



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ**



**ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ**

**VIII  
НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ЕФ 2016**

**12 - 15 септември, 2016 г.**

**България, гр. Варна  
„Св. св. Константин и Елена“**



## СЪДЪРЖАНИЕ

НОВА СХЕМА ЗА ДИНАМИЧЕН ПАЗАР НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В РЕАЛНО ВРЕМЕ -----	4
Рад Станев -----	4
ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ТОВАРА В МИКРО И НАНО МРЕЖИ	8
Рад Станев -----	8
ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА КОМПЕНСИРАНЕ НА РЕАКТИВНИТЕ ТОВАРИ В ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ МРЕЖИ -----	16
Харалан Пенев, Николай Матанов, Снежана Димитрова -----	16
СЪВРЕМЕННИ ИЗОЛАЦИОННИ ПОКРИТИЯ ЗА ВЪЗДУШНИ ЕЛЕКТРОПРОВОДНИ ЛИНИИ -----	25
Иван Ханджиев, Петър Наков -----	25
ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ФРОНТА НА ИМПУЛСНАТА ВЪЛНА И НА СПЕЦИФИЧНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ПОЧВАТА ВЪРХУ ГОЛЕМИНАТА НА МАКСИМАЛНОТО ДОПИРНО НАПРЕЖЕНИЕ В ЗАЗЕМИТЕЛНА МРЕЖА НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ -----	32
Росица Димитрова -----	32
ПОДОБРЯВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА СВЕТЛИНАТА В ОФИСИ, ЧРЕЗ ВНЕДРЯВАНЕ СИСТЕМА ЗА ДИНАМИЧНО УПРАВЛЕНИЕ НА ИЗКУСТВЕНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ -----	38
Владимир Шаламанов -----	38
АЛГОРИТЪМ ЗА ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ НА АДАПТИВНО УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ -----	51
Николай Василев, Борис Тошев, Марин Вълчев -----	51
ОСВЕТЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТНИ КОМУНИКАЦИОННИ ЦЕНТРОВЕ С КРЪГОВО ДВИЖЕНИЕ -----	57
Николай Василев -----	57
СИСТЕМА ЗА ДИМИРАНЕ НА СВЕТОДИОДНИ ОСВЕТИТЕЛИ С УПРАВЛЯЕМИ ИМПУЛСНИ ЗАХРАНВАНИЯ -----	65
Иван Ангелов -----	65

## НОВА СХЕМА ЗА ДИНАМИЧЕН ПАЗАР НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В РЕАЛНО ВРЕМЕ

Рад Станев

**Резюме:** Статията представя нов пазарен модел за съвременни интелигентни електрически мрежи с електромобили, разпределени енергийни източници, устройства за съхранение на енергия и гъвкави товари. Отчитайки основните недостатъци на съществуващите решения е предложен нов модел на динамичен пазар на електрическата енергия, почиващ на мрежовите параметри на състоянието, като перспективно решение за предоставяне на мрежови услуги и постигане на адекватни нива на присъединени към мрежата електромобили и разпределени производствени мощности. Решението позволява симбиотично взаимодействие между електромобилите, разпределените производствени мощности, устройствата за съхранение на енергия и гъвкавия товар, като същевременно по естествен начин се отчитат ограниченията в мрежата и характеристиките на останалите потребители на мрежата.

**Ключови думи:** динамичен пазар на електрическата енергия, възлови цени, интелигентни мрежи, електромобили, разпределителни мрежи, микромрежи, спомагателни услуги мрежата на електромобили и мрежа към електромобилите, управление на напреженията, регулиране на товара, управление на гъвкави товари, интелигентно зареждаане на електромобили

## A NEW DYNAMIC MARKET SCHEME FOR REAL TIME ELECTRICITY MARKET

Rad Stanev

**Abstract:** This article presents a novel electricity market model for smart grids with electric vehicles (EV), Distributed Energy Resources (DER), Storage Devices and flexible loads. Taking into account the main drawbacks of the existing solutions a novel dynamic pricing electricity market model based on the network state parameters is proposed as a promising solution for provision of grid support services and achievement of adequate integration of EV and DER into the network. The solution enables symbiotic interaction between EVs, DER and flexible load while inherently taking into account the network constraints and the characteristics of the other network users.

**Keywords:** dynamic electricity market, nodal pricing, smart grid; electric vehicles; distribution networks; microgrids; V2G and G2V grid support; voltage control, demand side response; flexible load management; smart charging

## 1. INTRODUCTION

The future Power System concept and Grid topology with Distributed Energy Resources and distributed electric vehicles requires novel electricity market concepts which allow proper involvement of the main stakeholders. An adequate financial scheme which is “fair” for all participants and “grid friendly” at the same time is needed.

Majority of various market schemes are presently available. However still none of them is transparent, sensitive, robust, fast acting and fair enough to respond the needs of the future power systems [1-4].

This article presents a new grid friendly adaptive dynamic pricing scheme for real time electricity market.

## 2. DYNAMIC MARKET SCHEME

A new real time adaptive dynamic pricing model is proposed to enable improved provision of grid support services and achievement of adequate integration of EV and DER into the network [5-6].

The dynamic power price is given as a function of the control parameters at the point of common coupling (PCC). Each agent (implemented in a device such as smart electricity meter, energy management system, smart charger, smart load controller etc.) observes the nodal control parameters (voltage and frequency), evaluates the present price and takes his decision according to his own price elasticity, as defined by the prosumer.

The electricity market is based on two components- “Electricity Price” and “Network Service Price”. The “Electricity Price” settle the financial relations between producers, consumers and prosumers. The “Network Service Price” provides remuneration from all of the network users to the Network Operator (DNO) for his service.

### Electricity Pricing

The electricity cost over a certain period of time consisting of  $n$  time intervals each of them designated by  $i$  is

$$C_e = \sum_{i=1}^n C_{e,i} = \sum_{i=1}^n Price_i \cdot P_i \cdot \Delta t_i, \quad (1)$$

where  $C_{e,i}$  is the electricity cost for time interval  $i$ ,  $Price_i$  - unit price for time interval  $i$ ,  $P_i$  is the active power, and  $\Delta t$  - duration of the time interval  $i$ .

The electricity unit price is dynamically dependent on the voltage and the frequency at the PCC. It is specific and individual for each individual node and for each time interval, determined as

$$Price = Price_{local} \cdot Price_{global} = \varphi_1(U_{PCC}) \cdot \varphi_2(f_{PCC}) \quad (2)$$

Both together local and global price stimulate the prosumer's agents to adapt their power balance according to the microgrid state and bulk power system state at the same time.

Two typical exemplary pricing functions are presented as suitable for the dynamic market scheme given. Figure 1 presents a common "local" voltage dependent price. The high "local" price stimulates the producers (DER generation, V2G and other storage) to increase their supply if the voltage is low indicating high demand and/or low power transfer capability. Controversially the low "local" price stimulates the consumers (flexible loads, G2V and other storage) to increase their demand if the voltage is high, indicating oversupply.

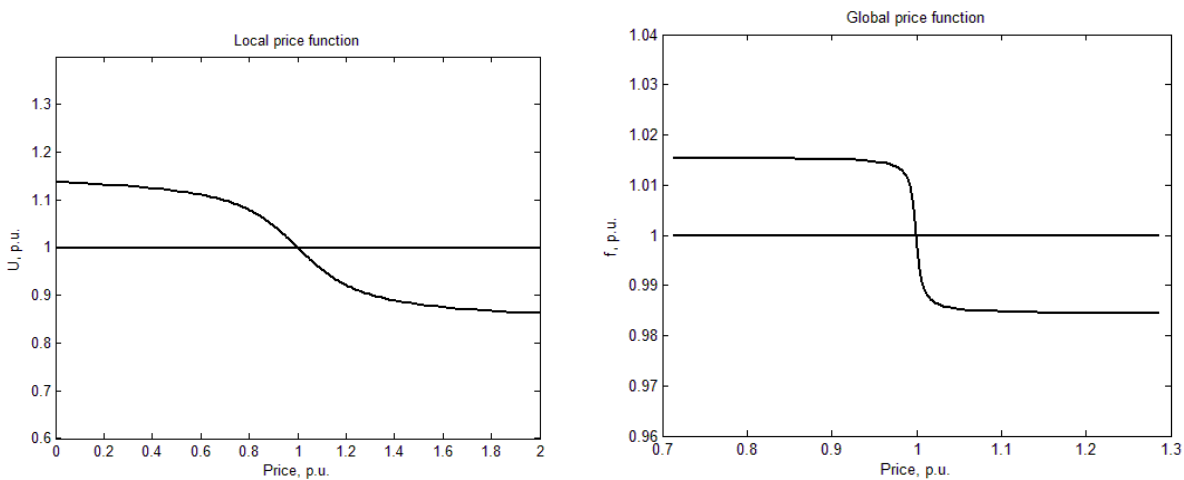


Fig. 1. "Local" voltage dependent price Fig. 2 "Global" frequency dependent price

Similarly the "global" frequency dependent price enables fast dynamic real time bulk power system support provided by the microgrid players. Figure 2 represents a typical "global" frequency dependent price.

The majority of the prosumer's agents would predominantly prefer to operate within the linear part of the price function close to unity of the control variables (voltage and frequency), which inherently drives the system to normal operational conditions.

### Network Service Pricing

The network service price is defined as

$$C_{NS} = Price_c - \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta U_i|}{|\Delta P_i|} \cdot k_1 \cdot P_i \cdot \Delta t_i + \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta U_i|}{|\Delta Q_i|} \cdot k_2 \cdot Q_i \cdot \Delta t_i, \quad (3)$$

where  $Price_c$  is fixed price for connected power,

$\frac{|\Delta U_i|}{|\Delta P_i|} \cdot k_1 \cdot P_i$ - determines the network strength, the power transfer capability and the quality of the service provided by the DNO

$\frac{|\Delta U_i|}{|\Delta Q_i|} \cdot k_2 \cdot Q_i$  - compensates the electricity price changes due to reactive power injection / absorption by the prosumer and clears the increased power losses due to reactive power transfer.

### 3. CONCLUSION

The adaptive dynamic market scheme proposed is highly sensitive to both power balance and network state which prevents network congestions. This results in reliable network operation, increased EV and DER hosting capacity, improved voltage control and power quality, increased power system stability and operational security.

It allows fair and transparent financial relations between the users and drives the system to nearly optimal control. It enables symbiotic interaction between the EVs, DER and flexible loads while inherently taking into account the power balance, the network constrains and the characteristics of the network users.

### REFERENCES

- [1] J. N. Tsitsiklis, Y. Xu (2015), Pricing of fluctuations in electricity markets, European Journal of Operational Research
- [2] Ma Q, X. Zeng (2015), Demand modelling in electricity market with day-ahead dynamic pricing, IEEE International Conference on Smart Grid Communications
- [3] Borenstein S., M. Jaske, A. Rosenfeld (2002), Dynamic Pricing, Advanced Metering, and Demand Response in Electricity Markets”, CSEM WP 105
- [4] Trashlieva V., D. Stoilov, D. Andonov (2012), “Optimal daily power scheduling for the microgrid of an administrative complex”, COFRET’12
- [5] Stanev R. (2014), “A concept for smart power management of microgrids and autonomous electrical power systems”, Proceedings of TU- Sofia, Volume 64, Issue 4, pp. 237-242, ISSN 1311-0829)
- [6] Stanev, R. (2016), “A control strategy and operation paradigm for electrical power systems with electric vehicles and distributed energy resources”, XIXth International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA 2016, Bulgaria
- [7] Stanev R., M. Georgiev, A. Krusteva (2015), “Interoperability Analysis of Electrical Networks with Electric Vehicle Charging Devices and Distributed Energy Resources”, International Journal of Distributed Energy Resources and Smart Grids

**Autor:** Rad Stanev, associate professor PhD - Electrical Power Engineering Department, Technical University of Sofia, e-mail: [rstanev@tu-sofia.bg](mailto:rstanev@tu-sofia.bg)

## ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ТОВАРА В МИКРО И НАНО МРЕЖИ

Рад Станев

**Резюме:** Статията представя концепция за интелигентно управление на товара, която позволява подобро оползотворяване на енергията на разпределените производствени мощности в съвременните наномрежи. Анализът показва, че значима част от енергията произведена от разпределителните мрежи и/или устройствата за съхранение на енергия. Предложена е конфигурация и концепция за интелигентно управление на товара като решение за по-добро използване на произведената енергия. Резултатите свидетелстват за много добра адекватност и значим потенциал за приложение в съществуващи микро и нано мрежи със слънчеви и друг вид генератори.

**Ключови думи:** наномрежи, микромрежи, интелигентно управление на товара, интелигентни товари, гъвкави товари

## SMART LOAD MANAGEMENT OF MICRO AND NANOGGRIDS

Rad Stanev

**Abstract:** This article presents smart load management concept which enables improved usage of the energy provided by the distributed generators (DG) present in comprehensive nanogrids. The analysis shows that significant part of the energy generated in the present nanogrids is lost due to limited or absent distribution networks and/or storage capacities. A nanogrid configuration and smart power management for flexible loads control is presented as a promising solution for better utilization of the generated energy. The results witness very good adequacy and high potential for implementation in existing micro and nanogrids with solar and other renewable generation.

**Keywords:** nanogrids, microgrids, power converters, control of energy flows, smart load, solar power, flexible load, demand side management

### 1. INTRODUCTION

The increased share of cost effective Distributed Energy Resources (DER) has recently become major driving force for novel structural and operational concepts for the future Electrical Power Systems (EPS). The competitive pricing of the distributed generation has enabled the mini, micro and nanogrid autonomous and grid connected



operation concepts as economically viable solution not only for rural electrification of the remote areas but also for the electrical systems which are already connected to the present distribution networks [1-23].

## **2. MICRO AND NANOGRID DEFINITION AND STRUCTURE**

The microgrids are commonly considered as building cells of a smart grid. According to CIGRÉ C6.22 Working Group definition the microgrids are electricity distribution systems containing loads and distributed energy resources, (such as distributed generators, storage devices, or controllable loads) that can be operated in a controlled, coordinated way either while connected to the main power network or while islanded [1].

The nanogrids can be consequently considered as building cells of a microgrid which further implement the smart grid concept at even smaller scale such as household.

The generation subsystem includes all of the possible sources such as fossil or biomass-fired generators, micro hydro generators, photovoltaic generators (PV), wind generators, etc. The generation consists most commonly of small scale units which are distributed locally within the grid.

Storage Devices include all possible electrical, chemical, pressure, gravitational, flywheel, heat and cooling storage technologies.

Flexible controlled loads, such as pumping, washing, heating and cooling are particularly important for decreasing the inherently high variability of the non-flexible loads.

## **3. MICRO AND NANOGRID CONFIGURATION**

Most commonly the micro and nanogrids are formed by flexible and nonflexible loads, energy storage devices, network connections and local distributed generation such as photovoltaic (PV), wind, hydro, combined heat and power (CHP), fuel cell or other generators.

Currently the photovoltaic systems represents the most promising part of the distributed generation due to its wide applicability, admissible investment cost, predictive and safe energy production.

One of the most widely used nanogrid configurations is presented on Fig.1.

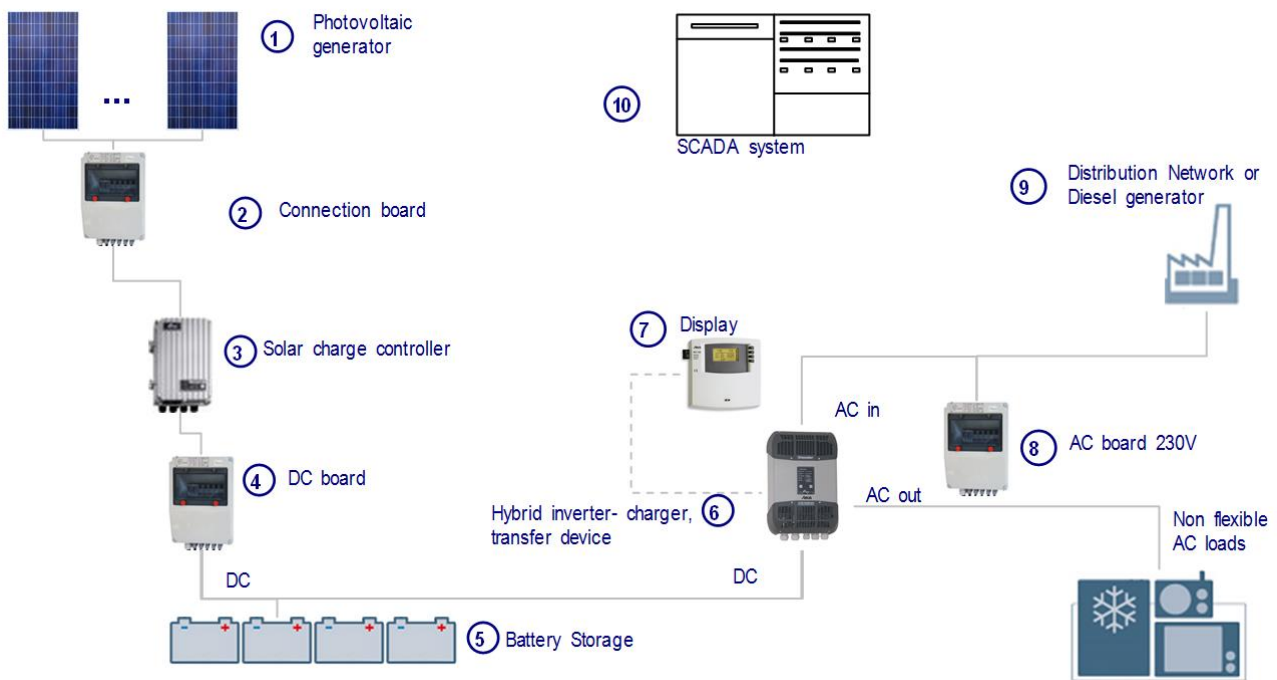


Fig. 1. Typical nanogrid configuration

It consists of the following system components [18]:

1. PV generator;
2. Connection board which forms PV arrays with appropriate voltage and power and hosts the necessary protection equipment;
3. Solar charge controller with MPP tracking. It converts the DC output of the photovoltaic generator in DC with appropriate parameters for charging the battery. The charge controller is typically equipped with external communication channel through which information about the charging process is shared with the other charge controllers and hybrid inverters in order to coordinate the charging process and to avoid damage of the battery.
4. DC board equipped with the necessary protections;
5. Battery storage block;
6. Hybrid inverter, charger and transfer switching device which operates as programmable energy manager with communication interface and ability to integrate information flows to a SCADA system;
7. Display for the key operating parameters of the system.
8. AC box equipped with the necessary protections.
9. Diesel generator or AC grid;
10. SCADA system

#### 4. COMMON PROBLEMS

One of the significant problems in front of the micro and nanogrid operation is that the energy generated by the distributed generation within the nanogrids is lost when the battery is full and load is not present.

The photovoltaic generators are most commonly dimensioned to cover the average daily non-flexible load consumption during the winter season. Thus a significant PV energy excess appears during the other seasons. Similar situation appears often also for the other microgrid generators.

Figure 2 depicts the theoretically available and the practically generated daily power production of an existing household nanogrid near Sofia, Bulgaria which is based on the configuration described above. It is evident that significant amount of the photovoltaic energy is lost due to limited battery storage and grid feeding restrictions.

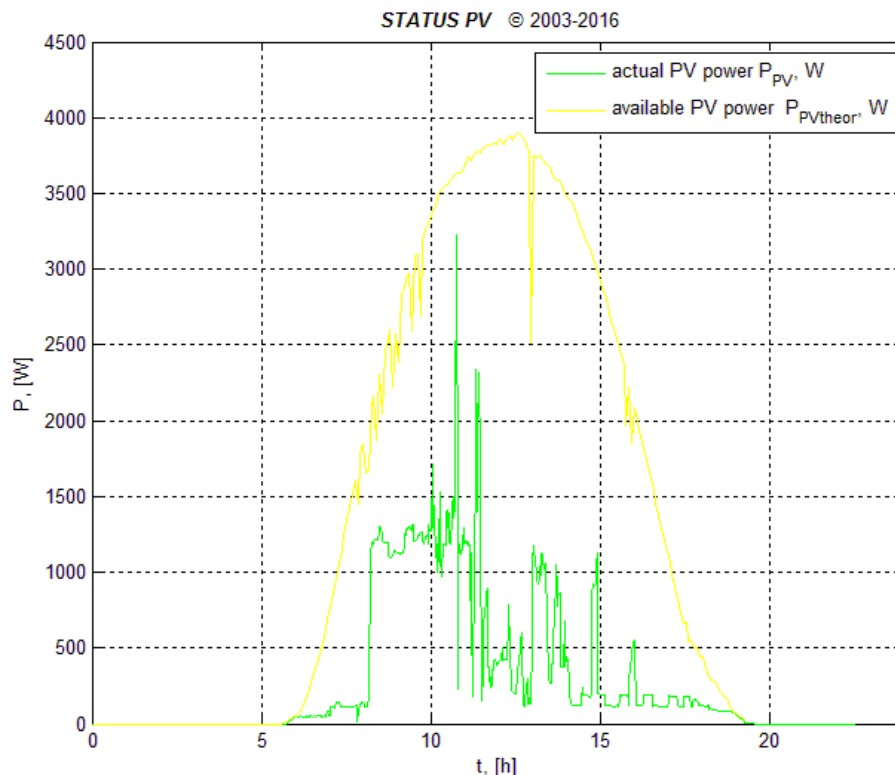


Fig. 2. Measured and theoretically available daily power yield [16]

One option to overcome this drawback is to feed the excessive energy into the grid if present [1, 3, 14] so that the other microgrid users could use this energy. However a majority of nanogrids operate in autonomous mode where grid feeding is not possible. Network congestions and reduced power transfer capability represent other significant barrier which limits the surplus power network injection.

Another option to use this energy is to install storage battery with larger capacity which is a straight forward solution but still expensive.

#### 5. SMART LOAD MANAGEMENT SOLUTION

The energy storage potential of the dispatchable loads is considered as a promising and cost effective opportunity.

An analysis of the presently available storage technologies is performed. The results witness that the accumulating heating storage devices represent the most economic and cost effective energy storage solution. Another economically efficient solution is the flexible partition of the EV battery storage. Both of these solutions are applicable for DC and AC systems.

As a solution of the problem described two types of smart electronic load controllers for dispatchable loads which enable significantly improved energy usage and efficiency of the generation are proposed and added to the configuration (Fig. 3).

The DC (11) and AC (12) smart load controllers use the energy storage capabilities of the flexible DC and / or compatible AC loads in the nanogrid:

- Heating appliances such as convectors, storage water heaters, infrared heaters, electric underfloor heating etc.;
- Electric charging devices such as electric vehicles, hybrid vehicles, e-bikes, etc.;

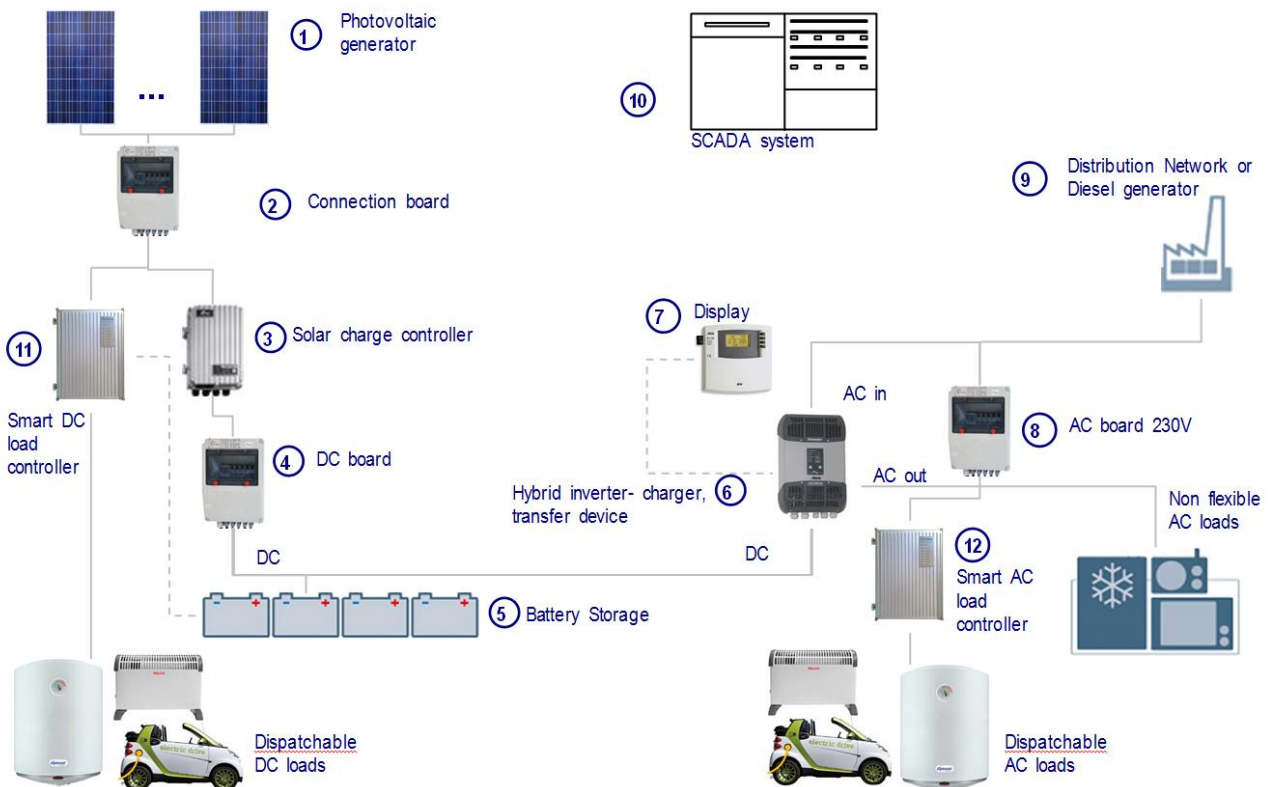


Fig. 3. Proposed nanogrid configuration

### **DC smart load controller**

When the power available from the photovoltaic modules cannot be absorbed by the battery and / or the inverter, the automatic controller directs the free power capacity to the devices connected thru the converter. Depending on the application the controller uses the Battery State of Charge or PV MPP deviation as primary leading control signals [18,19].

The DC smart load controller uses standard buck converter scheme which consists of solid state switch such as MOSFET or IGBT with gate driver circuit, reverse diodes, input capacitor, and PWM controller. A resistor-capacitor group is used to snub the fast overvoltage transients arising in case of inductance in the circuit.

Unlike the typical DC/DC converter applications the output filter is avoided since the pulsed DC output voltage allows easy and unproblematic connection of standard and inexpensive AC dispatchable loads without any special upgrades of the control and commutation apparatus.

A DC smart load controller is realized. More detailed description of the controller is given in [18] and [19].

### **AC smart load controller**

The operation principle of the AC smart load controller is the similar with the one of the DC controller. A rectifier or a bridge scheme is used to utilize the AC energy. A detailed description of the controller and its modifications is given in [17,18] and [19].

The use of the Battery State of Charge as primary leading control signal requires a separate information channel which is commonly not convenient. Thus a voltage and/ or frequency droop control is used to modulate the hybrid inverter (6) output voltage and/ or frequency according to the battery SOC.

This enables the use of the AC voltage and/ or frequency at the PCC as primary leading control. Detailed description of the control strategy is given in [22] and [24].

## **6. CONCLUSION**

A new smart load management solution is proposed. The solution provides new opportunities for better and more efficient use of the renewable energy sources in micro- and nanogrid systems.

The hardware solutions presented are simple, offer fast interaction and are based on well proven, reliable and inexpensive components. Thus it is cost efficient and widely applicable in distributed systems with distributed multiple load controllers.

The proposed solution is also widely applicable for other generation sources in micro and nanogrids.

## REFERENCES

- [1] Marnay C., S. Chatzivasileiadis, C. Abbey, R. Iravani, G. Joos, P. Lombardi, P. Mancarella, J. von Appen, et al. (2015), Microgrid Evolution Roadmap, International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies
- [2] Sobe, A., Wilfried Elmenreich (2012), "Smart Microgrids: Overview and Outlook", "Smart Grid" Workshop of the ITG INFORMATIK 2012 conference.
- [3] Considine, T., W. T. Cox, "Smart Loads and Smart Grids—Creating the Smart Grid Business Case", Infrastructure Analyst, University of North Carolina, 169 Durham-Eubanks Road, Pittsboro NC 27312
- [4] Hardesty, L. (2014), What's a Nanogrid?, Energy manager today, March 2014
- [5] Jingshuang Shen, Chuanwen Jiang and Bosong Li "Controllable Load Management Approaches in Smart Grids", Energies 2015, 8, 11187-11202; doi:10.3390/en81011187
- [6] Jingwei Hu, Tiejian Zhang, Shipeng Du and Yan Zhao (2015), "An Overview on Analysis and Control of Micro-grid System", International Journal of Control and Automation, Vol. 8, No. 6, pp. 65-76
- [7] Bolognani S., S. Zampieri (2012), "A distributed control strategy for reactive power compensation in smart microgrids"
- [8] R. H. Lasseter, Fellow (2011), "Smart Distribution: Coupled Microgrids", 1 Special Issue Proceedings of the IEEE, "The Smart Grid",
- [9] Anchev, S., S. Georgiev (1992), "Fundamentals of automation of power systems", Technika 1992. (in Bulgarian)
- [10] B. Kirby, J. Dyer, C. Martinez, Dr. Rahmat A. Shoureshi, R. Guttromson, J. Dagle (2002), Frequency Control Concerns In The North American Electric Power System, December 2002, ORNL Consortium for Electric Reliability Technology Solutions
- [11] Stanev R., "Voltage control strategies for distribution networks with distributed energy resources" Fifth Scientific Conference of EF 2013, 02.09.-05.09.2013, Proceedings of the Technical University of Sofia, Volume 63, Issue 6 (2013), pp. 263-271
- [12] Strasser T., Lehfuss F., Stanev R., Kotsampopoulos P., Tornelli C., et al, "Parameter Identification and Validation Procedure for DER Component Models - Part B: Procedures D3.3.2," DERRI, January 2013 F. Author, S. Author and T.
- [13] B. Crowhurst Small Scale Renewable Energy Control Systems, Nordic Folkecenter for Renewable Energy, 2007
- [14] Sercan Teleke Black & Veatch, "Nanogrids with Energy Storage for Future Electricity Grids ", IEEE, Power and Energy Society
- [15] Manzar Ahmed, Uzma Amin, Suhail Aftab Qureshi, Zaki Ahmed, "Implementation of nanogrids for future power system", Sci.Int.(Lahore),27(1),133-139,2014
- [16] [www.solar-dispatcher.com](http://www.solar-dispatcher.com)

- [17] Stanev R., “An electronic smart load controller for microgrids and autonomous power systems”, XII National conference with international participation “ELECTRONICA 2014”, May 15, 2014, Sofia, Bulgaria, ISSN 1313-3985
- [18] [www.riselektro.com](http://www.riselektro.com)
- [19] [www.sitalkes.com](http://www.sitalkes.com)
- [20] Stanev R., “An electronic smart load controller for microgrids and autonomous power systems” Fifth Scientific Conference of EF 2013, 02.09.-05.09.2013, Proceedings of the Technical University of Sofia, Volume 63, Issue 6 (2013), pp. 263-271
- [21] Stanev R., “A primary power control of small hydro power plants in autonomous, micro and minigrids”, XVIIIth International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA 2014, 29 – 31 May, 2014, Bourgas, Bulgaria
- [22] Stanev R., “A concept for smart power management of microgrids and autonomous electrical power systems”, Proceedings of TU- Sofia, Volume 64, Issue 4 (2014), pp. 237-242, ISSN 1311-0829)
- [23] Stanev R., M. Georgiev, A. Krusteva, “Interoperability Analysis of Electrical Networks with Electric Vehicle Charging Devices and Distributed Energy Resources”, International Journal of Distributed Energy Resources and Smart Grids, pp. 195-210, vol.11, № 3, 2015, ISSN1614-7138
- [24] Stanev, R., “A control strategy and operation paradigm for electrical power systems with electric vehicles and distributed energy resources”, XIXth International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA 2016, Bourgas, Bulgaria

**Autor:** Rad Stanev, associate professor PhD - Electrical Power Engineering Department, Technical University of Sofia, e-mail: [rstanev@tu-sofia.bg](mailto:rstanev@tu-sofia.bg)

## ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА КОМПЕНСИРАНЕ НА РЕАКТИВНИТЕ ТОВАРИ В ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ МРЕЖИ

Харалан Пенев, Николай Матанов, Снежана Димитрова

**Резюме:** В последните години започна процес на изграждане и развитие на интелигентните електроснабдителни системи в производствени предприятия и жилищни райони. Основните причини за развитието на тези мрежи са повишаване качеството и ефективността на електроснабдяване. В тази връзка един от начините за постигане на тези цели е овладяване на отклонението на напрежението и компенсирането на реактивните товари. Двата проблема са взаимно свързани. В този доклад са представени съвременните средства, които могат да се използват за регулиране на реактивните мощности в интелигентните електроснабдителни системи и какви са условията за тяхното успешно използване.

**Ключови думи:** интелигентни мрежи, източници на реактивна мощност, компенсиране на реактивните товари

## POSSIBILITIES FOR REACTIVE POWER COMPENSATION IN THE SMART MICRO GRIDS

Haralan Penev, Nikolay Matanov, Snezhana Dimitrova

**Abstract:** In the recent years, began the process of construction and development of the intelligent power supply systems (smart micro grid) in industrial sites and residential areas. The main reasons for the development of these networks are improving the quality and efficiency of electrical supply. In this regard one way to achieve these goals is mastering the voltage offset and compensation of reactive loads. Both problems are interrelated. This report presents modern tools that can be used to control reactive power in intelligent power supply systems and what are the conditions for their successful use.

**Keywords:** smart micro grid, reactive power compensation, sources of reactive power

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изискванията за повишаване на ефективността на използване на енергиите в света са постоянни със засилващ се интерес в една или друга посока през годините поради икономически, екологични или други проблеми. От тази гледна точка стои постоянно и въпросът за повишаване ефективността на използване на електрическата енергия. Този въпрос може да се разглежда като



част от проблемите свързани с качеството на електроснабдяване. Въпросът с качеството на електроснабдяване включва няколко основни направления:

- качествените показатели на електрическата енергия да са в нормативните граници;
- висока сигурност, надеждност и лесна експлоатация на електроснабдителната система;
- поддържане фактора на мощност в съответствие граници по отношение на тарифите за заплащане на електрическа енергия и за намаляване загубите на електрическа енергия;
- ефективно използване на електрическата енергия (намаляване на специфичния разход на електрическа енергия).

Тук трябва да се отбележи, че горните аспекти са взаимно свързани, взаимно си влияят и за това трябва да се търси комплексно решение. Такова решение може да е внедряването на интелигентните електроснабдителните системи (ИЕС).

Интелигентните електроснабдителните системи (Smart Micro Grid) на промишлените предприятия се явяват под система на бъдещата интелигентна мрежа и имат нейните предимства и особености. Основните особености са, че обхващат разпределението на електрическа енергия на средно и ниско напрежение. Те имат мощности от няколко до десетки MW, да притежават възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), системи за съхранение на енергия, системи за енергиен мениджмънт чрез интелигентни силови електронни устройства балансиращи производството, потреблението и съхранението на електрическа енергия [1, 3, 5, 6].

Има два важни момента за да се проектират и експлоатират интелигентни електроснабдителни системи:

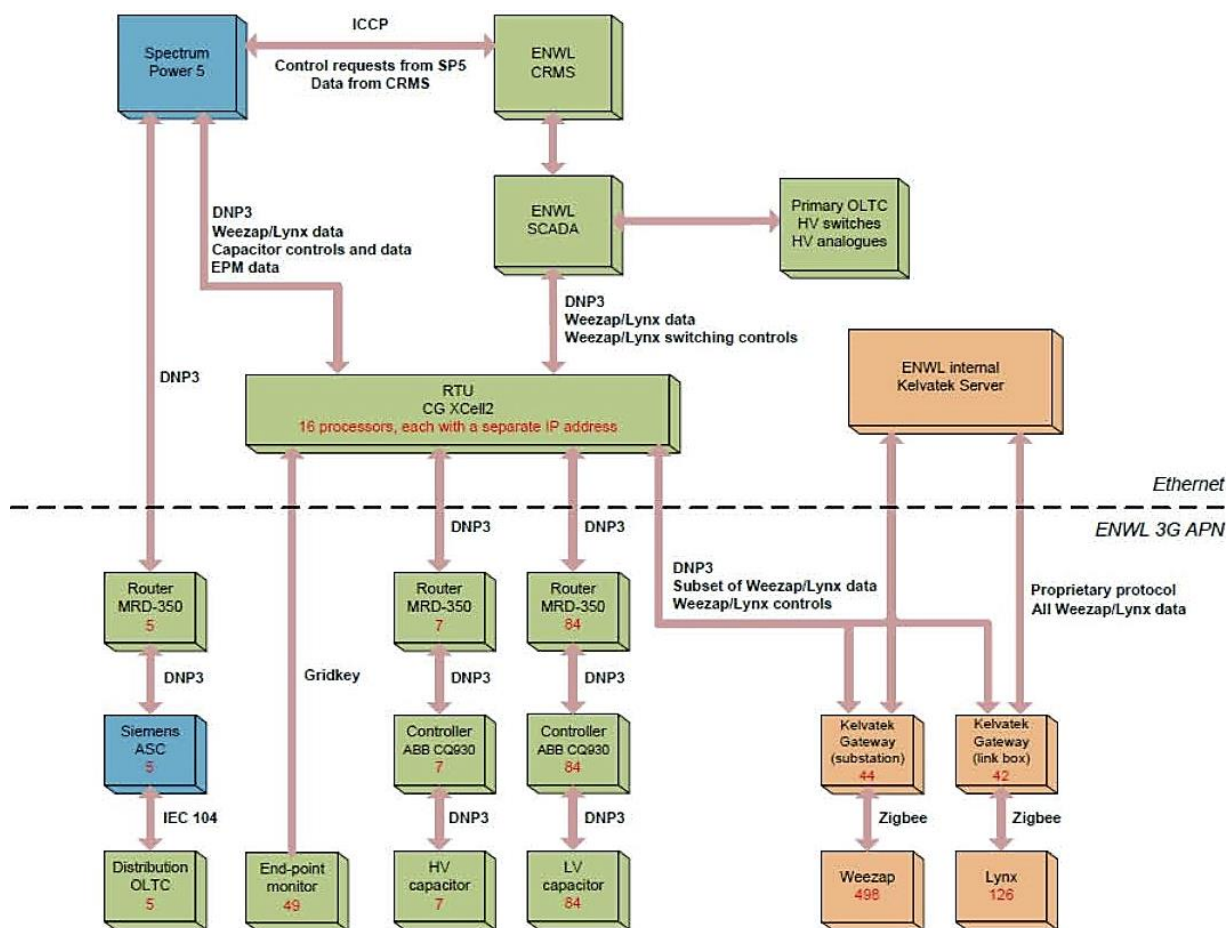
Първо - познаване и използване на новите технологии в силовата електроника, комуникациите, изчислителната техника и автоматика, както и възможностите на съвременните комутационни и защитни апарати, релейни защиты и друга апаратура която се използва в електроснабдителните системи.

Второ - създаване на методики и алгоритми за анализ и управление на факторите влияещи върху електроенергийната ефективност и качеството на електроснабдяване. Тук е нашата основна задача като учени и специалисти.

В този доклад са представени основните съвременни технологии свързани с компенсирането на реактивните товари и регулиране отклонението на напрежение в разпределителните системи. Това са: комплектни кондензаторни уредби (ККУ), мачтови кондензаторни уредби (МКУ), „умни“ трансформатори, активни силови филтри, статични източници на реактивна мощност. Всички тези технологии могат да се ползват в интелигентните електроснабдителни (разпределителни) мрежи.

## **2. ПРИМЕРНА ИНТЕЛИГЕНТНА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНА МРЕЖА**





Фиг.2. Блокова схема на свързаността на всички управляващи устройства с централизирания пункт за управление

### 3. КОНДЕНЗАТОРНИ БАТЕРИИ

В интелигентните енергийни мрежи кондензаторните уредби се използват предимно за регулиране на напрежението. Обикновено за регулиране на напрежението се използват т. нар. мачтови кондензаторни уредби (pole mount capacitor banks). Чрез специализирани регулатори (контролери) може да се реализира управление по cosφ и напрежение. Системите се състоят от метална рама върху която са монтирани кондензаторите, вакуумни превключватели и напреженов трансформатор. Напреженовият трансформатор служи за осигуряване на оперативно напрежение за превключвателите и регулаторът както и за измерване на самото напрежение. На фигури 3а и 3б са дадени мачтови кондензаторни уредби производство на Eaton и АВВ [2][10].

Тъй като при мачтовите уредби няма възможност за монтиране на реактори, те не са подходящи за мрежи с високи нива на хармоници, тъй като е възможно възникването на резонанс. В такива мрежи могат да се използват комплектни кондензаторни уредби или активни филтри. При мрежи където е необходимо бързо регулиране е необходимо използването на статични регулатори на реактивна мощност. При тях за превключване се използват полупроводникови

прибори и следователно не е необходимо въвеждането на времезакъснения при включване/изключване на кондензаторите.

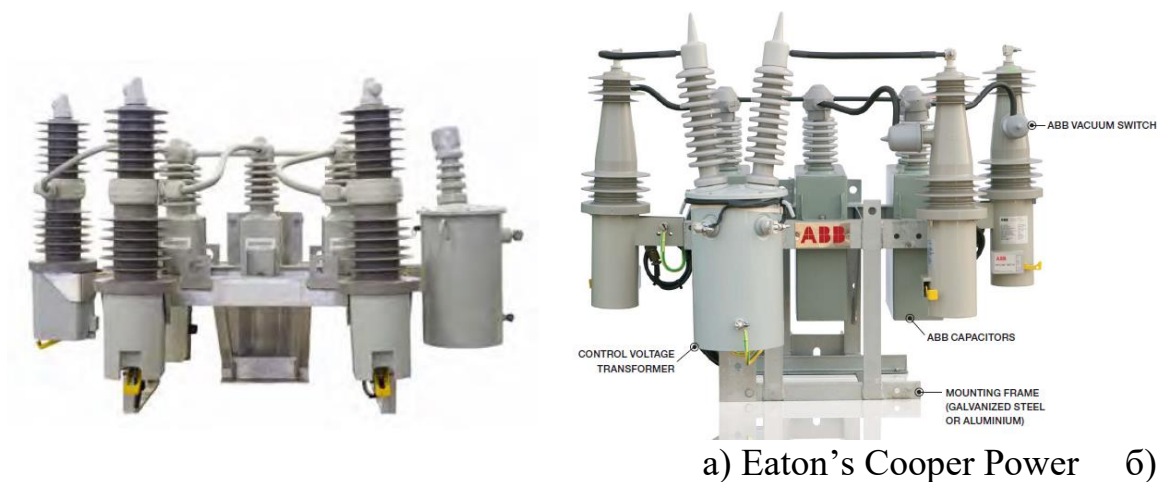


ABB Qpole

а) Eaton's Cooper Power б)

**Фиг.3.** Мачтови кондензаторни уредби

Специализираните регулатори от серията CQ на АББ са разработени за използване в умни мрежи с цел регулиране на напрежението. В контролерите е заложен алгоритъм на който може да се задават критерии за регулиране:

- Регулиране по напрежение;
- Регулиране по  $\cos\phi$ ;
- Регулиране по напрежение и  $\cos\phi$ ;
- Индивидуално регулиране по фази (само CQ930).

На фигури 4а и 4б са показани базовият и трифазният контролер от серията CQ [7, 8, 9].



а) ABB CQ900



б) ABB CQ930

**Фиг.4.** Регулатори на  $\cos\phi$  и напрежение за кондензаторни батерии

Основната разлика между тези регулатори и конвенционалните е, че тук освен алгоритъмът за поддържане на даден  $\cos\phi$  е наличен и алгоритъм за превключване спрямо стойността на напрежението.

#### 4. „УМНИ“ ТРАНСФОРМАТОРИ

Трансформаторите предназначени за използване в умни мрежи са съвкупност от система за автоматично регулиране на напрежението и контролер за регистриране на мрежовите параметри, потоци на енергия и отдалечен контрол. Автоматичното регулиране се осъществява на страна ниско напрежение, като за целта се използват контактори. На фиг. 5 е показан умен трансформатор на фирмата Сименс [4].



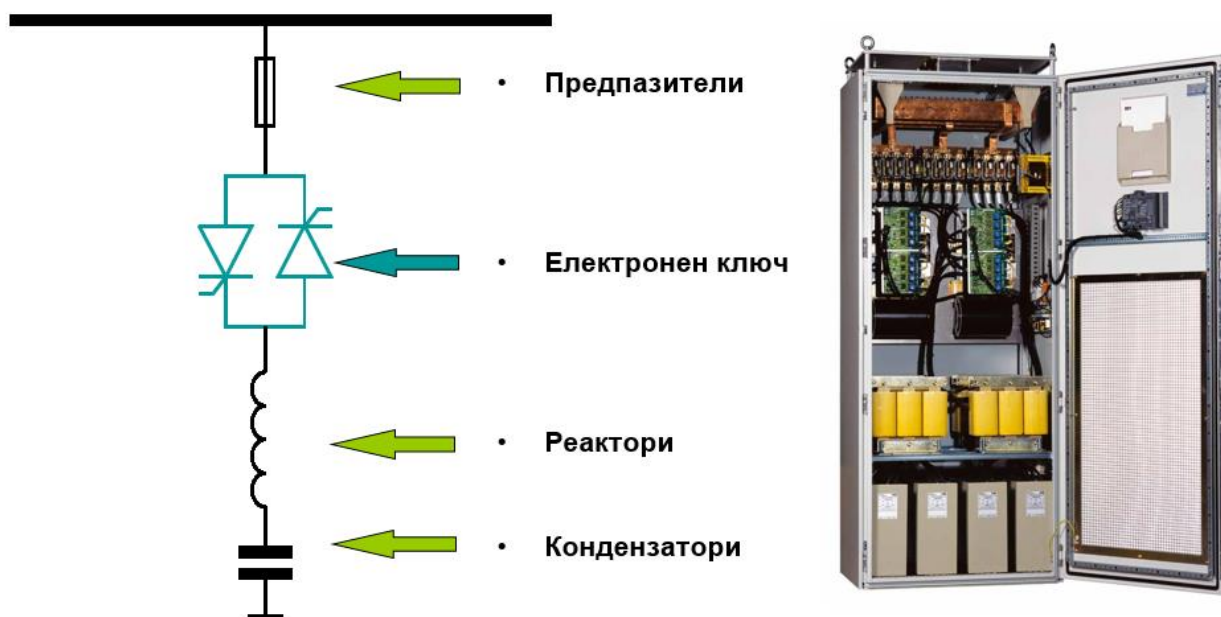
**Фиг.5.** Трансформатор с възможност на отдалечен контрол на напрежението

Характеристики:

- Мощност до 630 kVA, максимално работно напрежение: 36 kV;
- Трестепенно регулиране на напрежението на страна НН;
- Работните характеристики и размерите са съизмерими с тези на стандартните трансформатори;
- Примерно съотношение на напрежението: 21 kV/420 V;
- Пример за обхват на регулиране:
  - +/- 3.57% @ 400 kVA
  - +/- 4.34% @ 630 kVA
- Възможност за регулиране на напрежението на страна СрН:
  - +/- 2.5% и +/- 5% (възможно само в изключено състояние)

## 5. СТАТИЧНИ ИЗТОЧНИЦИ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ

Статичните източници на реактивна мощност са система състояща се от кондензатори и реактори, които се управляват от полупроводникови прибори - тиристорите. Тиристорите се отпушват в момента, в който капацитивният ток е равен на 0. По този начин при свързването на кондензаторите към мрежата не се наблюдава преходен процес. Статичните източници на реактивна мощност са устройства, които работят в мрежи НН но могат да се свържат и към мрежи СрН чрез използването на специализирани трансформатори На фигура 6 е да даден общият вид и принципна схема на статичен източник на реактивна мощност от серията Dynasomp на АББ [12].



Фиг.6. Схема на статичен източник на реактивна мощност

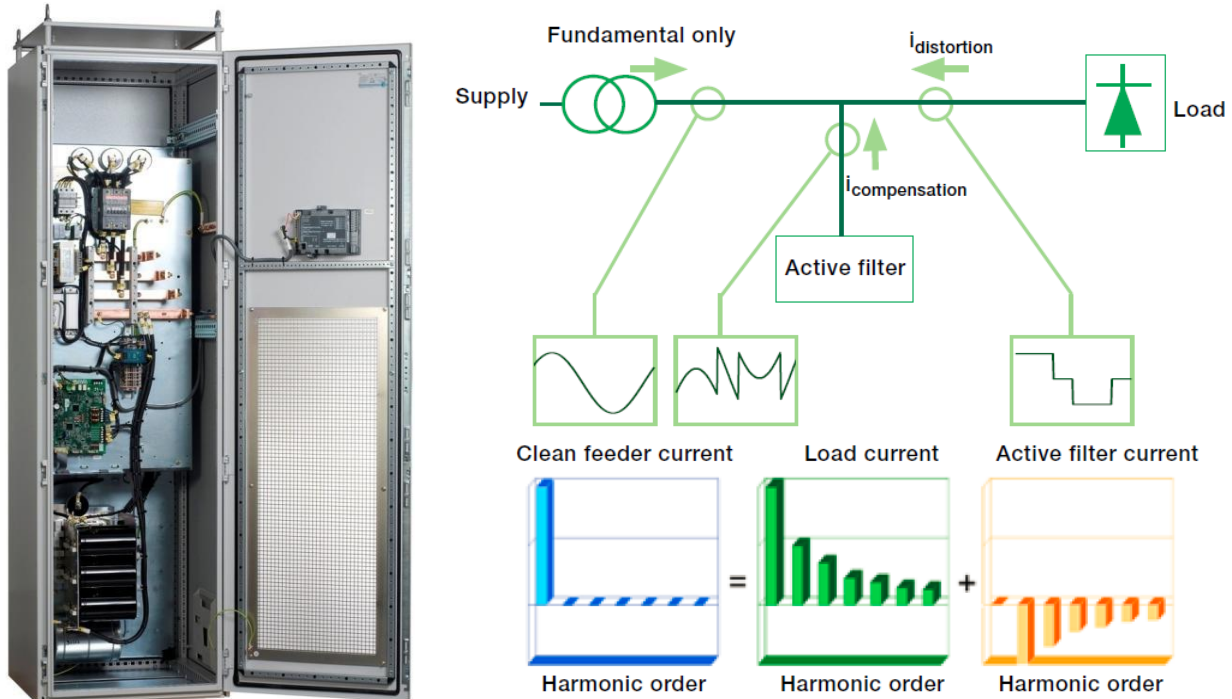
### Характеристики:

- Време на реакция:
  - По-малко от 1 период при отворена система;
  - Не повече от 3 периода при затворена система;
- Превключване без преходен процес (няма пусков ток)
- Абсорбиране на хармоници (изискват се реактори)
- Неограничен брой превключвания
- Моно или трифазни

## 6. АКТИВНИ СИЛОВИ ФИЛТРИ

Активните филтри могат да се използват в малки, средни и големи промишлени и жилищни мрежи. Те осигуряват ограничаване на хармониците, балансиране на товарите и плавно регулиране на капацитивните и индуктивните товари. Активните филтри могат да покрият диапазони от няколко десетки ампера до няколко стотин ампера. Това се постига чрез включването и работата в паралел

на различен брой устройства. Също както статичните източници на реактивна мощност, активните филтри са устройства, които работят в мрежи НН, но могат да се свържат и към мрежи СрН чрез използването на специализирани трансформатори. На фигура 7 е даден общият вид и блокова схема на активен филтър от серията PQF на АББ [11].



Фиг.7. Принцип на работа на активен филтър

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Навлизането на интелигентните електроснабдителни системи има много предимства, но проектирането, внедряване и експлоатацията изискват високо квалифицирани специалисти и то в различни области на науката и техниката (електротехника, комуникации, информационни технологии, математика и т.н.); Всяка конкретна интелигентна система ще изисква уникална система за централизирано управление, проектирана според структурата, режимите на работа, управляваните параметри и др. Съвременните информационни технологии позволяват всяка едана уникална система за управление да се проектира и изпробва във виртуални среди (да се симулира работата ѝ в модели на електроразпределителни мрежи), което скъсява пътя до внедряването в практиката.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wu Z., W. Wang, J. Xu, J. Shu, D. Wang. Research on Crucial Techniques of Smart Distribution Grid. 3rd International Conference on Electric and Electronics (EEIC), 2013. pp. 400-404.

- [2] Q pole - Pole Mounted Capacitor System. Published by ABB Australia Pty Ltd., 2010.
- [3] Dubey Y., T. Gajpal. Applications of Smart Grid through Harmonic Current & Reactive Power Compensation. International Journal for Modern Trends in Science and Technology (IJMTST), Volume: 2 | Issue: 05 | May IJMTST 2016. pp. 94-102.
- [4] Intelligent Transformer Substations for Future-Proof Power Distribution. Published by Siemens AG, 2013.
- [5] Hassan Y. B., N. Litayem. M. Azzam. Recent Trends in SCADA and Power Factor Compensation on low Voltage Power Systems for Advanced Smart Grid. International Journal of Recent Development in Engineering and Technology. Volume 3, Issue 1, July 2014. pp. 156-165.
- [6] Power Systems of The Future: The Case for Energy Storage, Distributed Generation, and Microgrids. IEEE Smartgrid, with Analysis by “Zpryme Research & Consulting”, November 2012.
- [7] Smart Street Equipment Specification and Installation Report. Published by Electricity North West Ltd., 2016.
- [8] CQ900 Controller Brochure. Published by ABB Australia Pty Ltd., 2012.
- [9] CQ900 Controller Installation and operation manual. Published by ABB Australia Pty Ltd., 2012.
- [10] Pole-mounted capacitor racks with single-phase capacitor units. Published by Eaton Corporation Plc., 2016.
- [11] ABB Power Quality Filters. Published by ABB n.v., 2010.
- [12] ABB DYNACOMP. Published by ABB n.v., 2014.

**Автори:** Николай Стефанов Матанов, д-р инж. - доцент в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (ЕСЕОЕТ), email: [nsm@tu-sofia.bg](mailto:nsm@tu-sofia.bg); инж. Харалан Пламенов Пенев, докторант в катедра ЕСЕОЕТ, email: [haralan.penev@bg.abb.com](mailto:haralan.penev@bg.abb.com); ас. инж. Снежана Асенова Димитрова, докторант в катедра ЕСЕОЕТ, email: [s.dimitrova@tu-sofia.bg](mailto:s.dimitrova@tu-sofia.bg).



## СЪВРЕМЕННИ ИЗОЛАЦИОННИ ПОКРИТИЯ ЗА ВЪЗДУШНИ ЕЛЕКТРОПРОВОДНИ ЛИНИИ

Иван Ханджиев, Петър Наков

**Резюме:** Систематизирани са методите за намаляване на инвестициите за изграждане на електропроводни линии високо и свръхвисоко напрежение и намаляване на технологичните им разходи. Чрез използване на покрития на проводниците за въздушни електропроводни линии е възможно да се намалят загубите от корона и утечки по изолационните конструкции, да се оптимизират разстоянията и габарита на електропроводната линия и да се защитят птици и животни от допир до проводник с високо напрежение.

**Ключови думи:** въздушни електропроводни линии, проводници с покритие

## AGING OF THE INSULATION OF ROTATING ELECTRICAL MACHINES FROM IMPACTS OF PARTIAL DISCHARGES

Ivan Handjiev, Petar Nakov

**Abstract:** In the paper are presented the methods to reduce investment to build power lines high and extra-high voltage and reduce their maintenance expenses. By using the covered conductors for overhead lines it is possible: to reduce the corona losses and leakage current on insulating structures; to optimize the distance and area under overhead line; and protect birds and animals from contact with high voltage conductor.

**Keywords:** overhead lines, covered conductors

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Техническите разходи за пренос по въздушните електропроводни линии зависят от:

- Разходи за свързани с топлинното действие на тока, които включват разходи от преобразуване на електрическата енергия в топлина от ток във фазовите проводници и циркулиращи токове в металната арматура, мълниезащитни въжета и стълбове;

- Разходи от корона;

- Разходи от ток на утечка по повърхността на изолационните вериги и присъединените апарати в подстанциите;

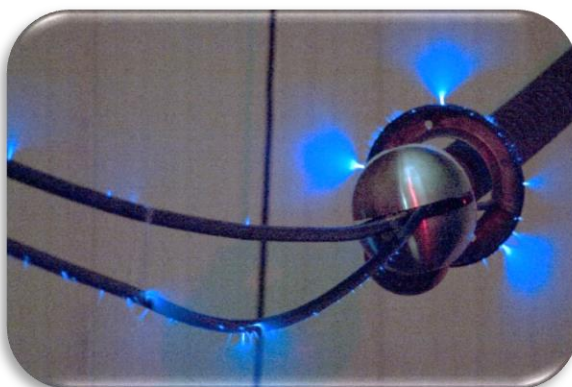
- Разходи в носещата и съединителната арматура.

Разходите свързани с топлинното действие на тока зависят конструкцията на електропровода и товара му.

Разходите от корона и ток на утечка по повърхността на изолационните вериги зависят от изолационната конструкция и конфигурация на фазовите проводници и климатичните условия и замърсяването на околната среда.

Определянето на големината и дела на разходите ще позволи да се определят възможните мерки за намаляването им и да се оцени икономически избрано техническо решение за конструкция на електропроводната линия и избор на изолационна система.

Короната е самостоятелен разряд, който се развива на повърхността и в близост до електроди с голям интензитет на електрическото поле.



*Фиг. 1 Корона около снопов проводник 400kV по време на изпитване в лаборатория Техника на високите напрежения ТУ София.*

Короната има светлинно, акустично и електромагнитно въздействие на околната среда. Енергията на светлинно излъчване, акустичен шум и електромагнитно излъчване се преобразува необратимо в неелектрическа енергия, която е прието да се нарича загуба на енергия от корона, а счетоводният израз е разход за пренос. Съотношението на разхода за пренос породен от корона към общите разходи за пренос се пренебрегва, но от последните изследвания се счита, че е съизмерим с разходите от топлинните загуби на проводника от протичащия ток.

Ефектът корона може да бъде избегнат чрез намаляване на интензитета на електрическото поле на повърхността на проводника. Използват се снопови проводници. Вземат се мерки за отстраняване на острите ръбове и краища на проводниците и арматурата.

Във време с мъгли и валежи на повърхността на проводника се образуват капки вода, които локално в мястото намаляват напрежението на корониране, а короната става интензивна. Прилагат се хидрофилни покрития върху проводника за намаляване на възможността за образуване на капки на повърхността.

Възможно е короната да бъде избегната чрез изолационно покритие на проводника. В тези случаи не се намалява преносната способност на електропроводната линия.

Други методи за намаляването на короната и вторичните ѝ действия са: увеличаване на разстоянието между фазовите проводници – води до инвестиция за по-тежки стълбове и сервитутна зона; използването на електрически екрани; увеличаване на диаметъра на фазовия проводник (използването на кухи проводници). Прилагането на класическия подход създава опасност за птици и има сравнително голям брой на отказите на въздушни електропроводни линии.

Целта на покритията на фазовите проводници на въздушните електропроводни линии е: Да се минимизира цената на ВЕЛ; Да се намали до минимум технологичните разходи за корона; Да се намалат сервитутните зони и цената на стълба; Да редуцира количеството отлаган лед по повърхността на проводника; Да се намали въздействието върху околната среда; Да се редуцира броя на отказите.

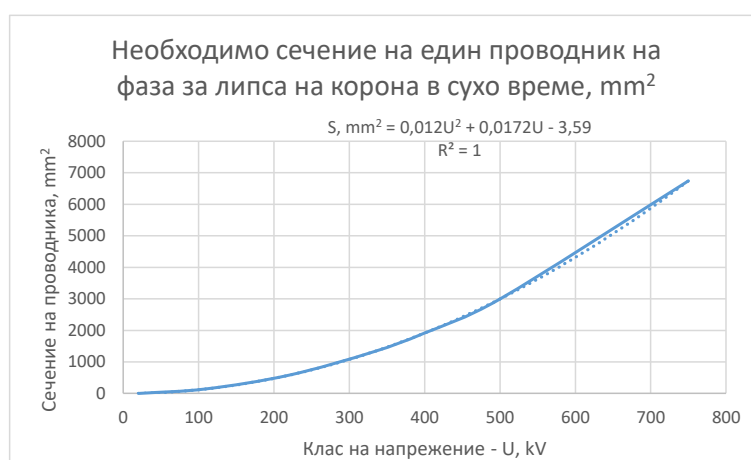
## 2. СЪЩЕСТВУВАЩИ РЕШЕНИЯ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА КОНФИГУРАЦИЯТА НА ВЪЗДУШНИ ЕЛЕКТРОПРОВОДНИ ЛИНИИ

### 2.1 Снопови проводници

За единичен проводник на фаза необходимия диаметър на проводника за да няма корона в сухо време, изчислено със запас 20% е като следва [1]

Таблица 1. Необходим диаметър и сечение на проводник за липса на корона в сухо време

Клас на напрежение U, kV	Сечение на проводника S, mm <sup>2</sup>	Диаметър на проводник D, cm
110	145	1,5
220	580	2,9
400	1920	5,4



За снопови проводници интензитетът на полето по повърхността на проводника се приема

$$E_m = \frac{U}{r_e \ln\left(\frac{2h}{r_e}\right)} \left[ 1 + (n-1) \frac{r_0}{R} \right], \quad (1)$$

$$r_e = \sqrt[n]{nr_0 R^{(n-1)}}$$

където  $r_e$  е еквивалентният радиус на снопа;

$n$  – броят на проводниците в снопа;

$E_m$  – максималният интензитет на електрическото поле;

$h$  – височината на проводника над земната повърхност;

$U$  – приложеното напрежение;

$R$  – радиусът на снопа.

Максималният интензитет на електрическото поле на повърхността на проводника при номинално напрежение на електропровода трябва да е по-малък от допустимия

$$E_m \leq E_{дон},$$

където  $E_{дон} = kE_n$  е допустим интензитет на повърхността на проводника;

$E_n$  – начален интензитет на възникване на корона;

$k$  – коефициент, който отчита отклоненията на напрежението и относителната плътност на въздуха.

## 2.2 Кухи проводници и гладки проводници

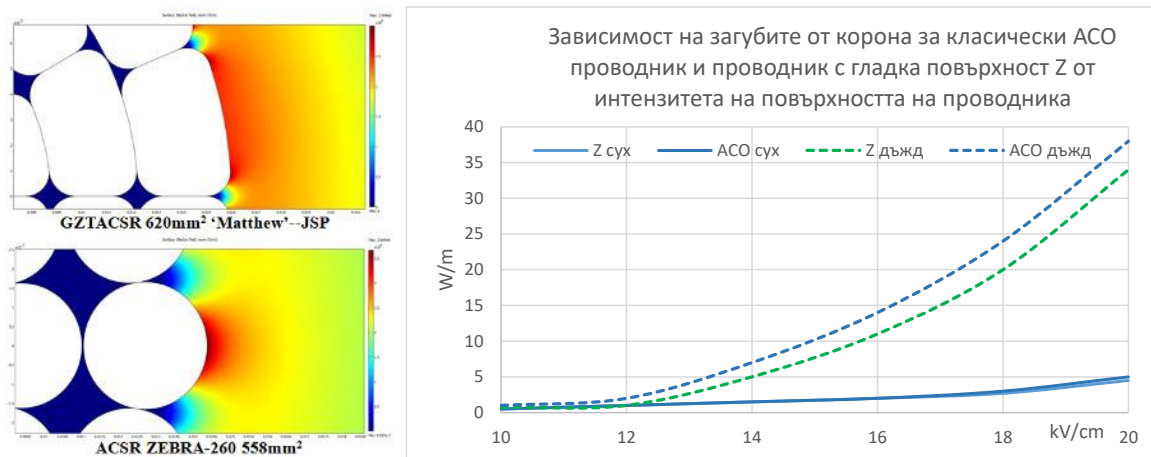
Фиг. 2. Един вид кух проводник и сравнение на параметрите с пълен проводник

Гладките проводници се използват да намалят не еднородната структура на повърхността на

проводника. Те имат същата роля за повишаване на началния интензитет на корониране както и кухите проводници.

Загубите от корона при 50Hz за проводник с гладка повърхност са по-малки по време на дъжд с 10-20% [2, 3]. Акустичните и радио смущения не се променят значително, защото източникът на шум и радио смущения са водните капчици по повърхността на проводника.





Фиг. 3. Зависимост на активната мощност на корона от интензитета на повърхността на два вида проводници

### 2.3. Нанасяне на тънки покрития за хидрофобност

Фиг. 4. Пример за повишаване на диаметъра на проводника чрез използване на леки не проводими пълнители и нанесено хидрофилно или хидрофобно покритие в зависимост от района и интензивността на валежите



Вида на покритието се определя по технико-икономически съображения, които се определят от преобладаващите неблагоприятни атмосферни условия.

### 2.4. Полимерни покрития за проводници и арматура

Полагането на полимерни покрития технологично се извършва в завода производител [2]. Възможно е да се екструдират в експлоатационни условия, но изисква специална техника [4]. Дебелината на изолационните покрития зависи от класа на напрежение и предназначението му. За електропроводни линии 400 kV е приемливо да се полагат покрития от полимерен материал с UV защита с дебелина 2 – 6 mm.

Препоръчително е UV защитата да се комбинира с материали придаващи на повърхността хидрофилност или хидрофобност. Хидрофилни свойства на повърхността се използват за намаляване на загубите от корона и акустичната емисия от електропроводите. Хидрофобните свойства на повърхността намаляват дебелината на леденото покритие и механичните усилия на проводника и стълба.

При необходимост за защита на птици се използват покрития с дебелина до 8 mm за електропроводни линии 400 kV. Краткотрайната електрическа якост на изолационното покритие е по-голяма от номиналното фазно напрежение, което предизвиква разряди при допир на птици и позволява да се намалят разстоянията между фазовите проводници без да изменя електрическата якост. Намалените разстояния намаляват сервитута и тежината на стълба на ВЕЛ.

Възможно е да се полагат покрития върху проводник в експлоатационни условия по технология на закопчаване около проводника на предварително изработена изолационна закопчаваша се тръба от силиконов каучук.



Фиг. 5. Общ вид и начин на монтаж на закопчаваша се тръба от силиконов каучук

За електропроводни линии 400 kV е препоръчително да се използват подобни покрития и за арматурата, като се полага залепващ слой между проводника и изолационната тръба за отстраняване на въздуха.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Няма универсално решение за оптимизиране на конструкцията на короната на стълба чрез използване на покрития върху фазовите проводници, но е възможно:

- Практически да се отстранят загубите от корона;
  - Да се намали площта на сервитутната зона – 5-15%;
  - Да се редуцира количеството лед на повърхността;
  - Да се намалява екологична опасност за птици и животни;
3. Полагането на покрития на съществуващи въздушни електропроводни линии ще намали броя на отказите от 2 до 5 пъти.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петър Наков, Валентин Колев, Ива Драганова, Виктор Райчев, ТЕХНОЛОГИЧНИ РАЗХОДИ ОТ КОРОНА, ЕФ 2016
- [2] Energy and Power Engineering, 2013, 5, 148-150 doi:10.4236/epe.2013.54B028, Published Online July 2013
- [3] (<http://www.scirp.org/journal/epe>) Research on the Anti-corona Coating of the Power Transmission Line Conductor, Ziqiang Xu, Ren Li Hebei Provincial Key laboratory of Power Equipment Security Defense, North China Electric Power University, Baoding, China Email: bao1986dan@163.com , Received April, 2013

[4] U. STRAUMANN and H.J. WEBER, Potential reduction of audible noise from new and aged overhead transmission line conductors by increasing their hydrophilicity, B2-113 CIGRE 2010

**Автори:** Иван Ханджиев, маг. инж. Управител, „Ханджиев“ ООД;  
Петър Наков, доц. д-р инж. ТУ София, *email:* [pnaikov@tu-sofia.bg](mailto:pnaikov@tu-sofia.bg)

## ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ФРОНТА НА ИМПУЛСНАТА ВЪЛНА И НА СПЕЦИФИЧНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ПОЧВАТА ВЪРХУ ГОЛЕМИНАТА НА МАКСИМАЛНОТО ДОПИРНО НАПРЕЖЕНИЕ В ЗАЗЕМИТЕЛНА МРЕЖА НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

Росица Димитрова

**Резюме:** При попадение на мълния в електроенергиен обект токът на мълния протича през заземителната инсталация на обекта. Развиват се вълнови процеси, което налага изследването им, за да се определи максималното допирно напрежение при такива въздействия. Целта на доклада е да се изследва влиянието на фронта на импулсната вълна и на специфичното съпротивление на почвата върху големината на максималното допирно напрежение в крайна ъглова клетка на заземителна мрежа, чрез моделно компютърно изследване.

**Ключови думи:** заземителна инсталация, максимално допирно напрежение, мълния, импулсни процеси, симулационен модел.

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE IMPULSE WAVE FRONT AND THE SOIL SPECIFIC RESISTANCE ON THE MAGNITUDE OF THE MAXIMUM TOUCH VOLTAGE IN THE GROUNDING GRID OF ELECTRICITY OBJECTS

Rosica Dimitrova

**Abstract:** Lightning stroke on an electricity object causes lightning current to flow through the grounding grid. Wave processes develop which requires their study to determine the maximum touch voltage under such effects. The aim of the paper is to be examined the influence of the impulse wave front and the soil specific resistance over the magnitude of the maximum touch voltage in corner mesh of the grounding grid by using model computer simulation.

**Keywords:** grounding installation, maximum touch voltage, lightning, impulse processes, simulation model

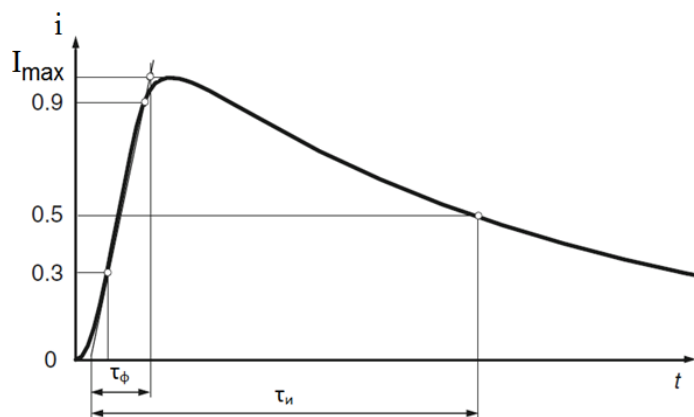
### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изграждането на заземителни инсталации в електроенергийните обекти е задължително с цел осигуряване на нормална работа на съоръженията и безопасна работа на персонала на територията на електроенергийните обекти. За практиката представлява интерес определянето на потенциалите в областта на заземителните инсталации и възможните допирни и крачни напрежения.



Заземителната инсталация се използва и като елемент от мълниезащитата на електроенергийните обекти. В случаите на преки удари на мълнии през заземителните инсталации протичат импулсни токове, които определят различен подход при моделиране и изследване на процесите в нея.

Продължителността на фронта на импулсната вълна  $\tau_u$  се определя по построенията показани на фиг. 1, [3, 5].



Фиг. 1. Определяне параметрите на стандартен мълниев импулс.

Във фронта на вълната се определят точки с координати  $0,3I_{max}$  и  $0,9I_{max}$ . През тях се построява права линия. Пресечните точки на тази права с абсцисата и с хоризонталната права, отговаряща на  $I_{max}$ , определят продължителността на фронта  $\tau_\phi$ .

Целта на доклада е да се изследва влиянието на фронта на импулсния ток на мълнията и на специфичното съпротивление на почвата върху големината на максималното допирно напрежение в крайна ъглова клетка на заземителна мрежа чрез моделно компютърно изследване.

## 2. ИЗРАЗИ, ОПИСВАЩИ ФОРМАТА НА ТОКА НА МЪЛНИЯ [3].

$$i_m(t) = I_m \cdot \left( e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \quad (1)$$

където

$$T_1 = \frac{\tau_u}{0,7}$$

$$T_2 = \frac{\tau_\phi}{2,73}$$

$\tau_\phi$  – продължителност на фронта на импулсната вълна, s;

$\tau_u$  – продължителност на импулсната вълна, s.

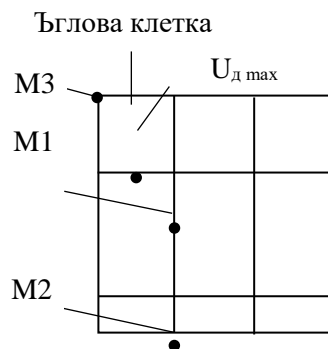
$I_m$ , – амплитудна стойност.

## 3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯТА

На базата на разработения симулационен модел за изследване на вълнови процеси в почвата при протичане на импулсен ток на мълния [1], и методиката за изчисляване на максимално допирно напрежение [2] е направено изследване за импулсни вълни със следната форма:

- ✓  $\tau_{\phi}/\tau_{и} = 1/10 \mu\text{s}$ ;
- ✓  $\tau_{\phi}/\tau_{и} = 8/20 \mu\text{s}$ ;
- ✓  $\tau_{\phi}/\tau_{и} = 30/60 \mu\text{s}$

Изследването е направено с тези форми на импулсната вълна, тъй като в каталозите на фирмите производителки на метал-оксидни вентилни отводи се дават защитни характеристики за тези форми на тока на мълния.



Фиг.2. Изследвана заземителна мрежа [4] с точките на директно попадения на мълния

Мрежата има размери  $30 \times 30 \text{ m}$ ; специфичното съпротивление на почвата -  $\rho = 100$  и  $500 \Omega\text{m}$ ; площ на ъгловата клетка -  $S_{\kappa} = 100 \text{ m}^2$ ; диаметър на заземителни проводник -  $d=0,02 \text{ m}$ ; дълбочина на полагане на мрежата -  $t = 0,5 \text{ m}$ ; периметър на ъгловата клетка -  $l = 40 \text{ m}$ ; диаметър на еквивалентен пръстен, с който се замества крайната ъглова клетка,  $D_{\text{екв.}} = 11,28 \text{ m}$  (ур.2),  $R_{\text{екв.}} = 5,64 \text{ m}$ . Средния ток през ъгловата клетка на модела -  $I_3$ ,  $A$  и потенциала -  $\phi_3, V$  се определят съгласно симулационния модел за изследване на импулсни процеси в почвата [1], фиг. 2.

$$D_{\text{екв.}} = \sqrt{\frac{4S_{\kappa}}{\pi}} \quad (2)$$

Директното попадение на мълния в първия случай е в т. М1, във втория – в т.М2, а в третия – в т.М3, фиг. 2.

Определянето на максималното допирно напрежение  $U_{d,max}$  в зоната крайна ъглова клетка на заземителната мрежа съгласно [2, 6] е изчислено по следната формула:

$$U_{\text{дmax}} = \varphi_3 \left( 1 - k_i \cdot \frac{l}{R_{\text{екв}} \cdot \ln \frac{4l^2}{\pi dt}} \right) \quad (3)$$

където:

$$k_i = \frac{R_{t \neq 0}}{R_{t=0}} \quad (4)$$

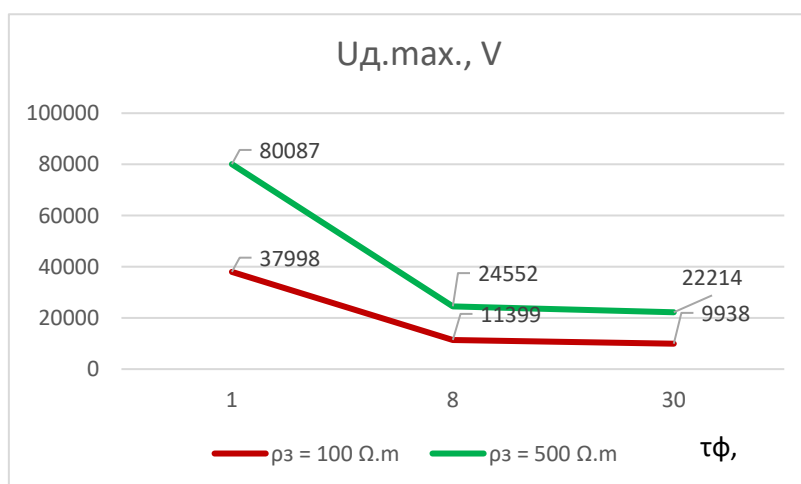
$$R_{t=0} = \frac{\rho_3}{\pi l} \ln \frac{8l}{d\pi} \quad (5)$$

$$R_{t \neq 0} = \frac{\rho_3}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{\pi dt} \quad (6)$$

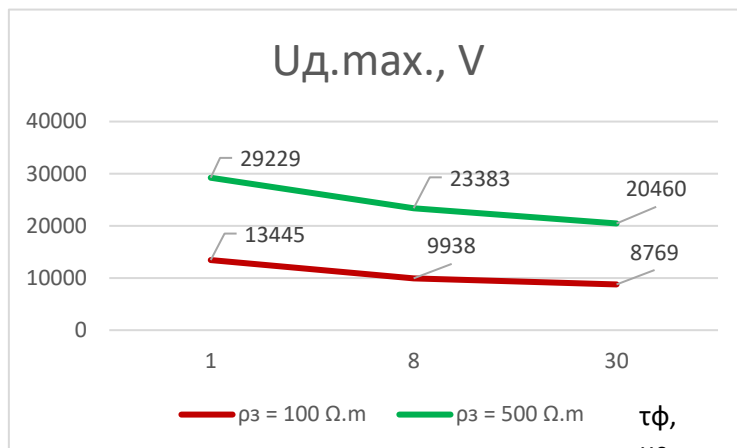
Тъй като определените стойности са за случая, когато заместената с пръстеновиден заземител, крайна клетка е на повърхността, то за да се отчете, че реалният потенциал на повърхността на земята е по-нисък, се определя съотношението между заземителното съпротивление на пръстен на повърхността  $R_{t=0}$  към това при полагане на дълбочина  $R_{t \neq 0}$  [6].

Табл. 1. Изменение на максималното допирно напрежение  $U_{\text{дmax}}$  в зависимост от формата на тока на мълнията и специфичното съпротивление на почвата.

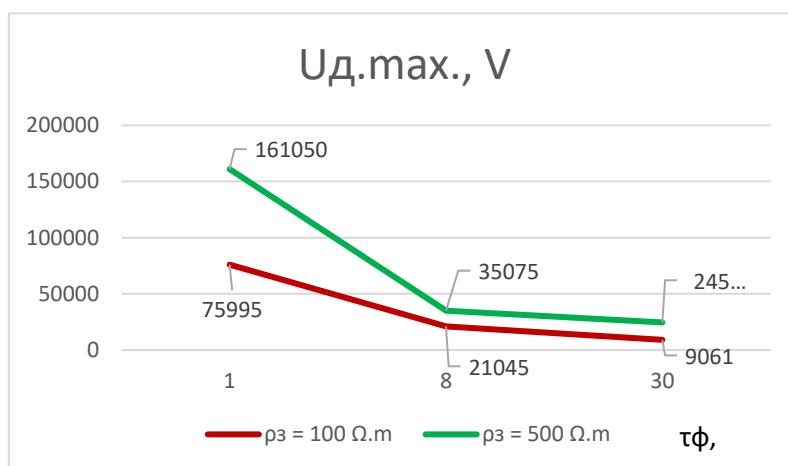
	$U_{\text{дmax}}, V$					
	$\tau_{\phi} = 1\mu s; \tau_u = 10\mu s$		$\tau_{\phi} = 8\mu s; \tau_u = 20\mu s$		$\tau_{\phi} = 30\mu s; \tau_u = 60\mu s$	
	$\rho_3 = 100 \Omega.m$	$\rho_3 = 500 \Omega.m$	$\rho_3 = 100 \Omega.m$	$\rho_3 = 500 \Omega.m$	$\rho_3 = 100 \Omega.m$	$\rho_3 = 500 \Omega.m$
M1	37998	80087	11399	24552	9938	22214
M2	13445	29229	9938	23383	8769	20460
M3	75995	161050	21045	35075	9061	24552



Фиг.3. Изменение на максималното допирно напрежение  $U_{d.max.}$  в зависимост от продължителността на фронта на импулсната вълна и специфичното съпротивление на почвата при попадение на мълнията в т. М1, фиг. 2.



Фиг.3. Изменение на максималното допирно напрежение  $U_{d.max.}$  в зависимост от продължителността на фронта на импулсната вълна и специфичното съпротивление на почвата при попадение на мълнията в т. М2, фиг. 2.



Фиг.3. Изменение на максималното допирно напрежение  $U_{d.max.}$  в зависимост от продължителността на фронта на импулсната вълна и специфичното съпротивление на почвата при попадение на мълнията в т. М3, фиг. 2.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стойността на максималното допирно напрежение зависи от:

- стръмността на импулсната вълна: колкото е по-стръмна, толкова стойността на  $U_{d.max.}$  е по-голяма;
- специфичното обемно съпротивление на почвата, и най-вече от стойността на  $\rho$  в областта около прякото попадение на мълнията;
- мястото на директно попадение на мълнията. Най-голяма стойност за  $U_{d.max.}$  се получава при попадане на мълнията в т. М3 – фиг.2.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vasileva M., Dimitrova R., Yordanova M., Ivanova M. (2015), *Model scheme of the earthing system of electrical power substations for wave processes study*, ELMA 2015 г. 1-3 Октомври 2015, ТУ – Варна, България, ISSN: 1313-4965, стр. 114-117
- [2] Yordanova M., Vasileva M., Dimitrova R., Ivanova M. (2016), *A Methodology for Determining the Maximum Touch Voltage in the Grounding Grids Considering the Impulse Resistance*, SIELA 2016, 29 Май – 1 Юни 2016, гр. Бургас, България.
- [3] Василева Маргрета (2004), *Техника на високите напрежения*, записки, ТУ – Варна.
- [4] J. Nahman and I. Paunovic, *Mesh voltages at earthing grids buried in multi-layer soil*, Electric Power Systems Research, 2010, vol. 80 pp. 556– 561.
- [5] Schon, Klaus, *High Impulse Voltage and Current Measurement Techniques Fundamentals – Measuring Instruments – Measuring Methods, Impulse Voltages and Currents*, 2013, Springerlink International Publishing, ISBN:978-3-319-00378-8
- [6] Долин П., *Основы техники безопасности в электро-установках*, Энергоатомиздат, Москва, 1984.

**Автори:** Росица Димитрова, асистент – катедра „Електроенергетика”  
Технически университет-Варна, email: [r.dimitrova@tu-varna.bg](mailto:r.dimitrova@tu-varna.bg)

## ПОДОБРЯВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА СВЕТЛИНАТА В ОФИСИ, ЧРЕЗ ВНЕДРЯВАНЕ СИСТЕМА ЗА ДИНАМИЧНО УПРАВЛЕНИЕ НА ИЗКУСТВЕНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ

Владимир Шаламанов

**Резюме:** : Проектиране , реализиране и изследване на вътрешна осветителна уредба за офис помещение, включваща подмяна на съществуващо осветление с ново и внедряване на система за динамичното му управление в реално време, чрез използването на датчици за следене светлината на работните места и присъствието на хора там.

**Ключови думи:** Енергоефективно осветление, димируемо осветление, системи за динамично осветление, датчици за светлина, датчици за присъствие, офис осветление, осветление на обществени помещения.

## IMPROVING THE QUALITY OF LIGHT IN OFFICE BY IMPLEMENTING SYSTEM FOR DYNAMIC MANAGEMENT OF ARTIFICIAL LIGHTING

Vladimir S

**Abstract:** Design, implementation and testing of internal lighting system for office space, including the replacement of existing lighting with new ones and implementation of a system for its dynamic management in real time, using lighting sensors to monitor the real light of the working places and the presence detectors to monitor the presence of people there.

**Keywords:** Energy-efficient lighting, dimmable lighting systems, dynamic lighting, light sensors, presence sensors, office lighting, lighting in public spaces.

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ.

През работния ден голяма част от хората извършват своята работна дейност в различни офисни помещения в бизнес сгради, заводи, обществени учреждения и други, разположени в различни части на градската среда. Достъпът на естествена светлина до работните места е в голяма зависимост от разположението на сградите една спрямо друга.

Дневната светлина която достига до работните места в офисите е неравнономерна през целия работен ден. Това се дължи също и на разположението на сградите и работните офиси спрямо четирите географски посоки (Изток, Запад, Север и Юг), така и на годишните сезони (Пролет, Лято,

Есен, Зима) и ежедневно състояние на времето(слънце, облаци, дъжд, сняг и т.н.).



Липсата на достатъчна дневна светлина за постигане на необходимата нормена осветеност на работното място се компенсира с изкуствено осветление. Това се прави с цел създаване на комфортна околна среда на работното място, като по този начин се стимулира работоспособността и се подпомага подобряването на психологическото и физиологическото състояние на работещия.

Поради тази причина изграждането на високо технологични осветителни уредби за доставка на изкуствено осветление в работните помежания в обществените сгради става все по-наложително.

Недостатъчното дневно или изкуствено осветление на работните места се отразява неблагоприятно върху човешкия организъм. Качеството на светлината и нейната функционалност са от съществено значение за физическото състояние на хората и тяхната работоспособност.

За подобряване на светлинната среда на работните места се използват различни методи и решения. В последните години се залага все повече на комбинацията от качествени осветителни тела в комбинация с различни видове системи за управлението им. Това от своя страна води и до значително подобряване на енергийната ефективност на сградите.

При замяната на стари осветителни уредби с нови, ефекта от икономия на електрическа енергия и разходи за поддръжка може да достигне до над 75%.

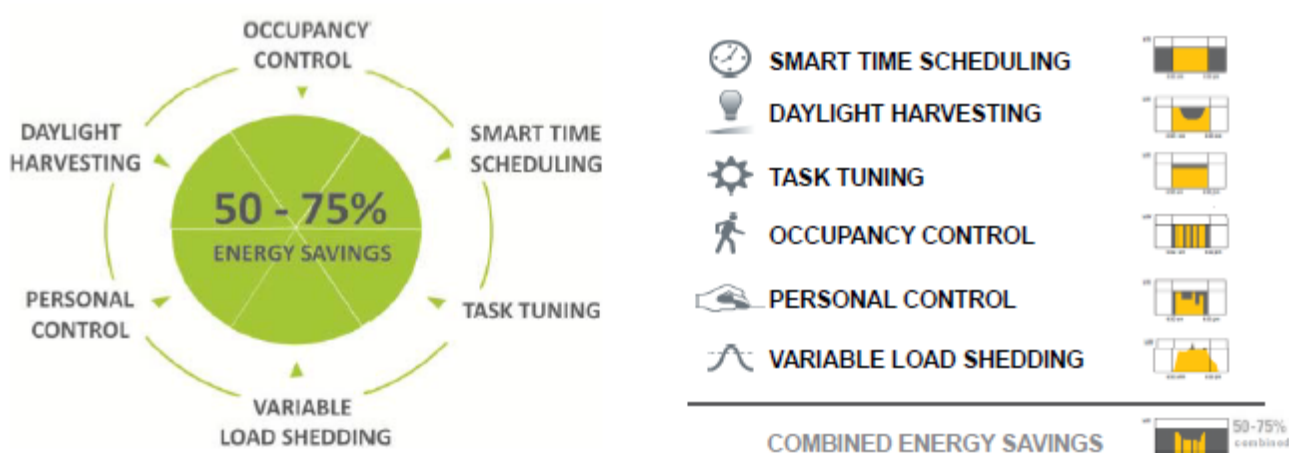
Всичко това зависи от вида на системата за управление, нейните възможности за управление и димиране на осветителните тела, интегрираните датчици за следене на присъствие, движение и дневна осветеност на работните места и цялата сграда, възможностите на софтуера за управление на системата, както и реализацията на програмното управление.

Като най-общо системите използвани за управление на осветителни уредби се разделят на :

- Локални без обратна информационна връзка – използвани за управление на осветлението на едно помещение, без наличие на обратна връзка за състоянието на осветителните тела.

- Сградни без обратна информационна връзка – използвани за управление на осветлението на етажи от сгради или цели сгради, без наличие на обратна връзка за състоянието на осветителната уредба.
- Сградни с обратна информационна връзка в реално време - използвани за управление на осветлението на етажи от сгради или цели сгради, при които наличието на обратна връзка за състоянието на осветителната уредба ни позволява да управляваме осветителната уредба динамично и в реално време.

Практиката показва, че най-голяма функционалност и енергоефективност се реализира, чрез използване на сградни системи с обратна информационна връзка в реално време.



Фиг.1 -Принципна графика на енерго-спестяване в %.

### ***Принципни методи за енергоспестяване:***

- smart time shedding(умен времеви график) – чрез него се задава работно време на осветителната уредба за отделните помещения за часовете на целия работен ден, за всеки ден от седмицата.

- daylight harvesting(усвояване на дневната светлина) – чрез него се използва максимално голяма част от дневната светлина, като системата за изкуствено осветление добавя само липсващата част, която не достига на дневната, за осигуряване на зададената осветеност на работното място.

- task tuning(задача за необходима осветеност) – чрез него се задава различно ниво на осветеност по време, с което се осигурява необходимата осветеност в помещенията, според конкретните нужди.

- occupancy control(контрол на заетостта) – чрез него се следи за наличие на хора в отделните помещения, като изкуственото осветление се включва само при тяхното присъствие там.

- personal control(личен контрол) – чрез него има възможност хората сами да регулират нивото на изкуственото осветление, според техните конкретни нужди.



- variable load shedding(следене на променливото натоварване) – чрез него има възможност да се следи консумацията на електроенергия в сградата. При наличие на върхова консунумация селективно да се понижи нивото на изкуственото осветление на отделни помещения, така че да се намали консумираната електроенергия до желаното от потребителя ниво.

## 2. ЦЕЛ НА ДОКЛАДА.

Целта на настоящият доклад е съпоставка на светлинната ситуация на офис при съществуващо изкуствено осветление и след замяната му с ново енергоефективно осветление и внедряването на DALI система за динамично управление на осветлението, при запазване на броя и основното разположение на осветителните тела, като се добавят допълнителни и локални осветителни тела само на работни места където има тази необходимост.

### 3. Изходна ситуация и данни за съществуващи осветителни тела.

Офисът е на два етажа, като отделните офисни части са разделени със стъклени прегради където е необходимо. Височината на офис помещението на етаж 1 е Н-4.00м. Височината на офис помещението на етаж 2 е Н-2.30м.

Използвани са 88 броя стандартни осветителни тела за вграден монтаж в окачен таван тип “луна” 2x26W с матирано стъкло и конвенционална(дросели) пуско-регулираща апаратура, некомпенсирана.



Снимка 1 – изглед етаж 1.



Снимка 2 – изглед етаж 2.

Дифузорите на осветителните тела са средно замърсени. Огледалните рефлектори на телата са сравнително добре запазени без големи замърсявания и нагар по тях.

Управлението на осветителните тела за всеки етаж се извършва от конвенционални електрически ключове – сх.5(серийна схема) на свързване, като всички осветители на етажите се включват от едно място на всеки етаж на две групи.

### 3. НОВА СИТУАЦИЯ И ДАННИ СЛЕД ИНСТАЛИРАНЕ НА НОВИТЕ ОСВЕТИТЕЛНИ ТЕЛА И СИСТЕМАТА ЗА УПРАВЛЕНИЕТО ИМ

Новите осветителни тела за вграден монтаж в окачен таван тип „луна” са както следва :

За първи етаж поради значително голямата височина за офис, са използвани модел AC.1926W 2x42W, окомплектовани с компактни луминесцентни лампи OSRAM Dulux T/E 42W/840 по два броя в осветител.

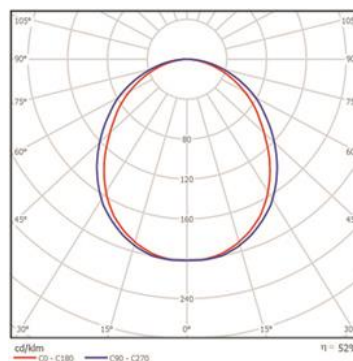
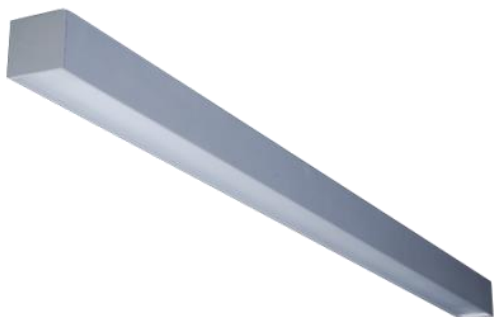
За складовото помещение е използвани модел ALFA4000 2x26W, окомплектовани с компактни луминесцентни лампи OSRAM Dulux D/E 26W/840 по два броя в осветител.

За втори етаж са използвани модел ALFA4000 2x26W, окомплектовани с компактни луминесцентни лампи OSRAM Dulux D/E 26W/840 по два броя в осветител.

Използваната Електронната пускорегулираща апаратура е OSRAM DALI 2x26-42W и за двата вида осветителни тела.

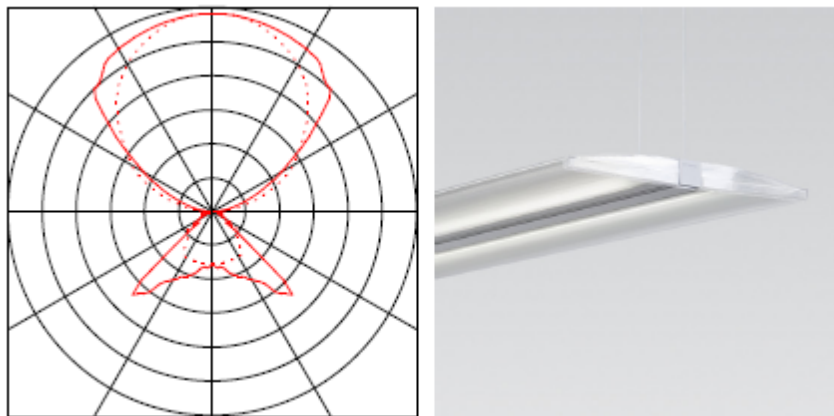
По желание на инвеститора са монтирани допълнително:

На етаж 1 - над работните места в офисната част, четири броя висящи светодиодни(LED) осветителни тела модел CLAY LED 40W окомплектовани с LED модули OSRAM 2 броя 15.3W/840, всеки 2200lm. На работното място в склада е монтиран един брой висящо осветително тяло CLAY LED 56W окомплектовано с LED модули OSRAM 3 броя 15.3W/840, всеки 2200lm. Двата вида осветителни тела са окомплектовани с електронна пуско-регулираща апаратура OSRAM DALI 90/220-240/1A0 LT2.



Снимка 3 – осветител CLAY LED.

На етаж 2 - в заседателната зала над масата един брой висящо осветително тяло Novaluna P 5MC25462QS1 2x80W, окомплектовано с два броя луминесцентни лампи T5 OSRAM HO 80W/840 и електронна пуско-регулираща апаратура OSRAM QT-FQ 2x80W.



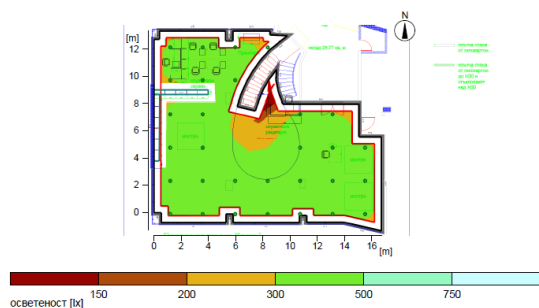
Снимка 4 – осветител NOVALUNA P.

**Светлотехнически изчисления :**

Светлотехническите изчисления са извършени с програма RELUX.

Използвани са изчислителни файлове на реално монтираните осветителни тела.

Светлотехнически изчисления на основните офисни части на двата етажа са показани на фигура 2 и фигура 3.

**2 Етаж 1 2x42W КЛЛ****2.1 Обобщение, Етаж 1 2x42W КЛЛ****2.1.1 Обзор резултати, Участък за оценка 1****Общи**

Използван алгоритъм на изчисление  
Височина на повърхност на Осветител  
Коеф. на запаса

Средно висока индиректна съставка  
4.00 m  
0.80

Общ св. поток на всички светлоизточници  
Обща мощност  
Обща мощност за площ (183.28 m<sup>2</sup>X)

192000 lm  
2880.0 W  
15.71 W/m<sup>2</sup>X (4.00 W/m<sup>2</sup>X/100lx)

**Участък за оценка 1**

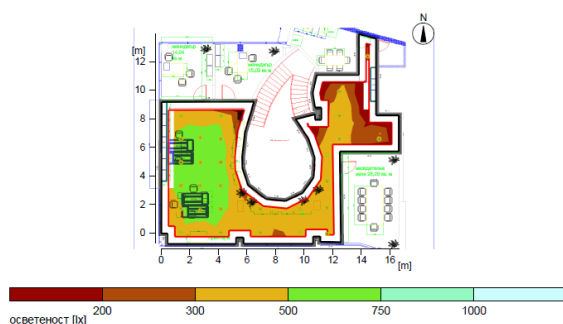
Eavg  
Emin  
Emin/Eavg (Uo)  
Emin/Emax (Ud)  
Позиция

**Работна повърхност 1.1**  
хориз.  
392 lx  
169 lx  
0.43  
0.35  
0.75 m

**Тип No. | Фабр. изделие**

8	30	<b>ACA Lighting</b>	
		Order No.	: IAC.1932G19L
		Осветител Име	: ACA 2x42W
		Окомплектовка	: 2 x Dulux T/E 42 / 3200 lm

Фиг.2 – светлотехнически изчисления за етаж 1.

**5 Етаж 2 Alfa 4000****5.1 Обобщение, Етаж 2 Alfa 4000****5.1.1 Обзор резултати, Участък за оценка 1****Общи**

Използван алгоритъм на изчисление  
Височина на повърхност на Осветител  
Коеф. на запаса

Средно висока индиректна съставка  
2.30 m  
0.80

Общ св. поток на всички светлоизточници  
Обща мощност  
Обща мощност за площ (117.49 m<sup>2</sup>X)

104400 lm  
1914.0 W  
16.29 W/m<sup>2</sup>X (3.87 W/m<sup>2</sup>X/100lx)

**Участък за оценка 1**

Eavg  
Emin  
Emin/Eavg (Uo)  
Emin/Emax (Ud)  
Позиция

**Работна повърхност 1.1**  
хориз.  
421 lx  
133 lx  
0.32  
0.19  
0.75 m

**Тип No. | Фабр. изделие**

1	29	<b>Alfa Light LTD</b>	
		Order No.	: A-4000 2x26W
		Осветител Име	: Alfa 4000
		Окомплектовка	: 2 x OSRAM DULUX D/E 26W/840 / 1800 lm

Фиг.3 – светлотехнически изчисления за етаж 2.



Снимка 5 – изглед етаж 1 и 2.  
зала.



Снимка 6 – изглед от заседателна зала.

Измерванията на техническите параметри на осветителната уредба са извършени след едногодишна работа със система за управление на осветлението.

### *Данни за интегрираната система за управление на осветлението:*

**Контролер** : OSRAM DALI PRO CONT 4RTC, с възможност за управление до 256 адреса, разпределени в 4 групи по 64 адреса. Контролера е сграден без възможност за обратна връзка в реално време.

**Датчици за светлина и присъствие** : OSRAM DALI LS/PD CI

**Адресатори на бутони за ръчно управление** : OSRAM DALI PROF COUPLER – с възможност да управлява до 4 бутона.



Снимка 7 – Компоненти на системата за управление на осветлението.

### *Обща функционалност на системата за управление на осветлението:*

Чрез инсталирането на системата за управление на осветлението получаваме следните основни предимства и възможности за управление на осветителната уредба:

- Възможност за направа на логически групи за управление на осветителните тела, без да е необходима направата на отделни кабелни линии за всяка една група осветители.

- Възможност за софтуерно програмиране от компютър на точната функция която трябва да изпълнява всеки един бутон.

- Чрез бутоните има възможност за управление на избрани групи осветителни тела на принципа включване/изключване и димиране или да бъдат включвани зададени сценарий на състоянието на осветителните тела, които предварително са съгласувани с инвеститора.

- Възможност за софтуерна промяна на функционалностите на управляващите бутони без необходимост от преокабеляване.

- Възможност за софтуерна промяна на групите на осветителните тела, без необходимост от преокабеляване.

- Възможност за направа на времеви график за управление на осветителната уредба.

- Възможност за следене на присъствието на хора в помещенията и включване на осветителни тела само в зоните където се намират.

- Възможност за следене на дневната осветеност и регулиране на изкуствената осветеност до необходимите нива.

- Възможност за управление на недимируеми осветителни тела или електрически устройства.

- Възможност за управление на осветителните тела от външни за системата устройства или системи.

### ***Зададена функционалност на системата за управление на осветлението:***

В предвид желанието на инвеститора осветителните тела са разделени на няколко основни групи както следва:

- Етаж 1 – обща част, складово помещение, офисна част и рецепция.

- Етаж 2 – обща част, кухня, заседателна зала, офис част, два кабинета.

За общите части на двата етажа, офисните части, кабинетите и заседателната зала е предвидено автоматично и ръчно управление на изкуственото осветление, като то се осъществява чрез инсталирането на 6 броя датчици за следене на нивото на осветеността на работните места и адресатори на бутони на предварително определени места. Чрез тях системата през целия ден автоматично регулира нивото на зададената осветеност, а при

необходимост всяка обособена група осветителни тела се регулира ръчно до желаното ниво.

За останалите помещения е предвидено само ръчно управление на осветлението(включване/изключване и димиране).

Реализирани са следните сценарий от група бутони:

- Включване и изключване на зона витрина на етаж 1 на 50% и 100%.
- Дежурно осветление на Етаж 1 за времето след приключване на работния ден.
- Включване и изключване едновременно на всички осветителни тела на Етаж1.
- Включване и изключване едновременно на всички осветителни тела на Етаж2.
- Включване и изключване едновременно на всички осветителни тела на Етаж2.
- Изключване на всички осветителни тела в конкретен час вечерта и обратно включване в автоматичен режим на цялата осветителна уредба.

#### 4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРОВЕДЕНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ

Светлотехническите измервания са направени с луксметър VOLTcraft MS-1300.

Измерванията са правени на работна повърхност с височина от пода 0.8м.

Измерената средна осветеност е при включени 100% осветителни тела, 100% работещи лампи в тях. Няма информация за часовете на работа на компактните луминесцентни лампи в осветителните тела(дали са нови или стари).

Измерената осветеност от естествена дневна светлина след 13.00ч. при облачно време през м.Юли 2016 на работно място на Етаж 2 е 345lx. Това е недостатъчна осветеност и налага включването на min 50% от осветителните тела, което предполага консумация на електроенергия през деня от 1080W за втори етаж. За първи етаж необходимата консумация на електроенергия е 1560W.

Консумираната електроенергия при съществуващия вариант няма възможност да бъде точно измерена, поради липсата на отделен електромер само за конкретния офис. За това приета средна мощност на осветително тяло 2x26W:

$$P_{\text{ОСВ.Т.}} = 52W + 15\%_{\text{(ЗАГУБИ В ЕПРА)}} = 60W$$

Измерените технически резултати за съществуващата осветителна уредба за двата етажа на офиса са отразени в таблица 1.

етаж	Инсталирани осветителни тела	Мощност на лампите	Консумирана мощност на един осветител	Обща Консумирана мощност	Пуско-Регулираща Апаратура	Нормена осветеност	Измерена средна осветеност	Икономия в работен режим
Етаж 1	36 броя	КЛЛ 2x28W	60W	2160W	Конвенционална (дросели) некомпенсирана	500lx	max 295lx	0%
Етаж 2	52 броя	КЛЛ 2x28W	60W	3120W	Конвенционална (дросели) некомпенсирана	500lx	max 395lx	0%

Таблица 1 – Основни параметри на съществуващата осветителна уредба.

Под икономия в работен режим, се има в предвид възможността за включване на осветителните тела на групи(локално) или димирането им, с цел достигане до необходимата осветеност на работните места през деня при наличието на естествена светлина, която обаче е недостатъчна.

Измерените резултати от реализираната нова система за изкуствено осветление са отразени в таблица 2. При отразяване на данните са използвани измерванията на основните работни места. Средната осветеност за двата етажа е рамките на 400lx, но трябва да се има в предвид, че офисът е тип “open space” и голяма част от пространството се използва като коридор или за работни места при които не се изисква нормена осветеност от 500lx. Над работните места средната осветеност постига изискваната нормена такава.

Отразено е желанието на инвеститора да не се надвишава основният брой съществуващи осветителни тела, като се добавят нови само на местата където има необходимост.

етаж	Инсталирани осветителни тела	Вид и Мощност на лампите	Консумирана мощност на един осветител	Обща Консумирана мощност	Пуско-Регулираща Апаратура	Нормена осветеност	Измерена осветеност	Икономия в работен режим
Етаж 1	36 броя	КЛЛ 2x42W	86W	3256W	Електронна DALI димируема	500lx	max 720lx	min 30%
	4 броя	LED 34W	40W		Електронна DALI димируема			
Етаж 2	52 броя	КЛЛ 2x28W	60W	3284W	Електронна DALI димируема	500lx	max 660lx	min 25%
	1 броя	ЛЛ T5 2x80W	164W		Електронна DALI димируема			

Таблица 2 – Основни параметри на новоизградената осветителна уредба.

## 5. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Обща консумирана мощност на осветителната уредба при съществуващата ситуация:

$$P = P_{ET.1} + P_{ET.2} = 5370W$$

Обща консумирана мощност на осветителната уредба след инсталиране на новите осветителни тела:

$$P = P_{ET.1} + P_{ET.2} = 6540W$$

След инсталиране на новата осветителна уредба се наблюдава повишение на консумираната електроенергия с 18%. Това се дължи на замяната на част от съществуващите осветителни тела с нови, които имат по-голяма мощност, както и на инсталирането на допълнителни осветителни тела.

Реализираната осветеност на някои от работните места надхвърля нормената осветеност за такъв тип помещения от 500lx с над 25%. След измерване с луксметър, светлинния поток на групите осветителни тела беше намален, така че да бъде получена осветеност в съответствие с нормите и е зададен като ниво за съответните групи. Системата за управление следи за нивото на осветеност на работната повърхност и през целия работен ден, компенсира недостига на естествена осветеност със изкуствена светлина само до необходимите 500lx.

По този начин реално се получава икономия на електрическа енергия спрямо реално инсталираната мощност на осветителните тела, без да се нарушава комфорта на работните места по следните параметри :

- Daylight harvesting (усвояване на дневната светлина) - намалена консумация от излишък на светлинен поток (преосветяване) и намалена консумация на електроенергия през деня, само в рамките на необходимата.
- Smart time scheduling (умен времеви график) – изключване на осветителните тела след работно време в офиса, с цел икономия на електрическа енергия от забравени да работят осветителни тела.
- Personal control (личен контрол) – ръчно регулиране на изкуственото осветление до желаните нива.

При пълно използване на трите принципа за енергоефективност на осветителната уредба, би трябвало да получим икономия в рамките на 35%. Поради факта, че не във всички части на офиса са монтирани датчици за осветеност и присъствие, практически принципа Daylight harvesting не се ползва пълноценно. За това очакваната енергийна ефективност е в рамките на 25% - 30%.



В конкретния случай поради спецификата на електрическата инсталационна система на офиса, няма възможност да бъде отчетена реалната консумация на електроенергия от осветителната уредба. Очакваните резултати са на базата на приетите от нас стойности за старата осветителна уредба и стойностите за консумация на електроенергия на новите осветителни тела.

Сравнявайки очакваната икономия на електрическа енергия (до 30%) с повишената консумирана енергия реализирана чрез новата осветителна инсталация (над 18%), можем да предположим, че реалната икономия на електрическа енергия ще бъде около 10% - 12%.

Сравнявайки този процент с максималните възможни проценти на икономия до 75%, стойността не е голяма, но трябва да отбележим следните факти които допринасят за допълнителната енергоефективност и функционалност на системата за изкуствено осветление:

- Измерената осветеност от изкуствено осветление при старата осветителна уредба е недостатъчна да покрие нормите за такъв тип помещение. Следователно консумацията при реално доставена нормена осветеност би трябвало да е значително по-голяма, в следствие на което процентът на икономия от консумация на електрическа енергия при новата осветителна уредба ще е по-голям.
- Разделянето на отделни групи на осветлението за обособените офисни части, ще доведе до допълнителна икономия на електроенергия, защото през деня при необходимост ще се ползват осветителните тела само в зоните където дневната светлина не е достатъчна и то с намален % от димиране до достигане на желаното ниво.
- Възможността за ръчно димиране на осветлението, както създадените сценарий за управление на осветителната уредба, допринасят изключително много за повишаване на функционалността на осветителната уредба.
- Възможността за пре-програмиране на функциите на управляващите бутони и групите на осветителните, без да се налага допълнително промяна на кабелната мрежа води до икономия на средства при необходимими бъдещи ремонти и преустройства на офиса.

## 6. ИЗВОДИ

Използването на енергоефективни тела при бъдещо изграждане или подмяна на съществуващи осветителни уредби за изкуствено осветление става все по-актуално с повишаване цената за закупуване на електрическа енергия. Стермежът към по-зелени, екологични и енергийно независими сгради води до все по-масовото налагане на най-новите тенденции и разработки използвани в осветителната техника. Съчетаването им с модерни системи за управление на осветителните уредби допринася изключително много за повишаване на

енергийната ефективност, ергономията и функционалността на уредбите за вътрешно осветление на обществените сгради. Дългият живот на новите светлинни източници били те енергоспестяващи или светодиодни(LED), намалените им габарити, възможността за различни видове управления позволяват направата на осветителни тела с иновативни дизайн и приложения.

Всички нововъведения в осветителните тела, системите за управлението им и архитектурния дизайн допринасят съществено за по-екологична, енерго-ефективна, функционална и отворена към човека околна среда в обществените сгради и на работните места. Положителното влияние върху физическото и психологическото състояние на човека, води до повишаване на работоспособността, намаляване на умората и стреса по време на работа което са все по-важни фактори за здравето на хората и за тяхното бъдеще.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванов З. *Осветителна и инсталационна техника*, издание София 2010
- [2] Иванов З. *Светлинни източници* , издание ТУ-София 2008
- [3] Пачаманов.А. *Електроснабдяване и осветителна техника* , издание ТУ-София 2011.
- [4] OSRAM GmBh- *Lighting Management Systems*, [www.osram.com](http://www.osram.com)

**Автор:** маг. инж Владимир Шаламанов, докторант катедра ЕСЕО, Технически Университет – София, Електротехнически факултет, *email:* [alphalight@abv.bg](mailto:alphalight@abv.bg)

## АЛГОРИТЪМ ЗА ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ НА АДАПТИВНО УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ

Николай Василев, Борис Тошев, Марин Вълчев

**Резюме:** *Адаптивното телеуправление е нова насока в развитието на съвременното улично осветление. В доклада е описан алгоритъм за телеуправление на адаптивно улично осветление, при предварително зададен статичен график. Който е определен експертно въз основа на статистически наблюдения на различни характерни обекти и изчисления спрямо действащият стандарт.*

**Ключови думи:** *адаптивно телеуправление, улично осветление, алгоритъм*

## ALGORITHM TELEMAGEMENT ADAPTIVE STREET LIGHTING

Nikolay Vassilev, Boris Toshev, Marin Valchev

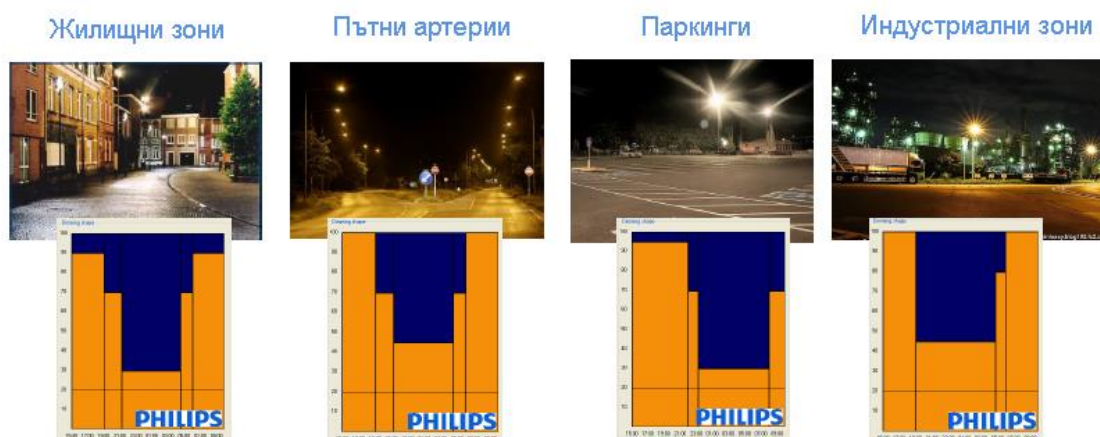
**Abstract:** *Adaptive Telemangement is a new direction in the development of modern street lighting. The report identifies the algorithm telemangement adaptive street lighting in a predefined static schedule. Which is defined expertly based on statistical observations of various typical objects and calculations to current standards.*

**Keywords:** *Adaptive Telemangement, street lighting, algorithm*

Адаптивното телеуправление е съвременно решение за повишаване на качеството и подобряване на експлоатацията на уличното осветление и едновременно с това възможно намаляване на консумацията на електроенергия до 45% [1,2]. То може да се осъществи като **статично, хибридно или динамично** [3]. В настоящия доклад е предложен алгоритъм за статично времево телеуправление на улично осветление. Това означава, че условията за управление са предварително зададени и следователно не се отчитат настъпилите евентуални промени на метеорологичните условия, на интензивността на транспортния трафик, старенето на осветителната уредба и изменението на отразителните характеристики на пътната настилка.

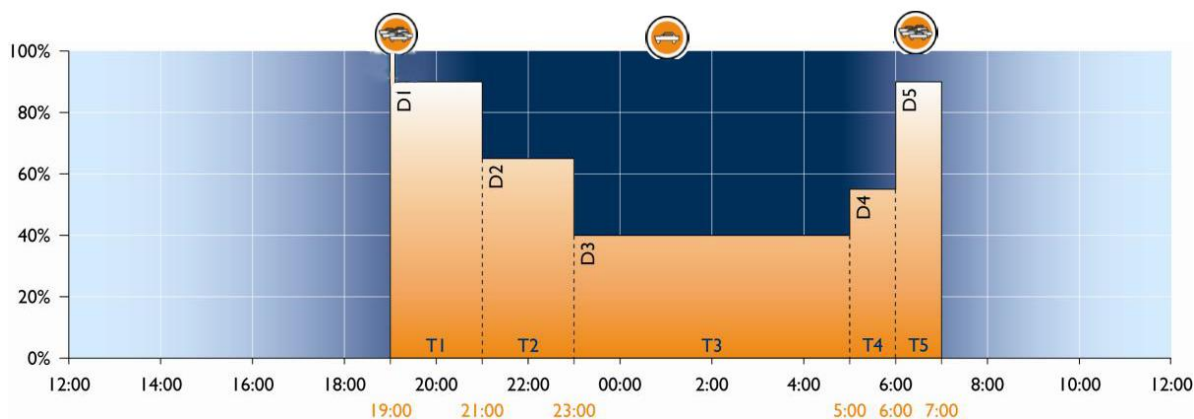
Времената за включване и изключване на осветлението са определени в зависимост от географското местоположение на населеното място в интернет страницата на сектор „Слънце” на Института по астрономия на БАН [5], а времената на „превключване - димиране” на осветлението са определени

експертно въз основа на статистически наблюдения на различни характерни обекти - фиг.1, [7].



Фиг.1 .Времени графици за димиране на осветлението на различни транспортни зони [7].

На фиг.2 димирането на уличното осветление е илюстрирано с петстепенен времеви график.



Фиг.2. Времени график за включване, изключване и превключване на осветлението

1. Включване на уличното осветление 30 мин. след залез слънце;
2. След включване на У.О. в продължение на 2 часа максимална осветеност 100% - D1;
3. След 2 часа максимална осветеност 100% - превключване на 60 %;
4. След 24,00 часа - превключване на 30% осветеност до 2 часа преди изгрев слънце - D3;
5. В 2 часа преди изгрев слънце превключване на 60% осветеност до 1 час и 30мин. часа преди изгрев слънце - D4;
6. От 1 час и 30мин. преди изгрев слънце до 30мин. преди изгрев слънце – 100% осветеност - D5;
7. Изключване на осветлението 30мин. преди изгрев слънце;

Светлинната категория М за всеки времеви интервал се избира последователно според изискванията в таблица 1 на стандарта БДСЕН13201-2015:

### Интервал D1

Според таблица 1 на БДСЕН13201- 2015

скорост	40 -70 км/ч	-1	
---------	-------------	----	--

Трафик- среден		0	
Състав трафика	моторизиран	0	
Разделяне с ленти	не	1	
Прсичания	5/км.	1	
Паркиране	да	1	
Окол. осветление	средно	0	
Визуално. водене	трудно/лесно	0	

$$M = 6 - \sum(-1 + 0 + 0 + 1 + 1 + 1 + 0 + 0) = 6 - 2 = 4$$

за М4  $L_{cp} = 0,75 \text{ cd/m}^2$  - отчетено от следващата таблица 2

Таблица 2. Нормени стойности на светлотехническите показатели за светлотехнически класове М1 ÷ М6 [4].

Клас	Яркост на пъната настилка				Допустимо заслепяване	Осветление на обкръжението
	Суха			Влажна		
	$L_{cp}, \text{ cd/m}^2$	$U_0$	$U_1$	$U_0$	TI, %	SR
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,5

## Интервал D2

Според таблица 1 на БДСЕН13201- 2015

скорост	40 -70 км/ч	-1	
Трафик-среден малък		0	
Състав трафика	моторизиран	0	
Разделяне с ленти	не	1	
Прсичания	5/км.	1	
Паркиране	а не	0	
Окол. осветление	средно	0	
Визуално. водене	трудно/лесно	0	

$$M = 6 - \sum(-1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 0) = 5$$

за М5  $L_{cp} = 0,50 \text{ cd/m}^2$  - отчетено от таблица 2

**Интервал D3**

Според таблица 1 на БДСЕН13201- 2015

скорост	40 -70 км/ч	-1	
Трафик- среден		0	
Състав трафика	моторизиран	0	
Разделяне с ленти	не	1	
Прсичания	5/км.	0	
Паркиране	да	0	
Окол. осветление	средно	0	
Визуално. водене	трудно/лесно	0	

$$M = 6 - \sum(-1 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0) = 6$$

За M6  $L_{cp} = 0,35 \text{ cd/m}^2$  - отчетено от таблица 2**Интервал D4**

Според таблица 1 на БДСЕН13201- 2015

скорост	40 -70 км/ч	-1	
Трафик- среден		0	
Състав трафика	моторизиран	0	
Разделяне с ленти	не	1	
Прсичания	5/км.	1	
Паркиране	да	1	
Окол. осветление	средно	0	
Визуално. водене	трудно/лесно	0	

$$M = 6 - \sum(-1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 0) = 5$$

за M5  $L_{cp} = 0,50 \text{ cd/m}^2$ **Интервал D5**

Според таблица 1 на БДСЕН13201- 2015

скорост	40 -70 км/ч	-1	
Трафик- среден		0	
Състав трафика	моторизиран	0	
Разделяне с ленти	не	1	
Прсичания	5/км.	1	
Паркиране	да	1	
Окол.	средно	0	

осветление			
Визуално. водене	трудно/лесно	0	

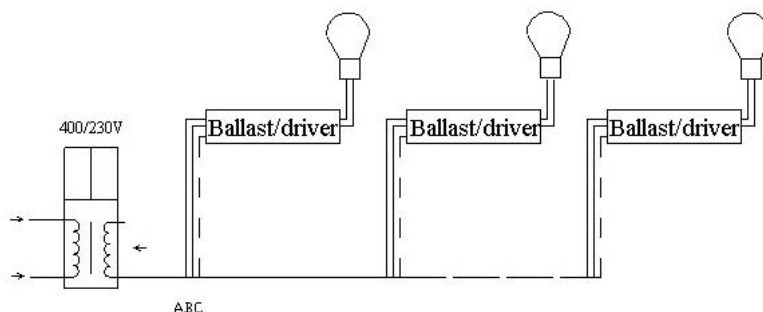
$$M = 6 - \sum(-1 + 0 + 0 + 1 + 1 + 1 + 0 + 0) = 6 - 2 = 4$$

За М4  $L_{cp} = 0,75 \text{ cd/m}^2$  - отчетено от таблица 2

В дните , когато залезът на слънцето е след 20 часа, продължителността на интервал D1 може да се приеме 1 час?

Реализацията на времевия график на светлинния поток може да се осъществи с различни технически средства [ 6,7,10] :

- външно мрежово регулиране на напрежението (амплитудно димиране ) при електромагнитен баласт .



Фиг.3. Димиране на мощността и светлинния поток чрез регулиране на напрежението – напр.. 230V, 215V и 195V и светлинен поток 100%, 75%, 60%

- многостепенен баласт с програмируем таймер (Dynadimmer) [6,7].  
- календарен лампов контролер с димируем електронен баласт [6].  
Баластът и ламповият контролер са свързани с комуникационен интерфейс 1-10 V или DALI [6].

Допустимите степени на намаляване на мощността и светлинния поток зависят от вида на светлинния източник и неговия електромагнитен или електронен баласт - календарен лампов контролер с димируем електронен баласт [7,10].

Димирането на светлинния поток на уличните осветителни уредби не създава проблеми за различаване на цветните пътни знаци [6,8].

### ЛИТЕРАТУРА

1. CIE 115:2010 , Adaptive lighting - CIE 115:2010, EN13201
2. E.Bjelland, V.Nett, Intelligent Road Lighting, “Light on the Road”CIE Session 2003
3. ESOLi, WP6, Training of street lighting professionals, 2012
4. EN 13201-1, 2014
5. БАН ,Институт по астрономия, сайт на сектор „ Слънце”

6. Н.И.Василев, К.М.Късев, Интелигентно външно осветление с адаптивно управление, София, 2015
7. Philips, Outdoor lighting controls, Lighting Solution EMEA, July21,2011
8. R. Heinz , “Grundlagen der Lichteerzeugung”, 2009 Highlight Verlagsges. mbH, Ruethen
9. LiTG , Publikation 21:2004, Schalten von Beleuchtungsanlagen in Freien
10. Angel Pachamanov, Nikolay Matanov, Kiril Kassev and Petar Stoev, A System for Remote Control for Public Lighting in Small Settlements using "Cloud Computing", Balkan Light 2015



## ОСВЕТЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТНИ КОМУНИКАЦИОННИ ЦЕНТРОВЕ С КРЪГОВО ДВИЖЕНИЕ

Николай Василев

**Резюме:** *Транспортните комуникационни центрове с кръгово движение са с най-интензивен трафик на моторни превозни средства в цялата пътна мрежа на страната. Това е очевидно, тъй като в кръговото движение се срещат и пресичат две, три и повече транспортни артерии. Динамичното и напрегнато кръгово движение е предпоставка за пътно - транспортни произшествия, които според статистически данни са най-чести на територията на кръговото движение. Поради това особено важно е да се осигури безопасно и бързо преминаване през тях.*

**Ключови думи:** *улично осветление*

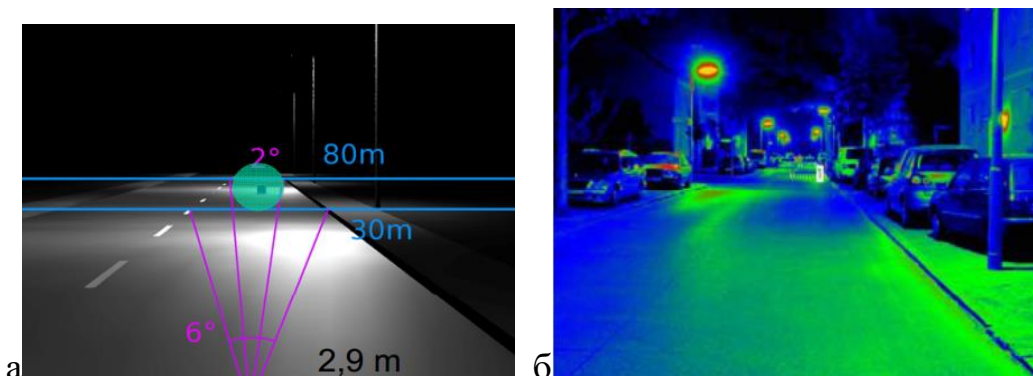
### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Транспортните комуникационни центрове с кръгово движение са с най-интензивен трафик на моторни превозни средства в цялата пътна мрежа на страната. Това е очевидно, тъй като в кръговото движение се срещат и пресичат две, три и повече транспортни артерии. Динамичното и напрегнато кръгово движение е предпоставка за пътно - транспортни произшествия, които според статистически данни са най-чести на територията на кръговото движение. Поради това особено важно е да се осигури безопасно и бързо преминаване през тях.

Шофирането е динамична, търсеща, мисловна, двигателна и отговорна многостранна активност. В нея се съчетават две важни зрителни дейности – **фовеална (фотопична) визуална задача и периферна (мезопична) визуална задача в условията на фотопичното и скотопичното зрение.**

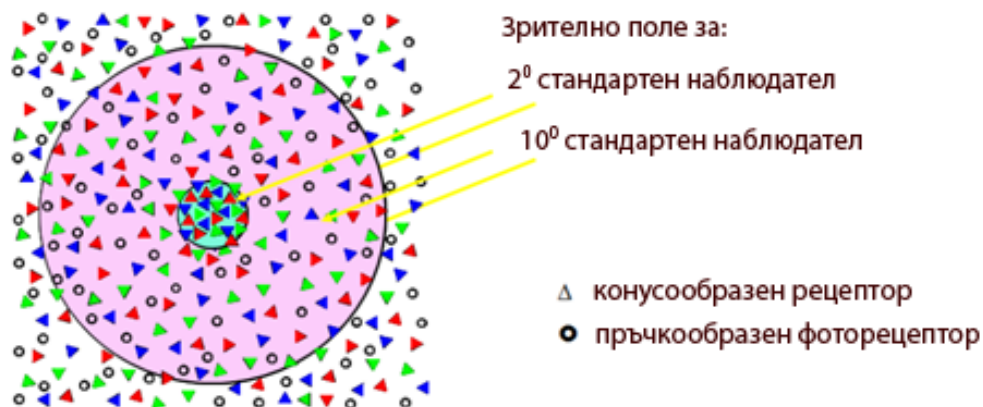
### 2. ИЗИСКВАНИЯ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ДОБРА ВИДИМОСТ СА РАЗЛИЧНИ ПРИ ДВИЖЕНИЕ В ПРАВИ ТРАНСПОРТНИН АРТЕРИИ И В КРЪГОВОТО ДВИЖЕНИЕ.

На фиг.1 са показани зрителните условия и изисквания при движение по прав пътен участък.



Фиг.1. а.Различаване на малки обекти на пътното платно - фотопично зрение в  $2^{\circ}$  зрително поле; б.осветление на улица - мезопично зрение на уличното платно и пространството около него [ 4 ].

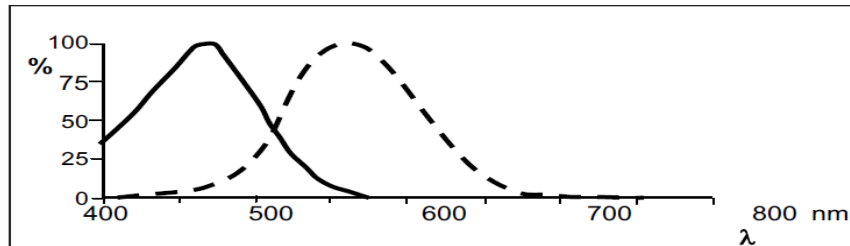
За да се гарантира безопасно движение е необходимо да се осигури бързо визуално откриване и идентифициране на малки препятствия по пътното платно. Това трябва да е възможно на разстояние 80m от водача на МПС, за да бъде в състояние своевременно да реагира – фиг.1.а. Това се осъществява в условията на фотопичното зрение от конусообразните фоторецептори, тъй като те се отличават с най-голяма контрастна чувствителност, острота на зрението и скорост на различаване. Те са концентрирани в  $2^{\circ}$  поле на стандартния наблюдател (фиг.2). На фиг.2 е показано принципно разпределението на конусообразните и пръчкообразните фоторецептори в ретината на човешкото око [ 1 ]..



Фиг. 2. Разпределение на конусообразните и пръчкообразните фоторецептори в ретината

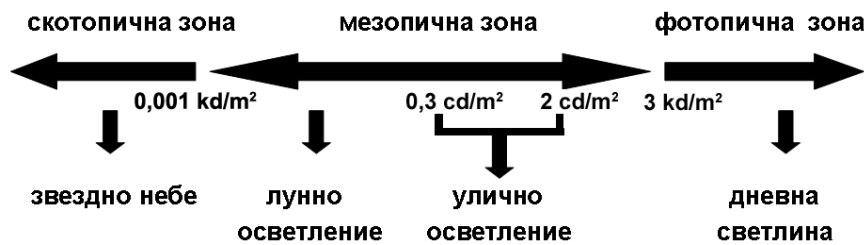
Гъстотата на конусообразните фоторецептори е максимална във фовеата (жълтото петно) и постепенно намалява към периферията до ъгъл на ексцентричност  $5^{\circ}$  спрямо зрителната ос. Обратно във фовеата няма пръчкообразни фоторецептори, но тяхната гъстота се увеличава към периферията и достига максимална стойност при  $15^{\circ}$  ъгъл на ексцентричност спрямо зрителната ос. На фиг.3 са показани спектралните чувствителности на двата вида

фоторецептори [ 2 ]. Пръчкообразните фоторецептори са подчертано по-чувствителни към късовълновите спектрални излъчвания.



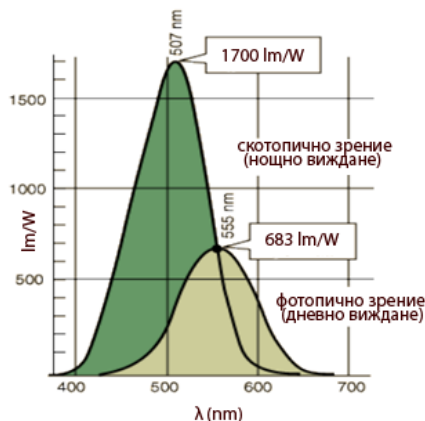
Фиг.3 Спектрална чувствителност на пръчкообразни и конусообразни фоторецептори

На следващата фиг.4 са показани скотопичната, фотопичната и мезопичната зона на видимост, в която са влючени и нормените стойности на яркостта за улично осветление  $0,30 \div 2,00 \text{ cd/m}^2$ .

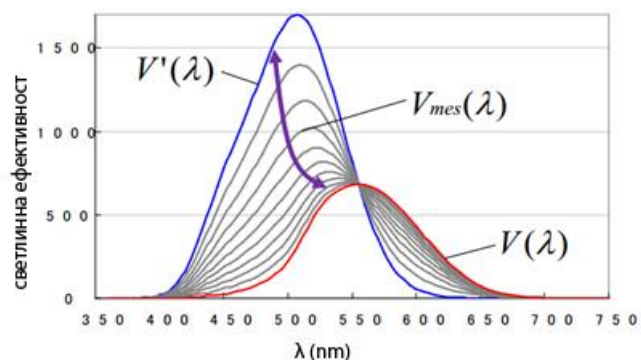


Фиг.4. Скотопична, мезопична и фотопична зона на видимост [ 3 ].

Уличното осветление ( $0,30 \div 2,00 \text{ cd/m}^2$ ) е в мезопичната зона с фотопичен и скотопичен светлинен поток. В стандарта за улично осветление БДСЕН13201 се нормира фотопичната яркост на улич -ното платно за светлинните категории М1,М2,М3,М4,М5,М6. В мезопичната зона с отчита и приноса на скотопичния светлинен поток- фиг. 3.



а.



б.

Фиг.3. а. Спектрална светлинна чувствителност при фотопично и скотопично зрение; б. Спектрална светлинна чувствителност в зоната на мезопичното зрение [3 ]

В таблица 1.са дадени изчислените от СІЕ сумарни яркости в мезопичната зона за светлинни източници с различно S/P (отношение на скотопичен и фотопичен светлинен поток) при фотопични яркости  $0,01 \div 3 \text{ cd/m}^2$ .

		Фотопична яркост (cd/m <sup>2</sup> )								
S/P		0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1	1,5	2	3
НЛНН	0,25	-75 %	-52 %	-29 %	-18 %	-14 %	-9 %	-6 %	-5 %	-2 %
	0,45	-55 %	-34 %	-21 %	-13 %	-10 %	-6 %	-4 %	-3 %	-2 %
НЛВН	0,65	-31 %	-20 %	-13 %	-8 %	-6 %	-4 %	-3 %	-2 %	-1 %
	0,85	-12 %	-8 %	-5 %	-3 %	-3 %	-2 %	-1 %	-1 %	0 %
МХтбс	1,05	4 %	3 %	2 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %
	1,25	18 %	13 %	8 %	5 %	4 %	3 %	2 %	1 %	1 %
	1,45	32 %	22 %	15 %	9 %	7 %	5 %	3 %	3 %	1 %
	1,65	45 %	32 %	21 %	13 %	10 %	7 %	5 %	4 %	2 %
СДсбс	1,85	57 %	40 %	27 %	17 %	13 %	9 %	6 %	5 %	3 %
	2,05	69 %	49 %	32 %	21 %	16 %	11 %	8 %	6 %	3 %
	2,25	80 %	57 %	38 %	24 %	19 %	12 %	9 %	7 %	4 %
МХдбс	2,45	91 %	65 %	43 %	28 %	22 %	14 %	10 %	8 %	4 %
	2,65	101 %	73 %	49 %	31 %	24 %	16 %	12 %	9 %	5 %

Таблица 1. Разлики в стойностите на мезопичната и фотопичната яркост (%), изчислени с предложената от СІЕ изчислителна система за различни стойности на отношението S/P за следните светлинни източници: натриеви лампи с ниско налягане (НЛНН), натриеви лампи с високо налягане (НЛВН), метал-халогенни лампи с топло бяла светлина (МХтбс), светодиоди със студено-бяла светлина (СДсбс), метал-халогенни лампи с дневно бяла светлина (МХдбс) [2,11]

Осигуряване на добра видимост на разстояние 80 м. е необходимо за улици с прави участъци и светлинни класове М [ 6 ]. При кръгово движение разстоянията, за които трябва да се постигне добра видимост са значително по-малки. Според новите европейски норми за улично осветление БДС EN 13201 – 2015 утвърдени и действащи у нас, осветлението на комуникационни центрове с кръгово движение трябва да се изпълни съгласно указаните изисквания в следващата Таблица 1 . Вместо яркости за различните класове пътища се предписват хоризонтални осветености [ 6 ].

Таблица 2. Осветености за -светлинни класове С

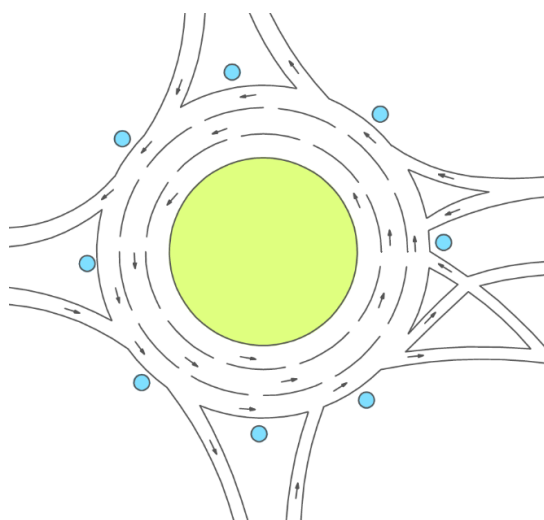
Клас	Хоризонтална осветеност	
	$\bar{E}$ в lx (минимална експлоатационна)	$U_0$ (минимална)

C0	50,0	0,40
C1	30,0	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,50	0,40

По-голямата мезопична яркост е благоприятна за по-доброто осветление на периферната улична зона – тротоари, дървета и стълбове, коли – фиг. 1.б. Това се постига с едновременното участие на пръчкообразните и конусообразните фоторецептори. По-благоприятни за „периферното виждане” при еднаква фотопична яркост са светлинни източници с по-интензивно късовълново излъчване, т.е. с по-голямо отношение на светлинните потоци в зоните Scotopic / Photopic (S / P) [ 4 ].

Реализирането на предвидените осветености обезпечава необходимата фовеална фотопична видимост на водача на МПС в посока на неговото движение.

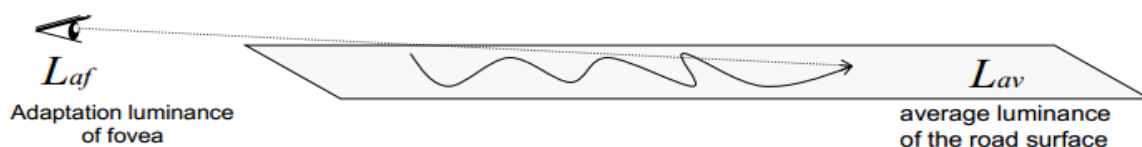
На фиг.4 е представено комуникационното решение на кръговото движение на „Площада на авиацията” в София (кръстовището на бул. Цариградско шосе и бул. Г.М.Димитров). Предвид на интензивния транспортен трафик и специфичните задчи на видимост, преминаването през възела е зрително затруднено и съпроводено с не редки транспортни инциденти. В кръга „влизат” 5 и „излизат” 5 пътни платна. Кръговото движение е в няколко редици – главна външна и 3 вътрешни, по които се осъществява изпреварването и където е необходимо включване в съседните редици и излизане от входящите пътища и включване в периферната лента.



Фиг. 4. Кръгово движение на „Площад на авиацията”

Следователно , за да се гарантира безопасно движение **за водачите във външните редици** на кръговото движение, е необходимо да им се осигури добра видимост – **фовеална и периферна** .

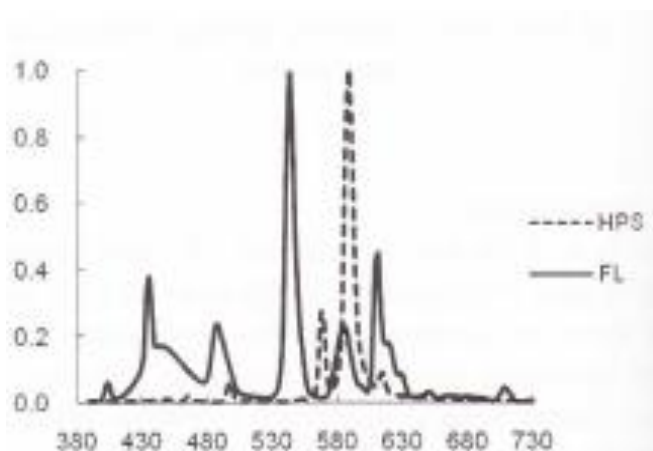
- **фовеална визуална задача** - Водачът трябва да направлява МПС, като следва посоката на транспортния трафик и контролира дистанцията до другите МПС и скоростта в допустимите граници при зададената нормена вертикална фовеална осветеност(фиг.5). Следователно това е „управляваща-направляваща” задача – tracking task ” [ 7,11 ].



Фиг.5. Фовеална управляваща задача

- **периферна визуална задача** – в по-критични ситуации като странично от ляво приближаващи се превозни средства и евентуално включващи се във външната редица превозни средства, а също за влизащите в кръговото движение МПС и други възможни препятствия като пешеходци, животни, водачът на МПС трябва бързо да ги открие и съответно оперативно да реагира , за да се избегнат опасни произшествия. Това е „откриваща задача” – detecting task , която в кръговото движение се свежда предимно да периферното зрение.[ 7 ].

В условията на мезопичното зрение за периферната визуална задача благоприятни са светлинни източници с по-интензивно излъчване в късовълновия спектър – фиг.5 [ 4 ]. Това се потвърждава също от проведените други експериментални изследвания в Япония относно зависимостта на видимостта от спектралния състав на светлината [ 7 ]. Изследвай са 3 вида светлинни източници – фиг.6 и таблица 3 .

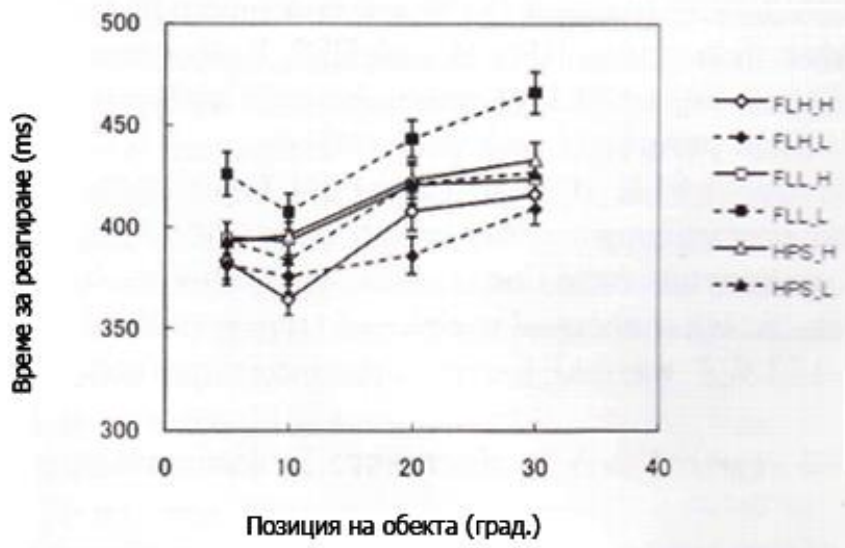


Фиг.5.Спектрално разпределение на светлинния поток на натриева лампа HPS (S/P=0,44) и луминесцентна лампа (S/P=1,97)

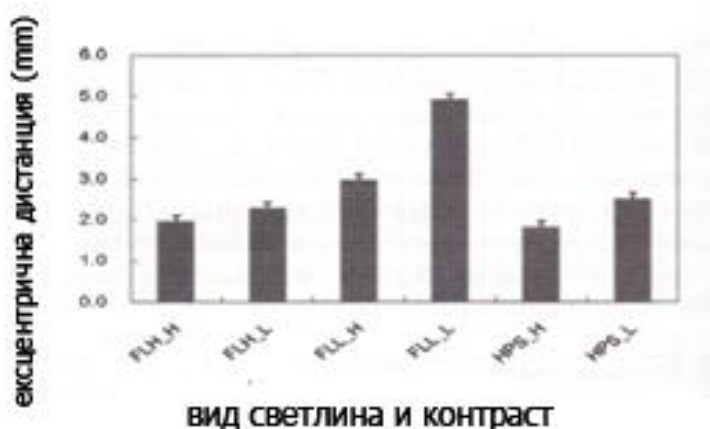
Таблица 3. Светлинни условия при провеждане на експеримента

Светлинни	Фотопична	яркост	Обща яркост cd/m <sup>2</sup>
-----------	-----------	--------	-------------------------------

условия	cd/m <sup>2</sup>	
HPS	0,10	0,06
FLH	0,10	0,15
FLL	0,03	0,06



Фиг.6.Време на реагиране (откриване) за различни позиции на страничния обект за трите светлинни източници при голям Н и малък контраст L .



Фиг.7 Ексцентрична дистанция за фовеална задача при различна светлина и контраст

Според фиг.6 времето за откриване на периферният обект се открива по-бързо при осветление с луминесцентна лампа по-студена светлина в сравнение с осветление с натриева лампа [ 8,9 ]. Най-голямо е времето за реагиране при светлинния източник FLL, чиято фотопична яркост е минимална .

Според фиг.7 възможната ексцентрична дистанция е по-голяма при светлинни източници с по-студена светлина.

Следователно за периферната визуална задача в условията на мезопичното зрение при кръговото движение на фиг.6 е целесъобразно да

**се използват светлинни източници с по студена светлина, т.е. с по-висока цвeтова температура.**

### **3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Понастоящем в уличното осветление обикновено се предпочитат светодиоди със цвeтова температура 3000К – 4000К. Като се има предвид гореизложеното за осветлението на комуникационни центрове с кръгово движение е подходящо да се използват светодиоди с по-студена светлина, т.е. с по-висока цвeтова температура – 5000К – 6000К. По този начин ще се подобри периферното виждане и безопасността на движение без да се увеличава инсталираната мощност, консумацията на електроенергия и разходите за светлинни източници и без да се влошава фотопичната видимост.

Експериментално се установява положителна интерференция между периферната и фовеалната зрителна задача [ 7 ].

Може да се спомене, че светлината в късовълновия спектър стимулира хормона на бодрост мелатонин. Максималното възбуждане на съдържащите меланопсин невизуални рецептори в окото е при дължина на вълната 480 nm [2, 10].

Благодаря за указаното съдействие при подготовката и оформянето на доклада от арх. Теофана Атанасова, инж. Марин Вълчев и инж. Камен Георгиев

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Lange, Distribution of rods and cones of the retina, United of Water Quality
2. Н.И.Василев, Н.И.Янева, Light, Lighting, Health, Well Being and Activity, Национална конференция, Варна, 2010
3. Н.И.Василев, К.М.Късев, Интелигентно външно осветление с адаптивно управление, Издателство „Авангард Прима”, София, 2015
4. S.Voelker, Spektrale Anpassung der Strassenbeleuchtung- Chancen und Grenzen, EW Medien und Kongresse, TU Berlin
5. Commission Internationale de l'Eclairage. CIE 191: Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance, Vienna: CIE (2010).
6. БДСЕН13201- 2015
7. Y. AKASHI, S. KANAYA, C. O. ISHIKURA, Interference between Foveal and Peripheral Visual Tasks, Potentially Affecting Mesopic Photometry
8. Rea, M. S., Bullough, J. D., Freyssinier, J. P. And Bierman, A.: A proposed Unified System of Photometry, Light. Res. Technol., 36(2), pp. 85-111(2004).
9. Eloholma, M., Viikari, M., Halonen, L., Walkel-. H\*Goodman, T., Alferdinck, J., Freiding, A., Bodrogi and V'arady, G.: Mesopic models-from brightness matching to visual performance in night-time driving: A review, Light. Res. Technol.. 37(2). pp. 15,175 (2005)
10. D.Gall, Circadiane Lichtgroessen und deren messtechnische Ermittlung, Licht 54, 1292-1297.



## СИСТЕМА ЗА ДИМИРАНЕ НА СВЕТОДИОДНИ ОСВЕТТЕЛИ С УПРАВЛЯЕМИ ИМПУЛСНИ ЗАХРАНВАНИЯ

Иван Ангелов

**Резюме:** Представена е система от електронни модули за управление силата на светене (димирание) на светодиодни осветители. При осветяване на големи обекти се монтират десетки до стотици осветители. При димирането на голям брой осветители се налага да се конструира системата за управление така, че да регулира всеки от токовите кръгове независимо от работата на останалите такива. Ако в някой от силовите кръгове се случи авария, то тя не трябва да влияе на работата на останалите осветители.

**Ключови думи:** димирание, светодиодни, осветители, управление

## SYSTEM FOR DIMMING OF LED LIGHTING WITH CONTROLLED SWITCHING POWER SUPPLIES

Ivan Angelov

**Abstract:** Presented is system of electronic modules for control the light output (dimming) for LED lighting. In lights of large objects, require installation of tens to hundreds of luminaries. When dimming a large number of luminaries it is required to construct a control system such that to regulate each of the circuits work independently of the other ones. If any of the power circles emergency occurs, then it will not affect the work of other luminaries.

**Keywords:** dimming, LED, lighting, control

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

При модернизирание на осветлението или изграждане на нови осветителни уредби за големи и дълги обекти, като например пътни тунели, се налага да се монтират от няколко десетки до няколко стотин осветителя. За управление на димирането може да се използва например цифров канал с „DALI” протокол. Този тип управление налага монтиране на осветители имащи висока цена и използване на концентратори по комуникационния канал [3]. При използване на димируеми балласти управлявани с напрежение или ШИМ се постига значително опростяване на управляващата система и се снижава първоначалната инвестиция в осветителната уредба [1, 2]. От друга страна системата за управление става по-надеждна поради използване на „аналогово“ управление на димирането и по-надежден контролер. При димирание на

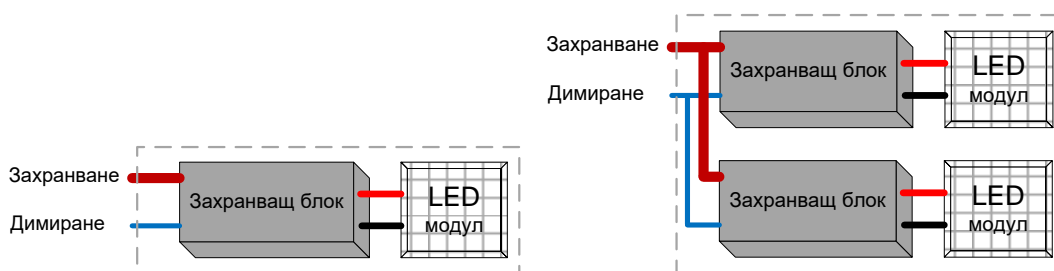
осветителите се получава икономия на енергия и всички осветители се *износват* едновременно.

## 2. ИЗХОДНИ ДАННИ ЗА УПРАВЛЯВАЩАТА СИСТЕМА

- Във всяка тръба на тунел с дължина 600 метра се използват около 200 осветителя за адаптационно осветление и 100 за дежурно осветление, фиг.1;
- В зависимост от мощността на осветителя се използват един или два електронни захранващи блока, фиг.2;
- Израза „управляемо импулсно захранване“ означава електронни баласта с възможност за димиране;
- Дежурното осветление се захранва по два силови кръга;
- Захранването на адаптационното осветление е по два до четири кръга.



Фиг.1. Общ изглед на осветители за тунели



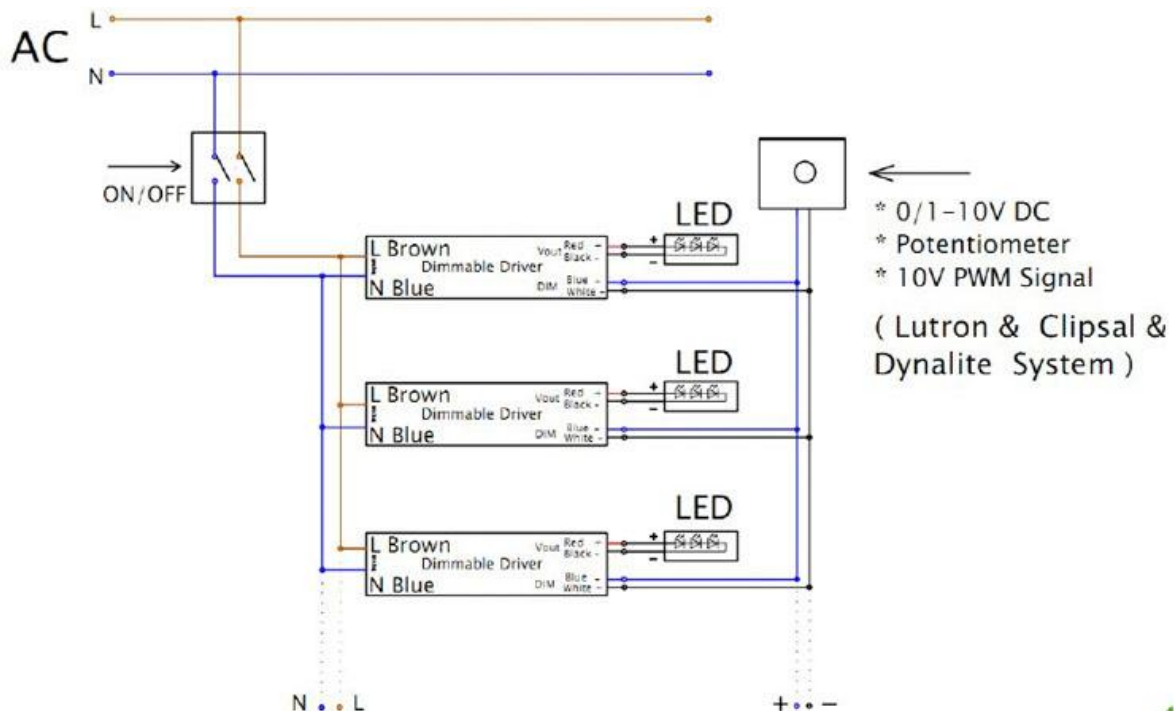
Фиг.2 Свързване на захранващите блокове в LED осветители

Дежурното осветление свети на 100% и само вечер се димира до 50%. А входното адаптационно осветление се димира от 100% до 10%, като при нужда може и да се изключи. Плавното групово димиране на дневното тунелно осветление може да доведе до допълнителна икономия на енергия около 30-35%.

## 3. НАЧИНИ ЗА ДИМИРАНЕ ПРИ СВЕТОДИОДНИ ОСВЕТИТЕЛИ

Начините за димиране и управление на няколко осветителя са показани на фиг. 3 [1]. Те са следните: с напрежение  $1\div 10V$ ; с широчинно модулирани импулси ШИМ (PWM) с амплитуда 10V или с потенциометър.

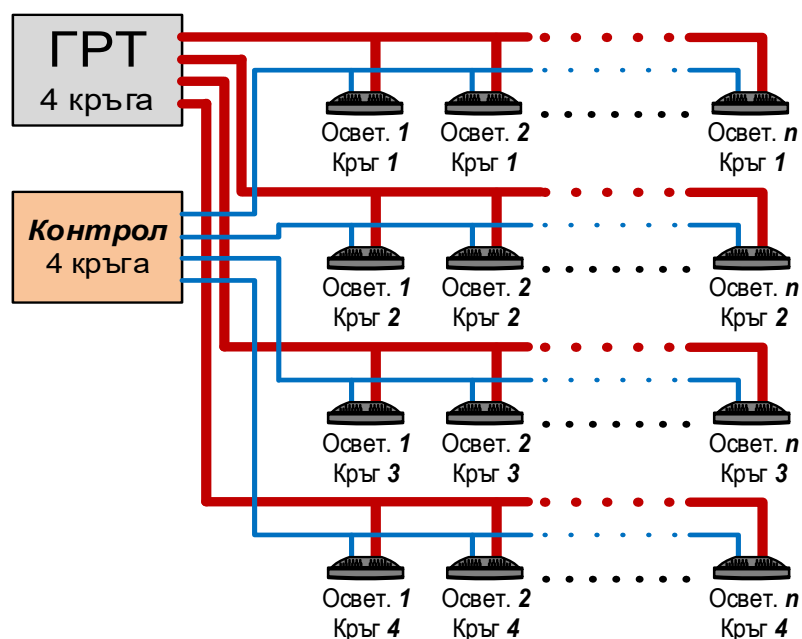
Съпротивлението на потенциометъра зависи от броя на осветителите поради което е трудно за реализация при повече от 2 – 3 осветителя.



Фиг.3. Димиране и управление на светодиодни осветители

За управление на димирането, при голям брой осветители разположени на разстояние по дължината на обекта (тунели), е избран начина с постоянно напрежение 1 ÷ 10V. Така се избягват проблемите с предаване на импулсни сигнали по дълги линии (ШИМ).

Ако силовите захранващи линии са четири то и управлението на димирането трябва да се раздели на четири. Такова свързване е илюстрирано на фиг. 4.

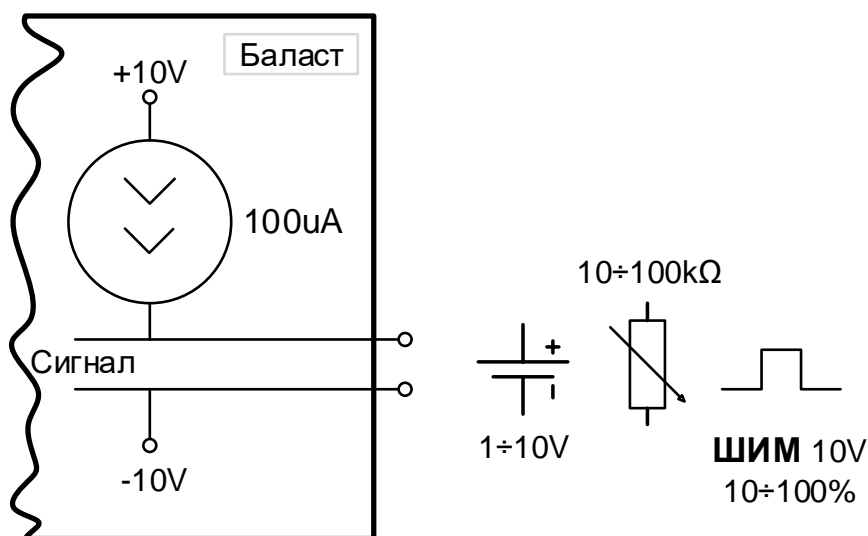


Фиг.4. Свързване при големи групи осветители

Тук главното разпределително табло (ГРТ) захранва осветителите по 4 кръга. Приемаме максимален брой осветители в силов кръг  $n = 100$ . Контрола на димирането също е разделен на четири независими един от друг кръга. По този начин осветителите захранвани от един силов кръг са независими от работата на останалите осветители. Ако се изключи някой от силовите кръгове, или отпадне поради авария, останалите ще работят и ще се управляват по нормалният си начин.

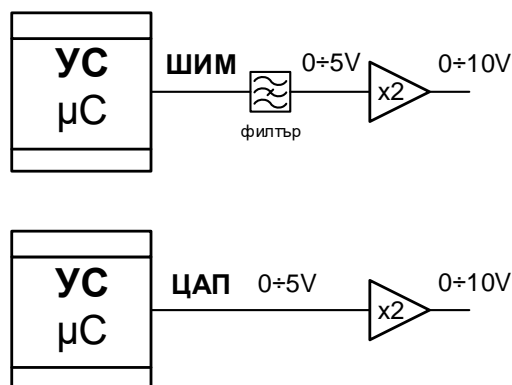
#### 4. СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Всеки от димируемите електронните баласта има вход (изход) за управление с примерна структура показана на фиг. 5. Към клемите за управление се подава ток със стойност  $0,1mA$ . При свързване на потенциометър със съпротивление  $100k\Omega$  ще имаме напрежение  $10V$ , което при намаляване на съпротивлението ще намалява плавно – тоест ще димираме драйвера. Същият вход може да се управлява с напрежение или със ШИМ.

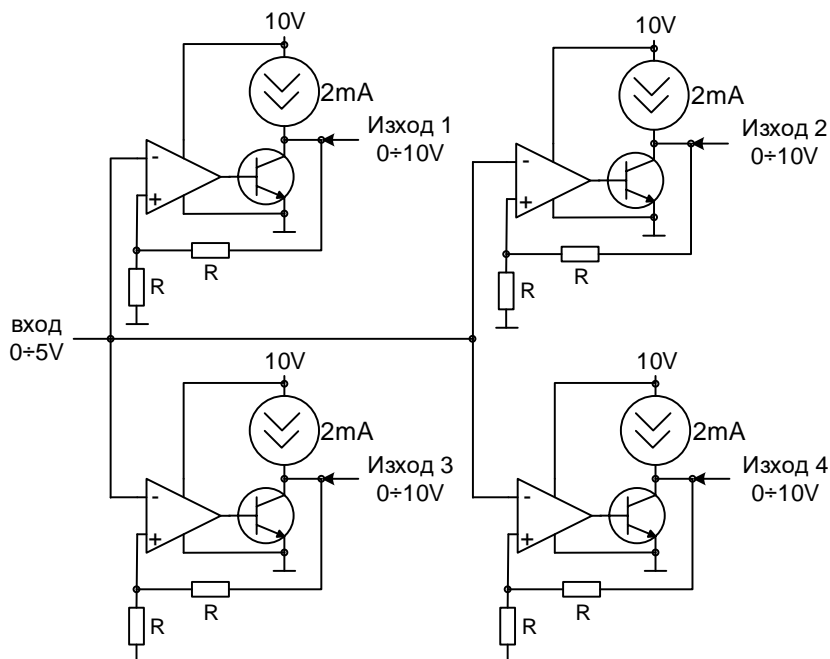


Фиг.5. Управляващ вход на електронен баласт

Поради избора да управляваме с напрежение управляващата система трябва да формира напрежен сигнал в диапазона  $0 \div 10V$  (реални стойности  $1 \div 10V$ ). При използване на микрокомпютър в управляващата система (УС) са възможни два начина за формиране на напрежени сигнали: с цифрово – аналогов преобразувател или с изход от ШИМ. Така се получава напрежен сигнал  $0 \div 5V$ , който трябва да се усили два пъти до  $0 - 10V$ . Блокова схема на двата вида преобразуване е показана на фиг. 6.

Фиг.6. Формиране на напрежен сигнал от  $\mu\text{C}$ 

Изходните усилватели трябва да могат да „всмукват“ ток от вън и съответно да са с  $x$  независими изхода според броя на управляващите линии. В нашият случай имаме четири изхода като примерната принципна схема е показана на фиг. 7.



Фиг.7. Примерна принципна схема на 4 усилвателя

Ако в една линия има максимум 100 осветителя с мощност 350W, при което всеки осветител е с по два баласта, максималният ток в управляващата линия ще бъде: 2 баласта  $\times$  100 осветителя  $\times$  0,1mA за баласт =  $2 \times 100 \times 0,1 = 20\text{mA}$ .

Оттук се получава, че всеки от изходите (входовете) на усилвателите трябва да „всмуква“ без проблеми ток до 20mA.

При схемно решение за усилвателите като на фиг.7. имаме независими изходи на всеки от усилвателите. Дори да се даде на късо някой от изходите, то това не би повлияло на работата на другите изходи.

## 5. ИЗВОДИ

Предложен е принцип за изграждане на система за димиране на големи групи осветители с управляеми баласта. Системата за димиране осигурява сигурност и безпроблемна работа на осветителите, като евентуална авария ще засегне само една част от осветителите захранени от съответния силов кръг.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Димируеми LED осветители: <http://www.osleder.com/01-10v-dimmable-led-tri-proof-lighting-pc-housing-1500mm-60w-6400lm-6000k/>
- [2] Драйвери за LED осветление: <http://www.meanwell-bg.com/index.php>
- [3] Тунелни осветители на Philips: <http://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/tunnel-and-underpass-lighting>

Иван Колев Ангелов, доц. д-р инж. катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, Електротехнически факултет; e-mail: [ivanang@tu-sofia.bg](mailto:ivanang@tu-sofia.bg).



СПОНСОРИ



ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН СИСТЕМЕН ОПЕРАТОР



ЧЕЗ ГРУП



РИСК ИНЖЕНЕРИНГ АД



Мини Марица-изток ЕАД  
Енергийна независимост и национална сигурност



ПРОФЕСИОНАЛНИ РЕШЕНИЯ В ЕНЕРГЕТИКАТА



„ЕЛЕКТРОСТРОЕЖИ“ АД, гр. ХАСКОВО

Хасково – 6300, ул. "Площадката Етимусов" №1, м.кв. 038/65261, б.квкс. 038/624725, e-mail: elektro@eajbzb.bg



„АЕЦ КОЗЛОДУЙ“ ЕАД



НАЦИОНАЛНА  
ЕЛЕКТРИЧЕСКА  
КОМПАНИЯ ЕАД

