 16 А”, 1998.

Автори: доц. д-р Светлана Цветкова, гл. ас. Ангел Петлешков, бакалавър инж. Иво Георгиев – кат. ЕСЕОЕТ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОЛУЦИЛИНДРИЧЕН СЛЪНЧЕВ КОЛЕКТОР „ИКА”

Христо Чернев, Димитър Киров, Ангел Петлешков

Резюме. Категорично е доказано че полуцилиндричният колектор има средно 12% по-висока степен на ефективност от плоския колектор. Причините са основно в две посоки:

- цилиндричната форма на колектора предполага целодневно използване на максималната радиация на Слънцето за съответния час на деня;
- интегрираният слънчев акумулатор предопределя минимални (пренебрежимо малки) топлинни загуби за транспортиране на междинния топлоносител.

Стойността на комплексна слънчева система, отнесена към единица обем (100 l БГВ) е два пъти по-ниска. Възвращаемостта на такава система за БГВ или плувен басейн е по-малка от един летен сезон (средно 4 месеца). Тук не са отчетени съпътстващите икономически изгоди от сграда, изолация, противопожарни системи и други.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF SEMICYLINDER SOLAR COLLECTOR TYPE "IKA"

Hristo Chernev, Dimitar Kirov, Angel Petleshkov

Abstract. It is categorically proven that the semicylinder solar collector has average 12% higher stage of efficiency than flat solar collector. The causes are thoroughly in two directions:

- the semicylinder shape of the collector presumes all day usage of maximal sun radiation for a relevant hour of the day;
- the integrated solar accumulator predetermines minimal (disparaging small) amount of heat losses caused of transporting the heat-transfer medium.

The value of the complex solar system referred to a unit volume (100 l hot domestic water) is twice lower. The returning of investment for that system either for hot domestic water or for a swimming pool is less than one summer season (average four months). Here are not reviewed attendant economic benefits from the building, insulation, anti-fire precautions, etc.

1. Въведение

Човечеството изпитва необходимост от голямо количество енергия. Характерно за почти всички страни в света е стимулирането на нови технологии за получаване на топлинна и електрическа енергия чрез все по-

ефективно усвояване на възобновяеми енергийни източници. Една от формите за това е максималното оползотворяване на слънчевата енергия. В началото на ХХІ век технико-икономическите показатели на един продукт са основен фактор за неговото реализиране. Като основен елемент в активните слънчеви системи, слънчевите колектори и степента им на ефективност до голяма степен определят конкурентоспособността на тези инсталации. От голямо значение за ефективността на слънчевата инсталация са и прилежащите акумулатори на топлина - тяхната конструкция, място на монтаж, адаптиране в системата. Значително отражение на практическото използване на слънчеви системи оказва пазарната цена на изделието.

Дългогодишни наблюдения и изследвания на реални слънчеви колектори и слънчеви системи установиха категорично, че:

- видът на използваните конструктивни метали (стомана, мед, алуминий) не дава отражение върху характеристиките на колектора, а се отразява на себестойността му и корозионната устойчивост на изделието;
- използването на поликарбонатна маска увеличава с 12% ефективността на колектора спрямо битовото прозрачно стъкло и 5% - спрямо бяло закалено стъкло;
- колектор с 10 броя вертикални тръби $\Phi 10 - \Phi 12$ има най-добри показатели при сравнение на отношението ефективност към цена.

Освен това литературните данни и научните изследвания показват, че:

- наличието на слънце дори при относително ниски външни температури ($12 \div 25^{\circ}\text{C}$) се отразява положително на производителността на колектора;
- комбинацията от ниска температура (до 20°C) и плътна облачност рязко понижава производството на топлина от слънчевия колектор и го свежда само до частично усвояване на дифузното слънчево излъчване;
- при ниски външни температури (под 12°C) и наличие на слънце топлинната мощност на слънчевия колектор е осезателно по-ниска от условията с висока околна температура. Понижената мощност се дължи на значителни топлинни загуби от колектора и системата.
- при плътна облачност и високи температури до 30°C има ниска ефективност;
- прякото слънчево греене носи енергия (дифузна и отразена) под 10% от номиналната;
- изводите за слънчевите колектори „работещи” при облачно време (без слънце) е търговско шарлатанство.

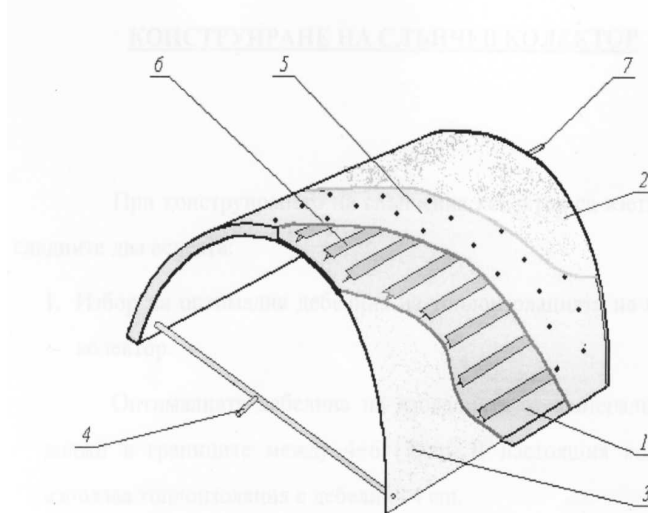
2. Експериментално изследване на полуцилиндричен слънчев колектор „ИКА”

Използвайки тези знания и констатации, в доклада е описана конструкция (фиг. 1) на една нова форма на слънчев колектор с полуцилиндрична геометрия. Този колектор може да се прилага, както с интегриран в него акумулатор, така и с отделно стоящ, стандартен акумулатор. На фиг. 2 е даден разрез на

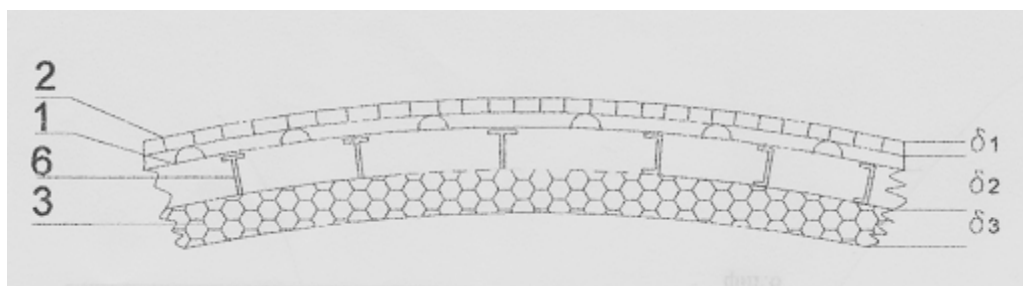
полуцилиндричен слънчев колектор с интегриран в него акумулатор, който е едновременно и абсорбер на колектора.

Означенията на фигурата са както следва:

- 1- Корпус от "INOX" - неръждаема конструкция на полуцилиндричен интегриран акумулатор, δ_2 ;
- 2 - Маска от поликарбонат - 4,5mm, δ_1 ;
- 3 - Теплоизолация от минерална вата - 50mm, δ_3 ;
- 4 - Вход топлоносител;
- 5 - Абсорбираща повърхност от "INOX" - неръждаема ламарина със селективно покритие;
- 6 - Дистанционни ребра от Т-образен или П-образен профил (фиг. 2);



Фиг. 1. Схема на изпитвания слънчев колектор тип „ИКА“



Фиг. 2. Разрез на полуцилиндричен слънчев колектор с интегриран акумулатор на топлина

Корпусът - акумулатор се изработва от неръждаема стомана AISI-316, което гарантира чистота на битова вода и липса на корозия. Полуцилиндричната конструкция с вътрешни ребра гарантира работно налягане 6 bar. Ребрата са изработени от същия материал с П- или Т-образна форма. Горната повърхност на акумулатора е снабдена с дистанциращи „пъпки“ с височина 5mm, които поддържат дистанция между маската и поликарбоната.

Поликарбонатната маска е от обемен материал - двустенна с обща дебелина 4,5mm - кристално изпълнение с 3µm UV- покритие. Опъната върху „пъпките” и предварително напрегната маската се държи от демонтируеми периферни лайсни.

Входът на водата е осигурен чрез разпределителна тръба, а изходът е от най-високата точка на акумулатора.

Горната повърхност на акумулатора е обработена със селективно черно покритие и служи за абсорбер. Долната повърхност на акумулатора е изолирана топлинно и опакована със защитно фолио и алуминиева ламарина. Полуцилиндричният слънчев колектор се монтира на носеща рамка. Препоръчителна е модулна конструкция, както при плоски слънчеви колектори.

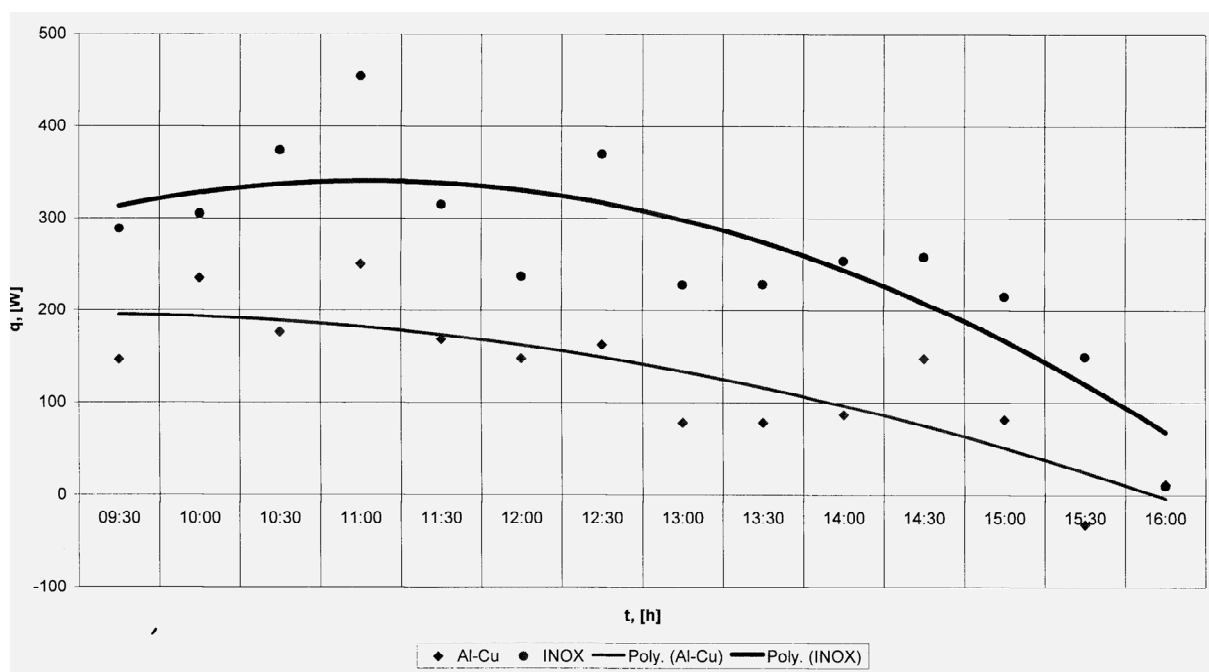
Новият полуцилиндричен слънчев колектор е подложен на хидравлично и топлинно лабораторно изследване. Интегрирания полуцилиндричен слънчев колектор тип „ИКА” най-напред е подложен на хидравлично изпитание при налягане 0.3MPa. В следствие на допълнително конструиране и укрепване на конструкцията, интегрирания колектор вече е в състояние да работи при наляганя до 0,6MPa. Одобрената конструкция на съоръжението е изработена от метал с обща нагревна площ 2m² за да бъде сравнима със съществуващи плоски конструкции на слънчеви колектори. Интегрираният колектор „ИКА” се монтира паралелно заедно с плосък колектор на изпитателен стенд, където са изследвани характеристиките му при различни макроклиматични условия и различен интензитет на слънчево греене. Проведено е паралелно сравнително изследване с плосък слънчев колектор (фиг. 3). Резултатите на сравнителното изследване са дадени в Таблица 1 и Таблица 2 и фиг. 4.



Фиг. 3. Екпериментален стенд

За периода на изследването, по статически данни за района на град София, при ъгъл на наклона приемната повърхнина $\beta=30^{\circ}$ е отчетена чрез солариметър интензивността на слънчевата радиация средно $I=392 \text{ W/m}^2$. Чрез нея е определена осреднена стойност на моментния коефициент на полезно действие η на всеки един от изпитваните колектори.

$$\eta = \frac{Q}{I \cdot F}$$



Фиг. 4. Сравнителни характеристики

Слънчевата константа, с която се изчислява максималното количество енергия, падащо на 1m^2 представлява плътността на потока от слънчева енергия в равнина, перпендикулярна на лъчите, т.е най-голям е интензитетът на Слънцето когато лъчите падат по пладне. В този момент плоските слънчеви колектори са с най-благоприятно огряване и имат най-голяма ефективност. За разлика от плоските колектори, колекторът тип „ИКА – INOX” – полуцилиндър е така конструиран, че поради полуцилиндричната си форма през целия ден е непрекъснато огрян от Слънцето. От изгрева до залеза на Слънцето (приблизително 10 h) непрекъснато има област по нагревната повърхнина на колектора, върху която слънчевия интензитет е максимален. Това го прави високоефективен. Друго предимство на този тип колектор е това, че интегрира в себе си и акумулатора на топлина, поради което той може да изпълнява функцията и на противопожарен обем (не се налага да се осигурява спринклерна или дренчерна система) за сградата, в която е монтиран, тъй като колекторът съдържа воден обем от 100 l.

Таблица 1

час	tвн	tвх	тизх	водомер	Δt	tср	v	v	ρ	m	Cp	Q
h	°C	°C	°C	mm	°C	°C	l	l/s	kg/m ³	kg/s	kJ/kgK	w
9:00	17,3			968								
9:30	18,3	17,6	20,3	1014	2,7	19,0	46	0,026	998,40	0,026	4.18	288
10:00	19,0	20,3	23,1	1061	2,8	21,7	47	0,026	997,83	0,026	4.18	305
10:30	20,5	23,1	26,2	1113	3,1	24,7	52	0,029	997,12	0,029	4.18	373
11:00	22,0	26,2	29,9	1166	3,7	28,1	53	0,029	996,20	0,029	4.18	454
11:30	23,5	29,9	32,8	1213	2,9	31,4	47	0,026	995,22	0,026	4.18	315
12:00	24,5	32,8	35,3	1254	2,5	34,1	41	0,023	994,34	0,023	4.18	237
12:30	25,0	35,3	38,5	1304	3,2	36,9	50	0,028	993,37	0,028	4.18	369
13:00	26,5	38,5	40,4	1356	1,9	39,5	52	0,029	992,41	0,029	4.18	228
13:30	27,5	40,4	42,6	1401	2,2	41,5	45	0,025	991,64	0,025	4.18	228
14:00	27,5	42,6	44,6	1456	2,0	43,6	55	0,031	990,79	0,030	4.18	253
14:30	28,0	44,6	46,6	1512	2,0	45,6	56	0,031	989,96	0,031	4.18	257
15:00	29,5	46,6	48,4	1564	1,8	47,5	52	0,029	989,15	0,029	4.18	215
15:30	28,5	48,4	49,5	1623	1,1	49,0	59	0,033	988,49	0,032	4.18	149
16:00	29,5	49,5	49,6	1668	0,1	49,6	45	0,025	988,22	0,025	4.18	10
											Qср=263	
резултати от опитно изследване на полуцилиндричен колектор "poly(inox)"												

Таблица 2

час	tвн	tвх	тизх	водомер	Δt	tср	v	v	ρ	m	Cp	Q
h	°C	°C	°C	mm	°C	°C	l	l/s	kg/m ³	kg/s	kJ/kgK	w
9:00	17,3			385								
9:30	18,3	21,0	22,5	427	1,5	21,8	42	0,023	997,81	0,023	4.18	146
10:00	19,0	22,5	25,1	463	2,6	23,8	39	0,022	997,22	0,022	4.18	235
10:30	20,5	25,1	27,1	504	2,0	26,1	38	0,021	996,75	0,021	4.18	176
11:00	22,0	27,1	29,8	544	2,7	28,5	40	0,022	996,09	0,022	4.18	250
11:30	23,5	29,8	32,0	577	2,2	30,9	33	0,016	995,37	0,018	4.18	168
12:00	24,5	32,0	34,2	606	2,2	33,1	29	0,016	994,67	0,016	4.18	147
12:30	25,0	34,2	36,8	633	2,6	35,5	27	0,015	993,86	0,015	4.18	162
13:00	26,6	36,8	38,0	661	1,2	37,4	28	0,016	993,19	0,015	4.18	77
13:30	27,5	39,0	39,4	685	1,4	38,7	24	0,013	992,71	0,013	4.18	77
14:00	27,5	39,4	40,5	719	1,1	40,0	34	0,019	992,22	0,019	4.18	86
14:30	28,0	40,5	42,5	751	2,0	41,5	32	0,018	991,64	0,018	4.18	147
15:00	29,5	42,5	43,6	783	1,1	43,1	32	0,018	990,99	0,018	4.18	81
15:30	28,5	43,6	43,2	813	0,4	43,4	35	0,019	990,87	0,019	4.18	-32
16:00	29,5	43,2	43,4	844	0,2	43,3	26	0,014	990,91	0,014	4.18	12
											Qср=124	
резултати от опитно изследване на плосък колектор тип "poly(Al-Cu)"												

Изследванията ни през месец юли и месец август 2009 г. При подобрени макроклиматични условия (повишена температура и понижена облачност) показват плавно изменение на топлинната характеристика на колекторите. Наблюдава се очертан максимум на мощността на колектора в часовете между 12:30 и 15:30, което считаме за нормално, тъй като в диапазона интензивността на Слънцето е най-висока и външната температура е най-висока (фиг. 3).

Свързан в колекторно поле и интегриран в покрива, полуцилиндричният колектор представлява и отлично покривно покритие. Минималната стандартна товароносимост на един покрив е 500kg/m^2 . Нашият колектор има собствено тегло до 35kg и натоварване от вода – 100kg . Това означава, че средно на 1m^2 максималното натоварване от конструкцията на слънчевите колектори се очаква да бъде до 100kg/m^2 . Следователно слънчевият колектор може спокойно да се монтира върху покрива на всяка сграда. Водният обем на слънчевия колектор служи и като топлинна изолация на сградата, тъй като температурата на водния обем се поддържа през зимата минимум $10\div 15^\circ\text{C}$.

Значително поевтинява стойността на сградата, тъй като слънчевия колектор изпълнява ролята и на покрив (фиг. 5).



Фиг. 5. Покрив на сграда, изграден от интегрирана слънчева система

Едно от основните предимства на система изпълнена с полуцилиндрични колектори е, че няма тръбна рециркуляционна инсталация, с което се опростява значително конструкцията му. Липсват водоразпределител, водосъбирател, нагревни тръби, акумулаторът изпълнява функцията и на абсорбер. Тази опростена схема на системата прави слънчевия колектор тип „ИКА-INOX” – полуцилиндър високо ефективен.

3. Заключение

След сравнителните изследвания между двата слънчеви колектора, полуцилиндричен слънчев колектор тип „ИКА-INOX” и плосък слънчев колектор тип „poly-AL-CU”, става ясно че първият има средно 12% по-висока степен на ефективност от плоският колектор.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Киров, Д., лекции „ВЕИ” за ЕМФ, ТУ-София, 2008.
- [2] Киров, Д., Топлинно стопанство, ТУ-София, 2009.

[3] Стоянов, С., Х. Василев, В. Господинов, К. Рангелова, Ръководство за курсови задачи по енергетична екология, София, 1990.

Автори: Христо Чернев - инж. бакалавър в кат. ЕСЕОЕТ, ЕФ, Димитър Киров - проф. д-р кат. ТХТ, ЕМФ, Ангел Петлешков - гл. ас. кат. ЕСЕОЕТ, ЕФ

ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА СИСТЕМА, ЗАХРАНВАЩА БИТОВИ КОНСУМАТОРИ

Светлана Цветкова, Анна Георгиева

Резюме. Електрическата енергия, доставяна на потребителите, има определени характеристики, които са променливи, и влияят върху нейната използваемост. В доклада са представени резултати от изследване на качеството на електрическата енергия в електроснабдителна система, захранваща битови консуматори.

INVESTIGATION OF THE POWER QUALITY IN ELECTRIC SUPPLY SYSTEM, SUPPLIED DOMESTIC CONSUMERS

Svetlana Tzvetkova, Anna Georgieva

Abstract. The electrical energy has certain characteristics that are changeable and influence over its utilization. Results from measurement and analysis of the power quality in the electric supply system, supplied domestic consumers are given.

1. Въведение

Електрическата енергия, доставяна на потребителите, има определени характеристики, които са променливи, и влияят върху нейната използваемост.

В действителност под качество на електрическата енергията в повечето случаи се разбира качество на напрежението. За това стандартите в областта на качеството на енергията са предназначени да поддържат захранващото напрежение в предела на определени граници. Променливотоковите системи са предназначени да работят със синусоидално напрежение с определена честота (обикновено 50 или 60 Hz) и големина. Всяко съществено отклонение от големината, честотата или чистотата на формата на сигнала е потенциален проблем, свързан с качеството на енергията.

Разбира се, винаги има непосредствена връзка между напрежението и тока във всички енергийни системи. Въпреки че, генераторите могат да произведат почти идеално синусоидално напрежение, токът, преминаващ през импеданса на системата може да причини множество смущения в напрежението.

Следователно, трябва да се обърне внимание на явленията, появяващи се вследствие протичането на електрическия ток, за да се разбере основата на много от проблемите, свързани с качеството на енергията.

Влошеното качество на електрическата енергия може да причини поява на смущения или предизвика повреди в електрическите уреди и съоръжения,

които да имат тежки икономически последици или дори да станат опасни за хората и обслужващия персонал, каквито примери вече има и в България.

Причините за нарушаване на показателите на качеството на електрическата енергия може да бъдат известни или не, но в повечето случаи са поне проследими като произход. Като цяло процесът на проследяване на източника за влошаване на показателите е непопулярен. Понастоящем, регулаторният подход е изключително енергийно неефективен. Определят се само параметрите на доставяната енергия, а санкциите за влошаване на качеството се свеждат до евентуални глоби по определени параметри. Не са правени изследвания в редица случаи, които би могло да бъдат типизирани.

Възможни са и други проблеми, свързани например с разнообразието в структурите на разпределителните системи в различните райони, дължащо се на разликите в концентрациите на товара, гъстотата на населението, местните топографски особености и т.н.

В доклада са представени резултати от изследване на качеството на електрическата енергия в електроснабдителна система, захранваща битови консуматори.

2. Изследване на качеството на електрическата енергия в електроснабдителна система, захранваща битови консуматори

Целта е измерване и анализ на показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителна система захранваща битови консуматори. Измерването е проведено на границата на собственост на страна ниско напрежение в електромерното табло с трифазен стационарен анализатор на качеството на електрическата енергия. Измервателният уред отговаря на стандарта IEC 61000-4-30 (Измервания за качество на захранването) [1].

Включването на измервателният уред е трифазно в схема “Звезда”.

Измервателният уред е инсталиран директно към захранващото напрежение.

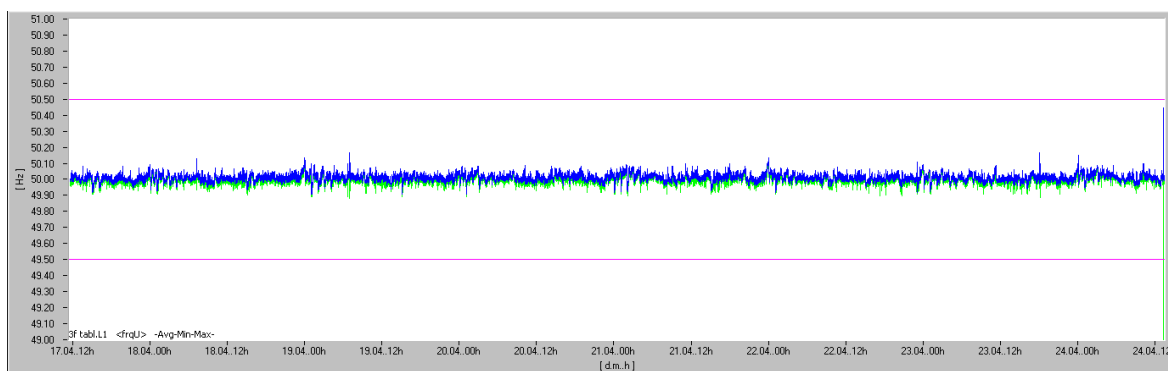
С цел извършване на оценка на измерванията се взимат под внимание валидните пределни стойности съгласно стандарт БДС EN 50160 [2] и Наредбата на ДКЕВР [3].

Периодът на измерване е една седмица от 17.04 до 24.04. Измерени са 10-минутните средни стойности, 200ms-максимална стойност, 200ms-минимална стойност, които са се проявили в рамките на 10 минути.

На фиг. 1 е показана честотата на захранващото напрежение. Не се наблюдават случаи, при които измерената средна стойност на честотата да е извън допустимите норми от 49,5 до 50,5 Hz.

На фиг. 2 са показани минималната, средната и максималната стойност на фазните напрежения - L1 за първа, L2 за втора и L3 за трета фаза. За номинално напрежение се използва напрежение 230 V. Съгласно БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР при нормални условия на работа, с изключение на състояния вследствие повреди или прекъсвания на напрежението, 95% от средните ефективни стойности на захранващото напрежение за 10 минути

трябва да бъдат в обхвата на $\pm 10\% U_H$ за всеки период от една седмица, т.е. в диапазона от 207 до 253 V.



Фиг. 1. Честота на захранващото напрежение



Фиг. 2. Стойности на фазните напрежения

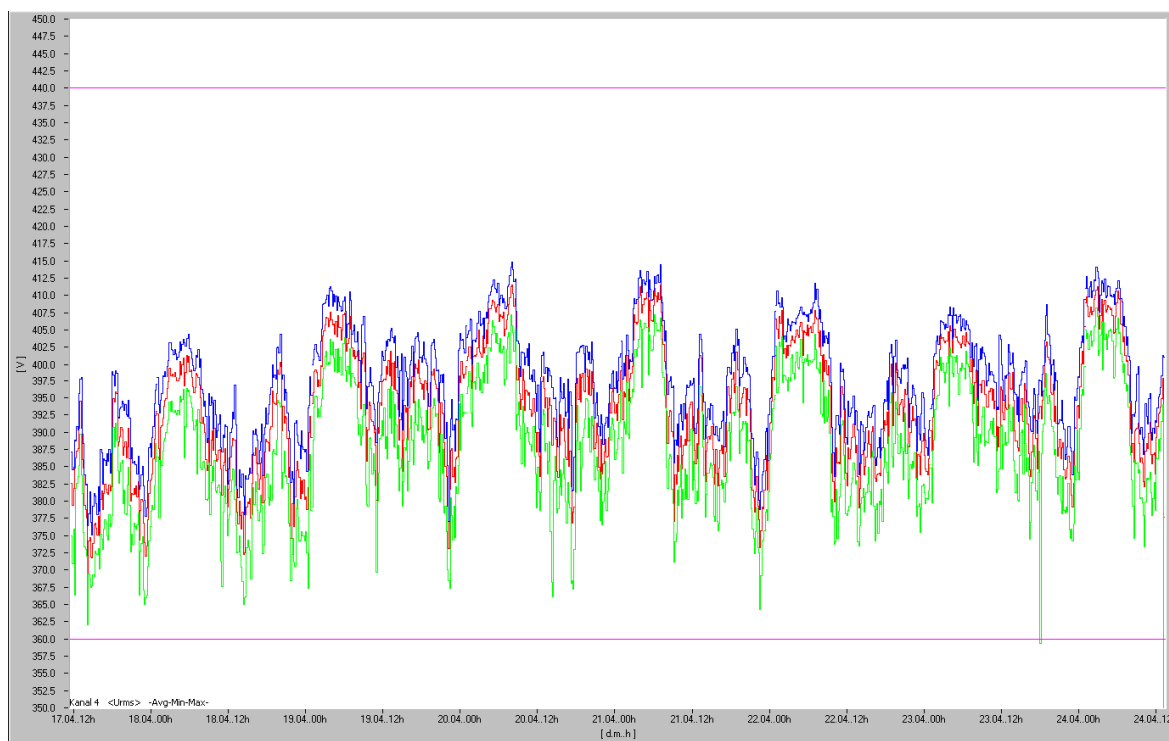
Таблица 1

Продължителност на събитията	Стойности под $\pm 10\% U_H$, броя	Прекъсвания на напрежението, броя	Общо
от 0.0 до 20.0 ms	2	0	2
от 20.0 ms до 500.0 ms	101	0	101
от 500.0 ms до 1.0 s	69	0	69
от 1.0 s до 3.0 s	59	0	59
от 3.0 s до 60.0 s	102	1	103
от 60.0 s до 180.0 s	54	0	54
повече от 180.0 s	68	0	68
Общо:	455	1	456

В Таблица 1 са дадени обобщени резултати за случаите на отклонение на фазното напрежение извън допустимите граници и броя на прекъсванията на

захранващото напрежение за периода на измерване от една седмица. Регистрирани са 455 случая на отклонение на захранващото напрежение извън допустимите норми (под $-10\%U_H=207V$) и веднъж напълно е прекъсвало захранването. Най-много случаи на отклонение на напрежението извън допустимите норми се наблюдават в първа фаза L1. Следователно само в 85,1% средната стойност на измерените фазни напрежения е в допустимия диапазон за периода на измерване.

На фиг. 3 са показани минималната, средната и максималната стойност на линейното напрежение L13. За номинално напрежение, служещо за опорно се използва напрежение 400 V. Съгласно БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР при нормални условия на работа, с изключение на състояния вследствие повреди или прекъсвания на напрежението, 95% от средните ефективни стойности на захранващото напрежение за 10 минути трябва да бъдат в обхвата на $\pm 10\%U_H$ за всеки период от една седмица, т.е. в диапазона 360 до 440 V.



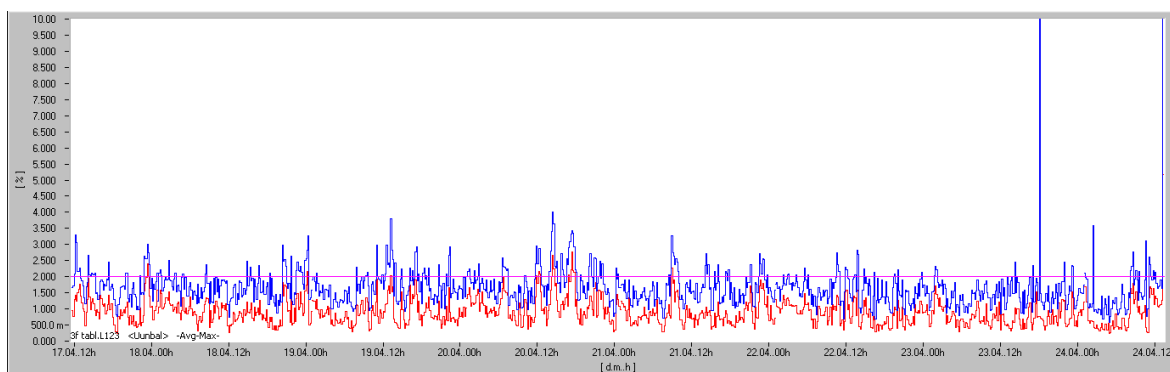
Фиг. 3. Ефективни стойности на линейното напрежение

Таблица 2

Продължителност на събитията	Стойности под $\pm 10\%U_H$, броя	Прекъсвания на напрежението, броя	Общо
от 0.0 до 20.0 ms	0	0	0
от 20.0 ms до 500.0 ms	3	0	3
от 500.0 ms до 1.0 s	0	0	0
от 1.0 s до 3.0 s	2	0	2
от 3.0 s до 60.0 s	1	1	2
от 60.0 s до 180.0 s	0	0	0
повече от 180.0 s	0	0	0
Общо:	6	1	7

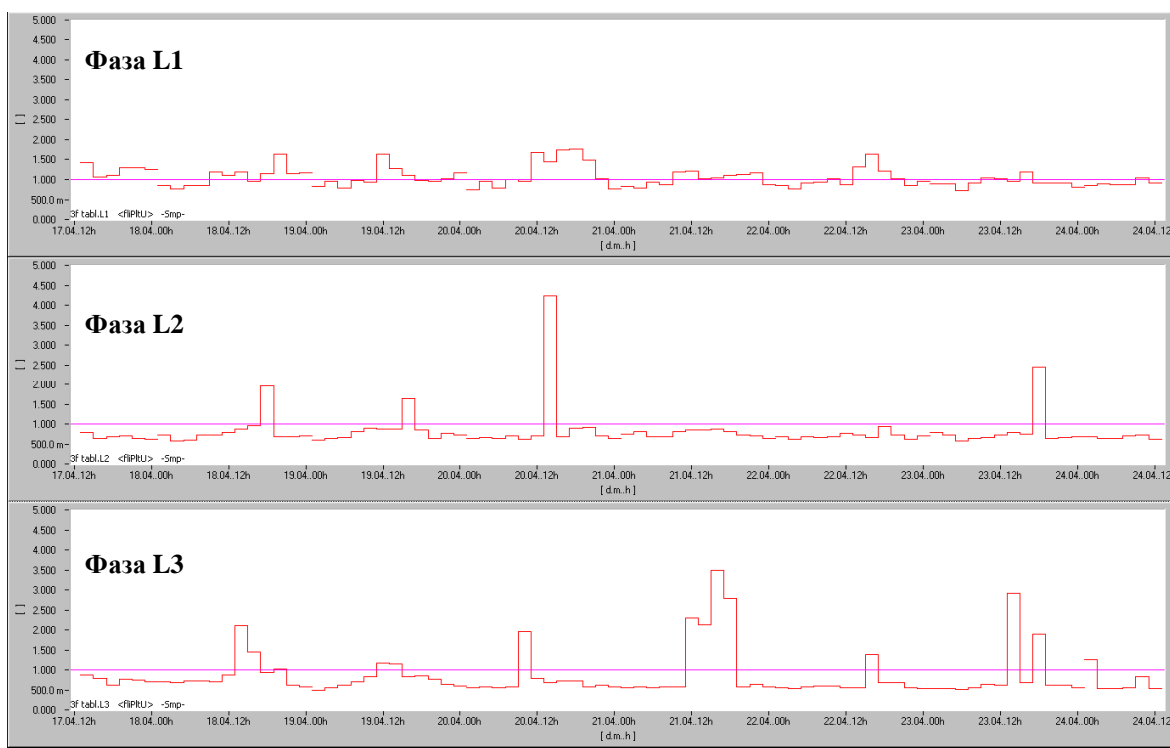
В Таблица 2 са дадени обобщени резултати за случаите на отклонение на линейното напрежение извън допустимите граници и броя на прекъсванията за периода на измерване от една седмица. Регистрирани са 7 случая на отклонение на захранващото напрежение извън допустимите норми и веднъж напълно е прекъснало захранването. Следователно в 99,2% средната стойност на измереното линейно напрежение е в допустимите граници.

На фиг. 4 е показана несиметрията на напрежението. В по-малко от 95% от случаите за периода на измерване, несиметрията на напрежението е под допустимата граница от 2% от номиналното напрежение съгласно БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР. Максималната стойност на несиметрията на напрежението е 10%.



Фиг. 4. Несиметрия на напрежението

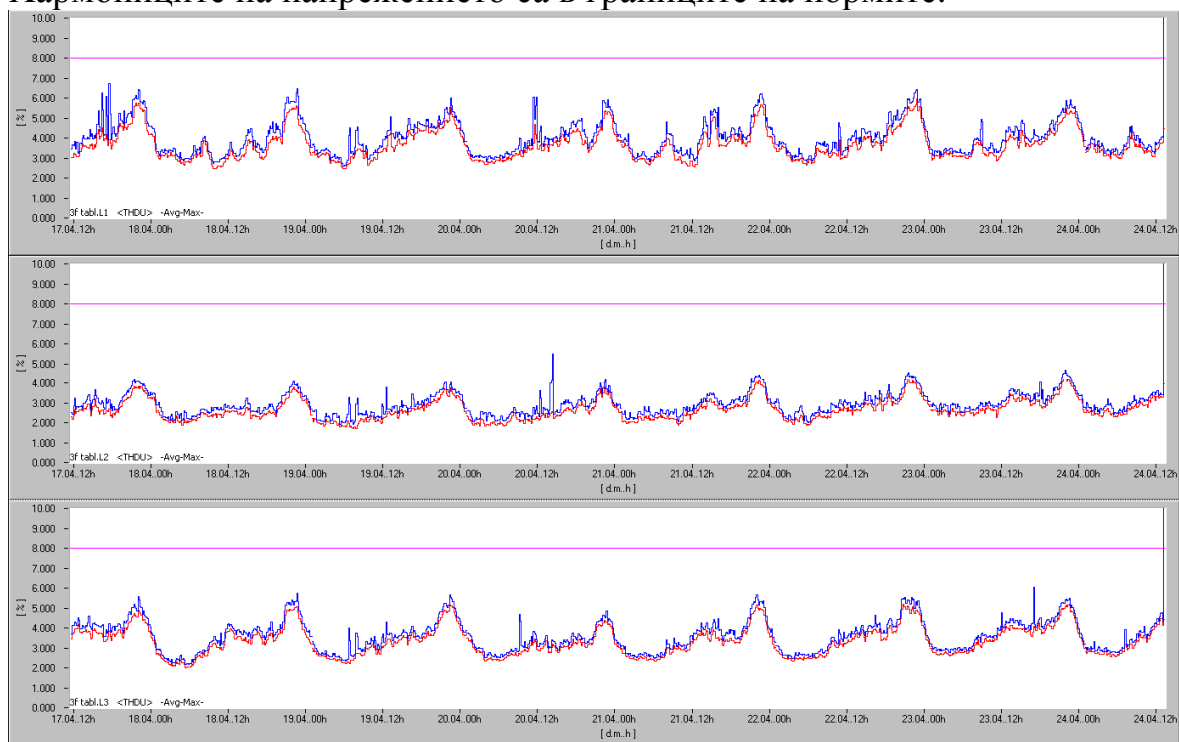
На фиг. 5 са дадени измерените стойности на фликера за трите фази L1, L2, L3. Наблюдават се преминавания над допустимата стойност от 1 на фликера, като в по-малко от 95% от случаите фликера е в допустимите норми.



Фиг. 5. Стойности на фликера

На фиг. 6 са дадени измерените стойности на общото хармонично изкривяване на фазните напрежения. Тези стойности на общото хармонично изкривяване на напрежението са далеч под допустимата стойност от 8% за мрежи ниско напрежение дадена в БДС EN 50160 и наредбата на ДКЕВР.

Хармониците на напрежението са в границите на нормите.



Фиг. 6. Общо хармонично изкривяване на фазните напрежения

3. Заключение

От направените измервания и анализ на напрежението в електроснабдителната система захранваща битови консуматори, може да се заключи, че качеството на електрическата енергия е лошо. Отклонението на напрежението, фликера и несиметрията на напрежението са извън допустимите норми. Може да се каже, че влошеното качество на електрическата енергия се дължи главно на захранващата линия от трафопоста до табло мерене, от което се захранват битовите потребители. В следствие на това се препоръчва модернизация на захранващата линия, подбиране на подходящ за нуждите на абонатите захранващ кабел.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IEC 61000-4-30 “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods”.
- [2] БДС EN 50160 „Характеристики на напрежението на електрическата енергия доставяна от обществените разпределителни електрически системи”, 2006.
- [3] ДКЕВР, „Показатели за качество на електроснабдяване на ДКЕВР”, юли, 2004.

Автори: Светлана Цветкова, доц., д-р, Анна Георгиева, инж., докторант, кат. ЕСЕОЕТ

ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИТЕ ТРАНСФОРМАТОРИ ЧРЕЗ НАМАЛЯВАНЕ НА ЗАГУБИТЕ НА ПРАЗЕН ХОД

Радослав Спасов, Ивайло Донеv

Резюме. Повишаването на енергийната ефективност на разпределителните трансформатори е от решаващо значение, както за производителите, така и за потребителите, тъй като това води до значителни икономически ползи. На базата на разработени от авторите модели и програми за изчисление, се прави анализ за енергийната ефективност на разпределителни трансформатори с различни материали за магнито-проводите и различни загуби на празен ход.

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS BY REDUCING THE NO LOAD LOSS

Radoslav Spasov, Ivajlo Donev

Abstract. Increasing energy efficiency of distribution transformers is crucial for manufacturers as well as for electric utilities, since it results to significant economic benefits. Based on the authors developed models and calculation programs, analyzes the energy efficiency of distribution transformers with different materials for core and other no load losses.

1. Увод

Поради повишаване на енергийните разходи и екологични съображения, потребителите на електрическа енергия поставят все по-високи изисквания към енергийната ефективност на разпределителните трансформатори. Въпреки, че коефициентът на полезно действие на съвременните трансформатори е над 99%, цената на загубите е все още значителна, тъй като над 25% от всичките загуби за разпределение на електрическата енергия са в разпределителните трансформатори. Намалването на загубите на празен ход е от съществено значение, предвид това, че в енергийната система има огромен брой трансформатори, работещи на празен ход или с натоварване под 20%. Загубите на празен ход на разпределителните трансформатори могат да се намалят чрез:

1. Използване на магнитни материали с по-ниски специфични загуби и /или/ с по-малка дебелина;
2. Намалване на загубите в снадките между яремите и ядрата на трансформатора;

3. Използване на електрически екрани за намаляване на допълнителните загуби в казана и плътните метални елементи;
4. Подобряване на технологията на изработване на трансформаторите с цел намаляване на диелектричните загуби;
5. Намаляване на работната индукция;

В настоящата статия са разгледани и сравнени трансформатори, изчислени с различни материали за магнитопровода.

2. Формула за сравняване на изчислените варианти

Най-широко използваният метод за оценка на разпределителните трансформатори е методът за определяне на пълната цена, която включва първоначалната цена и капитализираните експлоатационни разходи /ТОС/ (1).

$$(1) \quad \text{ТОС} = C + A * \text{NLL} + B + \text{LL}, \quad \text{където:}$$

C – първоначална цена на трансформатора;

A – коефициент, капитализиращ загубите на празен ход;

B – коефициент, капитализиращ загубите в намотките /на късо съединение/;

NLL – загуби на празен ход при номинално напрежение;

LL – загуби в намотките при 75°C.

Общо правило е, че трансформаторите с по-ниски загуби използват повече и по-качествени, съответно по-скъпи материали. Посредством тази формула могат да се сравнят евтини конструкции на трансформатори с високи загуби, спрямо скъпи конструкции на трансформатори с ниски загуби. Изключително важно за правилното и коректно сравняване на различните варианти са стойностите на коефициентите A и B, тъй като те значително влияят върху минимума на функцията ТОС. Стойностите на коефициентите зависят от вида на трансформатора, условията за натоварване, цената на електрическата енергия и други фактори, както са показани по-долу.

r – лихвен процент;

t - време за експлоатация на трансформатора;

f – капитализиращ фактор;

p – годишна такса за киловатчас;

D – фактор на търсенето;

q – стойност на електроенергията;

LLF – фактор, отчитащ загубите на празен ход;

LF- фактор, отчитащ загубите в намотките;

$$(2) \quad f = (100/r) * (1 - (1+r)^{-t});$$

$$(3) \quad D = (\text{максимално натоварване}) / (\text{мощност на трансформатора});$$

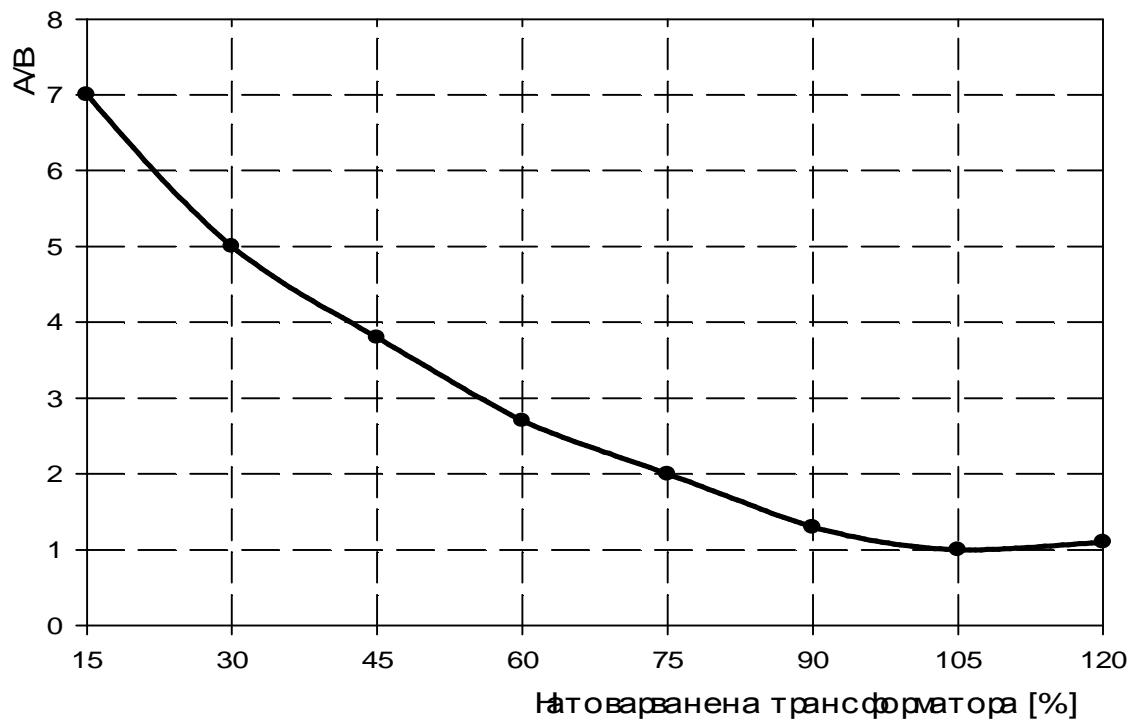
$$(4) \quad LF = (\text{среден товар}) / (\text{максимално натоварване});$$

$$(5) \quad LLF = 0.5 * LF + 0.5 LF^2;$$

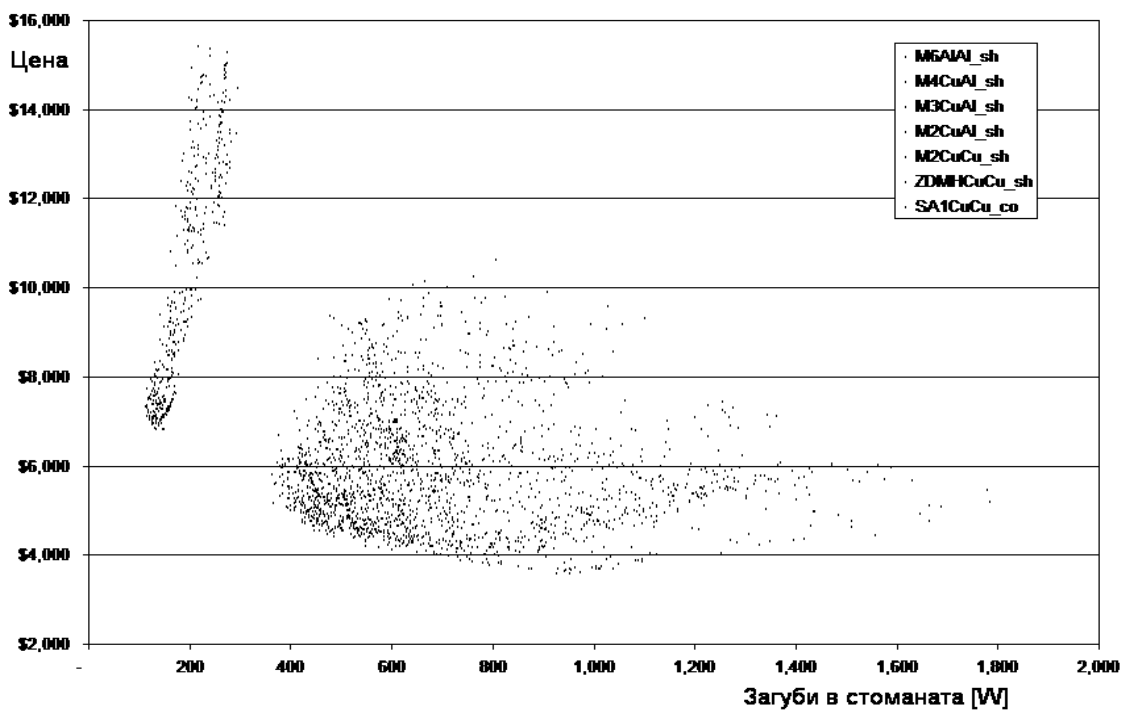
$$(6) \quad A = f * (p + 8760 * q);$$

$$(7) \quad B = f * D^2 * (p + 8760 * q * LLF);$$

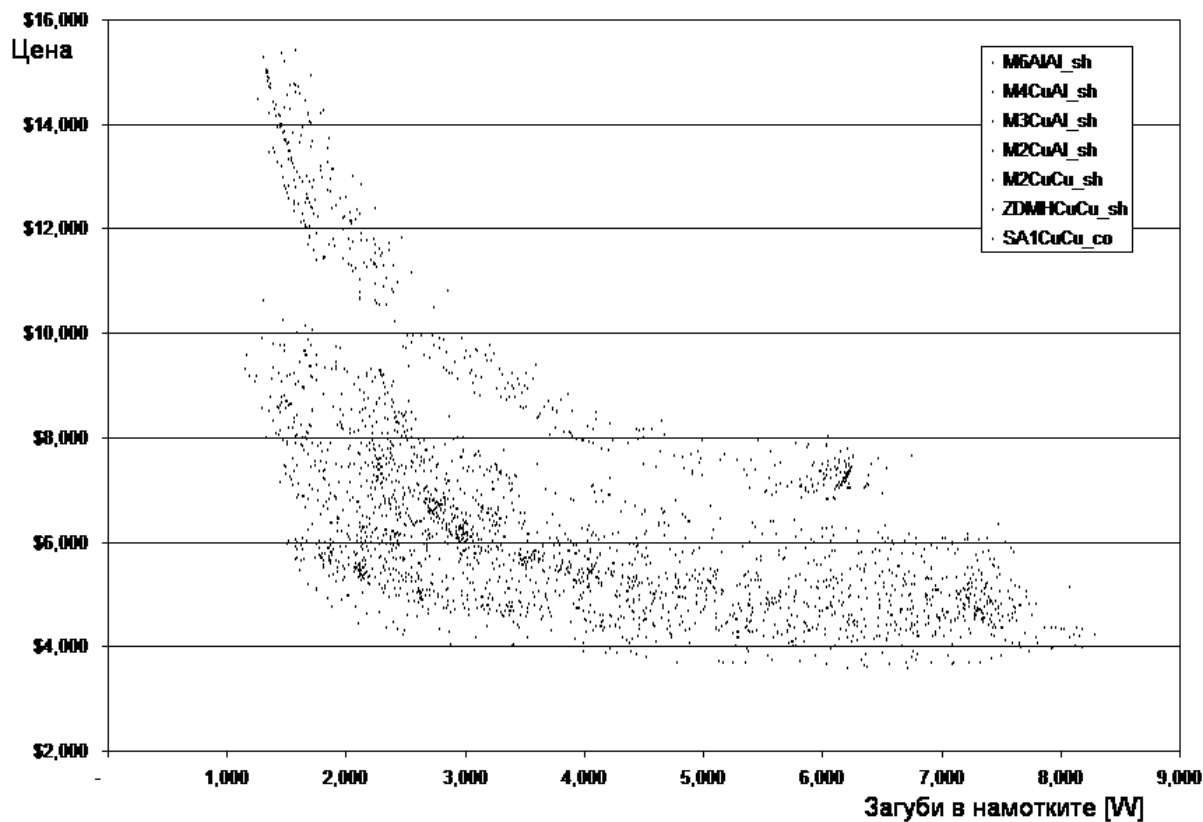
На фиг. 1 е показано изменението на отношението A/B във функция от натоварването.



Фиг. 1. Изменение на отношението A/B във функция от натоварването



Фиг. 2. Цена на трансформатор 500kVA с различни стомани и загуби на п.х

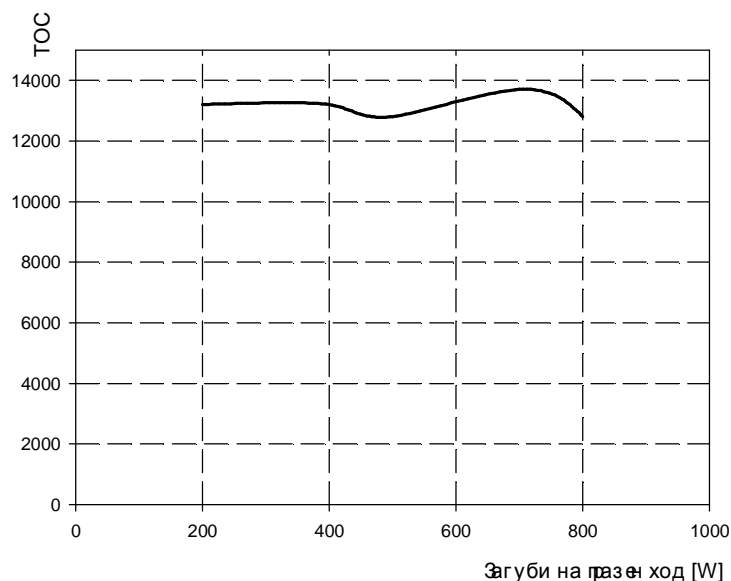


Фиг. 3. Цена на трансформатор 500kVA с различни марки стомана и загуби в намотките

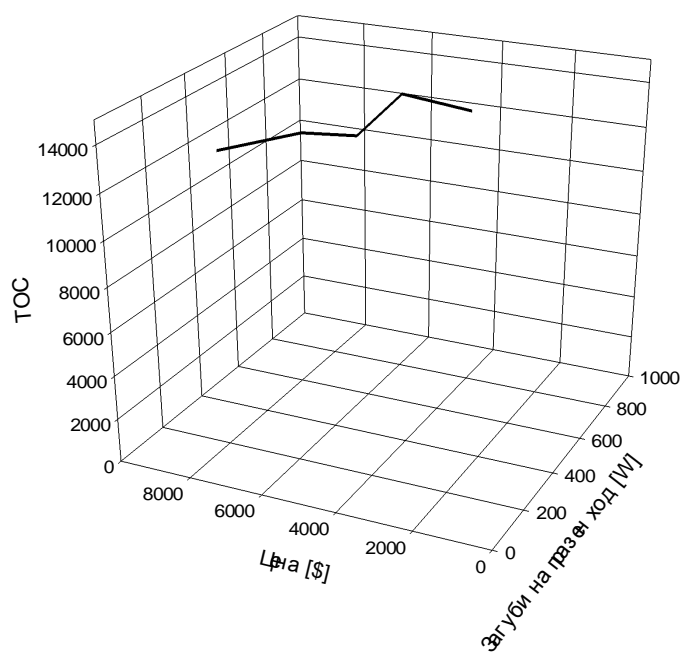
На фиг. 3 и 4 са показани резултатите от изчисленията за трансформатор 500 kVA с различна конструкция на намотките и различни материали за магнитопроводите. Обобщените резултати за ТОС са показани на фиг. 4 и 5.

5. Заключение

От показаните изчисления се вижда, че при сегашните цени на електрическата енергия и натоварването на разпределителните трансформатори има голяма икономическа, респективно екологическа полза от внедряване на сравнително скъпи трансформатори с ниски загуби на празен ход. За да се осъществят тези инвестиции са необходими нови по-строги изисквания към енергийната ефективност на разпределителните трансформатори и съответно държавни субсидии или нисколихвени заеми за закупуване на значително по скъпи трансформатори.



Фиг. 4. ТОС във функция от загубите на празен ход



Фиг. 5. ТОС във функция от загубите на празен ход и цената на трансформаторите

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тихомиров, П.М. Расчет трансформаторов. Москва, Энергоатомиздат, 1986.
- [2] John J. Winders, Jr. Power transformers Principles and Applications, 2002.
- [3] Ramifications of the New Transformer Efficiency Standards, 2010.

Автори: Радослав Спасов - гл. ас. Ивайло Донеv гл. ас., кат. "Електрически машини"

ОПТИМАЛНО ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА НАПРЕЧНОТО СЕЧЕНИЕ НА МАГНИТОПРОВОДИ ЗА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ ТРАНСФОРМАТОРИ С ОВАЛНО НАПРЕЧНО СЕЧЕНИЕ

Радослав Спасов

Резюме. Най-разпространената форма на напречното сечение на магнитопровода на трансформаторите е стъпална, възможно най-близка до окръжност. Основната цел на проектирането на трансформатори с форма на магнитопровода, различна от окръжност е да се потърси възможност за намаляване на себестойността, чрез намаляване на теглото на активните материали. Това намаление може да се получи, както ще бъде показано по-долу, за сметка на: подобряване на запълването на сечението; намаляване на теглото на яремите на трансформатора; намаляване на обема на трансформаторното масло.

OPTIMAL DESIGN OF CORE CROSS SECTION FOR DISTRIBUTION TRANSFORMERS WITH OVAL CROSS-SECTION

Radoslav Spasov

Abstract. Core laminations of the distribution transformers are built up to form a limb or leg having as near as possible a circular cross-section. The main objective of designing transformers-shaped curve described other than the circle is to seek an opportunity to reduce cost by reducing the weight of active material. This reduction can be obtained, as will be shown below, on behalf of: improvement of the coefficient of filling of the intersection, reducing the weight of the yoke of the transformer, reducing the volume of transformer oil.

1. Увод

Най-разпространената форма на напречното сечение на магнитопровода на разпределителните трансформатори е степенчатата фигура, вписана в окръжност. С увеличаване на броя на степените се подобрява запълването на напречното сечение на магнитопровода, което води до по-малък диаметър на намотките и следователно до по-малък разход на проводникови материали и по-малки загуби в намотките. По-големият брой степени води до технологични затруднения при изработване на магнитопровода и до повече време за събирането му.

За трансформаторите с малка мощност се изработват магнитопроводи с правоъгълно напречно сечение, като граничната мощност непрекъснато расте. Някои фирми предлагат разпределителни трансформатори до 630 kVA с

правоъгълно напречно сечение на магнитопровода. Тази форма на магнитопровода изисква и смяна на технологията за навиване на намотките. Най-добрият вариант е навиване на намотките директно върху ядрата / намотката ниско напрежение, обикновено е фолиева/, като по този начин се осигурява достатъчна механична якост на намотките. Овалното напречно сечение е компромисен вариант между кръглото и правоъгълното, като стремежа е да се намали броя на степените на магнитопровода, без да се уваличава теглото и намалява прекомерно механичната якост на намотките.

2. Оптимално оразмеряване на напречното сечение на магнитопроводи за разпределителни трансформатори с овално напречно сечение

Най-общо задачата за оптимално оразмеряване на сечението на ядрото се състои в определяне на широчините на пластините и дебелините на отделните пакети. Целта е да се постигне максимално активно сечение на ядрото при даден размер D_{\min} , зададено отношение D_{\max}/D_{\min} при даден брой на степените.

След предварително изследване на различни функции от втори и четвърти ред, най-подходящи с оглед най-добро запълване се оказаха овала на Касини (1) и елиптичната функция (2)

$$r^2 = c^2 \cos 2j \pm \sqrt{c^4 \cos^2 2j + (a^4 - c^4)}$$

(1)

$$r^2 = c^2 \cos^2 j + \sin^2 j$$

(2)

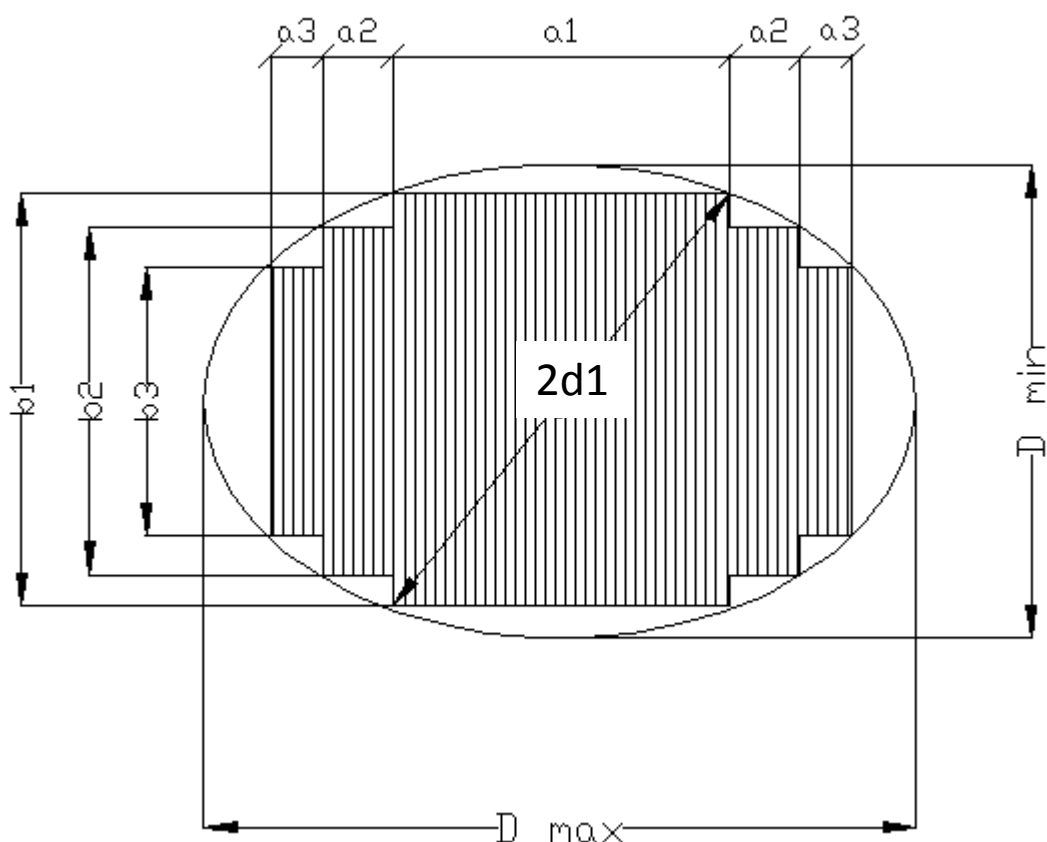
Задачата за намиране на максимално запълване е решена по следния алгоритъм:

1. Определят се дължините на диагоналите на правоъгълниците формиращи степенчатото сечение на магнитопровода във функция от ъгъла, който сключват с абцисната ос;
2. Определя се площта на отделните пакети от магнитопровода във функция на същият ъгъл;
3. По метода на Лагранж се определят ширините на ламелите и дебелините на пакетите, при които се получава максимално запълване.

На фиг.1 е показано напречното сечение на ядро с овална форма, където :

- D_{\min} – малка ос на фигурата;
- D_{\max} – голяма ос на фигурата;
- d_1, d_2, \dots, d_n – разстояния от центъра на фигурата до върховете на стъпалната фигура;
- a_1, a_2, \dots, a_n – дебелини на отделните пакети;
- b_1, b_2, \dots, b_n – широчини на ламелите.

Фиг. 1. Напречно сечение на магнитопровод с овална форма



За опростяване на решението на задачата са приети размерът $D_{min}=1$, коефициентът $c=1$ и коефициентът 'a' се изменя в границите от 1 до 2. При $a=1$ се получава окръжност, а при $a>2$ във формата на кривата се получават вдлъбнатини. Освен това с d_1, d_2, d_3 и d_4 са означени половинките на диагоналите, тъй като е избрана полярна координатна система и се изчислява една четвърт от сечението на степенчатата фигура.

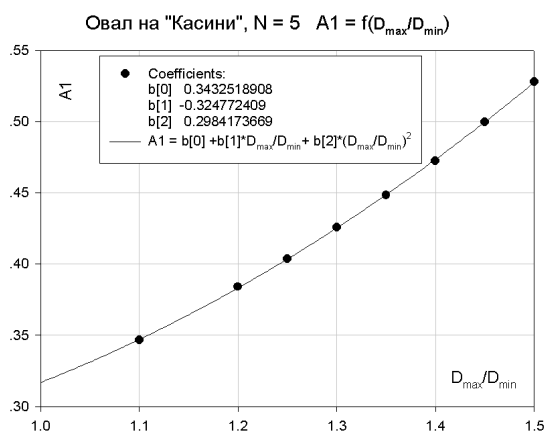
След численото решение на системата уравнения:

(3)

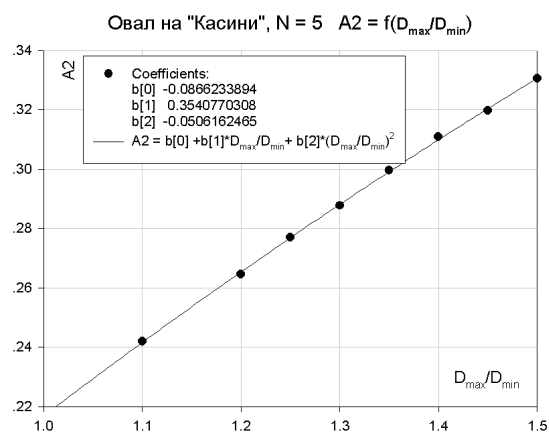
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial S}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial x_3} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial x_4} = 0 \end{array} \right.$$

се получават стойностите на ъглите x_1, x_2, x_3 и x_4 , а от тях ширините на ламелите и дебелините на отделните пакети, които осигуряват максимално запълване на сечението.

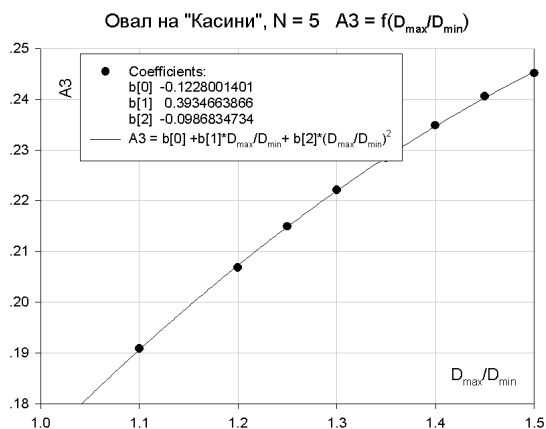
На фиг. 2, 3, 4, 5 и 6 са показани ширините на ламелите A1, A2, A3, A4 и A5 за пет степени на магнитопровода. На фиг. 7, 8, 9, 10 и 11 са дадени дебелините на пакетите B1, B2, B3, B4 и B5, на фиг. 12 – еквивалентният диаметър спрямо степенчато запълване на кръг и на фиг. 13 – коефициентът на запълване на сечението.



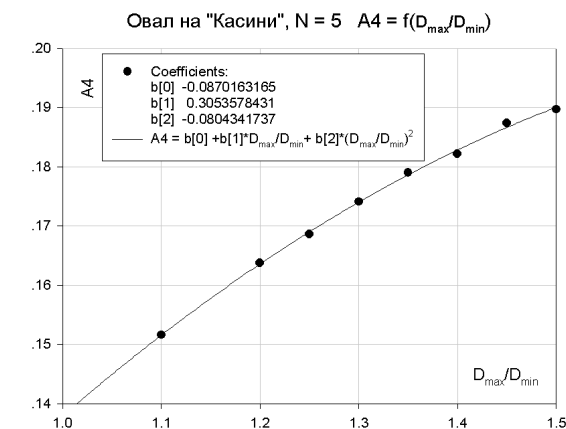
Фиг. 2



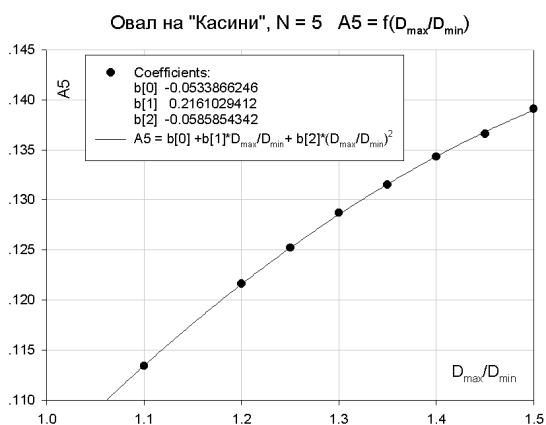
Фиг. 3



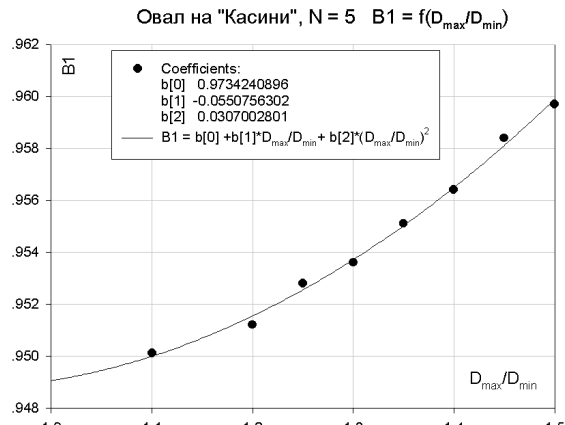
Фиг. 4



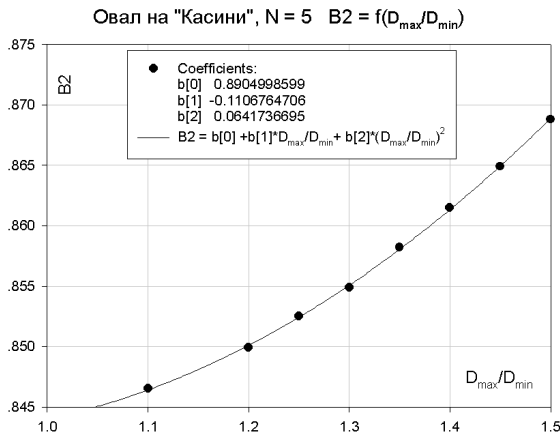
Фиг. 5



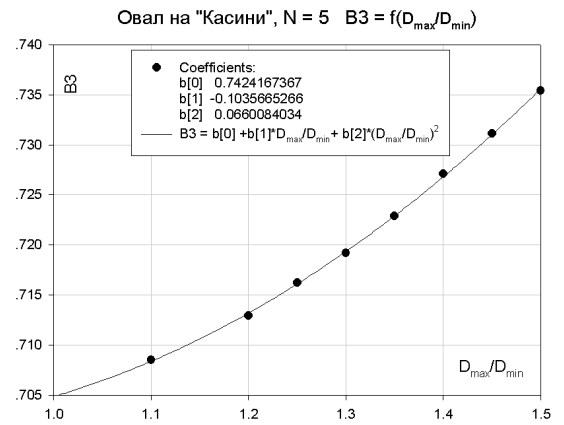
Фиг. 6



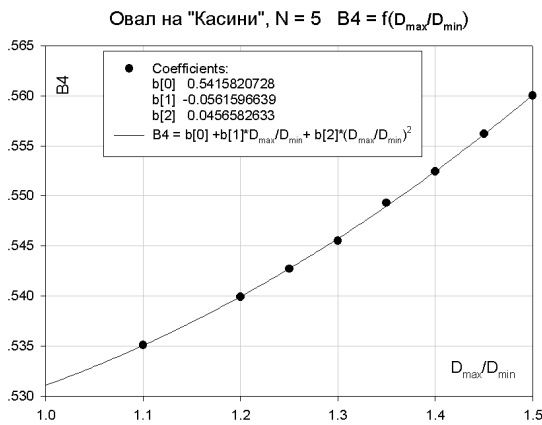
Фиг. 7



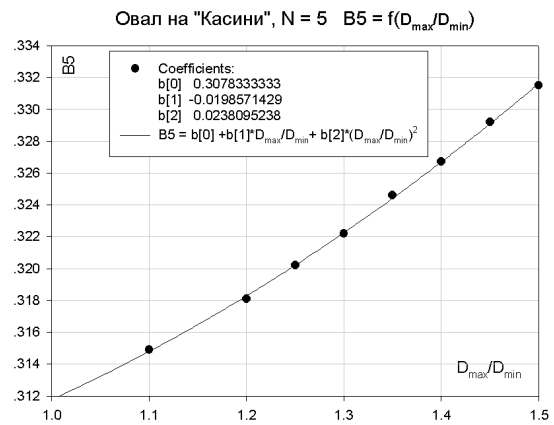
Фиг. 8



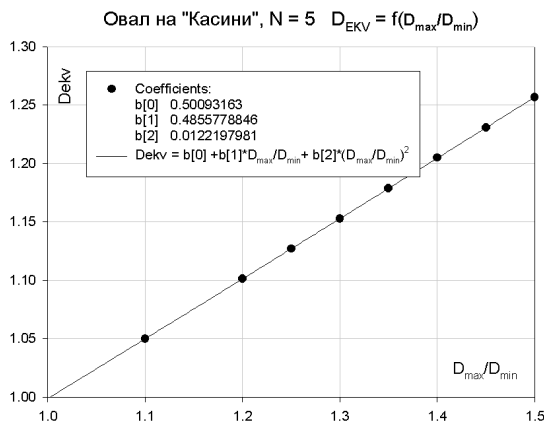
Фиг. 9



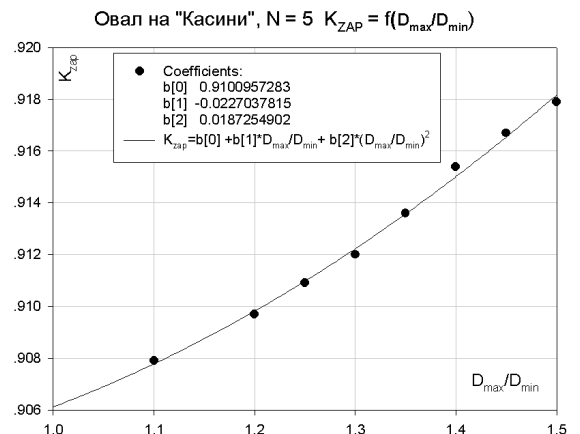
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

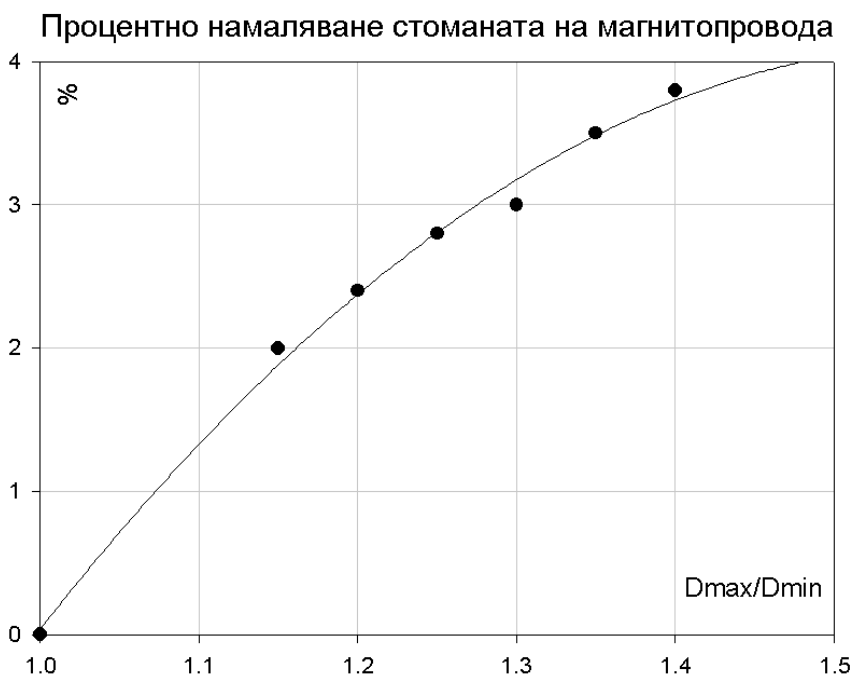


Фиг. 13

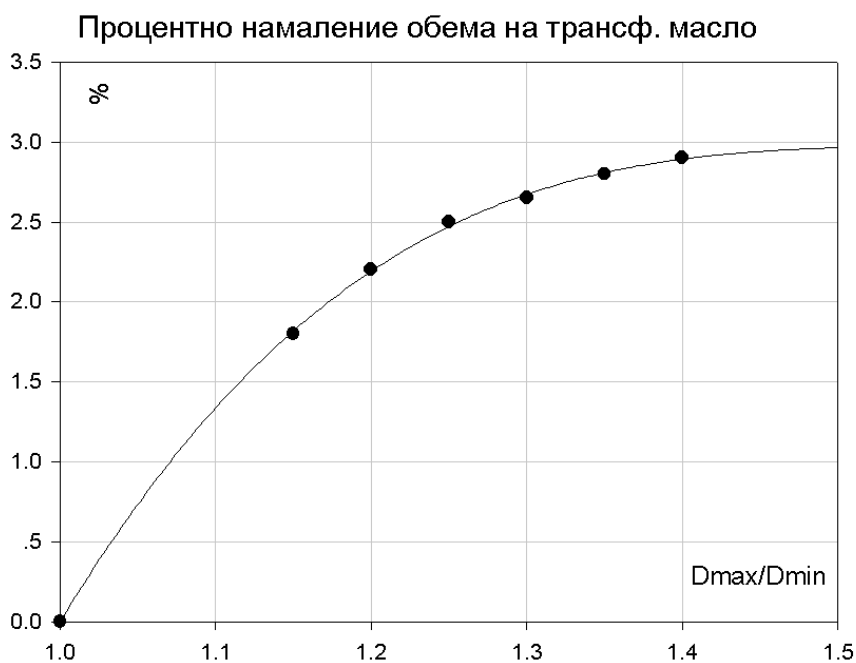
3. Предимства на овалната форма на ядрото на трансформатора

1. Намаляване теглото на магнитопровода. На фиг. 14 са показани усреднените данни за процентното намаление на теглото на магнитопровода, дължащо се на намалените дължини на яремите на магнитопровода. Това сравнение е направено спрямо степенчатото сечение, описващо окръжност с максимално

запълване. Реалният коефициент на запълване в повечето случаи е по-нисък, т.е. процентното намаление на теглото на магнитопровода е по-голямо от показаното, тъй като при овално сечение винаги може да се намери съотношение D_{max}/D_{min} , при което коефициентът на запълване да е близък до максимално възможния.



Фиг. 14



Фиг. 15

2. Намаляване обема на трансформаторното масло. На фиг. 15 са показани усреднените данни за процентното намаление на теглото на маслото, дължащо се на доближаване на напречното сечение на казана до квадрат.

4. Алгоритъм за изчисление на трансформатор с овална форма на магнитопровода

1. Изчислява се трансформатор, по която и да е методика за трансформатори с кръгло напречно сечение. Загубите на празен ход и късо съединение остават същите, защото средната дължина на навивките на трансформатора се запазва същата. Увеличената дължина на овала спрямо окръжността се компенсира от по-доброто запълване на овала със степенчата форма.
2. За получаване на необходимото активно сечение на магнитопровода се търси такова съотношение на D_{max}/D_{min} , при което най-широката степен да е със стандартизиран размер, като по този начин се осигурява запълване близко до теоритичното.
3. Трансформатора с овалната форма се проверява дали отговаря на условията на заданието и ако се налага се търси друго съотношение на D_{max}/D_{min} .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тихмиров, П.М. Расчет трансформаторов. Москва, Энергоатомиздат, 1986.
- [2] John J. Winders, Jr. Power transformers Principles and Applications, 2002.
- [3] Ramifications of the New Transformer Efficiency Standards, 2010.

Автор: Радослав Спасов гл. ас. д-р, кат. "Електрически машини"

ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ ЗА МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА

Калин Благовев, Ганчо Божилов, Георги Тодоров

Резюме. Разгледани са интелигентните измервания като един от основните градивни елементи на интелигентните електрически мрежи (smart grids). Систематизирани са ползите от въвеждането им за всички участници в процеса на производство, разпределение и потребление на електроенергия. Съчетаването им с натрупване на информацията в подходящо структурирани бази данни, обработката и анализа на тази информация позволяват диагностициране и ефективно управление и поддържане на съоръженията, което от своя страна повишава надеждността и намалява енергоемкостта на процесите.

SMART METERING FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS

Kalin Blagoev, Gancho Bojilov, George Todorov

Abstract. Smart metering is considered as a basic concept of smart grids. The benefits of their introduction are summarized for all participants in generation, distribution and consumption of electrical energy. Merging those benefits with appropriately designed data bases; processing and analyzing information gathered, favors the ability to correctly diagnose and effectively maintain the equipment, thus increasing reliability and diminishing energy-intensiveness of the processes.

1. Въведение

Интелигентното измерване е комбинация от интелигентни средства за измерване, интелигентни концентратори, информационни технологии и комуникационни системи. Това е основен градивен елемент по отношение на бъдещите електрически мрежи, за които участниците в електроенергийната система се подготвят.

Участниците във веригата на електроенергийната система (от правителствата до крайните потребители) не винаги разбират ползите, които те получават от този тип измерване. Затова често иновативните компании, които инвестират в подобни проекти, се нуждаят от лобиране пред всички участници във веригата на електроенергийната система.

2. Интелигентно измерване на енергоразходи

2.1 Интелигентно измерване в полза на държавите

Европейският съюз (ЕС) поставя все по-голям натиск върху правителствата относно инсталиране на интелигентни измервателни средства в

техните държави, съгласно Европейската директива за енергийна ефективност при потреблението на електроенергия и електроенергийните услуги (Директива 2006/32/ЕС) [1].

Въпреки всичко правителствата на отделните държави членки на Европейския съюз, както и техните национални регулатори ще намират все повече ползи в интелигентното измерване за постигане на целите:

- намаляване на емисиите;
- повече конкуренция в енергийните пазари;
- сигурност на електрическите доставки.

ЕС дефинира амбициозни цели за постигане на намаляване на емисиите, така наречените 20-20-20 цели [2]:

- подобряване на енергийната ефективност с 20%;
- намаляване на CO₂ емисиите с 20% от нивата през 1990 г.;
- 20% дял на електроенергия от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) от общото потребление на всяка страна.

В изпълнение на тези цели и следвайки развитието на новите технологии, ИИ предлага на потребителите начин за спестяване на електроенергия и по този начин намаляване на вредните емисии, изпускани при изгаряне на фосилни горива (главно въглища, нефт, газ).

Това има съответните влияния:

- Подобряване на енергийната независимост на страните чрез намаляване на вноса на твърди горива.
- Правителствата ще намалят вредните последствия за околната среда от своите държави;
- Имиджът на страните ще се промени.

2.2 Интелигентно измерване в полза на системните оператори

Посредством намаляването на върховия и общия товар, интелигентното измерване ще подобри сигурността и непрекъснатостта на електрическите доставки, което е стратегическа цел на всяка страна:

- Намаляване на необходимостта от нови производствени мощности;
- Постигане на по-добро управление на баланса на производство и потребление в реално време.

То ще даде възможност за намаление на върховото потребление, защото потребителите ще имат възможност за измерване, следене и намаление на тяхното собствено потребление. Върховите натоварвания най-често се покриват от мощности на течни горива и газ, които са скъпи и с голямо отделяне на CO₂ емисии.

По-доброто управление и познаване на тези товари ще има благоприятно динамично въздействие, както върху околната среда, така също и върху финансовите показатели:

- Интелигентното измерване ще намали глобалното влияние на производителите на електроенергия върху околната среда и ще им

помогне да следват международните регулации за намаляване на CO₂ емисиите;

- По-доброто управление на товарите ще позволи на производителите на електроенергия да намалят оперативната резервираност и да получат сертификати и екокредити за спестяване на електроенергия, както и да подобрят своето финансово състояние.
- Намаляването на върховите товари ще отнеме част от натоварването на съществуващите централи и необходимостта от нови централи.

2.3 Интелигентно измерване в полза на разпределителните дружества

Посредством включването на ИИ, разпределителните системни оператори ще подобряват постепенно управлението на мрежата с инструменти за интелигентни електрически мрежи, благодарение на:

- Общото управление на товарите, акумулирането и снабдяването;
- Управлението на разпределените енергийни ресурси;
- Точно и навременно разбиране за състоянието на крайните потребители и линиите;
- Подобрене на времето на живот на трансформаторните и разпределителните уредби;
- Мониторинг и контрол на състоянието на съоръженията;
- Подобрене на управлението на енергийните потоци чрез по-лесно откриване на събитието, по-бързи сведения, аларми и по-бързо възстановяване;
- Оптимизация на потребителските профили и прогнози;
- Повишаване на гъвкавостта;

ИИ няма само да подобри оперативните постижения на разпределителните системни оператори, но ще подобри и тяхната конкурентноспособност:

- Намаляване на оперативните разходи, посредством дистанционен автоматичен мониторинг на енергоизмервателна и диагностична апаратура.
- Намаляване на разходите за поддръжка чрез намаляване на човешката намеса и подобряване на ефективността;
- Лесно управление на интегрирания софтуер към решенията, което позволява допълнителни функции за осигуряване на различни справки и анализи за планиране, както и статистика за експлоатационен срок за превантивна поддръжка и прогнозна поддръжка, основаваща се на мониторинг на състоянията;

2.4 Интелигентно измерване в полза на ВЕИ

Освен това интеграцията на разпределено производство на електроенергия, технологиите за съхранение на електричество, използването на слънчева и вятърна електроенергия, както и електромобили ще бъдат по-лесно осъществими посредством ИИ. Това ще се намали необходимостта от допълнително централизирано производство на електроенергия, преносни и

разпределителни капацитети, което представлява една огромна дългосрочна инвестиция.

Например разпределеното производство на електроенергия може да спести до около 7% от загубите [3].

3. Интелигентно измерване и диагностика на електрически машини

В момента навлизат новите изисквания към електрическата апаратура като цяло, нейният коефициент на полезно действие, сигурност и надеждност, като общата оценка в повишението на изискванията с около 5 %. Предвид, че енергийната ефективност се тълкува като намаление на енергоемкостта без загуба на комфорт, тези нови изисквания поставят и редица предизвикателства към диагностиката на оборудването. Системите за диагностициране трябва да придобият по-висока чувствителност, по-голямо бързодействие; по-голяма точност в усилието си да определят вярно режимите на работа на машините и да дават коректни предсказания за евентуалните повреди и времето за тяхното проявление. Натрупването на голяма база данни от постоянният мониторинг на всяко съоръжение и втъкаването на системи с елементи на изкуствен интелект в процеса на диагностициране ще ни доведе една стъпка по-близо до постигането на така заложените цели.

3.1 Интелигентно измерване и съхранение на информацията

ИИ е в основата на всяка SCADA система. Данните трябва да бъдат структурирани и съхранени в база данни (БД) за последващ анализ, както например в специалната разработка за целите на мониторинга на режимите на работа в електрическите машини (фиг. 1).

Структурата на базата данни е изградена от четири основни компонента (секции), всяка от които има специфично предназначение и може да се разработва като логически самостоятелен модул. Това позволява доразвиването, попълването и актуализирането на модула да става без да е необходимо да се променя структурата на базата данни и да се изграждат нови междумодулни връзки.

За интегритета на данните и взаимовръзките между отделните секции на така предложеното решение се грижи системата за управление на БД и нарочен софтуер.

Предназначението на модул „Измерени величини” на системата е да се дискретизират всички измервани електрически и не-електрически величини, след което да бъдат съхранени с подходяща организация за удобно последващо анализиране.

В секция «Графики» се задават и съхраняват член-функциите необходими за работата на системата. Такива са както член-функциите на размитите множества дефинирани като двойки стойности, така и изчислителни или експериментални зависимости за параметрите на машините, например магнитната характеристика В-Н на електротехническата стомана за магнитопровода на трансформатора.

производство е значително енергоемък. Удълженото време за експлатация на вече произведените машини ще намали обема на новопроизведените такива, което от своя страна ще доведе до по-дълго време за разработки с цел оптимизиране на ефективността и намаление на консумацията на първични фосилни горива. Това, разбира се, значително ще намалени емисиите CO₂ и ще превърне производството на този тип апаратура в съвременно и «зелено».

В светлината на тези нови изисквания като основни кандидати за подобрене логиката на диагностициране са се обусловили две основни направления за подобрене на системите за мониторинг и диагностика, и двете базирани на компютърната емуляция на процеса на мислене в човешкия мозък: невронните алгоритми и алгоритмите с размита логика.

3.2.1 Изкуствени невронни мрежи

Изкуствените невронни мрежи (ИНМ) емулират структурата на биологичната тъкан [5, 6, 7, 8]. Те се състоят от няколко взаимосвързани части, наречени неврони, които комуникират помежду си и работят в паралел, за да постигнат определена задача. Най-силното качество на тези системи е възможността да бъдат „научени“ да разпознават определени „концепции“ и „ситуации“ (в определени условия), които никога не са били поставяни пред тях преди това.

Всеки изкуствен неврон се състои от няколко входа, които отговарят на биологичните синапси и един изход, отговарящ на биологичният аксон. На базата на типа връзки между невроните се дефинират се два големи класа мрежи: с право разпространение и рекурентни мрежи.

При мрежите с право разпространение (НМПП) сигналът се изпълнява от входа към изхода, като всеки неврон получава входовете си от предишния слой и препраща изхода си към следващия без да има връзка с другите неврони в собствения си слой. Този тип мрежи нямат «памет», т.е. не съхраняват предишни стойности на входящия си сигнал, а изходът е само функция на входа. Това позволява асоциирането на всеки входящ вектор с един-единствен изходящ вектор, проблем касаещ разпознавателните алгоритми. В общият случай, едно множество от всички възможни входящи вектори се разделя на няколко подмножества (класове) като ИНМ трябва да определи конкретен входящ вектор към кой клас принадлежи.

Рекурентните реалновременни ИНМ съдържат «памет» за предишното състояние на входовете си, което ги прави мощно средство за моделиране на крайни и безкрайни автомати. Те изрично имплементират концепцията за вътрешно състояние, която насочва част от изходите им като входове за следващият цикъл изчисления чрез вътрешна обратна връзка.

За да извършват «полезна» работа, отново в светлината на човешката способност за мислене, ИНМ трябва да бъдат «научени» да разпознават определени събития или процеси. В рамките на диагностиката на електромеханичните системи, едно обучение се свежда до правилната детекция на мрежата на някаква аномалия или феномен, които да бъдат определени с голяма доза достоверност в рамките на наблюдавания обект

Натрупаните знания за поведението на един обект чрез ИИ могат да послужат като входящи вектори за супервизирано обучение на нарочно създадена за целите на диагностиката ИНМ. Теоретично могат да бъдат предсказани изходите, т.е. поведението на обекта при определени входни сигнали, а мрежата да бъде обучена чрез прилагането на някой от стандартизираните алгоритми, като нейната реакция на входящите вектори се сравнява с теоретично получените стойности.

3.2.2 Размита логика

Адекватни оценки за природата на редица феномени биха могли да бъдат получени от другият голям дял от областта на изкуствения интелект - теорията на размитата логика. Този клон на знанието често е сочен като алтернатива на изкуствените невронни мрежи поради по-интуитивната си основа, бързодействието на алгоритмите си и относително по-простата си имплементация.

Човешкото възприятие на заобикалящата го природа е субективно и интуитивно, но все пак могат да бъдат открити математически модели и зависимости, които да го рамкират в теорията на математиката [9, 10, 11].

Класическата теория на множествата, разработена от Георг Кантор, дефинира предмет на дейност U съвкупност от елементи, които споделят едни и същи характеристики. Следователно класическото множество е съвкупност от определен брой от тези елементи и те принадлежат на това множество 100%. За оптималното описание на зле определени феномени или входни условия, теорията на размитите множества въвежда т.нар. лингвистични променливи. Те са противовес на класическите точно определени числени променливи и предоставят възможност за субективна оценка, като могат да съдържат думи, изречения или изкуствени езици. Например лингвистичната променлива „ГРЕШКА” може да има следните лингвистични стойности: „ПОЛОЖИТЕЛНА”; „НУЛА” и „ОТРИЦАТЕЛНА”. В крайната стойност на функцията всяка лингвистична променлива оказва различно влияние. За да се отрази това различно влияние се използват тегловни коефициенти, с които се умножава всяка съответна променлива.

От гореизложеното може да се заключи, че теорията на размитата логика може да бъде приложена за целите на диагностиката на електромеханични системи, защото данните, които могат да бъдат подадени от персонала често са строго субективни или се базират на предишен опит, който е различен при всички хора. Например, при аномален шум в една вътяща машина, софтуер, базиран на размитите множества може да зададе въпрос «Колко силен е шумът» и да предложи набор от отговори включващи например субективните критерии «Гърми», «Много», «Малко» или «Никакъв». Софтуер, базиран на бинарна логика би дал избор от отговори «Много» и «Никакъв».

Поради независимостта си от напълно адекватни математически модели, размитите контролери навлизат все по-масово като средство за мониторинг и контрол, правейки ги идеални за големи и сложни системи или системи с изяви нелинейности в работата си.

3.2.3 Сравнение

Разработката и реализацията на изкуствена невронна мрежа е тежък и продължителен процес и като софтуерна, и като хардуерна реализация. Обучението на създадената мрежа, оценката на работоспособността ѝ внедряването ѝ като модул в голяма SCADA система изисква много и продължителни усилия, като натрупване на огромна банка данни, имплементация на бързосходящи числени алгоритми за оценка на съответствието между теоретичните предикции и реалните резултати, генерирани от ИНМ и т.н.. От друга страна сферата на диагностиката на електромеханични системи е благодатна почва за развитието на тези алгоритми поради изискванията за бързодействие и точност, а ИНМ са се доказали като надежден източник на адекватна информация за наблюдаваните процеси. Други сфери в теорията на електрическите машини и електротехниката като цяло също биха били облагодетелствани от подобни внедрявания и разработки, като пример за това са защитите на машините.

Размитата логика притежава две съществени предимства пред невронните мрежи: интуитивното възприятие на нейните резултати от човешкия мозък и лесната имплементация на алгоритмите. Системите, базирани на размити решения, дават статистически точни решения и са незаменим помощник на всеки оператор и учен, наблюдаващ динамични процеси. Математическата им имплементация е относително лесна и те са широко разпространени в SCADA системите поради възможността да бъдат анализирани нелинейни динамични процеси.

Синтезът на двата подхода дава насока на развитието на съвременните теоретични и практически търсения на учените и разработчиците. Скоростта на изчисление на невронните мрежи, комбинирана със статистическите модели на размитите множества дава широко поле за оптимизация на различни технологични процеси и развива теорията на контрола над индустриални процеси в изцяло ново направление.

4. Изводи

ИИ ще доведе до улеснение проверката и споделянето между участниците в разработката, производството и експлоатацията на оборудването. Това ще подобри до голяма степен прозрачността и ефективността и ще помогне на всички да получават точна и коректна информация. Също така ще доведе до ускоряване и разширяване на изследванията, увеличаващи времето на живот на електрическото оборудване и намаляване на инвестициите в неговата поддръжка чрез разработването на иновационни алгоритми за детекция и предикция.

Интелигентното измерване ще промени начина, по който произвеждаме, доставяме и потребяваме електроенергия. Това прави невъзможно създаването на общ бизнес случай; т.е. всяка компания ще изпълнява своите собствени икономически разчети за възвръщаемост на инвестицията. ИИ трябва да бъде съвместимо с концепцията на интелигентните електрически мрежи (smart grids)

с цел да способства за превъщането им от теория в практика, подобрявайки възвращаемостта на инвестициите и давайки възможност да се промени автоматичното измерване (AMR) в автономен автоматичен контрол (AMI).

Благодарности

Изследванията в разработката са извършени с финансовата подкрепа на Министерството на образованието, младежта и науката, Фонд “Научни изследвания”, договор № МУ-ФС-16 “Дистанционна диагностика и мониторинг на електромеханични системи”.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Директива 2006/32/ЕО на европейския парламент и на съвета, 5 април 2006 г
- [2] Communication From The Commission Europe 2020 A strategy for smart, sustainable and inclusive growth, 3 март 2010 г.
- [3] <http://www.deloitte.co.uk/TMTPredictions/technology/SmartGrid-electricity-grid-efficiency.cfm>
- [4] Закон за енергийната ефективност в сила от 14.11.2008 г. Обн. ДВ. Бр.98 от 14 Ноември 2008г., изм. ДВ. Бр.6 от 23 Януари 2009г.
- [5] Simoes, M.G., Bose, B.K.: ‘Application of Fuzzy Logic in the Estimation of Power Electronic Waveforms’, IEEE/IAS Annual Meet. Conf. Rec., 1993
- [6] Simoes, M.G. et al.: ‘Fuzzy Logic Based Intelligent Control of a Variable Speed Cage Machine Wind Generation System’, IEEE Trans. Power Electronics, vol. 12, no. 1, Jan. 1997
- [7] Song, Y., Johns, A.T.: ‘Applications of Fuzzy Logic in Power Systems, Part 1’, IEE Power Engineering Journal, Oct. 1997
- [8] Song, Y., Johns, A.T.: ‘Applications of Fuzzy Logic in Power Systems, Part 2’, IEE Power Engineering Journal, Aug. 1998
- [9] Reznik L., “Fuzzy Controllers”, Butterworth-Heinemann, 1997
- [10] Rao V., “C++ Neural Networks and Fuzzy Logic”, M&T Books, IDG Books Worldwide, Inc., 1995
- [11] White, D.A., Sofge, D.A.: Handbook of Intelligent Control: Neural, Fuzzy, and Adaptive Approaches, Multiscience Press, Inc., 1992

Автори: Калин Благоев, маг. инж., “Мултипроцесорни системи ООД”, Ганчо Божилов, проф. д.т.н., Георги Тодоров, доц. д-р - кат. “ Електрически машини ”

МОНИТОРИНГ НА ВЪТРЕШНОНАМОТЪЧНИ ДЕФЕКТИ В ТРАНСФОРМАТОР

Георги Тодоров, Георги Ганев, Калин Благоев

Резюме. Проведени са експериментални изследвания на въздействието на вътрешнонамотъчни къси съединения в трифазен трансформатор. Анализирани са измененията, предизвикани от тези къси съединения върху величините, подлежащи на мониторинг от първичната страна на трансформатора. Наред с голямата стойност на тока в накъсосъединения контур е установено силно нарастване на коефициента на несиметрия и намаляване на третия хармоник в засегнатите фази, които може да бъдат използвани като индикатори за повреда при мониторинга на работата на трансформатора.

MONITORING OF INTERTURN FAULTS IN A TRANSFORMER WINDINGS

George Todorov, Georgi Ganev, Kalin Blagoev

Abstract. Experimental investigation of the influence of interturn short circuits has been performed. The effects done by these short circuits on the quantities, that are subject of monitoring, have been analyzed. Along with very high current value in the short-circuited loop, significant increase in the non-symmetry coefficient and decrease in the third-harmonic component of the current in the phase, where the fault occurs, have been found. These quantities could be used as failure indicators in condition monitoring systems.

1. Увод

Надеждната, безотказна и ефективна работа на електрооборудването в промишлеността винаги са били от първостепенна важност. В последните 20 години мониторингът на работните параметри и режими се налага като ефективна мярка за подобряване на енергийния мениджмънт на предприятията и за подобряване на качеството на електроенергията доставяна на потребителите. Съвременните системи за мониторинг също така позволяват на персонала да предприема адекватни мерки когато се установи индикация за настъпваща или предстояща повреда и по този начин да се предотврати непредвидено прекъсване на работата поради внезапна авария, да се намалят разходите за ремонт и поддържане и да се удължи срока на използване на съоръженията.

При въртящите електрически машини, които използват сачмени или ролкови лагери, 40%÷50% от повредите са свързани с лагерите. Дори и при нормална експлоатация, с балансиран товар и добра настройка, умората на материалите и износването водят до появата на ексцентрицитет и увеличаване на вибрациите и шума. Същото проявление може да бъде и в резултат на корозия от попадане в лагера на твърди частици или вода, неподходящо мазане, недобро монтиране, които предизвикват дефект в лагерния възел. Тези дефекти може да се категоризират като дефект на външната лагерна гривна, дефект на вътрешната лагерна гривна, дефект на сачмите(ролките) или дефект на монтирането. Всеки от тях се проявява с различна честота на вибрациите, така че анализирането на честотата на измерените вибрации дава информация за категоризиране на причината и локализиране на дефекта [2, 3].

Постепенното влошаване на качеството на изолацията на статорната намотка е една от главните причини за аварията в мощните синхронни генератори. Малко от тях са причинени от простото стареене на изолацията. В повечето случаи причините са изолирани производствени дефекти, като въздушни включвания или твърди тела попаднали в главната изолация или нарушаване на целостта на изолацията от външни предмети [1]. Влошеното качество на изолацията води до появата на междувивковни къси съединения, придружени от промени в хармоничния състав на магнитния поток, тока и електродвижещото напрежение. Най-ранната индикация за нарушаване на нормалните качества на изолацията е нарастването на частичните разряди, затова следенето на частичните разряди се е наложило като основен метод в системите за мониторинг на статорните намотки на големите синхронни генератори. Чрез анализ на записа на частичния разряд може да се установи не само състоянието на изолацията на намотката, но и да се локализира разряда и причината за възникването му.

Според изследвания [4] 37% от сериозните повреди в асинхронните двигатели възникват в статорната намотка. Дефектите в намотката причиняват деформации на магнитното поле във въздушната междина. Това резултира в появата на хармоници на статорния ток, които могат да са индикация за различни повреди [6]. Тъй като проблемите на статорните намотки на асинхронните двигатели са подобни на тези при синхронните генератори, мониторингът на частичните разряди може успешно да се прилага и при тях.

Състоянието на намотковата и главната изолация оказва най-силно влияние върху живота на трансформаторите. Газовият анализ е традиционен метод за следене на състоянието на главната изолация при маслените трансформатори. Ранна индикация на влошаване на изолационните качества на маслото може да бъде наличието на разтворени газове, причинени от термичното стареене на изолацията. Анализът на вида, концентрацията и съотношението на различните съставки на газовете позволява да се установи причината за газоотделяне и евентуално необходимостта от профилактичен ремонт [7]. При твърдата изолация на намотките претоварването или локални прегрявания причиняват повишаване на температурата над допустимите стойности и ускорено термично стареене. За следене на състоянието ѝ се

използват методи с вграждане на термодвойки, фиброоптични сензори, инфрачервена термография, използване на температурни модели, мониторинг на токовете и напреженията [5,7].

При всички видове съоръжения и системи за мониторинг е необходимо да се осигури достоверна информация за реалното поведение на машините при различните режими на работа в изправно състояние, а също и за измененията на параметрите и величините, които даден вид неизправност предизвикват. Тази информация се събира и записва с подходящо вградени или монтирани сензори, а в резултат от нейната обработка и анализ се взема съответното решение от обслужващия или поддържащ персонал. При обработката на измерените величини може да се използват различни подходи:

- модели, базирани на познаването на принципите на работа и физиката на процесите в съответната машина;
- модели, разработени с използването на теорията на размитата логика;
- модели на базата на навронни мрежи.

Всеки от тези подходи има свои предимства и недостатъци, които обуславят използването им за дадено конкретно приложение. Независимо от това кой от методите за обработка на натрупаната информация ще се използва, за да бъде достоверен полученият резултат, е необходимо познаване на това какво влияние оказва върху измерваните величини съответната повреда.

В работата са представени резултати от експериментални изследвания на въздействието на вътрешнонавивкови къси съединения в намотките на трифазен трансформатор върху токовете, измервани на първичната страна. Измененията, предизвикани от тези къси съединения може да бъдат използвани като индикатори за повреда при мониторинга на работата на трансформатора.

2. Вътрешнонамотъчни повреди в трансформатори

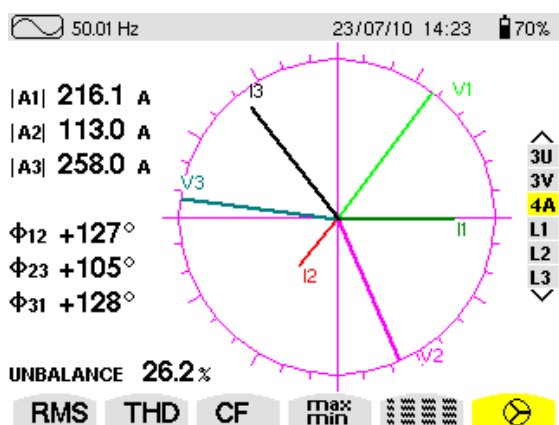
Една от често срещаните повреди е междунавивковото късо съединение [5]. Освен че причинява вътрешна несиметрия в трансформатора, то създава големи локални прегрявания, вследствие на които може да настъпи сериозна повреда в цялата намотка. Своевременното му установяване е една от задачите пред системите за мониторинг. Интерес представлява анализирането на влиянието на вътрешнонамотъчните къси съединения върху стойностите на токовете и мощностите, измервани в първичната намотка, тъй като те са обект на мониторинг при всички режими на работа и натоварвания и може да предоставят информация за диагностициране на повреда или аномален режим при експлоатацията. За целта са проведени поредица измервания за експериментално изследване на лабораторен модел на трифазен трансформатор при схема на свързване на първичната намотка звезда с изведен звезден център. От поредица навивки са изведени изводи, което позволява да се анализира поведението му при възникване на вътрешнонамотъчно късо съединение в първичната и вторичната му намотки. Симулирани са къси съединения, възникващи на различни места – между навивки от една и съща фаза и между навивки от различни фази, разположени на съседни ядра.

Измервани са стойностите на захранващите напрежения, тока, активната, реактивната и пълната мощности на трите фази, коефициента на мощността, коефициента на несинусоидалност на тока и коефициента на несиметрия. Определени са и амплитудите на най-изразено представените висши хармонични съставки на токовете. Всички измервания са направени в режим на празен ход при понижено симетрично захранващо напрежение.

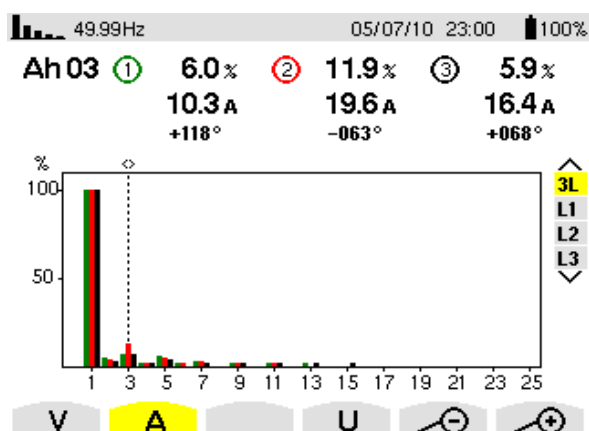
2.1. Вътрешнонамотъчно късо съединение във вторичната намотка

Изследвани и анализирани са резултати от измервания при изправни намотки, при междунавивково късо съединение на различни места във фаза разположена на крайно и средно ядро на трансформатора и при късо съединение между навивки от различни фази, лежащи на съседни ядра.

При ядрения трифазен трансформатор, поради разликите в магнитната верига на трите ядра, при изправни намотки съществува нормална несиметрия на тока на празен ход. За изпитвания трансформатор тя е измерена около 26 % (Фиг. 1), а хармоничният анализ показва стойности на третия хармоник от порядъка на 6%÷12% (Фиг. 2).



Фиг. 1. Диаграма на токовете при празен ход на изправна намотка



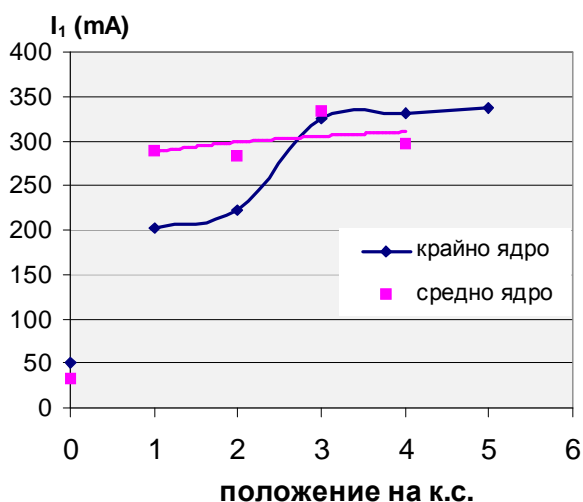
Фиг. 2. Хармоничен състав на тока на празен ход на изправна намотка

2.1.1. Междунавивково късо съединение в една фаза от намотката

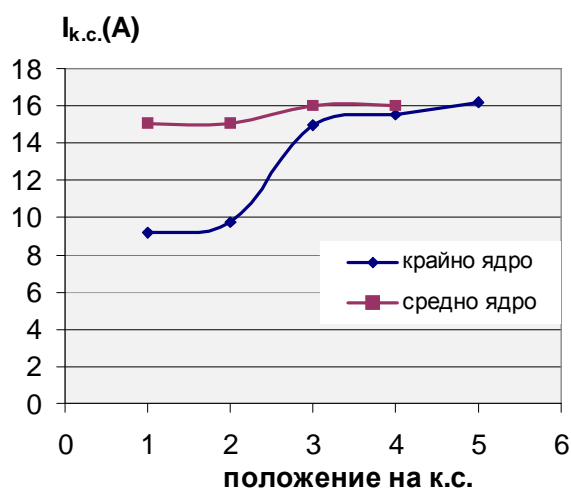
Проведени са изследвания при които е симулирано междунавивково късо съединение на група от 8 навивки с различно местоположение спрямо звездния център. Измерванията са направени последователно за намотки разположени на средното и крайно ядро. Измерените стойности на тока, активната и пълната мощности за средна и крайна фази в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение показват нарастването им с отдалечаване на късото съединение от звездния център (съответно от ярема на трансформатора). Тази тенденция е по-силно изразена за фазите, разположени върху крайните ядра. На фиг. 3 са представени стойностите на тока като за положение на късото съединение 0 е показана стойността на съответната величина на изправна намотка без междунавивково късо съединение. В същото време, въпреки че захранващото напрежение е силно понижено (само 10 % от

номиналното) и трансформаторът не е натоварен, токът в контура от накъсосъединени навивки нараства до стойности превишаващи 5÷6 пъти номиналния ток – фиг. 4.

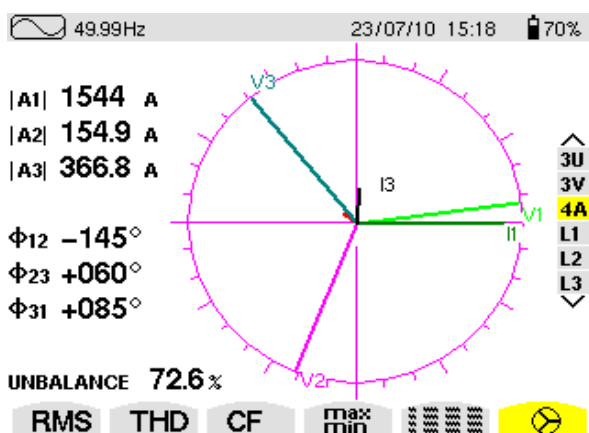
Коефициентът на несиметрия нараства силно (около 3 пъти), а поради голямата стойност на активния ток в накъсосъединения контур, процентното съдържание на третият хармоник в тока на фазата с междунавивково късо съединение силно намалява (за конкретния случай от 6% до 1,2%) – фиг. 5 и 6.



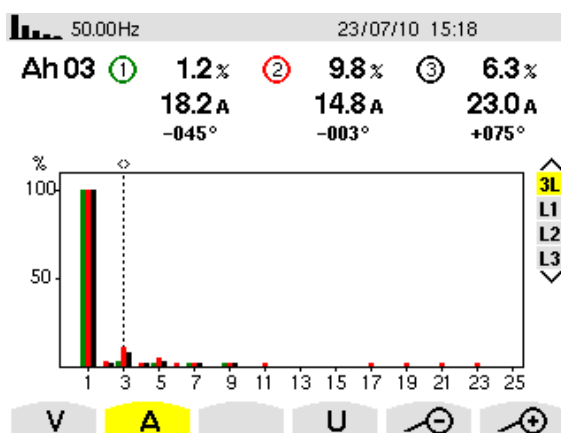
Фиг. 3. Ток на празен ход в първичната намотка, в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение



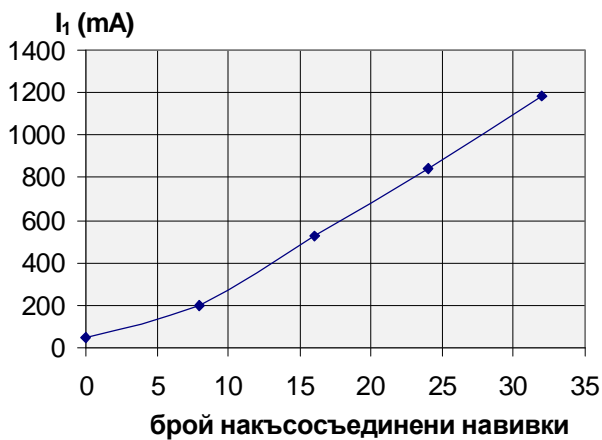
Фиг. 4. Ток в контура от 8 накъсосъединени навивки, в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение



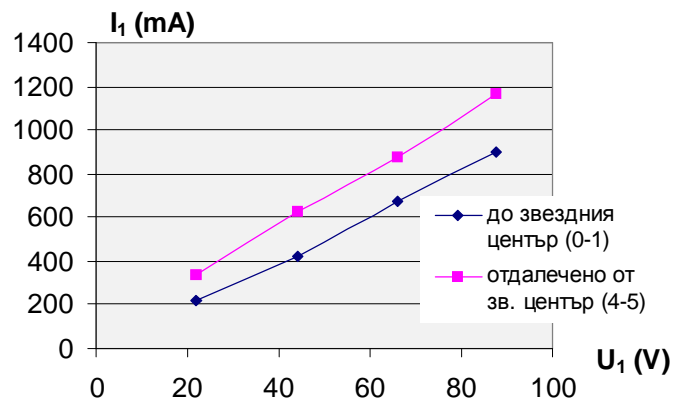
Фиг. 5. Диаграма на токовете при междунавивково к.с. в първата фаза



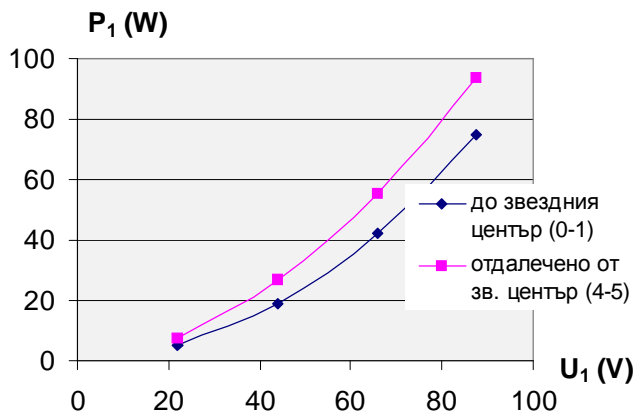
Фиг. 6. Хармоничен състав на тока на празен ход при междунавивково к.с. в първата фаза



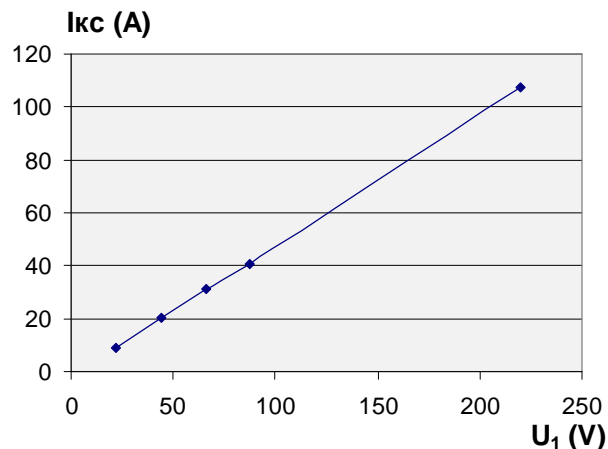
Фиг. 7. Ток на празен ход в първичната намотка в зависимост от броя на навъсоединените навивки



Фиг. 8. Ток на празен ход в първичната намотка при междунавивково к.с. на контур от 8 навивки, в зависимост от

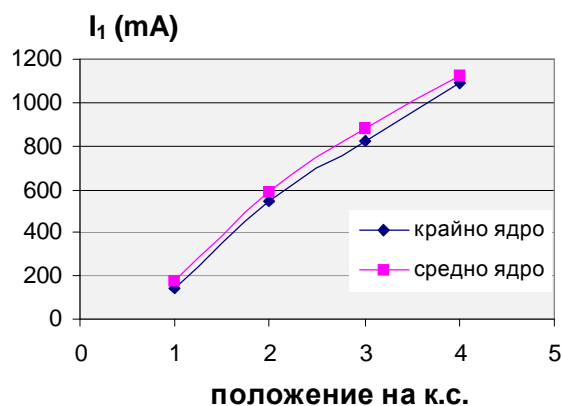


Фиг. 9. Активна мощност в първичната намотка при междунавивково к.с. на контур от 8 навивки, в зависимост от захранващото напрежение



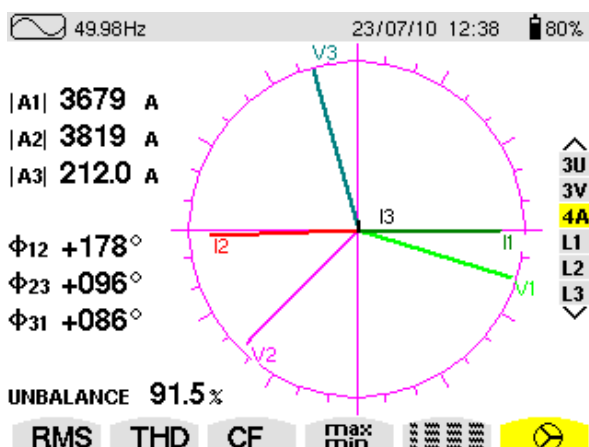
Фиг. 10. Ток в навъсоединения контур при междунавивково к.с. на 8 навивки, в зависимост от захранващото напрежение

К.с. между навивки в две съседни фази

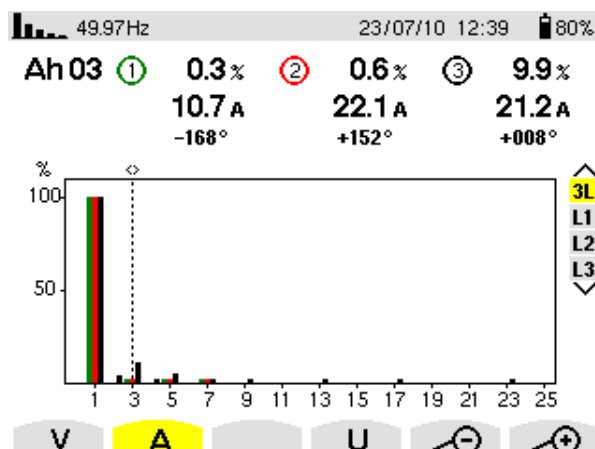


Фиг. 11. Ток на празен ход в първичната намотка при к.с. между навивки от две съседни фази

Ако междунавивковото късо съединение обхваща контур с по-голям брой навивки, токът и мощността, консумирани от съответната фаза на първичната намотка нарастват линейно - Фиг.7. Също линеен характер има нарастването на



Фиг. 12. Диаграма на токовете при късо съединение между навивки от фази 1 и 2



Фиг. 13. Хармоничен състав на тока на празен ход при късо съединение между навивки от фази 1 и 2

първичния ток при увеличаване на захранващото напрежение - Фиг.8, а това на мощностите – параболичен – Фиг.9. Характерът на изменение е еднакъв при различното местоположение на междунавивковото съединение, като по-големи стойности се получават с отдалечаване от звездния център. Подробните измервания са направени при повишаване на захранващото напрежение до 88V. При номиналното напрежение за кратко е измерен само токът в накъсосъединения контур и неговата стойност за контур от 8 навивки достига стойност 38,5 пъти номиналния – Фиг.10.

2.1.2. Късо съединение между навивки от съседни фази

Когато възниква късо съединение между навивки от две различни фази, разположени на съседни ядра, нарастването на тока в първичната намотка и консумираната мощност е още по-силно изразено с отдалечаване от звездния център, което е представено на Фиг.11. Тъй като в този случай късото съединение обхваща две фази, коефициентът на несиметрия нараства още по силно – Фиг.12, а третият хармоник в токовете на двете засегнати фази почти отсъства – Фиг. 13.

2.2. Междунавивково късо съединение в първичната намотка

Изследванията за симулиране на междунавивкови къси съединения в първичната намотка при отворена вторичната намотка, показват характер на поведение на следените величини, аналогичен с този при к.с. във вторичната намотка. При този случай междунавивковото късо съединение се симулира в намотката през която протича намагнитващия ток. Интерес представлява изменението в хармоничния състав на намагнитващия ток при възникване на вътрешнонамотъчен дефект. Резултатите от измерванията показват, че при

подчертано присъствие на 3-тия хармоник за изправна намотка, активният характер на тока в накъсосединения контур причинява чувствително намаляване на процентното участие на третия хармоник.

3. Заключение

От проведените изследвания се вижда, вътрешнонавивковото късо съединение, дори когато е за малък брой навивки, предизвиква процеси подобни на тези при пълно еднофазно или междуфазно късо съединение. Поведението на трансформатора е както при същинско късо съединение – магнитната система е ненаситена като зависимостта между тока и напрежението остава линейна и при повишаване на захранващото напрежение до номиналното.

Стойността на тока във фазата с междунавивково късо съединение нараства до стойности близки до номиналната, въпреки че по отношение на външните изводи на вторичната намотка трансформаторът работи на празен ход. Причината за това е много голямата стойност на тока в накъсосъединения контур – тя многократно надвишава тази, за която е оразмерена намотката и води до силни локални прегрявания, които могат да причинят нарушаване на изолацията на съседните навивки и „пропълъзване” на късото съединение по цялата намотка.

Характерно за всички случаи е рязкото нарастване на коефициента на несиметрия на токовете в първичната намотка и намаляване на процентната съставка на тока с трети хармоник в намотките на засегнатите фази което показва, че тяхното изменение може да служи като индикация за поява на вътрешнонавивково късо съединение.

Тъй като резултатите са от изследвания, проведени само в режим на празен ход, анализът трябва да бъде разширен и при натоварване на трансформатора.

Благодарности

Изследванията в разработката са извършени с финансовата подкрепа на Министерството на образованието, младежта и науката, Фонд “Научни изследвания”, договор № МУ-ФС-16 “Дистанционна диагностика и мониторинг на електромеханични системи”.

Литература

- [1] Tavner, P.J., J.Penman. *Condition Monitoring of Electrical Machines*, Research Studies Press, Ltd., 1987.
- [2] Tavner, P.J. *Review of condition monitoring of rotating electrical machines*. IET Electric Power, Vol. 2, No. 4, pp. 215–247, Appl. 2008.
- [3] Nandi, S., H.A. Toliyat, X. Li. *Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors—A Review*. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 20, No. 4, pp. 719-729, Dec.2005.

- [4] Stone, G.C., J.Kapler. *Stator Winding Monitoring*, IEEE Ind. Applicat. Mag., vol. 4., no.5, pp. 15–20, Sept.-Oct. 1998.
- [5] Han, Y., Y. H. Song. *Condition Monitoring Techniques for Electrical Equipment — A Literature Survey*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 1, pp. 4-13, Jan. 2003.
- [6] Thomson, W. T., D. Rankin, D. G. Dorrell. *On-line current monitoring to diagnose airgap eccentricity in large three-phase induction motors— Industrial case histories verify the predictions*, IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 14, 1999, pp. 1372–1378.
- [7] Bengtsson, C. *Status and Trends in Transformer Monitoring*. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp.1379-1384, July 1996.

Автори: Георги Тодоров, д-р инж., доцент в кат. “Електрически машини”, Технически университет – София, Георги Ганев, д-р инж., гл. ас. в кат. “Електротехника”, Технически университет – София, филиал Пловдив, Калин Благоев, маг. инж., “Мултипроцесорни системи ООД”

МОНИТОРИНГ НА ВЪТРЕШНОНАМОТЪЧНИ ДЕФЕКТИ В ТРАНСФОРМАТОР

Георги Тодоров, Георги Ганев, Калин Благоев

Резюме. Проведени са експериментални изследвания на въздействието на вътрешнонамотъчни къси съединения в трифазен трансформатор. Анализирани са измененията, предизвикани от тези къси съединения върху величините, подлежащи на мониторинг от първичната страна на трансформатора. Наред с голямата стойност на тока в накъсосъединения контур е установено силно нарастване на коефициента на несиметрия и намаляване на третия хармоник в засегнатите фази, които може да бъдат използвани като индикатори за повреда при мониторинга на работата на трансформатора.

MONITORING OF INTERTURN FAULTS IN A TRANSFORMER WINDINGS

George Todorov, Georgi Ganev, Kalin Blagoev

Abstract. Experimental investigation of the influence of interturn short circuits has been performed. The effects done by these short circuits on the quantities, that are subject of monitoring, have been analyzed. Along with very high current value in the short-circuited loop, significant increase in the non-symmetry coefficient and decrease in the third-harmonic component of the current in the phase, where the fault occurs, have been found. These quantities could be used as failure indicators in condition monitoring systems.

1. Увод

Надеждната, безотказна и ефективна работа на електрооборудването в промишлеността винаги са били от първостепенна важност. В последните 20 години мониторингът на работните параметри и режими се налага като ефективна мярка за подобряване на енергийния мениджмънт на предприятията и за подобряване на качеството на електроенергията доставяна на потребителите. Съвременните системи за мониторинг също така позволяват на персонала да предприема адекватни мерки когато се установи индикация за настъпваща или предстояща повреда и по този начин да се предотврати непредвидено прекъсване на работата поради внезапна авария, да се намалят разходите за ремонт и поддържане и да се удължи срока на използване на съоръженията.

При въртящите електрически машини, които използват сачмени или ролкови лагери, 40%÷50% от повредите са свързани с лагерите. Дори и при нормална експлоатация, с балансиран товар и добра настройка, умората на материалите и износването водят до появата на ексцентрицитет и увеличаване на вибрациите и шума. Същото проявление може да бъде и в резултат на корозия от попадане в лагера на твърди частици или вода, неподходящо мазане, недобро монтиране, които предизвикват дефект в лагерния възел. Тези дефекти може да се категоризират като дефект на външната лагерна гривна, дефект на вътрешната лагерна гривна, дефект на сачмите(ролките) или дефект на монтирането. Всеки от тях се проявява с различна честота на вибрациите, така че анализирането на честотата на измерените вибрации дава информация за категоризиране на причината и локализиране на дефекта [2, 3].

Постепенното влошаване на качеството на изолацията на статорната намотка е една от главните причини за аварията в мощните синхронни генератори. Малко от тях са причинени от простото стареене на изолацията. В повечето случаи причините са изолирани производствени дефекти, като въздушни включвания или твърди тела попаднали в главната изолация или нарушаване на целостта на изолацията от външни предмети [1]. Влошеното качество на изолацията води до появата на междувивковни къси съединения, придружени от промени в хармоничния състав на магнитния поток, тока и електродвижещото напрежение. Най-ранната индикация за нарушаване на нормалните качества на изолацията е нарастването на частичните разряди, затова следенето на частичните разряди се е наложило като основен метод в системите за мониторинг на статорните намотки на големите синхронни генератори. Чрез анализ на записа на частичния разряд може да се установи не само състоянието на изолацията на намотката, но и да се локализира разряда и причината за възникването му.

Според изследвания [4] 37% от сериозните повреди в асинхронните двигатели възникват в статорната намотка. Дефектите в намотката причиняват деформации на магнитното поле във въздушната междина. Това резултира в появата на хармоници на статорния ток, които могат да са индикация за различни повреди [6]. Тъй като проблемите на статорните намотки на асинхронните двигатели са подобни на тези при синхронните генератори, мониторингът на частичните разряди може успешно да се прилага и при тях.

Състоянието на намотковата и главната изолация оказва най-силно влияние върху живота на трансформаторите. Газовият анализ е традиционен метод за следене на състоянието на главната изолация при маслените трансформатори. Ранна индикация на влошаване на изолационните качества на маслото може да бъде наличието на разтворени газове, причинени от термичното стареене на изолацията. Анализът на вида, концентрацията и съотношението на различните съставки на газовете позволява да се установи причината за газоотделяне и евентуално необходимостта от профилактичен ремонт [7]. При твърдата изолация на намотките претоварването или локални прегрявания причиняват повишаване на температурата над допустимите стойности и ускорено термично стареене. За следене на състоянието ѝ се

използват методи с вграждане на термодвойки, фиброоптични сензори, инфрачервена термография, използване на температурни модели, мониторинг на токовете и напреженията [5,7].

При всички видове съоръжения и системи за мониторинг е необходимо да се осигури достоверна информация за реалното поведение на машините при различните режими на работа в изправно състояние, а също и за измененията на параметрите и величините, които даден вид неизправност предизвикват. Тази информация се събира и записва с подходящо вградени или монтирани сензори, а в резултат от нейната обработка и анализ се взема съответното решение от обслужващия или поддържащ персонал. При обработката на измерените величини може да се използват различни подходи:

- модели, базирани на познаването на принципите на работа и физиката на процесите в съответната машина;
- модели, разработени с използването на теорията на размитата логика;
- модели на базата на навронни мрежи.

Всеки от тези подходи има свои предимства и недостатъци, които обуславят използването им за дадено конкретно приложение. Независимо от това кой от методите за обработка на натрупаната информация ще се използва, за да бъде достоверен полученият резултат, е необходимо познаване на това какво влияние оказва върху измерваните величини съответната повреда.

В работата са представени резултати от експериментални изследвания на въздействието на вътрешнонавивкови къси съединения в намотките на трифазен трансформатор върху токовете, измервани на първичната страна. Измененията, предизвикани от тези къси съединения може да бъдат използвани като индикатори за повреда при мониторинга на работата на трансформатора.

2. Вътрешнонамотъчни повреди в трансформатори

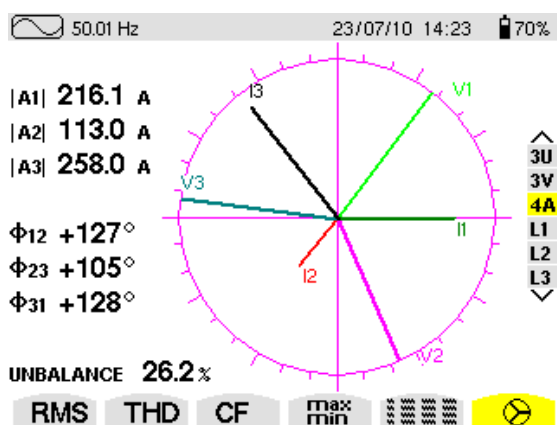
Една от често срещаните повреди е междунавивковото късо съединение [5]. Освен че причинява вътрешна несиметрия в трансформатора, то създава големи локални прегрявания, вследствие на които може да настъпи сериозна повреда в цялата намотка. Своевременното му установяване е една от задачите пред системите за мониторинг. Интерес представлява анализирането на влиянието на вътрешнонамотъчните къси съединения върху стойностите на токовете и мощностите, измервани в първичната намотка, тъй като те са обект на мониторинг при всички режими на работа и натоварвания и може да предоставят информация за диагностициране на повреда или анормален режим при експлоатацията. За целта са проведени поредица измервания за експериментално изследване на лабораторен модел на трифазен трансформатор при схема на свързване на първичната намотка звезда с изведен звезден център. От поредица навивки са изведени изводи, което позволява да се анализира поведението му при възникване на вътрешнонамотъчно късо съединение в първичната и вторичната му намотки. Симулирани са къси съединения, възникващи на различни места – между навивки от една и съща фаза и между навивки от различни фази, разположени на съседни ядра.

Измервани са стойностите на захранващите напрежения, тока, активната, реактивната и пълната мощности на трите фази, коефициента на мощността, коефициента на несинусоидалност на тока и коефициента на несиметрия. Определени са и амплитудите на най-изразено представените висши хармонични съставки на токовете. Всички измервания са направени в режим на празен ход при понижено симетрично захранващо напрежение.

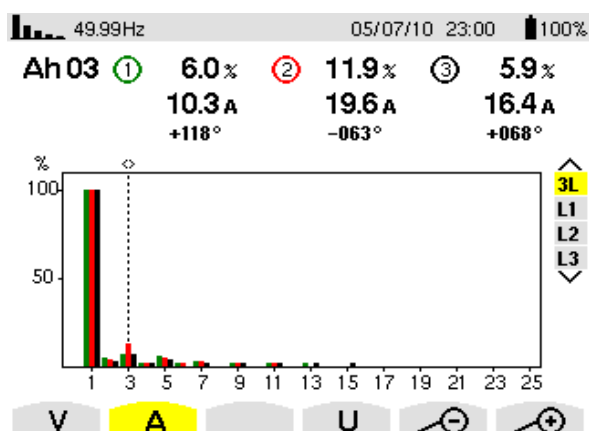
2.1. Вътрешнамотъчно късо съединение във вторичната намотка

Изследвани и анализирани са резултати от измервания при изправни намотки, при междунавивково късо съединение на различни места във фаза разположена на крайно и средно ядро на трансформатора и при късо съединение между навивки от различни фази, лежащи на съседни ядра.

При ядрения трифазен трансформатор, поради разликите в магнитната верига на трите ядра, при изправни намотки съществува нормална несиметрия на тока на празен ход. За изпитвания трансформатор тя е измерена около 26 % (Фиг. 1), а хармоничният анализ показва стойности на третия хармоник от порядъка на 6%÷12% (Фиг. 2).



Фиг. 1. Диаграма на токовете при празен ход на изправна намотка



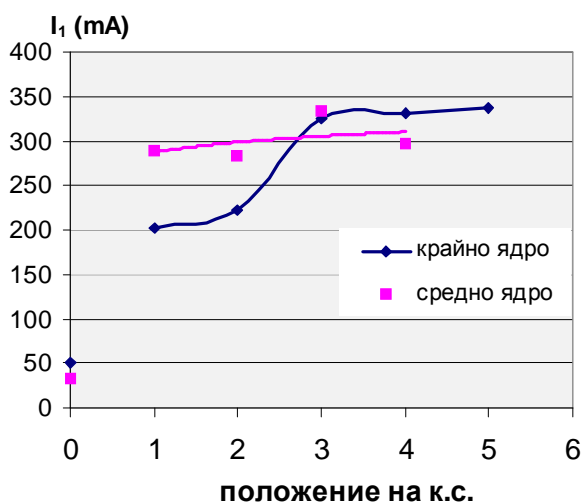
Фиг. 2. Хармоничен състав на тока на празен ход на изправна намотка

2.1.1. Междунавивково късо съединение в една фаза от намотката

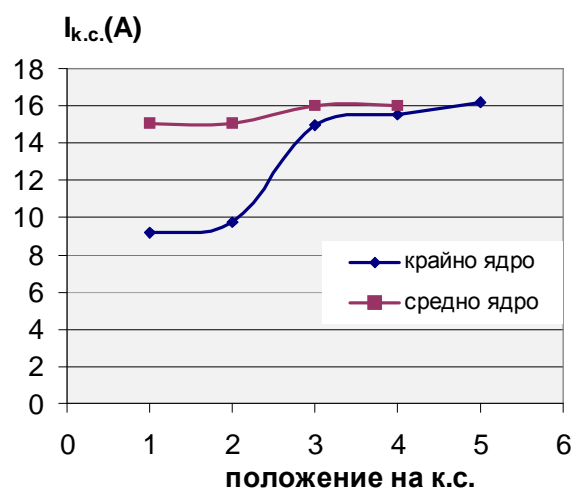
Проведени са изследвания при които е симулирано междунавивково късо съединение на група от 8 навивки с различно местоположение спрямо звездния център. Измерванията са направени последователно за намотки разположени на средното и крайно ядро. Измерените стойности на тока, активната и пълната мощности за средна и крайна фази в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение показват нарастването им с отдалечаване на късото съединение от звездния център (съответно от ярема на трансформатора). Тази тенденция е по-силно изразена за фазите, разположени върху крайните ядра. На фиг. 3 са представени стойностите на тока като за положение на късото съединение 0 е показана стойността на съответната величина на изправна намотка без междунавивково късо съединение. В същото време, въпреки че захранващото напрежение е силно понижено (само 10 % от

номиналното) и трансформаторът не е натоварен, токът в контура от накъсосъединени навивки нараства до стойности превишаващи 5÷6 пъти номиналния ток – фиг. 4.

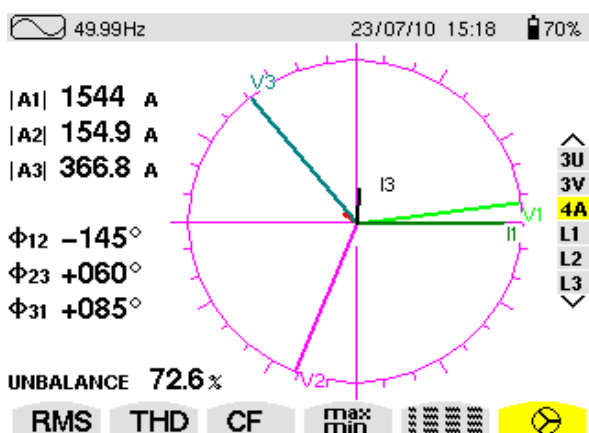
Коефициентът на несиметрия нараства силно (около 3 пъти), а поради голямата стойност на активния ток в накъсосъединения контур, процентното съдържание на третият хармоник в тока на фазата с междунавивково късо съединение силно намалява (за конкретния случай от 6% до 1,2%) – фиг. 5 и 6.



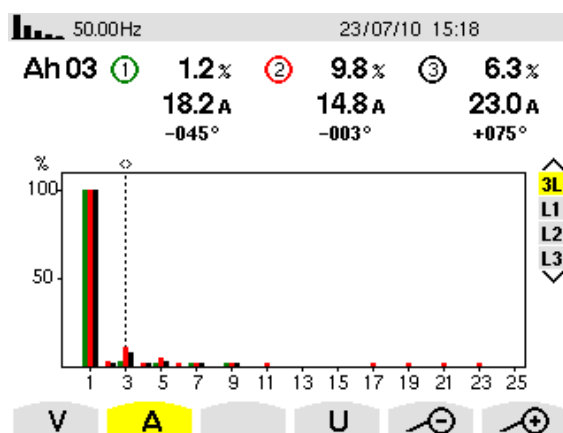
Фиг. 3. Ток на празен ход в първичната намотка, в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение



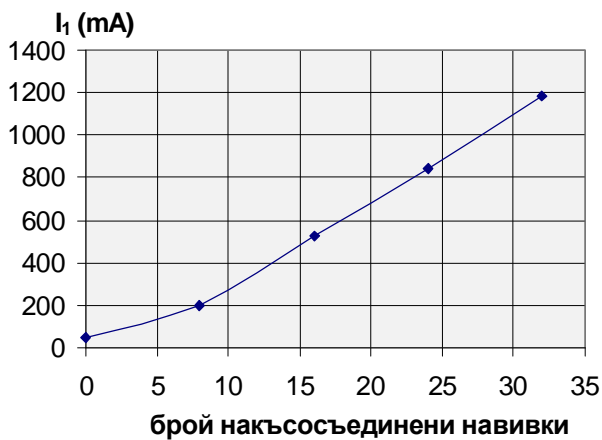
Фиг. 4. Ток в контура от 8 накъсосъединени навивки, в зависимост от положението на междунавивковото късо съединение



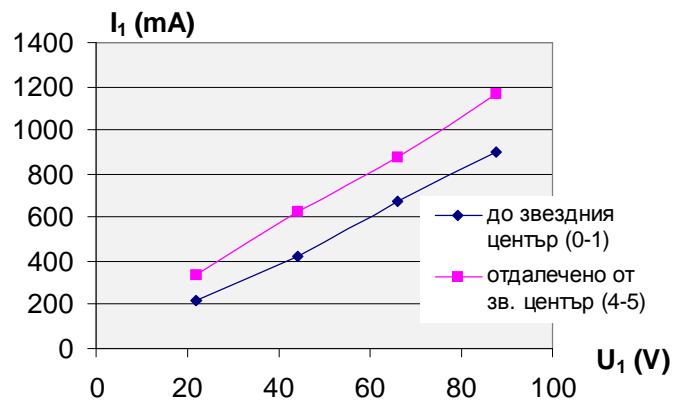
Фиг. 5. Диаграма на токовете при междунавивково к.с. в първата фаза



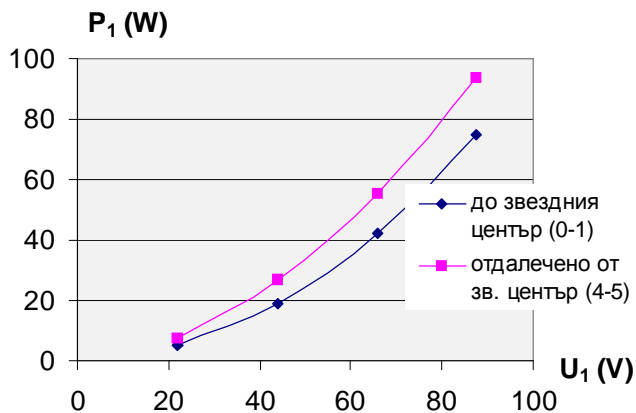
Фиг. 6. Хармоничен състав на тока на празен ход при междунавивково к.с. в първата фаза



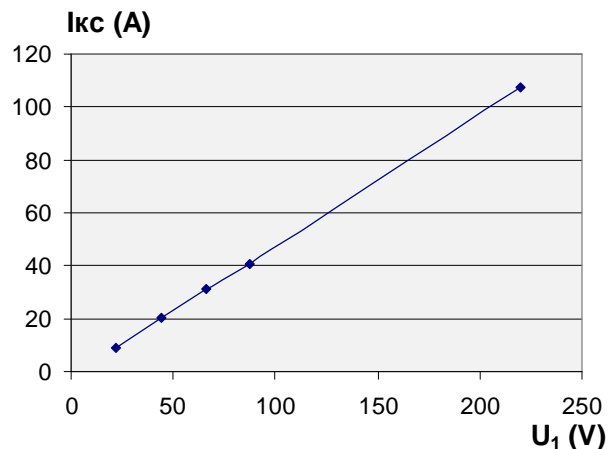
Фиг. 7. Ток на празен ход в първичната намотка в зависимост от броя на късосоъединените навивки



Фиг. 8. Ток на празен ход в първичната намотка при междунавивково к.с. на контур от 8 навивки, в зависимост от

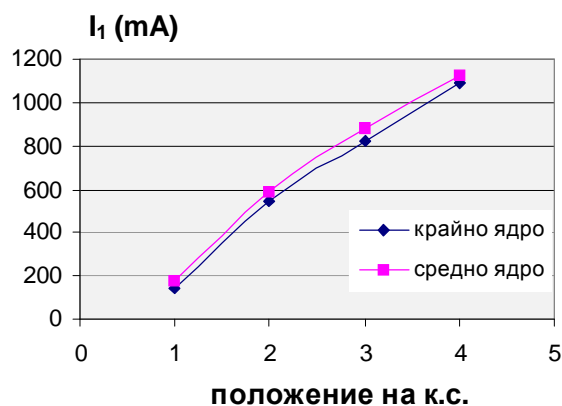


Фиг. 9. Активна мощност в първичната намотка при междунавивково к.с. на контур от 8 навивки, в зависимост от захранващото напрежение



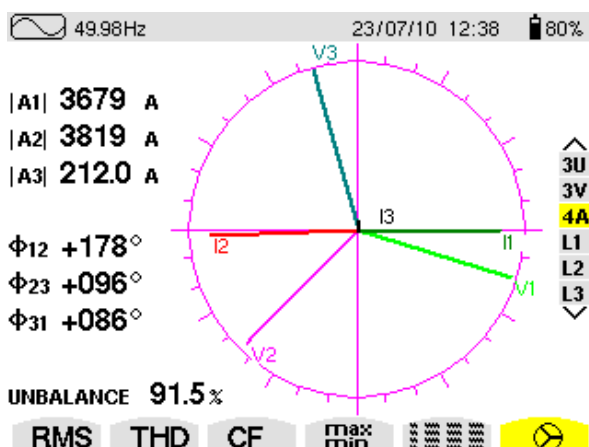
Фиг. 10. Ток в късосоъединения контур при междунавивково к.с. на 8 навивки, в зависимост от захранващото напрежение

К.с. между навивки в две съседни фази

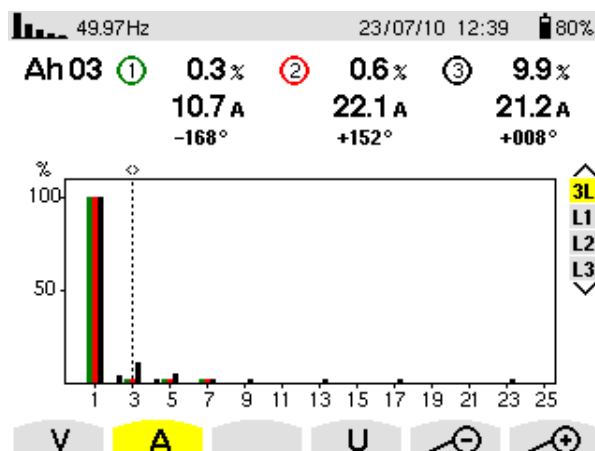


Фиг. 11. Ток на празен ход в първичната намотка при к.с. между навивки от две съседни фази

Ако междунавивковото късо съединение обхваща контур с по-голям брой навивки, токът и мощността, консумирани от съответната фаза на първичната намотка нарастват линейно - Фиг.7. Също линеен характер има нарастването на



Фиг. 12. Диаграма на токовете при късо съединение между навивки от фази 1 и 2



Фиг. 13. Хармоничен състав на тока на празен ход при късо съединение между навивки от фази 1 и 2

първичния ток при увеличаване на захранващото напрежение - Фиг.8, а това на мощностите – параболичен – Фиг.9. Характерът на изменение е еднакъв при различното местоположение на междунавивковото съединение, като по-големи стойности се получават с отдалечаване от звездния център. Подробните измервания са направени при повишаване на захранващото напрежение до 88V. При номиналното напрежение за кратко е измерен само токът в накъсосъединения контур и неговата стойност за контур от 8 навивки достига стойност 38,5 пъти номиналния – Фиг.10.

2.1.2. Късо съединение между навивки от съседни фази

Когато възниква късо съединение между навивки от две различни фази, разположени на съседни ядра, нарастването на тока в първичната намотка и консумираната мощност е още по-силно изразено с отдалечаване от звездния център, което е представено на Фиг.11. Тъй като в този случай късото съединение обхваща две фази, коефициентът на несиметрия нараства още по силно – Фиг.12, а третият хармоник в токовете на двете засегнати фази почти отсъства – Фиг. 13.

2.2. Междунавивково късо съединение в първичната намотка

Изследванията за симулиране на междунавивкови къси съединения в първичната намотка при отворена вторичната намотка, показват характер на поведение на следените величини, аналогичен с този при к.с. във вторичната намотка. При този случай междунавивковото късо съединение се симулира в намотката през която протича намагнитващия ток. Интерес представлява изменението в хармоничния състав на намагнитващия ток при възникване на вътрешнонамотъчен дефект. Резултатите от измерванията показват, че при

подчертано присъствие на 3-тия хармоник за изправна намотка, активният характер на тока в накъсосъединения контур причинява чувствително намаляване на процентното участие на третия хармоник.

3. Заключение

От проведените изследвания се вижда, вътрешнонавивковото късо съединение, дори когато е за малък брой навивки, предизвиква процеси подобни на тези при пълно еднофазно или междуфазно късо съединение. Поведението на трансформатора е както при същинско късо съединение – магнитната система е ненаситена като зависимостта между тока и напрежението остава линейна и при повишаване на захранващото напрежение до номиналното.

Стойността на тока във фазата с междунавивково късо съединение нараства до стойности близки до номиналната, въпреки че по отношение на външните изводи на вторичната намотка трансформаторът работи на празен ход. Причината за това е много голямата стойност на тока в накъсосъединения контур – тя многократно надвишава тази, за която е оразмерена намотката и води до силни локални прегрявания, които могат да причинят нарушаване на изолацията на съседните навивки и „пропълъзяване” на късото съединение по цялата намотка.

Характерно за всички случаи е рязкото нарастване на коефициента на несиметрия на токовете в първичната намотка и намаляване на процентната съставка на тока с трети хармоник в намотките на засегнатите фази което показва, че тяхното изменение може да служи като индикация за поява на вътрешнонавивково късо съединение.

Тъй като резултатите са от изследвания, проведени само в режим на празен ход, анализът трябва да бъде разширен и при натоварване на трансформатора.

Благодарности

Изследванията в разработката са извършени с финансовата подкрепа на Министерството на образованието, младежта и науката, Фонд “Научни изследвания”, договор № МУ-ФС-16 “Дистанционна диагностика и мониторинг на електромеханични системи”.

Литература

- [1] Tavner, P.J., J.Penman. *Condition Monitoring of Electrical Machines*, Research Studies Press, Ltd., 1987.
- [2] Tavner, P.J. *Review of condition monitoring of rotating electrical machines*. IET Electric Power, Vol. 2, No. 4, pp. 215–247, Appl. 2008.
- [3] Nandi, S., H.A. Toliyat, X. Li. *Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors—A Review*. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 20, No. 4, pp. 719-729, Dec.2005.

- [4] Stone, G.C., J.Kapler. *Stator Winding Monitoring*, IEEE Ind. Applicat. Mag., vol. 4., no.5, pp. 15–20, Sept.-Oct. 1998.
- [5] Han, Y., Y. H. Song. *Condition Monitoring Techniques for Electrical Equipment — A Literature Survey*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 1, pp. 4-13, Jan. 2003.
- [6] Thomson, W. T., D. Rankin, D. G. Dorrell. *On-line current monitoring to diagnose airgap eccentricity in large three-phase induction motors— Industrial case histories verify the predictions*, IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 14, 1999, pp. 1372–1378.
- [7] Bengtsson, C. *Status and Trends in Transformer Monitoring*. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp.1379-1384, July 1996.

Автори: Георги Тодоров, д-р инж., доцент в кат. “Електрически машини”, Технически университет – София, Георги Ганев, д-р инж., гл. ас. в кат. “Електротехника”, Технически университет – София, филиал Пловдив, Калин Благоев, маг. инж., “Мултипроцесорни системи ООД”