



Технически Университет - София



**ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ
ФАКУЛТЕТ**

IV

**НАУЧНА
КОНФЕРЕНЦИЯ**

ЕФ 2012

Том 1

Созопол, 28 септември – 1 октомври 2012 г.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ТОМ 1

Секция - ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКАТА В ПАЗАРНИ УСЛОВИЯ -----	6
ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВКЛЮЧВАНЕ НА ДОПЪЛНИТЕЛНИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ ПОСРЕДСТВОМ СЪЩЕСТВУВАЩИ ВЛ-----	6
Васил Агапиев, Димо Стоилов -----	6
ИМПЕДАНСИ НА 25KV ТЯГОВИ МРЕЖИ С КЪСИ СЪЕДИНЕНИЯ ПРЕЗ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДЪГИ-----	11
Иван Ангелов, Петър Матов -----	11
ИЗСЛЕДВАНЕ ФАКТОРИТЕ ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ НАПРЕЖЕНИЕТО В ТОЧКИТЕ НА ПРИСЪЕДИНЯВАНЕ НА МАЛКИ ВОДНОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЦЕНТРАЛИ-----	21
Даниел Добрилов, Ангел Цолов-----	21
РЕГУЛИРАНЕ НИВОТО НА НАПРЕЖЕНИЕТО В ТОЧКИТЕ НА ПРИСЪЕДИНЯВАНЕ НА МАЛКИ ВЕЦ-----	31
Даниел Добрилов-----	31
МОДЕРНИЗАЦИЯ НА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНА УРЕДБА 825V ЗАХРАНВАЩА ТЯГОВИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ В „МЕТРОПОЛИТЕН“ ЕАД-----	37
Тодор Лалев -----	37
ИЗБОР НА ХАРДУЕР ЗА ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА СИГНАЛИТЕ В СИСТЕМА ЗА НЕПРЕКЪСНАТ КОНТРОЛ НА $tg\delta$ НА ПРОХОДНИ ИЗОЛАТОРИ-----	45
Велислава Райдовска, Петър Наков -----	45
ВЕРИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ЗАЗЕМИТЕЛНИ УРЕДБИ ПРИ ДВУСЛОЕН МОДЕЛ НА ПОЧВАТА-----	49
Георги Цонев Велев -----	49
МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА СИСТЕМАТА „ТЯГОВА МРЕЖА - ЕЛЕКТРИЧЕСКО ТРАНСПОРТНО СРЕДСТВО (ЕТС)”-----	61
Георги Павлов -----	61
МИКРОПРОЦЕСОРНА МНОГОКАНАЛНА СИСТЕМА ЗА ДИСТАНЦИОНЕН GSM КОНТРОЛ НА БИТОВИ КОНСУМАТОРИ-----	71
Георги Павлов, Радослав Кацов, Ивайло Ненов, Радка Васева-----	71
ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ВИСОКО ТЕМПЕРАТУРНИ НЕИЗОЛИРАНИ ПРОВОДНИЦИ С НИСЪК ПРОВЕС-----	78
Валентин Колев-----	78
ПЕРСПЕКТИВИ ЗА РАЗВИТИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА МРЕЖА 110 kV НА ГР.СОФИЯ-----	86
Валентин Колев-----	86
ИЗСЛЕДВАНЕ ИНТЕНЗИТЕТА НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОТО ПОЛЕ ПО ПОВЪРХНОСТТА НА ПРОВОДНИЦИТЕ НА ВЕЛ “Соколец” 400 kV-----	93

Валентин Колев-----	93
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОНТАКТНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ МЕЖДУ ШИНИ-----	99
Диан Маламов, Иван Хаджиев -----	99
КРАТКОСРОЧНО ПЛАНИРАНЕ НА РЕЖИМА НА КОНСУМАЦИЯ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА-----	106
Тонка Шаренкова, Богдан Гилев-----	106
КОРЕКЦИЯ НА КОЕФИЦИЕНТИТЕ НА ЕКРАНИРАНЕ НА ЗАЗЕМИТЕЛИ ЧРЕЗ СОФТУЕРНИ СИМУЛАЦИИ-----	114
Георги Цонев Велев -----	114
СТРУКТУРА НА ЗАГУБИТЕ НА МОЩНОСТ И ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ В РАЗЛИЧНИТЕ ЗВЕНА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА МРЕЖА -----	126
Гергана Кърджева-----	126
ИКОНОМИЧЕСКИ ОЦЕНКИ НА ИНВЕСТИЦИОННИЯ ПРОЦЕС, СВЪРЗАН С УВЕЛИЧАВАНЕ ПРЕНОСНАТА СПОСОБНОСТ НА ВЪЗДУШНИТЕ ЕЛЕКТРОПРОВОДИ-----	134
Валентин Колев-----	134
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА УВЕЛИЧАВАНЕ НА ПРЕНОСНАТА СПОСОБНОСТ НА ЕЛЕКТРОПРОВОДЕН ПРЪСТЕН 110 kV „ВАРНА – ДОБРУДЖА”-----	141
Валентин Колев, Георги Миков -----	141
ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ В ТОПЛОФИКАЦИОННИТЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЦЕНТРАЛИ-----	147
Иво Първанов, Андрей Крумов -----	147
ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОРОНЕН РАЗРЯД-----	154
Виктор Райчев, Данаил Дачев, Стефан Дечков, Елефтериос Пуртолидис, Петър Наков-----	154
LOAD CHARACTERISTICS AND THEIR INFLUENCE OVER THE ESTIMATES OF STABILITY AND TRANSIENT PROCESSES IN ELECTRICAL SYSTEMS-----	161
ЗАГУБА НА ЗАХРАНВАНЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА СОБСТВЕНИ НУЖДИ НА АТОМНА ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛА – ПРИЧИНИ, РИСКОВЕ, ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОГРАНИЧАВАНЕ НА ПОСЛЕДСТВИЯТА -----	171
Димитър Богданов -----	171
<i>Секция – ОСВЕТЛЕНИЕ</i> -----	181
ИЗМЕРВАНЕ НА СКОТОПИЧНА И МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ-----	181
Ангел Пачаманов-----	181
ОПТИМИЗАЦИОННИ МОДЕЛИ ЗА СПЕКТРАЛНА КОРЕКЦИЯ НА ФОТОПРИЕМНИЦИ ЧРЕЗ ПЪЛНО И ЧАСТИЧНО ФИЛТРИРАНЕ НА ПОТОКА-----	189
Ангел Пачаманов, Десислава Пачаманова -----	189
ФИЛТРИ ЗА СПЕКТРАЛНА КОРЕКЦИЯ НА ФОТОПРИЕМНИЦИ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ -----	199
Ангел Пачаманов, Димитър Павлов-----	199

АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ НА РАБОТНОТО И АВАРИЙНО ОСВЕТЛЕНИЕ В ЛОГИСТИЧЕН ЦЕНТЪР -----	208
Захари Иванов, Боян Георгиев-----	208
БИОДИНАМИЧНА ОСВЕТИТЕЛНА УРЕДБА В ДОМ ЗА ВЪЗРАСТНИ ХОРА-----	218
Захари Иванов, Божидар Гълъбов-----	218
СИСТЕМА ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДНЕВНА СВЕТЛИНА В ОФИС СГРАДИ -----	228
Вилиана Кисьова, Христо Василев -----	228
СПЕКТРАЛНА ДИАГНОСТИКА НА ПЛАЗМА ПОДДЪРЖАНА ОТ ПОВЪРХНИННА ВЪЛНА КАТО ИЗТОЧНИК НА СВЕТЛИНА -----	233
Магдалена Христова-----	233
КОМПИЛИРАНЕ НА МАСИВИ ОТ СВЕТЛОДИОДИ С РАЗЛИЧНИ ЦВЕТОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ -----	240
Камелия Николова -----	240
ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ВЪНШНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА БАЗА ПРОЕКТИРАНЕ ПО МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ-----	249
Ангел Пачаманов, Димитър Павлов-----	249
ТИПОВИ РЕШЕНИЯ И ОЦЕНКА НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ, ПРОЕКТИРАНО ПО МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ -----	261
Димитър Павлов, Ангел Пачаманов-----	261
ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАГУБИ В СВЕТОДИОДИ ПРИ ВКЛЮЧЕНО СЪСТОЯНИЕ-----	271
Симона Петракиева, Йордан Шопов, Галя Георгиева-Таскова-----	271
ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА СВЕТЛИНАТА ВЪРХУ ЧОВЕШКИЯ ОРГАНИЗЪМ -----	279
Захари Иванов, Божидар Гълъбов -----	279
МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ГОНИОФОТОМЕТЪР ЗА ВЪЗПРОИЗВЕЖДАНЕ НА ЕТАЛОНА ЗА СВЕТЛИНЕН ПОТОК В БЪЛГАРСКИ ИНСТИТУТ ПО МЕТРОЛОГИЯ-----	289
Красимир Велинов, Орлин Кишкилов, Христо Христов, Явор Рубенов, Николай Александров -----	289
УРЕД ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ-----	297
Ангел Пачаманов, Димитър Павлов-----	297
ПРИЛОЖЕНИЕ НА СВЕТОДИОДИТЕ В БИТОВОТО ОСВЕТЛЕНИЕ---	304
Милена Недева, Христо Василев, Ганчо Ганчев-----	304
ЕВРОПЕЙСКА ПОЛИТИКА В ОСВЕТИТЕЛНАТА ТЕХНИКА -----	312
Христо Василев, Ганчо Ганчев, Стефан Стефанов, Румен Киров-----	312
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СЪВМЕСТИМОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ОСВЕТИТЕЛИ-----	322
Стойо Платиканов, Петър Цвятков, Милко Йовчев-----	322
ФУНКЦИЯТА „ПОСТОЯНЕН СВЕТЛИНЕН ПОТОК”- НОВАТА ТЕХНОЛОГИЯ В СВЕТОДИОДНОТО УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ-----	332

Николай Бърдарски , Христо Василев -----	332
СВЕТОДИОДНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА ПЕШЕХОДНАТА ЗОНА НА БУЛЕВАРД ВИТОША -----	337
Ива Драганова, Вихър Комаров, Христо Василев-----	337
СВЕТОДИОДНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА НОВ БЪЛГАРСКИ УНИВЕРСИТЕТ -----	342
Ива Драганова, Христо Василев -----	342
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОПТИЧНИТЕ ЗАГУБИ НА СВЕТОДИОДНИ УЛИЧНИ ОСВЕТИТЕЛИ -----	348
Ива Драганова -----	348
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА УЛИЧНИ ОСВЕТИТЕЛИ С ПЛОСКО И ИЗПЪКНАЛО СТЪКЛО-----	354
Христо Василев, Вълчан Георгиев, Ива Драганова -----	354
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА СЛЪНЦЕНАСОЧВАЩИ ЩОРИ -----	361
Борислав Бойчев, Харалан Пенев, Вълчан Георгиев-----	361
ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОПТИМАЛНИЯ ЕКСПЛОАТАЦИОНЕН ФАКТОР ПРИ ВЪТРЕШНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ -----	365
Вълчан Герогиев, Христо Василев, Ива Петринска, Ива Драганова -----	365
ВЛИЯНИЕ НА ПОЖЪЛТЯВАНЕТО НА ЛЕЩАТА НА ОКОТО С ВЪЗРАСТТА ВЪРХУ ЯРКОСТНИТЕ ВЪЗПРИЯТИЯ ПРИ МЕЗОПИЧНО ЗРЕНИЕ-----	374
Станимир Стефанов -----	374
ПОЖЪЛТЯВАНЕ НА ЛЕЩАТА НА ОКОТО С ВЪЗРАСТТА, СПЕКТРАЛЕН СЪСТАВ НА СВЕТЛИНИТЕ ИЗТОЧНИЦИ И НИВА НА ОСВЕТЕНОСТ -----	382
Станимир Стефанов -----	382

СЕКЦИЯ - ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКАТА В ПАЗАРНИ УСЛОВИЯ**ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВКЛЮЧВАНЕ НА ДОПЪЛНИТЕЛНИ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ ПОСРЕДСТВОМ СЪЩЕСТВУВАЩИ
ВЛ****Васил Агапиев, Димо Стоилов**

Резюме: В доклада е описана възможността за включване на допълнителен електроенергиен източник (ДЕЕИ) директно към мрежата посредством съществуваща въздушна електропроводна линия (ВЛ). Изследван е електромеханичният ресурс на ВЛ и е указана последователността на проверките при включване на ДЕЕИ с акумулиране посредством съществуваща ВЛ.

Ключови думи: токово натоварване, механичен провес

**POSSIBILITIES FOR CONNECTION OF ADDITIONAL ELECTRIC
POWER SOURCES TO EXISTING OVERHEAD ELECTRIC POWER LINES****Vasil Agapiev, Dimo Stoilov**

Abstract: In this paper the possibility for direct connection of additional electric power source to the network by means of an existing overhead electric power line is analyzed. The electro-mechanical capabilities of the line are studied and estimated. The cases like the studied one are frequent in the design practice. On the basis of the example, a methodological checking calculations sequence for direct connection of additional electric power sources with storage capabilities to existing overhead electric power lines is established and outlined.

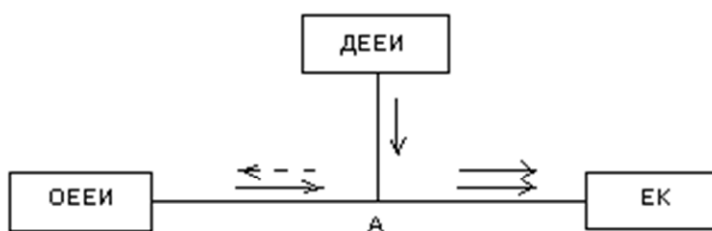
Key words: conductor current loading, conductor sag

1. Въведение

Задълбочаващото се изграждане на допълнителни електроенергийни източници (ДЕЕИ), основаващи се на ветро- или хидрогенератори, фотоволтаици, ко-генерация и др., поставят въпроса за най-икономичното им присъединяване към електроенергийната система на страната. ДЕЕИ с големи мощности по принцип са извън населените места, като в близост до тях най-често преминават разпределителни въздушни електропроводни линии (ВЛ) за средно напрежение (СрН) или високо напрежение (ВН), съответно за 20kV или 110kV. Сляпо отклонение от такава ВЛ би било и най-естественият начин за пряко свързване на съответния ДЕЕИ към електроенергийната мрежа. В тази връзка представлява интерес изследването на условието за възможност и дали конкретната ВЛ би могла да пренесе допълнителен електроенергиен поток.

2. Същинска част

Възможното свързване на ДЕЕИ чрез сляпо отклонение към съществуваща ВЛ е приведено на фиг.1, като със стрелки са указани електроенергийните потоци. При неизменно потребление от електроконсуматорите (ЕК) намаляването на подаваната енергия от основния електроенергиен източник (ОЕЕИ) за сметка на тази от ДЕЕИ се илюстрира с прекъснатата стрелка от т.А до ОЕЕИ. Свързването на ДЕЕИ към ВЛ става на конкретен стълб, като същият следва да бъде опъващ или съответно подменен с такъв.



Фиг.1. Схема на свързване на допълнителен електроенергиен източник към съществуваща ВЛ

В най-често срещания случай на присъединяване на СрН или ВН, за да се осъществи подаването на електроенергия от ДЕЕИ към мрежата, напрежението при ДЕЕИ се сфазира с това на мрежата и се поддържа по-голямо по модул от същото в точката на присъединяване към съществуващата линия.

Принципът на такова включване на ДЕЕИ е възпроизведен с разработения в КЕЕ към ТУ лабораторен модел, имитиращ работата на ветроелектрогенератор, свързан към електрическата мрежа [1].

Вятърната турбина с променливи обороти на вала се представя с регулируем постоянен ток двигател, куплиран със синхронен генератор (алтернатор за автомобил „Лада“). Възбуждането на генератора се взема от захранваната мрежа, а изходното му напрежение се изправя и подава на входа на сфазизиран с напрежението на мрежата инвертор. Напрежението след инвертора, подавано към мрежата, се поддържа по модул по-голямо от мрежовото. Постига се с изменение на входното напрежение на инвертора чрез регулиране на възбудителния ток на генератора. Това е и условието, при наличие на първичен механичен ресурс, да може да се отдава електроенергия към мрежата.

При присъединяване към мрежа СрН или ВН напрежението след ДЕЕИ може да се поддържа и със съответно фазово изместване, с което да се регулира режимът по реактивна мощност.

Енергията, постъпваща от ДЕЕИ директно, има силно изразен променлив характер и обикновено не може да бъде предпоставка за разширено

електропотребление. Основният ефект е намаляването на дяла от ОЕЕИ, което води до съответните екологични и косвени икономически ползи. Следователно при постоянно потребление от ЕК токовото натоварване на ВЛ след включения ДЕЕИ (на фиг.1 от т.А до ЕК) не надвишава предварително проектираното и не променя режима ѝ на работа.

Перспективен интерес представляват ДЕЕИ с възможност за акумулиране, характерно за фотоволтаичните системи и препоръчително за останалите. Такива ДЕЕИ позволяват програмируемо подаване на електроенергия в мрежата, удовлетворяващо включването на нови ЕК, и в такива случаи може да се получи повишено токово натоварване на ВЛ след включените ДЕЕИ.

За всяка ВЛ поотделно се дефинират допустимо токово натоварване и максимални механични провеси в междустълбията. Първото се определя от допустимото за проводниците нагряване в диапазона над приетата за България максимална температура на околната среда (40°C) и допустимата такава за клемните връзки (70°C). Провесите пък се определят от задължителните електрически габарити спрямо земята и наземните съоръжения [2].

Максималните провеси за дадена ВЛ в зависимост от изчислената критична температура ($t_{кр}$) се получават при лед без вятър или при максимална околна температура (t_{max}) [3]. Същите за 20kV и 110kV се приемат с резерв +0,5m при запазване на необходимите електрически габарити под проводниците. Това означава, че се допуска допълнително провисване на ВЛ на +0,5m, което от своя страна, както ще се види по-долу, позволява значително токово натоварване на линиите.

Сеченията на проводниците за ВЛ за СрН и ВН се избират по условието за икономична плътност на тока. Последната, отчетена от [3] с интерполация за цена на електрическата енергия 0,2лв/kWh и годишна използваемост на максималния товар 3000h, е съответно $1,1\text{A}/\text{mm}^2$ за ВЛ за СрН и $0,8\text{A}/\text{mm}^2$ за ВЛ за ВН. Този фактор определя приблизителните работни токове ($I_{раб}$) за съответните сечения – АС $25\div 95\text{mm}^2$ за ВЛ 20kV, и АС $120\div 185\text{mm}^2$ за ВЛ 110kV. Тези токове се съпоставят с допустимите по нагряване ($I_{доп}$) съгласно [3] – табл.1. Както се вижда, работните токове са 3-4 пъти по-малки от допустимите по условието за нагряване.

Таблица 1. Работни и допустими по нагряване токове

АС, mm^2	25	35	50	70	95	120	150	185
$I_{раб}$, А	28	39	55	77	105	96	120	148
$I_{доп}$, А	130	175	210	265	330	380	445	510

В резултат от протичоция ток проводникът се нагрява от изходната околна температура до температурата на топлинното равновесие. В този случай количеството топлина, съхранено в проводника, се изчислява по формулата:

$$Q = c.m.\Delta T, \quad (1)$$

където c е специфичният топлинен капацитет на материала;

m – масата на проводника;

ΔT - температурната разлика от изходната до установената крайна температура.

Доколкото s и m са постоянни величини, количеството топлина Q е пропорционално от една страна на температурната разлика ΔT , а от друга, съгласно закона на Джаул-Ленц, на квадрата на тока в проводника I^2 .

Оттук при допустим ток $I_{\text{доп}}$ и температурна разлика $\Delta T_{\text{доп}} = 70 - 40 = 30^\circ\text{C}$ новата температурна разлика при работен ток $I_{\text{раб}}$ ще бъде:

$$\Delta T_{\text{раб}} = 30 \cdot I_{\text{раб}}^2 / I_{\text{доп}}^2, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (2)$$

т.е. незначителна, например за АС-95 - $3,04^\circ\text{C}$.

Решавайки основното уравнение за състоянието на проводника [3] за случая с максимално провисване при нагряване (минимално ледообразуване и максимален провес при $t_{\text{max}} = 40^\circ\text{C}$):

$$\sigma_n - \gamma_n^2 \cdot l_r^2 \cdot E / 24 \cdot \sigma_n^2 = \sigma_m - \gamma_m^2 \cdot l_r^2 \cdot E / 24 \cdot \sigma_m^2 - \alpha \cdot E (t_n - t_m), \quad (3)$$

където напрежението σ_m , товарът γ_m и температурата t_m са за $t_{\text{max}} = 40^\circ\text{C}$ и са известни, определяме неизвестните напрежения σ_n при същия γ_n и новата $t_n = 40 + \Delta T_{\text{раб}}$, а оттук и новите провеси

$$f_n = \gamma_n \cdot l_r^2 / 8 \cdot \sigma_n; \quad (4)$$

например за АС-95 – с $0,069 \text{ m}$ над проектирания максимален, т.е. далеч под предвидения резерв от $+0,5 \text{ m}$.

При ДЕЕИ с възможност за акумулиране, позволяващо управление на отдаваната пълна мощност, може да се разчита на постоянна допълнителна мощност в определени часове от денонощието и съответно включване на допълнителни ЕК. В този случай по ВЛ след ДЕЕИ ще протича допълнителен електроенергиен поток, който трябва да е в рамките на електромеханичния ресурс на ВЛ.

За целта, преди включването на ДЕЕИ към ВЛ, трябва да се извършат следните проверки:

1. На база акумулираната за денонощие електроенергия в ДЕЕИ се определя максимално възможната отдавана мощност в определен час от денонощието.

2. Изчислява се максималният работен ток по ВЛ $I_{\text{раб}} < I_{\text{доп}}$ и с урavn.(2) се определя $\Delta T_{\text{раб}}$.

3. За ВЛ с малко ледообразуване (съответно $t_{\text{кр}} \leq t_{\text{max}}$) $\Delta T_{\text{раб}}$ се добавя към $t_{\text{max}} = 40^\circ\text{C}$, получава се новата $t_n = 40 + \Delta T_{\text{раб}}$ и с нея съгласно урavn.(3) се изчислява новото напрежение σ_n . С това напрежение съгласно (4) се изчислява новият провес f_n и се сравнява с проектирания максимален $+0,5 \text{ m}$ резерв.

4. За ВЛ с изразено ледообразуване ($t_{\text{кр}} > t_{\text{max}}$) максималният провес е при $t = -5^\circ\text{C}$ с лед без вятър и при $t_{\text{max}} = 40^\circ\text{C}$ провесът f_n по принцип ще е по-малък, респективно изчисленото напрежение σ_n - по-голямо от това по т.3. След

това, действайки по алгоритъма от т.3, се изчислява вече новият провес f_n , по-малък от този по т.3, и също се сравнява с проектирания максимален +0,5m резерв. В този случай новият провес обикновено дори не достига масималния.

5. При положение, че новият провес надхвърля проектирания максимален + 0,5m резерв, следва да се предприемат конкретни технологични мерки – допълнително натягане на проводниците при възможност, разместване на стълбове или поставяне на нов носещ стълб в средата на най-заstraшения участък.

3. Заключение

Директното включване на ДЕЕИ към електрическата мрежа посредством съществуващи ВЛ е икономически ефективно и напълно възможно при поддържане при съответния ДЕЕИ на напрежение, синхронизирано с мрежовото и по-голямо по модул от това в точката на присъединяване. Напрежението при ДЕЕИ може да бъде сфазирено с мрежовото или фазово изместено спрямо него с цел регулиране и на режима по реактивна мощност.

За ДЕЕИ без възможност за акумулиране отдаваната електроенергия води до преки екологични и косвени икономически ползи, но поради променливия характер на производството не предполага разширяване на ЕК. С това режимът на работа на ВЛ след присъединените ДЕЕИ не се променя.

При ДЕЕИ с междинно акумулиране съществува възможност за управляемо отдаване в мрежата на натрупаната за денонощието електрическа енергия, което и позволява разширяване на ЕК. Ще се увеличи и токовото натоварване на ВЛ след присъединените ДЕЕИ, за което е необходимо да бъдат извършени съответните проверки. На практика електромеханичният ресурс на ВЛ позволява пряко включване към линиите на ДЕЕИ със значителни електрически мощности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Агапиев В., В. Гургулицов, В.Василев, И. Ангелов, В. Иванов. Модел на система за гъвкаво включване на малък електрогенератор към енергийната мрежа. – Сб. доклади "Тенденции в развитието на индустриалните системи и технологии", Благоевград, ЮЗУ, 2010, стр. 61-66.
- [2] Наредба № 3/09.06.2004 г. за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии. С., Блестящ факел, 2005.
- [3] Агапиев В., Д.Пенкова. Проектиране на електроразпределителни мрежи и уредби. С., Техника, 1994.

Автори:

д-р инж. Васил Агапиев – доцент в катедра “Електроенергетика и автоматика”(ЕЕА) на КЕЕ, email: v_agapiev@tu-sofia.bg ,

д-р инж. Димо Стоилов - доцент в катедра „Електроенергетика”(ЕЕ) на ЕФ, e-mail: dstoilov@tu-sofia.bg

ИМПЕДАНСИ НА 25KV ТЯГОВИ МРЕЖИ С КЪСИ СЪЕДИНЕНИЯ ПРЕЗ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДЪГИ

Иван Ангелов, Петър Матов

Резюме: Чрез компютърна симулация на моментното поведение на параметрите на тягова мрежа с къси съединения през електрически дъги са събрани количествени резултати за влиянието им върху импеданса на веригата. Проследено е въздействието на измененията във формата и големината на напрежението на късо съединение върху изчислявания импеданс при отдалечаване на повредата от шините на захранващата подстанция. Изследването ще спомогне за подобряване на алгоритмите на цифрови импедансни защиты и указатели на разстояния до мястото на късо съединение в ситуации с преходни процеси в нелинейни вериги.

IMPEDANCES OF 25 kV TRACTION OVERHEAD LINES THROUGH ELECTRIC ARCS

Ivan Angelov, Petar Matov

Abstract: By computer simulation of the behavior of the instant parameters of the traction network short circuits through electric arcs are collected quantitative results for their impact on the impedance of the circuit. It also reveals changes in the shape and size of short circuit when the fault moving away from the power substation. The study will help to improve the algorithm of digital impedance protection and pointers of distances to the location of fault when transient processes occur in nonlinear circuits.

1. Въведение

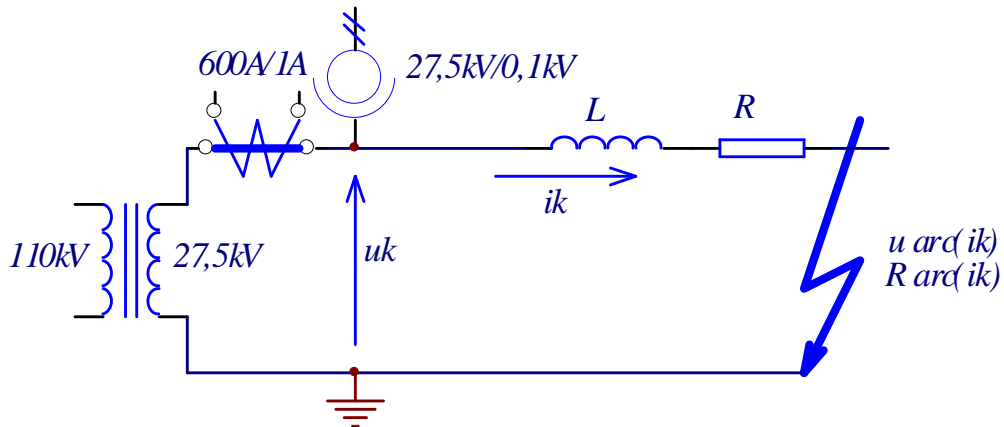
Значителен брой къси съединения в тяговите мрежи за променлив ток се дължат на краткотрайни нарушения на изолационните разстояния между проводниците на контактната мрежа и близките заземени части. Причините са люлеещи се клони, растящи ледени образувания при входовете на тунели, замърсяване на изолятори и др. Характерно за аварийното състояние е както естествената му преходност, така и случайността в неговата повтораемост. Голяма част от късите съединения протичат през мощна, открита електрическа дъга, която сама отстранява физическия причинител за известно време. Релейната защита в тяговата подстанция сработва от тока на късо съединение през дъгата, съответният извод бива изключен, а повторното му включване, след такова преходно късо съединение, обикновено се извършва успешно.

Съвременните цифрови импедансни/дистанционни релейни защиты и специализирани устройства/указатели са снабдени с функция за изчисляване на разстоянието до мястото на късо съединение по параметрите на аварийния режим. Параметри на аварийния режим са тока и напрежението на веригата с

късо съединение, които зависят от импеданса на същата верига. Слабата нехомогенност (слабата разклоненост) на контактните мрежи предполага линейна зависимост на техния импеданс (при металически къси съединения) от разстоянието. Този факт се използва за изчисляване, бързо намиране на повредите и тяхното отстраняване (или заобикаляне - при оперативна необходимост).

Проблем

Във веригата с късо съединение участват напрежението $u_{arc}(ik)$ и нелинейното съпротивление $R_{arc}(ik)$ на електрическата дъга – фиг.1.



Фиг.1 Заместваща електрическа схема със съсредоточени параметри на контактна мрежа с късо съединение

Моментната стойност u_K на напрежението на шините на подстанцията се описва от уравнение (1)

$$u_K = L \frac{di_K}{dt} + [R + R_{arc}(i_K)]i_K + u_{arc}(i_K). \quad (1)$$

Токът i_K на късо съединение се определя от приведеното напрежение u'_{110} на идеалния източник:

$$u'_{110} = \left(L + \frac{X_{TR}}{\omega} \right) \frac{di_K}{dt} + [R + R_{arc}(i_K)]i_K + u_{arc}(i_K), \quad (2)$$

където X_{TR} е импеданс на разсейване на тяговия трансформатор, а ω – мрежовата честота.

Без участието на дъгата с нейните $u_{arc}(ik)$ и $R_{arc}(ik)$, диференциалното уравнение (1) има класически вид:

$$u_K = L \frac{di_K}{dt} + Ri_K. \quad (3)$$

Елементите, чиито мерки обикновено се приемат за пропорционални на разстоянието l_K до мястото на късо съединение, с или без дъга, са индуктивното съпротивление $X = \omega L$ и активното съпротивление R на контактната мрежа. Импедансът Z_K на веригата с “глухо” късо съединение, т.е. без дъга, е с големина

$$Z_K = \sqrt{(\omega L)^2 + R^2}. \quad (4)$$

Еквивалентният импеданс Z_{Karc} на същата верига, но през дъга, се изчислява чрез измерените ефективни стойности на напрежението U_K на шините на тяговата подстанция и на тока I_K на късо съединение

$$Z_{Karc} = U_K / I_K \quad [\text{Ohm}]. \quad (5)$$

Параметрите на дъгата $u_{arc}(ik)$ и $R_{arc}(ik)$, зависещи от големината и формата на тока, деформират и тока на късо съединение, и напрежението на шините на тяговата подстанция. Деформирани, те имат ефективни стойности на еквивалентните синусоидални величини, които се използват в (5). С тези разсъждения, а също така от (1) и (3) може да се стигне до извода, че в нелинейните вериги при наличие на дъга, напрежението на късо съединение е по-голямо, токът на късо съединение е по-малък, а еквивалентният импеданс - по-голям отколкото при «металическо» късо съединение:

$$Z_{Karc} > Z_K \quad [\text{Ohm}]. \quad (6)$$

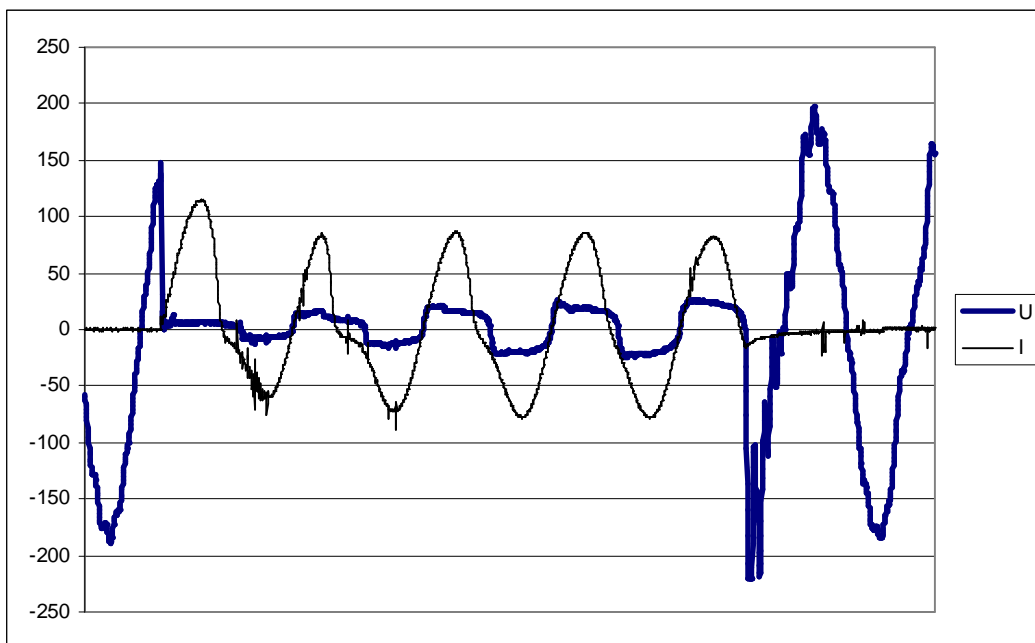
С приетия за константа линеен импеданс на контактната мрежа $z_0 = \text{const}$ [Ohm/km] и получаваното разстояние l_{Karc} [km]

$$l_{Karc} = Z_{Karc} / z_0 \quad (7)$$

ще бъде по-голямо, в сравнение с разстоянието l_K [km]

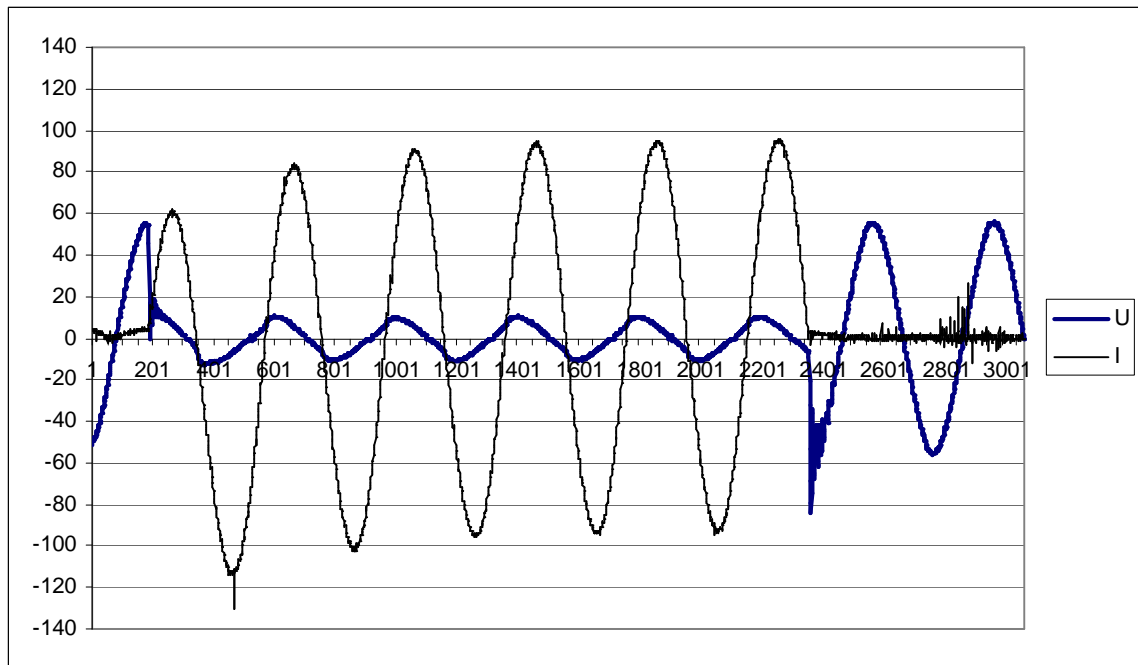
$$l_K = Z_K / z_0 \quad (8)$$

при металически къси съединения, случили се на същото място. Търсенето на повредата, при преходните къси съединения, се компрометира, а отстраняването на причината за бъдещи аварии се затруднява. Въпреки изтъкнатия недостатък, показаният алгоритъм за изчисляване на разстояния до мястото на къси съединения е намерил широко практическо приложение в цифровите релейни защиты за изводи в тягови подстанции за променлив ток [1], както и в цифрови указатели за мястото на късо съединение [2].



Фиг.2 Осцилограма на напрежението (плътната линия) и на тока (пътнката линия) във времето при близко (по-малко от 0,1 km) късо съединение на извод „Елдепо“ (до оградата в ТПС „Илиянци“)

На осцилограмите на фиг. 2 и на фиг.3, получени при реални къси съединения през дъга, е демонстрирана значителната деформация на напрежението. При близкото до измервателната апаратура късо съединение, напрежението е с трапецовидна форма, а при по-далечното – значително по-близко до синусоида. На фиг.2, в периода преди изводът да бъде изключен,



Фиг.3 Осцилограма на напрежението (плътната линия) и на тока (по-тънката линия) във времето при недалечно (на около 2 km) късо съединение на извод „Мизия“ в ТПС „Кръстец“

няма дефазирание между тока и напрежението – факт, който е характерен при електрически дъги. На фиг.3 се наблюдава нормалното, при участие на контактната мрежа, дефазирание от $50^{\circ} \div 70^{\circ}$. Формата на тока на фиг.2 се различава силно от синусоидалната, а причината е в насищането на токовия измервателен трансформатор. Проблемите на наситените токови трансформатори, честотните свойства на напреженовите трансформатори и влиянието на аperiодичната съставка в тока са обекти на други разработки.

Очевидна е необходимостта от количествено изследване на участието на откритата електрическа дъга върху точността на алгоритъма за определяне на разстоянието до мястото на късо съединение по параметрите на аварийния режим. Изработката на установка за натурни измервания в реални условия, за многократни повторения на изкуствени къси съединения, с и без дъга, е съпроводена от значителни организационни и технически затруднения. Тези обстоятелства налагат параметрите на аварийния режим да се симулират на компютърен модел на нелинейната верига от фиг.1.

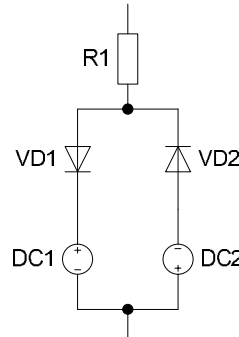
Решения

1. Заместваща електрическа схема на мощна електрическа дъга

От литературния преглед [5, 6, 7 и др.] се вижда, че най-често се прилага схема с два идеални диода (VD1, VD2) и два идеални източника (DC1, DC2) на

постоянно напрежение, съединени последователно-паралелно - фиг. 4. Резисторът $R1$, включен към тази комбинация, е приложен при моделиране на „високо импедансни“ къси съединения.

В случаите с мощни дъги (с малко собствено съпротивление), резисторът $R1$ може да бъде пренебрегнат или да бъде включен като съставка



Фиг.4 Заместваща електрическа схема на маломощна електрическа дъга

на импеданса на контактната мрежа. Чрез промяна на стойностите на напреженията на двата постояннотокови източници, схемата позволява поотделно модулиране на трапецовидното във всеки полупериод напрежение на електрическата дъга. От друга страна, напрежението на дъгата U_{arc} е пропорционално на електрическата напрегнатост E_{arc} и дължината на дъгата l_{arc} :

$$U_{arc} = E_{arc} l_{arc} \quad (9)$$

За целите на изследването тук е удобно да се избере една от двете (използвани и в [4]) електрически напрегнатости E_{arc} по дължина на дъгата. Първата е с постоянна големина $E_{arc} = 1200 \div 1500 [V/m]$, а втората е функция на големината I на протичащия ток $E_{arc} = 950 + 5000/I [V/m]$. От формулата се вижда, че влиянието на тока става забележимо едва при стойности под $100 A$, т.е. за случаи, които са предмет на други изследвания. Така, за дъгата U_{arc} между електроди с разстояния от $0,1$ до 3 метра, се получава един широк диапазон от напрежения:

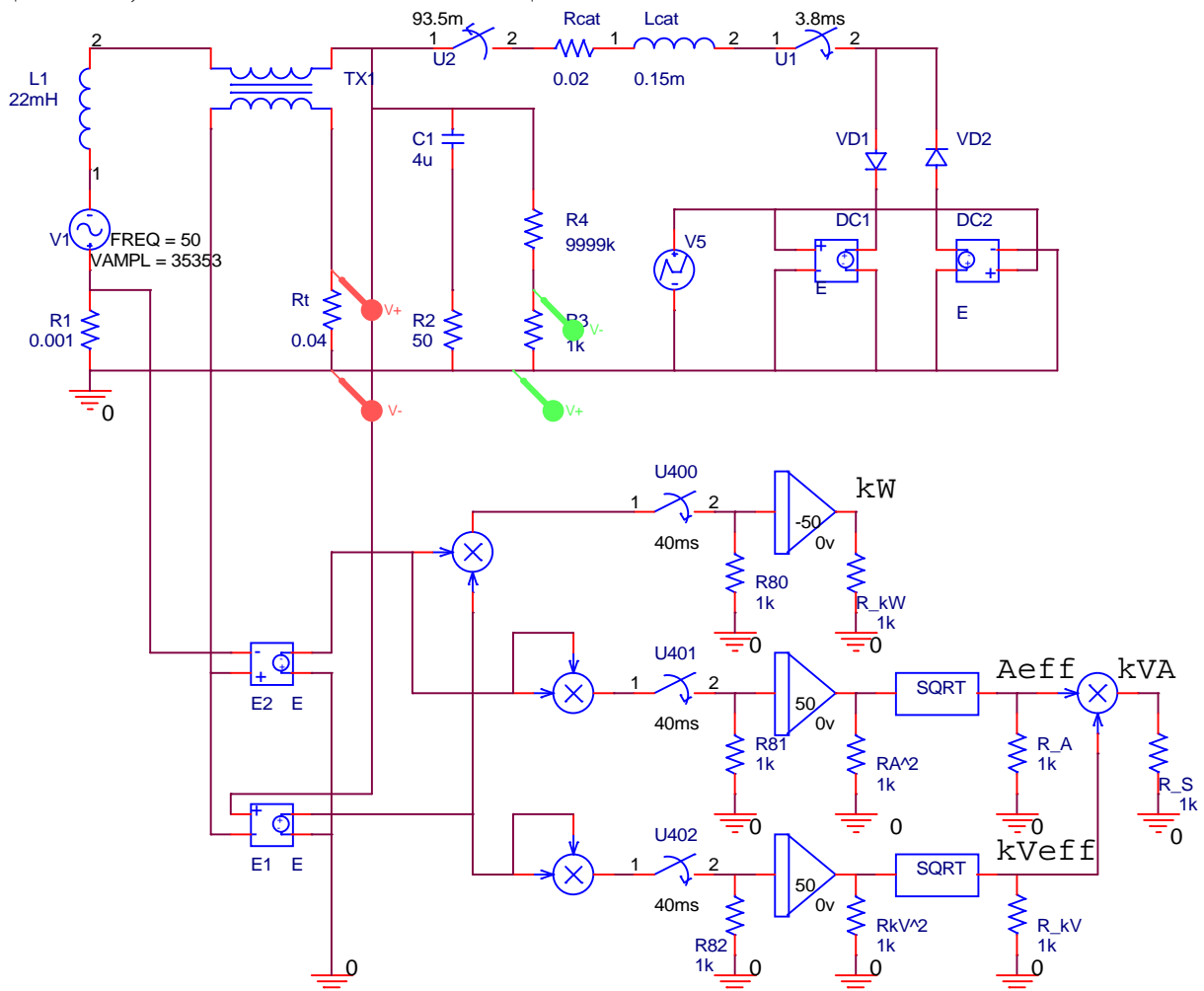
$$U_{arc} = E_{arc} l_{arc} = (950V/m \div 1500V/m) \cdot (0,1m \div 3m) = 95V \div 4500V. \quad (10)$$

2. Електрическа схема на модел за компютърна симулация на нелинейната верига на контактна мрежа с късо съединение през електрическа дъга

Схемата на модела за компютърна симулация на контактна мрежа с късо съединение през електрическа дъга е показана в горната част на фиг.5. Управляваните чрез генератор на стъпално изменяемо напрежение $V5$ идеализирани източници $DC1$ и $DC2$ (заедно с диодите $VD1$ и $VD2$) конкретизират модела на дъгата, отговарящ на идеята от фиг.4. С елементите L_{cat} и R_{cat} се моделират съставките на импеданса на контактната мрежа, с L_I – индуктивността на разсейване на тяговия трансформатор, а с V_I – приведеното напрежение на енергийната система. Началният момент на късото съединение през дъга се определя от закъснението на включване на контакта U_I . За

изключване на късо съединение е предвиден контактът U_2 . Елиминирането на дъгата (равносилно на металическо късо съединение) се получава при нулево напрежение от генератора V_5 .

Останалата част от фиг.5 съдържа изолиращи преобразуватели на напрежение $E1$ и $E2$, умножители, интегратори и два блока за коренуване $SQRT$. Чрез подходящ избор на техните предавателни коефициенти се получават ефективните стойности на тока A_{eff} и на напрежението kV_{eff} на късо съединение, както и на неговите мощности – активна kW и пълна kVA .

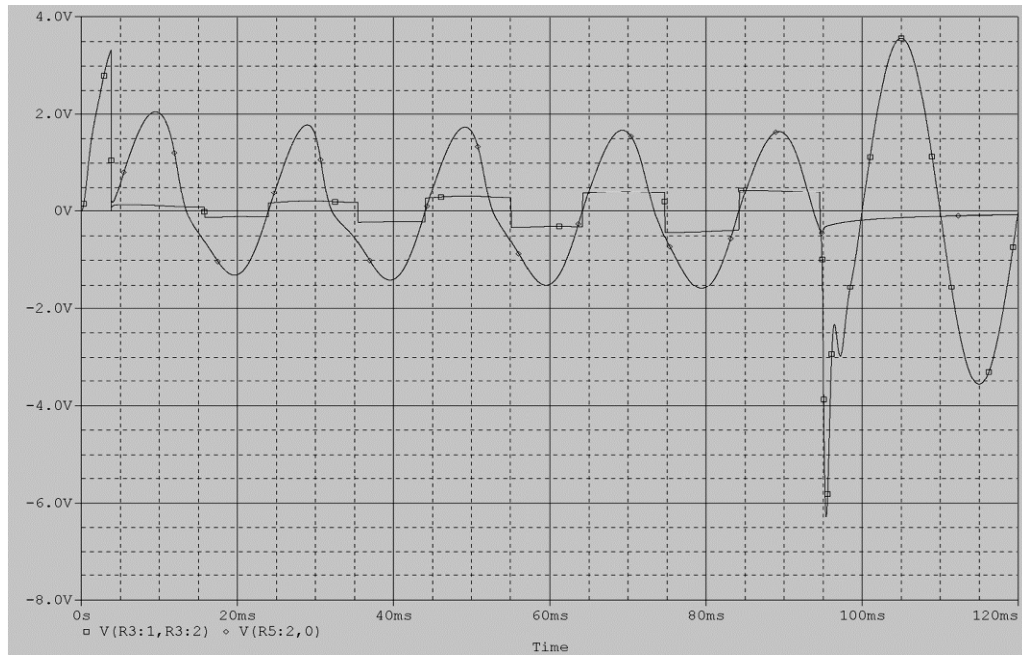


Фиг.5. Схема на модел за компютърна симулация на контактна мрежа с късо съединение през електрическа дъга и за измерване на характеризиращите дъгата параметри

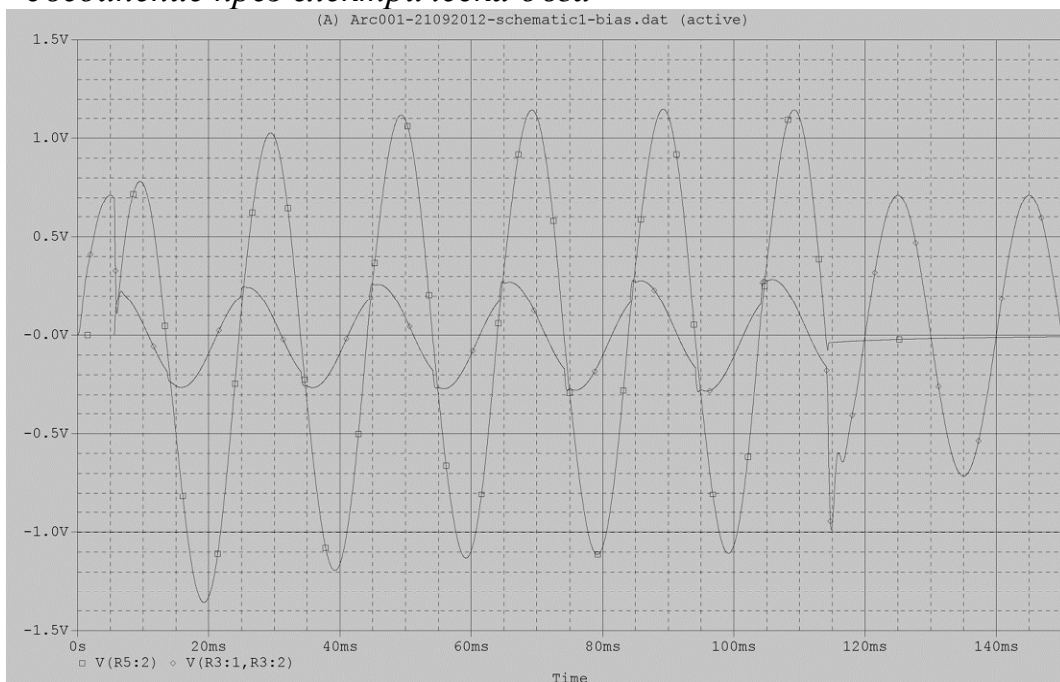
3. Верификация на модела

Характерните параметри, измервани в модела на фиг.5, съответстват на параметрите, с които работят цифровите импедансни защиты и цифровите указатели на мястото на късо съединение. Точно количествено сравнение между резултатите от компютърния модел и от цифровата апаратура тук не се прави, поради необходимост от преустройства (хардуерно и софтуерно) за текущо извеждане на междинна информация от намиращи се в експлоатация

сериенно произведени изделия. Тук се приема, че съответствието между осцилограмите (на фиг.2 с фиг.6 и на фиг.3 с фиг.7) на тока и напрежението от модела и на аналоговите входове на един цифров указател е достатъчно добро. Предполага се още, че изчислителната част от схемата на компютърния модел не внася допълнителни грешки и той може да бъде използван за оценка на алгоритми, използващи импеданса по време на аварийния режим за определяне на разстоянието до мястото на късо съединение в тягови мрежи за променлив ток.



Фиг.6. Осцилограма на ток и напрежение, получена на модела за компютърна симулация на контактна мрежа, при близко късо съединение през електрическа дъга



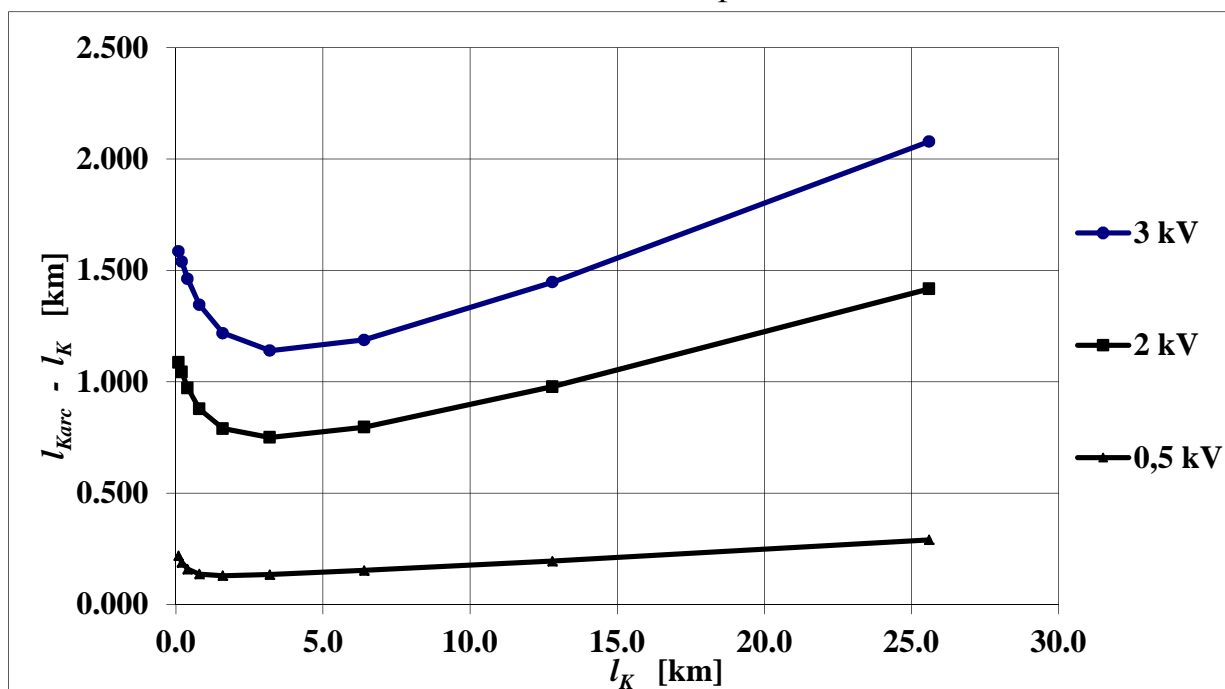
Фиг.7. Осцилограма на ток и напрежение, получена на модела за компютърна симулация на контактна мрежа, при недалечно късо съединение през електрическа дъга

Резултати

Компютърните симулации на къси съединения са направени с модела на контактна мрежа от фиг.5. Чрез промяна на стойностите на съпротивлението R_{cat} и индуктивността L_{cat} на контактната мрежа са моделирани различни разстояния (0,1÷25 km) до късо съединение, а чрез големината на напрежението на източника V_5 – дължините на електрическите дъги, през които то се реализира. Избраните числа на фигурата съответстват на линеен импеданс със средна стойност $z_0 = 0,511 \text{ Ohm/km}$ и разстояние 0,1 km. Напреженията на дъгите са съответно 500V - за къса (~0,5m), 3000V – за дълга (>2m) и 1800-2000V – за бързо разтягаща се дъга (1~1,5m). Ефективните стойности на тока и напрежението са изчислени за период, започващ в 40-тата милисекунда и завършващ в 60-тата след възникване на късо съединение без апериодична съставка. Големините на отклоненията

$$l_{Karc} - l_K = f(l_K). \quad (11)$$

на изчислените разстояния до местата на късо съединение през дъга спрямо зададените действителни места са показани на фиг.8:



Фиг.8. Зависимост на разликата между изчисленото разстояние l_{Karc} до място на късо съединение през къса (0,5 kV), средна (2 kV) и дълга (3 kV) електрически дъги и зададеното разстояние l_K до там

4. Заключение и коментари

Резултатите от количественото изследване на участието на откритата електрическа дъга върху точността на алгоритъма за определяне на разстоянието до мястото на късо съединение по параметрите на аварийния режим водят до следните изводи:

1. Отклоненията в разстояние са незначителни за защитната функция и за действието на цифровите импедансни/дистанционни релета.

2. Отклоненията в разстояние са с големина до 2 километра и, от практическа гледна точка, са съществени за показващи устройства, към които изискването за точност/разделителна способност е 1 km.

3. Отклоненията в разстояние имат минимум при къси съединения, намиращи се в диапазона 1÷3 километра от подстанцията. Въпреки минимума, разликата не става толкова малка, че да бъде пренебрегвана.

4. Грешките може да бъдат редуцирани, ако за изчисленията се използват данни за напрежението и тока на късо съединение, измерени при къса дъга, веднага след възникването ѝ и преди естественото ѝ разтегляне. Тази възможност е в противоречие със затихването на апериодичната съставка на тока, заради проблемите създавани от нея както в изчислителния алгоритъм, така и в насищането на измервателните токови трансформатори.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ангелов Ив., Алгоритъм на работа на импедансно реле за тягови мрежи 25 kV, Годишник на ТУ-София, том 60, кн.2, 2010, стр.199-203.
- [2] Матов П., Ив.Ангелов, Изчислителен алгоритъм за указатели на мястото на късо съединение през електрическа дъга, сп."Железопътен транспорт" N3, С., 2000г. стр.29-30.]
- [3] Nagy Ibrahim Elkalashy, MODELING AND DETECTION OF HIGH IMPEDANCE ARCING FAULT IN MEDIUM VOLTAGE NETWORKS, Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology Department of Electrical and Communications Engineering Power Systems and High Voltage Engineering, Espoo 2007. page 15-17.
- [4] Terzija Vl., H.-J. Koglin, On the Modeling of Long Arc in Still Air and Arc Resistance Calculation, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, Vol.19, No.3, July 2004, pages 1012-1017.
- [5] Naser Zamanan, Jan K. Sykulski, Modeling an arcing high impedances fault Based on the physical process involved in the arc, Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Power Systems, Lisbon, Portugal, September 22-24, 2006, pp. 28-33.
- [6] Khorashadi Zadeh, An ANN-Based High Impedance Fault Detection Scheme: Design and Implementation, International Journal of Emerging Electric Power Systems, Volume 4, Issue 2, 2005, Article 1
- [7] Alen Bernadic, Zbigniew Leonowicz, Fault location in power networks with mixed feeders using the complex space-phasor and Hilbert–Huang transform, Electrical Power and Energy Systems 42, (2012), page 208-219
- [8] Ангелов Ив., П.Матов, Установка за контролируемо разтегляне на открити електрически дъги в контактни мрежи 25 kV, Годишник на ТУ-София, том 59, кн.1, 2009 стр.144-150.

Автори:

Иван Колев Ангелов, гл.ас., кат. „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”;

Петър Иванов Матов, д-р, доцент, кат. „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”.

ИЗСЛЕДВАНЕ ФАКТОРИТЕ ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ НАПРЕЖЕНИЕТО В ТОЧКИТЕ НА ПРИСЪЕДИНЯВАНЕ НА МАЛКИ ВОДНОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЦЕНТРАЛИ

Даниел Добрилов, Ангел Цолов

Резюме: Целта на настоящото изследване е да се направи анализ на причините, водещи до повишение на напрежението в точките на присъединяване на малки водноелектрически централи (ВЕЦ). Чрез математически модел на мрежата 20kV, свързаните към нея генериращи източници и консуматори се изчислява напрежението на шини 20 kV във ВЕЦ, при различни конфигурации и режими на електрическата мрежа. На база изследването се правят изводи и препоръки за намаляване нивото на напрежението до стойности позволяващи включване и оставане на централата в паралел с електроенергийната система (ЕЕС).

STUDY OF FACTORS AFFECTING TENSION IN THE POINT OF CONNECTION OF SMALL SCALE HYDRO

Daniel Dobrilov, Angel Tzolov

Abstract: The purpose of the present study is to analyze the reasons leading to increased voltage magnitudes in the connection points of small hydro power plants. Through numerical modeling of the 20kV network and connected to it generating sources and consumers are estimated voltage values of 20 kV bus in hydro power plants in a variety of configurations and operating modes of the electric grid. Based on research, are made conclusions and recommendations to reduce the level of voltage magnitudes to values, so the hydro power plant is allowed to be connected and remains in connected to the electric power system.

1. Описание на проблема

В последните години се увеличи изграждането на малки и мини ВЕЦ, присъединени към съществуващата разпределителна мрежа. Тези централи се строят предимно в планински и полупланински райони, свързани с ЕЕС през дълги електропроводи средно напрежение.

Трансформаторите в ВЕЦ СН/СН в повечето случаи нямат регулиране на напрежението под товар (което е икономически целесъобразно). Регулирането на при тях е без товар. Обикновено е с три или пет степени, като максималното преводно отношение, може да се постигне е на степен „+5%”, на намотката на високата страна.

Изследването се наложи от невъзможността в определени моменти, за паралелна работа на изследвания ВЕЦ с ЕЕС. Това от своя страна води до изключване на централата и големи пропуснати ползи за инвеститора. Целта е

чрез математическо моделиране да се определи комплекса фактори влияещи върху повишението на напрежението в определени моменти.

База данни за изследването са:

- ∅ силовите трансформаторите в п/ст 110/20kV
- ∅ параметри на мрежата средно напрежение
- ∅ данни за генериращите източници свързани към електропровода
- ∅ данни за консумираната енергия от обществено – битовия товар по линията

2. Математически модел на изследвания обект

Математическият модел е създаден в среда Simulink на MATLAB. Моделиран е електропровод (ЕП) 20kV и свързаните към него генератори и консуматори при различни условия. Към ЕП са присъединени четири ВЕЦ, един фотоволтаичен парк и трафопостове за хранване на обществено–битовия товар. В модела се измерват нивата на линейно напрежение в хранващата подстанция 110/20kV, в точката на присъединяване на изследвания ВЕЦ и на клемите на генератора му. Моделът дава възможност да се изследват нивата на напрежение по електропровода, при различни конфигурации на мрежата.

Моделът на всеки един ВЕЦ се състои от синхронен генератор (СГ), турбинен регулатор, регулатор на възбуждането и силов трансформатор. Фотоволтаичната електроцентрала (ФВЕЦ) е представена също, като синхронен генератор работещ с $\cos\varphi=1$.

Моделът е изграден от следните блокове:

- ✓ „Three-Phase Source” – Модел на хранващата ЕЕС.
- ✓ „Three-Phase Transformer (Two Windings)” – Блокове моделиращи силови трансформатори.
- ✓ „Three-Phase PI Section Line” – Модел на електропровода средно напрежение.
- ✓ „OB” – Модел на обществено – битовите консуматори
- ✓ „SN” – Модел на консуматорите в централите
- ✓ „Synchronous Machine” – Модели на генераторите свързани към ЕП
- ✓ „Votage in HPP” и „Votage in SS” – Модули мерене

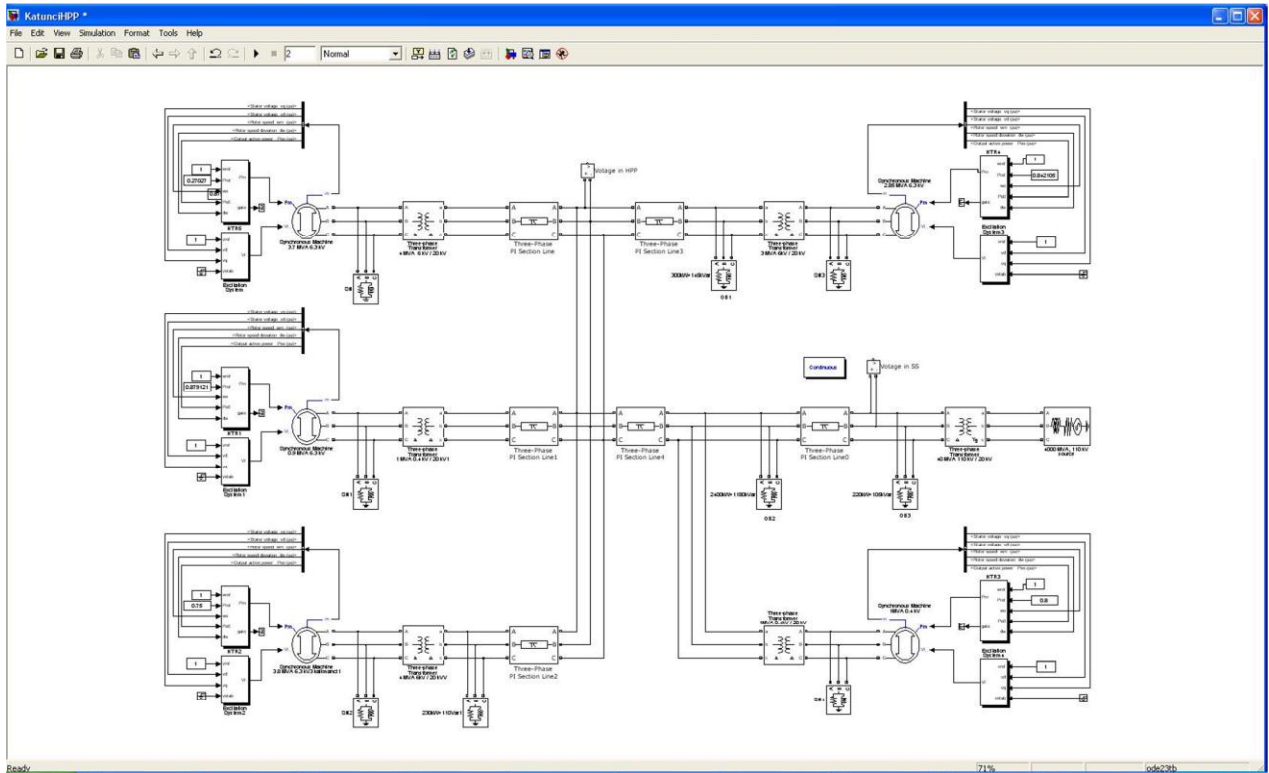
На фигура 1 е показана структурата на математическия модел на изследвания обект.

3. Количествен анализ на възможните причини за повишение на напрежението

3.1 – Напрежение на шини 20kV в разпределителната подстанция.

Стойността на напрежението на шини 20kV в подстанцията, към която е присъединен ЕП е базово за него. То определя стойността, от която започва

повишението. Влиянието върху него е трудно от техническа и административна гледна точка – има още ЕП, които са свързани към подстанцията.



фиг. 1

3.2.1– Ефект „Феранти” без отчитане на кабелните присъединения.

Отчитайки липсата на консумация от обществено–битовия сектор (предимно нощем) е възможно повишение на напрежението от ефекта „Феранти”, при който дълги ненатоварени електропроводи захранени от единия край, повишават значително напрежението си и започват да „връщат” реактивна мощност към системата [3].

Напрежението в края на ЕП може да бъде изчислено по формулата:

$$U_r = \frac{U_s}{\left(1 - \frac{\omega^2 \cdot l^2 \cdot L \cdot C}{2}\right)}, [kV] \quad (1)$$

където:

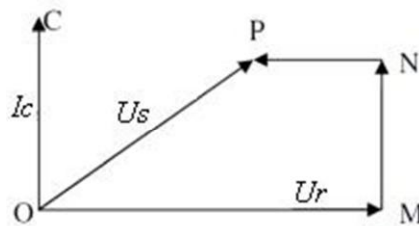
U_s – напрежение в началото на ЕП, [kV]

ω – ъглова честота, [rad/s]

l – дължина на ЕП, [km]

L – индуктивност на ЕП, [H/km]

C – капацитет на ЕП, [F/km]



фиг. 2 – Векторна диаграма на ЕП на празен ход

където:

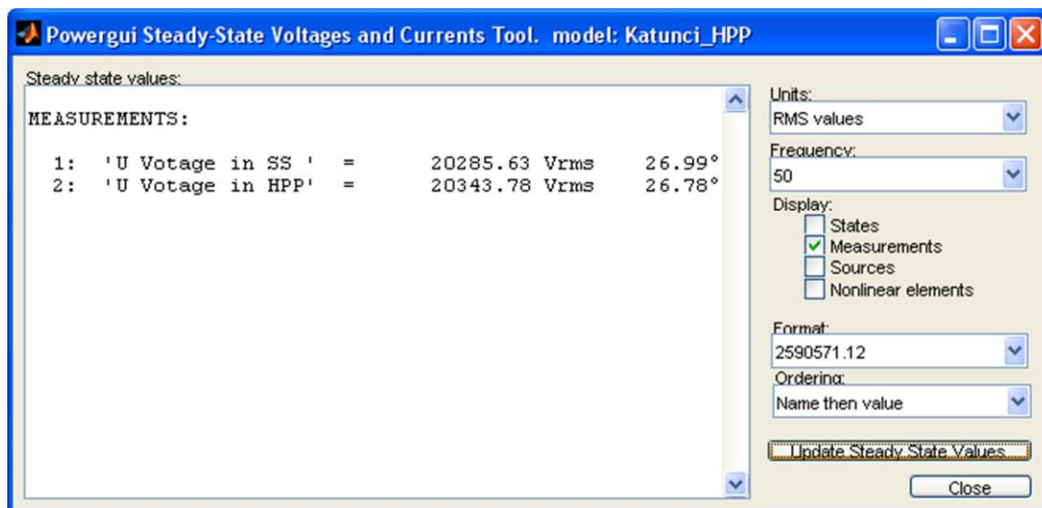
OP – напрежение в началото на ЕП

OM - напрежение в края на ЕП

OC – капацитивен ток по ЕП

MN и PN – активен и реактивен пад на напрежение

Изследваният електропровод е с изграден от АС проводник със сечения 70mm^2 и 50mm^2 . Дължина на ЕП до централата е около 25km.



фиг. 3 Стойности на линейното напрежение в начало на ЕП и в точката на присъединяване на изследвания ВЕЦ, при празен ход и без отчитане на кабелните линии СН присъединени към ЕП

От направените изчисления ясно се вижда, че влиянието на ефекта „Феранти” от въздушен ЕП средно напрежение е незначително.

3.2.2 Ефект „Феранти” с отчитане на кабелните присъединения.

При едно и също номинално напрежение и еднакви сечения, капацитетът на кабелни линии (КЛ) е няколко десетки пъти по-голям от този на ВЛ. Поради това трябва да се вземат предвид и кабелните отклонения от ЕП. Генерираната реактивна капацитивна мощност от ЕП, води до повишение на напрежението му. Тя се изчислява по формулата.

$$Q = U^2 \cdot C_0 \cdot \omega \cdot L, [kVAr] \quad (2)$$

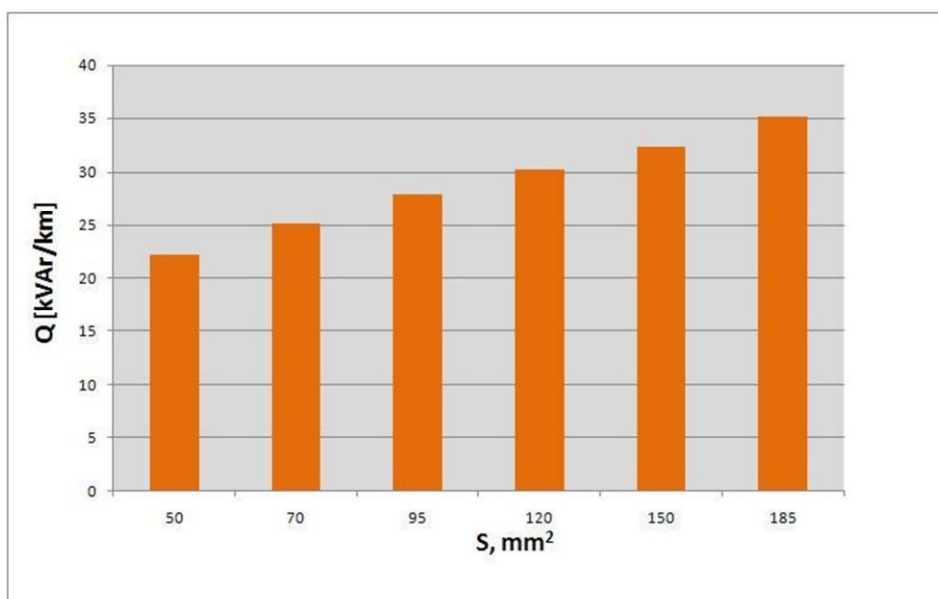
където:

U – номинално линейно напрежение на ЕП, [kV]

C_0 – капацитет на линията, [F/km]

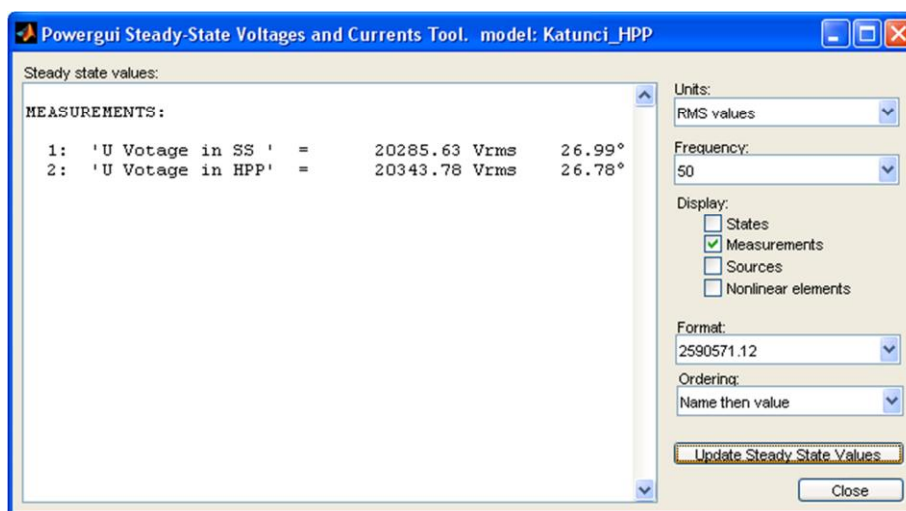
ω – ъглова честота, [rad/s]

L – дължина на линията, [km]



Фиг. 4 Генерирана реактивна мощност на километър от ЕП, според сечението, изпълнен от едножилни кабели с изолация от омрежен полиетилен при напрежение 20kV

Към изследваният електропровод има общо шест километра кабелни отклонения с кабел САХЕКТ 120 mm². При тяхното отчитане за напреженията се получава:



фиг. 5 Стойности на линейното напрежение в начало на ЕП и в точката на присъединяване на изследвания ВЕЦ, при празен ход с отчитане на кабелните линии СН присъединени към ЕП

От изчисленията се вижда, че отчитайки и КЛ се наблюдава увеличение на напрежението с около 60V.

3.3 Увеличение на напрежението от ВЕЦ присъединени към ЕП с отчитане на обществено – битовия товар

Известно е, че генерираната мощност отдавана от синхронен генератор, повишава нивото на напрежение на системата, към която е присъединена. Чрез регулаторите на възбуждане се постига регулиране на напрежението и реактивната мощност на СГ [2, 3]. В нормален режим, той отдава реактивна мощност, което повишава допълнително напрежението в точката на присъединяване.

Напрежението в точката на присъединяване на изследваната централа, при работещи останалите ВЕЦ, може да бъде намерено чрез итеративния метод на Gauss – Seidel [4].

$$\dot{U}_k^p = \frac{P_k - jQ_k}{\dot{Y}_{kk} \dot{U}_k^{*(p-1)}} - \frac{1}{\dot{Y}_{kk}} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n \dot{Y}_{ki} \dot{U}_i, [kV] \quad (3)$$

където:

\dot{U}_k^p – напрежение във възел „k”, при „p-та” итерация, [kV]

P_k – активна мощност във възел „k”, [MVA]

Q_k – реактивна мощност във възел „k”, [MVA_r]

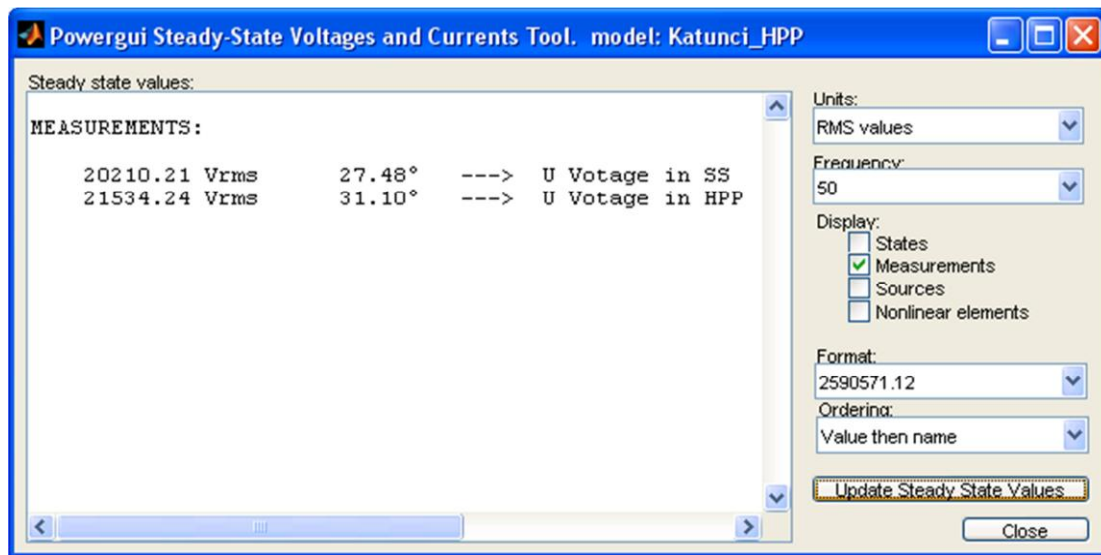
\dot{Y}_{kk} – собствената проводимост на възел „k”, [S]

$\dot{U}_k^{*(p-1)}$ – комплексно спрегнатото напрежение във възел „k”, при „p – 1” итерация, [kV]

\dot{Y}_{ki} – взаимна проводимост между възли „k” и „i”, [S]

\dot{U}_i – напрежение във възел „i”, от последната направена итерация за него, [kV]

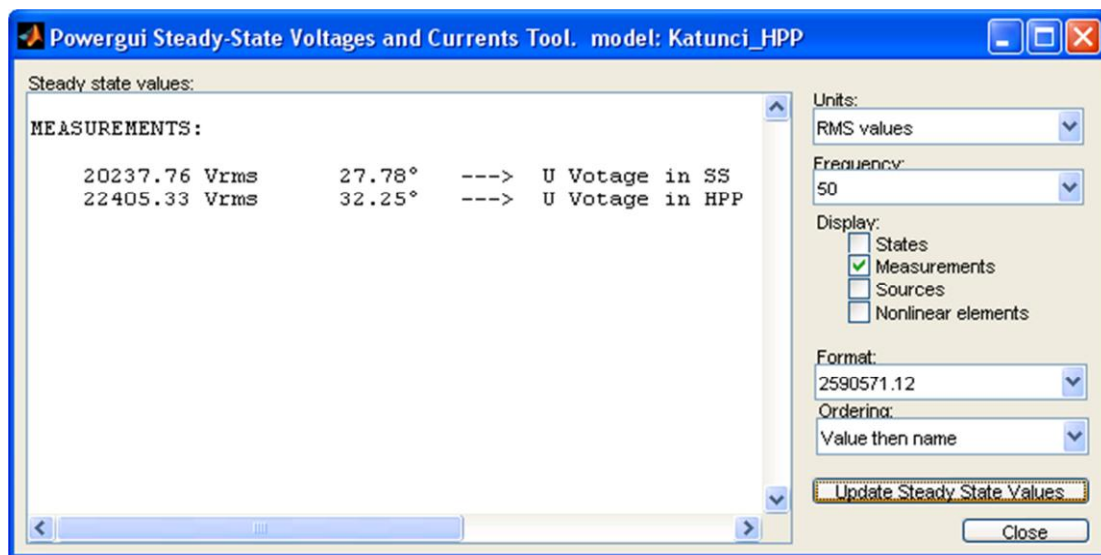
На фигура 6 са показани стойностите на линейно напрежение в начало на ЕП и в точката на присъединяване на изследвания ВЕЦ, при работещи ВЕЦ към ЕП. От стойностите се вижда, че при включване на останалите три ВЕЦ, свързани към ЕП, напрежението се повишава значително в следствие на генерираната от тях мощност.



Фиг. 6

3.4 Увеличение на напрежението от ВЕЦ и ФВП присъединени към ЕП с отчитане на обществено – битовия товар

Фотоволтаичните електроцентрали преобразуват произведеният от тях постоянен ток в променлив чрез инвертори. В повечето случаи инверторите работят с $\cos\varphi \approx 1$. ФВЕЦ, както и останалите източници на електроенергия инжектират мощност във възела на присъединяването им, с което увеличават напрежението на ЕП.

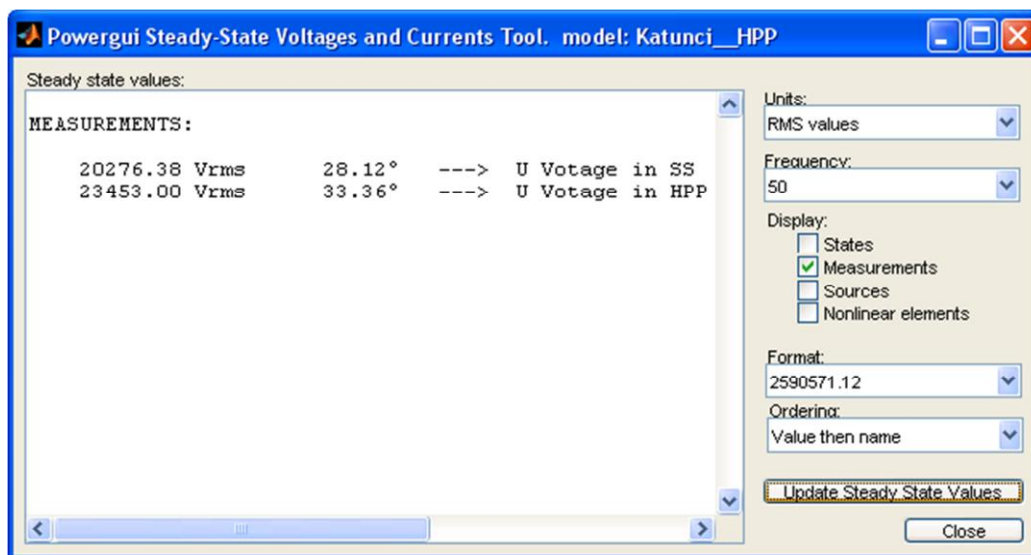


фиг. 8 Стойности на линейното напрежение в начало на ЕП и в точката на присъединяване на изследвания ВЕЦ, при работещи всички останали източници към ЕП

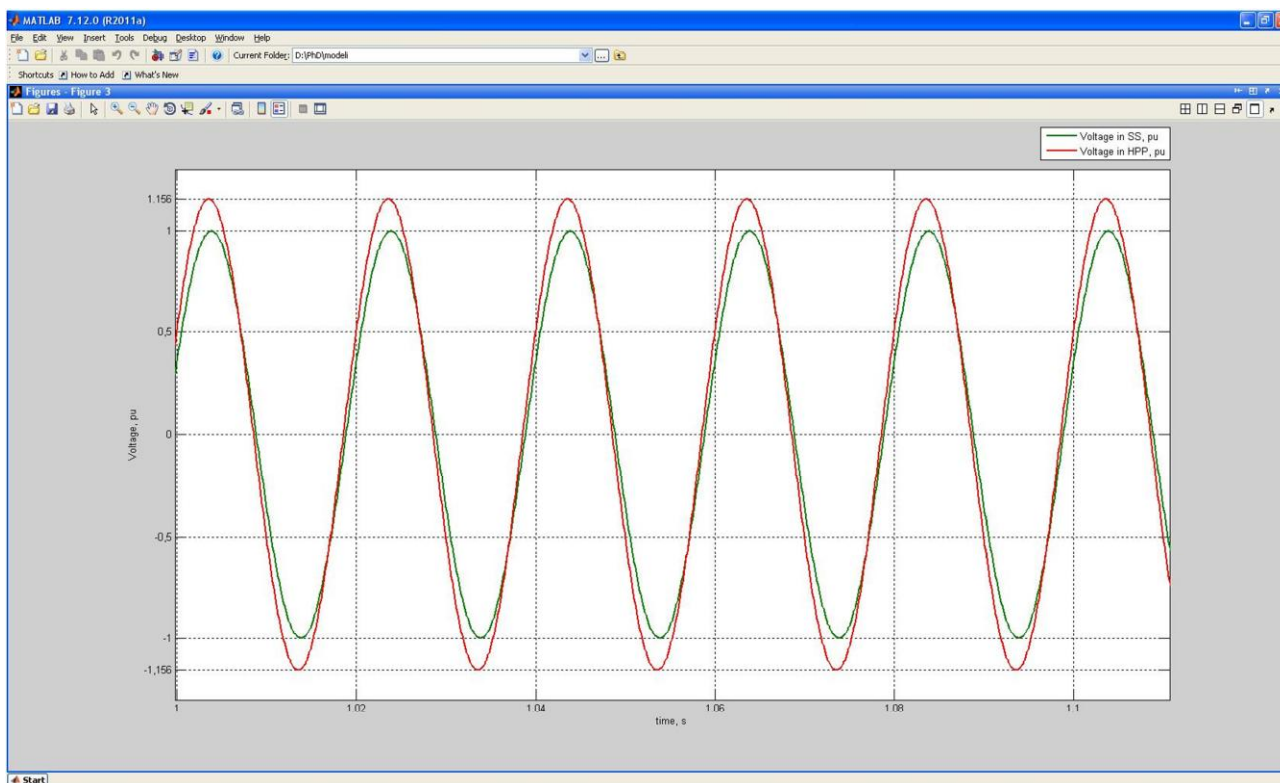
Полученият резултат показва, че при работа в максимален режим на всички присъединени към ЕП генериращи източници, напрежението във втората точка на измерване е 22, 4kV.

3.5 Увеличение на напрежението при включване и на изследвания ВЕЦ с отчитане на обществено – битовия товар

При работа на изследвания ВЕЦ, заедно с другите централи има изключвания на генератора от максимално напреженова защита на статорната намотка заработваща при $6,9\text{kV}$ ($1,1 \cdot U_H$).

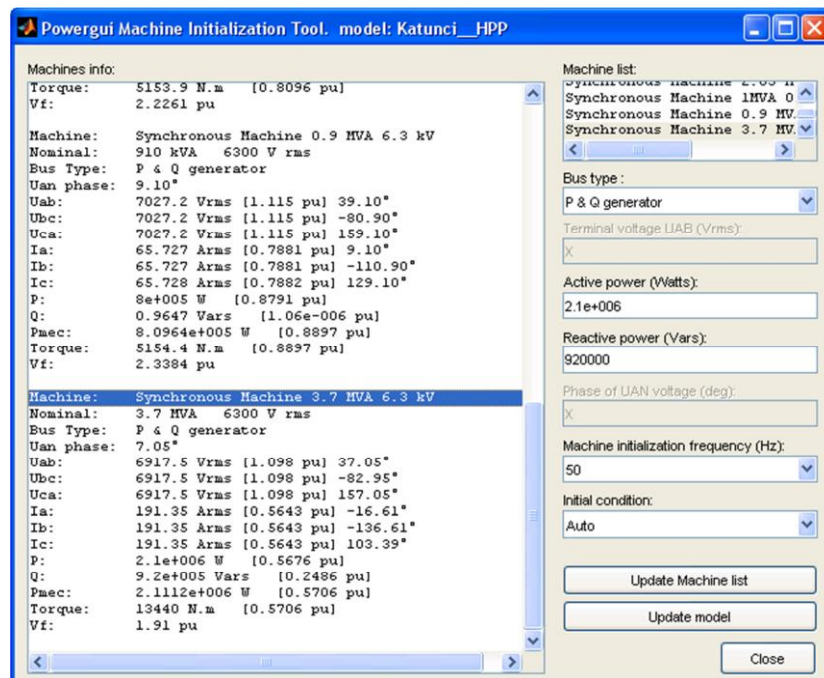


фиг. 8 Стойности на линейното напрежение в начало на ЕП и в точката на присъединяване на изследвания ВЕЦ, при работещи всички източници към ЕП.



фиг. 9

На фигура 9 е показано напрежението в начало на ЕП и в точката на присъединяване на изследвания ВЕЦ в относителни единици, като за базово напрежение е прието максималното напрежение в захранващата подстанция.



фиг. 10

На фигура 10 са показани стойности на линейното напрежение на генератора (6,917kV) в изследвания ВЕЦ при отдавана мощност 2,29MVA (останалите централи по ЕП работят на максимална мощност). От получения резултат ясно се вижда, че в тази ситуация възможната отдавана мощност в изследвания ВЕЦ е около 2MVA, понататъчното увеличаване на мощността води до изключването на централата от ЕЕС.

4. Изводи и препоръки

От направения анализ се вижда, че най-голяма тежест върху нивото на напрежение имат генериращите източници (респективно товарите) свързани към ЕП. В зависимост от нивото на напрежение в захранващата подстанция 110/20kV и количеството генерирана мощност може да се стигне до момент, в който изследвания ВЕЦ, няма възможност да работи.

За намаляване на напрежението по ЕП може да се работи в следните посоки:

- Ø Монтиране на шунтови реактори в определени точки
- Ø Диспечерски контрол и регулиране на присъединените централи към ЕП
- Ø Групово регулиране режима на работа на СГ свързани по ЕП
- Ø Надлъжна компенсация на индуктивното съпротивление на ЕП, чрез кондензаторни батерии

- Ø Надлъжна компенсация на индуктивното съпротивление на ЕП, чрез TCSC
- Ø Монтиране на STATCOM в определени точки

Въпрос на последващи изследвания е да се оцени влиянието на тези средства, както комбинирано така и поотделно.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.mathworks.com/help/toolbox/simulink/>
- [2] Цолов А., Цикъл лекции по дисциплината АЕЧЕЦ – магистърски курс на ЕФ при ТУ – София, 2010г.
- [3] Нанчев С., Автоматизация на електроенергийните системи, „Техника”, София, 1974.
- [4] Kundur P., Power Systems Stability and Control, Electric Power Research Institute, 1994.;
- [5] Цолов А., Ръководство по Автоматизация на ЕЕС, „БПС”, София, 2003г.

Автори:

инж. Даниел Добрилов – редовен докторант в катедра „Електроенергетика” на ЕФ при ТУ – София, e-mail: dobrilow@abv.bg
д-р инж. Ангел Цолов – доцент в катедра „Електроенергетика” на ЕФ при ТУ – София, e-mail: abc@tu-sofia.bg

РЕГУЛИРАНЕ НИВОТО НА НАПРЕЖЕНИЕТО В ТОЧКИТЕ НА ПРИСЪЕДИНЯВАНЕ НА МАЛКИ ВЕЦ

Даниел Добрилов

Резюме: В настоящата статия се анализира вариант за понижаване на напрежението в точките на присъединяване на малки водоелектрически централи (ВЕЦ) чрез монтаж на шунтов реактор на клемите на генератора. Чрез математически модел на мрежата 20kV, свързаните към нея генериращи източници и консуматори се изчислява генераторното напрежение в изследвания ВЕЦ. На база получените резултати се дава решение за намаляване нивото на напрежение до нива, при който разглежданата централа може да работи нормално.

REGULATION OF VOLTAGE LEVEL AT CONNECTION POINTS OF SMALL HYDRO POWER PLANTS

Daniel Dobrilov

Abstract: In the present article, the authors analyze some of the options for voltage reduction at connection points of small hydro power plants (HPP). Through numerical modeling of 20kV network and the generators and demand, connected to the network, voltage value at generator bus in HPP is calculated, with additional equipment mounting in the plant. Based on the work carried out in this paper, solutions are suggested, based on obtained results, about voltage values reduction so the plant, connected to the distribution line, can operate according to the standards.

1. Въведение

Подържането на необходимото ниво на напрежението в точките на присъединяване на малки ВЕЦ се постига чрез рационално управление на режима на работа от дежурния персонал, правилна съвместна работа на устройствата за автоматично регулиране на възбудането на синхроните генератори или изменение на товара на статичните компенсатори [2].

Настоящата статия е продължение на [3]. В нея се доразвива математическия модел в посоченото изследване. Ще бъде разгледан вариант, при който чрез монтиране на шунтов реактор в изследваната централа, се цели да се намали нивото на напрежение на клемите на генератора и на високата страна на трансформатора.

На база получените резултати се прави анализ на ефективността на разгледания метод и възможността за неговото прилагане.

База данни за изследването са:

Ø силовите трансформаторите в п/ст 110/20kV

- ∅ параметри на мрежата средно напрежение
- ∅ данни за генериращите източници свързани към електропровода
- ∅ данни за консумираната енергия от обществено – битовия товар по линията
- ∅ параметри на шунтовия реактор

2. Математически модел на изследвания обект

Математическият модел е създаден в среда Simulink на MATLAB. Моделиран е електропровод (ЕП) 20kV и свързаните към него генератори и консуматори при различни условия. Към ЕП са присъединени четири ВЕЦ, един фотоволтаичен парк и трафопостове за захранване на обществено–битовия товар. В модела се измерва нивото на линейно напрежение на клемите на генератора в изследвания ВЕЦ. За да се разгледа изследвания вариант, на клемите на генератора се свързва шунтов реактор (индуктивност), той се задава в блока „SN” – Модел на консуматорите в централите, като чрез блока се увеличава индуктивния товар.

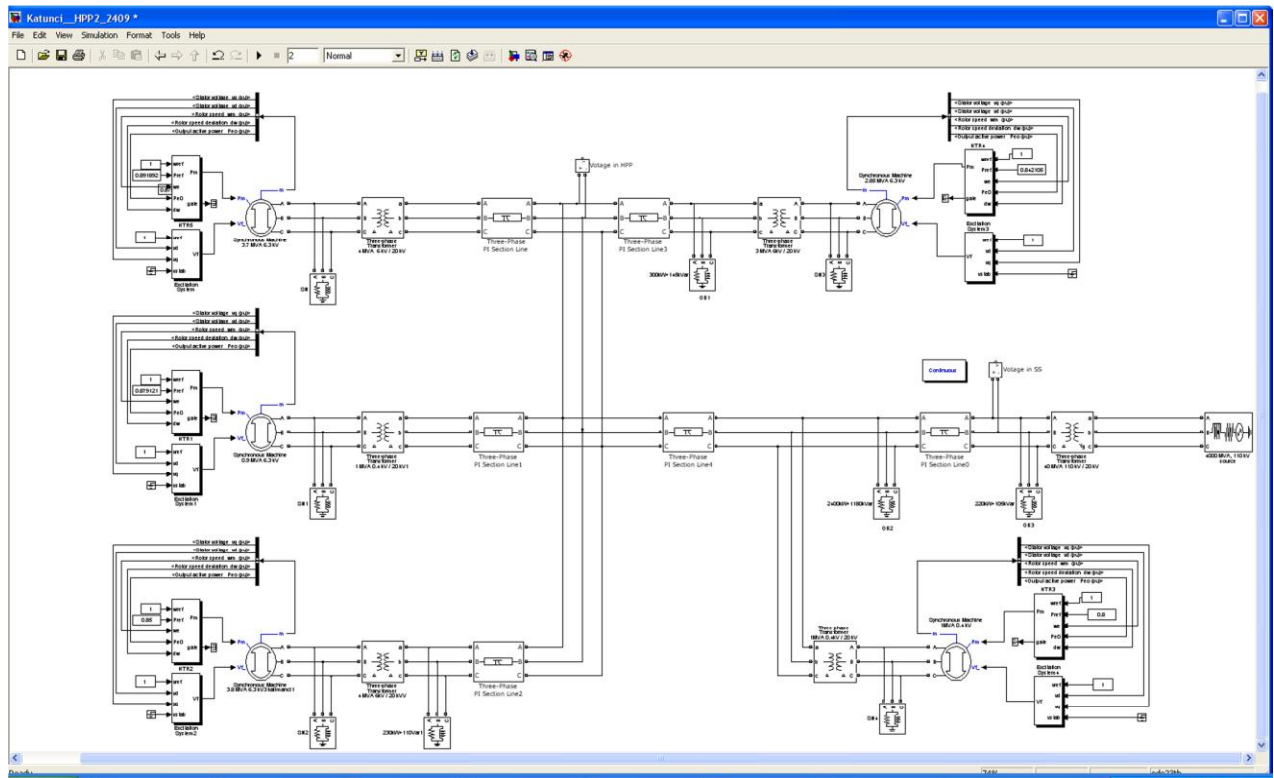
Моделът е изграден от следните блокове:

- ✓ „Three-Phase Source” – Модел на захранващата ЕЕС.
- ✓ „Three-Phase Transformer (Two Windings)” – Блокове моделиращи силови трансформатори.
- ✓ „Three-Phase PI Section Line” – Модел на електропроводи средно напрежение.
- ✓ „OB” – Модел на обществено – битовите консуматори
- ✓ „SN” – Модел на консуматорите в централите
- ✓ „Synchronous Machine ” – Модели на генераторите свързани към ЕП
- ✓ „Votage in HPP” и „Votage in SS” – Модули мерене

На фигура 1 е показана структурата на математическия модел на изследвания обект.

3. Влияние на шунтов реактор върху нивото на напрежение в вец

Последните години (след 2004г.) започна масово монтиране на шунтови реактори (ШР) и в разпределителната мрежа – при консуматори генериращи реактивна мощност, което от своя страна доведе до постепенно намаление на цените на тези съоръжения. В разглеждания случай един от възможните варианти за регулиране на напрежението е монтиране на шунтов реактор в изследваната централа с цел понижаване на напрежението.



фиг. 1

Известно е, че генерираната реактивна индуктивна мощност на генератора, се явява реактивна капацитивна за мрежата, при което тя може да бъде „премаханта” с паралелна индуктивност свързана на клемите му (на електропровода). Реактивната мощност на генератора може да се изрази с уравнението [4]:

$$Q_{\Gamma} = -\frac{U_c^2}{X_d + X_{BH}} + \frac{U_c \cdot E_d \cdot \cos(\delta)}{X_d + X_{BH}} \quad (1)$$

където:

U_c – напрежение на системата, [kV]

E_d – е.д.н. на генератора, [kV]

X_d – синхронно съпротивление на генератора по надлъжната ос, [Ω]

X_{BH} – синхронно съпротивление на връзката на генератора със системата, [Ω]

δ – фазова разлика между е.д.н на генератора и напрежението на системата [rad]

Реактивната мощност на шунтовия реактор може да се изрази с уравнението:

$$Q_{шр} = \frac{U^2}{\omega \cdot L} \quad (2)$$

където:

U – номиналното линейно напрежение на ШР, [kV]

ω – ъглова честота, [rad/s]

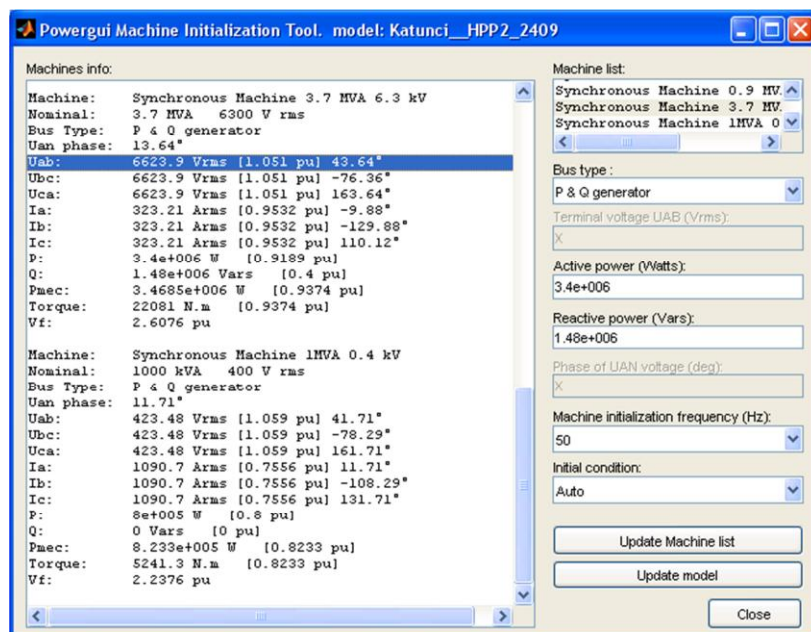
L – индуктивност на ШР

В разглеждания случай генераторът може да работи с максимален товар при номинален фактор на мощността, без генерираната от него реактивна мощност да повишава ненужно напрежението на клемите му и на системата, към която е присъединен. Ефекта от шунтовия ректор е по голям при монтиране на генераторно напрежение, по този начин се избягва влиянието на повишаващия трансформатор.

Монтираният шунтов реактор може да служи не само за компенсиране на генерираната реактивна енергия от централата, в която е монтиран, но и за понижаване на напрежението на разпределителната мрежа средно напрежение. В този случай, мощността на реактора трябва да бъде съобразена и с повишаващия трансформатор в централата, за да не бъде претоварен.

При монтаж на ШР с мощност по-голяма от генерираната реактивна от централата, трябва да бъдат отчетени загубите на енергия от преноса на реактивна енергия по ЕП. В този случай за всеки отделен обект, трябва да се направи технико-икономически анализ.

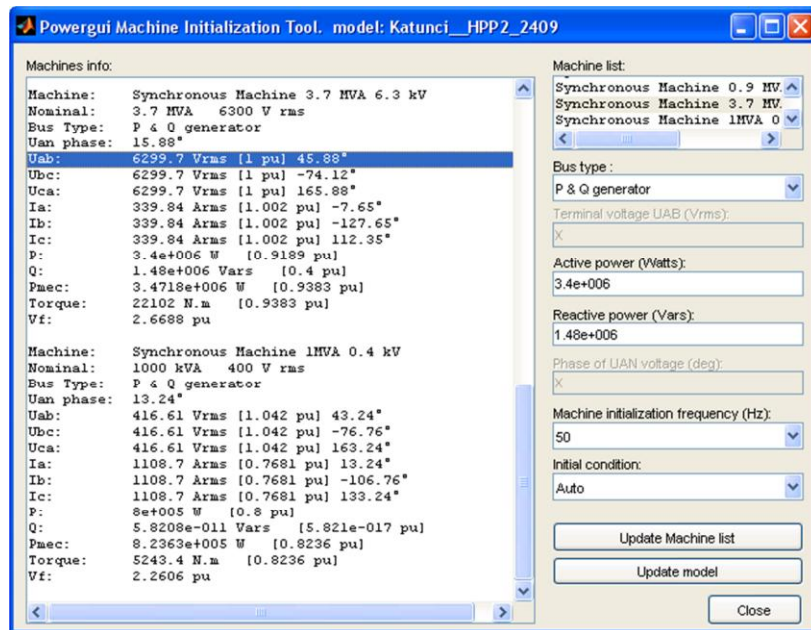
Генерираната реактивна мощност от СГ при работа в максимален режим е 1,5MVA_r, при монтаж на реактор със същата мощност се получават следните резултати:



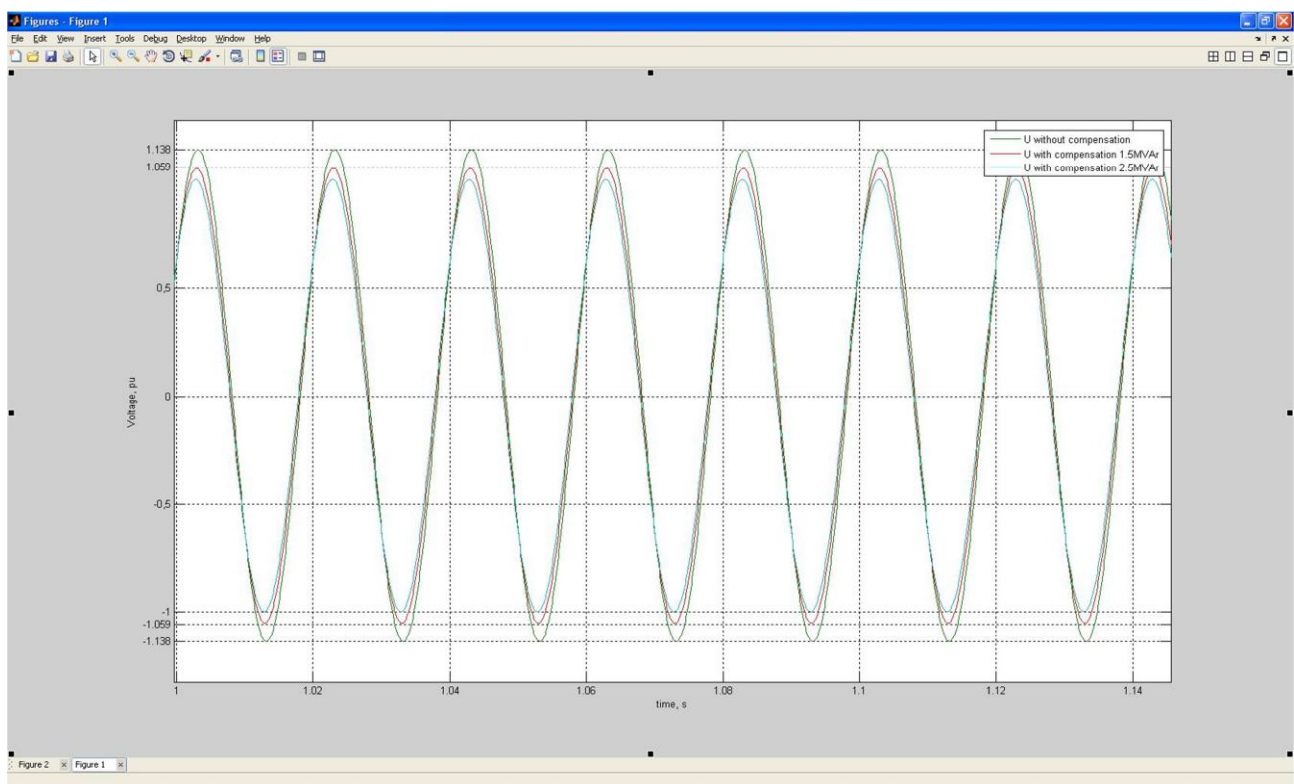
Фиг. 2 Напрежение на шини на генератора в изследваната централа при монтаж на шунтов реактор с мощност 1,5MVA_r

От резултата ясно се вижда, че при работа на всички централи по ЕП в максимален режим, с отчитане на обществено – битовия товар, с компенсиране само на реактивния товар на СГ номиналното напрежение на шините му е само с 5,9% по високо от номиналното.

Намаляване на напрежението на клеми на СГ до номиналното 6,3kV, може да бъде постигнато при монтаж на шунтов реактор с мощност 2,5MVA_r.



Фиг. 3 Напрежение на шини на генератора в изследваната централа при монтаж на шунтов реактор с мощност 2,5MVA_r



Фиг. 4

На фигура 4 са показани напреженията на шини на генератора в изследваната централа при липса на компенсация, с ШР с мощност 1,5MVA_r и с ШР с мощност 2,5MVA_r. Показаните стойности са в относителни единици, като за базово напрежение е прието 6,3kV.

4. Изводи и препоръки

От направения анализ се вижда, че при монтаж на шунтов реактор на клемите на изследвания СГ, той може да работи безпроблемно дори и всички останали източници по ЕП да работят.

Решението е икономически доста ефективно, тъй като ако се получи сумарен престой на централата от 6÷7 дни, пропуснатите ползи за инвеститора са по-големи, отколкото разходите по монтаж на нови съоръжения.

Регулирането на напрежението чрез шунтови реактори е особено подходящо при СГ, в които възбуждането се осъществява не от възбудителна намотка, а чрез постоянни магнити.

При регулиране на напрежението с ШР на СГ със стандартна възбудителна намотка, не се понижава статичната им устойчивост, поради намаления възбудителен ток и се избягва нагряването на челните пакети на статорната стомана над допустимото.

Също така при компенсиране на реактивната мощност от централите по ЕП – източниците могат да работят безпроблемно, а разпределителното предприятие да доставя качествена енергия (напрежение в границите $\pm 10\%$ [5]) на обществено – битовия сектор.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.mathworks.com/help/toolbox/simulink/>;
- [2] Барзам А., Системная автоматика, „Энергия”, Москва, 1973;
- [3] Добрилов Д., А. Цолов, Изследване факторите влияещи върху напрежението в точките на присъединяване на малки ВЕЦ
- [4] Врангов, Й. В. Режимы на основните електрически съоръжения в централите, София, Техника, 1990
- [5] БДС IEC 60038:2002 – Стандартни напрежения на IEC

Автор:

инж. Даниел Добрилов – редовен докторант в катедра „Електроенергетика” на ЕФ при ТУ – София, e-mail: dobrilow@abv.bg

МОДЕРНИЗАЦИЯ НА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНА УРЕДБА 825V ЗАХРАНВАЩА ТЯГОВИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ В „МЕТРОПОЛИТЕН“ ЕАД

Тодор Лалев

Резюме: В доклада е описана модернизация на разпределителна уредба 825 V извършена от специалистите на „Метрополитен“ ЕАД съвместно с външни организации. Разгледани са причините налагащи модернизация. Дадени са предимствата и недостатъците на новото и старото оборудване.

Ключови думи: модернизация, разпределителна уредба, бързодействащ прекъсвач, тяговопонизителна станция.

MODERNIZATION OF DC TRACTION POWER SUPPLY 825 V IN The “METROPOLITAN” JSC

Todor Lalev

Abstract: The modernization of dc traction power supply 825V which was done by engineers of the “Metropolitan” JSC with other company is present in the current paper. The reasons necessitating modernization are considered in the paper. Also the paper presents the advantages and disadvantages of the old and new electric equipment.

Key words: modernization, traction power supply, circuit breaker, traction power station

1. Въведение

Метрополитенът представлява сложно съоръжение, състоящо се от множество технически устройства и системи. Нормалното му функциониране до голяма степен зависи от надеждната работа и взаимодействието на тези устройства.

Една от основните системи, която обезпечавя функционирането на метрополитена е системата за електроснабдяване.

Електроснабдяването на метрото се извършва чрез специално изградени подземни тяговопонизителни подстанции /ТПС/. С оглед пълно резервиране на електрозахранването, ТПС са свързани една [1] с друга в система, а външното им захранване е със средно напрежение 10 kV от различни градски подстанции. ТПС имат за цел да преобразуват променливото напрежение 10 kV в постоянно с големина 825 V, необходими за движението на влаковете. За захранване на съоръженията за собствени нужди (санитарно-технически съоръжения, вентилация, осветление и други консуматори в тунелите и метростанциите) се използва допълнителна разпределителна уредба РУ 380/220 V.

Оборудването на ТПС включва комплектно разпределителна уредба КРУ 10 kV, РУ 825 V, тягови трансформатори, трансформатори за собствени нужди, табла ниско напрежение 380/220 V, акумулаторна батерия и други.

Към настоящия момент в „Метрополитен“ ЕАД се експлоатират три типа ТПС.

Първите и най-стари ТПС са напълно изградени през 1989г., но поради настъпилите политически промени се експлоатират от 1998г., като електрообзавеждането е от смесен тип по отношение на производител, КРУ 10 kV е произведено в бившата СССР, а всичките трансформатори, РУ 825 V и цялата тягова част е чешко производство на фирма ČKD Praha. Таблата ниско напрежение са произведени в България [1].

Втория тип ТПС са пуснати в експлоатация от 2001 до 2012 година и са на фирма “SIEMENS”. Те са по-компактни и изискват по-малки помещения за разполагане на оборудването, и са изградени от КРУ 10 kV, РУ 825 V тунелни разединители и други тягови съоръжения на фирмата „SIEMENS”. При тези ТПС разликите в електрооборудването не са съществени и идват единствено от периода на доставките.

Третия тип са въведени в експлоатация от 2012г. след пускане на втори метродиаметър. При тях също оборудването е от последно поколение, като електрообзавеждането е от смесен тип, КРУ 10 kV е производство на фирма “Ormazabal” а РУ 825 V, тунелни разединители и други тягови съоръжения на фирмата „Balfour Beatty ”.

Динамичното развитие на софийския метрополитен през последните години, като например цялостното завършване на първи метродиаметър и откриването на втори, няколкократно увеличи пътническия поток, това води до повишаване на опасността от аварии и аварийни режими в системата за електрообзавеждане. Затова е необходимо повишаване на надеждността в системата за електрозахранване.

При първия тип ТПС на електрооборудването е извършвана редовна профилактика и е поддържана в добро техническо състояние. Частично е модернизирано, но въпреки това то не може да осигури надеждността, бързодействието, селективността и безопасността при работа, както при новите 2 типа ТПС. Това налага поэтапната модернизация на тези ТПС с цел осигуряване на горните изисквания.

Целта на настоящия доклад е да се направи анализ на извършената от екипите модернизация на РУ 825 V на ТПС с диспечерски номер 13 находящо се на метростанция „Кн. Величков“ , да се сравнят техническите характеристики на съоръженията преди и след преустройството и да се видят предимствата и недостатъците.

2. Съществуващо положение

Разпределителната уредба 825V в ТПС 13 се състои от 6 работни полета окомплектовани с бързодействащи прекъсвачи /БДП/ на фирмата ČKD Praha и две полета с входни захранващи разединители към сборна шина +825V. Прекъсвачите са с диспечерски номера 61, 62, 63, 64, 65 и 66 захранват контактната релса през разединители разположени в тунела, а прекъсвача 65 е резервен, като в аварийен режим може да замести един от титулярните

прекъсвачи използвайки резервни тунелни разединители. Сборна шина +825V се захранва от два независими тягови агрегата (трансформатор-изправител) 71 и 72 през съответните разединители 171 и 172 схема 1.

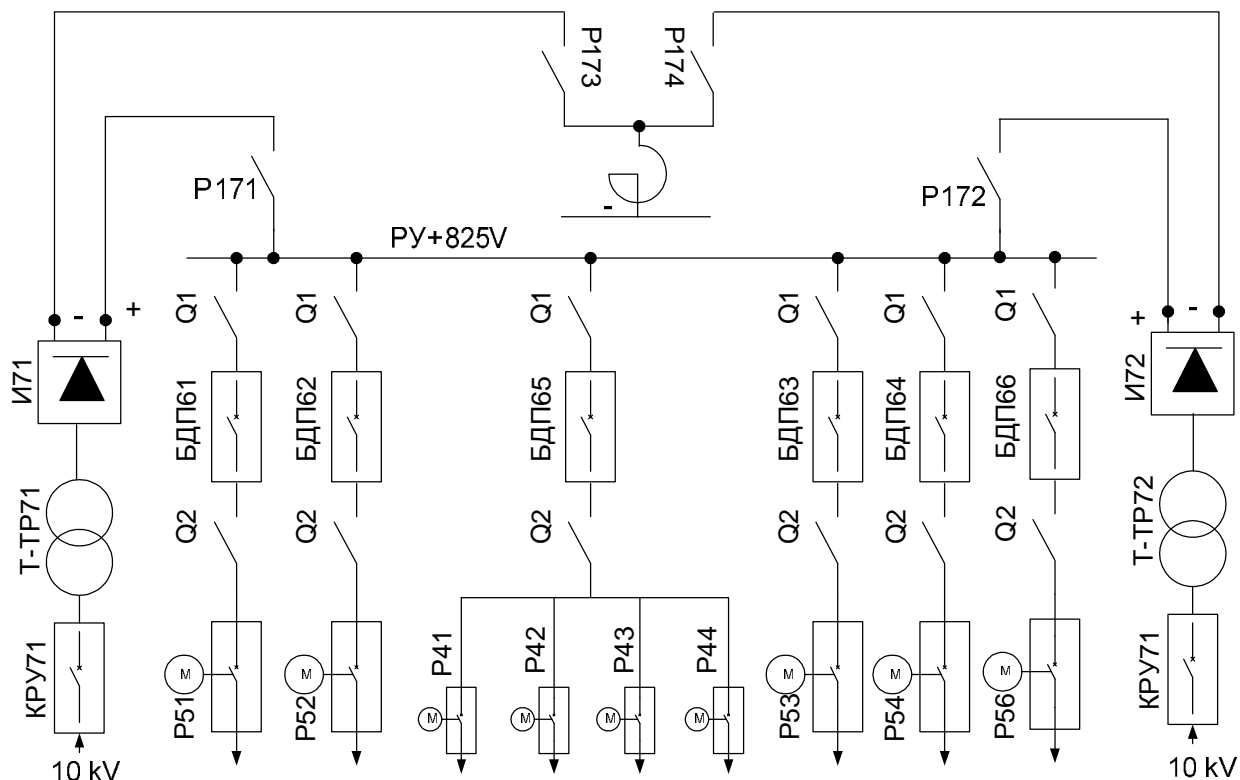
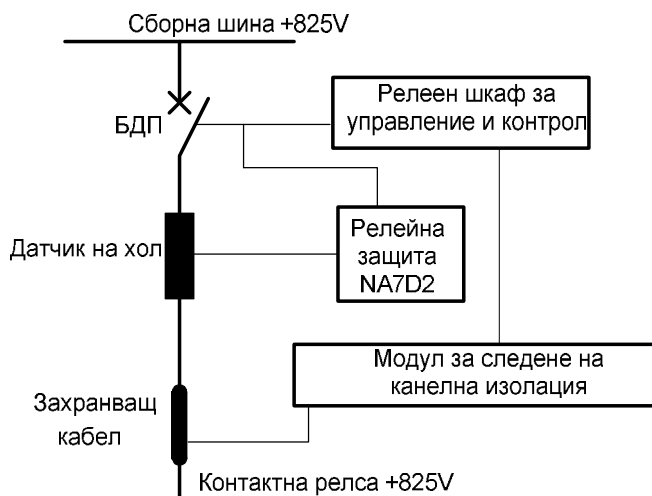


Схема 1. Еднолинейна схема на захранване на тягова мрежа ТПС 13

Всяко едно работно поле е окомплектовано с електронна релейна защита тип NA7D2 и релеен шкаф за вериги вторична комутация за управление на БДП. Релейната защита тип NA7D2 се характеризира с висока степен на надеждност, поради опростения начин на следене на големината на параметрите на първичната верига (датчик на Хол и реле за контрол на напрежението) фиг 1.



Фиг. 1. Опростена блокова схема за управление и защита на БДП.

Тяговите изправители са изградени на принципа мостова схема „Ларионов“, като съдържат по 96 диода всеки. Те са за номинално напрежение $U_n = 825, V$ и номинален ток $I_n = 3000, A$.

Тяговите трансформатори са със следните технически параметри: номинална мощност $S_n = 3000, kVA$; номинално напрежение $U_{n1}/ U_{n2} = 3 \times 10000, V / 3 \times 650, V$; номинален ток $I_n = 2665, A$

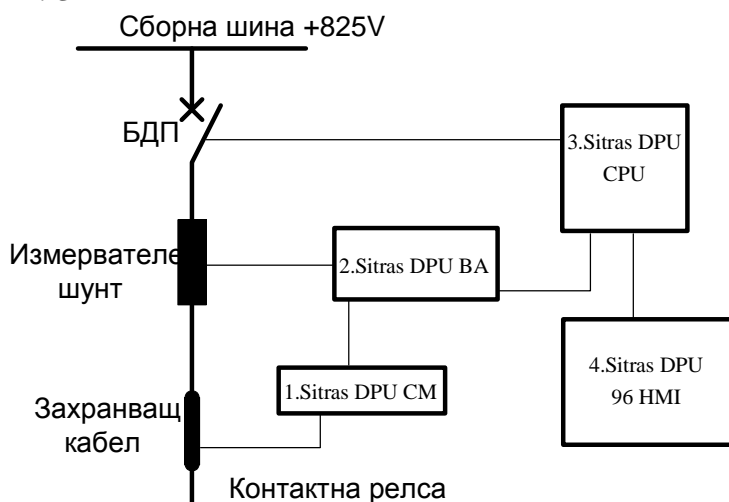
Корпусът на уредбата е изолиран от земя и е защитен от корпусна защита, която при задействане изключва всички БДП и прекъсвачите 71 и 72 в КРУ 10kV захранващи тяговите агрегати.

3. Описание на извършените дейности

Извършената модернизация на РУ 825V в ТПС 13 включва преустройство на вторичната комутация на разединители 171 и 172, които захранват обща шинна система +825V, преустройство на шест броя работни шкафа, които през съществуващите кабели и тунелни разединители да захранват контактна релса и преустройство на един резервен шкаф, които замества всеки един от работните БДП. [2]

Количките БДП на съответните работни шкафове и самите шкафове в РУ са преустроени и пригодени така, че на тях да се монтират БДП на фирмата Secheron тип UR36-81, които по технически показатели многократно превъзхождат тези на ČKD Praha.

Също така са монтирани цифрови електронни модули на фирмата „SIEMENS“ модел „Sitras DPU96“, които служат за контрол управление и релейна защита на отделните полета в РУ. Блокова схема на принципа на работа е дадена на фиг. 3



Фиг. 3. 1. Модул за контрол на кабелите; 2. Постояннотоков буферен усилвател; 3. Централно устройство; 4. Интерфейс човек-машина;.

Инсталиран е и операторски панел на фирмата „SIEMENS“, който е съвместим с контролера за управление на станцията. Панела осигурява на съоръженията телеуправление от местно ниво, на него се визуализира еднолинейната схема на станцията с всички съоръжения от уредбата 10kV и РУ

825V. На еднолинейната схема [4] на панела посредством цветово означение се отразява състоянието на прекъсвачите, разединителите и съоръженията, както и положението на количката на БДП работно, контролно положение и количка навън. Също така на панела излизат текстови съобщения за аварийни, предупредителни сигнали, сигнали за промяна в схемата и изпълнени команди, които се съхраняват в буфер за отминали събития с отбелязване на дата и час.

Инсталирано е и устройство за ограничаване на опасни допирни напрежения, което окъсява ходова релса и земя при появата на опасни за човека потенциали.

В ТПС 13 е изградена система за дистанционно управление на базата на контролер SIMATIC S7 315 2DP.

4. Резултати от модернизацията на РУ 825 V ТПС.

След направената модернизация на РУ 825 V многократно се повишиха техническите и работните показатели на ТПС 13. Това се вижда като се съпоставят параметрите на модернизираниите съоръжения.

Някои от основните предимства на новите съоръжения са описани по долу.

Новите БДП инсталирани в РУ 825 V на фирма "Secheron" разполагат следния технически ресурс:

1. 50000 комутационни цикли на превключващата система (механична част);
2. Визуален контрол [2] на прекъсвача се извършва един път на шест месеца или след 250 изключвания от претоварване;
3. Детайлен контрол се извършва един път на една година или след 500 изключвания при ток не по-голям или равен на номиналния;

За сравнение старите БДП на фирма ŠKD Praha имат следния технически ресурс:

1. 20000 комутационни цикли на превключващата система (механична част);
2. Визуален контрол на прекъсвача се извършва един път на шест месеца или след едно изключване от претоварване;
3. Детайлен контрол се извършва един път на шест месеца или след 250 изключвания на веригата при ток не по-голям от номиналния.

Като се сравнят гореизложените технически параметри на БДП се вижда, че новият тип разполага с около 50 % по-голям ресурс, а предвид почти три пъти по-малкото му тегло и много по-простата му конструкция обслужването и профилактиката са многократно улеснени.

Също така дъгогасителната камера на новият БДП подлежи на ремонт докато при стария тип БДП при евентуална повреда е необходимо тя да бъде подменена.

Едно от основните предимства на новите устройства Sitras DPU 96 за контрол, управление и релейна защита е, че записват във вътрешна памет всички процеси развиващи се в тяговата верига, както и стойностите на основните електрически параметри. Това дава възможност да се натрупва

полезна информация, която може да се визуализира, обработва по определени критерии и анализира. Освен това критериите за сработване на релейната защита са повече: 1. Защита по максимален ток в права и обратна посока; 2. Защита по скорост на нарастване на тока с времезакъснение; 3. Защита по скорост на нарастване на тока без времезакъснение; 4. Максималнотокова времезависима защита. Докато критерия за сработване по ток на старата защита е само един: Защита по максимален ток. Т.е. селективността на новата релейна защита е много по-голяма.

С инсталираното на устройство SITRAS SCD за защитата срещу токове с нулева последователност осигури висока безопасност на пътниците.

След инсталирането на операторския панел и възможността за дистанционно управление на местно ниво на съоръженията безопасността на персонала при работа се увеличи. Освен това визуализацията на състоянието на съоръженията, записването на предупредителни сигнали и аварии позволява бързото ориентиране на обслужващия персонал при конкретна ситуация.

5. Сравняване на надеждността на РУ 825 V преди и след модернизацията.

Надеждността е комплексен показател на обекта, който в зависимост от предназначението му и условията на неговата експлоатация се определя от следните основни изисквания: безотказност, дълготрайност, ремонтпригодност и съхраняемост.

- Вероятността за безотказна работа на системата за електрозахранване на ЕПС, $P(t)$ за интервал от година означава системата да изпълнява функциите си и да пази своите експлоатационни, механични и геометрични параметри в установените граници за този период от време.[3] Тъй като системата е съставена от ред последователно съединени елементи, вероятността за безотказна работа може да се определи с зависимостта:

$$P(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t), \quad (1)$$

където: $P_i(t)$ – вероятност за безотказна работа на i -тия елемент; N – брой на елементите

В РУ 825 V участват над 1200 елемента и възела, буквалното прилагане на зависимостта (1), като се отчитат величините $P_i(t)$ за горепосочените над 1200 елемента, е съпроводено с редица затруднения тъй като класификацията на отказите не е диференцирана. Заради това при тази трябва да се използва ограничен брой обобщаващи елементи.

- ремонтпригодност според методиката се определя чрез изчисляването на следните статистически параметри:

1. Средно време за възстановяване $-T_B$

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^{n_{0i}} \tau_i}{n_{0i}}, \quad (2)$$

Където: n_{0i} – среден брой на отказите за определен календарен срок;
 τ_i - време за възстановяване на i -тия отказ

2. Коефициент на готовност - това е вероятността системата или отделен неин елемент да са изправни в произволен момент от време, той се определя със зависимостта:

$$k_e = \frac{\sum_{i=1}^{n_{oi}} t_i}{\sum_{i=1}^{n_{oi}} t_i + \sum_{i=1}^{n_{oi}} \tau_i}, \quad (3)$$

където: n_{oi} - брой на отказите за определен календарен срок; t_i – време за изправна работа, h; τ_i - време за възстановяване, h.

Предвид факта, че модернизацията е направена преди няколко месеца и няма достатъчно статистически данни за безотказността, ремонтпригодността, броя откази и дълготрайността, анализът за надеждност на системата за електрозахранване на ЕПС в „Метрополитен“ ЕАД ще бъде обект на следващо изследване.

6. Основни предимства и недостатъци

Някои основни предимства са:

- увеличи се безопасността при работа с електрическите съоръжения и инсталирани в РУ 825 V.
- многократно се облекчи графика за обслужване и профилактика на уредбата и съоръженията.
- намалиха се разходите за амортизация и поддръжка.
- постигната е много по-висока степен на автоматизация на съоръженията за електрозахранване.
- Предвидената защита срещу индиректен допир на напрежение покрива мерките за електробезопасността предвидени в EN 50122-1:1997

Някои основни недостатъци са:

- Като цяло извършената модернизация е частична и в схемата за електрозахранване остава неподменено основно тягово оборудване като: трансформатори, изправители, основни плюсови разедините 171 и 172 на РУ. Това до голяма степен намалява надеждността на ТПС 13.
- Извършва се модернизация само на вторичната комутация на минусовата страна на уредбата, като се запазва първичната комутация.
- Преустройството на количките за новия тип БДП е изключително сложно и трудоемко и изисква големи капиталовложения.

7. Заключение

Като цяло извършената модернизация многократно улесни работата на персонала и повиши работните параметри на уредбата. Новия тип оборудване покрива най-новите европейски стандарти, като същевременно локализира и ограничава селективно и бързо аварийните режими, развиващи се в силовите електрозахранващи вериги.

Основната препоръка към ръководния екип на „Метрополитен“ ЕАД е да се ускори модернизацията на старите съоръжения за електроснабдяване на ЕПС, както и съоръженията за контрол и защита и при бъдещи модернизации да се извършват цялостни реконструкции въпреки нуждата от много по-големи инвестиции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Братоев Ст., Софийски метрополитен, „Нота бене“ ЕООД, София, 2004 г.
- [2] Техническа документация на отдел „ЕЗА“ към служба „Електроснабдяване“
- [3] Здр. Бакалов – стр. 49-54 Сборник с материали по изследване на надеждност на неавтономен електрически транспорт – НДЕВТВ в Р. България София 2010г.
- [4] SIEMENS Sitras SCD Voltage Limiting Device Instructions for exploitations for DC traction power supply version 2.1.0
- [5] Siemens Sitras PRO DC Protective Unit and Controller for DC Traction Power Supply

Автор:

маг. инж. Тодор Кънчев Лалев – задочен докторант към катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта“ във ВТУ „Тодор Каблешков“, София. 16nakon@gmail.com.

ИЗБОР НА ХАРДУЕР ЗА ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА СИГНАЛИТЕ В СИСТЕМА ЗА НЕПРЕКЪСНАТ КОНТРОЛ НА $\text{tg}\delta$ НА ПРОХОДНИ ИЗОЛАТОРИ

Велислава Райдовска, Петър Након

Резюме: Въвеждат се изисквания към хардуерното устройство за цифрова обработка на сигнали. Прави се избор на това устройство.

Ключови думи: хардуерни устройства, аналогово-цифров преобразувател, $\text{tg}\delta$

SELECTING HARDWARE FOR SIGNAL CONVERSION IN AN ON-LINE $\text{tg}\delta$ BUSHING MONITORING SYSTEM

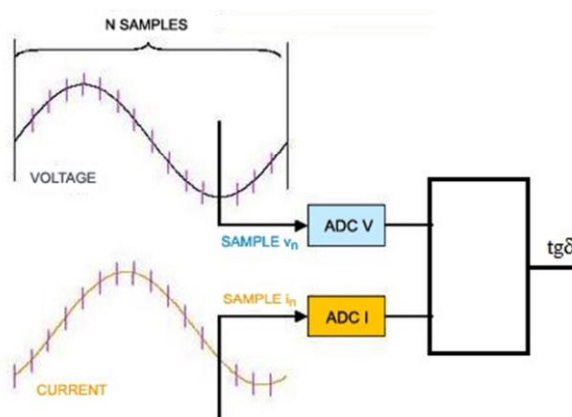
Velislava Raydovska, Peter Nakov

Abstract: The article describes the requirements for digital signal processing hardware and a hardware device is selected.

Keywords: hardware devices, ADC (analog-digital converter), $\text{tg}\delta$

1. Въведение

В предложения алгоритъм за непрекъснат контрол на $\text{tg}\delta$ на проходни изолатори [1] чрез система от подходящо подбрани преобразуватели се получават аналогови сигнали, пропорционални на напрежението върху изследвания обект и тока през него. Налага се тези натрупани първични сигнали да се преобразуват в цифров вид, за да могат да се обработят и да се предадат на разстояние или да се визуализират. Това предполага тяхното цифрово преобразуване от подходящо подбрани електронни устройства.



фиг.1

Аналоговите сигнали от обекта на изследване, подлежащи на цифрово преобразуване и обработка.

2. Същинска част

Изисквания към хардуерното устройство.

Известно е, че дискретизирането на измерените сигнали се осъществява с аналогово-цифров преобразувател (АЦП). Дискретната информация се

различава от непрекъснатата по две свойства – дискретизация във времето и квантуване по ниво. И двете свойства могат да ограничават количеството информация, която се съдържа в новополучения цифров сигнал. Тогава се въвежда и изискването това преобразуване да внесе минимални грешки при получаване на резултата. Затова изборът на АЦП е от особено значение.

Интервалът на дискретизация по време трябва да е достатъчно кратък, така че да не пропусне промяна на сигнала във времето. От друга страна, прекалено честото отчитане на стойности на сигнала през много кратки интервали може да доведе до излишък на информация. Теоремата на Найкуист-Котелников, изучавана в курса по теория на сигналите, гласи, че аналоговият сигнал може да се възстанови само, ако той не съдържа честоти по-високи от половината на дискретизиращата честота. Или периодът на дискретизация $T_d \ll 1/2\pi f_{гр}$. Наблюдаваните устройства са в експлоатационен режим и работят при напрежения с промишлена честота 50 Hz, откъдето следва, че $T_d \ll 10$ ms.

В процеса на непрекъснатият контрол на $tg\delta$ на проходните изолатори се следят едновременно две величини – напрежение и ток. Използваният АЦП трябва да взема едновременно отчети от два канала – един за ток и един за напрежение.

Наблюдаваният процес не е толкова динамичен. Но от съществено значение е точността при измерването. Стойността на тангенсът от ъгъла на диелектричните загуби е от порядъка на 10^{-4} . Едновременно с това измерваният токов сигнал е със силно изразена капацитивна компонента. За да се проследи изменението на активната компонента на този сигнал е необходима по-голяма резолюция по ниво. Затова към АЦП се предивява изискване да е минимум 12-битово. При 12-битово АЦП ще има $2^{12}-1=4095$ кванта по ниво

Друг параметър на АЦП, който трябва да се вземе под внимание е максималната скорост на преобразуване или най-големият брой стойности на входното напрежение, който може да бъде преобразуван за 1 s.

$50\text{HZ} \cdot 256 = 12800$ отчета за секунда при 8-битово АЦП и

$50\text{HZ} \cdot 4096 = 204800$ отчета за секунда при 12-битово АЦП

Особено важен параметър в изследвания случай се явява отношението сигнал-шум

$$\text{SNR} = 20 \log(\text{FS}/U_{\text{on}}), \text{ dB},$$

където

U_{on} – изходното напрежение на напрежението на шума, генериран в АЦП;

FS – най-голямото входно напрежение, което може да бъде преобразувано.

Теоретичната формула е $\text{SNR} = 1,76 + 6,02 \cdot n$, dB, но практически SNR е с няколко dB по-малко, като разликата нараства с увеличаване на честотната лента, в която се измерва шума. Генерираният при АЦП шум е случайна величина и в резултат той се пребавя към съществуващия в аналогия сигнал шум като се сумират векторно.

В обобщение може да се напише, че изискванията, които се предивяват към АЦП, са: то трябва да е минимум 12-битово, да преобразува едновременно

два периодични сигнала, трябва да е надеждно, с ниска постояннотокова консумация и да има добра шумоустойчивост.

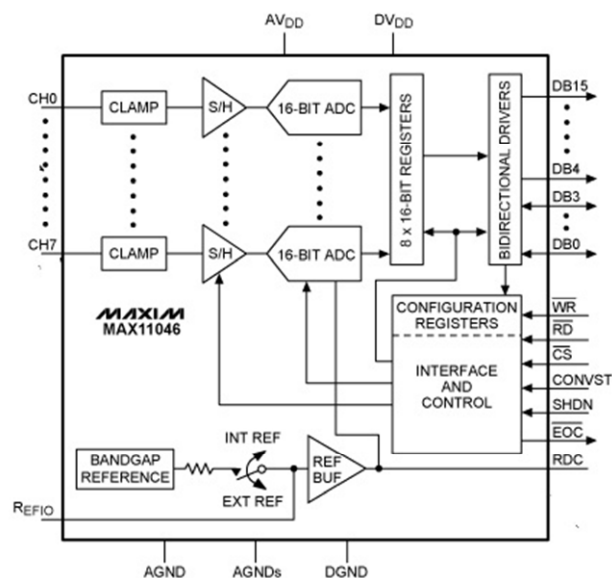
Избор на АЦП.

От направеното проучване на АЦП и тяхното разнообразие може да се заключи, че особено подходящи за електронни блокове са Делта сигма АЦП (DSADC). Изборът се прави от гледна точка на ниска стойност на шума и висока линейност при преобразувания на ниски честоти. При тях ниското ниво на шума се постига за сметка на предаването на основната част на спектъра на шума от квантуване в област, по-висока от тази на преобразувания сигнал. Вътрешният шум се отстранява чрез цифрова филтрация, реализирана вътре в предложения тип АЦП. Тази особеност би облекчила по-нататъшната цифрова обработка на кода, формиран от АЦП.

Конкретно за цифровото преобразуване на двата аналогови сигнала при непрекъснатия контрол на t_{gd} за подходящ се счита АЦП тип MAX11046 Maxim. Тази схема включва осем едновременно сканиращи входа, 16-битова е, с малка консумация на мощност. Предимство е, че няма нужда от външни буферни устройства. Синхронното сканиране позволява голяма точност при измерване на ъгъла между напрежението и тока. Има високо входно съпротивление.

Броят на входните канали (CH0-CH7 на фиг.2), които се следят едновременно прави схемата подходяща за on-line мониторинг на проходни изолатори в трифазни системи.

Софтуерното осигуряване е тема на бъдещо проучване.



Фиг.2.

Блокова схема на MAX11046 Maxim

В таблица.1 са дадени някои от характеристиките на MAX11046 Maxim:

Таблица.1

ADC	Брой канали	Разрядност, bit	V_{REF} , V	LSB, mV	SNR, dB	Quantization noise, mV
MAX11046	8	16	4,096	0,0625	85	0,0180

3.Заклучение

При предложен алгоритъм за непрекъснат контрол на $tg\delta$ на проходни изолатори се получават аналогови сигнали. Необходимо е те да се преобразуват с цел по-нататъшна им компютърна обработка. Въвеждат се изисквания към хардуерното устройство за цифрова обработка на сигналите, получени от система за непрекъснат контрол на $tg\delta$. Въз основа на тях се прави избор на подходящо АЦП.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Райдовска В., П. Наков. Алгоритъм за непрекъснат контрол на $tg\delta$ на проходни изолатори. Доклад на „ХΩга Международна научна конференция Смолян 2011”, 2-3 юли 2011

[2] www.maxim-ic.com/an4281

[3] Lyubomirov, S.Y., S.J. Ovcharov, The Use of the A/D Converter of the Type MAX11040 in Relay Protection, Annual Journal of Electronics, 2010, стр. 39-42, ISSN 1313-1842.

Автори:

маг. инж.Велислава Христова Райдовска, гл.ас., Технически колеж – Смолян, задочен докторант в катедра „Електроенергетика”, email: veli45@abv.bg

д-р инж. Петър Наков, доцент катедра „Електроенергетика”, Технически университет, София, email: pnaikov@tu-sofia.bg

ВЕРИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ЗАЗЕМИТЕЛНИ УРЕДБИ ПРИ ДВУСЛОЕН МОДЕЛ НА ПОЧВАТА

Георги Цонев Велев

Резюме: В доклада е представена подробно методика за изчисляване на съпротивлението на конвенционални заземителни уредби при двуслоен модел на почвата. За оценка на приложимостта на методиката при проектирането на заземителни уредби са разгледани множество случаи на нейното използване при различна конфигурация на заземителната уредба и различно разположение на заземителния контур в дълбочина, спрямо двата еквивалентни почвени слоя. Верификацията на методиката е извършена, чрез софтуерни симулации със специализиран програмен продукт за оразмеряване на конвенционални заземителни уредби и сравняване на резултатите.

Ключови думи: заземителна уредба, съпротивление на заземяване, двуслоен модел на почвата

VERIFICATION OF SET OF METHODS FOR CALCULATION OF THE RESISTANCE TO GROUND OF GROUNDING INSTALLATIONS IN CASE OF A TWO-LAYER SOIL MODEL

Georgi Tsonev Velev, TU - Gabrovo

Abstract: The current paper presents in detail a set of methods for calculation of the resistance to ground of conventional grounding installations in case of a two-layer soil model. A great number of study cases has been examined varying the grounding installation's configuration and the layout of the grounding grid in depth in relation to the both equivalent soil layers, in order to evaluate the applicability of the presented inhere methods. The methods' verification has been performed via software simulations using a professional software product for grounding design and results comparison.

Key words: grounding installation, grounding resistance, two-layer soil model

1. Въведение

Двуслойни почвени модели се използват често от проектантите в развитите страни при оразмеряването на заземителни уредби на територията на подстанциите и електрическите централи. Методики, базирани на такива почвени модели обикновено се използват за по-коректно изчисляване на съпротивлението на заземяване и разпределението на допирните и крачните напрежения на повърхността на почвата в района на откритите разпределителни уредби (ОРУ) на енергийните обекти. По този начин се отчита в максимална степен слоестия характер и изменението на специфичната проводимост на почвата в дълбочина в следствие на нейната нееднородност и влиянието на сезоните.

В Българските нормативни документи имащи отношение към устройството, експлоатацията и мълниезащитата на електроенергийните обекти [5, 6] не се обръща нужното внимание на проектирането, поддръжката и ефективността на заземителните уредби. Липсват и каквито и да било изчислителни зависимости и методики за тяхното оразмеряване при еквивалентен двуслоен модел на почвата, каквато е световната практика [4].

В доклада е представена подробно цялостна методика за изчисляване на съпротивлението на заземителни уредби при двуслоен модел на почвата, разработена и систематизирана в [1, 2] и цитирана по-късно в [3]. Направено е многовариантно изследване на приложението на методиката, отразяващо в максимална степен влиянието на всички величини имащи отношение към постигнатата точност.

2. Описание на разглежданата методика

Според [1], еквивалентното съпротивление на заземителна уредба, състояща се от хоризонтална заземителна мрежа и групов вертикален заземител при двуслоен модел на почвата се определя съгласно:

$$(1) \quad R_E = \frac{1}{\sqrt[3]{\left(\frac{1}{R_X}\right)^3 + \left(\frac{1}{R_B}\right)^3}}, \Omega, \text{ където:}$$

R_X - еквивалентно съпротивление на хоризонталната заземителна мрежа, Ω ;

R_B - еквивалентно съпротивление на груповия вертикален заземител, Ω .

• Определяне на еквивалентното съпротивление на хоризонтална заземителна мрежа при двуслойна почва. (фиг. 1)

Съпротивлението на заземителната мрежа в този случай се определя от зависимостта:

$$(2) \quad R_X = r_1 \left[\frac{1}{4} \sqrt{\frac{p}{A}} + \frac{1}{L} \left(\frac{1}{2p} \ln \frac{0,0661 \cdot \Delta l}{d_x} \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{2,256 \cdot t}{\sqrt{A}} \right) - r_1 \frac{\ln(1-K)}{2p(h+h_0)}, \Omega$$

, където:

$$(3) \quad K = \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} - \text{коэффициент на отражение;}$$

$$(4) \quad h < 0,2\sqrt{A}, t < h$$

$$(5) \quad h_0 = c_f \sqrt{\frac{A}{2p}} \left[\ln(1-K) \right] \frac{K-1}{2K}$$

$$(6) \quad \Delta l = \sqrt{\Delta l_x \cdot \Delta l_y}, \text{ m}$$

Δl_x - разстояние между две съседни шини по оста x, m;

Δl_y - разстояние между две съседни шини по оста y, m;

A - площ на заземителната мрежа, m^2 ;

r_1 - специфично съпротивление на повърхностния почвен слой, $\Omega \cdot m$;

r_2 - специфично съпротивление на втория почвен слой, $\Omega \cdot m$;

d_x - диаметър(ефективен диаметър) на хоризонталните шини, m;

L - сумарна дължина на всички хоризонтални шини в контура, m;

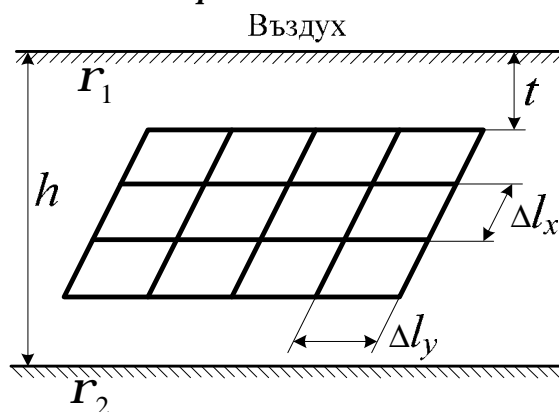
t - дълбочина на полагане на заземителната мрежа, m;

h - дебелина на повърхностния почвен слой, m;

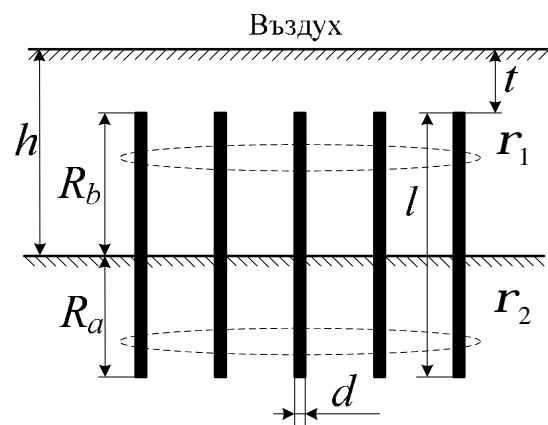
c_f - коефициент отчитащ формата на заземителната мрежа ($c_f \approx 0.9$).

Когато за хоризонтални заземители се използват поцинковани стоманени ленти, в (2) диаметърът d_x се изразява, чрез ширината на шината b :

$$(7) \quad d_x = \frac{2 \cdot b}{p}, \text{ m}$$



Фиг. 1. Заземителна мрежа положена в първия повърхностен почвен слой



Фиг. 2. Групов вертикален заземител в двуслойна почва

• **Определяне на еквивалентното съпротивление на групов вертикален заземител в двуслойна почва (фиг. 2)**

1 случай - *плитък повърхностен слой* – електродите проникват във втория почвен слой ($0 \leq h \leq l + t$).

Еквивалентното съпротивление на груповия вертикален заземител се определя по:

$$(8) \quad R_B = \frac{R_a \cdot R_b}{R_a + R_b}, \Omega$$

R_a и R_b се определят от зависимостите:

$$(9) \quad R_a = \frac{r_2}{l + t - h} g_0 \frac{F_0}{n}, \Omega$$

$$(10) \quad R_b = \frac{r_1}{h - t} g_0 \frac{F_0}{n} + \frac{r_1}{h} \Phi_0, \Omega$$

Неизвестните функции в горните две уравнения се определят по следния начин:

$$(11) \quad g_0 = \frac{1}{2p} \left[\ln \frac{4l}{d} - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2)t}{l}} \right]$$

$$(12) \quad F = 1 + \left(n - \frac{1}{\sqrt{n}} \right) \frac{\sqrt{\frac{l}{a} \left[\left(\frac{1}{2} \right)^3 + \left(\frac{l}{l + \frac{a}{2}} \right)^3 \right]^{\frac{1}{3}}}}{2p \cdot g_0}, \text{ където}$$

$$(13) \quad a = \frac{P}{2p}, \text{ m}$$

P - периметър на фигурата, образувана от груповия вертикален заземител, m;
 a - ефективен радиус на фигурата, образувана от груповия вертикален заземител, m;

Функцията F_0 се получава като в F за l се положи $\frac{l}{1-0,9K}$, т.е.

$$(14) \quad F_0 = F \Big|_{l \rightarrow \frac{l}{1-0,9K}}$$

Функцията Φ отчита влиянието на границата между двата почвени слоя с различна проводимост върху груповия заземител, като за случая ($h > l + t$) (вертикалните заземители не проникват във втория почвен слой):

$$(15) \quad \Phi = \frac{\frac{1}{2p} \left(\ln \frac{1}{1-K} \right)}{\sqrt{\left(\frac{n}{F_0} - 1 \right)^2 \left(\frac{l+t}{h} \right)^2 + 1}}$$

Когато груповият заземител прониква и във втория почвен слой, т.е. ($t + l < h < t$):

$$(16) \quad \Phi_0 = \Phi \Big|_{h=l+t} = \frac{\frac{1}{2p} \left(\ln \frac{1}{1-K} \right)}{\sqrt{\left(\frac{n}{F_0} - 1 \right)^2 + 1}}$$

2 случай - дебел повърхностен слой – електродите не проникват във втория почвен слой ($l + t \leq h \leq \infty$).

$$(17) \quad R_B = \frac{r_1}{l} g_0 \frac{F_0}{n} + \frac{r_1}{h} \Phi, \Omega$$

Когато за вертикални заземители се използват ъглови винкелки, в (11) диаметра на електрода d се изразява, чрез ширината на винкела c :

$$(18) \quad d = 0,95 \cdot c, \text{ m}$$

3. Многовариантно изследване и верификация на предложената методика

Разгледани са вариантни изчисления на съпротивлението на заземителна уредба при двуслойна почва, съгласно разгледаната методика в съответствие със геометрията от фиг. 1 и фиг. 2.

За нуждите на изчисленията са избрани стандартни вертикални и хоризонтални заземители със следните размери:

- *единични вертикални заземители – ъглов поцинкован стоманен профил със ширина 63 mm и дебелина 5 mm;*
- *хоризонтални заземители – поцинкована стоманена шина със ширина 40 mm и дебелина 4 mm;*

Изчисленията са извършени за различни варианти на геометрията съгласно следните условия:

- § изследвани са заземителни контури със квадратна форма;
- § вертикалните заземители са с фиксирана дължина $l = 5 \text{ m}$;
- § дълбочината на полагане на заземителната уредба под нивото на повърхността е стандартна и фиксирана по стойност $t = 0,6 \text{ m}$;
- § големината на клетката на заземителната мрежа е равна на разстоянието между вертикалните заземители в контура $\Delta l = \Delta l_x = \Delta l_y = 15 \text{ m}$;
- § варианти с различен брой вертикални заземители в контура:
 5×5 ($n = 25$ бр.); 7×7 ($n = 49$ бр.); 9×9 ($n = 81$ бр.); 11×11 ($n = 121$ бр.);
 13×13 ($n = 169$ бр.); 15×15 ($n = 225$ бр.);
- § варианти с изменение на специфичното обемно съпротивление на двата еквивалентни почвени слоя r_1 и r_2 , $\Omega \cdot \text{m}$;
- § варианти с изменение на дебелината на повърхностния почвен слой h , m:
 - $h = 0,5 \text{ m}$ - *тънък повърхостен слой* - заземителната уредба се намира във втория почвен слой;
 - $h = 1 \text{ m}$; $h = 3 \text{ m}$; $h = 5 \text{ m}$ - заземителната мрежа се намира в повърхностния почвен слой, а вертикалните заземители проникват и във втория почвен слой с безкрайна дебелина;
 - $h = 10 \text{ m}$ - *дебел повърхостен слой* – заземителната уредба се намира изцяло във първия-повърхостен почвен слой;

Разположението на заземителния контур в дълбочина спрямо двата еквивалентни почвени слоя е от съществено значение за оценка на точността на методиката. Причина за това е различната проводимост на двата почвени слоя, в следствие, на което на границата между тях, силовите линии на електрическото поле се изкривяват и плътността на тока в почвата се изменя рязко. При промяна на разположението на заземителния контур, картината на разпределение на електрическото поле в почвата се изменя, което се отразява несъмнено върху големината на съпротивлението на заземяване.

Всички вариантни изчисленията са извършени в средата на Mathcad, а верификацията на резултатите е осъществена чрез симулации използвайки програмния продукт SYME SYMGrd, който е базиран на метода на крайните

елементи и разработен в съответствие с изискванията на международния стандарт IEEE Std 80-2000. Резултатите от продукта CYME SYMGrd са приети със достоверност 100%.

Относителната грешка в проценти за всеки конкретен случай се определя съгласно:

$$(19) \quad e_{\%} = \frac{R_E - R_{CYME}}{R_E} \cdot 100, \% \quad , \text{където}$$

R_{CYME}, Ω – съпротивление на заземяване, получено чрез програмният продукт CYME SYMGrd;

R_E, Ω – еквивалентно съпротивление на заземителната уредба, изчислено съгласно предложената методика.

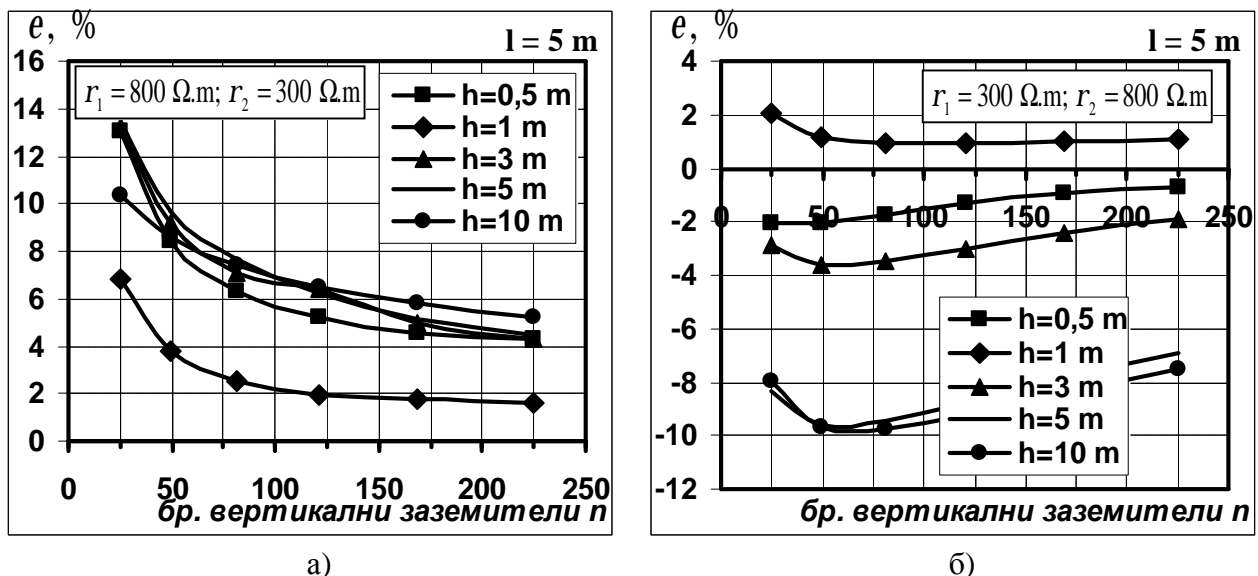
1 случай – фиксирани стойности на специфичното обемно съпротивление на двата почвени слоя и изменение на геометричните размери на ЗУ

Разгледани са два подслучая:

- вторият почвен слой е с по-голяма проводимост $r_1 = 800 \Omega.m$; $r_2 = 300 \Omega.m$;
- първият почвен слой е с по-голяма проводимост $r_1 = 300 \Omega.m$; $r_2 = 800 \Omega.m$;

За всеки от двата горни подслучая са направени вариантни изчисления при контурно разполагане на вертикалните заземители (прил. П.1) и вертикални заземители само по периферията на заземителната мрежа (прил. П.2).

За по-голяма яснота, тенденцията на изменение на относителната грешка при приложение на методиката за съответните варианти е представена в графичен вид на фиг. 3 и фиг.4.

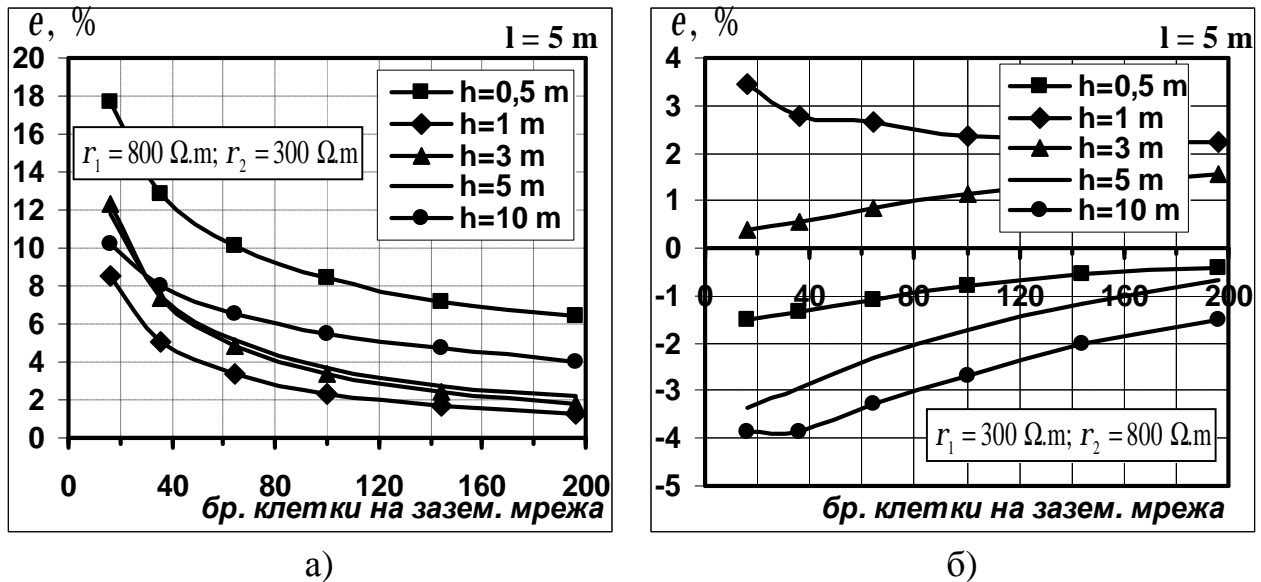


Фиг. 3. Относителна грешка на методиката при контурно разполагане на вертикалните заземители във функция от броя им и респективно заеманата площ: а) при по-голяма проводимост на втория почвен слой; б) при по-голяма проводимост на първия почвен слой.

Анализирайки графиките от фиг. 3 и фиг. 4 може да се направят следните разсъждения:

- Ø С увеличаване на броя на използваните вертикални заземители в контура и респективно площта заемана от ЗУ, точността на методиката нараства;

Ø При по-голяма електропроводимост на втория почвен слой (фиг.3 а и фиг. 4 а), грешката е винаги положителна и за ЗУ с над 50 бр.вертикални заземители разположени контурно или с над 60 бр. клетки на заземителната мрежа, тя е под +10 %. Изменението на дебелината на повърхностния почвен слой спрямо разположението на заземителната уредба в дълбочина в този случай не влияе особено върху точността;



Фиг. 4. Относителна грешка на методиката при разполагане на вертикалните заземители само по периферията на заземителната мрежа във функция от броя на клетките на заземителната мрежа и респективно заемащата площ: а) при по-голяма проводимост на втория почвен слой; б) при по-голяма проводимост на първия почвен слой

Ø При по-голяма електропроводимост на първия почвен слой (фиг.3 б и фиг. 4 б), относителната грешка се изменя в диапазона от -10% до +3,5 % и също има тенденция да намалява с увеличаване на заемащата от ЗУ площ. В този случай изменението на дебелината на повърхностния почвен слой спрямо разположението на заземителната уредба в дълбочина води до изменение на знака на относителната грешка, което е ясна индикация, че при по-проводим втори почвен слой методиката трябва да се използва с внимание въпреки малката по-стойност грешка;

Ø При разположение на вертикалните заземители само по периферията на ЗУ точността на методиката се увеличава в сравнение със случая при тяхното контурно разположение;

Ø Най-достовърни резултати се получават, когато дебелината на първия еквивалентен почвен слой отговаря на условието $t < h < (t + l)$ в съответствие с (4), т.е. хоризонталната заземителна мрежа да се намира в първия почвен слой, а вертикалните заземители да проникват и във втория почвен слой;

От фиг. 3 и фиг. 4 се вижда, че точността на методиката в най-голяма степен зависи от стойностите на специфичното обемно съпротивление на двата еквивалентни почвени слоя.

2 случай – фиксирани геометрични размери на ЗУ и изменение на стойности-

те на специфичното обемно съпротивление на двата почвени слоя

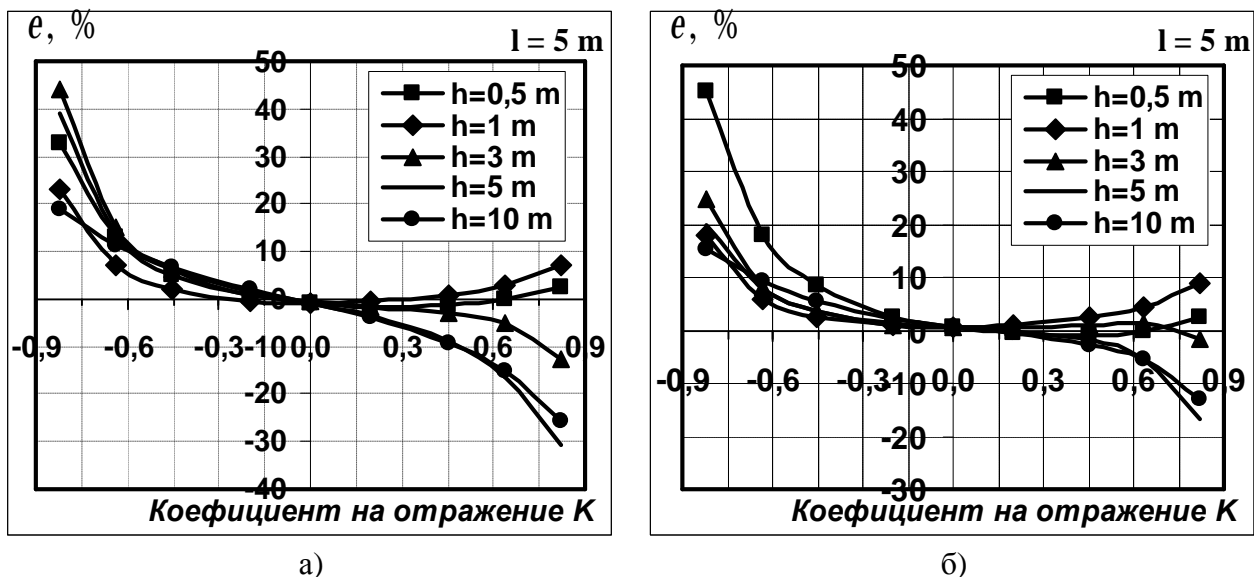
Изследвани са две ЗУ с фиксирани размери и еднаква заемана площ при изменение на специфичното обемно съпротивление на двата почвени слоя:

- ЗУ със 100 бр. клетки на заземителната мрежа и 11x11(121) бр. вертикални заземители, разположени контурно;
- ЗУ със 100 бр. клетки на заземителната мрежа и 40 бр. вертикални заземители разположени по периферията на заземителната мрежа;

Резултатите от изчисленията и симулациите с CYME SYMGrd за съпротивлението на заземяване и грешката на методиката са систематизирани в прил. П.3 и прил. П.4.

На фиг. 5 е представено графично изменението на относителната грешка на методиката при изменение на коефициента на отражение K , който е изчислен съгласно (3) и характеризира съотношението между стойностите на специфичното обемно съпротивление за двата еквивалентни почвени слоя. Могат да се направят следните разсъждения:

- Ø Независимо от типа на ЗУ (фиг. 5 а и б) грешката на методиката има една и съща тенденция на изменение;
- Ø При стойности на коефициента на отражение в диапазона $-0,6 < K < 0,6$ методиката има грешка в границите от +10% до -10%, което е напълно задоволително за инженерни пресмятания;
- Ø При кратност между стойностите на специф. обемно съпротивление на двата почвени слоя с повече от 4 пъти, методиката не трябва да се прилага, тъй като грешката, която се допуска е недопустима (+40% до -30%);



Фиг. 5. Относителна грешка на методиката при изменение на коефициента на отражение K и респективно проводимостите на двата еквивалентни почвени слоя, фиксирана площ на заземителната уредба и 100 бр. клетки на заземителната мрежа: а) при контурно разполагане на вертикалните заземители; б) при разполагане на вертикалните заземители само по периферията на заземителната мрежа.

- Ø И в този случай, ако е изпълнено условието $t < h < (t+l)$ точността се увеличава;

Ø От фиг. 5 се вижда, че ако двата почвени слоя са с еднаква проводимост, т.е.(почвеният модел се свежда до еднослоен в общия случай), точността на методиката достига 100 %. Тогава $K = 0$ и в (5) се приема:

$$(20) \quad h_0 = \lim_{K \rightarrow 0} \left(c_f \sqrt{\frac{A}{2\rho}} [\ln(1-K)] \frac{K-1}{2K} \right) \approx 0$$

3. Заключение

Представената подробно в този доклад методика за изчисляване на съпротивлението на ЗУ при двуслоен модел на почвата може да се използва в проектантската дейност при определени условия:

- Ø При стойности на коефициента на отражение в диапазона $-0,6 < K < 0,6$ методиката има грешка в границите от +10% до -10%, което е напълно задоволително за инженерни пресмятания;
- Ø За случаите, при които втория почвен слой с по-голяма електропроводимост е възможно да се получи отрицателна грешка и това да доведе до грешки в проектирането и като следствие – опасна за експлоатация ЗУ;
- Ø Най-достоверни резултати се получават, когато дебелината на първия еквивалентен почвен слой отговаря на условието $t < h < (t+l)$, т.е. хоризонталната заземителна мрежа да се намира в първия почвен слой, а вертикалните заземители да проникват и във втория почвен слой;
- Ø Ако методиката се използва в частния случай - при еднородна почва, точността и достига близо 100%;

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chow, Y. L., M. Elsherbiny, M. Salama, Resistance formulas of grounding Systems in Two-Layer Earth, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 11, no. 3, July 1996;
- [2] Salama, M. M. A., M. M. Elsherbiny, Y. L. Chow, A Formula for Resistance of Substation Grounding Grid in Two-Layer Soil, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, no. 3, July 1995;
- [3] Stefanova, E. N., O. S. S. Hernandez, Methodology for the design of grounding systems in overhead lines and substations for intermediate tensions, Empresa Electrica Matanzas, ISPJAE, Cuba, 2004;
- [4] IEEE Std 80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE-SA Standards Board, January 2000;
- [5] НАРЕДБА № 3/9.06.2004 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии;
- [6] Наредба № 4/22. 12. 2010 г. - “Мълниезащита на сгради, външни съоръжения и открити пространства”;

[7] Велев, Г., Анализ на методики за изчисляване съпротивлението на конвенционални заземителни уредби при еднородна почва. Част I – Актуално състояние на проблема, сп. „Енергетика”, НЕК ЕАД, брой 4, Юли - Август 2012, ISSN 0324-1521

Автор:

д-р инж. Георги Цонев Велев – главен асистент в катедра „Основи на електротехниката и електроенергетиката” (ОЕЕ) при ТУ - Габрово, e-mail: g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение П.1

1 случай - при контурно разположение на вертикалните заземители															
Брой верг. електроди	$l = 5 \text{ m}; \Delta l = 15 \text{ m}; r_1 = 800 \Omega \cdot \text{m}; r_2 = 300 \Omega \cdot \text{m}$														
	$h=0,5 \text{ m}$			$h=1 \text{ m}$			$h=3 \text{ m}$			$h=5 \text{ m}$			$h=10 \text{ m}$		
n	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$
бр.	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%
5x5 (25)	2,38	2,69	13,03	2,64	2,82	6,86	2,93	3,32	13,19	3,32	3,77	13,51	3,94	4,35	10,33
7x7 (49)	1,57	1,70	8,43	1,70	1,76	3,77	1,85	2,02	9,14	2,05	2,25	9,72	2,37	2,58	8,60
9x9 (81)	1,16	1,24	6,28	1,24	1,28	2,49	1,34	1,43	7,04	1,46	1,57	7,63	1,66	1,78	7,41
11x11 (121)	0,92	0,97	5,21	0,98	1,00	1,94	1,03	1,10	6,38	1,12	1,19	6,24	1,26	1,34	6,51
13x13 (169)	0,76	0,80	4,58	0,80	0,82	1,74	0,85	0,89	4,95	0,91	0,96	5,18	1,01	1,07	5,85
15x15 (225)	0,65	0,68	4,30	0,68	0,69	1,61	0,72	0,75	4,33	0,76	0,80	4,47	0,84	0,88	5,25
2 случай - при контурно разположение на вертикалните заземители															
Брой верг. електроди	$l = 5 \text{ m}; \Delta l = 15 \text{ m}; r_1 = 300 \Omega \cdot \text{m}; r_2 = 800 \Omega \cdot \text{m}$														
	$h=0,5 \text{ m}$			$h=1 \text{ m}$			$h=3 \text{ m}$			$h=5 \text{ m}$			$h=10 \text{ m}$		
n	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$
бр.	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%
5x5 (25)	5,90	5,77	-2,09	5,41	5,52	2,07	4,86	4,72	-2,88	4,49	4,11	-8,33	3,96	3,64	-7,96
7x7 (49)	3,94	3,86	-2,06	3,69	3,73	1,14	3,39	3,27	-3,66	3,18	2,87	-9,64	2,85	2,57	-9,72
9x9 (81)	2,95	2,90	-1,73	2,80	2,82	0,93	2,61	2,52	-3,49	2,47	2,23	-9,49	2,24	2,02	-9,77
11x11 (121)	2,36	2,33	-1,31	2,25	2,27	0,93	2,12	2,06	-3,02	2,02	1,84	-8,77	1,85	1,68	-9,22
13x13 (169)	1,96	1,95	-0,97	1,89	1,91	0,01	1,79	1,74	-2,46	1,71	1,58	-7,83	1,58	1,45	-8,40
15x15 (225)	1,68	1,67	-0,71	1,62	1,64	0,11	1,55	1,52	-1,94	1,49	1,38	-6,94	1,38	1,28	-7,52

Приложение П.2

1 случай – при разположение на вертикалните заземители по периферията на заземителната мрежа															
Брой верг. електроди (бр.клетки)	$l = 5 \text{ m}; \Delta l = 15 \text{ m}; r_1 = 800 \Omega \cdot \text{m}; r_2 = 300 \Omega \cdot \text{m}$														
	$h=0,5 \text{ m}$			$h=1 \text{ m}$			$h=3 \text{ m}$			$h=5 \text{ m}$			$h=10 \text{ m}$		
n	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$
бр.	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%
16 (16)	2,40	2,82	17,64	2,72	2,95	8,57	3,05	3,42	12,34	3,42	3,82	11,76	3,99	4,40	10,22
24 (36)	1,58	1,78	12,86	1,76	1,84	5,07	1,93	2,07	7,41	2,11	2,27	7,48	2,41	2,60	8,01
32 (64)	1,17	1,29	10,07	1,28	1,33	3,35	1,39	1,46	4,88	1,50	1,58	5,12	1,69	1,80	6,53
40 (100)	0,93	1,01	8,39	1,01	1,03	2,28	1,08	1,12	3,42	1,16	1,20	3,72	1,28	1,35	5,47
48 (144)	0,77	0,83	7,14	0,83	0,84	1,69	0,88	0,90	2,38	0,94	0,96	2,78	1,02	1,07	4,79
56 (196)	0,66	0,70	6,40	0,70	0,71	1,28	0,74	0,76	1,75	0,78	0,80	2,17	0,85	0,89	4,00
Брой верг. електроди	$l = 5 \text{ m}; \Delta l = 15 \text{ m}; r_1 = 300 \Omega \cdot \text{m}; r_2 = 800 \Omega \cdot \text{m}$														
	$h=0,5 \text{ m}$			$h=1 \text{ m}$			$h=3 \text{ m}$			$h=5 \text{ m}$			$h=10 \text{ m}$		
n	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$
бр.	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%
16 (16)	5,93	5,84	-1,52	5,43	5,61	3,47	4,87	4,89	0,39	4,50	4,35	-3,36	3,97	3,82	-3,85
24 (36)	3,97	3,91	-1,36	3,70	3,80	2,79	3,40	3,42	0,56	3,18	3,09	-2,95	2,86	2,75	-3,88
32 (64)	2,97	2,94	-1,08	2,80	2,88	2,64	2,61	2,63	0,84	2,47	2,42	-2,31	2,25	2,17	-3,29
40 (100)	2,37	2,36	-0,80	2,26	2,31	2,35	2,12	2,15	1,13	2,02	1,99	-1,73	1,86	1,81	-2,69
48 (144)	1,98	1,96	-0,56	1,89	1,93	2,28	1,79	1,81	1,34	1,72	1,70	-1,17	1,59	1,56	-2,02
56 (196)	1,69	1,68	-0,41	1,63	1,66	2,22	1,55	1,57	1,55	1,49	1,48	-0,67	1,39	1,37	-1,52

Приложение П.3

2 случай - при контурно разположение на вертикалните заземители																	
$l = 5 \text{ m}; \Delta l = 15 \text{ m}; n = 121 \text{ бр. (11x11) вертикални заземители; 100 клетки}$																	
			$h=0,5 \text{ m}$			$h=1 \text{ m}$			$h=3 \text{ m}$			$h=5 \text{ m}$			$h=10 \text{ m}$		
r_1	r_2	K	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$
$\Omega.m$	$\Omega.m$	-	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%
1000	100	-0,82	0,31	0,41	32,58	0,36	0,45	22,93	0,42	0,60	44,12	0,55	0,76	38,98	0,86	1,02	19,00
900	200	-0,64	0,62	0,70	12,97	0,68	0,73	7,05	0,75	0,86	14,95	0,86	0,98	13,94	1,07	1,19	11,35
800	300	-0,45	0,92	0,97	5,21	0,98	1,00	1,94	1,03	1,10	6,38	1,12	1,19	6,24	1,26	1,34	6,51
600	400	-0,20	1,22	1,23	0,66	1,25	1,24	-0,40	1,28	1,29	0,94	1,31	1,33	1,60	1,37	1,39	1,98
500	500	0	1,51	1,50	-0,92	1,51	1,50	-0,73	1,51	1,50	-0,66	1,51	1,50	-0,79	1,51	1,50	-0,92
400	600	0,20	1,80	1,77	-1,56	1,76	1,76	-0,40	1,72	1,69	-1,69	1,68	1,63	-3,27	1,63	1,56	-3,94
300	800	0,45	2,36	2,33	-1,31	2,25	2,27	0,93	2,12	2,06	-3,02	2,02	1,84	-8,77	1,85	1,68	-9,22
200	900	0,64	2,60	2,59	-0,23	2,43	2,50	2,80	2,20	2,08	-5,28	2,04	1,70	-16,45	1,78	1,51	-15,37
100	1000	0,82	2,76	2,83	2,65	2,47	2,65	6,95	2,08	1,81	-12,80	1,83	1,27	-30,92	1,48	1,10	-25,81

Приложение П.4

2 случай - при разположение на вертикалните заземители по периферията на заземителната мрежа																	
$l = 5 \text{ m}; \Delta l = 15 \text{ m}; n = 121 \text{ бр. (11x11) вертикални заземители; 100 клетки}$																	
			$h=0,5 \text{ m}$			$h=1 \text{ m}$			$h=3 \text{ m}$			$h=5 \text{ m}$			$h=10 \text{ m}$		
r_1	r_2	K	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$	R_{CYME}	R_E	$e_{\%}$
$\Omega.m$	$\Omega.m$	-	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%	Ω	Ω	Ω	%	%
1000	100	-0,82	0,31	0,45	45,05	0,42	0,49	17,83	0,51	0,63	24,90	0,64	0,77	19,66	0,89	1,02	15,46
900	200	-0,64	0,62	0,73	18,01	0,72	0,76	5,82	0,81	0,88	8,23	0,92	0,99	7,76	1,09	1,19	9,37
800	300	-0,45	0,93	1,01	8,39	1,01	1,03	2,28	1,08	1,12	3,42	1,16	1,20	3,72	1,28	1,35	5,47
600	400	-0,20	1,23	1,26	2,60	1,26	1,27	0,79	1,30	1,31	1,08	1,33	1,35	1,35	1,38	1,41	2,17
500	500	0	1,53	1,53	0,52	1,52	1,53	0,59	1,52	1,53	0,59	1,52	1,53	0,59	1,53	1,53	0,52
400	600	0,20	1,81	1,80	-0,55	1,77	1,79	1,02	1,73	1,74	0,70	1,69	1,69	-0,06	1,63	1,62	-0,73
300	800	0,45	2,37	2,36	-0,80	2,26	2,31	2,35	2,12	2,15	1,13	2,02	1,99	-1,73	1,86	1,81	-2,69
200	900	0,64	2,61	2,61	-0,08	2,43	2,54	4,28	2,20	2,23	1,18	2,04	1,93	-5,44	1,79	1,69	-5,49
100	1000	0,82	2,77	2,84	2,49	2,48	2,69	8,68	2,08	2,04	-1,83	1,84	1,52	-16,95	1,49	1,29	-12,86

МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА СИСТЕМАТА „ТЯГОВА МРЕЖА - ЕЛЕКТРИЧЕСКО ТРАНСПОРТНО СРЕДСТВО (ЕТС)“

Георги Павлов

Резюме: В доклада е направено математическо моделиране на електромагнитните процеси в силовата верига на ЕТС чрез числено интегриране на система диференциални уравнения, описващи процесите в електрическите и магнитни вериги.

Целите на настоящата работа са ориентирани към изследване чрез моделиране и последващо провеждане на реални измервания на параметри, определящи енергетичната ефективност на ЕТС за променлив ток с колекторни двигатели. На база на получените резултати ще се проектира регулируем компенсатор на реактивна мощност за ЕТС със занижени енергетични параметри.

Ключови думи: Математическо моделиране, коефициент на мощност, електрически транспортни средства за променлив ток

MATHEMATICAL MODELING OF THE "TRACTION NETWORK - ELECTRIC VEHICLE (ETS)"

George Pavlov

Summary: This report is made mathematical modeling of electromagnetic processes in power circuits ETC chislenno by integrating system differential equations describing processes in electrical and magnetic circuits.

The objectives of this work are research-oriented modeling and subsequent conduct real measurements of parameters determining the energetic efficiency of the ETC for AC commutator motors. Based on the results obtained will be projected electronically adjustable reactive power compensator with reduced ETC energetic parameters

Keywords: Mathematical modeling, power factor, electric vehicles for AC

1. Въведение

Един от най-ефективните начини за повишаване на коефициента на мощност (K_M) на тяговата енергозахранваща система (ТЕС) е намаляване на консумацията на реактивна енергия в самите транспортни средства. Това може да се постигне посредством приложение на четириквadrантни преобразуватели (ЧП), масово използвани в съвременните ЕТС или вграждане на активни компенсатори на реактивна мощност (АКРМ).

Всеизвестен факт е, че парка на жп транспорт у нас е морално и физически остарял. Необходимо е спешно обновяване и модернизация на основната част от експлоатираните ЕТС с цел обезпечаване на плавно регулиране и

рекуперация, както и повишаване на енергетичните им параметри. В ЕТС със степенно регулиране на напрежението, експлоатирани в жп транспорт у нас, вграждането на ЧП и запазване на по-голямата част от електрообзавеждането е много по-ефективен вариант за модернизация от финансова и енергетична гледна точка, докато при наскоро модернизирани тиристорни локомотиви този вариант е неприложим. При тях повишаването на K_m при запазване на тиристорните токоизправители може да се постигне посредством АКРМ, които имат много по-ниска цена.

На базата на проведени теоретични изследвания на електромагнитните процеси е разработен математически модел на тяговата система „контактна мрежа – тягов трансформатор – силов преобразувател – регулируем компенсатор на реактивна енергия – тягови двигатели”. Основната цел е ориентирана към изследване чрез моделиране на енергетичната ефективност на ЕТС със ниски енергетични параметри и проектиране на компенсиращо устройство.

2. Математическо моделиране на електромагнитните процеси в системата „Тягова мрежа –ЕТС”

Съществуват достатъчно програмни продукти, позволяващи моделиране на устройства от силовата електроника в квазиреален мащаб на времето. Най-разпространените са: MathCad, Caspoc, Pspice, OrCad и Electronics Workbench, MathLab и др. По отношение на система за моделиране те не могат напълно да удовлетворят изискванията, които се поставят към моделите, включващи процеси в силовите електрически вериги на електрически локомотив за променлив ток с определен вид компенсатор за реактивна мощност, при движение по конкретен участък от контактната мрежа (КМ).

Например построяването на такива сложни модели може да бъде направено на MathLab, която е среда за работа на различни програми с високо качество на математически функции и модели. Но и тук трудно се решава задача, свързана с отчитане на процесите в магнитната верига на магнитопровода на тяговия трансформатор в реален вид.

В доклада е разгледан вариант за създаване на математически модел, с помощта на който се изчисляват моментните стойности на тока и напрежението на основните елементи в схемата на разглежданата система. Това се прави по пътя на числено интегриране на системата от диференциални уравнения, описващи процесите в електрическите вериги. Едновременно с изчисляването на моментните стойности на променливите се определят и интегралните показатели, средна и ефективна стойност на представляващите интерес променливи - активна и реактивна мощност, K_m и др. Тези резултати се натрупват в масиви от данни и се използват за анализи.

Графичното представяне на интегралните характеристики се осъществява с използването на графична програма MS Excel. Спектралният анализ на моментните стойности на токовете и напреженията позволява да се оцени качеството на консумираната електрическа енергия. Предлаганата методика

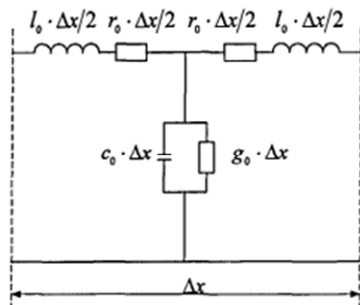
позволява да се определят аналитично и енергетичните показатели на изследваните ЕТС за променлив ток.[2, 3]

За да се направи цялостно изследване на енергетичните показатели на ЕТС математическия модел „тягова мрежа – ЕТС” трябва да съдържа следните основни елементи: тягова подстанция (ТП) – разглеждането и се прави посредством подстанционен трансформатор(ПТ); контактна мрежа (КМ); тягов трансформатор на локомотива (ТТ_л); пуско-регулирущо устройство (ПРУ) – определен вид регулатор или преобразувател; товар – в случая това са тяговите двигатели (ТД); активни компенсатори на реактивна мощност АКРМ.

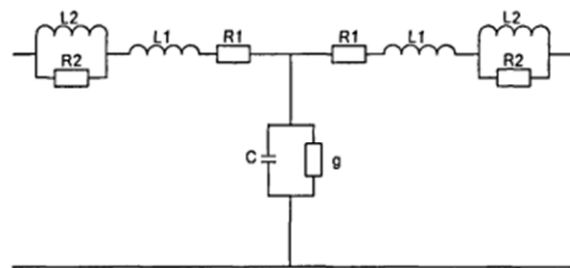
2.1. Модел на тягова енергоснабдителна система (ТЕС)

Захранването на тяговите товари (ЕТС) за променлив ток се осъществява чрез тягови подстанции (ПТ) и контактна мрежа. Те притежават специфични параметри, оказващи влияние на електромагнитните (ЕМ) процеси при предаване на електрическа енергия от ТП към ЕТС и обратно. При това параметрите на участъка от КМ, от мястото на ЕТС до ТП се променят при неговото движение.

В общия случай КМ следва да се разглежда като електрическа верига с разпределени параметри. Те представляват модел на крайни елементи, съставени от последователно включени Т-образни четириполусници, съответстващи на участъци с дължина ΔX (фиг. 1) [4].



Фиг. 1. Заместваща схема на елемент



Фиг. 2. Заместваща схема на участък от КМ с дължина l от контактната мрежа с дължина ΔX

Изследванията показват, че в зависимост от разположението на ЕТС във фидерната зона комутационните процеси в преобразувателя се съпровождат с високочестотни колебания в честотен диапазон от 800 до 2000 Hz. При фазова скорост $V_\phi \approx 3 \cdot 10^8$ m/s, дължината на вълната може да се изчисли, като тя ще е равна на $\lambda = V_\phi / f = 150 \div 375$ km. При разстояния между ТП от порядъка на 40-60 km, модела на КМ е допустимо да се представи във вид на един Т-образен четириполусник, като заместващата схема ще има вида показан на фиг. 2.[2]

Елементите L_1 , R_1 , C , g определят индуктивността, активното съпротивление, капацитета и напречната активна проводимост на КМ. Паралелно свързаните R_2 и L_2 отчитат възможността за изменение на параметрите на КМ, предизвикани от повърхностни ефекти.

От фиг. 2 са изведени зависимости за активното и реактивното съпротивление на мрежата:

$$(1) \quad \left. \begin{aligned} R_{KM} &= R_1 + R_2 \frac{w^2 \cdot L_2^2}{R_2^2 + (w \cdot L_2)^2} \\ X_{KM} &= w \left[L_1 + L_2 \frac{R_2^2}{R_2^2 + (w \cdot L_2)^2} \right] \end{aligned} \right\}$$

Те могат да бъдат определени и чрез параметрите на участъка от КМ с дължина l от изразите: $R_{KM} = r_0 \cdot l$; $X_{KM} = x_0 \cdot l$. Където r_0 , x_0 са съответно активното и реактивното съпротивление за 1 km от КМ, Ω/km .

За осъществяване на изчисленията са приети следните начални условия: еднопътен участък от контактна мрежа, марка носещо въже ПБСМ-95, контактен проводник ТФ-100, тип релси Р65, Р50.

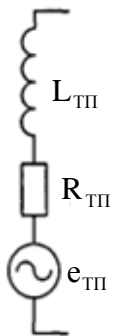
За дадените параметри на КМ средните стойности на съпротивленията са $r_0 = 0,24 \Omega/\text{km}$, $x_0 = 0,48 \Omega/\text{km}$, $C_0 = 11 \text{ nF}/\text{km}$ и $b_0 = 3,45 \cdot 10^{-6} 1/\Omega \cdot \text{km}$. [1]

При приемане на разположение на ЕТС в средата на фидерната зона ($l_\phi \cong 60 \text{ km}$) и при представяне на КМ във вид на Т-образен четириполусник са изчислени следните стойности на елементите в схемата (фиг. 2).

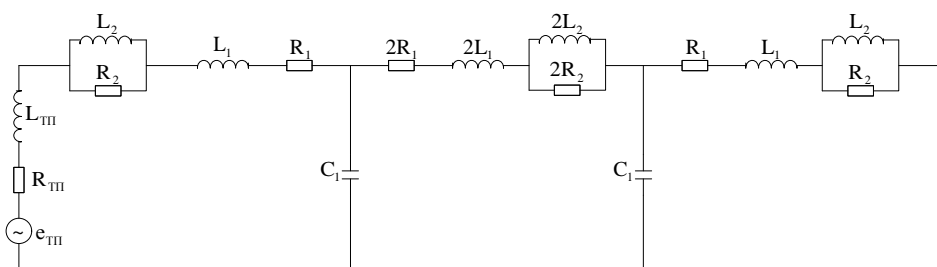
$$L_1 = 45,86 \text{ mH}; \quad R_1 = 7,2 \Omega; \quad C_1 = 0,330 \mu\text{F};$$

$$(2) \quad L_2 = 8,16 \text{ mH}; \quad R_2 = 59,8 \Omega$$

Тяговата подстанция може да се представи чрез ПТ, във вид на източник на променливо синусоидално напрежение $e_{\text{ТП}}$, активното съпротивление $R_{\text{ТП}}$ и индуктивното $L_{\text{ТП}}$, приведени към напрежението на КМ. Заместващата схема е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Заместваща схема



Фиг. 4. Заместваща схема на ТЕС на ТП

Изчисленията са направени за един от широко използваните у нас типове тягови трансформатори в ТП захранващи електрическия железопътен транспорт – тягов трансформатор тип ЕМРУ 10500/110. За избрания тип трансформатор за дефинираните параметри са изчислени следните стойности:

$$(3) \quad e_{\text{ТП}} = \sqrt{2} \cdot E_{\text{ТП}} \cdot \sin \omega t; \quad R_{\text{ТП}} = 0,191 \Omega; \quad L_{\text{ТП}} = 0,0229 \text{ H}$$

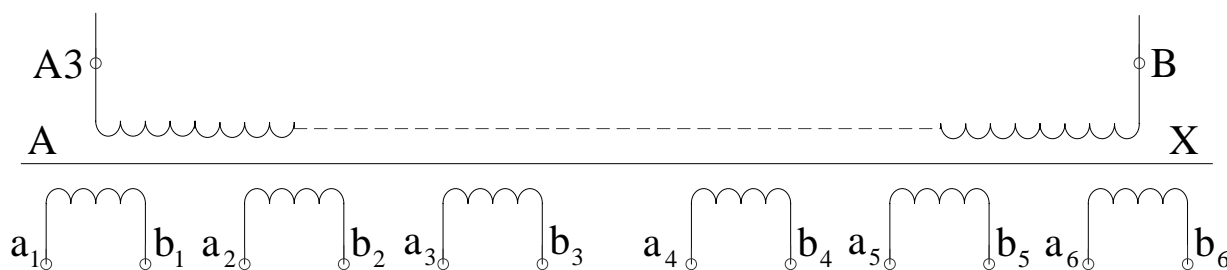
Пълната заместваща схема на ТЕС е показана на фиг. 4. В програмния продукт е създадена възможност да се оценява влиянието на изменението на напрежението на шините на ТП, като $e_{\text{ТП}}$ може да варира от $e_{\text{ТПmin}}$ до $e_{\text{ТПmax}}$. Също така стойностите на елементите от заместващата схема на КМ варират при движение на ЕТС във фидерната зона.

2.2. Модел на тягов трансформатор на ЕТС (ТТ_Д)

Електромагнитните процеси в тяговите трансформатори на ЕТС са най-сложни за моделиране, поради специфичното им изпълнение. Те са многонамотъчни, намотките често са несиметрично разположени върху магнитопровода. Освен това при изменение на $U_{KM}=19\div 29$ kV магнитопровода може да се насища. Параметрите на трансформатора оказват най-голямо влияние на процесите в силовите вериги на ЕТС и поради това играят решаваща роля за получаване на по-голяма точност.

Известни са два подхода за моделиране на трансформатори. Първи – представяне на трансформатора във вид на електрическа верига с взаимно-индуктивни връзки и активни съпротивления. Втори – представяне на трансформатора като нелинейна магнитна верига със система от намотки, магнитно свързани с различни участъци от магнитната верига.

По-нататък разглеждането е направено за трансформатора на ЕЛ 46-200. Причината за това са изключително ниските енергетични показатели (K_M) на състава и свързаната с това необходимост от вграждане на АКРМ в силовата му схема. След модернизацията на локомотив 46-200 трансформаторът се състои от първична намотка, шест тягови вторични намотки, намотка за захранване на електродинамичното спиране, намотка собствени нужди и намотка влаково отопление. На фиг.5 на модела е отразена само тяговата част.



Фиг. 5. Схема на модела на ТТ_Д

За построяване на математическия модел са съставени уравнения описващи електрическото равновесие за всички намотки на трансформатора.

$$(4) \quad \begin{cases} u_1 = i_1 \cdot R_1 + \frac{d\Psi_1}{dt} \\ u_2 = i_2 \cdot R_2 + \frac{d\Psi_2}{dt} \\ \dots \\ u_n = i_n \cdot R_n + \frac{d\Psi_n}{dt} \end{cases}$$

i_n – ток протичащ в n -та намотка; R_n – активно съпротивление на n -та намотка; Ψ_i - потокосцепление.

Потокосцеплението се определя от израза:

$$(5) \quad \Psi_i = w_i (\Phi_0 + \Phi_{\sigma i})$$

Φ_0 – основен магнитен поток.

$$(6) \quad \Phi_0 = \lambda_0 (i_1 w_1 + i_2 w_2 + \dots + i_n w_n); \quad \Phi_{\sigma i} = \lambda_{\sigma i} \cdot i_1 w_1$$

След няколко преобразувания (5), (6) се заместват в (4) и се получава:

$$(7) \quad \begin{cases} u_1 = i_1 \cdot R_1 + w_1^2 (I_0 + I_{s1}) \frac{di_1}{dt} + w_1 w_2 I_0 \frac{di_2}{dt} + \dots + w_1 w_n I_0 \frac{di_n}{dt} \\ u_2 = i_2 \cdot R_2 + w_2 w_1 I_0 \frac{di_1}{dt} + w_2^2 (I_0 + I_{s2}) \frac{di_2}{dt} + \dots + w_2 w_n I_0 \frac{di_n}{dt} \\ \dots \\ u_n = i_n \cdot R_n + w_n w_1 I_0 \frac{di_1}{dt} + w_n w_2 I_0 \frac{di_2}{dt} + \dots + w_n^2 (I_0 + I_{sn}) \frac{di_n}{dt} \end{cases}$$

Коефициентите пред di/dt представляват собствените и взаимни индуктивности.

$$(8) \quad L_{ii} = \frac{\lambda_0 + \lambda_{\sigma i}}{K_{li}^2} \cdot w_1^2; \quad L_{ij} = \frac{\lambda_0}{K_{li} \cdot K_{lj}} \cdot w_1^2$$

Уравненията може да се запишат в матрична форма:

$$(9) \quad |L| \frac{d}{dt} |i| + |R|; \quad |i| = |u|$$

Коефициента на матриците се явяват параметри на ТТ_л. Те се определят на основата на опитни данни (за активните съпротивления от непосредствени измервания, а за индуктивността от опити на п.х. и к.с.).

$$(10) \quad |L| = \begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1n} \\ L_{21} & L_{12} & \dots & L_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{n1} & L_{n2} & \dots & L_{nn} \end{vmatrix}; \quad |R| = \begin{vmatrix} R_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & R_n \end{vmatrix}$$

За разглеждания тягов трансформатор на локомотива (TFVL 80) параметрите имат следните стойности:

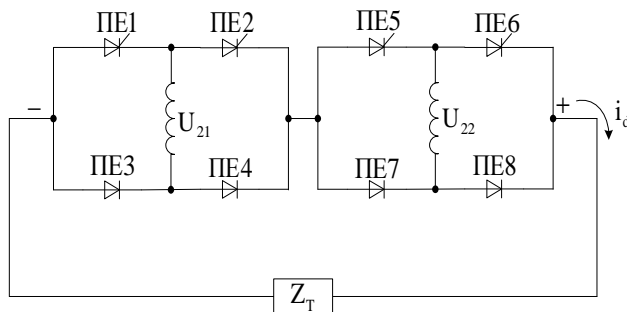
$$(11) \quad |L| = \begin{vmatrix} 25,29 & 0,29405 & 0,29701 & 0,42403 \\ 0,294 & 0,00392 & 0,00397 & 0,00824 \\ 0,297 & 0,00391 & 0,00393 & 0,00825 \\ 0,426 & 0,00825 & 0,00825 & 0,00826 \end{vmatrix} \quad |R| = \begin{vmatrix} 0,424 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0042 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0042 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,0043 \end{vmatrix}$$

Математическото моделиране на процеси в ТТ_л с използване на приведени параметри има сравнително висока точност във всички режими на работа на ТТ_л при номинални напрежения. В режим на празен ход при напрежения от порядъка 27,5 kV, тока на празен ход значително се различава от паспортната стойност, грешката нараства значително. Това е свързано с факта, че при приетия модел на трансформатора не се отчита насищането на магнитопровода. Поради това за постигане на по-прецизни резултати, позволяващи реално

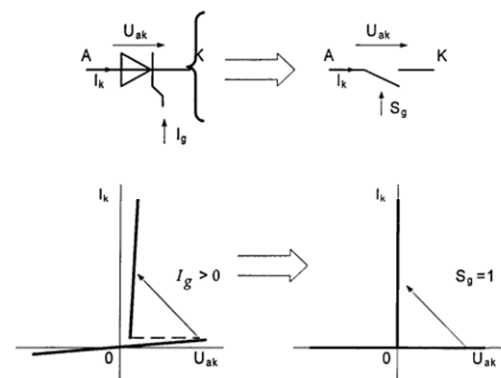
отчитане на свойствата на магнитните вериги, моделирането се прави по втория метод, не разгледан в доклада.

2.3. Модел на ПРУ

При серия 46-200 ПРУ на два тягови двигателя представлява два последователно свързани управляеми хибридни изправители схема „Грец”. Реализира се последователно плавно изменение на вторичните напрежения U_{21} и U_{22} (двузоново регулиране) към товара (фиг. 6). При изследване на режимите на работа на ПРУ на тиристорен локомотив 46-200 са използвани основните зависимости за определяне на работните и енергетични параметри при двузоново регулиране с хибридни тиристорно-диодни изправители.



Фиг. 6. Модел на ПРУ



Фиг. 7. Заместваща схема на тиристор и V-A характеристика

В редица моделиращи програми когато не се прави изследване на параметрите на полупроводниковите елементи (ПЕ) те се представят като идеален ключ. Линеаризираната V-A характеристика на тиристора и идеализираното представяне е показано на фиг. 7. Състоянието на ключа се описва с логически променливи:

$$(12) \quad S_{PE} = \begin{cases} 1, & \text{ако ПЕ включен} \\ 0, & \text{ако ПЕ изключен} \end{cases}$$

Обикновено за управление на ПЕ в процеса на моделиране се използва различни елементи, например „блок тиристор” (фиг. 8), на който се подават логически входни сигнали:

- начално състояние на ПЕ S_{PE} ;
- посока на напрежението на ПЕ.

$$(13) \quad S_{U_{AK}} = \begin{cases} 1, & \text{ако } U_{AK} \geq 0 \\ 0, & \text{ако } U_{AK} \leq 0 \end{cases}$$

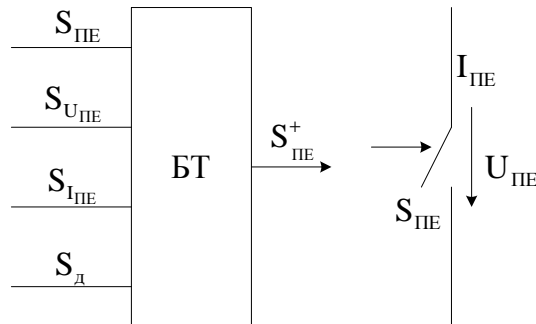
- знака (посоката) на тока през ПЕ

$$(14) \quad S_{I_{AK}} = \begin{cases} 1, & \text{ако } I_{AK} \geq 0 \\ 0, & \text{ако } I_{AK} \leq 0 \end{cases}$$

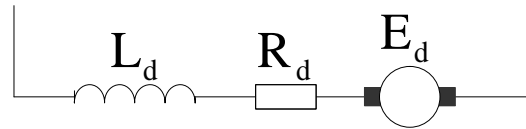
- управляващ сигнал

$$(15) \quad S_{cy} = \begin{cases} 1, & \text{ако } I_{cy} \geq 0 \\ 0, & \text{ако } I_{cy} \leq 0 \end{cases}$$

Изходните сигнали от крайния елемент са логически сигнали за състоянието на ПЕ ($S_{ПЕ}$) в схемата на ПРУ (фиг. 8).[2,3]



Фиг. 8. Елемент „блок-тиристор”
и заместваща му схема



Фиг. 9. Заместваща схема на товара

2.4. Модел на товара

Товара на ПРУ са колекторни ТД и последователно свързани на тях изглаждащи реактори (ИР).

При моделирането на ТД те да се представят във вид на електрическа верига, съдържаща еквивалентен източник на е.д.н., активно съпротивление и индуктивност (фиг. 9).

Напрежението на тази верига се определя от израза:

$$(16) \quad U_{ТД} = E_d + r_d i_d + L_d \frac{di_d}{dt}, \text{ където } E_d = c \cdot \Phi \cdot v - \text{е.д.н. на ТД};$$

$r_d = r_{ИР} + 2 \cdot r_{ТД}$ - активно съпротивление на изглаждащ реактор и два последователно свързани ТД;

$L_d = L_{ИР} + 2 \cdot L_{ТД}$ - индуктивност във веригата на изправения ток;

Φ – магнитен поток на ТД; v – скорост на движение на ЕТС.

2.5. Пълен модел на системата „тягова мрежа – ЕТС”

Силовата част от схемата на математическия модел „тягова мрежа – ЕТС” е показана на фиг. 10 във вид на блокова схема. Необходимо е да се моделират и алгоритмите на работа на системите за управление на ПРУ и АКРМ.

of Electric Power Engineering, Elektroenergetika 2011, Stara Lesna, Slovak Republic, Proceeding of Paper, p. 184-189, ISBN 978-80-553-0724-4

Автор

Георги Митков Павлов, доц. д-р, ВТУ „Тодор Каблешков” – ръководител катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, тел. 9709348, E-mail: g_pavlov61@abv.bg

МИКРОПРОЦЕСОРНА МНОГОКАНАЛНА СИСТЕМА ЗА ДИСТАНЦИОНЕН GSM КОНТРОЛ НА БИТОВИ КОНСУМАТОРИ

Георги Павлов, Радослав Кацов, Ивайло Ненов, Радка Васева

Резюме. Приетата стратегия от Европейската комисия „Европа 2020 година“ постави сериозни изисквания пред света, свързани с повишаване на енергийната ефективност във всички сфери на живота. Един от начините за постигане на това е изграждането на енергийно-ефективни обществени и жилищни сгради, оборудвани с интелигентни системи за хранене и управление.

В настоящия доклад е показана една разработка на микропроцесорна многоканална система за дистанционен GSM контрол и управление (ММСДКУ) на битови консуматори. Разгледани са основните и функции, параметри и характеристики.

Ключови думи: дистанционно управление, микропроцесорна система, GSM мониторинг и контрол.

MICROPROCESSOR SYSTEM FOR MULTICHANNEL GSM REMOTE CONTROL OF HOUSEHOLD CONSUMERS

George Pavlov, Radoslav Katsov, Ivailo Nenov, Radka Vaseva

Summary. Strategy adopted by the European Commission "Europe 2020" put heavy demands on the world related to energy efficiency in all areas of life. One way to achieve this is to build energy-efficient public buildings and equipped with intelligent systems for power and control.

This report shows a development of the multi-microprocessor system for GSM Remote Control (MMSRC) of domestic consumers. Discusses basic functions, parameters and characteristics.

Keywords: remote control, microprocessor system, GSM monitoring and control.

1. Увод

Европейската комисия прие стратегия „Европа 2020 година“ и постави конкретни цели и задачи пред европейските държави и целият свят. Една от основните цели, е постигането на „20/20/20.“ [1, 2]

Последната част от тази цел касае ограничаването и намаляването на разхода на енергия до 2020 година с 20%. Това е трудна за изпълнение задача, имайки предвид начина на живот на съвременното поколение и непрекъснато нарастващите енергийни нужди. В тази връзка се създадоха така наречените „интелигентни“ сгради, в които се използват всички иновативни технологии в областта на строителството, електрообзавеждането и управлението, които човечеството е създадо през последните години. Основната цел е постигане на

по-здравословен и комфортен микроклимат при минимално изразходване на енергийни ресурси.

За един от основните елементи на интелигентната сграда се приемат системите за дистанционно и автоматично управление, представляващи съвкупност от софтуерни и хардуерни решения, основната задача на които е осигуряването на надеждно и сигурно дистанционно управление на всички инсталации, намиращи се в експлоатация в сградата.[3, 4]

В тази връзка се проектира и разработи ММСДКУ на електроенергийни обекти в обществени и жилищни сгради. Основното и предназначение е да контролира и управлява системите за отопление, осветление, сигурност, както и режимите на работа на битовите консуматори в обществените и жилищни сгради.

Основната цел е максимално приложение на предимствата на съвременната микропроцесорна техника за създаване на иновативни технически решения в областта на интелигентното управление и контрол на електроенергийни обекти.

Приложението на ММСДКУ създава възможност чрез GSM апарат от неограничено разстояние да се комутират и управляват по оптимален закон различни електроенергийни обекти в обществени и битови сгради, а оттам и да се постигне по-висока енергийна ефективност. Чрез системата се създава възможност за постоянен мониторинг на контролираните обекти от неограничено разстояние (дистанционно), което спестява време и финансови средства.

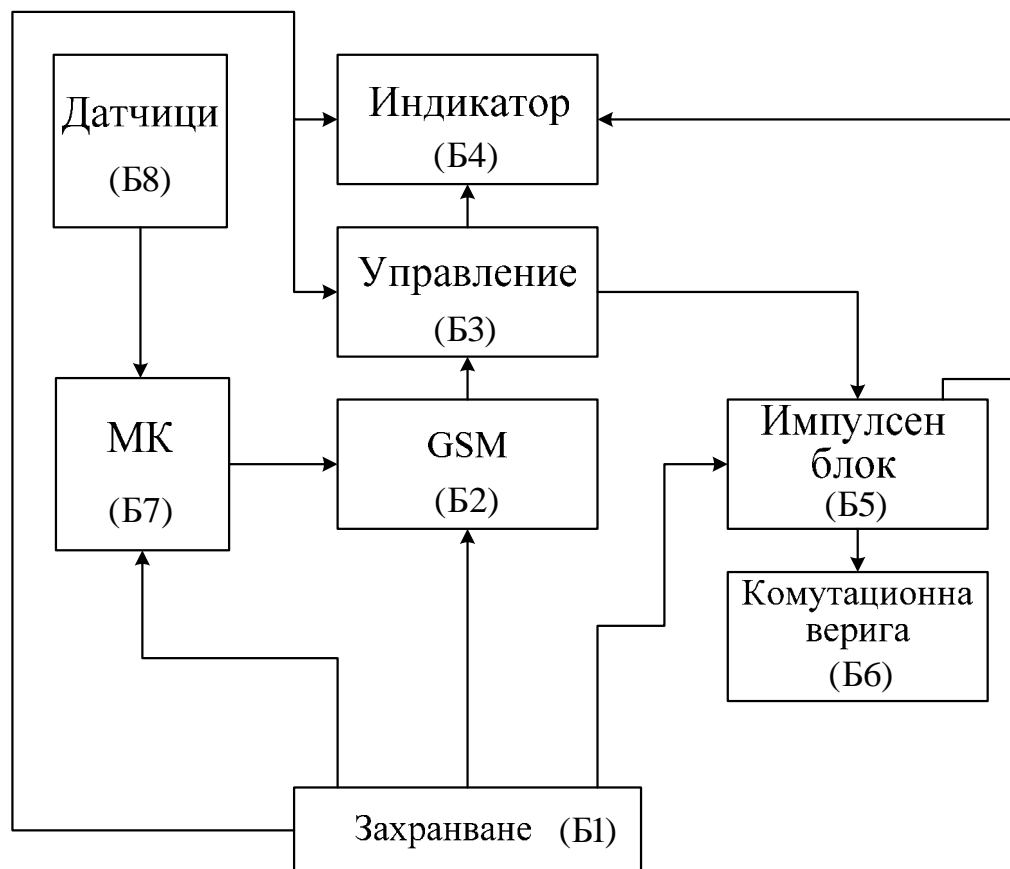
2. Основни функции и характеристики на ММСДКУ

Дистанционната система включва определен брой електронни блокове с конкретно функционално предназначение, работещи по предварително зададен алгоритъм. Неговото предназначение е да създаде възможност за дистанционно включване, изключване и управление на различни видове електрически и електронни устройства с помощта на мобилен апарат. В бита модула може да се използва като безжична комутационна верига. Силовата верига на устройството се свързва последователно в електрическата верига на управлявания обект (консуматора), като по-този начин се създава възможност за контрол и управление на тази обект посредством мобилен апарат.

Приложението на дистанционната система е широкоспектърно и се определя от предварително заложените критерии и изисквания, на базата на които се параметризира логическата и функционалност. Чрез нея може да се управляват по предварително зададен алгоритъм от микропроцесорите различни електрически вериги, електроуреди, апарати, битови електроуреди, отоплителни елементи и системи, климатични инсталации и други. В промишлеността дистанционния модул може да се използва като силов прекъсвач за комутация и управление на различни електрически съоръжения, които използват комутационни вериги. С помощта на микроконтролери се осъществява комуникация между управляваното съоръжение и устройството.

2.1. Блокова схема на ММСДКУ

На фиг. 1 е дадена блокова схема на устройството, показваща основните функционални модули и връзката между тях.

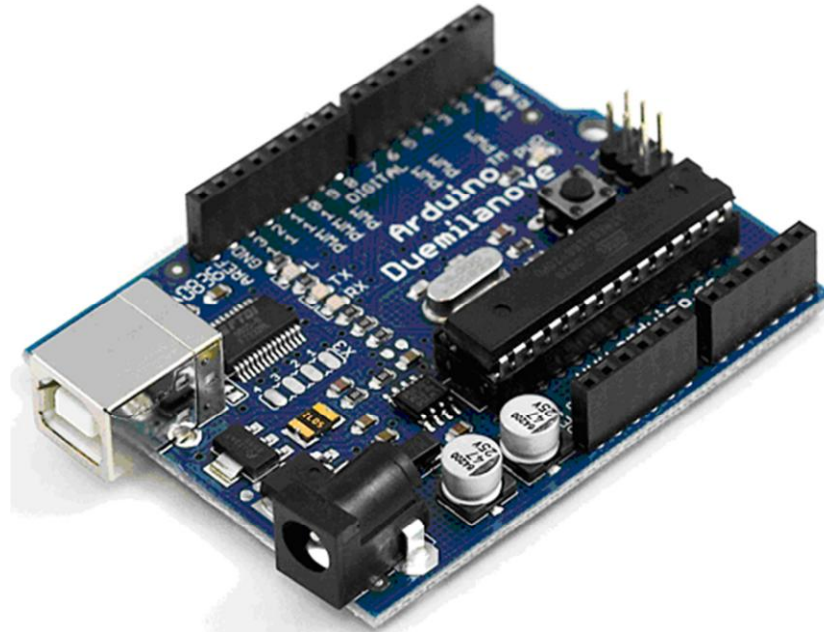


Фиг.1. Блокова схема на модул за дистанционно управление
 Б1 – захранващ блок; Б2 – GSM устройство; Б3 – управление; Б4 – индикатор; Б5 – импулсен блок; Б6 – комутационна верига; Б7 – силова комутационна верига; Б8 – датчици;

Захранващия блок (Б1) осигурява необходимите стабилизирани и филтрирани напрежения към отделните модули на електронната система. Блока Б2 представлява GSM (входно-изходно устройство) с контролно-предавателни функции. След въвеждане на код за достъп и подаване на управляващ сигнал се задейства блока Б3. Той представлява съвкупност от оптронни и превключващи елементи и логически устройства. Блока Б3 въздейства на Б5 (импулсен блок). Неговата функция е да шифрира и дешифрира обработения сигнал. Блока Б5 активира Б6 (силова комутационна верига). Блока Б4 показва текущото състояние на системата. Обратната връзка за функционалността на управляваните обекти се реализира чрез блокове Б7 и Б8. блок Б7 е микроконтролерна платформа с отворен код. Необходимата входна информация се получава посредством блок Б8 (набор от датчици и сензори).

2.2. Приложение на основни компоненти в системата

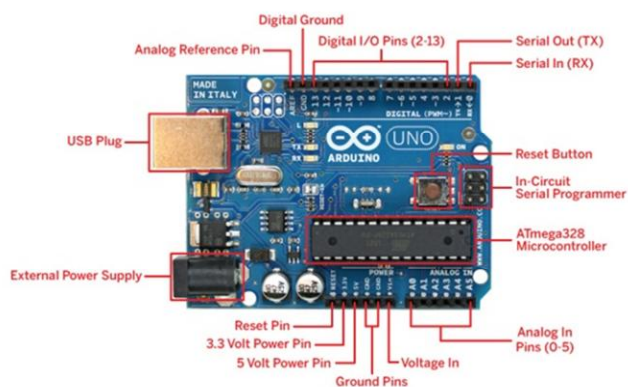
На фиг. 2 е показано модулно стъпало. То осигурява връзка с входните и изходните портове на системата. Електронният компонент D2800 представлява памет, а другия чип D2200 осъществява функция на драйвер за управление на входните и изходните конектори. При внедряването на тази схема в устройството се използват само някои от конекторите: изходните конектори на вибромотора (Vibra), входно изходните конектори на литиево-йонната батерия (Bateray conector), сим конектора (SIM conector) и standby.



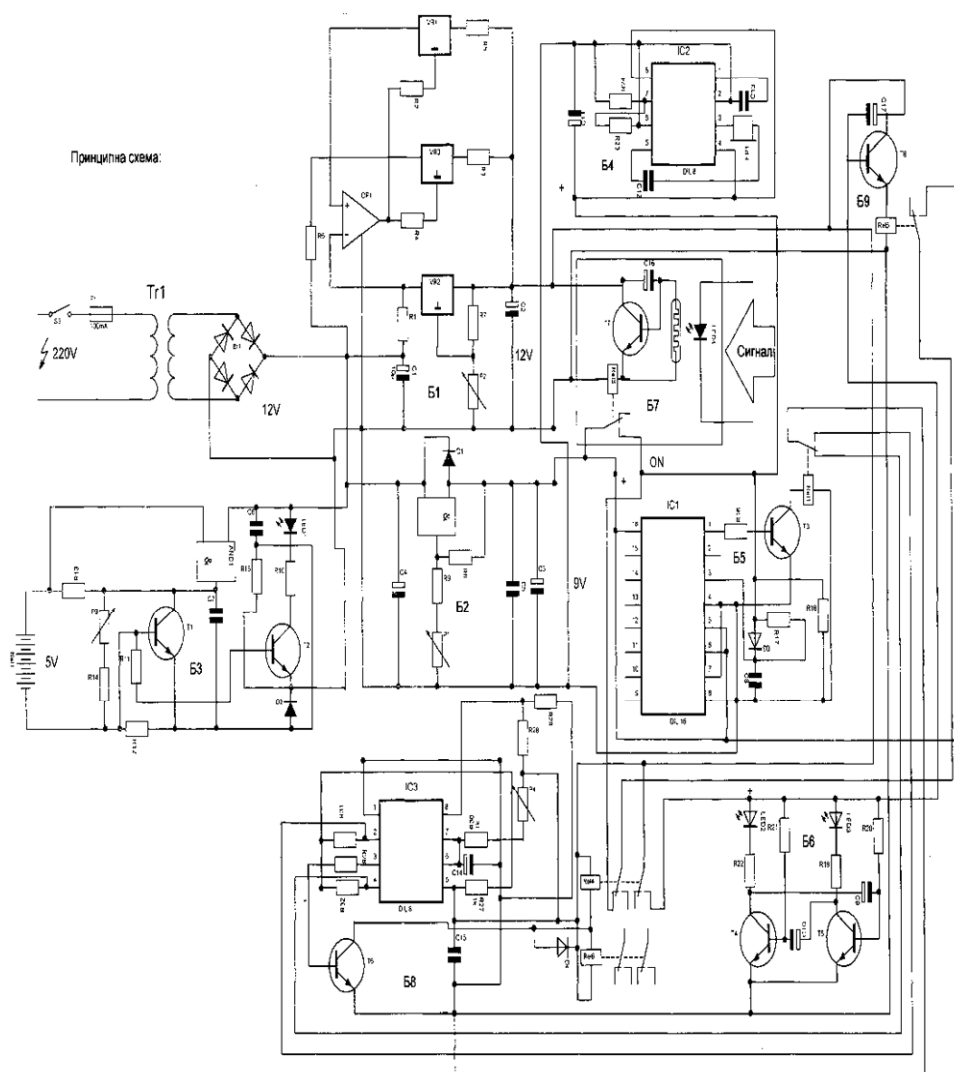
Фиг. 2. Микропроцесорна платформа Ардуино

Друга внедрена схема това е контролния панел и аудио амплифера, показани на фиг. 3. С избрания контролен панел се осигурява пряк контрол над устройството, като благодарение на микроконтролера от серията Атмега 328 това може да стане и дистанционно. Освен това данните до потребителя може да бъдат пренасяни през 3j мрежа.

Като основна платформа тук се използва микропроцесорната система Ардуино (фиг.4). Тази платка представлява входно-изходно устройство, което работи с отворен код или в среда за програмиране Processing /Wiring. Тази платформа може да си взаимодейства с външни софтуерни програми като Flash, Processing, MaxMSP, PureData. Със платформата на Ардуино дистанционния модул може да разшири своите функции в най различни аспекти, което от своя страна води до по-голяма ефективност на устройството.



Фиг.4. Микропроцесорната система Ардуино



Фиг.5. Принципна схема на ММСДКУ

На фиг. 5. е показана основната схема, към която са интегрирани всички изброени до сега схемни решения. Схемата е изпълнена с различни набори от тригери, импулсни блокове, таймери, стабилизатори, оптрони вериги,

контролери и други. Системата позволява гъвкава функционалност и надеждна работа на устройството.

3. Заключение

Създадената система е защитена с Полезен модел №. 2234 от дата 29.06.2012 г. В този и вариант тя е предназначена за контрол и управление на битови електроуреди с широко приложение в жилищните сгради. Това са различни видове отоплителни и охладителни системи (конвертори, климатици, радиатори), системи за загряване на вода, перални и миялни машини. За последните освен всички стандартни защиты е въведен контрол за наличие на течащ флуид при неработеща техника. Тази защита е въведена поради факта, че при наличие на налягане в системата на ВИК, често пъти дефекти във входните електромагнитни вентили водят до проблемни ситуации за собствениците (наводнения).

За обратна връзка със системата се използват подходящи датчици и сензори, контролиращи основни параметри, определящи надеждната функционалност на управляваните обекти. Контролирани параметри са номинален ток и напрежение, номинална мощност, текуща температура, налягане, продължителност на процесите (време), датчици за наличие на флуид и др.

Предимствата на използваната схема са висока надеждност, неограничен обхват, ниска цена, възможност за комутиране на мощни вериги, бързо адаптиране към различни електрически вериги, както и възможност за енергоефективно управление и непрекъснат контрол. Възможността за постоянен мониторинг или внезапен контрол от неограничено разстояние (дистанционно) на управляваните обекти създава сигурност, спестява време и финансови средства.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.bulcraft.com>
- [2] <http://enigma-bg.eu>
- [3] <http://smarthomebg.net>
- [4] <http://www.shneider-electric.bg>

Автори:

Георги Митков Павлов, доц. д-р, ВТУ „Тодор Каблешков” – ръководител катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта”, GSM 0889 611 748, сл.тел. 02/9709348, E-mail: g_pavlov61@abv.bg

Радослав Иванов Кацов, студент в специалност „ЕЕЕО”, ВТУ „Тодор Каблешков”, GSM 0898 931 266, E-mail: ivonenov89@abv.bg

Ивайло Радков Ненов, студент в специалност „ЕЕЕО”, ВТУ „Тодор Каблешков”, GSM 0878 984 658, E-mail: ivonenov89@abv.bg

Радка Кирилова Васева, р. докторант в катедра „ЕЕТ”, ВТУ „Тодор Каблешков”, GSM 0889 311 207, E-mail: g_pavlov61@abv.bg

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ВИСОКО ТЕМПЕРАТУРНИ НЕИЗОЛИРАНИ ПРОВОДНИЦИ С НИСЪК ПРОВЕС

Валентин Колев

Резюме: В последните няколко години водещи фирми предлагат високо температурни ниско провесни неизолирани проводници с различни конструкции и механични показатели. В доклада се анализират и сравняват механичните характеристики на няколко типа високо температурни проводници с оглед оценка на възможността за използване на същите при рехабилитация на въздушни електропроводни линии за увеличаване на преносните способности.

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF HIGH TEMPERATURE LOW SAG CONDUCTORS

Assoc. Prof., Eng. Valentin Kolev

Abstract: In recent years, leading companies offering a high temperature low sag conductors of various structures and mechanical properties. The report analyzed and compared the mechanical characteristics of several types of high temperature conductors in order to assess the possibility of using them in the rehabilitation of the overhead lines to increase transmission capability.

1. Въведение

Целта на изследването е да се увеличи до максимум допустимото токово натоварване (капацитет) на електропровода с минимално модифициране на стълбовете. Конструкцията на стълбовете определя максималните стойности на провисване и опън, които могат да възникнат. Тези ограничителни условия определят максималната работна температура на електропровода, която може да се изчисли чрез уравненията за устойчиво състояние на провисване – температура – опън. Максималната работна температура е свързана с максималната големина на ток, който може да протече през проводника. Този ток може да се определи чрез уравненията за устойчиво състояние на температура – ток.

2. Същинска част

Изчисления на провисване - температура – опън

Изчисленията на провисване - температура - опън са направени с помощта на [1]. Дъговидната форма на проводника (Фигура 2) се определя от някои математически уравнения. Тези уравнения използват следните параметри:

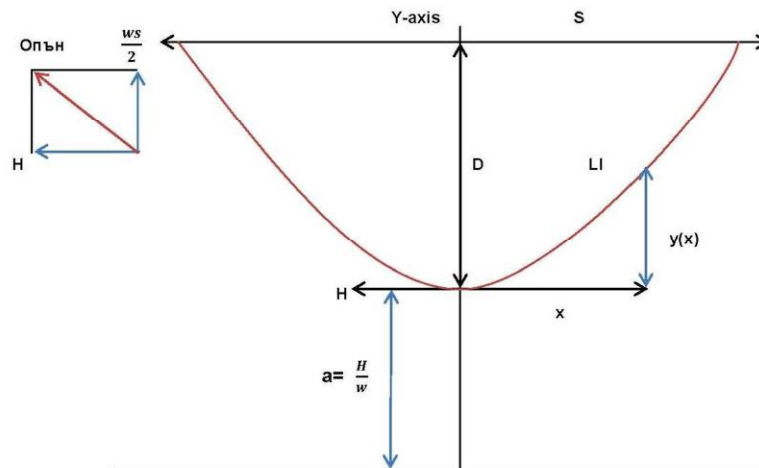
D - провисване [m], H - хоризонтален опън [N], L - дължина на проводника [m], T_{ens} - общ опън [N], S - дължина на междустълбието [m], w - тегло на

проводника на единица дължина на [N/m].

В това изследване са използвани типични стойности, движещи се в границите, дадени в Таблица 1.

Таблица 1.

	Минимална стойност	Максимална стойност
w	5	20
S	300	350
H	5.000	28.000



Фиг.1.

Общият опън T_{ens} се изчислява с уравнение (1).

$$T_{ens} = \sqrt{\left(\frac{wS}{2}\right)^2 + H^2} \quad (1)$$

Точните дъговидни криви използват хиперболични функции, които могат да бъдат опростени чрез сериите на Маклорън. Тези уравнения не зависят от температурата. Височината на проводника спрямо най-ниската точка (виж Фиг. 1), е дадена от:

$$y(x) = T_{ens}/w \left[\cosh\left(\frac{wx}{T_{ens}}\right) - 1 \right] \approx \frac{H}{w} \left[\cosh\left(\frac{wx}{H}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

Серията на Маклорън от $\cosh(wx/H)$ се дава от:

$$\cosh(X) = 1 + \frac{X^2}{2!} + \frac{X^4}{4!} + \frac{X^6}{6!} + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{X^{2n}}{(2n)!} \quad (3)$$

Където: $X = \frac{wx}{H}$, при условие, че $\frac{X^4}{4!} = \frac{\left(\frac{wx}{H}\right)^4}{4!} = \frac{\left(\frac{wS}{2H}\right)^4}{4!} \leq 0,02$, то

$$\left(\frac{wS}{H}\right)^4 \leq 0,02 \cdot 4! \cdot 2^4 = 7,68 \quad (4), H \geq \frac{wS}{\sqrt[4]{7,68}} \sim 0,6wS \quad (5)$$

$$\text{От тук } y(x) = \frac{H}{w} \left[1 + \frac{w^2 x^2}{2! H^2} - 1 \right] = \frac{wx^2}{2H} \quad (6)$$

За равни междустълбия провисването $y(x)$ може да бъде намерена за стойност на x за $\frac{S}{2}$. Това води до провисване:

$$D = \frac{T_{ens}}{w} \left[\cosh\left(\frac{wS}{2T_{ens}}\right) - 1 \right] \sim \frac{H}{w} \left[\cosh\left(\frac{wS}{2H}\right) - 1 \right] = \frac{wS^2}{8H} \quad (7)$$

Дължината на проводника L се изчислена с уравнението:

$$L(x) = \frac{T_{ens}}{w} \sinh\left(\frac{wx}{T_{ens}}\right) \sim \frac{H}{w} \sinh\left(\frac{wx}{H}\right) \quad (8)$$

Това уравнение също може да се опрости със серията на Маклорън. Серията на Маклорън за $\sinh\left(\frac{wx}{H}\right)$ е дадена от:

$$\sinh(x) = X + \frac{X^3}{3!} + \frac{X^5}{5!} + K = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{X^{2n+1}}{(2n+1)!} \quad (9)$$

За стойностите, дадени в (11), приносът на съставляващата от 5-ти ред по отношение на първата съставляваща е под 2%. Тези съставляващи могат да бъдат пренебрегнати.

$$\left(\frac{wS}{H}\right)^4 \leq 0,02 \cdot 5! \cdot 2^4 = 38,4 \quad (10), H \geq \frac{wS}{\sqrt[4]{38,4}} \sim 0,4wS \quad (11)$$

Това значи, че (8) може да се опрости до:

$$L(x) = \frac{H}{w} \left[\frac{wx}{H} + \frac{w^3 x^3}{3!H^3} \right] = x \left(1 + \frac{w^2 x^2}{6H^2} \right) \quad (12)$$

За равно междустълбие половината от общата дължина съответства на стойност на x резултат от $\frac{S}{2}$. Това води до дължина на електропровода:

$$L \approx 2 \frac{H}{w} \sinh\left(\frac{wS}{2H}\right) = S \left(1 + \frac{w^2 S^2}{24H^2} \right) \quad (13)$$

Като направим заместване с (7) в (13), получаваме:

$$L \approx S \left(1 + \frac{8D^2}{3S^2} \right) = S + \frac{8D^2}{3S} \quad (14)$$

Изменение на провисването поради топлинно удължение

Дължината на проводника се променя с изменение на температурата. Изменението на дължината на проводника е линейно спрямо изменението на температурата:

$$L_{T_2} = L_{T_1} [1 + a(T_2 - T_1)] \quad (15)$$

Където:

a - коефициент на топлинно удължение [$^{\circ}\text{C}^{-1}$], L_{T_n} - дължина на проводника при температура T_n [m], T_n - температурата в положение n [$^{\circ}\text{C}$]

За електропроводи с алуминиеви проводници, подсилени със стоманени нишки (ACSR) коефициентът на топлинно удължение може да се изчисли от коефициентите на удължение на стоманата и алуминия чрез уравнение (16).

$$a = a_{Al} \left(\frac{E_{Al}}{E} \right) \left(\frac{A_{Al}}{A} \right) + a_{St} \left(\frac{E_{St}}{E} \right) \left(\frac{A_{St}}{A} \right) \quad (16), \text{ където}$$

a - коефициент на топлинно удължение на ACSR [$^{\circ}\text{C}^{-1}$];

a_{Al} - коефициент на топлинно удължение на алуминия, $2,3 \cdot 10^{-5}$ [$^{\circ}\text{C}^{-1}$];

a_{St} - коефициент на топлинно удължение на стоманата, $1,3 \cdot 10^{-5}$ [$^{\circ}\text{C}^{-1}$];

E_{Al} - модул на еластичност на алуминия, $6,9 \cdot 10^4$ [N mm^{-2}];

E_{St} - модул на еластичност на стоманата, $20,0 \cdot 10^4$ [N mm^{-2}];

A_{Al} - площ на алуминия [mm^2];

A_{St} - площ на стоманата, [mm^2];

A - площ на целия проводник [mm^2];

E - модул на еластичност на целия проводник [N mm^{-2}], изчислен с

уравнение (17)

$$E = E_{Al} \left(\frac{A_{Al}}{A} \right) + E_{St} \left(\frac{A_{St}}{A} \right) \quad (17)$$

С помощта на уравнения (14) и (15) може да се изчисли новото провисване.

Другите проводници имат постоянен коефициент на удължение, или коефициентът на удължение е даден от производителя. Поради изместването на силата на опън от проводниковите снопове към сърцевината на проводника, коефициентът на топлинно удължение се променя в точката на пречупване. За ACSR температурата на пречупване е около 120°C и това не се случва в температурния обхват, в който работи проводникът.

Изменение на провисването поради еластичност

Изменението на дължината на проводника е линейно спрямо изменението на опъна: $L_{H2} = L_{H1} \left[1 + \frac{H_2 - H_1}{AE} \right]$ (18)

Чрез (14), може да се изчисли новото провисване.

Изменение на провисването поради топлинно удължение и ефектите на еластичност.

Тъй като опън и провисване са взаимно свързани, увеличение на температурата води до увеличение на дължината на проводника и провисването (15), което води до отслабване на опъна (7), което води до намаляване на провисването (18, 14) и т.н.. Това може да се реши чрез процес на итерация или чрез решаване на уравнение от по-висок ред.

Недостатъкът на първия (индиректен) метод е допълнителните изчисления, които трябва да се правят. Но тези уравнения са много прости, така че с помощта на компютър могат да се решат бързо.

Недостатъкът на втория (директен) метод е сложното уравнение от по-висок ред. С помощта на компютър то може да бъде решено бързо, но когато провисване и опън трябва да бъдат изчислени за редица температури, това струва много време. Предимството е, че може да се направи преход от условия с обледеняване към условия без обледеняване.

Индиректно изчисляване

За да се изчисли положение на устойчиво състояние, полезно е към изчисленията да се добави една стъпка като се изчисли дължината при нулев опън (ДНО) за всяка температура. По този начин приносът и на топлинното удължение, и на ефектите на еластичност е изчислен поотделно.

Последователността на изчисляване е следната:

$$L_{H1, T1} \xrightarrow{\text{Уравн.18}} L_{0, T1} \xrightarrow{\text{уравн.15}} L_{0, T2} \xrightarrow{\text{Итерация}} L_{H2, T2}$$

ДНО при T_2 е по-голяма от дължината на междустълбието S и следователно има фактическо провисване

$$D_{0,T_2} = \sqrt{\frac{3S(L_{0,T_2}-S)}{8}} \quad (19) \text{ и опън} \quad H_{0,T_2} = \frac{wS^2}{8D_{0,T_2}} \quad (20)$$

Това е противоречие, тъй като тази ДНО съответства на опън, който не е равен на 0. Проводникът е еластичен и дължината му се увеличава с увеличаване на опъна:

$$L_{0,T_2} = L_{0,T_2} \left[1 + \frac{H_{0,T_2}-0}{AE} \right] \quad (21)$$

Тази стойност съответства на провисване D_{T_2} (19) и опън H_{T_2} (20). Средната стойност на предишното и новата стойност на H_{T_2} дава нова стойност на H_{T_2} . Тази стойност съответства на нови стойности на L_{T_2} , DD_{T_2} и H_{T_2} . Процесът се повтаря, докато разликата между стария и новия опън стане пренебрежима.

Директно изчисляване

Съчетанието на топлинно удължение (15) и еластичното удължение (18) води до удължение, което може да се изчисли с (22)

$$L_2 = L_1 \left(1 + a(T_2 - T_1) + \frac{H_2 - H_1}{AE} \right) \quad (22)$$

Дължината на проводника може също са бъде изчислена с (13). Комбинирането на тези 2 уравнения води до уравнение (23).

$$S + \frac{w_2^2 S^3}{24H_2^2} = \left(S + \frac{w_1^2 S^3}{24H_1^2} \right) \times \left(1 + a(T_2 - T_1) + \frac{H_2 - H_1}{AE} \right) \quad (23)$$

Изчисления температура - ток

След като се определи максималната допустима работна температура се определя токовото натоварване в устойчиво състояние, в зависимост от метеорологичните условия (вятър, слънчев поток, околна температура, и др.). Тъй като метеорологичните условия са твърде променливи, температурата може да се пресметне само приблизително. Затова се определят 2 стандартни метеорологични условия за лято и зима, които са показани в Таблица 2.

Таблица 2.

Параметър	Мерна единица	Лято	Зима
Скорост на вятъра, v_w	$m s^{-1}$	1	0.6
Слънчев поток, S	$W m^{-2}$	1000	500
Коефициент на поглъщане,		0.6	0.6
Коефициент на излъчване, ε		0.6	0.6
Околна температура, T_a	$^{\circ}C$	30	10

$$M \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} = P_s + P_j - P_r - P_c = 0 \quad (24)$$

където: M - маса на проводника на единица дължина [$kg \cdot m^{-1}$]; C_p - топлоемкост на проводника на единица тегло [$J K^{-1} \cdot kg^{-1}$]; $\frac{dT}{dt}$ - изменение на температурата на проводника за единица време [$K \cdot s^{-1}$]; P_s - нарастване на температурата поради слънчева радиация [$W \cdot m^{-1}$]; P_j - нарастване на

температурата поради електрически загуби [$W \cdot m^{-1}$]; P_r - загуба на топлина поради излъчване [$W \cdot m^{-1}$]; P_c -загуба на топлина поради конвекция [$W m^{-1}$].

Тъй като това изследване търси оптималния проводник за даден електропровод, то е от интерес само за изчисляване на тока в условия на устойчиво състояние. Изменението на температурата е равно на 0, водейки до равновесно състояние, в което загубата на топлина ($P_r + P_c$) е равна на увеличението на топлината ($P_s + P_j$).

Загуба на излъчвана топлина

Загубата на излъчвана топлина може да се изчисли с помощта на (25).

$$P_r = dia \cdot \varepsilon \cdot \sigma_B \{ (T_c + 273)^4 - (T_a + 273)^4 \} \quad (25)$$

Където: dia - диаметър на проводника [m], ε - коефициент на излъчване, σ_B - константа на Стефан-Болцман, $5,67 \cdot 10^8 [W m^{-2} \cdot K^{-4}]$; T_c - температура на проводника [$^{\circ}C$], T_a - окръжаваща температура [$^{\circ}C$].

Конвективна загуба на топлина

Конвективната загуба на топлина може да се изчисли с помощта на (26).

$$P_c = \pi \cdot \lambda_f (T_c - T_a) Nu_{\partial} \quad (26), \text{ където } \lambda_f = 2,42 \cdot 10^{-2} + 7,2 \cdot 10^{-5} T_f \quad (27)$$

$$\text{където: } T_f = \frac{T_c + T_a}{2} \quad (28), Nu_{\partial} = Nu_{90} \{ 0,42 + B \cdot [\sin(\partial)]^m \} \quad (29)$$

$$\text{където: } Nu_{90} = 0,6411 Re^{0,471} \quad (30), \text{ където: } Re = \frac{v_w \cdot dia}{v_f} \quad (30)$$

$$\text{където: } v_f = 1,32 \cdot 10^{-5} + 9,5 \cdot 10^{-8} T_f \quad (31)$$

В тези уравнения променливите величини представляват: γ_f - топлопроводност на въздуха [$W m^{-1} K^{-1}$], T_c - температура на проводника [$^{\circ}C$], T_a - окръжаваща температура [$^{\circ}C$], Nu_{∂} - Нуселтово число с ъгъл на вятъра [], T_f , температура на въздушния слой около проводника [$^{\circ}C$], ∂ - ъгъл на вятъра спрямо оста на проводника [$^{\circ}$] $0 < \partial < 24$: $B = 0,68$ и $m = 1,08$, $24 < \partial < 90$: $B = 0,58$ и $m = 0,9$, Re - Число на Рейнолдс, v_w - скорост на вятъра [$m s^{-1}$], dia - диаметър на проводника [m], v_f - кинематичен вискозитет на въздуха [$m^2 s^{-1}$]

Нарастване на температурата от слънчево нагриване

Нарастването на топлината от слънчево нагриване може да се изчисли с помощта на уравнение (32).

$$P_s = a_s \cdot S \cdot dia \quad (32)$$

Където: a_s - коефициент на поглъщане [], S - слънчев поток [$W m^{-2}$]

Нарастване на температурата в Джаули

$$P_j = P_r + P_c - P_s \quad (33), P_j = I^2 R_{ac} \quad (34)$$

$$\text{Където: } R_{ac} = R_{ac,20^{\circ}C} (1 + a_{th} (T_c - 20)) \quad (35)$$

Където: I - Ток, протичащ през проводник [A], $R_{ac,20^{\circ}C}$ - АС-съпротивление на проводника на единица дължина при $20^{\circ}C$ [Ωm^{-1}], a_{th} - температурен коефициент [K^{-1}], T_c - температура на проводника [$^{\circ}C$].

С помощта на уравнения от (24) до (35) може да се изчисли токът I , протичащ през проводник с температура T_c .

Симулации с описания модел

Цел на симулацията е да открие кои проводници са технически способни да посрещнат очакваното увеличение на потреблението на електроенергия през следващите 25 години (950A) и 50 години (1200A). Симулациите са направени с Matlab 7.0.1 R14. Симулациите изчисляват провисване, опън, дължина на проводника, ток и температури. За да се установи кои проводници са от най-голям интерес за постигане на нужния капацитет 950A и 1200A в летни условия, симулациите са извършени с голям брой проводници. Свойствата на проводниците са дадени в [2,3,4]. Резултатите от симулацията са показани в Таблица 3.

Тип на проводниците	Максимален			Температурно провисване			
	Опъ	H	D	T	H	D	I
	N	N	m	°C	N	m	A
ACSR 32/185	23	22	8,2	80	8.82	9,6	647
ACCC/TW Linnet	23	22	7,5	200	11.4	6,3	1229
ACCC/TW Hawk	23	22	9,2	200	11.6	8,7	1538
ACCR/TW 336-T16	23	22	7,1	210	6.99	8,9	1123
ACCR/TW 364-	23	22	7,4	210	7.19	9,3	1182
ACCR/TW 397-	23	22	7,8	184	7.61	9,6	1182
ACSS/TW HS285	23	22	7,5	200	7.81	970	1069
GZTACSR 190	23	22	7,6	191	7.97	969	1068

T_{ens} - Общ опън; H - Хоризонтален опън; D - провисване; T - работна температура, I - ток

3. Заключение

- Два типа проводници могат да изпълнят изискванията за 50 и 25 –годишен период. "ACCC Linnet" и "ACCC Hawk" могат да бъдат използвани. Разликата е, че "ACCC Hawk" има по-голям диаметър, по-висок капацитет, по-малка устойчивост и оттам- по-ниска работна температура при даден ток. Това означава, че загубите в Джаули ще бъдат по-ниски.
- Проводниците ACCR и ACCC могат да се използват, ако се изисква 80% обновяване или повече без модифициране на стълбовете. Малка модификация на стълбовете позволява опънът да стане по-силен според най-лошия случай и максималният ток да се увеличи още повече.
- Проводниците тип ACSS и маслонапълнени могат да повишат капацитета до 65% без модифициране на стълбовете. Тъй като и двата типа проводници не работят при максималните си температури, модифицирането на стълбовете може да им позволи да увеличат капацитета още повече.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Standard Handbook for electrical engineers, 14th edition Donald G. Fink & H. Wayne Beaty. London, McGraw-Hill, 2000
- [2] Belastbaarheidsrichtlijnen voor geleiders в hoogмеждусpanningslijnen Essent, M. Berende 1 feb. 2006
- [3] Application Dynamics of High Temperature Conduscors in Full Tension Splices & Dead ends Carl R. Tamm
- [4] Associate Professor, Eng. Valentin Kolev, PhD – Technical University - Sofia
- [5] 8 Kliment Ohridsky Blvd., e-mail: vkolev@tu-sofia.bg

ПЕРСПЕКТИВИ ЗА РАЗВИТИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА МРЕЖА 110 kV НА ГР.СОФИЯ

Валентин Колев

***Резюме:** Във връзка с представяне на бизнес-план, ремонтна и инвестиционна програма на ЧЕЗ България ЕАД в краткосрочен и дългосрочен план се изготви 10-годишен план за развитие на електроенергийната инфраструктура на територията на гр. София, обхващаща системата за електроснабдяване. Методологията за изготвяне на плана за развитие на инженерната инфраструктура в областта на електроснабдяването почива на принципите на стратегическото планиране и на изискванията за изготвяне на подобен род стратегически документи, описани както в българското законодателство, така и в нормативни документи на ЕС. В доклада се предлага вариант за рехабилитация и развитие на електрическата мрежа 110 kV на гр. София на базата на прогнозирано развитие на товарите и присъединяване на нови потребители.*

PERSPECTIVES FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRICAL NETWORK 110 kV OF SOFIA CITY

Assoc. Prof., Eng. Valentin Kolev

***Abstract:** In connection with the submission of business plan, maintenance and investment program of CEZ Bulgaria EAD in the short and long term is a 10-year plan for development of electricity infrastructure in Sofia covering the electricity supply system. The methodology for preparing the development plan of the engineering infrastructure in the field of electricity based on the principles of strategic planning and the requirements for the preparation of similar strategic documents, as described in the Bulgarian legislation and the EU regulations. The report offers some variants for rehabilitation and development of 110 kV grid in Sofia based on the projected development of load flow and connecting new costumers.*

1. Въведение

Във връзка с представяне на бизнес-план и ремонтна и инвестиционна програма на ЧЕЗ България ЕАД в краткосрочен и дългосрочен план и идентифицирането на потенциални финансови източници се изготви 10-годишен план за развитие на електроенергийната инфраструктура на територията на гр. София, обхващаща системата за електроснабдяване.

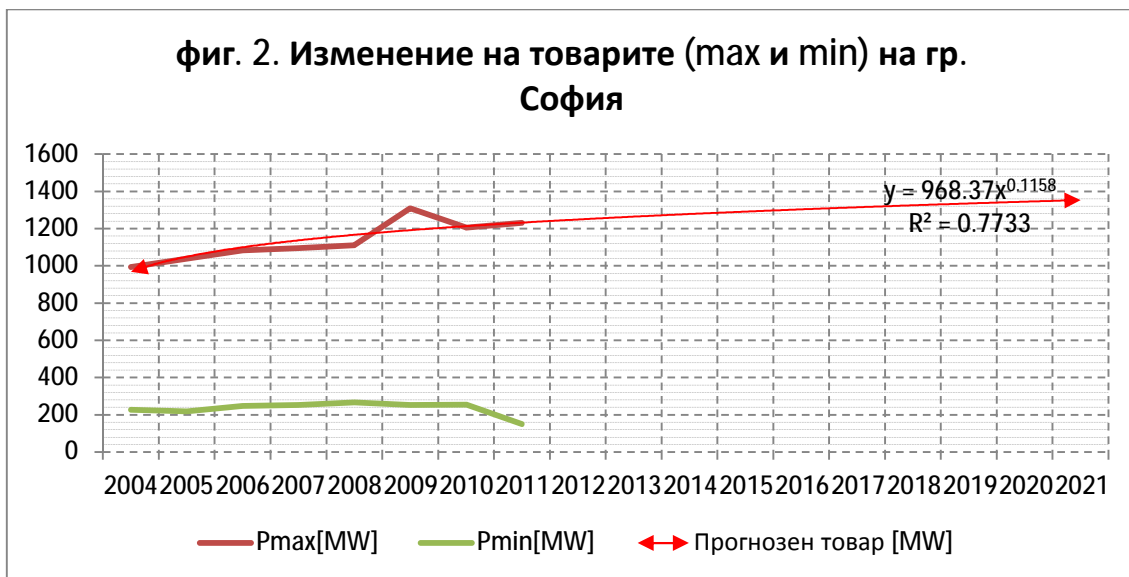
Методологията за изготвяне на плана за развитие на инженерната инфраструктура в областта на електроснабдяването почива на принципите на стратегическото планиране и на изискванията за изготвяне на подобен род стратегически документи, описани както в българското законодателство, така и

Фиг.1. Диспечерска мрежа на кабелната мрежа 110 kV на гр. София

Анализ на товарите и режимите на работа на съществуващата кабелна електрическа мрежа 110 kV

В края на март 2012 г. на територията на община София е имало 810 123 регистрирани потребители, от които 689 373 битови и 120 750 промишлени. По данни от 2002 г. (10 годишен период) дружеството е обслужвало 586 798 битови и 73 057 промишлени потребители или общо 659 855 потребители. Вижда се, че за 10 години броят на битовите потребители се е увеличил с близо 30 000, а броят на промишлените с повече от 47 000. За сведение през 1993 г. „Електроразпределение – Столично” е имало общо 550 000 абоната, от които 520 000 битови и 30 000 промишлени. Тези статистически данни дават основание да се твърди, че броят на промишлените потребители нараства с по-бързи темпове от нарастването на броя на битовите. Причината за това е наличието на голям брой офиси, офисни сгради и бизнес центрове.

Развитието на максималните и минимални товари за периода 2004 – 2011 г., както и прогнозния максимален товар до 2021 г. са показани на фиг. 2. Както се вижда от показаната графика единствената аномалия на развитието на максималния товар е регистриран през 2009 г., което се обяснява с кризата с природния газ в началото на 2009 г. Полученото уравнение за изчисляване на прогнозния максимален товар дава задоволителни резултати като средно квадратичното отклонение приема стойност 0,7733.



В Таблица 2. е показано развитието на реализираните товари в MW на подстанциите по години, които се захранват от четирите диагонала кабелна ел. мрежа 110 kV.

В Таблица 3. са систематизирани резултатите от проучването на аварийната статистика за последната година на експлоатация на кабелната електрическа мрежа 110 kV на гр. София, а в Таблица 4. е направена количествена оценка на състояние на кабелите 110 kV по следните критерии:

- Техническо състояние;

- Претоварване при аварийна ситуация;
- Важност на района;
- Брой аварии;
- Време за откриване на аварията;
- Време за отстраняване на аварията.

Таблица 2.

№	Година	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	ПС Хиподрума	25,40	34,60	34,90	32,90	31,23	39,70	31,80	40,00
2	ПС Орион	40,83	43,00	39,20	42,50	39,58	48,00	36,90	58,00
	ПС Боримечка	41,00	34,70	35,40	33,00	34,87	44,40	37,60	52,80
	ПС Средец	31,00	28,00	26,60	27,00	25,60	26,00	22,20	29,20
	ПС Витоша	47,20	41,60	36,80	37,40	40,02	48,30	34,60	49,30
	ПС Пионер	28,00	29,00	27,00	36,00	32,00	33,00	30,00	39,00
3	ПС Г. Димитров	32,10	29,22	27,60	30,10	26,30	27,20	22,90	36,50
	ПС София-Център	33,40	33,40	33,00	33,40	33,40	31,10	25,10	31,00
	ПС Рила	37,40	42,60	36,80	43,00	40,02	39,70	35,90	49,10
	ПС Студентски град	30,00	31,00	34,70	30,30	28,18	37,40	30,70	41,00
4	ПС Подуяне	27,30	29,00	35,60	32,80	29,00	34,70	31,00	37,00
	ПС Гео Милев	22,08	19,30	18,40	15,80	17,10	21,00	16,70	21,50
	ПС Ал.Наумов	31,60	34,70	35,70	37,10	38,77	44,00	37,00	44,60

Таблица 3.

Диспечерско име	Година на въвеждане в експлоатация	Дължина, (м)	Техн. състояние		Претоварване при аварийна ситуация		Важност на района		Брой аварии		Време за откриване на аварии		Време за отстраняване на аварии		ОЦЕНКА
			Оценка	Коеф. на тежест	Оценка	Коеф. на тежест	Оценка	Коеф. на тежест	Оценка	Коеф. на тежест	Оценка	Коеф. на тежест	Оценка	Коеф. на тежест	
"Доирап"	1988	3030	40	0,3	30	0,25	90	0,2	50	0,05	10	0,1	50	0,1	46
"Енос"	1988	3210	40	0,3	100	0,25	90	0,2	50	0,05	10	0,1	50	0,1	63,5
"Драгалевци"	1981	2916	100	0,3	100	0,25	90	0,2	100	0,05	80	0,1	100	0,1	96
"Тотлебен"	1981	2470	60	0,3	30	0,25	90	0,2	25	0,05	70	0,1	80	0,1	59,75
"Възраждане"	1981	2088	65	0,3	20	0,25	90	0,2	25	0,05	80	0,1	70	0,1	58,75
"Захарна фабрика"	1981	2494	80	0,3	100	0,25	90	0,2	25	0,05	50	0,1	70	0,1	80,25
"Левски"	1979	3014	95	0,3	100	0,25	100	0,2	25	0,05	80	0,1	70	0,1	89,75
"Дондуков"	1979	1400	70	0,3	100	0,25	100	0,2	13	0,05	100	0,1	70	0,1	83,65
"Руски"	1979	2860	50	0,3	60	0,25	100	0,2	1	0,05	90	0,1	80	0,1	67,05
"Едисон"	1984	2465	50	0,3	65	0,25	80	0,2	38	0,05	80	0,1	70	0,1	64,15
"Редута"	2011	1992	0	0,3	25	0,25	80	0,2	1	0,05	10	0,1	10	0,1	24,3
"Зенит"	1984	2261	70	0,3	90	0,25	80	0,2	63	0,05	80	0,1	70	0,1	77,65

Силова маслонапълнена КЕЛ 110 кV „Драгалевци“ се експлоатира 30 години, което ограничава товарносимостта в електрическия диагонал ПС „Модерно предградие“ – ПС „София юг“ и е предпоставка за ограничаване на преноса и разпределението на електрическа енергия. През този период, вследствие стареенето на изолацията, динамичното и термично действие на токове на к.с. и механични повреди от строителни и разкопни дейности са налични частично протриване на оловната мантия на кабела и множество течове на кабелно масло. В процесът на експлоатация на КЕЛ са направени допълнителни съединителни муфи, вследствие на възникнали аварии.

Таблица 4.

Диспечерско име	Аварии	Период за доливане на масло	Трасе (съотношение)/състояние			Състояние на външна изолация
			проходим колектор	непроходим колектор	тръбна мрежа	
"Левски"	2	на 10-15	35%	65%	10%	задоволително
			кал, изгнили лавици	задоволително	добро	
"Дондуков"	1	не	0	90%	10%	добро
				плитък, с кабели СрН	добро	
"Руски"	0	не	3%	87%	10%	много добро
			задоволително	задоволително	задоволително	
"Драгалевци"	8	на 180	1%	79%	20%	лошо
			добро	срутвания, поддали стени, голяма денивация	добро	
"Тотлебен"	2	на 180	25%	65%	10%	задоволително
			добро	добро	добро	
"Възраждане"	2	не	10%	80%	10%	добро
			наводнен, кал, изгнили лавици	задоволително	добро	
"Захарна фабрика"	2	не	60%	30%	10%	задоволително
			наводнен, кал, изгнили лавици	корени, срутвания	добро	
"Едисон"	3	не	2%	88%	10%	добро
			задоволително	задоволително	задоволително	
"Редута"	0	не	0	90%	10%	отлично
			добро	добро	добро	
"Зенит"	5	на 180	0	90%	10%	добро
			задоволително	задоволително	задоволително	
"Дойран"	4	не	100%	0	0	много добро
			добро	-	-	
"Енос"	4	не	10%	80%	10%	много добро
			добро	добро	добро	

Таблица 5.

№ на диагонала	Последователност на подмяна	Диспечерско име	ПС/ОРУ - ПС/ОРУ	Год. на въвежд. в експлоат.	Сечение, mm ²	Дължина, (м)	ОЦЕНКА	Година на подмяна
3	1	"Левски"	ТЕЦ "София" - "Г.Димитров"	1979	650	3014	89,75	2012
	2		"Хиподрума" - "Средец"					
1	3	"Енос"	"Хиподрума" - "Д.Димитров"	1988	500	3210	38,75	2013
2	4	"Захарна фабрика"	"Боримечка" - "Орион"	1981	630	2494	55,50	
5	5		"София - Юг" - "Н.Колев"					2014
3	6	"Дондуков"	"Г. Димитров" - "Сф. Център"	1979	650	1400	83,65	
4	7	"Зенит"	"Подуене" - "Х. Димитър"	1984	630	2261	55,40	
2	8	"Възраждане"	"Средец" - "Боримечка"	1981	630	2088	54,00	
5	9		"Н. Колев" - "Банишора"					2015
2	10	"Тотлебен"	"Витоша" - "Средец"	1981	630	2470	52,50	
3	11	"Руски"	"Сф. - Център" - "Рила"	1979	650	2860	52,30	
5	12		"Банишора" - "Зап. Направлене"					
4	13	"Едисон"	"Ал. Наумов" - "Тео Милев"	1984	630	2465	48,15	2016
1	14	"Дойран"	"Кр. село" - "Хиподрума"	1988	500	3030	37,85	
5	15		"Зап. Направлене" - "Средец"					
2	16	"Драгалевци"	"София - Юг" - "Витоша"	1981	630	2916	96,00	

Поради трудното откриване на мястото на теча и изискващото се технологично време за последващо възстановяване на изолацията интервалите на изключване ще стават все по-големи. Целесъобразно е да бъде подменена цялата кабелна мрежа 110 kV на територията на гр. София. Изключение прави КЕЛ „Подуяне”, която е подменена през 2011 г. и показва отлични показатели.

3. Изводи

- КЕЛ „Левски” е изчерпал ресурса си по отношение на избраните показатели и следва да бъде подменен със сух. Препоръчително е сечението на новия кабел да бъде 1600 mm² тъй като при отпадане на ВЕЛ „Павлово” и „Железница” през този участък от диагонала трябва да премине товара на четири ПС („Г.Димитров”, „Център”, „Рила” и „Студентски град”);
- По отношение на избраните показатели с изчерпан ресурс са КЕЛ „Драгалевци” и „Дондуков”. Както се вижда от Таблица 3. е изчерпан ресурса и по претоварване, което дава основание да се предложи тяхната подмяна. При условие, че бъде изградена напречна връзка между ПС „Хиподрума” и ПС „Средец” (фиг.1.) е възможно подмяната на КЕЛ „Драгалевци” да се отложи за следващ инвестиционен период;
- При аварийна ситуация КЕЛ „Захарна фабрика” се претоварва, което обосновава неговата подмяна;
- При анализ на различни аварийни ситуации се оказва, че във всички елементи на кабелната мрежа 110 kV на гр. София товарът няма да надхвърли стойност от 175 MW.

- Преносната способност на кабел тип A2XS(FL)2Y, 1x1200RMS/135 в най-тежък температурен режим е 190 MW. Това означава, че максималното сечение на кабели, което трябва да се използва в кабелната ел. мрежа 110 kV трябва да бъде 1200 mm².
- За подобряване на връзката между ПС „Средец“ и ПС „Модерно предградие“ е необходимо да се подмени КЕЛ „Енос“ с нов сух кабел със сечение 1200 mm².

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Колев В., „План за реконструкция на съществуващата и развитие на кабелната ел. мрежа 110 kV на територията на гр. София“, дог. с ЧЕЗ
- [2] Гюров В.Н., Чиков Вл., Киров Р.М., Оптимизиране на загубите на мощност и ел. енергия чрез намаляване плътността на тока на електрическите мрежи СН и НН в комунално-битовият сектор, I-ва научна конференция ЕФ2009, гр. Созопол.
- [3] Киров. Р., В. Гюров, Вл. Чиков, Н. Македонски, Електроенергийна ефективност в промишления сектор по отрасли, Енергиен форум, сб. доклади, Варна, 2011, стр. 270-275.
- [4] Киров. Р., В. Гюров, Вл. Чиков, Н. Македонски, Електроенергийна ефективност при мощни промишлени потребители, Енергиен форум, сб. доклади, Варна, 2011, стр. 276-282

Автор:

Associate Professor, Eng. Valentin Kolev, PhD – Technical University - Sofia
8 Kliment Ohridsky Blvd.
e-mail: vkolev@tu-sofia.bg

ИЗСЛЕДВАНЕ ИНТЕНЗИТЕТА НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОТО ПОЛЕ ПО ПОВЪРХНОСТТА НА ПРОВОДНИЦИТЕ НА ВЕЛ "Соколец" 400 kV

Валентин Колев

Резюме: При експлоатацията на ВЕЛ „Соколец” 400 kV свързващ ОРУ на ТЕЦ „ЕАС Гълъбово” и н/ст „Марица изток” е констатирана интензивна корона под и около електропровода. Трасето на същия преминава в близост до жилищни сгради и има сигнали за недопустимо ниво на шум. В доклада са показани изчисления за напрегнатостта на електрическото поле на повърхността на проводниците и са анализирани причините за възникване на тотално корониране на ВЕЛ.

INVESTIGATION INTENSITY ELECTROSTATIC FIELD ON THE SURFACE OF OVER HEAD LINES OF OHL „Sokolets” 400KV

Valentin Kolev

Abstract: Operation of the OHL 'Sokolets "400 kV switchyard connecting the TPP "EAS Galabovo" and substation "Maritsa East" is an intense corona found under and around power lines. The same route passes close to residential buildings and there are signs of unacceptable noise levels. The report shows estimates of the intensity of electric field on the surface of conductors and analyzed the causes of total corona of OHL.

1. Въведение

Въздушната линия 400 kV „Соколец” свързваща ОРУ на ТЕЦ „Марица изток 1 – AES” е изпълнена с проводници 2xACO 300 с хоризонтално разположение на фазите. Съгласно чл. 561, ал. (1), т.2 от [1] за намаляване на загубите от ефекта корона при надморска височина на трасето до 1000 м. ВЛ за напрежение 400 kV се проектират със снопови проводници без да е посочен броя на единичните проводници в снопа и минималното сечение на единичните проводници. Алинея (3) от същия член обаче изисква допустимата напрегнатост на повърхността на проводника да бъде под 28 kV/cm. От друга страна чл. 559 ал. (2) в [1] регламентира, че *Диаметърът на проводниците, сечението и броят им на фаза, както и разстоянието между отделните проводници в сноповия проводник се определят на основата на технико-икономически сравнения.* В чл.1.3.33. на [6] се казва „...проводниците трябва да бъдат проверени по условията на корониране с отчитане на средногодишните стойности на плътността и температурата на въздуха на височината на разполагане над морското равнище При това най-голямата напрегнатост на полето на повърхността на всеки от проводниците при осреднено експлоатационно напрежение не трябва да бъде по-висока от 0,9 от началното напрежение на корониране”. В чл. 2.5.41. (стр.210) и Таблица 2.5.6.

на [6] са посочени броя и минималните диаметри на фазовите проводници на ВЛ 500 kV по условието „корона”. Те са 3x24,5 mm (3xАС-300/66), който съответства на АСО-300 с диаметър 23,5 mm или 2x36,2 mm (2xАС-700/66) – този тип проводници у нас не се използват.

2. Същинска част

В съответствие с общоприетата теория и международна практика максимално допустимата амплитудна стойност E_0 на интензитета на електрическото поле по повърхността на проводниците, при която те не коронират **тотално**, се определя по класическата формула на **Пик**, даваща началния интензитет на коронния разряд [5, 7]:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{r \cdot \delta}}\right), kV_{max}/sm \quad (1)$$

където: $m = 0,82 \div 0,85$ – коефициент на гладкост по повърхността на проводниците, за електропроводи с $U_n = 400$ kV; r [sm] – радиусът на проводниците. При снопови проводници това е радиусът на всеки от **единичните** проводниците в снопа; δ – относителната стойност на плътността на въздуха по трасето на електропровода. Стойността на δ в зависимост от температурата на въздуха и атмосферното налягане се дава с израза:

$$\delta = 0,386 \cdot \frac{P, mmHg}{273 + \theta^{\circ}C}, \quad (2)$$

където: P – атмосферното налягане; q – температурата в $^{\circ}C$.

В [4] за зависимостта на плътността на въздуха δ от надморската височина на терена H за средни географски ширини и в средногодишен период се използва зависимостта $\delta = 1 - 0,0875 \cdot H$, където H е в километри. При $H = 0,15$ km, която е максималната стойност на надморската височина по трасето на разглеждания електропровод в района на п/ст „Марица Изток”, за разчетната плътност на въздуха се получава $\delta = 0,987$. Приет е **коефициент на сигурност** $K_c = 0,9$, който отчита възможните неблагоприятни отклонения на метеорологичните параметри от средногодишните им стойности, използвани при пресмятанята по формула (1). За максимално допустимата стойност $E_{don} = K_c \cdot E_0$.

В Таблица 1. са показани резултатите от изчисленията по формула (1) за най-често използваните в страната тип проводници.

Таблица 1.

Параметър/проводник	АС О-500	АС О-400	АС У-400	АС У-300
r, sm – радиус на проводника	1,51	1,36	1,45	1,26
$E_0, kV_{max}/sm$ при $H = 0$ km	28,1 2	28,5 5	28,3 2	28,7 1

$E_0, kV_{max}/sm$ при $H = 0,15 km$	26,7 1	27,1 2	26,9 0	27,2 7
$E_{дкп}, kV_{eff}/sm$ при $H = 0,15 km$	18,8 9	19,1 8	19,0 2	19,2 9

За изчисляване на капацитет с права последователност на симетрични електропроводи се използва следната формула[5]:

$$C_1 = \frac{5,55 \cdot \xi}{\ln\left(\frac{2h_e \cdot d}{r_e \cdot d'}\right)} \cdot 10^{-8}, \quad F/km \quad (3)$$

където, $r_e [sm]$ – еквивалентен радиус на проводника; $h_e [m]$ – средногеометрична височина на окачване на проводниците при стълба; $g [m]$ – провес на проводниците; $d' [m]$ – разстоянието между фазовия проводник и огледалния образ на съседната фаза; $d [m]$ – междуфазовото разстояние; ξ – корекционен коефициент отчитащ влиянието на мълниезащитните въжета [8, стр.88] – 1,02

По-долу е описан т.н. **опростен** метод за изчисляване на максималната напрегнатост на повърхността на проводника [5].

Максималната напрегнатост на повърхността на проводниците може да бъде пресметната по следната формула:

$$E_{max} = 14,7 \cdot k_\phi \cdot \frac{\mu(n) \cdot U_n \cdot C_1}{n \cdot r} \cdot 10^6, \frac{kV}{sm} \quad (4)$$

$\mu(n)$ - изчислява се в зависимост от броя на проводниците в сноп; $\mu = 1$ при обикновен неразцепен проводник във фаза; $\mu = 1 + 2 \cdot \frac{r}{a}$ при сноп от два проводника във фаза ($n = 2$); $\mu = 1 + 2\sqrt{3} \cdot \frac{r}{a}$ при сноп от три проводника във фаза ($n = 3$); r, sm – радиусът на всеки проводник в снопа; a, sm - разстоянието между съседните проводници в снопа; U_n, kV_{eff} - номиналното напрежение на електропровода; $C_1, F/km$ - капацитет на електропровода с права последователност (3); $k_\phi = 1$ за електропровод с триъгълно разположение на фазите или за крайната фаза на електропровод с хоризонтално разположение на фазите; $k_\phi = 1,07$ за електропровод с хоризонтално разположение на фазите.

В изследването се разглеждат 4 варианта – **2xACO 500, 2xACO 400, 3xACO 400** и **3xACU 300**. При изброените варианти е прието: мълниезащитното въже е изпълнено с С-100; изолаторните гирлянди на носителните стълбове са от 23 елемента ПС-160Д (всеки елемент е с височина $h=148 mm$); габаритът на електропровода е 8,5 m; височината на окачване на изолаторните гирлянди на долните две фази (А и В) е $H=30 m$; дължината на гирляндите включително арматурата е $l = 23,0,148 + 0,41 = 3,814 \approx 4 m$; височината на окачване към стълба на проводниците на долните фази е $H_1 = H_2 = H_3 = H - l = 30 - 4 = 26 m$. Хоризонталните отстояния на фазовите проводници от оста на стълба са

съответно $X_1 = 8,60 \text{ m}$; $X_2 = 0 \text{ m}$; $X_3 = 8,60 \text{ m}$. Габаритът на електропровода е $G_0 = 26-17,5 = 8,5 \text{ m}$.

Провесът на фазовите проводници е $f \approx 26 - 8,5 = 17,5 \text{ m}$, средните височини на трите фази са $h_1 = h_2 = h_3 = H_1 - \left(\frac{2}{3}\right) \cdot f = 14,3 \text{ m}$. Средногеометричната стойност на височината на трите фазови проводника в междустълбието е $he = 14,3 \text{ m}$.

Изчислените разстояния между проводниците на трите фази са както следва:

$$d_{12} = d_{23} = D = 8,60 \text{ m}; d_{13} = 2 \cdot D = 17,20 \text{ m};$$

Средногеометричната стойност на междуфазовото разстояние е $d_e = \sqrt[3]{(d_{12}d_{13}d_{23})} = 14,33 \text{ m}$. Разстоянията между дадена фаза и огледалните образи на съседните фази (означени с индекс `) са както следва:

$$d'_{12} = d'_{23} = \sqrt{D^2 + (2h)^2} = 29,93 \text{ m};$$

$$d'_{13} = \sqrt{(2D)^2 + (2h)^2} = 33,43 \text{ m};$$

Средногеометричната стойност на разстоянията между фазите и огледалните образи на съседните фази е $d' = \sqrt[3]{(d'_{12}d'_{13}d'_{23})} = \sqrt[3]{29,93 \cdot 33,43 \cdot 29,93} = 31,05 \text{ m}$

За капацитетът с права последователност на електропровода по формула (3) се получава:

$$C_1 = \frac{5,55 \cdot \xi}{\ln\left(\frac{2h_e \cdot d}{r_e \cdot d}\right)} \cdot 10^{-8} = \frac{5,55 \cdot 1,02 \cdot 10^{-8}}{\ln\left(\frac{28,66 \cdot 10,83}{0,01 \cdot r_e \cdot 31,05}\right)}, F/km \quad (5)$$

Където: $r_e = \sqrt{r \cdot a}$ - сноп от два проводника и $r_e = \sqrt[3]{r \cdot a^2}$ - сноп от три проводника. Параметърът a е разстоянието в sm между проводниците в снопа. При изчисленията е прието разстоянието между проводниците при сноп от два проводника да бъде 50 sm, а при три – 40 sm.

В Таблица 2 са показани изчисленията за интензитета на електрическото поле по повърхността на проводниците при разглежданите варианти. В последния ред на таблицата за сравнение са показани резултати от компютърни изчисления [3] за електропроводи с близка конфигурация.

Таблица 2.

	Параметър/проводник	Означение	2xACO 500	2xACO 400	3xACO 400	3xACU 300
1.	Максимално напрежение	U_{max} , kV	420	420	420	420
2.	Брой проводници в снопа	n , бр.	2	2	3	3
3.	Радиус на проводника	r , sm	1,51	1,36	1,45	1,26
4.	Еквивалентен радиус на проводниците	r_e , sm	8,689	8,246	12,958	12,633
5.	Капацитет с права последователност	C_1 , $\mu\text{F}/\text{km}$	0,0119 3	0,0112 6	0,0123 7	0,0123 0
6.	Коефициент на неравномерност	$\mu(n)$	1,060	1,027	1,118	1,109
7.	Коефициент на фазово разположение	k_ϕ	1	1	1	1

8.	Максимална стойност на интензитета на полето	$E, kV_{max}/sm$	26,375	28,80	22,456	23,911
9.	Ефективна стойност на интензитета на полето	$E, kV_{eff}/sm$	18,706	20,427	15,926	16,958
10.	Ефективна стойност на допустимия интензитет	$E_{don}, kV_{eff}/sm$	18,89	19,18	19,02	19,29
11.	Коефициент на запас	$E/E_{don}, \%$	99,02	-	83,7	87,9
12.	Изчисления по [3]	$E, kV_{eff}/sm$	17,49	19,47	15,73	16,76

3. Заключение

- 3.1. Максималната напрегнатост на полето по повърхността на проводниците зависи от броя на проводниците във фазата n , радиуса на единичните проводници в снопа r , разчетната височина на окачване на проводниците h , междуфазните разстояния d , с намаляване на разстоянието между съседните проводници в снопа a се намалява напрегнатостта на електростатичното поле до проводника. При намаляване на a се намалява капацитетът на електропровода. Когато обаче a стане по-малко от 10 sm нараства коефициентът $\mu(n)$ и заедно с това нараства и напрегнатостта на полето. Броят на мълниезащитните въжета и височината им влияят в значително по-малка степен.
- 3.2. От конструкторни и механични съображения, а така също и за да не се намали преносната възможност на електропровода, разстоянието между проводниците в снопа не може да бъде по-малко от 30-35 sm. Параметърът, който може да се избира за намаляване на ефекта корона е междуфазовото разстояние.
- 3.3. От разгледаните четири варианта за избор на фазови проводници условията по ефекта „корона” се удовлетворяват от фазовите проводници 2хАСО 500, 3хАСО 400 и 3хАСУ 300. При варианта 2хАСО 400 разликата между допустимата и изчислителната стойности на интензитета на електрическото поле е по-голяма от 1%, при което липсва запас и при неблагоприятни метеорологични условия ще настъпи тотална корона. Това означава, че при вариант 2хАСУ 300 (каквото е изпълнението в момента) няма да са изпълнени условията по ефект „корона”.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Наредба № 3 от 9 юни 2004 г. за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии.
- [2] Шевичков Д. И други, Наръчник за проектиране на въздушни електропроводни линии 110-750 kV, СО Енергетика, София, 1986 г.
- [3] Transmission Line Reference Book – 345 kV and above, EPRI, California, 1982
- [4] Александров, Г.Н., Сверхвысокие напряжения, Энергия, Ленинград, 1973

- [5] Генов Л., Техника на високите напрежения в електроенергийните системи, ДИ Техника, София, 1979.
- [6] Министерство Топлива и Энергетики Российской Федерации, Правила Устройства Электроустановок. Шестие издание. Москва, 1998 г.
- [7] Генов Л., Б. Сироманов и др., За някои електрически параметри на двойните електропроводи 400 kV, сп.Енергетика, бр.3, 1977 г.
- [8] Генов Л., Електроенергетика, ДИ Техника, София, 1985.

Автори:

д-р инж. Валентин Генов Колев – доцент в катедра „Електроенергетика” (ЕЕ) при ТУ-София, бул. Климент Охридски №8,
email: vkolev@tu-sofia.bg

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОНТАКТНОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ МЕЖДУ ШИНИ

Диан Маламов, Иван Хаджиев

Резюме: В доклада е описана експериментална уредба и метод за определяне на контактното съпротивление между шини при зададена контактна сила. Дадени са резултатите от изследванията за три вида винтови контактни съединения между медни шини (60x6)mm. Установено е, че привидната площ при равнинни контактни съединения не оказва значимо влияние върху контактното съпротивление.

Ключови думи: контактното съпротивление, контактна сила, шинна система.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE CONTACT RESISTANCE BETWEEN BUS-BARS

Dian Malamov, Ivan Hadzhiev

Abstract: The paper describes an experimental setting and a method for defining the contact resistance between bus-bars at predetermined contact force. Results from investigations of three types of screw contact connections between copper bus-bars (60x6)mm. are given. It has been established that the seeming contact area with plain contact connections does not influence considerably the contact resistance.

Key words: contact resistance, contact force, bus-bars.

1. Въведение

В комплектните комутационни устройства (ККУ) типичен функционален елемент са шинните системи, които се характеризират със сложни конфигурации и връзки. Това обуславя и значителен брой контактни съединения. Наличието на контактни съединения е предпоставка за увеличаване на съпротивлението и прегряване на електрическото съоразение. Известно е, че контактното съпротивление зависи от сложни физически процеси, голяма част от които имат случаен характер и неговото аналитично изчисление е свързано с големи неточности [1], [2]. В [8] и [9] са предложени формули, в които влиянието на микро и макро геометрия и твърдостта на контактните повърхности е отразена чрез емпирични коефициенти. Диапазонът на изменение на тези коефициенти е голям, което води също до незадоволителна точност на получените резултати. Освен това предложените формули не отразяват специфични конструктивни особености на контактните повърхности. Интерес представлява предложения анализ на равнинни контактни съединения чрез числен метод, при което се отчитат геометричните и физични характеристики на контактните повърхности. Предложения в [10], [11] и [12] метод е приложен за анализ на равнинни контактни съединения със

специфична конструкция, което не е възможно чрез методите дадени в [6], [7], [8] и [9]. Независимо от напредъка в теоритичните изследвания, на този етап си остава актуално експерименталното изследване на контактното съпротивление. В настоящия доклад е изследвано влиянието на контактната сила върху контактното съпротивление между шини чрез разработена за тази цел експериментална уредба.

2. Изложение

2.1. Описание на метода на изследване и експерименталната уредба

За изследване на контактното съпротивление между шините е избран сравнителния метод. Той се състои в сравнение на съпротивлението на участъци от шината без контактното съединение и с контактното съединение показан на фиг.1. Участъците се избират с еднаква дължина. При това условие:

- (1) $R_{12} = R_0$
- (2) $R_{23} = R_0 + R_K$
- (3) $R_K = R_{23} - R_{12}$

където:

R_0 - омическо съпротивление на участъка между точките 1 и 2;

R_K - контактното съпротивление;

R_{23} - съпротивление на участъка между точките 2 и 3.

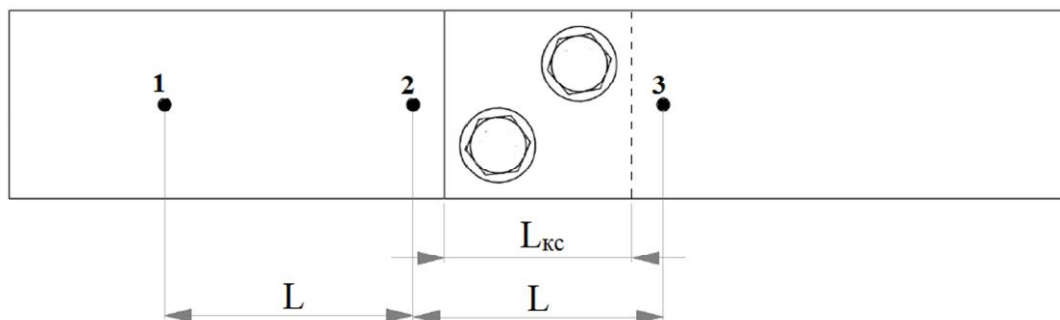
Съпротивлението може да се определи чрез падовете на напрежение и тока през шината:

$$(4) \quad R_K = \frac{U_{23} - U_{12}}{I}$$

където:

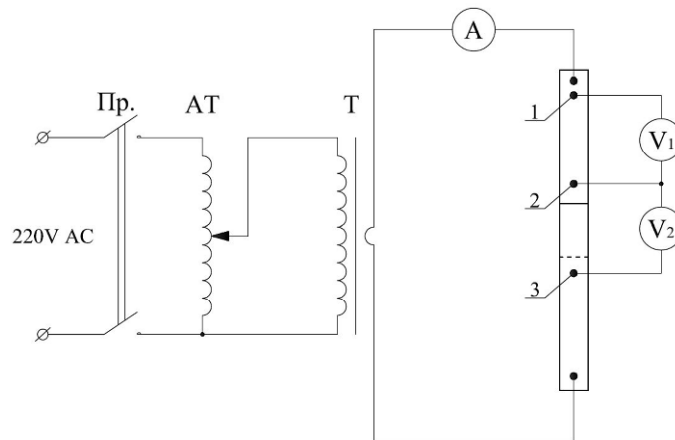
U_{12} - пад на напрежение в участъка между точките 1 и 2;

U_{23} - пад на напрежение в участъка между точките 2 и 3.



Фиг.1. Разположение на измервателните точки 1, 2 и 3 за определяне контактното съпротивление по сравнителния метод

Схемата на експерименталната уредба е дадена на фиг.2. Чрез автотрансформатора и товарния трансформатор се задава изпитвателния ток. Чрез волтметри с високо входно съпротивление се измерват падовете на напрежение в посочените участъци.



Фиг.2. Електрическа схема на експерименталната уредба:

Пр. – прекъсвач; АТ – автотрансформатор; Т –товарен трансформатор;
А – амперметър; V_1 , V_2 – волтметри.

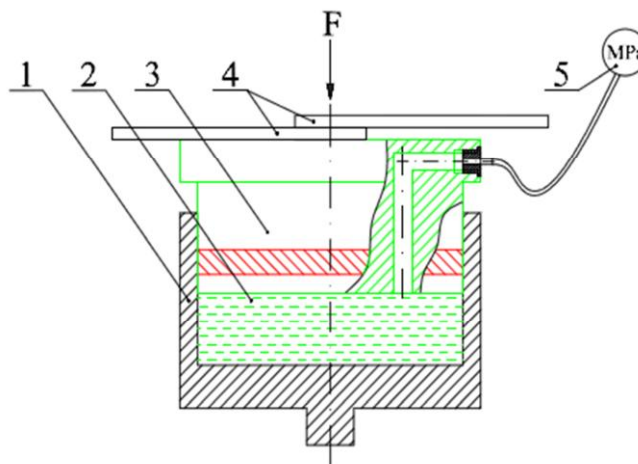
Задаването на контактната сила се реализира чрез винтова предавка. На фиг.3 е показано устройството за измерване на контактната сила. Същата се измерва чрез измерване на налягането на хидравличната течност. Конструкцията на хидравличната система е показана на фиг.3. При натоварване на буталото с дадена сила, тя се преобразува в налягане на течността, от което се преобразува стойността на силата. Притискащата сила за разработената уредба може да се определи по следната формула:

$$(5) \quad F[kg] = p \cdot S = k \cdot p$$

където:

k - константа на измерителното устройство;

p - налягане.



Фиг.3. Устройство за задаване контактната сила: 1 - цилиндър;
2 - хидравлично масло; 3 - бутало; 4 - шини; 5 - манометър.

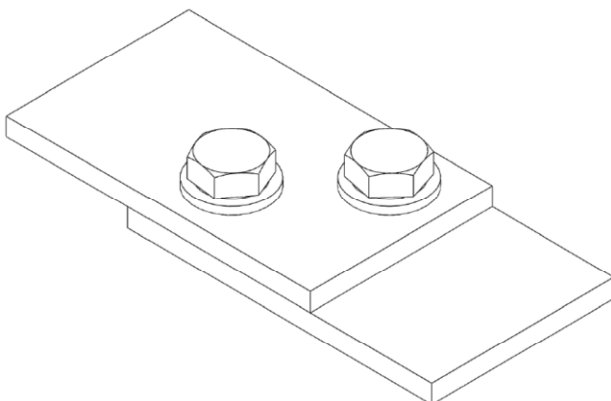
На фиг.4 показана експерименталната уредба заедно с изследваното контактно съединение.



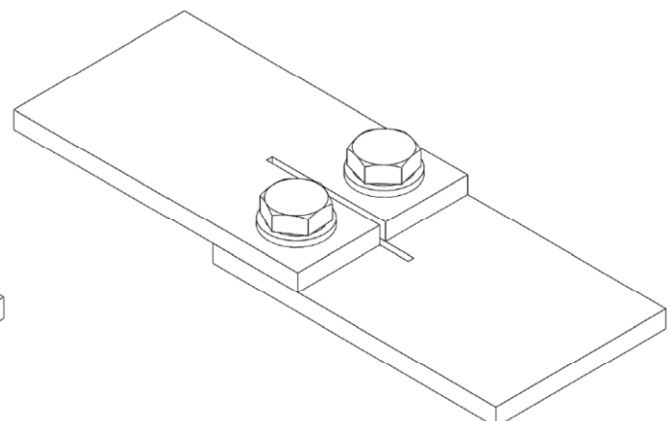
Фиг.4. Външен вид на експерименталната уредба

2.2. Експериментални резултати

За провеждане на експерименталните изследвания са изработени образци на два типа контактни съединения от медна шина (60x6)mm. без допълнителна обработка на контактните повърхности, които са показани на фиг.5 и фиг.6.



Фиг.5. Контактно съединение между медни шини (60x6)mm. съгласно [13]

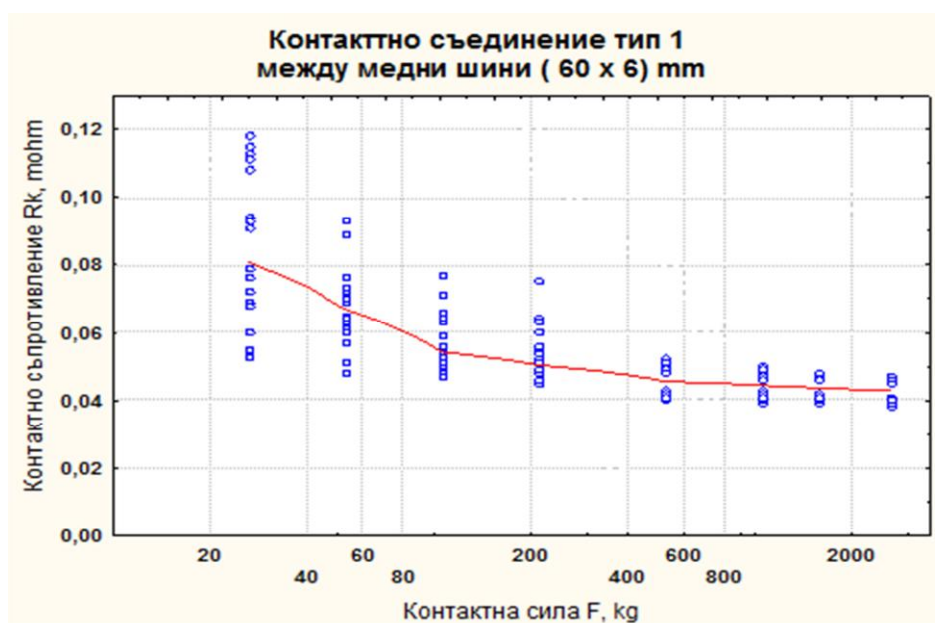


Фиг.6. Контактно съединение между медни шини (60x6)mm. съгласно с прорез между отворите

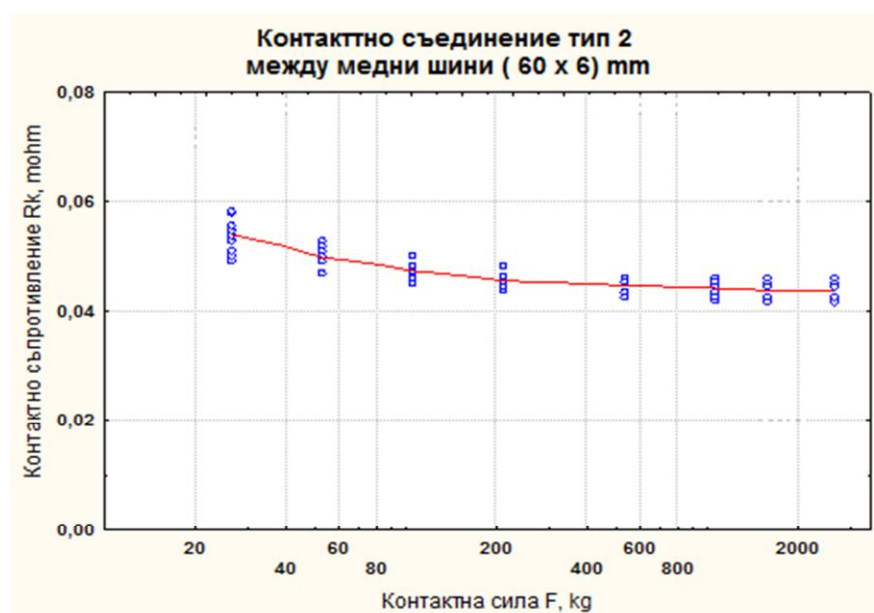
Чрез описаната експериментална уредба са проведени изследвания относно зависимостта на контактното съпротивление от контактната сила за следните случаи:

- контактното съединение тип 1 съгласно фиг.5;
- контактното съединение тип 2 съгласно фиг.6;
- контактното съединение тип 3, което представлява само единия клон на контактното съединение тип 2.

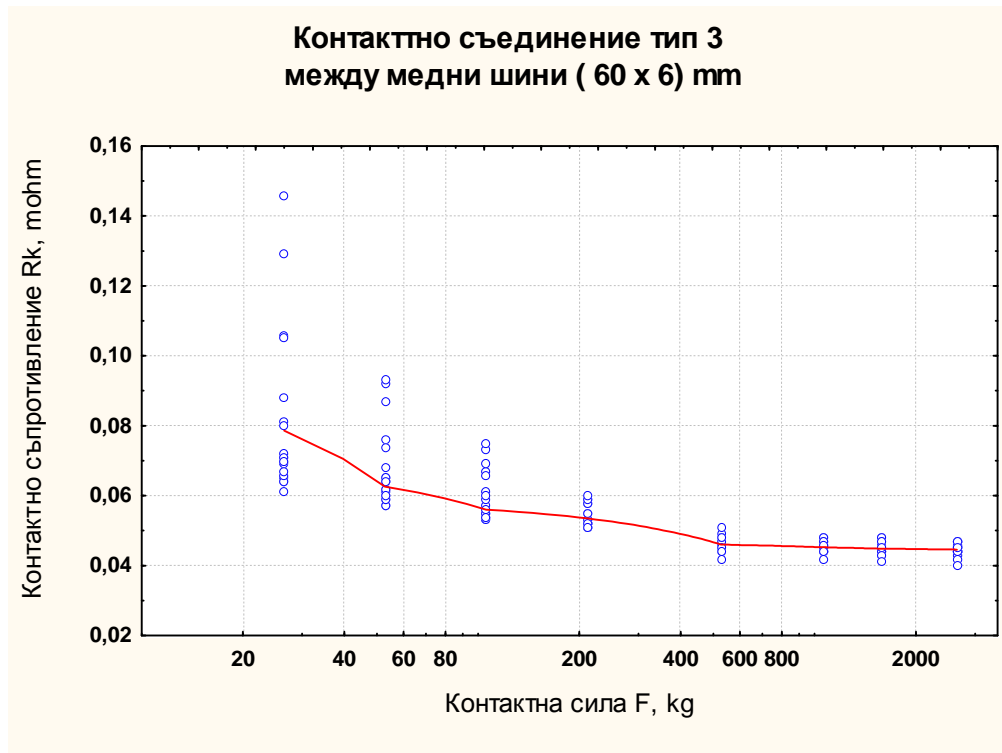
За всяко контактното съединение са изработени по два образеца върху които са проведени по десет независими опита. Резултатите от изследванията са дадени на фиг.7, фиг.8 и фиг.9.



Фиг.7. Зависимост на средната стойност на контактното съпротивление от контактната сила между медни шини (60x6)mm. за контактното съединение тип 1



Фиг.8. Зависимост на средната стойност на контактното съпротивление от контактната сила между медни шини (60x6)mm. за контактното съединение тип 2



Фиг.9. Зависимост на средната стойност на контактното съпротивление от контактната сила между медни шини (60x6)mm. за контактното съединение тип 3 (единият клон на контактното съединение тип 2 е изолиран)

3. Заключение

Контактните съпротивления и за трите изследвани случая при контактна сила над 600kg. са практически еднакви.

За конструкции тип 1 и тип 3 при намаляване на контактна сила под 500kg. се наблюдава значимо разсейване на стойностите на контактното съпротивление, както и нарастване на средната му стойност.

При контактното съединение тип 2 при намаляване на контактна сила под 500kg. се наблюдава с около 20% по-ниска стойност на контактното съпротивление в сравнение със съединение тип 1.

Разсейването на стойностите на контактното съпротивление за тип 2 при малки стойности на силата е значително по-малко в сравнение с другите контактни съединения.

ЛИТЕРАТУРА

- [6] И. Ячев, Ал. Александров, Електрически апарати - част II, Авангард Прима, София, 2010г.
- [7] Райна Ценева, Електрически контакт, София, 2004г.
- [8] Дзекцер, Ю.С. Висленев, Многоамперные контактные соединения Ленинград Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1987г.

- [9] H. Nouri, M. Keavey, A. Williams, Mathematical Modelling and Related Interfacial Phenomena in Contactor Contacts, Faculty of Engineering, University of the West of England.
- [10] Raina Tzeneva, Yanko Slavtchev, Nikos Mastorakis, Valeri Mladenov, Experimental Investigation of Contact Resistance of Slotted and Perforated Bolted Busbar Connections.
- [11] R. Tzeneva, Y. Slavtchev and V. Mladenov, New Connection Design of High Power Bolted Busbar Connections, Volume 1 of the Proceedings of the 11-th WSEAS International Multiconference CSCC (Circuits, Systems, Communications, Computers), Agios Nikolaos, Crete Island, Greece, July 23-28, 2007, pp. 227-232.
- [12] R. Tzeneva, Y. Slavtchev, V. Mladenov, Bolted Busbar Connections with Slotted Bolt Holes, Proceedings of the 10-th WSEAS Conference on CIRCUITS, Vouliagmeni Beach, Athens, Greece, July 10-12, 2006, pp 91-95
- [13] Standart DIN 43673 Parts 1 and 2.

Автори:

д-р инж. Диан Маламов - главен асистент в катедра "Електротехника" на ТУ София, филиал Пловдив, email: deanmalamov@abv.bg

маг. инж. Иван Хаджиев - инженер във фирма „Интеркомплекс" ООД гр. Пловдив, задочен докторант в катедра "Електрически апарати" на ТУ - София, e-mail: hadzhiev_tu@abv.bg

КРАТКОСРОЧНО ПЛАНИРАНЕ НА РЕЖИМА НА КОНСУМАЦИЯ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА

Тонка Шаренкова, Богдан Гилев

Резюме: В последните години съществена роля в електроконсумацията оказва все по-големият брой климатици в страната. Към 2012 г. климатиците присъстват значително, бивайки използвани както за отопление през зимния, така и за охлаждане в летния период на годината и оказват влияние върху формата на товаровия график на активна мощност. Прогнозирането на седмичния товаров график на активна мощност в основните възли на електроенергийната система се извършва чрез правата и обратна трансформация на Фурие за устойчив летен и устойчив зимен период, като резултатите показват вече необходимост за използване в изследването на по-голям брой и по-високочестотни хармоници.

Ключови думи: електроконсумация, товаров график, хармоници, планиране на режима, Фурие

SHORT-TERM PLANNING OF THE MODE OF ACTIVE POWER CONSUMPTION OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM

Tonka Sharenkova, Bogdan Gilev

Abstract: In recent years a significant role in electrical consumption has the growing number of air conditioners in the country. In 2012 air conditioners attend significantly, being used for heating in winter and cooling in the summer and this way they affect the shape of the load active power curve. Forecasting the weekly load profile of the active power in the main nodes of the power system is performed by straight and reverse Fourier transformation for sustainable summer and winter periods, and the results indicate a need for using of more and high frequent harmonics for the research.

Key words: electric consumption, load curve, harmonics, planning of the mode, Fourier

1. Въведение

Електроенергетиката се различава от останалите производства с наличието на непрекъсната и твърда връзка между производство и консумация на активна мощност. При баланс на активната мощност в електроенергийната система

(е.е.с.) се установява номинална честота, която гарантира ефективна работа на потребителите на електрическа енергия.

В последните години съществена роля в електропотреблението оказва все по-големият брой климатици в страната. Докато през 2002 година техният брой беше сравнително малък и главно в обществени сгради, то към 2012 г. климатиците присъстват значително, бивайки използвани както за отопление през зимния, така и за охлаждане в летния период на годината. И ако до преди няколко години влиянието им върху летния активен електрически товар се отчиташе в промили, днес влиянието им е около 8-10%.

Броят и мощността на климатиците вече трябва да бъдат отчитани за точното и прецизно прогнозиране на необходимата мощност от централите. Принципно е невъзможно оптималното управление без прогнозиране на бъдещото състояние на управлявания обект. Прогнозирането на седмичния товаров график на активната мощност в основните възли на е.е.с. е необходимо за планиране на режима на системата. Надеждността на работата на е.е.с. се определя от предварителната оценка на максималните и минимални активни товари. Поради това прогнозирането на активните електрически товари в е.е.с. и в основните ѝ възли е един от най-съществените елементи за оптимално управление на е.е.с.

Консумацията на активна мощност в общия случай представлява случаен нестационарен процес. Тъй като този процес проявява локална стационарност за определени периоди неговото прогнозиране е осъществимо. [1]

Товаровият график на активната мощност има ясно изразена периодичност, с период от 24 часа, 168 часа или година. Случайният процес консумация на активна мощност в е.е.с. или в опреелен възел с комплексен товар съдържа две съставящи:

1. Съставяща, която определя базовата стойност на активния товар в съответния ден и час.

2. Съставяща, която зависи от влиянието на метеорологичните фактори основно върху битовия електрически товар.

Първата съставяща определя ясно изразените денонощна, седмична и годишна периодичност. Тя формира и характерните особености:

а) намалението на консумация на активна мощност в събота, неделя и в сутрешните часове на понеделник;

б) сезонното изменение на товарите през годината;

в) трудовата активност на населението определя седмичния товаров график.

Значителната разлика в стойностите на консумация на активна мощност се дължи на промените в комунално-битовия сектор и основно от електрическото отопление, а вече и охлаждане. В последните години започва да се чувства силно и влиянието на климатиците през най-горещите летни дни. Максималните електрически товари се реализират през месеците декември, януари и февруари, а минималните - през юни, юли и август.

2. Същинска част

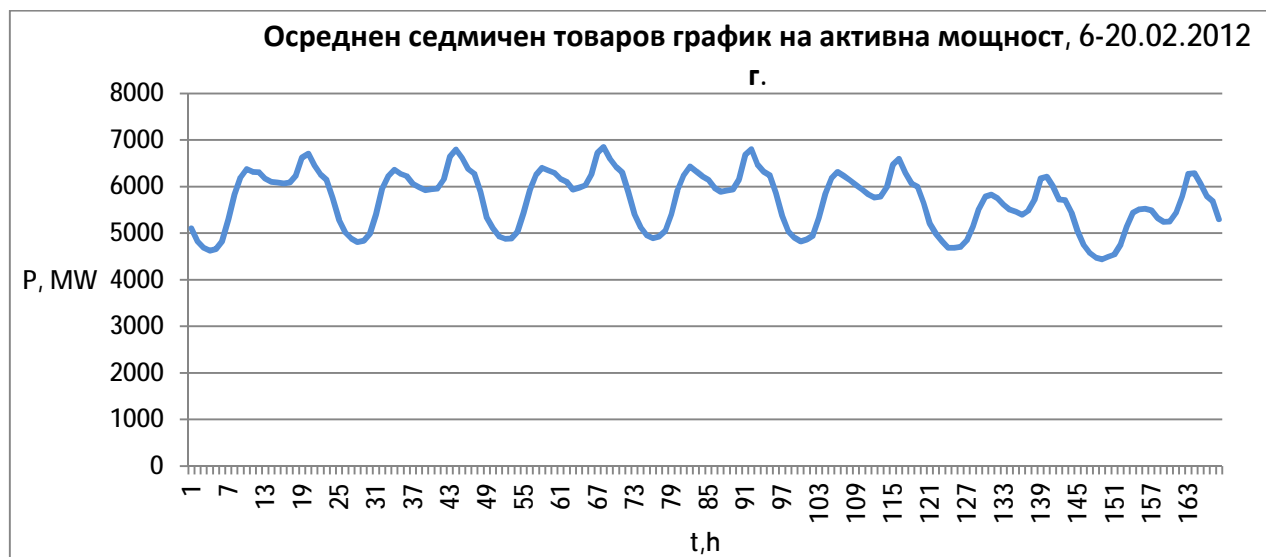
В резултат на ритъма на производствения процес, седмичният товаров график на активната мощност проявява и ясно изразена периодичност с период 168 часа. Товаровите графици за вторник, сряда, четвъртък и петък са близки по характер и стойности, поради което тези дни от седмицата се наричат типични работни дни. Товаровият график в понеделник се характеризира с по-ниски стойности на сутрешните товари, което е резултат от невъзможността за пълно възстановяване на нормалната трудова дейност на населението веднага след почивните дни. Събота и неделя са почивни дни и производителността е по-ниска, но в събота се наблюдава повишена битова консумация. Следва да се отбележи, че разликата между товаровите графици на активната мощност за типичните и особените дни в наши дни е намаляла значително в сравнение с отпреди 10 години. Това се обяснява със значителното увеличаване на относителния дял на битовото електропотребление.

Седмичният товаров график е необходим за планиране на режима на електроцентралите с цел постигане на минимални загуби и себестойност на произвежданата енергия. Прогнозирането му през сравнително устойчивите минимален летен режим и максимален зимен режим е затруднено поради влиянието на метеорологичните фактори и най-вече температурата на въздуха.

Изследване на осреднен седмичен товаров график за периодите: 1-21.08.2011 г. и 6-26.02.2012 г. (фиг.1 и фиг.2)



Фиг. 1. Осреднен седмичен товаров график на активна мощност, 1-21.08.2011 г.



Фиг. 2. Осреднен седмичен товаров график на активна мощност, 6-20.02.2012 г.

Най-подходящият метод за изследването на този случаен процес се явява използването на системата от взаимно ортогонални функции. За целта на настоящото изследване е използвана правата и обратна трансформация на Фурие. Представянето на случайния процес в ред на Фурие представлява частен случай от представянето му като сума от ортогонални функции, тъй като тригонометричните функции $\sin t$ и $\cos t$ са ортогонални във всеки момент от времето t . Освен това редът на Фурие е особено удобен за прогнозиране на товаровия график на активната мощност, поради периодичния характер на този процес. При този метод процеса се разлага на 168 хармоника, които са симетрично разположени.

Предлаганият модел има вида [2]:

$$P(t) = b_0 + \sum_{i=1}^n (a_i \sin w_i t + b_i \cos w_i t) + V(t)$$

където: i - индекс на хармоника; a_i и b_i - коефициенти пред хармониците; w_i - честота на съответния хармоник; n - брой на хармониците, използвани за моделиране на случайния процес; t - индекс на съответния момент от време; $V(t)$ - случаен Гаусов шум, отчитащ влиянието на неотчетените хармоници.

Относителната грешка през различните часове се определя с формулата:

$$e\% = \frac{P_{mp} - P_{д}}{P_{д}} 100$$

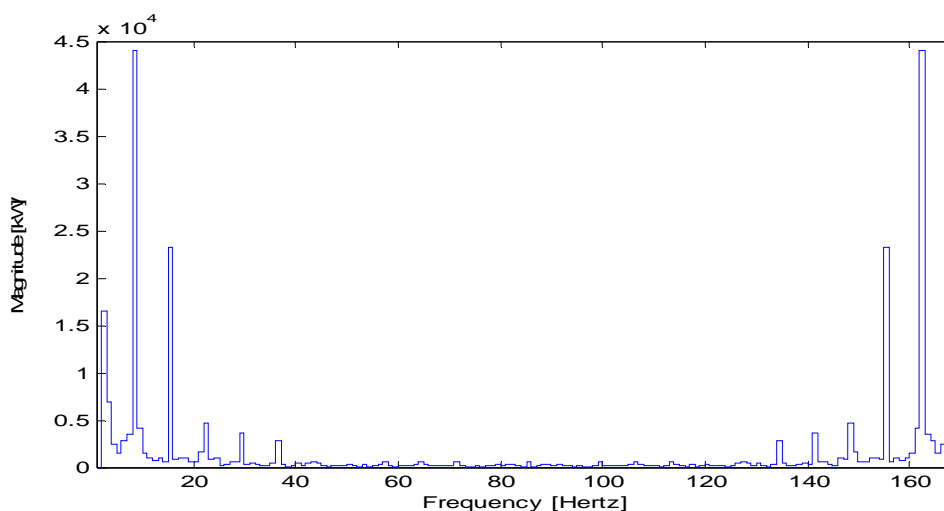
където: P_{mp} е прогнозираната стойност на активния електрически товар в i -тия час; $P_{д}$ е действителната стойност на този електрически товар в същия час; $t = 1 \div 24$ е индексът на часа в денонощната товарова диаграма. (Фиг.3-8)

В периодите на сравнително устойчиви максимални зимни електрически товари грешката на прогнозиране нараства. Това се дължи на влиянието на метеорологичните фактори върху консумацията на активна мощност, поради сравнително високото процентно участие на електроотоплението. С цел да се работи с по-еднородна информация за случайния процес следва да се намали дължината на ретроспективната извадка от информация до 3 седмици [3]. По този начин грешката намалява, но не в достатъчна степен, защото в този скъсен период съществуват флуктуации на температурата.

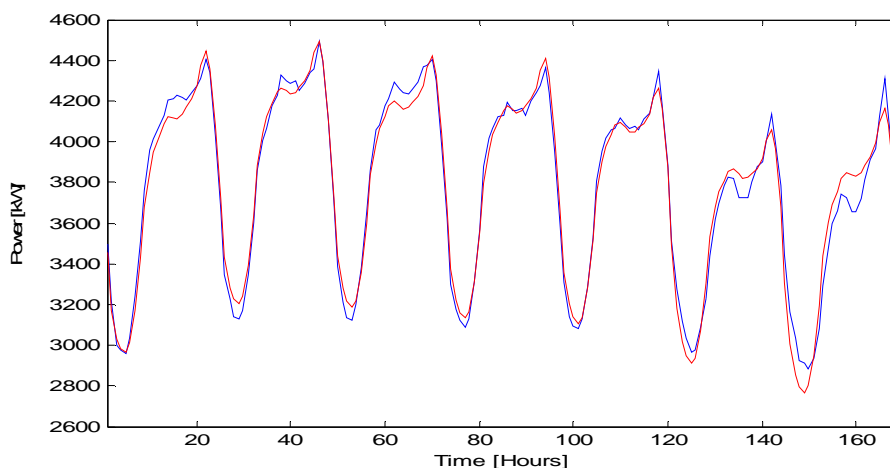
Подобен въпрос е разглеждан и преди, но проблемът е твърде динамичен и настъпиха значителни промени във формата на товаровия график от преди 10 години.

Все по-широкото използване на климатици за отопление през зимния и за охлаждане през летния период през различни часове на денонощието и през седмицата налагат включването на по-голям брой хармоници и с по-голяма честота при моделирането на процеса на консумация на активна мощност, за разлика от преди 10 години.

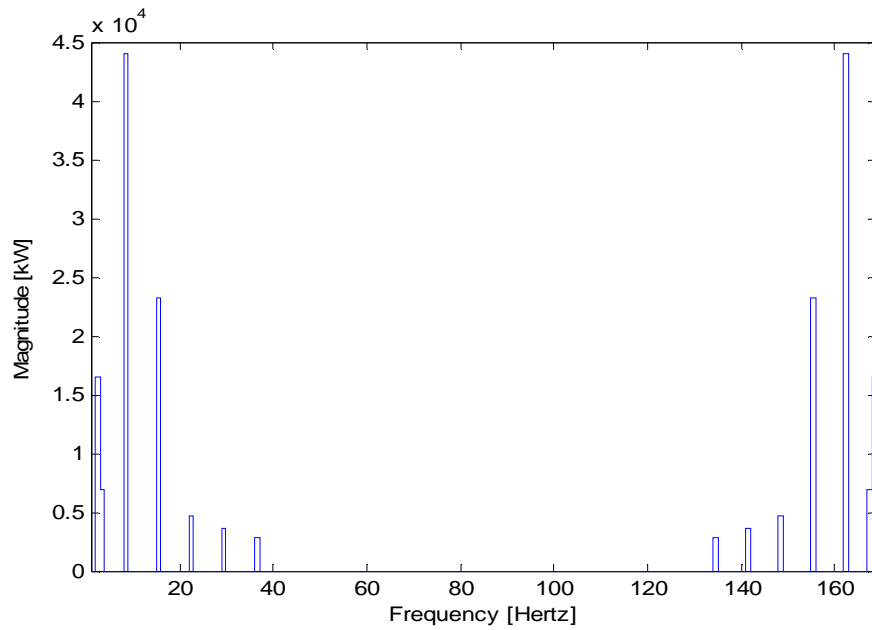
Осреднен седмичен товаров график за периода 1-21.08.2011 г.



Фиг. 3. Осреднен товаров график с включени всички хармоници



Фиг. 4. Осреднен седмичен товаров график – реализация и прогнозиране

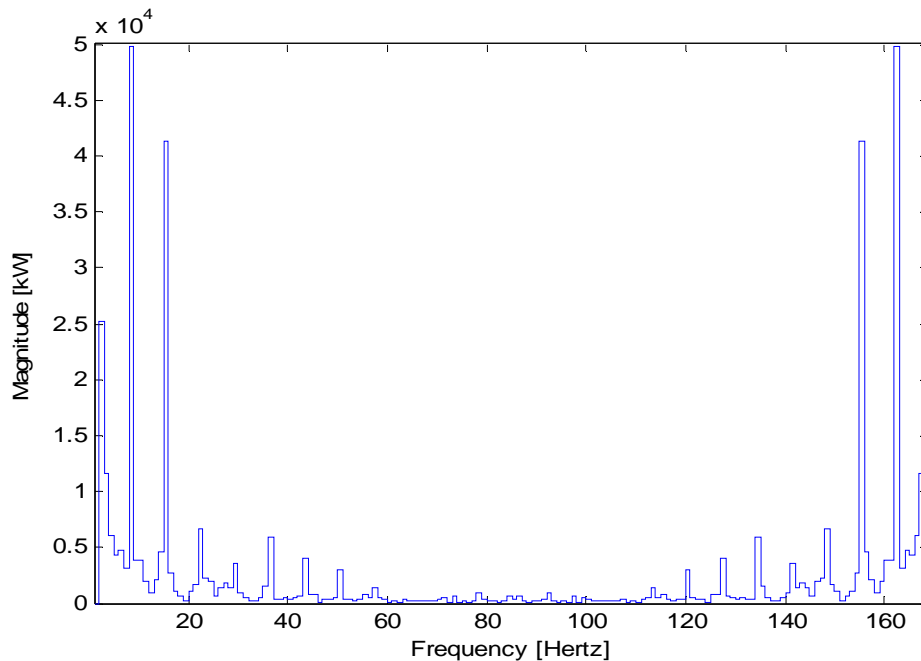


Фиг.5. Осреднен седмичен товаров график с използване само на 1, 2, 3, 6, 14, 21, 30, 36, 132, 138, 147, 154, 162, 166, 167, 168 хармоници

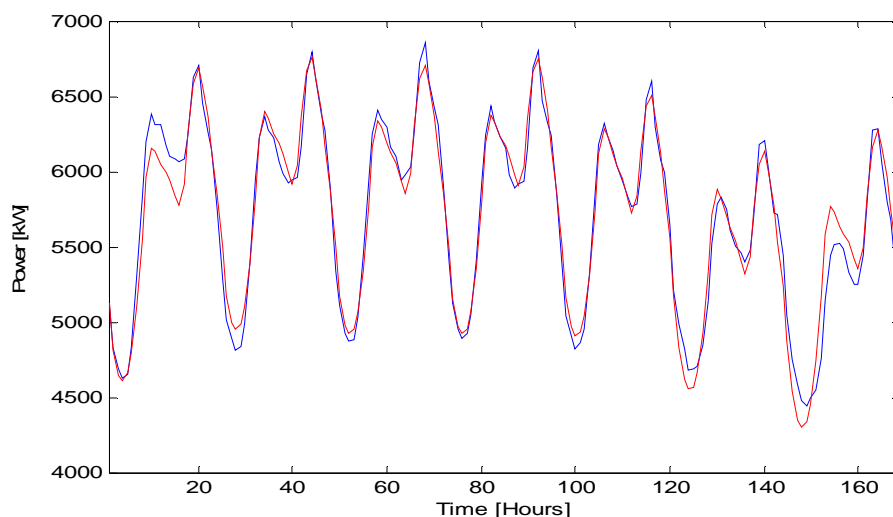
Грешка по максимално отклонение =4.10 %

Средно квадратична грешка =1.75 %

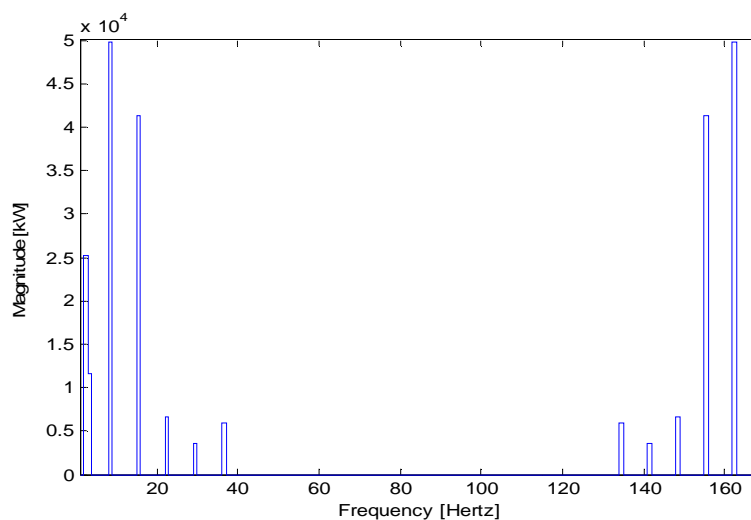
Осреднен седмичен товаров график за периода 6-26.02.2012 г.



Фиг. 6. Осреднен товаров график с включени всички хармоници



Фиг. 7. Осреднен седмичен товаров график – реализация и прогнозиране



Фиг.8. Осреднен седмичен товаров график с използване само на 1, 2, 3, 8, 15, 22, 29, 36, 132, 139, 146, 153, 160, 166, 167, 168 хармоници

Грешка по максимално отклонение =6.38 %

Средно квадратична грешка =2.15 %

3. Заключение

При планирането на режима вече трябва да се отчита разликата в електроконсумацията в страната в момента и в миналото десетилетие.

С все по-широкото навлизане в употреба на климатиците за отопление през зимата и охлаждане през лятото промени формата на товаровия график на активна мощност на е.е.с. Влиянието на този фактор е различно през денонощието и дните от седмицата. В резултат на това при прогнозирането на товаровия график вече е необходимо използването на по-голям брой хармоници, част от които са високочестотни.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Николов Д., „Оперативно и краткосрочно прогнозиране на товарния график на активната мощност на електроенергийната система и в нейните основни възли“, 2003 г.

[2] Nikolov D., M. Ivanova-Yankulova, Forecasting of active power load graphic by utilization of straight and reserve Fourier transformation and consideration of temperature impact, Proceedings of annotations of the 5th international conference “Control of power heating systems 2002”.

[3] Santos, P.J.a, Martins, A.G. b, Pires, A.J.a, Martins, J. F. a, Mendes, R. V. cSHORT-TERM LOAD FORECAST USING TREND INFORMATION.

Автори:

Инж. Тонка Стамова Шаренкова – задочен докторант в Електротехнически Факултет, Катедра: Електроенергетика, email: toni13s@gmail.com

Гл.ас. д-р Богдан Николов Гилев - главен асистент във Факултет по приложна математика и информатика, Катедра „Стохастика и оптимизиране“, email: b_gilev@tu-sofia.bg

КОРЕКЦИЯ НА КОЕФИЦИЕНТИТЕ НА ЕКРАНИРАНЕ НА ЗАЗЕМИТЕЛИ ЧРЕЗ СОФТУЕРНИ СИМУЛАЦИИ

Георги Цонев Велев

Резюме: В доклада са представени и реализирани два подхода за числено определяне на коефициентите на екраниране(използване) на заземителите, нужни при изчисляване на съпротивлението на комплексни заземителни уредби, състоящи се от заземителна мрежа и групов вертикален заземител. В резултат на направените софтуерни симулации и изчисления са коригирани използваните досега в българската практика стойности на коефициентите на екраниране на заземителите с цел повишаване на точността при изчисляване на еквивалентното съпротивление на заземяване.

Ключови думи: заземителна уредба, съпротивление на заземяване, коефициент на екраниране

CORRECTION OF GROUNDING ELECTRODES' SHIELDING COEFFICIENTS BY MEANS OF SOFTWARE SIMULATIONS

Georgi Tsonev Velev, TU - Gabrovo

Abstract: The current paper presents and applies two different approaches for numerical estimation of grounding electrodes' shielding coefficients, which are necessary for the calculation of the grounding resistance of complex grounding installations, which consists of a grounding grid and a vertical grounding rod. Corrections of the so used in the Bulgarian practice grounding electrodes' shielding coefficients has been made, as a result of performed software simulations and the respective computations in order to increase the accuracy in calculation of the equivalent grounding resistance.

Key words: grounding installation, grounding resistance, shielding coefficients

1. Въведение

В [1] и [2] е еднозначно доказано, че приложението на методиката изложена в българската научна литература [3, 4] за определяне на еквивалентното съпротивление на комплексни заземителни уредби, състоящи се от заземителна мрежа и групов вертикален заземител води до сериозни неточности в следствие на некоректни таблични данни за коефициентите на екраниране(използване) на вертикалните и хоризонталните заземители.

В този доклад са преизчислени стойностите на коефициентите на екраниране на заземителите, като за основа на математическия модел за тяхното определяне е използвана именно методиката описана в [3] и [4].

В случая, за решаване на получените уравнения относно неизвестните величини (коефициентите на използване) не са използвани данни от експериментални измервания, а стойностите на съпротивлението на заземяване

са изчислени чрез многовариантни софтуерни симулации на заземителни уредби чрез специализирания програмен продукт за оразмеряване на ЗУ – CYME SYMGrd.

2. Подходи за определяне на коефициентите на екраниране

Разработени и приложени са два подхода за определяне на коефициентите на екраниране(използване) на единичните заземители, участващи в състава на заземителните уредби при изчисляване на тяхното съпротивление на заземяване.

I ПОДХОД – *отчитане на взаимното екраниране между отделните вертикални заземители и екранирането на заземителната мрежа от груповия вертикален заземител.*

Според [3] и [4], еквивалентното съпротивление на заземителна уредба, състояща се от хоризонтална заземителна мрежа и групов вертикален заземител при еднородна почва се определя чрез:

$$(1) \quad R_{3V} = \frac{R_{X\Sigma} \cdot R_{B\Sigma}}{R_{X\Sigma} + R_{B\Sigma}} = \frac{R_X \cdot R_B}{n \cdot h_B \cdot R_X + h_X \cdot R_B}, \Omega, \text{ където:}$$

R_X - еквивалентно съпротивление на заземяване на хоризонталната заземител на мрежа, Ω ;

R_B - съпротивление на заземяване на единичен вертикален заземител от ЗУ, Ω ;

$R_{B\Sigma}$ - действително съпротивление на заземяване на груповия вертикален заземител, Ω ;

$R_{X\Sigma}$ - действително съпротивление на заземяване на заземителната мрежа, Ω ;

R_{3V} - действително съпротивление на цялата заземителна уредба, Ω .

Съпротивлението на заземяване на единичен вертикален заземител се определя съгласно [3, 4] по:

$$(2) \quad R_B = \frac{r_{II}}{2 \cdot p \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4T+l}{4T-l} \right), \Omega, \text{ където:}$$

l – дължина на вертикалните заземители, m;

d – диаметър на вертикалния електрод, m;

t – дълбочина на полагане на заземителната уредба под нивото на почвата, m;

$T = t + \frac{l}{2}$ – разстояние от повърхността на почвата до средата на вертикалния електрод, m;

r_{II} – специфично съпротивление на почвата, $\Omega \cdot m$.

Екранирането между отделните вертикални електроди в състава на груповия вертикален заземител се отчита чрез коефициента на екраниране(използване) на вертикалните заземители h_B , който при известни стойности на n , R_B и $R_{B\Sigma}$ може лесно да се изчисли :

$$(3) \quad h_B = \frac{R_B}{n \cdot R_{B\Sigma}}$$

Еквивалентното съпротивление на хоризонталната заземителна мрежа, изградена от поцинковани стоманени шини от лентов тип, без отчитане на взаимното влияние помежду им се определя съгласно:

$$(4) \quad R_x = \frac{r_{II}}{2 \cdot p \cdot L} \cdot \ln \frac{2L^2}{b \cdot t}, \Omega,$$

където:

L – сумарна дължина на всички хоризонтални шини в състава на заземителната мрежа, m;

b – широчина на поцинкованите стоманени ленти, m;

Екранирането на хоризонталните заземители на заземителната мрежа от вертикалния групов заземител се отчита чрез коефициента на екраниране(използване) на хоризонталните заземители h_x :

Тъй, като при този подход, не се отчита взаимното влияние между заземителната мрежа и груповия вертикален заземител, единственият начин за изчисляване на h_x е чрез заместване на получената стойност за h_B и R_x в (1) при известна стойност на действителното еквивалентно съпротивление на заземителната уредба $R_{3У}$ и решаване на уравнението относно h_x .

Следователно:

$$(5) \quad h_x = \frac{R_B \cdot R_x - n \cdot R_x \cdot h_B \cdot R_{3У}}{R_{3У} \cdot R_B}$$

II ПОДХОД – *отчитане на взаимното екраниране между отделните вертикални заземители, екранирането между отделните хоризонтални шини в състава на заземителната мрежа и взаимното екраниране между заземителната мрежа и груповия вертикален заземител.*

В Българската научна литература [3, 4] при изчисляване на еквивалентното съпротивление и проектирането на ЗУ не се отчита взаимното влияние между заземителната мрежа и груповия вертикален заземител. Вместо това, коефициентите на екраниране на хоризонталните заземители в ЗУ отчитат екранирането на хоризонталните заземителни шини от вертикалните заземители в следствие на факта, че плътността на тока през вертикалните заземители е в пъти по-голяма при протичане на аварийни токове с голяма интензивност през ЗУ (I подход).

Вторият подход за определяне на коефициентите на екраниране се базира на допускането, че всяка заземителна уредба може да се представи като, комбинация от две независими съставни части - заземителна мрежа и групов вертикален заземител, които също си влияят взаимно. Следователно, освен дефинираните в [3] и [4] коефициенти на екраниране на вертикалните и хоризонталните заземители, се въвежда и трети коефициент на екраниране h_{BX} - между заземителната мрежа и груповия вертикален заземител.

При неизменни означения на всички гореспоменати величини:

§ Съпротивлението на единичен вертикален заземител се определя съгласно (2);

§ Коефициентът на екраниране на вертикалните заземители има същите стойности както във предходния случай и се изчислява съгласно (3);

§ Еквивалентното съпротивление на хоризонталната заземителна мрежа, без отчитане на взаимното влияние между отделните шини се определя от (4);

§ Взаимното влияние между хоризонталните шини, участващи в състава на заземителната мрежа се отчита, чрез коефициента им на екраниране h_{XIII} , който може да се определи директно ако е известно действителното съпротивление на заземителната мрежа от хоризонтални шини $R_{X\Sigma}$:

$$(6) \quad h_{XIII} = \frac{R_X}{R_{X\Sigma}} \Rightarrow R_{X\Sigma} = \frac{R_X}{h_{XIII}}$$

§ Действителното съпротивление на заземяване на цялата заземителна уредба, отчитайки взаимното влияние между груповия вертикален заземител и хоризонталната заземителна мрежа тогава ще бъде:

$$(7) \quad R_{3V} = \frac{1}{h_{BX}} \cdot \frac{R_{X\Sigma} \cdot R_{B\Sigma}}{R_{X\Sigma} + R_{B\Sigma}}, \Omega$$

От (3) следва:

$$(8) \quad R_{B\Sigma} = \frac{R_B}{n \cdot h_B}$$

§ Замествайки (6) и (8) в (7) се получава:

$$(9) \quad R_{3V} = \frac{\frac{R_B}{n \cdot h_B} \cdot \frac{R_X}{h_{XIII}}}{\left(\frac{R_B}{n \cdot h_B} + \frac{R_X}{h_{XIII}} \right) \cdot h_{BX}} = \frac{R_B \cdot R_X}{(R_B \cdot h_{XIII} + n \cdot h_B \cdot R_X) \cdot h_{BX}}, \Omega$$

§ Решавайки (9) относно h_{BX} , при известна стойност на действителното съпротивление на заземяване R_{3V} , за коефициента на екраниране между заземителната мрежа и груповия вертикален заземител се получава следната крайна зависимост:

$$(10) \quad h_{BX} = \frac{R_B \cdot R_X}{(R_B \cdot h_{XIII} + n \cdot h_B \cdot R_X) \cdot R_{3V}}$$

2. Изчисляване на коефициентите на екраниране на заземители чрез вариантни софтуерни симулации

За изчисляване на стойностите на коефициентите на екраниране за възможно най-широк диапазон от случаи разглеждани в практиката е направено многовариантно моделиране на заземителни уредби с различна големина на клетката a (разстояние между вертикалните заземители) и различен брой вертикални електроди чрез програмния продукт SYME SYMGrd, който работи на основата на метода на крайните елементи (МКЕ).

Предимство на продукта SYME SYMGrd в случая е възможността, да изчислява независимо стойностите на действителното съпротивление на заземяване само за груповия вертикален заземител $R_{B\Sigma}$, респективно само за

заземителната мрежа $R_{x\Sigma}$, както и действителното еквивалентно съпротивление на цялата заземителна уредба $R_{3У}$. По този начин за всяка разгледана конфигурация на ЗУ са изчислени съответните стойности на коефициентите на екраниране на заземителите.

За нуждите на изчисленията и софтуерните симулации са разгледани заземителни уредби със следните геометрични размери, форма и параметри:

- § изследвани са заземителни контури със квадратна форма;
- § специфичното обемно съпротивление на почвата е прието $r_{II} = 400 \Omega.m$;
- § $d = 60 \text{ mm}$ - диаметър на вертикалните заземители;
- § вертикалните заземители са с фиксирана дължина $l = 10 \text{ m}$;
- § дълбочината на полагане на заземителната уредба под нивото на повърхността е стандартна и фиксирана по стойност $t = 0,6 \text{ m}$;
- § варианти при различна големината на клетката на заземителната мрежа, респективно разстояние между вертикалните заземители в контура $a = 10, 20, 30, 40, 50 \text{ m}$;
- § варианти с различен брой вертикални заземители и клетки на заземителната мрежа;
- § варианти с контурно разполагане на вертикалните заземители и разположение на вертикалните заземители по периферията на ЗУ;

В резултат на извършените симулации и пост-обработка на данните са получени следните резултати в табличен вид за коефициентите на използване на заземителите:

- Ø Коефициентите на използване на вертикалните h_B и хоризонталните заземители h_x за различни конфигурации на ЗУ, изчислени съгласно **подход 1** са приложени в табл. 1(при разполагане на вертикалните заземители в контур) и в табл. 2 (при разполагане на вертикалните заземители само по периферията на заземителната мрежа);

Таблица 1

Коефициенти на използване за вертикални и хоризонтални заземители при разположение на вертикалните електроди в контур при дължина на електродите l , m, брой n и разстояние между тях a , m													
бр. n	бр. кл етк и	Съотношение a/l					Съотношение a/l						
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		
9	4	h_b	0,881	0,849	0,802	0,726	0,584	h_x	0,474	0,424	0,356	0,260	0,120
16	9		0,815	0,775	0,716	0,626	0,470		0,376	0,331	0,270	0,188	0,077
25	16		0,759	0,712	0,647	0,550	0,393		0,307	0,266	0,213	0,143	0,054
49	36		0,666	0,613	0,541	0,441	0,294		0,219	0,186	0,145	0,092	0,031
81	64		0,593	0,537	0,465	0,369	0,235		0,166	0,138	0,105	0,065	0,021
121	100		0,535	0,479	0,408	0,317	0,195		0,131	0,108	0,081	0,049	0,015
169	144		0,487	0,432	0,363	0,277	0,167		0,106	0,087	0,064	0,039	0,011
225	196		0,447	0,393	0,328	0,247	0,146		0,089	0,072	0,053	0,032	0,009
289	256		0,414	0,361	0,298	0,222	0,130		0,075	0,060	0,044	0,026	0,007
361	324		0,385	0,334	0,274	0,202	0,117		0,064	0,052	0,038	0,022	0,006
441	400		0,360	0,310	0,253	0,186	0,106		0,056	0,045	0,033	0,019	0,005
529	484		0,338	0,290	0,235	0,172	0,097		0,049	0,039	0,029	0,016	0,004
625	576		0,319	0,273	0,220	0,160	0,089		0,044	0,035	0,025	0,014	0,004

Таблица 2

Коефициенти на използване за вертикални и хоризонтални заземители при разположение на вертикалните електроди по периферията на заземителната мрежа при дължина на електродите l , m, брой n и разстояние между тях a , m													
бр. n	бр. клетки		Съотношение a/l						Съотношение a/l				
			5	4	3	2	1		5	4	3	2	1
8	4	h_B	0,907	0,879	0,837	0,768	0,631	h_X	0,504	0,457	0,392	0,296	0,144
12	9		0,882	0,851	0,803	0,725	0,575		0,435	0,394	0,337	0,253	0,123
16	16		0,867	0,834	0,782	0,699	0,543		0,385	0,348	0,299	0,226	0,110
24	36		0,846	0,809	0,754	0,666	0,504		0,295	0,286	0,247	0,188	0,095
32	64		0,832	0,793	0,736	0,645	0,480		0,269	0,245	0,212	0,163	0,085
40	100		0,823	0,781	0,722	0,630	0,417		0,235	0,215	0,187	0,145	0,099
48	144		0,814	0,772	0,712	0,618	0,443		0,210	0,192	0,167	0,130	0,075
56	196		0,808	0,765	0,704	0,608	0,440		0,190	0,173	0,152	0,119	0,067
64	256		0,802	0,758	0,697	0,600	0,417		0,173	0,159	0,139	0,110	0,069
72	324		0,797	0,754	0,690	0,593	0,424		0,160	0,147	0,129	0,102	0,060
80	400		0,793	0,748	0,685	0,587	0,418		0,148	0,136	0,120	0,095	0,057
88	484		0,789	0,743	0,680	0,582	0,413		0,138	0,127	0,112	0,090	0,054
96	576		0,785	0,739	0,676	0,577	0,355		0,130	0,119	0,105	0,085	0,065

Ø Коефициентите на използване на вертикалните заземители h_B съгласно *подход 2* при разположение на вертикалните заземители в контур и само по периферията на заземителната мрежа са приложени в табл. 3.

Таблица 3

Коефициенти на използване на вертикалните заземители при разположение на вертикалните заземители в контур и само по периферията на ЗУ при дължина на електродите l , m, брой n и разстояние между тях a , m													
бр. n	бр. клетк и	Разположение в контур					Разположение по периферията						
		Съотношение a/l					Съотношение a/l						
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		
9(80)	4	h_B	0,881	0,849	0,802	0,726	0,584	h_B	0,907	0,879	0,837	0,768	0,631
16(12)	9		0,815	0,775	0,716	0,626	0,470		0,882	0,851	0,803	0,725	0,575
25(16)	16		0,759	0,712	0,647	0,550	0,393		0,867	0,834	0,782	0,699	0,543
49(24)	36		0,666	0,613	0,541	0,441	0,294		0,846	0,809	0,754	0,666	0,504
81(32)	64		0,593	0,537	0,465	0,369	0,235		0,832	0,793	0,736	0,645	0,480
121(40)	100		0,535	0,479	0,408	0,317	0,195		0,823	0,781	0,722	0,630	0,417
169(48)	144		0,487	0,432	0,363	0,277	0,167		0,814	0,772	0,712	0,618	0,443
225(56)	196		0,447	0,393	0,328	0,247	0,146		0,808	0,765	0,704	0,608	0,440
289(64)	256		0,414	0,361	0,298	0,222	0,130		0,802	0,758	0,697	0,600	0,417
361(72)	324		0,385	0,334	0,274	0,202	0,117		0,797	0,754	0,690	0,593	0,424
441(80)	400		0,360	0,310	0,253	0,186	0,106		0,793	0,748	0,685	0,587	0,418
529(88)	484		0,338	0,290	0,235	0,172	0,097		0,789	0,743	0,680	0,582	0,413
625(96)	576		0,319	0,273	0,220	0,160	0,089		0,785	0,739	0,676	0,577	0,355

Ø Коефициентите на използване на хоризонталните шини h_{XIII} съгласно **подход 2** при разположение на вертикалните заземители в контур и само по периферията на заземителната мрежа са приложени в табл. 4.

Таблица 4

Коефициенти на използване на хоризонталните заземители при разположение на вертикалните заземители в контур и само по периферията на ЗУ при дължина на електродите l , m, брой n и разстояние между тях a , m													
бр. n	бр. клетк и	Разположение в контур					Разположение по периферията						
		Съотношение a/l					Съотношение a/l						
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		
9(80)	4	h_{XIII}	0,779	0,775	0,769	0,762	0,749	h_{XIII}	0,779	0,775	0,769	0,762	0,749
16(12)	9		0,664	0,659	0,653	0,644	0,628		0,664	0,659	0,653	0,644	0,628
25(16)	16		0,581	0,575	0,569	0,560	0,544		0,581	0,575	0,569	0,560	0,544
49(24)	36		0,467	0,462	0,456	0,447	0,432		0,467	0,462	0,456	0,447	0,432
81(32)	64		0,236	0,261	0,293	0,375	0,361		0,236	0,261	0,293	0,375	0,361
121(40)	100		0,340	0,336	0,331	0,324	0,311		0,340	0,336	0,331	0,324	0,311
169(48)	144		0,301	0,297	0,293	0,286	0,274		0,301	0,297	0,293	0,286	0,274
225(56)	196		0,270	0,267	0,262	0,256	0,246		0,270	0,267	0,262	0,256	0,246
289(64)	256		0,245	0,243	0,238	0,233	0,223		0,245	0,243	0,238	0,233	0,223
361(72)	324		0,225	0,222	0,219	0,214	0,205		0,225	0,222	0,219	0,214	0,205
441(80)	400		0,208	0,205	0,203	0,198	0,189		0,208	0,205	0,203	0,198	0,189
529(88)	484		0,194	0,192	0,188	0,184	0,176		0,194	0,192	0,188	0,184	0,176
625(96)	576		0,182	0,179	0,176	0,172	0,165		0,182	0,179	0,176	0,172	0,165

Ø Коефициентите на екраниране между заземителната мрежа и груповия вертикален заземител $h_{xш}$ съгласно **подход 2** при разположение на вертикалните заземители в контур и по периферията на заземителната мрежа са приложени в табл. 5.

Таблица 5

Коефициенти на използване между вертикалните заземители и хоризонталната заземителна мрежа при разположение на вертикалните заземители в контур и само по периферията на ЗУ при дължина на електродите l , m, брой n и разстояние между тях a , m													
бр. n	бр. клетк и	Разположение в контур					Разположение по периферията						
		Съотношение a/l					Съотношение a/l						
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		
9(8)	4	h_{BX}	0,733	0,708	0,679	0,649	0,635	h_{BX}	0,752	0,727	0,697	0,664	0,641
16(12)	9		0,708	0,681	0,652	0,620	0,605		0,752	0,725	0,692	0,654	0,620
25(16)	16		0,338	0,662	0,632	0,602	0,586		0,754	0,726	0,692	0,650	0,610
49(24)	36		0,659	0,634	0,607	0,579	0,565		0,726	0,730	0,695	0,649	0,599
81(32)	64		0,852	0,764	0,680	0,565	0,552		0,764	0,735	0,698	0,651	0,596
121(40)	100		0,623	0,601	0,578	0,555	0,544		0,766	0,739	0,702	0,654	0,614
169(48)	144		0,611	0,590	0,569	0,549	0,538		0,771	0,741	0,704	0,656	0,598
225(56)	196		0,602	0,582	0,562	0,544	0,534		0,773	0,743	0,708	0,659	0,596
289(64)	256		0,593	0,574	0,557	0,539	0,531		0,773	0,745	0,710	0,661	0,606
361(72)	324		0,585	0,570	0,552	0,536	0,528		0,777	0,748	0,711	0,663	0,599
441(80)	400		0,580	0,564	0,549	0,533	0,526		0,776	0,748	0,713	0,663	0,600
529(88)	484		0,573	0,559	0,546	0,531	0,524		0,778	0,748	0,713	0,666	0,601
625(96)	576		0,570	0,556	0,541	0,528	0,523		0,780	0,750	0,716	0,667	0,632

3. Приложение на преизчислените коефициенти на екраниране

Пример: Да се изчисли съпротивлението на заземяване на заземителна уредба с квадратна форма на заземителния контур при контурно разположение на вертикалните заземители и разположение на вертикалните заземители по периферията на заземителната мрежа ако са известни следните входни данни:

- § специфичното обемно съпротивление на почвата $r_{II} = 100 \Omega \cdot m$;
- § $d = 50 \text{ mm}$ - диаметър на вертикалните заземители;
- § Дължина на вертикалните заземители $l = 5 \text{ m}$;
- § дълбочината на полагане на заземителната уредба под нивото на повърхността $t = 0,6 \text{ m}$;
- § големината на клетката на заземителната мрежа, респективно разстояние между вертикалните заземители в контура $a = 15 \text{ m}$;
- § широчината на хоризонталната заземителна шина е $b = 60 \text{ mm}$;
- § брой вертикални заземители на ред $n_X = 14$ бр.

Решение:

I случай – разположение на вертикалните заземители в контур.

Съпротивлението на заземяване изчислено със програмния продукт СУМЕ SYMGrd е $R_{3V-CYME} = 0,23 \Omega$

- ü Определя се общия брой на вертикалните заземители - $n = n_x^2 = 14^2 = 196$ бр.;
- ü Поределя се броя на клетките на заземителната мрежа - $n_M = (n_x - 1)^2 = 13^2 = 169$ бр
- ü Изчислява се съпротивлението на единичен вертикален заземител от контура:

$$R_B = \frac{r_{II}}{2 \cdot p \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4T+l}{4T-l} \right) = \frac{100}{2 \cdot p \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{50} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \left(0,6 + \frac{5}{2} \right) + 5}{4 \left(0,6 + \frac{5}{2} \right) - 5} \right) = 18,226 \Omega$$

- ü Определя се общата дължина на хоризонталните лентови заземители:

$$L = (n_x - 1) \cdot a \cdot n_x \cdot 2 = (14 - 1) \cdot 15 \cdot 14 \cdot 2 = 5460 \text{ m}$$

- ü Изчислява се еквивалентното съпротивление на хоризонталната заземителна

$$\text{мрежа: } R_X = \frac{r_{II}}{2 \cdot p \cdot L} \cdot \ln \frac{2L^2}{b \cdot t} = \frac{100}{2 \cdot p \cdot 5460} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5460^2}{0,06 \cdot 0,6} = 0,0619 \Omega$$

- ü Определят се коефициентите на екраниране и съпротивлението на заземяване:

Съгласно **Подход 1**, за $\frac{a}{l} = \frac{15}{5} = 3$ и $n = 196$ бр вертикални електроди от табл. 1

се определят коефициентите на екраниране на хоризонталните и вертикалните заземители. Правим линейна интерполация за по-голяма точност:

$$h_B = 0,363 + \frac{(196 - 169)}{(225 - 169)} \cdot (0,328 - 0,363) = 0,346$$

$$h_X = 0,064 + \frac{(169 - 144)}{(196 - 144)} \cdot (0,053 - 0,064) = 0,0587$$

Съпротивлението на заземяване тогава е:

$$R_{3V} = \frac{R_X \cdot R_B}{n \cdot h_B \cdot R_X + h_X \cdot R_B} = \frac{0,0619 \cdot 18,226}{196 \cdot 0,346 \cdot 0,0619 + 0,0587 \cdot 18,226} = 0,214 \Omega$$

Допуснатата относителна грешка е:

$$e_{\%} = \frac{R_{3V} - R_{3V-CYME}}{R_{3V-CYME}} \cdot 100 = \frac{0,214 - 0,23}{0,23} \cdot 100 = -6,96 \%$$

Съгласно **Подход 2**, за $\frac{a}{l} = \frac{15}{5} = 3$ и $n = 196$ бр вертикални електроди от табл. 3,

табл. 4 и табл. 5 се определят съответните коефициентите на екраниране:

$$h_B = 0,346; h_{XIII} = 0,293 + \frac{(169 - 144)}{(196 - 144)} \cdot (0,262 - 0,293) = 0,278$$

$$h_{BX} = 0,569 + \frac{(169 - 144)}{(196 - 144)} \cdot (0,562 - 0,569) = 0,566$$

Съпротивлението на заземяване тогава е:

$$R_{3Y} = \frac{R_B \cdot R_X}{(R_B \cdot h_{XIII} + n \cdot h_B \cdot R_X) \cdot h_{BX}} = \frac{18,226 \cdot 0,0619}{(18,226 \cdot 0,278 + 196 \cdot 0,346 \cdot 0,0619) \cdot 0,566} = 0,215 \Omega$$

Допуснатата относителна грешка е:

$$e_{\%} = \frac{R_{3Y} - R_{3Y-CYME}}{R_{3Y-CYME}} \cdot 100 = \frac{0,215 - 0,23}{0,23} \cdot 100 = -6,52 \%$$

2 случай – разположение на вертикалните заземители по периферията на заземителната мрежа – изчисленията са аналогични, като и в този случай допуснатата грешка се колебае в границите от $-6,4 \%$ до $+6,6\%$.

3. Заключение

- Ø Преизчислените в този доклад стойности на коефициентите на екраниране на единични заземители в състава на ЗУ имат нужната точност за приложение в практиката и при проектирането;
- Ø И двата използвани подхода за тяхното изчисляване дават достоверни резултати с една и съща точност;
- Ø Грешката, която е възможно да се получи при използване на публикуваните в доклада коефициенти на екраниране на заземителите е отрицателна, и в никой от случаите не надвишава -10% ;
- Ø Ако в (5) и (9) се въведе допълнителен коефициент на сигурност със стойност $k_c = 1,1 (+10\%)$, то точността при проектирането на заземителни уредби с произволна конфигурация, използвайки получените в този доклад стойности на коефициентите на екраниране се увеличава многократно.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Велев, Г., Анализ на методики за изчисляване съпротивлението на конвенционални заземителни уредби при еднородна почва. Част I – Актуално състояние на проблема, сп. „Енергетика”, НЕК ЕАД, брой 4, Юли - Август 2012, ISSN 0324-1521;
- [2] Велев, Г., Анализ на методики за изчисляване съпротивлението на конвенционални заземителни уредби при еднородна почва. Част II – компютърен анализ и верификация, сп. „Енергетика”, НЕК ЕАД, брой 5, Септември – Октомври 2012, ISSN 0324-1521;
- [3] Венков, Г. И., П. К. Петров, Техническа безопасност, Габрово Принт, 2002;
- [4] Анев Г., М. Ментешев, Електробезопасност в минните предприятия (Основи на електрообезопасването), София, 1987;
- [5] IEEE Std 80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE-SA Standards Board, January 2000;
- [6] НАРЕДБА № 3/9.06.2004 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии;

[7] Наредба № 4/22. 12. 2010 г. - “Мълниезащита на сгради, външни съоръжения и открити пространства”;

Автор:

д-р инж. Георги Цонев Велев – главен асистент в катедра „Основи на електротехниката и електроенергетиката” (ОЕЕ) при ТУ - Габрово, e-mail: g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

СТРУКТУРА НА ЗАГУБИТЕ НА МОЩНОСТ И ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ В РАЗЛИЧНИТЕ ЗВЕНА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА МРЕЖА

Гергана Кърджева

Резюме: Производството и преноса на електрическа енергия от производителя до потребителя е съпроводено с определено количество загуби на електроенергия.

Те определят основният и най-важен качествен показател на електрическата енергия – нейната себестойност и пазарна цена. Това налага да се обърне сериозно внимание на количеството на загубите и причините свързани с тях.

Поради различното естество на загубите в електрическите мрежи е необходимо да се определи една пълна структура, според различните фактори които ги предизвикват.

Ключови думи: загуби на мощност, загуби на електроенергия

STRUCTURE OF ELECTRICAL POWER AND ENERGY LOSSES IN THE SEPARATE UNITS OF THE ELECTRICAL NETWORK

Gergana Kardzheva

Abstract: The production and distribution of electrical energy from the producer to the user is accompanied by a certain amount of electrical energy losses.

These losses define the most important quality indicator of the electrical energy – its cost price. This regards to pay serious attention to the quantity of the losses and the reasons related to them.

Due to the different nature of losses it is necessary to define their complete structure, according to the reasons causing them.

Key words: electrical power losses, electrical energy losses

1. Въведение

Процесите на производство, пренос и разпределение на електроенергия са неизменно придружени от нейната загуба. В условия на устойчиви енергийни ресурси и повишена загуба на електрическа енергия е особено важно надеждното определяне на загубите на електроенергия, с цел решаване на проблемите, свързани с планирането и оптималното разпределение на електроенергията. Анализът на чужд опит показва, че растежът на загубите в мрежите е обективен процес за страните с икономики в криза. То е показател за недостатъчни инвестиции в мрежовата инфраструктура и системата за отчитане на електроенергията, както и липсата на пълна автоматизирана информационна системи за събиране и предаване на данни за доставената и потребена електроенергия. В страни, където тези фактори съществуват, загубата на мощност в мрежите може да е висока и да продължава да расте. Динамиката на

загубите в националните електрически мрежи през последните 10-12 години показва, че в този смисъл България не е изключение.

2. Същинска част

2.1. Структура на загубите в електрическите мрежи

За да се решат проблемите, свързани с регулирането, планирането и оптималното управление на загубите, е необходимо да се извърши дефиниране на различните видове загуби в съответствие с различни критерии: естеството на загубите, напрежението на групи от елементи, производствените единици и др.

На практика в експлоатацията се използват действителните загуби [1,2], с които се отразява разликата между електрическата енергия, получена от мрежата и тази консумирана от потребителите. В съответствие с тези критерии действителните загуби могат да бъдат разделени на четири вида:

1) **Техническите загуби** на електроенергия, които са в резултат на физични процеси, свързани с преноса на електрическа енергия в електрическите мрежи и трансформацията ѝ в топлина. Енергията от техническите загуби е безвъзвратно загубена, тъй като тя отива за повишаване на температурата на околната среда;

2) Потреблението на електроенергия за **собствени нужди на електрическите централи и подстанциите** е необходимо за функциониране на производственото оборудване на подстанции и обслужващ персонал. То се отчита от уредите, инсталирани за тази цел;

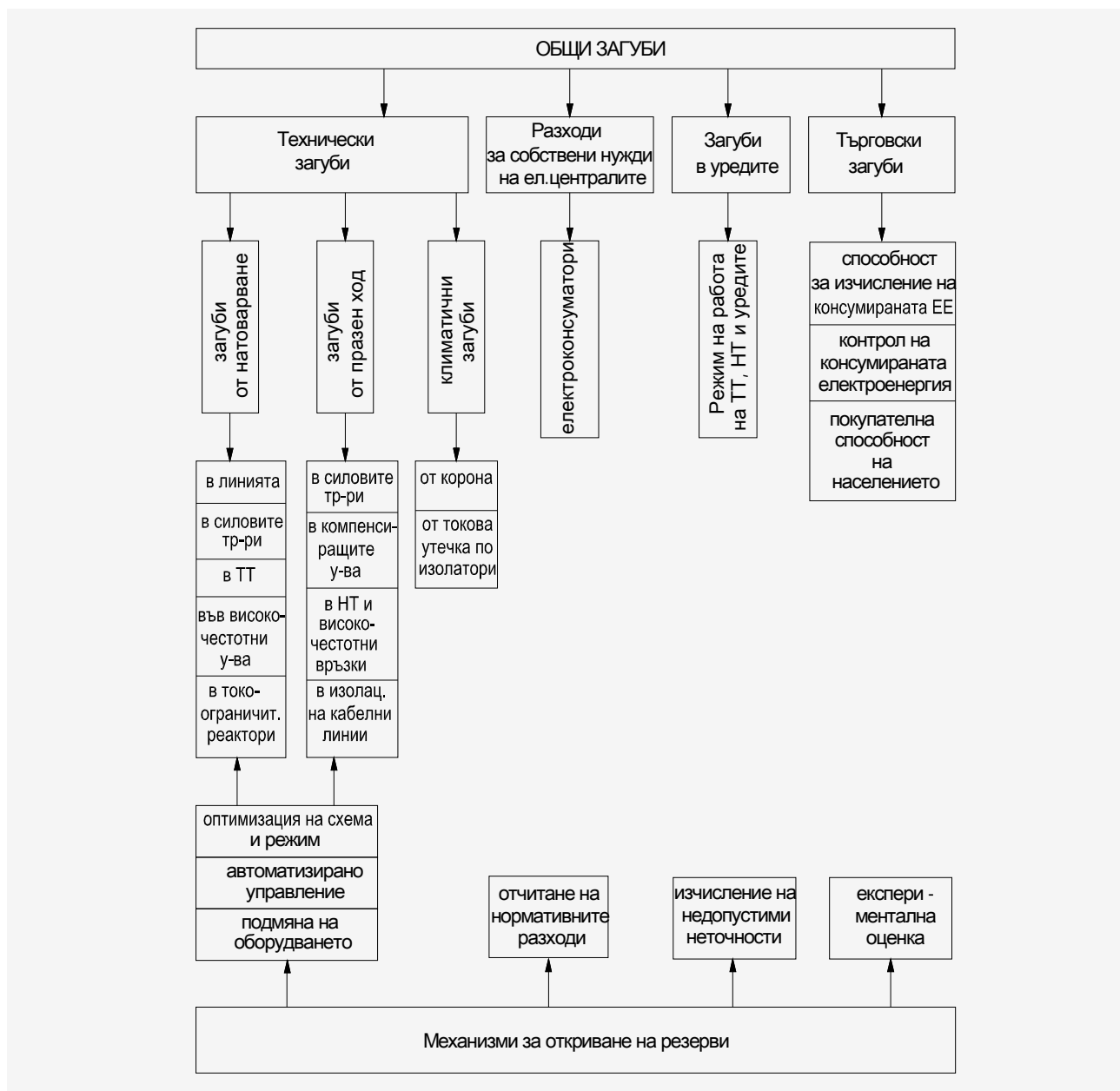
3) Енергийните загуби, дължащи се на грешки от измервателните уреди (**загуби в уредите**), се изчисляват въз основа на данните за метрологичните характеристики и условията на работа на използваните прибори;

4) **Търговските загуби** се дължат на кражба на електроенергия, несъответствие между отчетената от уредите и действително заплатената електроенергия от битовите потребители, както и други причини свързани с контрола на потреблението на електроенергия. Търговските загуби нямат математическо описание и, следователно, не могат да бъдат изчислявани отделно. Тяхната стойност се определя като разлика между действително отчетеното и размера на загубите от първите три компонента;

Първите три компонента на структурата на загубите обуславят технологичните нужди на процеса на пренос в електрическите мрежи и уредите за отчитане на постъпващата и отпуснатата електроенергия. Сумата на тези компоненти се описва добре с термина „технологични загуби”. Четвъртият компонент (търговски загуби) представлява въздействието на "човешкия фактор" и включва всички негови проявления: кражба на електроенергия чрез промяна на използваните уреди за отчет, неплащане или частично плащане на използваното електричество и др.

Най-големият дял от търговските загуби е концентриран в мрежите 0,4 kV.

Всеки компонент има своя детайлна структура, както е отразено на фигура 1.



Фиг. 1 – Структура на загубите и механизми за намаляването им

2.2 Информационна обезпеченост на разпределителните мрежи.

Загубите в мрежите ВН в момента са най – точно определени, тъй като на изхода на всички централи и на входа на системните и други по – големи подстанции са поставени точни електронни електромери, които се отчитат на всеки час, но при необходимост могат да се отчитат на по – малки интервали.

При мрежите средно напрежение е характерно, че те съдържат много разклонения и запазват голям брой трансформаторни постове. При тях не се контролират редовно режимните параметри, поради което не могат да се съставят достоверни товарни графици. Необходимо е да се събере информация за паспортните данни на трансформаторите, да се уточни схемата на мрежата и магистралния електропровод, да се събере информация за потребителите и максималните мощности. На изхода от шините СрН има измерване, но електромерите монтирани на страна ниско напрежение при голяма част от

трансформаторите са индукционни и те практически не мерят в режим на минимално натоварване. Това затруднява в значителна степен точното определяне на загубите. В момента в разпределителните мрежи най-надеждна и достъпна за практическа употреба е информацията за топологията на параметрите на мрежата, както и изменението на режимните параметри на главните участъци на разпределителните линии. За отделните трансформаторни подстанции може да е известна потребената електроенергия. Въпреки това, данните за месечното потребление и товарната диаграма на по-голямата част от трансформаторните подстанции обикновено не са известни или са известни с малка точност.

Практически на страна НН липсва информационна обезпеченост. Там се налага да се правят опитни измервания за определен период от време на определен брой трансформатори 20/0,4 kV и съответно отчитане на електромерите на комунално – битовите потребители за този период от време.

2.3 Методи за изчисляване на загубите в електрическите мрежи

При анализ на загубите на електроенергия могат да се направят три вида изчисления, съответстващи на оперативен и дългосрочен план:

1) **Ретроспективното изчисление** се състои в определяне на структурата на загубите на електроенергия по групи елементи от електрическите мрежи; оценки на търговските загуби, установяване на елементи с високи загуби и разработване на мерки за намаляването им.

2) **Оперативното изчисление** се извършва чрез: мониторинг на текущата стойност на електроенергията и нейното изменение във времето; коригиране на оперативните режими и схемата на електрическата мрежа с цел минимизация на загубата на електроенергия, съставяне на баланса на мощностите на електроенергийната система и структурните ѝ подразделения с цел контролиране границите на мощностите, както и определяне на очакваната загуба на електроенергия в края на месец, тримесечие, година.

3) **Перспективното изчисление** е определяне на очакваната загуба на електроенергия за следващ период, оценка на очакваната ефективност на планираните мерки за намаляване на загубите, сравняване на вариантите за реконструкция на електрическите мрежи.

Изчисляване на загубите във всяка част на мрежата с активно съпротивление R_i може да се определи с израза:

$$\Delta A_i = 3R_i \int_0^T I_i^2(t) dt,$$

В съответствие с технологичните характеристики и информационна обезпеченост на процесите на пренос и разпределение, методите се делят на пет вида, които се препоръчват за изчисляване на загубите въз основа на различни **детерминистични подходи** (табл. 1 - Методи за изчисляване на загубите на електроенергия) [3, 4].

Табл. 1

Област на приложение	Изчислителен метод
мрежи 220 - 400 kV	оперативни изчисления
мрежи 20 — 110 kV с еднопосочен пренос	метод на денонощния график
мрежи 6 — 110 kV с двупосочен пренос	метод на средното натоварване
мрежи 6 — 110 kV при отсъствие на точни данни за потребената електроенергия	метод на максималните загуби на мощност - τ метод
мрежи 0,4 kV	по обобщени параметри

Методът за оперативно изчисление се прилага обикновено при мрежи 220 – 400 kV, където имаме пълно измерване и там изчисленията стават с класическите методи по формулата:

$$(1.2) \quad \Delta A_i = 3 \sum_{i=1}^n R_{ij} \sum_{j=1}^m I_{ij}^2 \Delta t_{ij}$$

Това е числено интегриране на квадрата на товаровия график, разделен на малки интервали от време, където:

n – брой на елементите в мрежата;

Δt_{ij} — интервал от време, през който текущото натоварване на първи елемент от мрежата със съпротивление R остава относително постоянно;

m - брой интервали от време;

Токът на елементите от мрежата се определя въз основа на диспечерски данни от измервания.

Методът на денонощния товар график се състои в изчисление на загубите на електроенергия по формулата:

$$(1.3) \quad \Delta A_{nj} = k_{\phi}^2 \cdot \Delta A_{ден} \cdot D_{еквj},$$

където:

$\Delta A_{ден}$ – загуби на електроенергия при осреднен денонощен график за един месец;

k_{ϕ}^2 - коефициент на формата на денонощния график;

$D_{еквj}$ – еквивалентен брой дни в j -ия интервал.

Методът на средното натоварване се състои в изчисляване на загубите на електроенергия по формулата:

$$(1.4) \quad \Delta A_{nj} = k_k \cdot \Delta P_{ср} \cdot T_j \cdot k_{\phi}^2,$$

където

ΔP_{cp} - загуби на мощност в мрежата при средно за изчислителния интервал натоварване във възлите;

k_{ϕ}^2 - коефициент на формата на графика при сумарно натоварване за изчислителния период;

k_{κ} - коефициент, отчитащ различната конфигурация на графика на активна и реактивна мощност в отделните клонове на мрежата;

T_j – продължителност на j – тия изчислителен интервал, ч.

Методът на максималните загуби на мощност (τ - метод) се състои в изчисляване на загубите на електроенергия по формулата:

$$(1.5) \quad \Delta A_{nj} = k_{\kappa} \cdot \Delta P_{max} \cdot T_j \cdot \tau,$$

където

ΔP_{max} - загуба на мощност в режим на най-голямо натоварване на мрежата;

τ – фиктивно време, при което ако в мрежата имаме максимални загуби на мощност, ще се загуби същото количество електроенергия, както и при реалния товаров график в течение на цяла година.

$$(1.6) \quad \Delta A = \frac{P_{max}^2 \cdot R}{U_{max}^2 \cdot \cos^2 j} \cdot t = \int_0^t \frac{P^2 \cdot R}{U^2 \cdot \cos^2 j} \cdot dt,$$

Точността на методът, използващ времето на максимална загуба зависи от точността на измерване на натоварването. В съответствие с тези условия се определя и методиката за изчисление на τ [2, 3].

Метод за оценка на загубите по обобщена информация за схемите и натоварването на мрежата на базата на загубите в зависимост от общата дължина и брой линии, общата мощност и оборудване, получени на базата на техническите параметри на линиите и оборудването или статистически данни.

В допълнение към одобрените методологии за изчисляване на загубите, има редица **вероятностни подходи**, сред които са методите, базирани на регресия, факторен анализ и анализ на Фурие, които са тествани в практическата работа и добре установени [5]. Вероятностните модели не дават добра представа за взаимосвързаните фактори, но позволяват с достатъчна точност да се изчислят загубите в мрежата, с помощта на най-малко информация и труд за събиране и обработка на данни.

Стохастическите методи за изчисляване на загубата на електроенергия използват информация за малък обем данни, което се постига въз основа на една представителна извадка от информация за товарите в участъците на мрежата и тяхното екстраполиране в бъдещ период от време. Точността и надеждността на решението трябва да бъде достатъчна за използване за практически цели.

В основата на тези методи е концепцията на обобщените характеристики на фактори на мрежата като цяло. Стойността на фактора, характеризиращ мрежата, се изчислява, като средно статистически параметър [6, 7].

За да се прогнозира загубата на мощност в мрежите при тяхното проектиране, експлоатация и оптимизация в диапазона от фактори е подходящо използването на математически модели, представляващи формално описание на загубата на мощност (енергия) на масив от фактори x , имащи смисъла на обобщени характеристики:

$$(1.7) \quad \Delta P = f(x)$$

3. Заключение

1. Разработени са много методи за определяне на загубите на електроенергия. Значително приложение за изчисляване на загубите за отворени мрежи с напрежение 6 - 110 kV намират методите на максимална загуба на мощност, както и очакваното средно денонощно натоварване, но при всички липсва част от информацията или тя е недостатъчно прецизна за определяне на загубите. Необходимо е да се определят режимните параметри, методите на работа и др.

2. Въз основа на информацията и анализа на режима, чрез детерминистичен подход за мрежи СрН, най-приемлив е методът на изчисление на загубата на електроенергия на базата на данни за потоците на електроенергия в главните участъци на мрежата и оценка на средноквадратичната стойност на тока в тях[7].

3. От вероятностните подходи за изчисляването на загубите се прилага един от по-ефективните методи, на базата на идеите и принципите на факторния анализ, но винаги е обезпечен с необходимата информация. Това налага разработването на метод за определяне на загубите, който използва сравнително кратка и лесно достъпна информация и дава сравнително адекватна оценка. В тази връзка, трябва да се адаптира вероятностен метод и да се използва за моделиране на електрически изчислените загуби на енергия в разпределителните мрежи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воротницкий В. Э. Норматив потерь электроэнергии в электрических сетях / В. Э. Воротницкий // Новости электротехники. 2003. №6. С. 50-53.
- [2] Николов Д. Электрически мрежи и системи/ Димитър Николов// Изд. Техника 1994.
- [3] Железко Ю. С. Способы расчёта числа часов максимальных потерь электроэнергии / Ю. С. Железко // Изв. ВУЗов. Энергетика. — 1990. №3.
- [4] Многоуровневый интегрированный комплекс программ РТП для расчётов и нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях Мосэнерго/ В.

В. Кузьмин, А. А. Чугунов, В. Э. Воротницкий и др.// Электрические станции. 2004. № 6. С. 35-45.

- [5] Потребич А. А. Методы расчёта потерь энергии в питающих электрических сетях энергосистем// Электричество. 1995. № 8. С. 8-12.
- [6] Свешников В. И. Анализ потерь мощности и энергии в электрических сетях / В. И. Свешников, Н. Р. Тепликов, В. А. Титов // Электрические станции. - 1975. №9. С. 28 - 30.
- [7] Воротницкий В. Э. Многофакторная корреляционная модель для анализа и прогнозирования потерь энергии в распределительных сетях / В. Э. Воротницкий // Электричество. - 1972. №5. С. 8 - 11.

Автор:

маг. инж. Гергана Русева Кърджева, редовен докторант в катедра „Електроенергетика” (ЕЕ), email: gergana_ru@abv.bg

ИКОНОМИЧЕСКИ ОЦЕНКИ НА ИНВЕСТИЦИОННИЯ ПРОЦЕС, СВЪРЗАН С УВЕЛИЧАВАНЕ ПРЕНОСНАТА СПОСОБНОСТ НА ВЪЗДУШНИТЕ ЕЛЕКТРОПРОВОДИ

Валентин Колев

Резюме: Присъединяването на възобновяеми източници на ел.енергия използвайки вятъра и слънцето като първична енергия поставя нови предизвикателства към електрическите мрежи на преносните и разпределителните предприятия. Едно от тях е необходимостта от пренасяне на потоци с голяма мощност с относително малка часова използваемост в годишен разрез (под 2000 часа), а това определя и ниска часова използваемост на ново изградените ел. мрежи. Това налага прилагането на технико-икономически подход при вземането на решение за увеличаване на преносната способност на електропреносните и разпределителните линии. В последните години именно поради тези причини бяха разработени различни варианти на високо температурни ниско провесни неизолирани проводници. В доклада се прави технико-икономическа оценка на възможностите за използване на различни конструкции високотемпературни проводници в зависимост от режима на работа на електропреносните линии.

ECONOMIC ESTIMATES OF INVESTMENT PROCESS RELATED TO INCREASE CAPACITY OF OVER HEAD TRANSMISSION LINE

Valentin Kolev

Abstract: The accession of renewable electricity using wind and solar energy as primary poses new challenges to the electricity networks of transmission and distribution companies. One of them is the necessity of transmitting large power flows with relatively small annual hourly utilization in section (below 2000 hours), and this determines the low hour usage of new built power grids. This requires the application of techno-economic approach in deciding to increase the transmission capacity of transmission and distribution lines. In recent years, precisely because of these reasons have developed different versions of high-temperature low-sag conductors. The report examines the various constructions of such conductors as a comparison between them. The report makes the feasibility of possible use of various high temperature low sag conductors depending on the mode of operation of power transmission lines.

1. Въведение

През последните 20 години почти липсва развитие и увеличаване преносната способност на мрежа високо напрежение, като основните причини са свързани с тежките процедури при закупуване и промяна предназначението на

необходимите терени за нови електропроводи или за промяна в сервитута на съществуващите линии.

Електроенергийният системен оператор (ЕСО) публикува ежегодно общодостъпна информация в своя сайт, относно застрашените от претоварване електропроводи, списък с необходимите рехабилитации на електропроводи и нови линии. В тези списъци фигурират електропроводи, които са застрашени от претоварване за кратки периоди от време – при аварийни изключвания на съоръжения, аварийни ремонти, противоаварийно управление или извънредни за страната ситуации (например нарушаване в газоснабдяването).

В тази връзка е необходимо да се направи технико-икономическо изследване на възможностите за прилагане на високопроводими проводници с малък провес при тези застрашени от претоварване за кратки периоди от време линии, като не трябва да се допуска трайно повишаване на общите загуби в електропреносната мрежа.

2. Същинска част

В [1, 2] са описани различните типове високотемпературни проводници. В Таблица 1. са показани най-типичните видове проводници, които се използват за пренасяне на ел.енергия в преносните линии за високо напрежение.

Таблица 1.

Тип	Производител	Марка	$I_{ном.}$, о.е.	Цена, о.е.
Конвенционален	-	ACSR	1,0	1,0
Стоманени	Southwire	ACSS	1,8÷2,0	1,2(HS steel core) 1,5(HS285 UHS core)
ГАП	J-Power	GTACSR	1,6÷2,0	2,0÷3,0
ИНВАР	LS Cable	ACIR	1,5÷2,0	4,0÷5,0
Композитни	ЗМ	ACCR	2,0÷3,0	9,0÷10,0
	СТС	ACCC	2,0	4,0÷4,5

Необходимостта от увеличаване на преносната способност на дадена ВЕЛ се появява при следните обстоятелства:

- При естествено увеличаване на товарите, който в по-предишни изследвания се приемаше, че на всеки 20 год. товарът се увеличава 2 пъти или средно годишно 3,5 %. При съвременните условия ако приемем, че товарът се увеличава средно с 2% двойното увеличение се получава след 35 г.
- При претоварване на дадена ВЕЛ при изпълнение на критерия (N-1), т.е. кратковременно претоварване (в рамките на няколко дена) с малка честота (един път в годината или по-малко).
- При наличие на ВЕИ (ВяЕЦ и ФтЕЦ). Часовата използваемост на инсталираната мощност на тези генериращи е между 1200 и 2000 часа. Изследвайки плътността на вероятностното разпределение на часовата работна мощност на ВяЕЦ (трайността на максималната генерирана мощност) се оказва, че същата е не повече от 250 часа, а за ФтЕЦ е около 10

часа. Това също определя не висока използваемост на максималната преносна възможност на евентуално рехабилитираната ВЕЛ.

- Следователно, при избор на решение за увеличаване на преносната способност основен показател е **плътност на вероятностното разпределение на часовата пренасяна мощност по ВЕЛ**.

Проучването на бюджетните цени на предлаганите високотемпературни проводници показва, че най-реалистични изглеждат данните показани в [3,4] и основа за по-нататъшните изследвания ще бъдат вариантите, показани в Таблица 2.

Таблица 2.

Вид на реконструкцията	Тип проводник	Цена, лв.	R, Ω при I=500 A
Съществуващо положение	АС 185	-	0,1936
Подмяна на стълбовете и сечението на проводника	АСО 400	210 000	0,08954
Подмяна на АС 185 с GAP/ACSS	GZTACSR/A CSS	70 000	0,186824
Подмяна на АС 185 с ИНВАР	GZTACIR	160 000	0,19118
Подмяна на АС 185 с КОМПОЗИТЕН	АССС	100 000	0,14872

Икономически оценки на инвестиционния процес, свързан с увеличаване преносната способност на въздушните електропроводи

- **Статични методи;**
 - метод на срока на откупуването;
 - метод на средногодишната норма на възвръщаемост на капитала;
 - метод на броя на оборотите на инвестиция капитал;
 - метод на относителната печалба;
 - метод на минималната себестойност;
 - метод на сравняването на аналитичната печалба;
- **Динамични методи;**
 - метод на нетната настояща стойност (цел – максимално нарастване на капитала на инвеститора);
 - метод на вътрешната норма на възвръщаемост на капитала (цел – максимална възвръщаемост на инвестиция капитал);
 - метод на модифицираната вътрешна норма на възвръщаемост на капитала (цел - максимална възвръщаемост на инвестиция капитал);
 - метод на коефициента “приходи - разходи” (цел – максимална възвръщаемост от влагания капитал);

- метод на индекса на рентабилността (цел - максимална възвръщаемост на инвестирания капитал);
- анюитетен метод (цел – максимални текущи доходи от инвестицията);
- метод на срока на сконтираното откупуване (цел – минимален срок на възстановяване на вложения капитал);
- метод на нетната бъдеща стойност (цел – максимално нарастване на капитала на инвеститора);

Описание на модела

Тъй като статичните методи не отчитат движението на капитала през периода на използване на инвестицията, в настоящето изследване ще използваме динамичен метод и по-специално методът на нетната настояща стойност (NPV). При този метод най-ясно се оценява нарастването на капитала и показва функционално срокът на откупуване (PBP).

Целта му е да се изчисли какъв ще бъде финансовият ефект от инвестицията, измерен в пари към началния момент на инвестиционния период. За целта се постъпва по следния начин:

- предвидените в проекта инвестиционни разходи се разпределят по години на тяхното извършване. Началният момент се приема за 0;
- изчисляват се настоящите стойности на инвестиционните разходи, което означава, че инвестиционните разходи се привеждат в пари към момента 0;
- изчислява се сумата на настоящите стойности на инвестиционни разходи;
- изчисляват се нетните парични потоци (НПП) по проекта за всяка една от годините на получаване на ефект от инвестицията. Иначе казано това е икономията на средства от намалени технологични разходи (технически загуби при преноса на ел.енергия) в зависимост от изследвания вариант № 1 до №4 (т.2.6.7.) спрямо базисния вариант (съществуващо положение). В нетните парични потоци като паричен поток се представя и икономията на средства от намалени емисии на CO₂ (въглероден диоксид);
- изчисляват се настоящите стойности на НПП, т.е. НПП се привеждат към началото на инвестиционния период – момент 0;
- изчислява се сумата на настоящите стойности на НПП;
- нетната настояща стойност (ННС) на проекта е разликата между настоящите стойности на НПП и сумата на настоящите стойности на инвестиционните разходи. Ако ННС е положителна, оценката ще бъде, че инвестицията е финансово изгодна. Ако ННС е 0, тогава ще се направи извод, че инвестицията е на минималната граница на ефективността, а ако ННС е отрицателна, тогава проектът ще се оцени като неизгоден;

$$(NPV) = \sum_{n=1}^N F_n \frac{1}{(1+r)^n} - \sum_{n=0}^N K_n \frac{1}{(1+r)^n}$$

където:

$\sum_{n=1}^N F_n \frac{1}{(1+r)^n}$ е сума на настоящите стойности на НПП;

$\sum_{n=0}^N K_n \frac{1}{(1+r)^n}$ е сума на настоящите стойности на инвестиционните

разходи.

В горните формули са приети следните означения:

F_n е очаквания нетен паричен поток, в резултат на инвестицията на година n ; N – брой на годините в инвестиционния ериод; K_n - очаквани инвестиционни разходи за осъществяване на инвестицията за година n ; r – норма на скотиране, която играе роля на минимална граница за нормата на възвръщаемост на капитала, при която проектът се оценява като финансово изгоден.

Приема се, че вноските по обслужване на кредита за изпълнение на инвестицията са изчислени по анюитетен принцип (т.е. равни месечни и годишни вноски с променливи главница и лихви).

$C_n = K_n \cdot q^n \cdot (q - 1) / (q^n - 1)$, където $q = 1 + p/100$, p – лихвен процент.

В Таблица 3 са направени изчисления за икономията на ел.енергия при различно токово натоварване ($0,9I_n$; $0,8I_n$ и т.н.), а в Таблица 4, 5 и 6 срокът на откупуване, нетната настояща стойност и отношението на нетната настояща стойност към стойността на инвестицията за различните варианти в зависимост от натоварването на електропровода.

Таблица 3

Вар.	Тип на проводника/Товар, о.е.	I_n	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
1	АСО 400, ΔE [MWh] спрямо АС 185	680	551	435	333	245	170
2	GZTACSR, ΔE [MWh] спрямо АС 185	70	57	45	34	25	18
3	ZTACIR, ΔE [MWh] спрямо АС 185	54	44	35	26	19	14
4	АССС, ΔE [MWh] спрямо АС 185	320	259	205	157	115	80

Таблица 4

Вар.	Тип на проводника/Товар, о.е.	I_n	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
1	АСО 400, РВР, год.	7,5	11,4	18,4	-	-	-
2	GZTACSR, РВР, год.	40,0	-	-	-	-	-
3	ZTACIR, РВР, год.	-	-	-	-	-	-
4	АССС, РВР, год.	7,6	11,6	18,8	-	-	-

Таблица 5

Вар.	Тип на проводника/Товар, о.е.	I_n	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
1	АСО 400, NPV, х.лв.	530	332	149	-	-	-
2	GZTACSR, NPV, х.лв.	-	-	-	-	-	-
3	ZTACIR, NPV, х.лв.	-	-	-	-	-	-
4	АССС, NPV, х.лв.	250	153	67	-	-	-

Таблица 6

Вар.	Тип на проводника/Товар, о.е.	I_n	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
1	АСО 400, NPV/ $K_{и}$ =	2,5	1,58	0,71	-	-	-
2	GZTACSR, NPV/ $K_{и}$ =	-	-	-	-	-	-
3	ZTACIR, NPV/ $K_{и}$ =	-	-	-	-	-	-
4	АССС, NPV/ $K_{и}$ =	2,5	1,53	0,67	-	-	-

Забележка: По-горните изчисления са направени за електропровод с дължина 1 км за една година при постоянна плътност на товара 8760 часа.

3. Изводи и заключения.

- Използваемостта на преносната способност на въздушните електропроводи има решаващо значение при избор на вариант за реконструкция;
- От направените изчисления се вижда, че при плътност на товара под $0,7 \cdot I_n$ (за АС $185 < 350A$), не се очаква възвръщаемост на инвестиция за нито един вариант. Когато е необходимо да се увеличава преносната способност на даден ЕП единствено по критерий N-1 препоръчително е да се търси варианта с най-малки капиталовложения (Вариант №2). Този вариант включва известните високо и средно температурни проводници с по-ниски цени;
- При условие, че се очаква плътността на товара да нараства до стойности над $0,7 \cdot I_n$ (за АС $185 > 350A$) и добро техническо състояние на фундаментите и стълбовете на съществуващия ЕП се препоръчва използването на композитни високо-температурни проводници;
- Когато техническото състояние на фундаментите и стълбовете е лошо и е необходимо да се увеличи преносната способност на съществуващия ЕП може да се приложи Вариант № 1 или след конкретни изчисления Вариант № 4;
- Въпреки доброто качество на високотемпературните проводници изпълнени с носеща сърцевина от **ИНВАР**, поради високата цена трудно може да се намери икономическа логика за тяхното приложение;
- Както се вижда от Таблицы 5.1.6. и 5.1.7. нетната настояща стойност при натоварвания $> 0,7 \cdot I_n$ (за АС $185 > 350A$) е най голяма при изпълнение на Вариант №1. Съотношението на NPV/ $K_{и}$ обаче е едно и също за Варианти

№ 1 и № 4, като в крайна сметка финансовия резултат след 30 г. от внедряване на инвестицията е 2 пъти;

- Не бива да се пропуска и факта, че максималната преносна способност при вариант № 1 е 825 А, а при варианти № 2 и № 4 е над 1000 А;
- В условията на световна криза считам, че е целесъобразно да се изпълняват варианти с по-ниски капитални вложения и със същото съотношение на резултата от инвестицията към самата инвестиция тъй като и тук важи принципа – *днес един лв. струва повече от един лв. утре.*

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Колев В., Високо температурни неизолирани проводници с нисък провес, III научна конференция ЕФ 2011
- [2] Колев В., Технико-икономическо изследване на възможностите за прилагане на проводници с повишена преносна способност в електропреносната мрежа на България", отчет по дог. № 12НО-819А001/02.07.2012 г.с НЕК.
- [3] prof.dr.ir. J.M. Wetzer, Upgrading overhead lines With high temperature, low sag conductors, TU/e Technische Universiteit Eindhoven, Januari 2007
- [4] Ravi Gorur, Project Leader, Characterization of Composite Cores for High Temperature-Low Sag (HTLS) Conductors, Power Systems Engineering Research Center, 2009

Автор:

Associate Professor, Eng. Valentin Kolev, PhD – Technical University - Sofia
8 Kliment Ohridsky Blvd.
e-mail: vkolev@tu-sofia.bg

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА УВЕЛИЧАВАНЕ НА ПРЕНОСНАТА СПОСОБНОСТ НА ЕЛЕКТРОПРОВОДЕН ПРЪСТЕН 110 kV „ВАРНА – ДОБРУДЖА”

Валентин Колев, Георги Миков

Резюме: Приоритетното присъединяване на ВЕИ към електрическата мрежа и преференциалните изкупни цени, водят до голям интерес за инвестиране във ВЕИ и най-вече във вятърни електрически централи (ВяЕЦ). Североизточна България попада в благоприятна за инвестиране във ВяЕЦ зона. В областите Добрич и Варна практически няма развита преносна електрическа мрежа, като съществуващата е оразмерена за захранване на малки електрически товари. Това означава, че за да се присъединяват значителни генериращи източници, е необходимо изграждане на нови електропроводи/подстанции и да бъде извършена рехабилитация на съществуващите съоръжения. Обект на изследването в доклада е преносната електрическа мрежа в североизточната част на РБългария, представляваща типичен затворен контур, т.нар. „Добрички пръстен”, а целта е да се проучат възможностите за рехабилитация на съществуващите въздушни електропроводи 110 kV с цел увеличаване на преносната способност.

STUDY ON OPTIONS FOR INCREASING THE TRANSMISSION CAPACITY RING OF TRANSMISSION LINES 110 KV "VARNA – DOBRUDJA”

Assoc Prof. Valentin Kolev, PhD, Mag. Eng. Georgi Mihov

Abstract: RES priority connection to the mains and preferential purchase prices lead to greater interest in investing in renewable energy, especially in wind power plants (WPP). Northeastern Bulgaria zone falls conducive to investment in WPP. In Dobrich and Varna developed virtually no transmission grid, and the present is designed for powering small electrical loads. This means that in order to join major generating sources, it is necessary to build new transmission lines / substations to be completed rehabilitation of existing OHL. Subject of study in the report is the transmission grid in the northeastern part of Bulgaria, representing a typical closed loop, ie. "Dobrich ring" and the aim is to explore the possibilities of rehabilitation of the existing 110 kV overhead power lines to increase transmission capacity.

1. Въведение

Приоритетното присъединяване на възобновяеми електроенергийни източници (ВЕИ) към електрическата мрежа и преференциалните изкупни цени, водят до голям интерес за инвестиране във ВЕИ и най-вече във вятърни електрически централи (ВяЕЦ). Ако схематично се раздели територията на

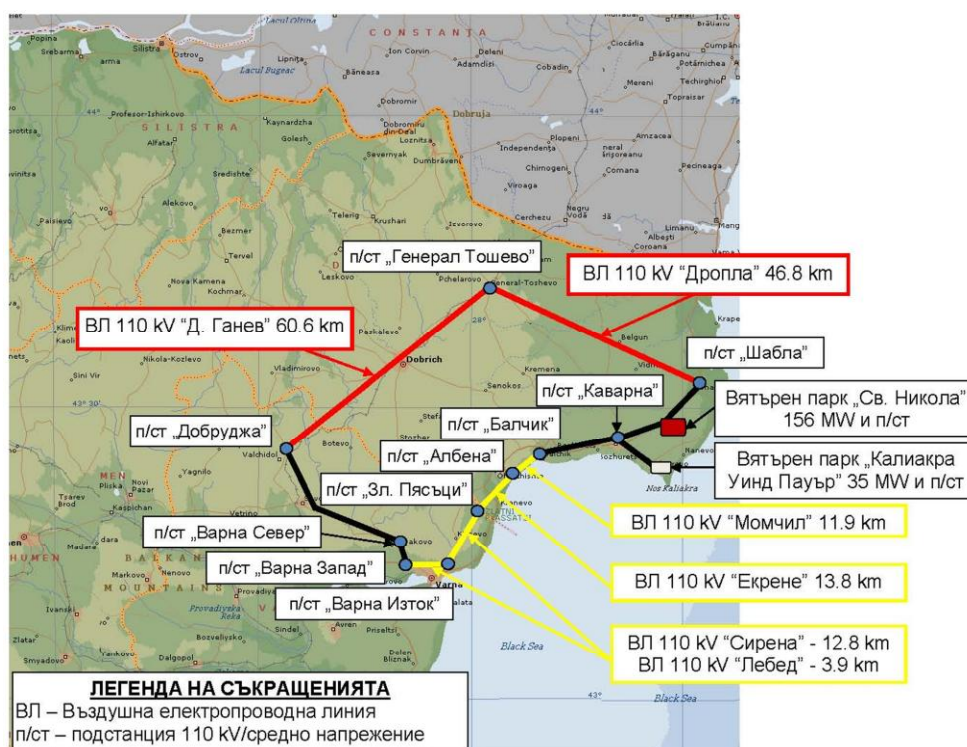
България на три зони, в зависимост от енергийния потенциал на вятъра, североизточна България попада в благоприятна за инвестиране във ВЯЕЦ зона. В областите Добрич и Варна практически няма развита преносна електрическа мрежа, като съществуващата е оразмерена за захранване на малки електрически товари. Това означава, че за да се присъединяват значителни генериращи източници, е необходимо изграждане на нови електропроводи/подстанции и да бъде извършена рехабилитация на съществуващите съоръжения.

2. Същинска част

Изследването обхваща част от преносната електрическа мрежа, представляваща типичен затворен контур, т. нар. „Добрички пръстен”, списъкът на ВЕЛ, за които е показан в Таблица 1, а на фиг.1 е показано географското разположение.

Табл. 1

Диспечерско име на електропровода	От п/ст до п/ст	Дължина, km	Тип проводник	Максимално допустим ток, А
ВЛ „Изгрев”	„Добруджа” - „Варна север”	28,6	АСО 400	825
ВЛ „Нектар”	„Варна север” - „Варна запад”	4,9	АСО 400	825
ВЛ „Лебед”	„Варна запад” - „Варна изток”	3,9	АС 185	510
ВЛ „Сирена”	„Варна изток” - „Златни пясъци”	19,6	АСУ 300	690
ВЛ „Екрене”	„Златни пясъци” – „Албена”	13,8	АС 185	510
ВЛ „Момчил”	„Албена” – „Балчик”	11,9	АС 185	510
ВЛ „Брястово”	„Балчик” – „Каварна”	15,7	АСО 400	825
ВЛ „Атлас”	„Каварна” – „Свети Никола”	11,8	АС 185	510
ВЛ „Раковски”	„Свети Никола” – „Шабла”	11,3	АС 185	510
ВЛ „Дропла”	„Шабла” – „Генерал Тошево”	46,8	АС 185	510
ВЛ „Д. Ганев”	„Генерал Тошево” – „Добруджа”	60,5	АС 185	510



Фиг.1

Сумарната мощност на въведените в експлоатация ВяЕЦ и тези които предстои да се изградят в този район, надхвърля няколкократно преносния капацитет на „Добричкия пръстен” и е над 320 МВт. Допълнителен проблем е присъединяването на ВЕИ в подстанциите 110kV/20kV към СрН със следните негативни ефекти:

- ВЕИ към средно напрежение отнемат от капацитета, определен за ВЕИ към високо напрежение;
- ВЕИ на средно напрежение претоварват трансформаторите и преносните електропроводи;
- ВЕИ на средно напрежение са трудно управляеми в реално време за диспечерите на ЕСО.

Системният оператор (ЕСО) е принуден да налага ограничения в производството от ВЕИ за да предпази електропреносната мрежа от претоварване. Ограниченията се засилват пропорционално на въвеждането на нови ВЕИ и предизвикват следните проблеми:

- Инвеститорите не могат да си изпълнят задълженията към банките-кредитори;
- Появяват се конфликти между собствениците на електрическите мрежи и производителите от ВЕИ;
- Въведени в експлоатация ВЕИ, не могат пълноценно да участват в изпълнение на директива 2009/28/ЕС ЕУ, в частта електроенергия.

Целта на изследването е да се разработи изчислителен математически модел на ЕЕС, за пресмятане на потокоразпределение, с който да се определи:

- на кои електропроводи от „Добричкия пръстен” трябва да се подменят съществуващите проводници така, че да се постигне максимална преносна способност, преди осъществяване на новите напречни връзки;
- поредността на електропроводите 110kV за подмяна на проводниците;
- каква е преносната способност на изследвания пръстен след всяка стъпка от подмяната;
- ще може ли да бъде изнесена мощността на всички въведени в експлоатация ВяЕЦ или отново ще има ограничения на производството;

ИЗЧИСЛИТЕЛЕН модел за потокоразпределение

- Съставен е математически изчислителен модел на ЕЕС на Р България за минимален режим и силен вятър в района;
- Моделирани са елементите на системата на нива 400, 220 и 110kV.
- Оценката на натоварването на електропроводите е извършена спрямо максималния трайно допустим ток за съответното сечение на електропровода;

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Изследване на възможностите за увеличаване на преносната способност на електропроводен пръстен 110 kv „Варна – Добруджа”

Associate Professor, Eng. Valentin Kolev, PhD – Technical University - Sofia
8 Kliment Ohridsky Blvd.

e-mail: vkolev@tu-sofia.bg

Mag.Eng. George Mikov – Electriccity Ltd., Manager – Sofia

e-mail: gmm450@abv.bg

ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ В ТОПЛОФИКАЦИОННИТЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЦЕНТРАЛИ

Иво Първанов, Андрей Крумов

Резюме: Топлофикационните електрически централи ТФЕЦ са с комбинирано производство на топлинна и електрическа енергия за нуждите на промишлеността и битовия сектор. Характерно за тях е, че претърпяват редица разширения, реконструкции, закриване на блокове и модернизации в зависимост от изменението на топлинните и електрическите товари в района. Освен това, парогенераторите в една централа могат да бъдат на различно гориво в зависимост от етапа на изграждането им. Това обуславя голямо разнообразие на агрегатите за собствени нужди (с.н.) и различни натоварвания на хранващите ги секции.

Енергийната ефективност в електрическите централи се изразява в намаляване на консумираната електрическа енергия за собствените нужди. В доклада се представят мероприятия за повишаване на енергийната ефективност в ТФЕЦ.

Ключови думи: енергийна ефективност, топлофикационни електрически централи, собствени нужди

ENERGY EFFICIENCY IN DISTRICT HEATING POWER PLANTS

Ivo Parvanov, Andrey Krumov

Abstract: District heating power plants generate thermal as well as electric power for both industrial and domestic purposes. Typical of them is that they undergo a number of extensions, reconstructions, closures of power units and modernizations according to the variation of the thermal and electric loads in the area. Furthermore, the steam generators in a single power plant could use a different fuel depending on the stage in the course of their construction. This determines a variety of units for their auxiliary as well as different electrical loads for their power supplying sections. The energy efficiency in the district heating power plants consists in the decrease of the consumed electric energy for their own needs. Measures how to raise the energy efficiency in the district heating power plants are presented in this report.

Key words: energy efficiency, district heating power plants, auxiliary

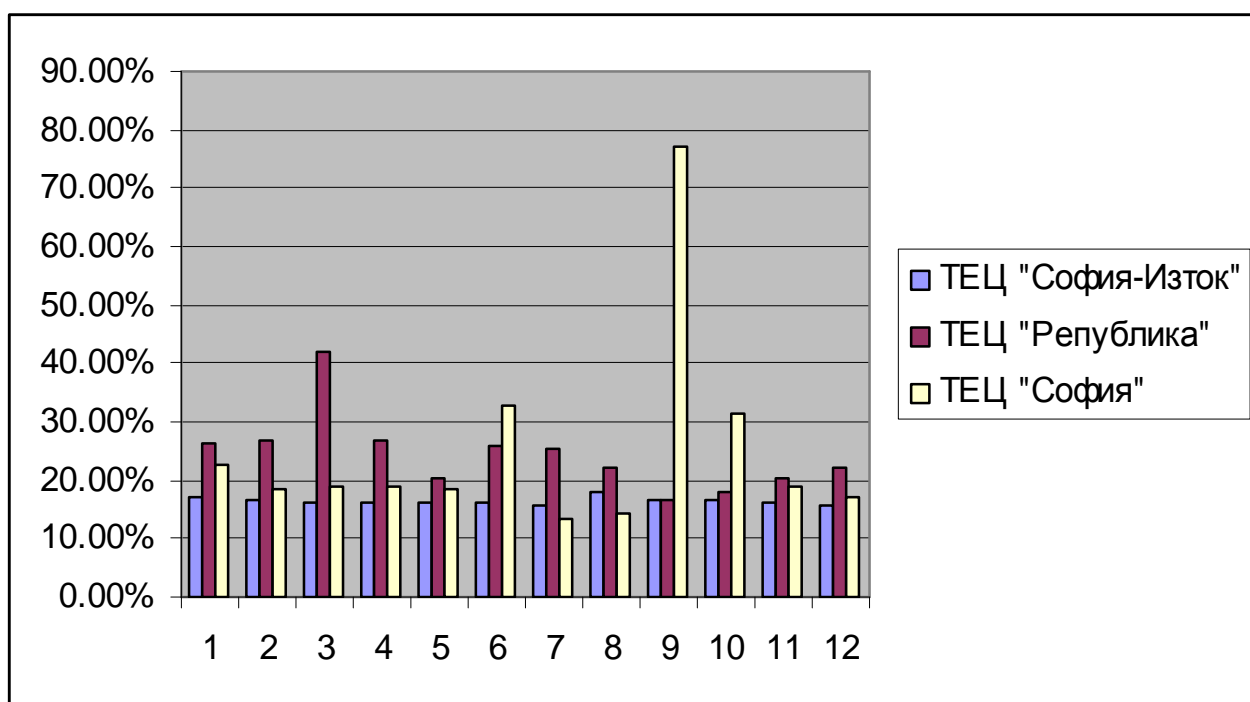
1. Анализ на съществуващото положение

Топлофикационните електрически централи произвеждат едновременно топлоенергия и електроенергия. Те се изграждат в промишлените зони на големите градове за да могат да са по-близо до консуматорите на топлоенергия и да хранват с ел.енергия промишлените консуматори от града. По време на експлоатацията на ТФЕЦ се променя броя на консуматорите на топло- и

електроенергия, променя се и горивната база. В средата на миналият век са се строили ТФЕЦ основно на въглища и малка част на мазут. С развитието на газопреносната мрежа на страната всички топлофикационни централи захранващи София с топлоенергия постепенно преминават на природен газ. Постепенно с развитието на газопреносната система това става и в други градове. ТФЕЦ, в които горивната база са местни въглища се монтират електрофилтри от ново поколение с цел опазването на околната среда, като първоначалното разпалване на котлите при тях вече се прави с природен газ, а не с мазут.

На фиг. 1 са показани резултатите от статистическия анализ на консумацията на електрическа енергия за собствени нужди (годишен товаров график) за три топлофикационни електрически централи – ТФЕЦ ”София-Изток”, ТФЕЦ”София” и ТФЕЦ ”Република” в гр.Перник [3]. Горивната база на софийските централи е природният газ, а централата в Перник е основно на въглища добивани от местният камено-въглен басейн. В последните години един от котлите с мощност 125 т/час пара беше преустроен изцяло на природен газ.

Консумираната енергия за с.н. е дадена в проценти от произведената енергия за съответната централа.



Фиг. 1

Както се вижда от графиките разходите за собствени нужди и на трите електроцентрали не се вписват изобщо в границите от 12-14% представяни в специализираните учебници и литература [1]. В ТФЕЦ на природен газ разходите за СН са по-малки поради липсата на въглеподавателни и въглеподготвителни цехове и съоръжения. За ТФЕЦ ”София”, обаче, се наблюдава един доста висок и силно неравномерен разход на ел.енергия за с.н.

през месеците юни и септември. Това най вероятно се дължи на годишни и аварийни ремонти. В ТФЕЦ "София изток" разходите за с.н. са 15-17%. Това е също висока стойност, но като се има предвид, че тя е най голямата от трите централи и захранва много голям район от гр.София с топлинна енергия, може да се приеме, че тези разходи са в рамките на нормалното.

2. Мероприятия за повишаване на енергийната ефективност в ТФЕЦ

Основното решение за повишаване на енергийната ефективност в ТФЕЦ е оптимизация на собствените нужди, която може да се предприеме в три направления – фиг.2. Целевата функция на оптимизацията е минимална консумация на електрическа енергия за собствени нужди – $E_{сн} = \min$ [2].



Фиг. 2

2.1. Оптимизация на схемата за захранване на собствените нужди

Повечето ТФЕЦ в България са строени през 50-те и 60-те години на миналият век. Производственият ресурс е изчерпан на много от техните блокове и затова те са бракувани и вече не работят. С това отпадат много агрегати за собствени нужди, но и много такива остават поради наличието на напречни връзки в технологичните и електрическите схеми (характерно за ТФЕЦ). По този начин секциите за с.н. на закритите блокове остават с по-малък брой консуматори. Тяхното захранване трябва да се осъществи от генераторите на работещите блокове по по-сложна схема, в която са включени повече на брой секции и обиколни вериги. Това понижава надеждността на цялата система за собствени нужди.

Решението на този проблем е със закриването на блок да се преработи схемата, така че оставащите консуматори да получават директно захранване от друга секция. Това може да се осъществи и чрез физическо преместване на даден агрегат, ако това е възможно.

2.2. Оптимизация на натоварването на трансформаторите за с.н.

Поради причините описани в т. 2.1 някои от трансформаторите остават да работят почти на празен ход с големи загуби, а други се претоварват в определени моменти. Това налага при промяна на конфигурацията на

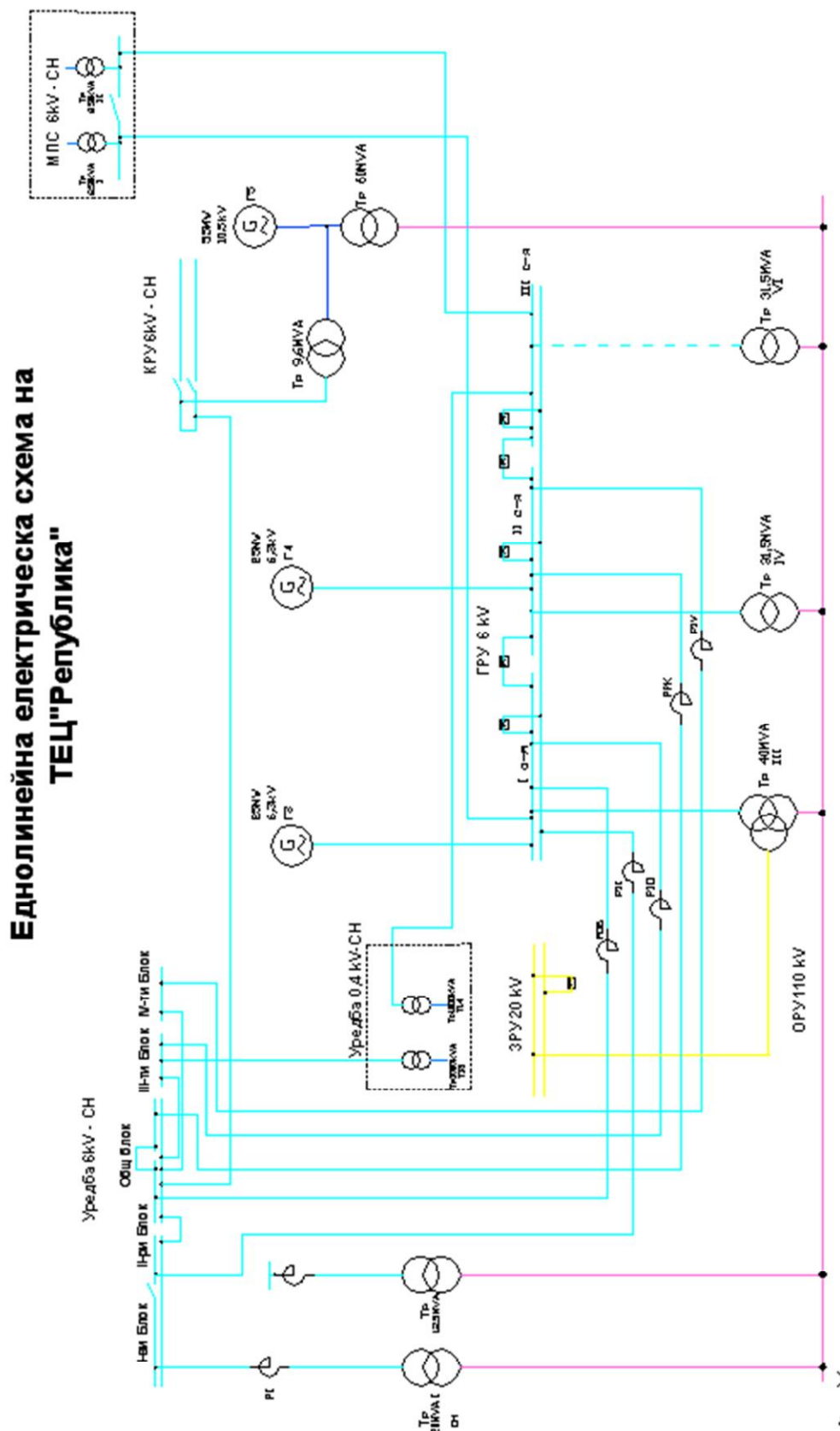
собствените нужди да се преразпределят товарите върху работещите секции с цел равномерно натоварване, както на работните, така и на резервните трансформатори за с.н.

Тази задача се решава чрез пълен мониторинг на реалните товари за летен и зимен сезон при нормален, аварийен и ремонтен режим на експлоатация. След това се вземат предвид всички бъдещи проекти за нови консуматори и нови генериращи мощности за три години напред и се разпределят за захранване от различните уредби за с.н. 6 kV и 0,4 kV. Преизчисляват се товарите на съответните консуматори и според новите потребности се подменят или разменят трансформаторите за с.н.

Проблемите описани в т. 2.1 и 2.2 се потвърждават от съществуващата схема за захранване на собствените нужди на ТФЕЦ "Република", показана на фиг.3. В Уредба 6 kV собствени нужди съществуват секции „I Блок”, „II Блок”, „III Блок”, „IV Блок”, и „Общ Блок”. Първи и втори блок на централата физически не съществуват. Основните съоръжения са бракувани и не работят. Секции „I Блок” и „II Блок” са под напрежение и към тях има свързани единични консуматори. Захранването за тях преминава през няколко секционни прекъсвача и е ненадеждно.

Преработването на схемата ще доведе до директно захранване на тези консуматори от секции за с.н. на работещите блокове. Ще се наложи удължаване на кабелните линии на багерни и уплътнителни помпи, но ще се освободи Уредба 6 kV от две секции с много електрически апарати и тоководищи части.

От ГРУ 6 kV има изводи за промишлени предприятия от района, които са абонати на ЧЕЗ-Разпределение, а уредбата в работен режим се захранва от трансформатор 40MVA-IV. Той захранва и ЗРУ 20kV където също всички абонати са на ЧЕЗ Разпределение. Заради това че електроенергията само преминава през двете уредби собственост на ТФЕЦ "Република", НЕК начислява различни добавъчни такси на Топлофикация Перник. За да се избегне този проблем временно генераторната разпределителна уредба ГРУ-6 kV е с разделно захранване на двете шинни системи. Шини "А" са захранени от Тр 40MVA-III и от тях се захранят всички абонати на ЧЕЗ-6kV. Шини "Б" се захранват от Уредба 6 kV с.н. и от тези шини се захранват всички консуматори за с.н. на ТЕЦ "Република". Постоянно работи само V-ти блок, а III-ти и IV-ти работят само през зимния период. Получава се така, че работен трансформатор за собствени нужди е само този, който е свързан директно към пети генератор. Той е с мощност 9,6MVA, 10/6.3 kV и осъществява захранването на собствените нужди на цялата централа. Недостигащата мощност (около 2 MVA) се осигурява от система 110 kV през резервния трансформатор Тр 20 MVA – I. Захранването преминава през няколко секции, което е предпоставка за намаляване на надеждността.



Фиг. 3

Основният консуматор на с.н. от ГРУ 6 kV е мрежова помпена станция, която отстои на 800 m. от тази уредба. С този начин на захранване физическото

трасе се удължава с над 400 m. и преминава през още три ел.уредби. Това доведе до няколко аварийни ситуации със спиране на електроцентралата и се оказа неефективен начин зареждане на проблемите.

Като решение за този случай ще бъде заменена на тр 9.6 MVA с такъв с по-голяма мощност, или монтирането на още един такъв трансформатор към изводите на V-ти генератор. Страна 6 kV да се свърже директно към ГРУ 6 kV.

Има още схемни решения с които може значително да се подобри енергийната ефективност в ТЕЦ "Република" съобразно новите реалности и по този начин да се намали себестойността на произвежданата електро- и топлоенергия.

2.3. Оптимизация на броя, вида и режимите на работа на консуматорите за собствените нужди

Оптимизацията на консуматорите за с.н. може да се извърши по няколко направления:

1) Модернизация на съоръженията

Консуматорите за с.н. в една централа са въртящи се (агрегати задвижвани от ел. двигатели) и статични (осветление и отопление).

Намаляване на консумираната енергия при статичните товари може да се получи чрез подмяна на съществуващите осветителни тела и нагревателни елементи със съвременни такива (енергоспестяващи, светодиодни, управляеми и др.) при спазване на изискванията за техническа безопасност.

След оценка на техническото състояние и остатъчен ресурс, трябва да се предприемат мерки за подмяна или рехабилитация на всеки един въртящ се агрегат. При това трябва да се прилагат нови принципи на работа на работните механизми (мелници, вентилатори, помпи, подаване на горивна смес), както и нови типове ел. двигателни задвижвания.

2) Оптимизация на броя на еднотипните агрегати

С промяната на генериращите мощности, която в ТФЕЦ е сравнително динамична, е необходимо да се актуализира и необходимия брой от еднотипни агрегати за с.н. При това трябва да се търси оптималното съотношение брой/единична мощност, което много зависи от вида и режимите на работа на съоръженията.

3) Оптимизация на режимите на работа на агрегатите за с.н.

Режимите на работа са в пряка зависимост от технологичните изисквания и от мощността на двигателите.

При някои агрегати има постоянно натоварване по време на работа, но съпроводено с чести спираня и пускания (мелници и багерни помпи). При други са характерни силно неравномерни режими – от почти празен ход до кратковременно претоварване. В такива случаи се прибегва до честотно регулиране, което вече масово се въвежда в електрическите централи, както за двигатели 0.4 kV, така и за двигатели 6 kV. Тогава консумацията на отделни агрегати може да се понижи с над 30%. В същото време ще се облекчат значително пусковите режими, ще се намалят аварийните ситуации и ще се увеличи експлоатационния срок на съоръженията.

3. Заключение

За широката аудитория понятието „енергийна ефективност” се отнася само до битови и промишлени сгради. В този си вид то е много разпространено и актуално.

Не по-малко важна е и енергийната ефективност в енергопроизводствените предприятия (електрическите централи). Намаляването на разхода на електрическа енергия за собствени нужди води до понижаване на себестойността на произведената електрическа енергия и значителни икономии.

При оптимизацията на собствените нужди като ограничителни условия трябва да се въведат изискванията за надеждност, безопасна експлоатация, ремонтни графици и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Етърски С., Електрическа част на електрически централи, Техника, София, 1994.
- [2] Кънева-Цочева М., Оптимизация на електроенергийната система, Авангард Прима, София, 2007.
- [3] Енергиен баланс на ТЕЦ „София”, ТЕЦ София-Изток и ТЕЦ „Република”.

Автори:

маг. инж. Иво Първанов – редовен докторант в катедра “Електроенергетика” (ЕЕ), email: gabob@abv.bg

доц. Д-р инж. Андрей Крумов, ръководител катедра ЕСЕО, e-mail: ankrumov@tu-sofia.bg

ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОРОНЕН РАЗРЯД

**Виктор Райчев, Данаил Дачев, Стефан Дечков, Елефтериос Пуртолидис,
Петър Наков**

Резюме: В доклада се описва проучване на електромагнитни и акустични емисии, причинени от разлива в близост до снопов проводник 400 kV. В резултат от проучването са определени оптималните конфигурации на снопови проводници и е предложен начин за намаляване на загубите от корона.

INVESTIGATION OF CORONA

**Victor Raychev, Danail Dachev, Stefan Dechkov, Elefterios Purtolidis,
Petar Nakov**

Abstract: The report describes the study of electromagnetic and acoustic emission caused by the discharge near bundle conductor 400 kV. As a result of the study are the optimal configurations bundle conductors and proposed ways to reduce losses from corona.

1. Въведение

“Corona is a form of partial discharge that occurs in gaseous media around conductors which are remote from solid or liquid insulation” - IEC 60270.

Коронен разряд или корона е разряд в газ около проводници (форма на частичен разряд), които са отдалечени от течна или твърда изолация. Короната се появява на повърхността на проводници на въздушните електропроводни линии. Основните ефекти от корона са загубите на мощност и електрическа енергия, електромагнитни вълни във високочестотния спектър, акустична емисия, светлинно излъчване, генериране на озон.

Началният интензитет на коронен разряд се определя за проводник с радиус r_0 и относителна плътност на въздуха δ и състоянието на повърхността на проводника m от емпиричната зависимост

$$(1) \quad E_n = 24,5m\delta \left[1 + \frac{0,65}{(\delta r_0)^{0,38}} \right]$$

При малки радиуси на проводниците ($r_0 < 1$ cm), може да се използва формулата на Ф. Пик

$$(2) \quad E_n = 30,3md \left[1 + \frac{0,3}{\sqrt{dr_0}} \right],$$

където E_n е началният интензитет на възникване на корона, kV_{max}/cm ;

r_0 – изчислителният радиус на проводника в сантиметри, cm ;

m – коефициентът на негладкост, който отчита неравномерността на полето по повърхността на многожичните проводници, поради която те

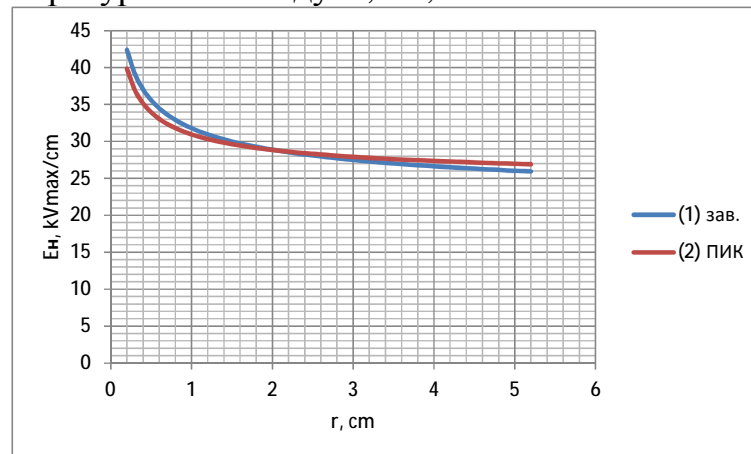
коронират при по-ниски напрегнатости от гладките цилиндрични проводници ($m = 1$). Според по-новите изследвания най-често употребяваните проводници са с коефициент m варира в граници от 0,80 до 0,90;

δ – относителната плътност на въздуха по трасето на електропровода

$$(3) \quad d = 0.386 \frac{P}{273 + t^{\circ}},$$

P – атмосферното налягане, mm Hg;

t° – температурата на въздуха, $^{\circ}\text{C}$;



Фиг. 1 Сравнение на изчисления начален интензитет на корона по (1) и (2).

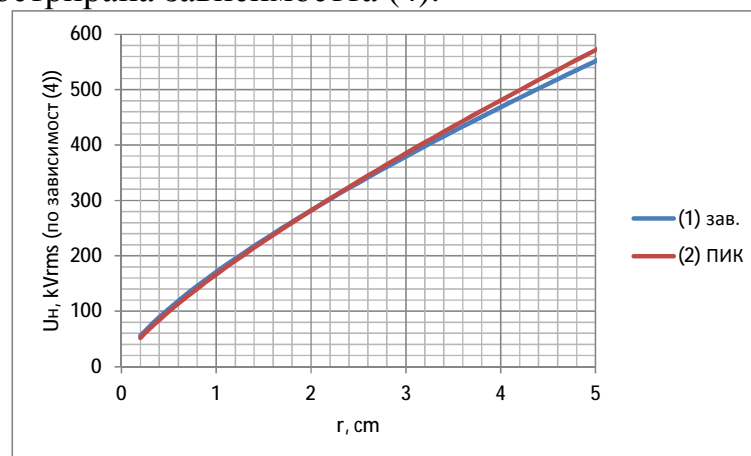
Плътността на въздуха се изменя заедно с метеорологичните условия. За целите на проектните изчисления се взема средногодишната стойност на плътността на въздуха.

Началното напрежение на възникване на корона се определя от

$$(4) \quad U_n = E_n r_o \ln \left(\frac{2H}{r_o} \right),$$

където H е височината на фазовия проводник над земната повърхност, cm.

На фиг.2 е илюстрирана зависимостта (4).



Фиг. 2 Зависимост на началното напрежение на корониране от радиуса на проводника при $H=10\text{m}$, $\delta=0,98$, $m=0,8$.

Въздушните електропроводни линии работят в различни атмосферни условия и с различни стойности на напрежението, по-големи от обявените. За да се намалят загубите от корона до приемливи стойности (около 0,65% от пренасяната енергия за електропроводни линии 400 kV в Р.България) се избира коефициент на запас

$$(5) \quad k = U_{об}/U_n$$

където k е коефициентът на сигурност, който отчита допустимите по-големи стойности на напрежението спрямо обявеното $U_{об}$, а така също и евентуалната промяна на плътността на въздуха в сравнение с изчислителната.

Приема се:

§ $k=0,80$ за електропроводи 220 kV;

§ $k=0,85$ за електропроводи 400 kV;

§ $k=0,90$ за електропроводи 750 kV;

Целта на изследването е да се определи чувствителността на изменение на началното напрежение на корониране U_n и да се оценят техническите мерки за намаляване на загубите от корона.

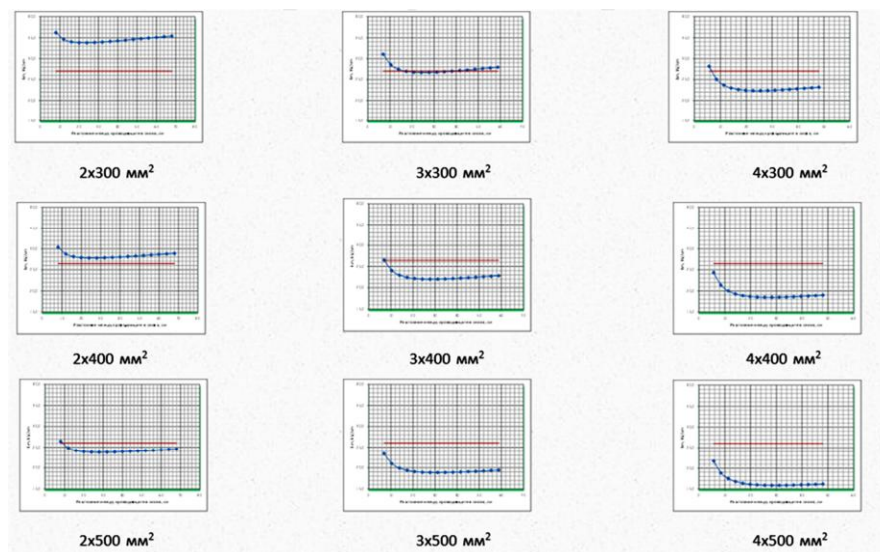
2. Същинска част

Изследвани са четири начина за намаляване на короната:

- Брой на проводниците в снопа;
- Сечение на единичния проводник в снопа;
- Състояние на повърхността на проводника;
- Обработка на повърхността на проводника с полупроводими покрития.

Класически начин

Изчислени са интензитетите на повърхността на проводника в зависимост от разстоянието между проводниците в снопа, а на фиг.3 са показани стойностите сравнени с нормираните. С червена успоредна линия е показана стойността на интензитета, при който са изпълнени изискванията със зависимостта (5).



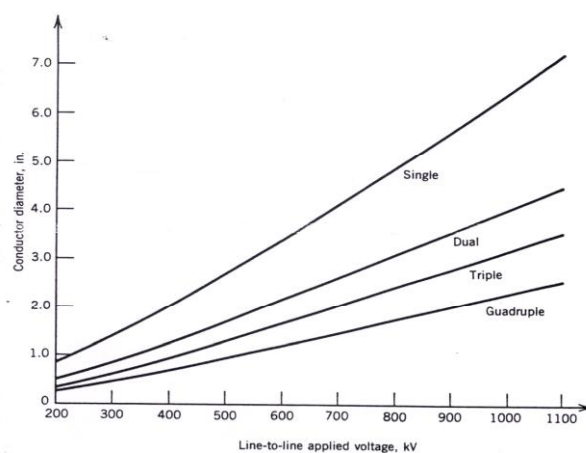
Фиг. 3 Графично сравнение за изпълнение на условието – интензитетът на електрическото поле на повърхността на проводника при обявено напрежение

да е по-малък от началния интензитет на корониране $E_{об} < E_n$ за електропроводи 400 kV.

На фиг. 3 се виждат възможните решения за изпълнение на снопов проводник за електропроводи 400 kV - $4 \times 300 \text{ mm}^2$, $3 \times 400 \text{ mm}^2$, $2 \times 500 \text{ mm}^2$. Последната конфигурация $2 \times 500 \text{ mm}^2$, е с по-малко общо сечение 1000 mm^2 , но е на границата на изпълнение на условието $E_{об} < E_n$.

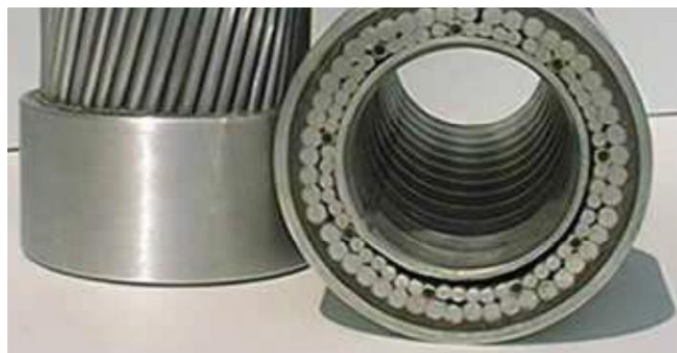
Сечение на единичния проводник в снопа

Изчислени са и са сравнени резултатите от влиянието на радиуса на проводника в снопа за изпълнение на условието $E_{об} < E_n$. На фиг. 4 е показана зависимостта на приемливите диаметри на проводниците за изпълнение на условието, публикувана в [1].



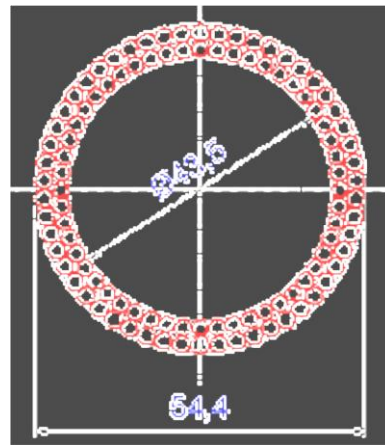
Фиг. 4 Приемливи диаметри на проводници за дадено линейно напрежение

На фиг.4 са представени резултати и за един проводник на фаза. За електропроводни линии 400 kV с един проводник на фаза се изпълнява условието за приемлива корона с диаметър на проводника $2 \text{ in} = 5,08 \text{ cm}$. Еквивалентното сечение на алуминиев проводник от вида АСО е 1500 mm^2 . Възможно е да се използват „кухи“ (hollow) проводници. Коефициентът на запълване е по-малък от 0,85. Един пример е показан на фиг.5.



Фиг. 5 Кухи проводници (един пример)

Сравнение на параметрите на класически и кух проводник за сечение 700 mm^2 са представени от завода производител.



1150	Допустим ток, А	1197
210	Изчислителна сила на опън, kN	225
764,5	Общо сечение, mm ²	617,6
2564	Тегло, kg/km	2320
13,96	Провес (40 °С, междустълбие 350 m), m	13,96

За електропроводни линии 400 kV е възможно използването на един кух проводник с еквивалентно сечение 600 – 700 mm².

Състояние на повърхността на проводника

В Политехниката Цюрих, Щрауман е провел изследване на акустичния шум получен при корониране на електропровод 400 kV за различни състояния на повърхността на нови и стари (в експлоатация повече от 20 години) проводници. Повърхността на проводника е обработена с титанов диоксид TiO₂.



Установено е намаляване на акустичната емисия с 9 dB за нови проводници и незначително намаляване за стари проводници.

Експлоатацията на алуминиеви проводници води до нарушаване на повърхностния слой и окисление, което намалява способността за образуване на капки вода (хидрофилност). Подобен ефект се постига със споменатата обработка на повърхността за нови проводници.

Възможно е да се намалят загубите от корона чрез обработка на повърхността им с хидрофилни покрития.

Обработка на повърхността на проводника с полупроводими покрития

Интензитетът на повърхността на проводниците зависи от неравномерността, която се отчита със споменатия коефициент на негладкост. При постигане на гладка повърхност е възможно началният интензитет на полето да се повиши с 20 – 25 %. Една илюстрация на разпределение на интензитета на полето на два вида проводници в рекламна брошура на производител е показана на фиг.6.

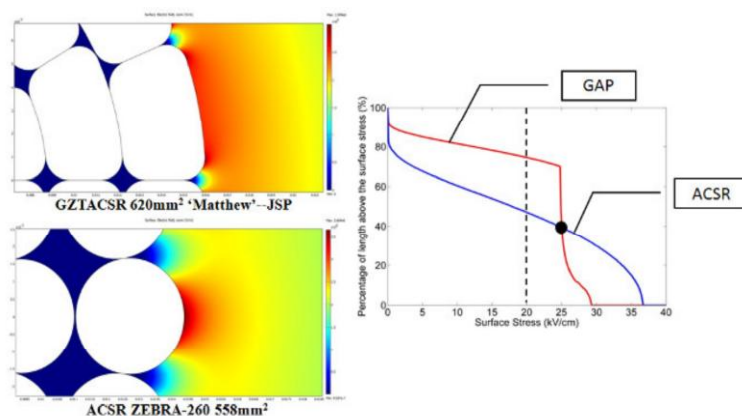


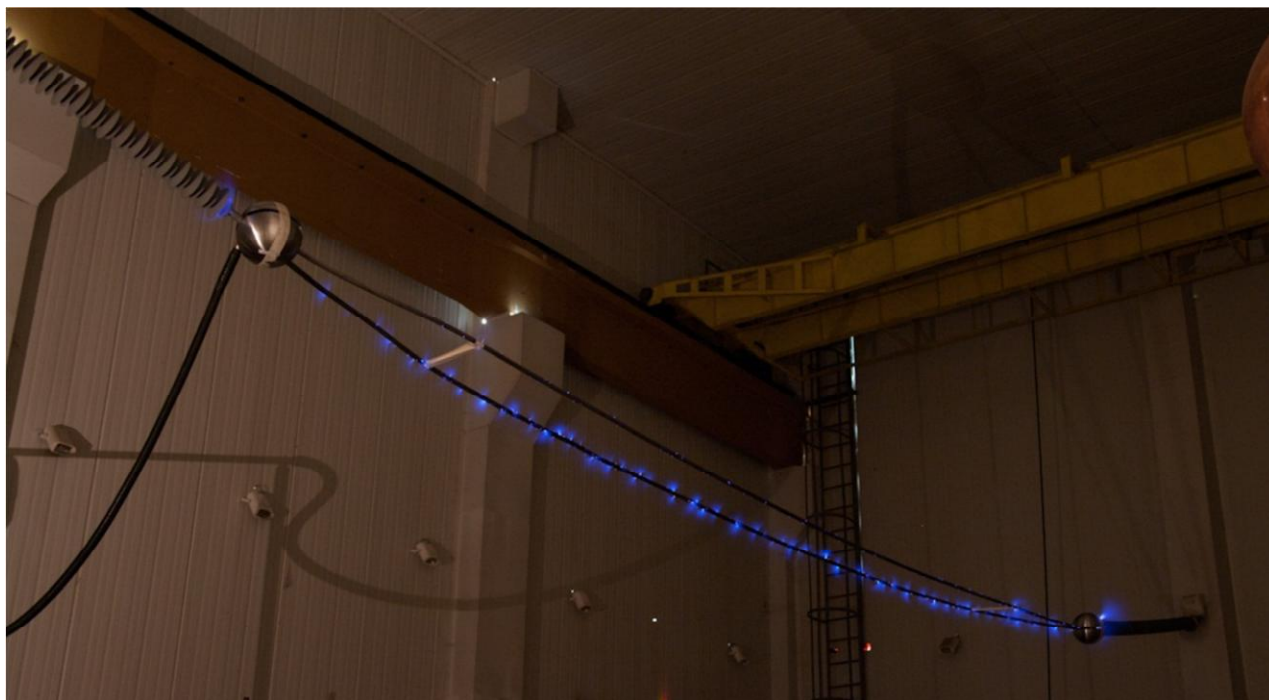
Figure : 400kV Overhead Conductor Surface Field Comparison: GAP -- ACSR

Фиг. 6

При използването на по-гладки проводници се получават по-малки стойности на интензитета на повърхността.

Žiga Voršič [3] предлага нов вид проводник PUAC 2150/490/65 mm² с изолационно покритие с който да се промени съществуваща линия 220 kV на електропроводна линия 400 kV. Чрез изолационни покрития е възможно да се овладее короната за електропроводи 400 kV.

В лаборатория Техника на високите напрежения на ТУ София са проведени изследвания на влиянието на комбинирано полагане на изолационни и полупроводими покрития. Установено е намаляване на короната за проводници 300mm² в сноп от два проводника – снимка 1.



Снимка 1 Намаляване на корона при нанасяне на покритие от силиконов каучук и графит.

Чрез градиране на относителна диелектрична проникваемост на полаганите покрития е възможно да се намалят до необходимия минимум загубите от корона и нейните ефекти.

3. Заключение

Възможните конфигурации на снопов проводник за електропроводи 400 kV, при които се изпълнява условието интензитетът на електрическото поле на повърхността на проводника при обявено напрежение да е по-малък от началния интензитет на корониране $E_{об} < E_n$ са $4 \times 300 \text{ mm}^2$, $3 \times 400 \text{ mm}^2$ и $2 \times 500 \text{ mm}^2$.

За електропроводни линии 400 kV е възможно използването на един кух проводник с диаметър $> 54 \text{ mm}$ и еквивалентно сечение $600 - 700 \text{ mm}^2$.

Възможно е да се намалят загубите от корона чрез обработка на повърхността им с хидрофилни покрития.

Чрез изолационни покрития е възможно да се овладее короната за електропроводи 400 kV.

Чрез градиране на относителна диелектрична проникваемост на полаганите покрития е възможно да се намали до необходимия минимум ефектите от корона.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Mahmoud El Gammal, Book Material Corona Discharge.

[2] 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

[3] Žiga Voršič, Polyurethane as an Isolation for Covered Conductors, <http://dx.doi.org/10.5772/35083>, Edited by Fahmina Zafar and Eram Sharmin, ISBN 978-953-51-0726-2, Published: August 29, 2012

Автори:

маг. инж. Виктор Райчев, редовен докторант в катедра “Електроенергетика”

маг. инж. Данаил Дачев, гл.ас. в катедра “Електроенергетика”

бак. инж. Стефан Дечков, дипломант в катедра “Електроенергетика”

бак. инж. Елефтериос Пуртолидис, студент

д-р инж. – доцент в катедра “Електроенергетика” (ЕЕ), email: pnaikov@tu-sofia.bg

LOAD CHARACTERISTICS AND THEIR INFLUENCE OVER THE ESTIMATES OF STABILITY AND TRANSIENT PROCESSES IN ELECTRICAL SYSTEMS

Georgi Georgiev, Inga Zicmane, Sergej Kovalenko

***Abstract:** In this paper the problems connected with modeling of transient processes in high voltage electrical systems are considered. The estimates of stability of these systems require recognition of the nonlinear character of loads from the voltage and the frequency. The new technique for simplification of the models based on Jordan elimination is presented. The same approach is used for obtaining nonlinear load characteristics for the aggregated nodes.*

***Key words:** electrical network, electrical system, steady state, stability, electromechanical transient processes, load characteristics, elimination of loads*

ТОВАРОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТЯХНОТО ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ ОЦЕНКИТЕ НА СТАТИЧЕСКАТА И ДИНАМИЧЕСКАТА УСТОЙЧИВОСТ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ СИСТЕМИ

Георги Георгиев, Инга Зицмане, Сергей Коваленко

***Резюме:** В доклада се разглеждат проблеми, свързани с моделиране на преходни процеси в електроенергийни системи високо напрежение. Оценките за устойчивост на тези системи изискват отчитане на нелинейния по напрежение и честота характер на товарите. Представена е нова методика за упростиране на моделите, базирана на Жордановото изключване. Същият подход се използва и при получаване на товарните характеристики.*

***Ключови думи:** устойчивост, електромеханични преходни процеси, мрежи и системи, характеристики на товара, изключване на възли*

1. Introduction

Obviously the manner of presentation of aggregated active (P) and reactive (Q) loads in the modeling of energy flows in high-voltage electrical systems is very important for the quality and accuracy of the results [1,2]. In general, loads depend on voltage (U), frequency (f) and their variation speed. In this context the load behavior can't be practically described with absolute precision, but with varying degree of approximation, chosen suitable for the type of performed study. To receive an accurate aggregate high voltage network model is necessary to take into account the distribution network model at lower voltage side with its real load characteristics (LC) for each node as well as losses of eliminated branches.

In many of the works devoted to network reduction little attention is paid to the load representation and to its behavior during transient stability analysis. The effects of load modeling on transient stability of power systems have been presented in several scientific studies [1,3].

Our goal is to find and explore a new method of simplifying the complex electrical network models by an elimination of nodes with nonlinear static (SLC) and dynamic (DLC) load characteristics to obtain a result model with fewer nodes that preserves the behavior of generators in steady state and electromechanical transient processes.

2. Load characteristics of aggregated nodes – theoretical background

Undoubtedly that representation of load nodes must be coordinated to the essence of research and the type of its goal. As it is known, there is the following classification of possible conditions of electrical power system:

1) *Normal steady state*. The loads are usually presented by constant powers defined at rated voltage and nominal frequency. There is no need to consider the load dependence on voltage and frequency.

2) *Post-failure steady state*. The voltage and frequency usually differ from normal-acceptable ones in this case. In the past if the frequency didn't change, it was accepted to represent the loads in the form of constant equivalent active (g) and reactive (b) conductivity (as a complex $g + jb$). It meant that a quadratic change of power loading from voltage was accepted. It isn't always fair. Then it is necessary to apply suitable SLCs.

3) *Transient electromechanical processes*. Obviously, setting the loads in the form of constant conductivity could be not sufficiently precise in this case. Nonlinear loads depend on the voltage and frequency which vary during the transient process. The type of nonlinear dependence is determined by the composition of summary load for each of the high voltage nodes, consisting of different percentages of motors, lamps, heaters, etc. connected to the concerned node. It is necessary to apply appropriate DLCh in this case.

The most popular forms recently used [4,5] for nonlinear LCs are the exponential functions:

$$(1) \quad P = P_0 (U/U_0)^\alpha (f/f_0)^\gamma ; \quad Q = Q_0 (U/U_0)^\beta (f/f_0)^\delta$$

where P_0 , Q_0 , U_0 and f_0 are respectively the power, voltage and frequency in the previous steady state and P , Q , U , f are values of these parameters during the transition process. The exponent indicators (α , β , γ , δ) determine a nonlinear dependence which can be very close to the actual load behavior. The algebraic form of LCh exists and it was widely applied earlier, but it is not so convenient at computer realization of algorithms.

Identification of LCs is a hard and time-consuming task which requires a lot of considerable methodological measuring and organizational efforts nevertheless the progress in development of information technologies. In one of the last enough complete researches [6] nonlinear SLCs in an algebraic form for different categories of consumers and economical areas are given: for heating apparatus and ovens, discharge lamps, compressors, machine-building, chemical industry, food and other types of industry.

The difference between SLCs and DLCs is shown only in different values of the used exponent indicators α , β , γ and δ (Fig.1). Following ranges for these indicators are revealed in practice [7,8]: $\alpha = 0.2 \div 2.3$, $\beta = 0 \div 7.38$, $\gamma = -1,0 \div 5.6$ and $\delta = -4.6 \div 4.2$.

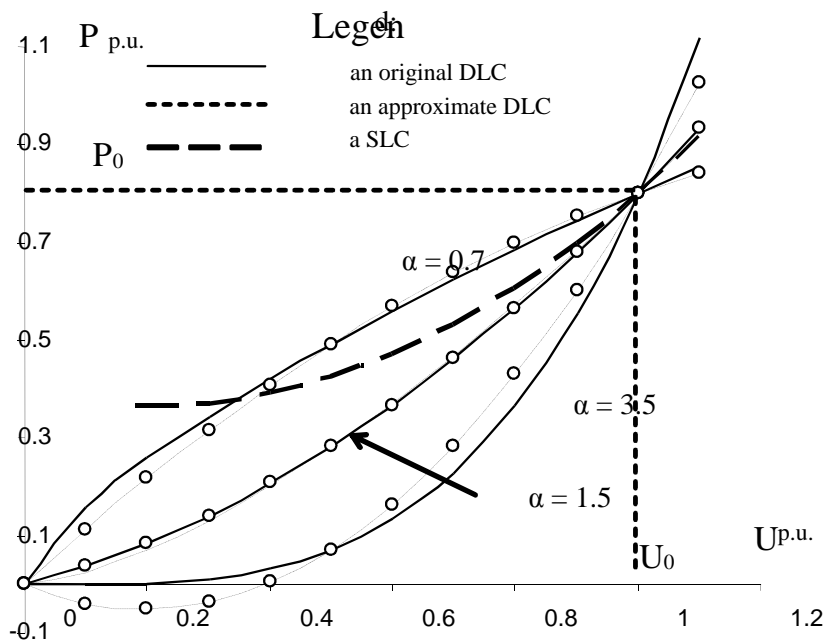


Fig.1 Comparison of original DLCs with approximated ones in three cases: at $\alpha=0.7$, $\alpha=1.5$ and $\alpha=3.5$

3. Influence of LC on transient processes

1) Influence of LC on the estimate of stability.

Usually research of static stability is made at constant frequency and for infinitesimal or small voltage deviations at the balance point. Then LCs become simpler and look like as:

$$(2) \quad P = P_0 (U/U_0)^\alpha; \quad Q = Q_0 (U/U_0)^\beta$$

They will influence only derivative of active power loads on voltage in system of the linearized differential equations as:

$$(3) \quad \frac{\partial P_i}{\partial E_i} = \alpha \frac{P_{0i}}{E_{0i}} \left(\frac{E_i^{\alpha-1}}{E_{0i}^{\alpha-1}} \right) = \alpha \frac{P_{0i}}{E_{0i}} \quad \text{at } E_i = E_{0i}$$

We assume that the model for assessment of stability consists of an equivalent network with generating nodes only and loads reduced to them. Therefore the voltage U is replaced with the stator's electrodriving voltage E.

It is visible that derivatives depend directly on α and it will affect the eigenvalues of the matrix of derivatives. But to use (3) it is very important to have LCs for reduced equivalent loads. Only in case of using full model (without an elimination of

loads) it will be necessary to include derivatives of reactive power in the system of equations as each load node brings 2 more new variables.

2) *Influence of LC on the transient process.*

It is impossible to provide the simple analytical proof of influence of LC. Further some experimental examples for this purpose are given.

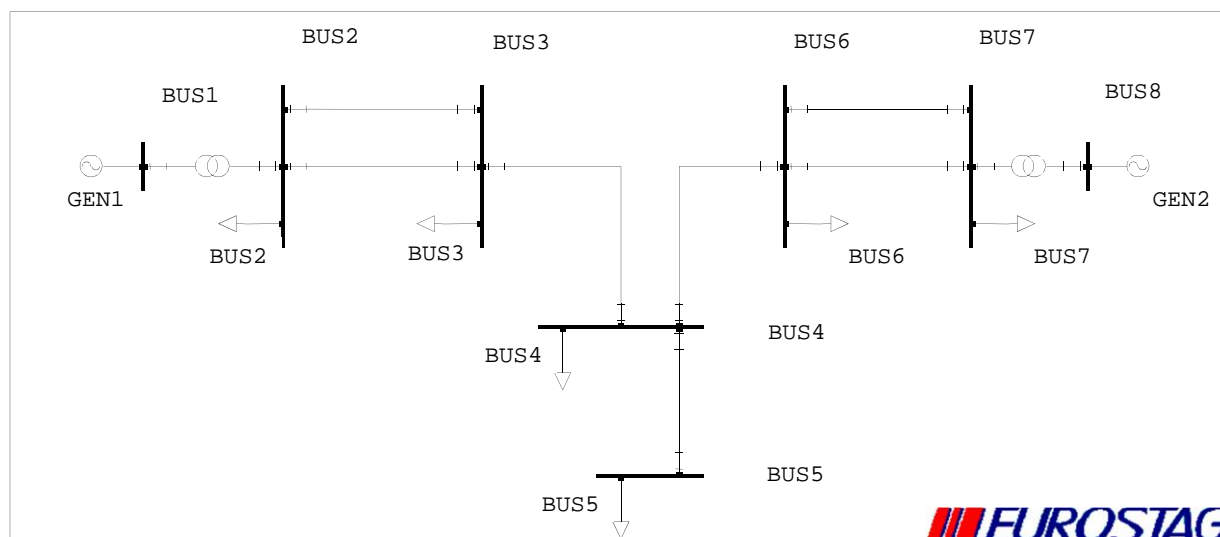


Fig.2. An electrical network for carrying out experiments with transient processes.

Table 1. Parameters of previous steady state for electrical system from Fig.1

Node name	Voltage (kV)	Active load P (MW)	Reactive load Q (Mvar)	Nominal voltage (kV)
BUS1	14.2	800	495.8	13.8
BUS2	114.5	45	11.25	110.0
BUS3	113.8	35	7.70	110.0
BUS4	113.3	20	3.60	110.0
BUS5	113.1	15	2.25	110.0
BUS6	113.7	30	6.00	110.0
BUS7	114.4	55	16.50	110.0
BUS8	14.2	0	0	13.8

We studied the system's behavior after short circuit on the earth through complex impedance resistance $Z = 0.04 + j0.18$ in the node 4 (Bus 4). We compared transient parameters (Fig.3,4) in two cases: a) at load representation in the form of constant complex conductivity (classical case – black color); b) at representation of loads with their LCs (Table 2) (alternative case – blue color). Difference in voltage fluctuations is not big but in the same time the frequency fluctuations are differ by size and form (Fig.3).

Table 2. Exponent indicators for using LCs

Indicators of LC	α	β	γ	δ
Bus1	0.4	5.5	5.2	1.88
Bus2	1.8	0.5	4.8	1.97
Bus3	1.9	4.3	3.6	1.92
Bus4	0.6	0.8	4.9	1.85
Bus5	1.4	6.2	5.1	1.95
Bus6	1.7	1.1	3.9	1.83
Bus7	0.7	6.9	4.7	1.87
Bus8	1.9	0.3	5.3	1.98

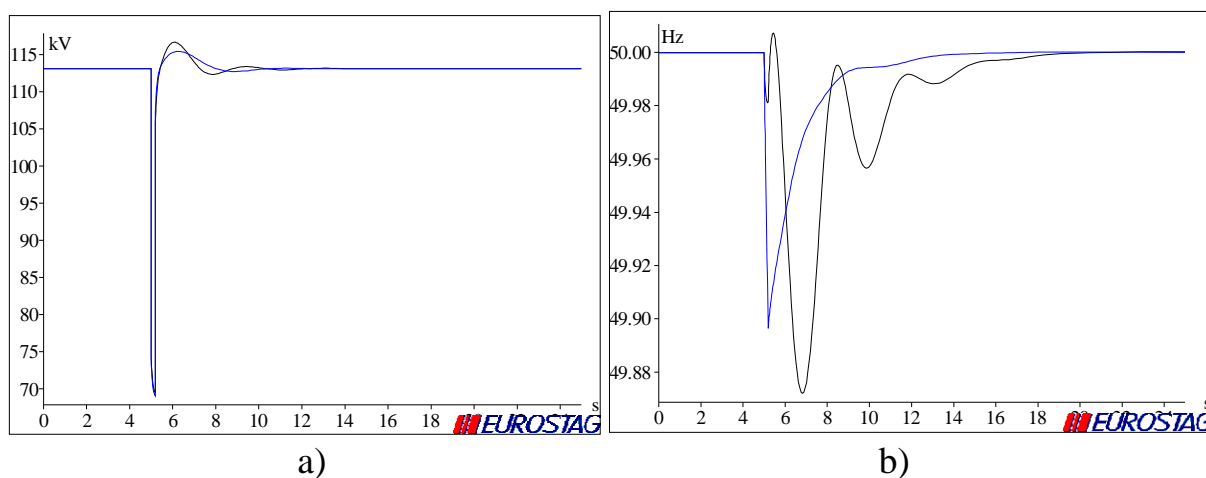


Fig. 3. Voltage fluctuations (a) and frequency fluctuations (b) at short cut on a node 4; black curve – without using LCs; blue curve – with LCs.

For example it is possible to see a similar picture at sudden increase and subsequent reduction of loads (Fig.4) in the given electrical system.

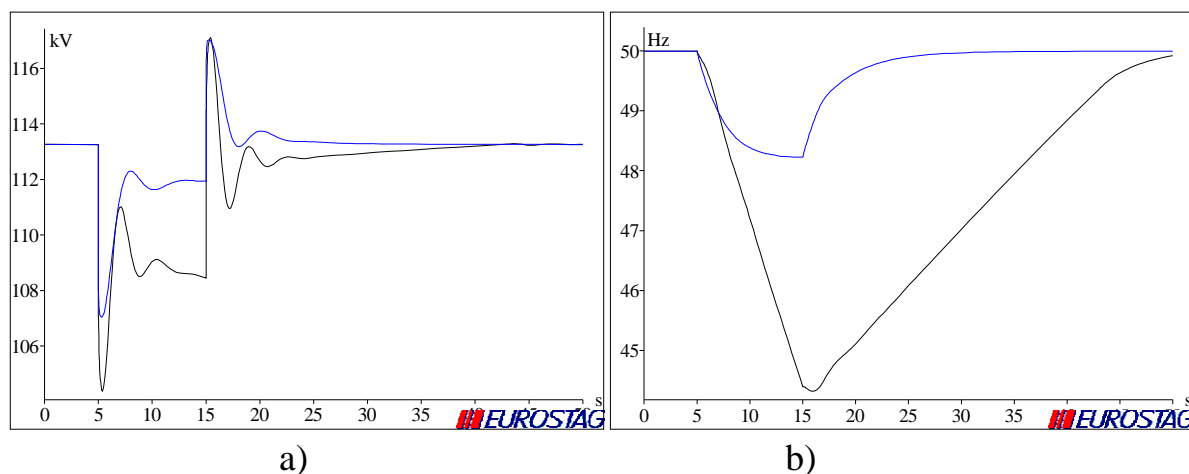


Fig. 4. Voltage (a) and frequency (b) fluctuations at sudden increase all loads by 25% and subsequent reduction ones by 20% ; black curve – without using LCs; blue curve – with LCs.

The examples given above convincingly show that the assessment of transient processes of electrical systems is necessary to carry out taking into account real LCs.

4. Simplification of models of electrical systems taking into account nonlinear load characteristics

A new aggregation technique was introduced by us for eliminating loads [9,10] with their arbitrary nonlinear characteristics (SLCs and DLCs) dependent on voltage and frequency. Herewith the system behavior during electromechanical transient process remains invariable.

The elimination of loads is made in two stages. At first there is elimination at invariable frequency therefore new indicators α and β for aggregated loads (non-excluded) are defined. At the second stage frequency influence for the purpose of definition of δ, γ indicators in the these nodes is fulfilled.

1) Elimination of loads with arbitrary LC at constant frequency.

For implementation of the proposed new technique we use alternative form of load representing in polynomial form of second degree but without free term:

$$(4) \quad P = a_1 \cdot U^2 + b_1 \cdot U; \quad Q = a_2 \cdot U^2 + b_2 \cdot U$$

Thereby, we avoided the representation of the classic polynomial form where the free term is always present because the our exponential curves cross the origin ($P=0$ and $Q=0$ at $U=0$ and $f=0$).

Jordan elimination [11] was used as a method for elimination of loads represented as constant impedance [9,10] with some typical features of it that are important for the further exposition:

- In contrast to the Gauss-Jordan elimination, the Jordan elimination refers to all elements of the matrix and the purpose here is not to obtain a solution but only to exchange elements of the unknown variables vector by elements of the constant free terms vector.
- The Jordan elimination can be applied on a separate fragment of the network as well, since the aim is not the solution, but a topological-parametric transformation of network branches and loads.
- The reduction of network node number, respectively of the dimension of its model, using the Jordan elimination is possible thanks to the zero vector of constant terms [11].

In the cases when α or β do not equal 2 the load conductivity values depend on the voltage is no longer linear, thus the Jordan elimination is not applicable. For example, the modeling active load current I_{act} , in the node equations is:

$$(5) \quad I_{act} = P/U = P_0(U/U_0)^\alpha / U = (P_0/ U_0) \cdot (U/U_0)^{\alpha-1}$$

There is a linear relation between current and voltage only when $\alpha=2$. The same applies to the reactive load so the further statement will mention only the active power.

We propose an alternative based on the Jordan elimination of nodes in the general case of nonlinear equations, whereas we first transform the LC into polynomial function form. Indeed, approximating the LC by a polynomial, we obtain:

$$(6) \quad P = P_0(U/U_0)^\alpha \approx AU^2 + BU; \quad I_{act} = P/U = AU + B,$$

i.e. I_{act} always depends linearly on the voltage. The coefficient “A” can be interpreted as an equivalent constant conductivity g_0 , and “B” as a constant constituent in the active load current J , which does not depend on the operation (Fig.5). We should note that the conductivity g_0 depends on α and is thus different from the value determined by $\alpha=2$.

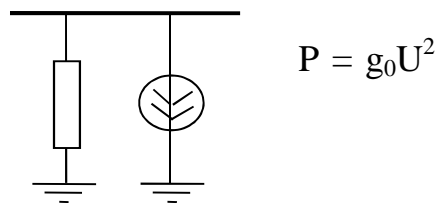


Fig.5. Substituting circuit of load P with an arbitrary LC approximated by a second degree polynomial $g_0 U^2 + JU$.

It can be written in accordance to Kirchoff's current law in matrix form and with complex variables in new linear form in this case [9-10]:

$$(7) \quad \mathbf{Y} \cdot \mathbf{U} + \mathbf{J} = \mathbf{0}.$$

Expressing the voltage U_i from equation i and its substitution into another equation k results in the following expressions:

$$(8) \quad U_i = -1/Y_{ii}(Y_{i1}U_1 + Y_{i2}U_2 + \dots + Y_{in} + J_i) = (Y_{k1} - Y_{k1}Y_{i1}/Y_{ii}U_1) + \dots + (J_k - J_{ki}J_i/Y_{ii}) = 0$$

These operations can be merged through the augmentation of the node conductivity matrix by one additional column to the right, which contains the setting current values J . Then node i is eliminated through a transformation according to Jordan elimination, spread in column \mathbf{J} . Its new elements J'_k after eliminating node i will be:

$$(9) \quad J'_k = J_k - Y_{kj}J_i/Y_{ii},$$

which means, that the setting current J in the eliminated load is split and added to the setting currents of the adjacent nodes.

The remaining in the scheme loads will have new values after the specified Jordan elimination. Transformation from power to polynomial form of the LCs and inversely described in [9,10]. As a result of back transformation we can define the new factors α , β for the remaining nodes:

$$(10) \quad \alpha = \text{Ln}(1 - 0.5g_0U^2 / P) / \text{Ln}(0,5) + 1; \quad P = g_0U^2 + JU,$$

where all parameters are received after Jordan elimination. Similarly:

$$(11) \quad \beta = \text{Ln}(1 - 0.5b_0U^2 / Q) / \text{Ln}(0,5) + 1; \quad Q = b_0U^2 + JU.$$

2) Frequency dependent elimination of loads.

For extraction the dependence of power from frequency in remaining model's nodes, it is preliminarily offered to do two more experiments at the frequencies $f_1=48$ Hz and $f_2 = 52$ Hz. Thereby for yet unknown frequency dependence at each node we will have 3 points (at the 48, 50 and 52 Hz). Using this points it is possible to approximate numerically this dependence in the range $46,5 \div 52$ Hz for each node. It is sufficient for all practical cases. With this aim the correction of reactance X and capacitor conductivity b_c of lines with the new frequency and the correction of nodes power with the frequency part of LCs before each experiment is performed. As an example for frequency $f_1=48$ Hz we will have:

$$(12) \quad \begin{aligned} X_1 &= f_1 / f_0 \cdot X; & b_{c1} &= f_1 / f_0 \cdot b_c; \\ P_1 &= P_0(U/U_0)^\alpha (f_1/f_0)^\gamma = P_{01}(U/U_0)^\alpha; \\ Q_1 &= Q_0(U/U_0)^\beta (f_1/f_0)^\delta = Q_{01}(U/U_0)^\beta. \end{aligned}$$

The first experiment must be performed with the recalculated P_1, Q_1 at each node and with corrected X_1, b_{c1} for lines. After Jordan elimination we will find knew P'_{01}, Q'_{01} and J_1 for each aggregated node. These new values satisfy:

$$(13) \quad P'_1 = P'_{01} (U_1/U_0)^\alpha \cdot (f_1/f_0)^\gamma; \quad Q'_1 = Q'_{01} (U_1/U_0)^\beta \cdot (f_1/f_0)^\delta.$$

Hence unknown indicators γ, δ may be obtained:

$$(14) \quad \gamma = [\text{Ln}(P'_1/P'_{01}) - \alpha \text{Ln}(U_1/U'_0)] / \text{Ln}(f_1/f_0)$$

$$(15) \quad \delta = [\text{Ln}(Q'_1/Q'_{01}) - \beta \text{Ln}(U_1/U'_0)] / \text{Ln}(f_1/f_0).$$

It is necessary now to complete the second experiment at $f_2 = 52$ Hz and determinate the mean values for indicators γ, δ . Completed tests give us a reason to affirm that such practical approach is completely justified.

The accuracy of LCs at their direct and return transformations at Jordan elimination as well as resultant accuracy after the modified by us Jordan elimination were studied in [13]. Results of numerous experiments showed good accuracy of behavior of the simplified model which at worst didn't exceed 0.5 %.

3) New possibility of obtaining load characteristics for high voltage nodes.

The identification of LCs is not yet a complete solved problem nowadays, especially in a frequency part. For this reason it is not always possible to model electromechanical transients rather precisely. Very interesting approach for identification of LCs is offered in [12] where authors use planning and conducting experiments with the analysis of the balance node equations for that purpose.

We tried other approach which is based on modified Jordan elimination presented above. In accordance of our idea we eliminated all nodes with their LCs in network

of lower voltage to obtain LC for aggregated load of given node of high voltage. We used the same idea to define LCs in network of low voltage by individual LCs of consumers in this network.

4) A test example.

The example given below proves the used Jordan elimination, extended to nonlinear load characteristics with influence of voltage and frequency.

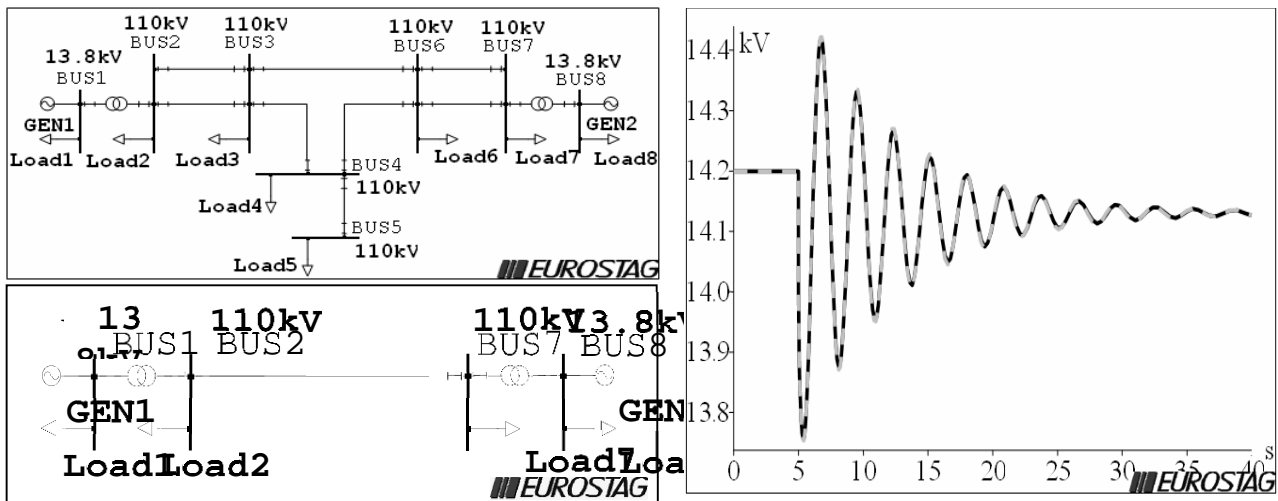


Fig.6. Above: an initial test scheme of a network; below in left: a simplified scheme. In right: A voltage fluctuation at abrupt increase of power load in a node 2. The black curve corresponds to the initial scheme and a gray curve – to the models after scheme simplification by means of an elimination of nodes 4,5 and 6. The accuracy is 0.03%.

5. Conclusion

The estimates of static stability and dynamic stability of transient processes in electrical systems need to be made taking into account the real load characteristics which identification is not easy task. Owing to the new analytical technique as modification of Jordan elimination described above it is possible to get an equivalent of integrated load on the high voltage side and its LC dependent on voltage and frequency. The presented here approach allows to simplify models by elimination of load nodes with nonlinear characteristics. The proposed technique uses only simple enough linear operations which can be very easily formalized and programmed in matrix form. The obtained numeric and graphical results prove high accuracy of characteristic's transformation during the aggregation of the network model. The parameter's oscillations of the frequency and voltage are completely identical on the initial and model simplified schemes at the different deficiency of active power.

REFERENCES

- [1] M. Sanaye-Pasand, H. Seyedi, H. Lesani, M. R. Dadashzadeh, "Simulation and Analysis of Load Modelling Effects on Power System Transient Stability", [/www.archive.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec05/AUPEC2005/Volume2/S144.pdf/](http://www.archive.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec05/AUPEC2005/Volume2/S144.pdf/)

- [2] P.Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc., 1993, 1176 pp.
- [3] M. Gordon, "Impact of Load Behavior on Transient Stability and Power Transfer Limitations", Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE, 1-8 pp.
- [4] EUROSTAG, User's manual, part 1, release 4.5, June 2010, 216 pp.
- [5] ETAP® 5.5. User Guide, June 2006, 3386 pp.
- [6] Kirov R.M., Gyurov V.N., Stefanov S.S. "Study of the static characteristics of active and reactive loads in a mode of reduced consumption", Second international congress on mechanical and electrical engineering and marine industry, MEEMI '2005, 07-09 October 2005, Varna, Bulgaria. ISBN 954-20-0314-5 (Vol. I).
- [7] Leonardo L. Grigsby, "Electric Power Generation, Transmission, and Distribution", second edition, 2006, 503 pp.
- [8] Kwok-Wai Louie, "Aggregation of voltage and frequency dependent electrical loads", a thesis, 1999, 207 pp.
- [9] G.Georgiev, I.Zicmane, E.Antonov, "Elimination of load nodes of power system with dynamic characteristics", Slovakia, Proceedings of the 6th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2011, September 21-23, pp.48-52,
- [10] G.Georgiev, I.Zicmane, E.Antonov, S.Kovalenko, "Elimination of nodes with voltage dependent load characteristics in electrical network models", Italy "EEEIC 2011", IEEE Xplore.
- [11] 2011E. Stiefel, "Note on Jordan elimination, linear programming and Tchebycheff approximation", Numerische Mathematik 2, 1960, 1-17 pp.
- [12] R. Kirov, V.Gyurov, N.Makedonski, V.Chikov, "Modeling of power balance equation using theory of experiment planning", Slovakia, Proceedings of the 6th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2011, September 21-23, pp.184-188. ISBN 978-80-553-0724-4.
- [13] G. Georgiev, I.Zicmane, "Functional accuracy of static and dynamic models of electrical systems obtained after an elimination of several nonlinear loads", Slovakia, Proceedings of the 6th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2011, September 21-23, pp.81-84.

Author:

Dr. Georgi Georgiev – A responsible engineer for electrical energy production at '3K' Ltd, Varna, Bulgaria, email: georgidg@mail.bg

Dr. Inga Zicmane – An associate professor at Faculty of power and electrical engineering, Riga Technical University, email: zicmane@eef.rtu.lv

Sergej Kovalenko – a doctorate student at Faculty of power and electrical engineering, Riga Technical University, e-mail: sergei.ko@inbox.lv

ЗАГУБА НА ЗАХРАНВАНЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА СОБСТВЕНИ НУЖДИ НА АТОМНА ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛА – ПРИЧИНИ, РИСКОВЕ, ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОГРАНИЧАВАНЕ НА ПОСЛЕДСТВИЯТА

Димитър Богданов

Резюме: В този доклад са анализирани някои от аспектите на ситуации водещи до загубата на захранване на собствените нужди на Атомна Електроцентрала (АЕЦ), на база на събитията в АЕЦ “Фукушима” при възникването на инцидента на 11.03.2011. В доклада се посочват някои целесъобразни мерки, които могат да бъдат предприети за предотвратяване възникването на такива ситуации в други АЕЦ. Направено е кратко представяне на реакцията на инцидента в АЕЦ “Фукушима” под форма на публикации и др. на Международната Агенция за Атомна Енергия (МААЕ), регулативни органи в САЩ, както и на други организации по света. Използването на някои алтернативни източници на електрозахранване за собствените нужди на АЕЦ може да бъде използвано като средство за ограничаване последствията от дълготрайна загуба на електрозахранването следва да бъде част от принципите за защита на много нива на една централа.

Ключови думи: АЕЦ, загуба, захранване, принципи за защита, безопасност.

NUCLEAR POWER PLANT STATION BLACKOUT – CAUSES, RISKS, OPTIONS TO MITIGATE THE CONSEQUENCES

Dimitar Bogdanov

Abstract: This technical paper is aimed to analyze some aspects of the evolvement of station blackout (SBO), based on the case in Fukushima Daiichi nuclear power plant (NPP) accident on 11.03.2011. The article aims to point some appropriate measures that can be taken to prevent similar incident in NPPs around the world. A short account of IAEA, United States regulatory bodies and other international bodies response to Fukushima Daiichi event to mitigate SBO has been presented. Mitigation of consequences of extended SBO by providing appropriate alternative electrical power supply sources has been indicated as an application of defense-in-depth principle in electrical design.

Key words: NPP, SBO, loss of power supply, defense in depth, safety.

Introduction: Fukushima Daiichi Event

In Japan, on March 11, 2011, an earthquake rated at magnitude 9.0 and a large tsunami of more than 14 meters in height struck the Fukushima Daiichi NPP site. The combination of an earthquake followed by a tsunami initiated a sequence of events that ultimately led to damage to the reactor cores at Fukushima Dai-Ichi Units 1, 2,

and 3 caused by loss of auxiliaries power supply, loss of reactor control, loss of operability of the reactor cooling systems [1,10,11]. The earthquake caused the normal supply of electrical power for the Fukushima nuclear plant - that from the electrical grid, to be lost. Per design, the emergency Diesel generators (DGs) at the site automatically started and provided power to essential emergency equipment. The "tsunami" tide wave arrived and disabled the emergency DGs. As they were located on very low positions, they were totally flooded and fatally damaged by the site flood. This left the plant without AC electrical power. This condition with no AC electrical power supply was a situation of station blackout (SBO).

The US Nuclear Regulatory Commission (NRC) report evaluates two different station blackout (SBO) scenarios. In one of them, known as a *long-term SBO*, station batteries, which provide direct current (DC) power, continue to operate until they are exhausted, assumed to occur after 4 hours. The batteries cannot power the main coolant systems, but they can provide enough electricity to maintain the instrumentation systems and operate certain valves, allowing operators to manually operate an auxiliary cooling system (known as the *Reactor Core Isolation Cooling System*, or RCIC) for some period of time. If additional sources of electrical power are not brought online before the batteries are exhausted, however, if operators lose control of the RCIC system, and eventually the system fails, the reactor core will overheat, the water in the core will boil away, the nuclear fuel in the core will melt, hydrogen gas will accumulate and may cause explosion – this may lead to release of radioactive materials into the environment. The event at Fukushima Daiichi NPP units 2 and 3 was essentially a long-term SBO [2].

Another situation is known as a *short-term SBO*. In this case, DC power is unavailable, operators are not able to use any auxiliary cooling system and coolant loss and core melt occur sooner than in the case of the long-term SBO. The event at Fukushima Daiichi NPP unit 1 was essentially a short-term SBO [2].

Brief review on some regulation rules, response to Fukushima NPP accident US Regulation, Rules, and Guidance of SBO

10 CFR 50.2 [3], "Definitions," The term "station blackout" refers to the complete loss of AC electric power to the essential and nonessential switchgear buses in a NPP. Station blackout therefore involves the loss of offsite power in coincidence with turbine trip and failure of the onsite emergency AC power system, but not the loss of available AC power to buses fed by station batteries through inverters or the loss of power from "alternative AC sources".

On June 21, 1988, the Nuclear Regulatory Commission (NRC) published the SBO rule in the 10 CFR 50.63, "Loss of all alternating current power" [4]. In 10 CFR 50.63, the SBO rule requires that each light-water-cooled NPP shall be able to withstand and recover from a station blackout of a specified duration. Section 50.63 requires that, for the station blackout duration, the plant shall be capable of maintaining core cooling and appropriate containment integrity. It also identifies the factors that must be considered in specifying the station blackout duration.

Each NPP has the capability to remove decay heat and maintain appropriate containment integrity without AC power for a limited period of time. If the plant's actual station blackout capability is less than the acceptable minimum duration (coping time), modifications may be necessary to extend the plant's ability to cope with a station blackout. NRC guide RG 1.155, Station Blackout [5], published in August 1988, provides guidance in the implementation SBO rule described in 10 CFR50.63.

NRC's Response to Fukushima Daiichi Event

In the days following the Fukushima Daiichi nuclear accident in Japan, NRC directed the staff to establish a senior-level agency task force (the Task Force) to conduct a methodical and systematic review of the NRC's processes and regulations to determine whether the agency should make additional improvements to its regulatory system and to make recommendations to the Commission for its policy direction. The Task Force conducted a thorough investigation and on July 12, 2011, published a comprehensive report, "Enhancing Reactor Safety in the 21st Century" [6,14].

The current regulatory approach, and more important, the resultant plant capabilities allow the Task Force to conclude that a sequence of events like the Fukushima accident is unlikely to occur in the United States and some appropriate mitigation measures have been implemented, reducing the possibility of core damage and radiological releases. Therefore, continued operation and continued licensing activities do not pose an imminent risk to public health and safety.

This conclusion may be based on NPP site positioning requirements and technological design, but the fact that in Fukushima scenario there was coincidence of two connected natural phenomena (actually natural disasters – severe earthquake and resulting tide wave "tsunami") shall not be basis for any non-conservative estimation on other NPP sites. However, the Task Force also concluded that a more balanced application of the Commission's defense-in-depth philosophy using risk insights would provide an enhanced regulatory framework that is logical, systematic, coherent, and better understood. Out of the many recommendations, two deserve special recognition:

- Longer duration of coping time (minimum 8 hours) during SBO without any damage. This will provide safety margin against short-term SBO.
- Seismic and flooding issues must be considered to mitigate SBO. This will provide safety margin against long-term or extended SBO.

- The general experience of NPP operation shows that any potential scenarios for common-cause failures shall be analyzed in depth. Below are listed some of the common cause failures in Fukushima case:
 - HV power line common cause failures;
 - Site selection of NPP units in general – if the Fukushima site was located upstream a larger river appr. 30 m above sea level, there would be no such terrible effect of the "tsunami".
 - DGs common cause failure in result of inappropriate location;

- Lack of movable means to provide AC power supply;
- Design weakness in lack of passive systems for managing the consequences of the emergency situation – no means to manage hydrogen accumulation, etc;
- Lack of general preparedness for beyond design accidents;
- Omitting the risk of rare natural disaster and underestimating the consequences of indirect impact of seismic activity at the stage of selecting plant site.

Some of the above mentioned mistakes result of the “economically” oriented site selection. The Task Force recommends that the NRC strengthen station blackout mitigation capability at all operating and new reactors for design-basis events and beyond-design-basis external events.

It is interesting to note that present SBO Rule does not address external hazards such as seismic and flooding. To achieve the goal of providing an effective level of defense-in-depth for SBOs caused by external events beyond the design basis, the SBO mitigation equipment would need to be protected from such events. Such protection was not available at Fukushima, a beyond-design-basis flooding caused a prolonged SBO.

The Task Force concluded that the safety margin built into the design-basis flood would not be sufficient to provide the desired level of protection. The Task Force considers the issue of flood protection for SBO equipment to be significant and recognizes that flooding protection of such equipment would require it to be located at a suitable elevation (above the design-basis flood plus a significant margin) or require it to have an effective watertight enclosure.

The Global Response to Fukushima Daiichi Event

Responses to Fukushima Daiichi event vary from country to country depending on each country's regulatory structure and national energy policies. However, the central objective - to enhance safety at all NPPs - is consistent worldwide.

Some notable responses from countries other than USA include:

IAEA Safety Mission Report;

European Stress Test Report by member countries;

Safety Analyses Reports from countries, which operate nuclear facilities, like France, Korea, Canada, India, etc.

While the U.S. NRC has already recommended a bold strategy to add another layer of defense-in-depth safety principle to mitigate extended SBO, nuclear safety regulators and plant operators in other countries around the world are applying lessons learned from Japan.

IAEA Safety Rules and Safety Guides are not mandatory. Moreover, country specific rules and regulations add more complexity and problem for the implementation of IAEA recommendations. To avoid this kind of ambiguity and inadequacy, there is a need for a set of comprehensive minimum mandatory rules for important safety issues like Emergency Power Supply System (EPSS), SBO etc. which must be followed by all NPPs around the world. IAEA should take a leading role in this mission.

Defense-in-Depth Safety Philosophy in Electrical Design

Nuclear plants are designed and licensed under a defense-in-depth safety approach.

The idea is that if one line of defense is broken there should be another higher level line of defense available to prevent unacceptable exposure of radiation to public. Public health and safety is the highest priority in designing a NPP.

Following lines of defense-in-depth concept are applicable for electrical design of NPPs [7]:

1st line: Normal operation (supply from main+standby grid, main generator);

2nd line: Prevention + Mitigation (supply from emergency power sources);

3rd line: Mitigation of Extended SBO (supply from alternative AC sources);

4th line: Severe accident management.

Alternative AC Sources to Mitigate Extended SBO

Definition of alternative AC source from the 10 CFR 50.2: *Alternative AC source* means an AC power source that is available to and located at or nearby a NPP and meets the following requirements:

- (1) Is connectable to but not normally connected to the offsite or onsite emergency AC power systems;
- (2) Has minimum potential for common mode failure with offsite power or the onsite emergency AC power sources;
- (3) Is available in a timely manner after the onset of station blackout; and
- (4) Has sufficient capacity and reliability for operation of all systems required for coping with station blackout and for the time required to bring and maintain the plant in safe shutdown (non-design basis accident).

The current definition does not insist that alternative AC sources shall withstand design-basis and beyond-design-basis accident. This is perhaps the weakest part of the current requirement of alternative AC sources to mitigate extended SBO. Alternative AC sources belong to "level 3" defense line. Therefore, requirement of alternative AC sources must be more stringent than level 1 and level 2 AC sources so that under extreme adverse condition it can act to avoid disaster like Fukushima Daiichi event.

Independent, redundant, and diversified on-site and off-site AC power sources with appropriate capacity, and qualification to withstand required design-basis or beyond-design-basis external events are the proper candidates for alternative AC sources to mitigate extended SBO. The connection of the alternative AC sources shall be designed in such manner to minimize the probability of failure in critical situations.

With reference to the particular NPP, site location and site vicinity, closely located hydro power plant (HPP), cogeneration plant (CGP), or other electrical power generation facility can be used as alternative source of emergency power supply in case of severe accidents and plant SBO. In order to make this possible, electrical transmission connection shall exist, and the design shall meet the criteria for survival in case of earthquake, floods, etc.

Advanced design features to manage SBO consequences

Taking into account the Fukushima scenario, two of the most important critical situations to be handled in result of SBO are:

Core cooling;

Hydrogen management.

Advanced design for emergency heat removal, caused by SBO

To provide make-up to emergency heat removal tanks following 24 hours, in case of complete loss of all the alternating current sources, for example for PWR design to foresee low-power pump, which is located in protected chamber and connected to respective cooling system tanks can be foreseen. Power to such pumps can be supplied by channel with increased service time - designed for 72 hours of off-line operation. The option connecting movable DG is an important tool in critical situations related to SBO.

A mobile high-pressure Diesel pump can be provided as part of the additional means as redundant for the make-up function of for emergency heat removal tanks, in case of beyond design basis accident (BDBA) with complete loss of all alternating current sources. Appropriate pump bypass design to the piping connections shall be foreseen. The location of such means shall be carefully selected, in order to avoid common cause failures and loss of functionality in critical situations.

In order to manage SBO the emergency power supply system shall be designed in such way that during the accidents leading to loss of all the AC sources, switchgears which ensure operation of BDBA change over automatically to independent operating mode. This channel of the system of emergency power supply at BDBAs includes storage batteries with discharge time of more than 24 hours and the possibility of connecting movable DG.

Advanced I&C design for emergency coping

Control of all the elements related to emergency reactor cooling with motor drive, electrical actuators, control rods control, etc., supervision over condition and position of the elements, monitoring of process parameters as well as warning and alarm signalization in full scope shall be provided in main control room (MCR) and emergency control room (ECR). The ECR design shall exclude factors that may impose common cause failures and the risks that may reduce the possibility for the personnel to change over the NPP unit control to it.

System of Passive Heat Removal through Steam Generators

In two-loop PWR design the system of passive heat removal through Steam Generators constitutes engineered feature for coping with BDBA. The system shall be designed to ensure continuous core residual heat removal to final absorber through the secondary circuit in case of BDBA.

The system shall fulfill the following functions during BDBA:

- Residual heat removal and reactor plant cool down in the case of complete NPP blackout;
- Residual heat removal and reactor plant cool down in the case with complete loss of feedwater;
- Provision of backup to active safety systems in case of failures to them.

The active system capacity shall be selected based on back-up principles, taking into account the conditions of the most probable design-considered scenario of BDBA. The system shall consist of several trains completely independent from each other with appropriate capacity to have redundant number of operable circulation circuits for heat removal, enough to perform its functions fully in any mode required.

Hydrogen management

Systems designed to control the hydrogen concentration and to make possible coping in SBO situations in order to prevent increased critical concentration of hydrogen are of very high importance to avoid explosions in a NPP reactor containment zone.

Possible critical situations:

Design basis accidents (DBAs):

Accidents with leaks of the primary coolant are followed by hydrogen releases into the accident containment area (ACA) compartments as compared with the other DBAs being considered. In case of DBA with primary coolant leak, the following processes constitute the sources of hydrogen inside ACA compartments:

- Steam-zirconium reaction;
- Release of hydrogen dissolved in the coolant;
- Coolant radiolysis in the primary circuit;
- Water radiolysis in the fuel pool;
- Water radiolysis in the sumps;
- Decomposition of hydrazine and ammonia;
- Radiation decomposition of polymeric lacquer coating;
- Other phenomena.

At DBAs no conditions arise in the reactor core for occurrence of intensive steam-zirconium reactions, since the maximum design limit of damage of fuel elements does not exceed. Fraction of reacted zirconium does not exceed one percent of the total mass.

Hydrogen removal system in the case of DBA shall start operation as soon as hydrogen concentration in the compartments of an ACA has reached the respective indicative level (this level depends on the particular design characteristics).

Efficient recombiners in all the ACA compartments shall be utilized during an accident; hydrogen concentration in the gas mixture has to be maintained at the level preventing appearance of any possibility for combustion concentration.

Beyond design basis accidents (BDBAs)

The most hazardous BDBA for NPP being considered are those severe accidents, which lead to core damage. These accidents are followed by generation of significant volumes of hydrogen as a result of intensive steam-zirconium and steel-steam reactions.

Hydrogen removal system in the mode of BDBA shall start operation as soon as hydrogen concentration in the compartments of an accident containment area has reached the respective level (this level depends on the particular design characteristics).

Efficient recombiners within all the ACA compartments shall be used to maintain the hydrogen concentration at the level preventing detonation and propagation of fast burning. Appropriate indicative levels with sufficient safety margins must be used to start operation of hydrogen management means.

Cooling intake of NPP plants – related to the reliable and safe operation of NPP

The source of cooling water shall be selected not only on economical approach. One example for feasible design: Even in the case of a critical dry up during the summer of 2003, when some nuclear facilities located in the vicinity of the banks of the Danube river were stopped due low level of water, the operation of the cooling water pump station for the NPP units located on the Bulgarian bank was not affected.

Conclusions and Recommendations

In particular for the Fukushima NPP - The author assumes that reduction of construction costs as choosing to use cheaper cooling water from the ocean has played a fatal role. Even high enough walls have been constructed to face the ocean side of the NPP site, it would not had helped to prevent the accident – the tide wave came in wide front, so such kind of walls should have been made to surround the units – in case of flooding this may look as a “hole in the sea” - that is definitely not a feasible solution. As related to technological aspect – older types of reactor installations shall be observed critically in order to identify any possible risk. Older types of BWRs have been constructed on rather economically oriented manner, which may impose risks in critical situations.

As the experience in Bulgaria shows the conservative approach in design and construction is absolutely obligatory for safe NPP operation. Nevertheless proven NPP design of units has not indicated any technological risk, some doubtful arguments were used for the stopping of 4 units. As the experience of Fukushima shows much riskfull designs (in aspect of site selection, auxiliaries supply design and location, etc.) were not analyzed critically, which gives a basis for doubts for the equity of the judgments imposed on the NPP facilities in global scale [12,13].

Extended SBO beyond allowable coping time must be prevented to avoid disaster like Fukushima NPP.

Seismic and flooding must be considered in SBO rule. NPP site position shall be analyzed for risks related to its vicinity (ocean/sea proximity) and possible indirect impact: river dams, hydro structures, etc.

Coping in case of SBO shall be improved by moving defense-in-depth principle in electrical design.

Alternative AC sources to mitigate extended SBO must withstand required design-basis and beyond-design-basis accidents.

Very detailed analyses of the performance safety systems of the NPPs are obligatory [15].

Modeling of any possible situation of natural disaster impact, equipment failure must be counted, analyzed / modeled and used in the design of NPP facilities [16].

Adequate mitigation of extended SBO must be clearly described in the Preliminary and Final Safety Analysis Reports (PSAR and FSAR).

Diversity rule among AC power sources shall be firmly applied to avoid common cause failure.

Different regulatory authorities with diverse requirements have made it almost impossible to follow unified safety standards. There is definitely a need of common safety standards on very important issues like EPSS, SBO. Compliance with these common safety standards shall be made mandatory for all NPPs around the world. IAEA should take a lead in this mission.

Preparedness for Nuclear accident. There should be clearer internationally recognized and followed program for preparedness in case of accidents. This preparedness shall cover measures to protect the people, but also a scope of measures to take over of the critical situations that may occur at NPP site. Movable means for power supply shall be available on appropriate safe and protected place – ready to be used if necessary.

The design of new NPP units shall take in account all the “lessons learned” from Fukushima and other accidents. Safety train separation, multilevel redundancy and diversification shall be a basis for the design. Passive systems shall be a priority as a vital option to manage situations related to SBO [17].

Any economical approach in order to save funds on the count of safety and physical protection is not sustainable approach in NPP design. The most important role of the designer, constructor and operator (owner) of NPP is to provide maximum protection of the public health. Any possibility for exposure to radiation and radioactive emissions in the biosphere shall be avoided. The response of the international society is very critical in case of NPP accidents. In order to avoid any “black spots” on the nuclear technology for the future commonly recognized and observed rules must be imposed.

The perspectives for NPP operation for the future must be cleared from any risks, as the NPP technology is vital option for sustainable development, and option to reduce large amounts of greenhouse emissions in the atmosphere in order to decrease the impact on the nature and minimize climate changes.

REFERENCES

- [1] “The 3/11 Fukushima Nuclear Accident: What Happened and Lessons Learned (so far)” – Tatsujiro Suzuki, May 2011.
- [2] “NRC Study Shows the Serious Consequences of a Fukushima – Type Accident in the US” – Union of Concerned Scientists (UCS), July 29, 2011.
- [3] 10 CFR 50.2, “Definitions” – US Nuclear Regulatory Commission (NRC), 10 CFR Ch 1 (1-1-99 edition).
- [4] 10 CFR 50.63, “Loss of all alternating current power” - US Nuclear Regulatory Commission (NRC), 10 CFR Ch 1 (1-1-09 edition).
- [5] RG 1.155, “Station Blackout”, US Nuclear Regulatory Commission (NRC), August 1988.

- [6] “Recommendations For Enhancing Reactor Safety in the 21st Century” The Near-Term Task Force Review of Insights from the Fukushima Daiichi Accident, US Nuclear Regulatory Commission (NRC), July 12, 2011.
- [7] IEEE SC4 Electrical Systems of NPPs IEC Design – Oliver Sobott, AREVA, 2012.
- [8] NUREG-1776. Regulatory Effectiveness of the Station Blackout Rule. U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- [9] Fundamental safety principles. IAEA Safety Standards, safety Fundamentals, No SF-1.
- [10] Event sequences in Fukushima Dai-ichi and Dai-ni following the Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Oki earthquake on 11.03.2011. Report 11032011 of Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI.
- [11] Post-Fukushima accident - Peer review country report: Stress tests performed on European nuclear power plants. European Nuclear Safety Regulators Group (ENREG). Stress Test Peer Review Board.
- [12] Fukushima’s Lessons. Presentation by David Lochbaum, Edwin Lyman, Union of Concerned Scientists, July 19, 2012, www.ucsusa.org.
- [13] An Evaluation of the NRC Response to the Fukushima Nuclear Accident. Presentation by Christopher Paine, Natural Resources Defense Council (NRDC), August 7, 2012.
- [14] Briefing on the Progress of the Task Force Review of NRC Processes and Regulations Following the Events in Japan. Presentation by Bill Borchardt, Executive Director for Operations, USNRC, May 12, 2011.
- [15] Иванов И., Калейчев П. Подход за вероятностна оценка на надеждността на електрозахранване на система за пожарна безопасност в АЕЦ. Доклади Том 2, Енергиен Форум, Варна, 14 – 17 юни, 2006, с. 140 – 145.
- [16] Mikasser S., Kaleychev P., Ang M. L, Hultqvist G, Hugon M. Towards harmonisation of level 2 probabilistic safety assessment in Europe. Summary Paper of the Workshop. FISA 2007 Proceeding, Post FISA Workshop # 7, Luxembourg, 13 – 16 March, 2006, p 612 – 624.
- [17] Defense in depth of electrical systems and grid interaction. CSNI Draft report. Final DIDELSYS task group report, 2008.

Автор:

eng. Dimitar Christov Bogdanov, Ph.D. - associated professor in “Electrical power engineering” chair, Faculty of electrical engineering of Technical University of Sofia, email: dbogdanov@tu-sofia.bg, dimitar_bogdanov@hotmail.com

СЕКЦИЯ – ОСВЕТЛЕНИЕ**ИЗМЕРВАНЕ НА СКОТОПИЧНА И МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ****Ангел Пачаманов**

Резюме: Фотопична, скотопична и мезопична яркост. Граница на намаляване на чувствителността на фотоприемника при зададени ограничения от оптичната система на яркомера. Алгоритъм за изчисляване на мезопична яркост по фотопична и скотопична яркост на дефинираното поле. Директно измерване на мезопична яркост на база филтър, осигуряващ чувствителност $V_{mes}(\lambda)$ на силициев фотоприемник. Прилагане на CCD матрици за измерване на малки мезопични яркости.

Ключови думи: мезопично зрение, яркомери със CCD матрици

MEASURING OF SCOTOPIC AND MESOPIC LUMINANCE**Angel Pachamanov**

Abstract: Photopic, scotopic and mesopic luminances. Limit of reducing the sensitivity of the receiver viewed with restrictions set by the optical system of the luminance-meter. Algorithm for calculating of mesopic luminance with photopic and scotopic luminances in defined field. Direct measurement of mesopic luminance based of filter, providing sensitivity $V_{mes}(\lambda)$ of silicon photo-receptor. Application of CCD arrays for measuring small mesopic luminance.

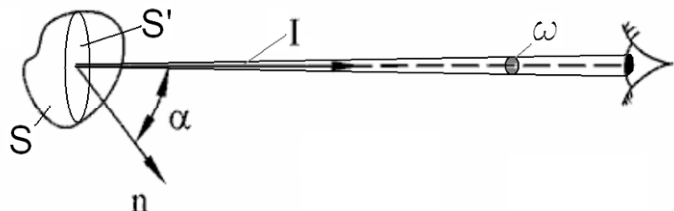
Keywords: mesopic photometry, luminance-meters with CCD arrays

1. Въведение

Яркостта е основна величина в осветителната техника, на която е пропорционално зрителното усещане. Дефинира се като повърхностна плътност на интензитета на светлината от светеща повърхност S в посока на наблюдател, разположен на достатъчно голямо разстояние, така че светещата повърхност да може да се приеме за точков излъчвател:

$$(1) \quad L = \frac{I}{S'} = \frac{\Phi/w}{S'}$$

където Φ е светлинният поток, попадащ в отвора на окото на наблюдателя; ω – пространствен ъгъл, под който се вижда отвора на окото от центъра на светещата повърхност; S' е площ на проекцията на светещата повърхност в равнина перпендикулярна на посоката на наблюдателя.



При адаптация на окото на яркост над 5 cd/m^2 (дневно зрение, осигурявано от три типа фоторецептори с форма на колбички, разположени основно в

централната част на ретината) зрителното усещане е функция на т.н. фотопичен поток, определен по формулата:

$$(2) \quad \Phi = 683 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V(\lambda_i) \cdot \Delta I \quad [\text{lm}],$$

където 683 [lm/W] е максималната спектрална светлинна ефективност на дневното зрение, получена за монохроматично излъчване с дължина на вълната $\lambda_m=555 \text{ nm}$ (лъчист поток с мощност 1/683 W, излъчен при $\lambda_m=555 \text{ nm}$ съответства на светлинен поток $\Phi=1 \text{ lm}$); $j(I_i) = \Delta\Phi_e(I_i)/\Delta I$ [W/nm] – стойности на спектралната плътност на лъчистия поток Φ_e [W] в диапазона 380-780 nm; $V(\lambda_i)$ – стойности на относителната спектрална чувствителност на дневното зрение; $\Delta\lambda$ – стъпка за дискретизация на диапазона 380-780 nm.

Зрителното усещане при адаптация на окото на яркост под $0,005 \text{ cd/m}^2$ (нощно зрение, осигурявано от фоторецептори с форма на пръчици, разположени равномерно по цялата ретина) е функция на т.н. скотопичен поток, определен по формулата:

$$(3) \quad \Phi' = 1700 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V'(\lambda_i) \cdot \Delta I,$$

където 1700 [lm/W] е максималната спектрална светлинна ефективност на нощното зрение, получена за монохроматично излъчване с дължина на вълната $\lambda_m=507 \text{ nm}$ (лъчист поток с мощност 1/1700 W, излъчен при $\lambda_m=507 \text{ nm}$ е равностоеен на светлинен поток $\Phi'=1 \text{ lm}$); $j(I_i) = \Delta\Phi_e(I_i)/\Delta I$ [W/nm] – стойности на спектралната плътност на лъчистия поток Φ_e [W] в диапазона 380-780 nm; $V'(\lambda_i)$ – стойности на относителната спектрална чувствителност на нощното зрение; $\Delta\lambda$ – стъпка за дискретизация на диапазона 380-780 nm.

Величината фотопична яркост L , изчислена по формула (1), е приета за основна величина при оценяване осветяването на повърхности, като нормираната ѝ стойност [1] в стандарта за улично осветление е за поток Φ , определен по уравнение (2). В действителност стойността ѝ се „покрива“ с понятието *светлост* (brightness) само при осветяване на сиви повърхности (сините повърхности се възприемат като по-светли от червените повърхности).

Величината скотопична яркост L' се отнася за случая, когато в уравнение (1) вместо Φ , изчислен по (2) се замести Φ' , изчислен по (3). При ниски яркостни нива (фотопична яркост под $0,005 \text{ cd/m}^2$) възприеманата светлост (brightness) при цветни повърхности съответства на измерената стойност L' , тъй като нощното зрение не е „цветно“ и всичко се вижда в нюанси на сивото.

Разлика между „това, което се измерва (фотопична яркост) и това което се вижда (светлост)“ съществува и в яркостния интервал от 5 до $0,005 \text{ cd/m}^2$, в който фоторецепторите на двете системи «работят» едновременно: с колбички, основно разположени в централната част на окото, и с пръчици, равномерно разпределени по цялата ретина на окото. За този диапазон се въвежда величината „мезопична яркост“ L_{mes} , която по подобие на фотопичната яркост L се определя по (1), но за поток Φ_{mes} [2], получен по формулата:

$$(4) \quad \Phi_{mes} = \frac{683}{V_{mes}(I_0)} \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V_{mes}(I_i) \cdot \Delta I,$$

където $V_{mes}(\lambda_0)$ е стойността на функцията $V_{mes}(\lambda)$ при $\lambda=555$ nm, а $\varphi(\lambda)$ - спектралната плътност налъчистия поток [$W \cdot nm^{-1}$]. Разликата между „това, което се измерва (мезопична яркост) и това което се вижда (светлост)“ не е в такава степен, каквато е между фотопична яркост и светлост, но съществува. Това е така, защото в модела на СИЕ [2] спектралната чувствителност на мезопичното зрение $V_{mes}(\lambda)$ се определя като линейна функция на кривите за дневно и нощно виждане $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$, а те са получени при осветяване на ахроматична повърхност:

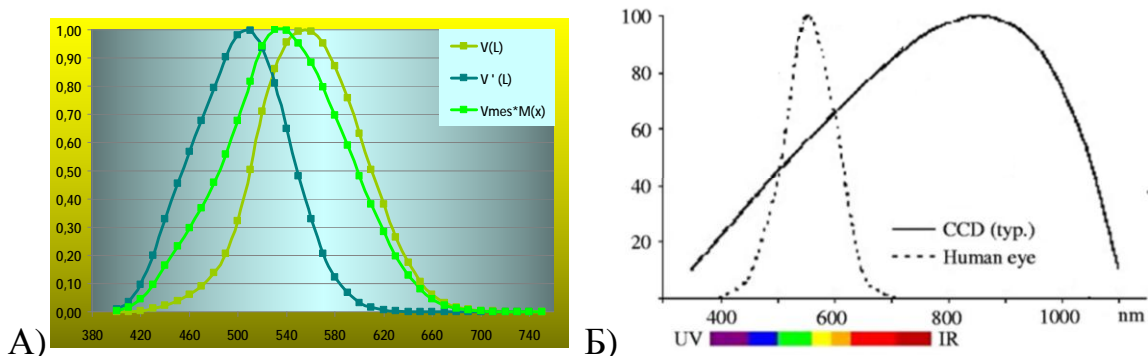
$$(5) \quad V_{mes}(I) = [m \cdot V(I) + (1 - m) \cdot V'(I)] / M(m),$$

където $0 \leq m < 1$, а $M(m)$ е нормализираща функция, избрана така, че максималната стойност на $V_{mes}(\lambda)$ да се получи 1. Когато $m=1$, $V_{mes}(\lambda)=V(\lambda)$ – зрението е фотопично; когато $m=0$, $V_{mes}(\lambda)=V'(\lambda)$ – зрението е скотопично.

2. Същинска част

2.1. Основни зависимости при измерване на яркост

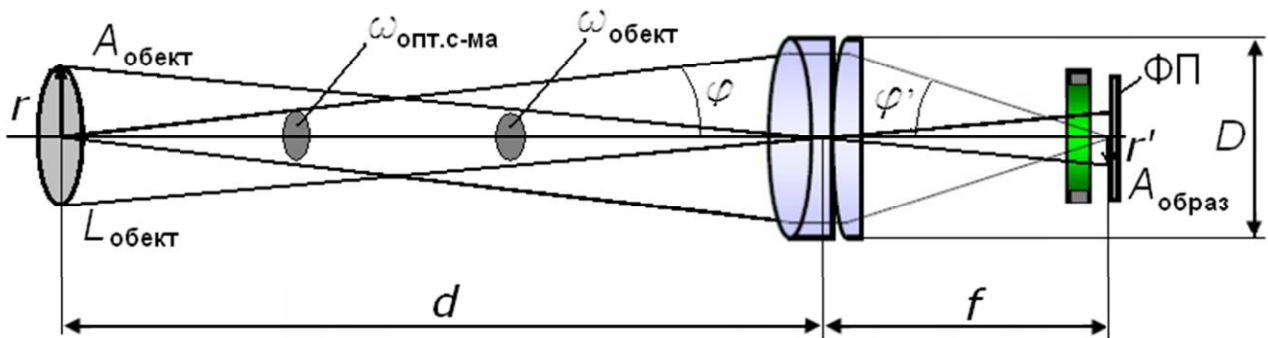
Съгласно изложеното в т.1, разликата при измерване на фотопична и скотопична яркост е в спектралната чувствителност на използвания фотоприемник. При първата тя съвпада с кривата на дневното зрение $V(\lambda)$, а при втората – с кривата на нощното зрение $V'(\lambda)$ (фиг.1а).



Фиг.1. Спектрална чувствителност: а) на човешко зрение - скотопично $V'(\lambda)$, мезопично $V_{mes}(\lambda)$ за 0.3 cd/m^2 и фотопично $V(\lambda)$; б) на CCD матрица (силициевы фотоеlementи със спектрална чувствителност $s(\lambda)$)

Силициевият фотоеlement е с относителна спектрална чувствителност $s(\lambda)$ показана на фиг.1б. За да може да се използва като фотоприемник за фотопична яркост пред него се поставя коригиращ филтър (фиг.2), със спектрални коефициенти на пропускане, изчислени по формулата $t_{PH}(I_i) = V(I_i) / s(I_i)$. Съответно, за измерване на скотопична яркост, пред силициевия фотоеlement се поставя филтър със стойности $t_{SC}(I_i) = V'(I_i) / s(I_i)$. Резултантната чувствителност на комплектите филтър-фотоприемник ще бъде:

$V(\lambda)=\tau_{PH}(\lambda).s(\lambda)$, за измерване на фотопична яркост и $V'(\lambda)=\tau_{SC}(\lambda).s(\lambda)$, за измерване на скотопична яркост.



Фиг.2. Постановка за извеждане на основните зависимости между величините при измерване на яркост

Връзка между основните величини

Два пространствени ъгъла са с важна роля при измерване на яркост: ъгълът $\omega_{\text{обект}}$, под който обектът се вижда от яркомера и ъгълът $\omega_{\text{опт.с-ма}}$, под който отворът на оптичната система на яркомера се вижда от обекта. Последният бързо се променя при промяна на разстоянието до обекта d . Яркостта на обекта $L_{\text{обект}}$ се преобразува в яркост на изображението върху светлочувствителната повърхност на фотоприемника на разстояние, приблизително равно на фокусното разстояние f на системата от лещи.

Ако се въведе показател η , отчитащ ефективността при получаване на образа, попадалият върху фотоприемника светлинен поток е $\Phi_{\text{ФП}}=\eta.\Phi_D$, където Φ_D е светлинният поток, постъпващ през отвора на яркомера.

Интегралната чувствителност $S = I_{ph}/\Phi_{\text{ФП}}$ на фотоелемент се представя с тока във външната верига на нахъсосъединените анод и катод, когато върху повърхността му попада светлинен поток 1 lm ($1/683 \text{ W}$ на монохроматично излъчване с дължина на вълната 555 nm).

Интегралната чувствителност на фотоелементите се определя със стандартен източник тип „А” (нажежаема лампа с цветна температура 2854K) като измереният фототок се разделя на произведението от активната площ на фотоелемента и реализираната осветеност на повърхността. Например, ако фотоелемент с площ 15.10^{-6} m^2 има ток на к.с. 25.10^{-6} A и на повърхността му е реализирана осветеност $E=2000 \text{ lx}$:

$$S=I_{ph}/\Phi=I_{ph}/(A_{\text{ФП}}.E)=25 \cdot 10^{-6}/(15 \cdot 10^{-6} \cdot 2000)=0,000833 \text{ A/lm}$$

Ако светлината е от монохроматичен източник с излъчване при 555 nm интегралната чувствителност може да се изрази и в A/W :

$$S_e=I_{ph}/\Phi_e=(0,000833 \text{ A/lm})/((1/683)\text{W/lm})=0,569 \text{ A/W}.$$

За да се определи стойността на фототока I_{ph} при различна площ на обекта $A_{\text{обект}}$ и различни разстояния до обекта d трябва да се изведе връзката между стойността на фототока I_{ph} и яркостта на обекта L :

$$(6) \quad I_{ph} = S h \Phi_D = S h I_{\text{обект}} \cdot \nu_{\text{опт.с-ма}} = S h L A_{\text{обект}} \cdot \nu_{\text{опт.с-ма}},$$

където $A_{\text{обект}} = \omega_{\text{обект}} \cdot d^2$ е площ, перпендикулярна на направлението на наблюдение, а пространственият ъгъл $\omega_{\text{опт.с-ма}} = \pi \cdot D^2 / (4 \cdot d^2)$ се определя от диаметъра на отвора на яркомера D и разстоянието до обекта d .

След заместване в (6) за фототока I_{ph} се получава:

$$(7) \quad I_{ph} = S \cdot h \cdot L \cdot w_{\text{обект}} \cdot \frac{p \cdot D^2}{4},$$

т.е. при известна интегрална чувствителност на фотоприемника S и зададена минимална яркост на обекта L големината на фототока I_{ph} еднозначно се определя от диаметъра D на входящия отвор на оптичната система и пространствения ъгъл $w_{\text{обект}} = A_{\text{обект}} / d^2$.

Ако са зададени минималната стойност на фототока I_{ph} (поне два пъти над шума на фотоелемента), диаметърът D на оптичната система и минималната стойност на яркостта на обекта L , която трябва да се измерва, необходимата интегрална чувствителност на фотоприемника се получава от израза:

$$(8) \quad S = \frac{4 \cdot I_{ph}}{h \cdot L \cdot w_{\text{обект}} \cdot p \cdot D^2},$$

а необходимата площ, върху която трябва да се фокусира образът на обекта и от която се определя фокусното разстояние на оптичната система:

$$(9) \quad A_{\text{фл}} = \frac{I_{ph}}{S \cdot E},$$

където E [lx] е осветеността на активната повърхност на фотоелемента.

Определяне на размера на изображението и създаваната осветеност

Отворът на филтъра пред фотоприемника е с размери, съответстващи на редуцирания размер на обекта (фиг.2), изчислен по закона на Клаузиус (1864):

$$(10) \quad n \cdot r \cdot \sin j = n' \cdot r' \cdot \sin j',$$

където n и n' са показателите на пречупване на средите, в които се намират обектът и образът му. Ако за удобство се приеме, че $n = n' = 1$, а $A_{\text{обект}}$ да е кръг с радиус r , то образът му $A_{\text{образ}}$ също е кръг, но с радиус r' . Тогава необходимите параметри на обекта и изображението ще бъдат:

$$(11) \quad r' = r \frac{\sin j}{\sin j'}; \sin j = \sin(\arctg \frac{D/2}{d}); \sin j' = \sin(\arctg \frac{D/2}{f}); A_{\text{обект}} = p \cdot r^2; A_{\text{образ}} = p \cdot r'^2,$$

при което създаваната осветеност от изображението ще бъде:

$$(12) \quad E_{\text{фл}} = \frac{\Phi_{\text{фл}}}{A_{\text{образ}}} = \frac{h \cdot \Phi_D}{p \cdot r'^2} = \frac{h \cdot L \cdot A_{\text{обект}} \cdot V_{\text{опт.с-ма}}}{p \cdot r'^2} = \frac{h \cdot L \cdot A_{\text{обект}} \cdot p \cdot D^2 / (4 \cdot d^2)}{p \cdot r^2 \cdot \sin^2 j / \sin^2 j'} = \\ = \frac{h \cdot L \cdot p \cdot \sin^2 j'}{\sin^2 j} \cdot \text{tg}^2 j = \frac{h \cdot L \cdot p \cdot \sin^2 j'}{\cos^2 j} \approx h \cdot L \cdot p \cdot \sin^2 j' \text{ [lx]},$$

тъй като $\cos^2 j \approx 1$.

Прилагане на методиката:

Да се изчисли оптична система на яркомер, използващ фотоелемент OSD60-E с активна площ 100 mm^2 , диаметър $11,3 \text{ mm}$; интегрална чувствителност $S=56 \text{ nA/lx}$; ток на тъмно 8 nA ; относителна спектрална чувствителност $s(\lambda)$, съгласно крива 2 (вдясно).

Да се определи минималната яркост на пътното платно,

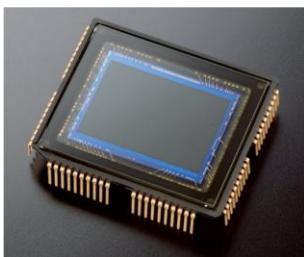
която може да се регистрира за зададени размери на полето $8 \times 40 \text{ m}$ и зададен диаметър на лещата D , така че фототокут I_{ph} да надхвърля 1 път тока на тъмно. Яркомерът е на 60 m пред полето и е насочен към центъра му под ъгъл 1 градус.

Фокусното разстояние f на лещата да се определи така, че образът на обекта почти изцяло да запълва площта на фотоелемента.

Решение в четири варианта*. Разликата от описаното по-горе е, че участъкът от пътното платно се проектира върху фотоелемента като трапец, а не като кръг.

η	$L, \text{ cd/m}^2$	$D, \text{ mm}$	$f, \text{ mm}$	$\alpha, ^\circ$	$d, \text{ m}$	$S, \text{ nA/lx}$	$A, \text{ mm}^2$	$I_t, \text{ nA}$	$E, \text{ lx}$	$I_{ph}, \text{ nA}$
0,9	20	40	100	1	80	56	100	8	0,272	11,5
0,9	10	50	100	1	80	56	100	8	0,133	9,0
0,9	5	80	100	1	80	56	100	8	0,061	11,5
0,9	1	300	200	1	80	350	600	32	0,0023	33,8

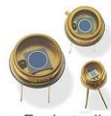
* четвъртият вариант е само за илюстрация, в случай че се използва фотоелемент с активна площ 600 mm^2 , с диаметър $\phi 25 \text{ mm}$. Заради по-високата чувствителност с него може да се измерва яркост до 1 cd/m^2 , но при диаметър на лещата 300 mm !



Извод: За измерване на скотопична и мезопична яркост фотоелементите от класически тип са неприложими, поради ниска интегрална чувствителност, водеща до големи размери на оптичната система. За измерване на нива на яркостта от $0,005$ до 5 cd/m^2 (мезопична) с оптична система с нормални размери като фотоприемник е по-удачно да се използват CCD-матрици (Charge Coupled Device). Поради възможността да натрупват заряди в елементарни «фотоелементи» за продължителен период от време те са с многократно по-висока чувствителност. Комплектоването им с микропроцесорни системи за обработка на информацията ги прави удобни за определяне не само на средната яркост, но и за разпределението на яркостта по пътното платно.

2.2. Измерване на мезопична яркост

Косвен метод за измерване на мезопична яркост

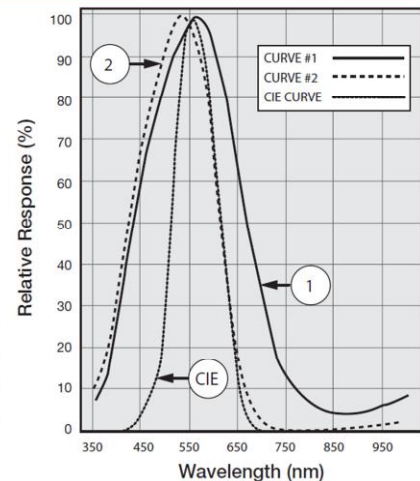


The Series E photodiodes have been color corrected to provide a photopic eye response. These devices can be used as low illuminance monitors, i.e. visible light measurement instruments and adjusting brightness of visible display.

Lux $\text{lx (lm/m}^2)$	Watt per square cm^* W/cm^2
1	5.0×10^{-6}
1.000×10^4	9.290×10^{-2}
1.076×10^1	5.0×10^{-5}
2.0×10^5	1

*Total irradiance (measured value) by the CIE standard light source "A".

■ CIE Curve vs. E Type Parts



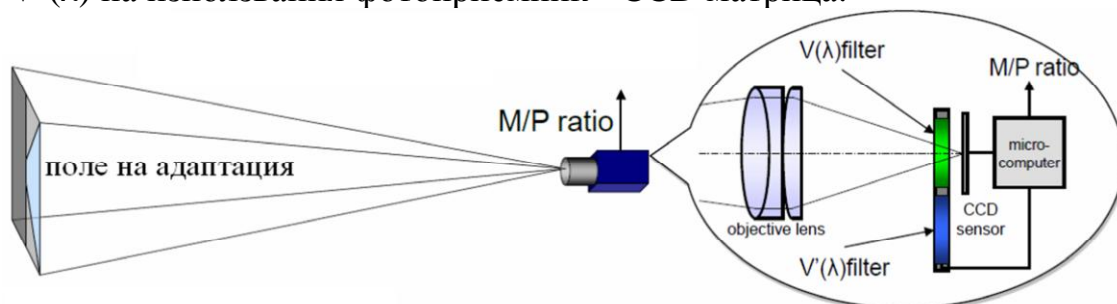
Определянето на чувствителността на окото в яркостния интервал от 5 до $0,005 \text{ cd/m}^2$, когато едновременно работят системите за дневно и нощно виждане, е проблемно поради различното пространствено разположение на двата вида рецептори в окото и различната им чувствителност. Мезопичното зрение е функция на светлинното ниво (определящо активността на фоторецепторите от двете системи) и адаптационното поле (определяно от ъгъла на наблюдение), определящо степента на възбуждане на периферно разположените пръчици. Приетият от СИЕ линеен модел за получаване на $V_{mes}(\lambda)$, съгласно формула (5) само частично отразява описаните по-горе особености. Тъй като засега не е предложено нещо по-добро за замяна на този модел, техническите устройства за измерване и контрол на мезопичната яркост се основават на него. Алгоритъм за изчисляване на мезопична яркост по фотопична и скотопична яркост е публикуван в [2]. Разработен е така, че да не се налага да се дефинира поле на адаптация - мезопичната яркост L_{mes} и конкретната стойност на m се получават чрез итерационна формула, в която определящи са предварително измерените фотопична L_{ph} и скотопична L_{sc} яркост. Започва се от $m_0=0,5$ и след няколко итерации се достига до действителната стойност L_{mes} :

$$(13) \quad L_{mes(n)} = \frac{m_{(n-1)} \cdot L_{ph} + (1 - m_{(n-1)}) \cdot L_{sc} \cdot V'(I_0)}{m_{(n-1)} + (1 - m_{(n-1)}) \cdot V'(I_0)},$$

$$(14) \quad m_{(n)} = a + b \cdot \log_{10}(L_{mes(n)}),$$

където $V'(\lambda_0)=683/1699=0,402$ е стойността на $V'(\lambda)$ при 555 nm , а двете константи са: $a=0,767$ и $b=0,3334$ [2].

Този алгоритъм е в основата на яркомер (фиг.3) за мезопична яркост [4], който чрез изчислено отношение между мезопична и фотопична яркост M/P позволява да се получи мезопичната яркост $L_{mes}=(M/P) \cdot L_{PH}$. Двете яркости се получават с помощта на два филтъра, осигуряващи спектрална чувствителност $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$ на използвания фотоприемник - CCD матрица.



Фиг.3. Яркомер за последователно измерване на фотопична и скотопична яркост за изчисляване на M/P отношение [4]

Директно измерване на мезопична яркост чрез филтър $\tau_{mes}(\lambda)$

Кривите $V_{mes}(\lambda)$ са различни за различните нива фотопична яркост, нормирана в стандарта за улично осветление по категории улици [1]. Това предполага разработване на серия филтри за спектрална корекция по $V_{mes}(\lambda)$, съответстващи на нивата фотопична яркост на всеки тип улица [3].

Конкретната мезопична яркост L_{mes} се определи по израза:

$$(13) \quad L_{mes}(I) = \frac{683}{V_{mes}(I_0)} \int_{380nm}^{780nm} V_{mes}(I) \cdot le(I) \cdot dI ,$$

където $V_{mes}(\lambda_0)$ е стойността на функцията при $\lambda=555$ nm, а $le(\lambda)$ - спектралната плътност на яркостта [$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$] за дефинираното поле на адаптация.

3. Заключение

Прилагането на принципа „проектиране по мезопична яркост/осветеност“ изисква необходимостта от разработване на уреди за измерване на реализираните показатели на осветителните уредби. Разгледаните особености при измерване на фотопична, скотопична и мезопична ще бъдат използвани при конструиране на измервателна апаратура за целите на изследователската работа и за нуждите на експлоатацията (регистрираща и управляваща).

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012 г., научен проект в помощ на докторант «Мезопична фотометрия и енергийна ефективност в уличното осветление», договор № 121ПД0037-01/26.04.2012.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13201-2:2003. Улично осветление. Част 2: Технически изисквания
- [2] CIE 191:2010 “Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance”
- [3] Пачаманов А., Д. Павлов. Филтри за спектрална корекция на фотоприемници при измерване на мезопична яркост. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09-01.10.2012, гр. Созопол
- [4] Tatsukiyo Uchida, Yuqin Zong, Cameron Miller, and Yoshi Ohno. A Practical Photometer for CIE Performance Based Mesopic Photometry System. CORM 2011: May 4-6, 2011, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD
- [5] Пачаманов А., Д. Пачаманова. Оптимизационни модели за спектрална корекция на фотоприемници чрез пълно и частично филтриране на потока. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09-01.10.2012, гр. Созопол

Автор:

Ангел Саракинов Пачаманов, д-р инж. – професор в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”, email: pach@tu-sofia.bg, Р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

ОПТИМИЗАЦИОННИ МОДЕЛИ ЗА СПЕКТРАЛНА КОРЕКЦИЯ НА ФОТОПРИЕМНИЦИ ЧРЕЗ ПЪЛНО И ЧАСТИЧНО ФИЛТРИРАНЕ НА ПОТОКА

Ангел Пачаманов, Десислава Пачаманова

Резюме: *Необходимост от коригиране на спектралната чувствителност на фотоприемници; Изчисляване на филтри за корекция на спектралната чувствителност на фотоприемници; Оценка на точността на спектралната корекция; Описание на оптимизационни задачи за пълно и частично филтриране на потока; Резултати от коригиране на спектралната чувствителност на силициев фотоелемент по $V(\lambda)$.*

Ключови думи: *филтри, спектрална корекция, фотоелементи*

OPTIMIZATION MODEL FOR SPECTRAL CORRECTION PHOTOCELLS WITH FULL AND PARTIAL FLOW FILTRATION

Angel Pachamanov, Dessislava Pachamanova

Abstract: *Need to adjust the spectral sensitivity of photo receivers; Calculation of filters for spectral correction of sensitivity photo receivers; Evaluation of the accuracy of spectral correction; Description of optimization problems for full and partial flow filtration; Results from correcting the spectral sensitivity of silicon photocell to $V(\lambda)$.*

Keywords: *filters, spectral correction, photocells*

1. Въведение

Основни характеристики на всеки фотоприемник (фотоелемент или CCD-елемент) са спектралната и интегралната чувствителност в спектралния диапазон 360-830 nm, за който човешкото око е чувствително. Спектралната чувствителност $s(\lambda)$ изразява чувствителността на фотоприемника към монохроматични излъчвания с дължина на вълната λ и се представя с поредица от n стойности, заснети през 5 или 10 nm. Интегралната чувствителност s_v изразява чувствителността на приемника към излъчване със сложен спектрален състав и се измерва в A/lm [1]:

$$(1) \quad s_v = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} j_z(l) \cdot s(l) \cdot dl \Bigg/ K_m \int_{360nm}^{830nm} j_z(l) \cdot V(l) \cdot dl ,$$

където $s(\lambda)$ е абсолютната спектрална чувствителност на приемника [$A \cdot W^{-1} \cdot m^2$]; $\varphi_z(\lambda)$ е относителното спектрално разпределение на потока на светлинния източник, за който се оценява интегралната чувствителност s_v ; $K_m=683$ lm/W е връзката между светлинен и лъчист поток; $V(\lambda)$ е относителната спектрална чувствителност на дневното човешко зрение.

Прието е интегралната чувствителност на приемника да се определя за спектъра на излъчване на нажежаема лампа с цветна температура 2854K (стандартен източник А) и тогава се означава със звезда:

$$(2) \quad s_V^* = \int_{I_{\min}}^{I_{\max}} j_A(I) \cdot s(I) \cdot dI \Big/ K_m \int_{360nm}^{830nm} j_A(I) \cdot V(I) \cdot dI .$$

Релативната интегрална чувствителност се дава като отношение на интегралната чувствителност на приемника, когато е осветен с източник Z и интегралната чувствителност на приемника, когато е осветен с източник А. Използва се като константа $a^*(Z)$, с която трябва да се разделят показанията на уред, калибриран с източник А, но оценяващ уредба, изпълнена с източници Z:

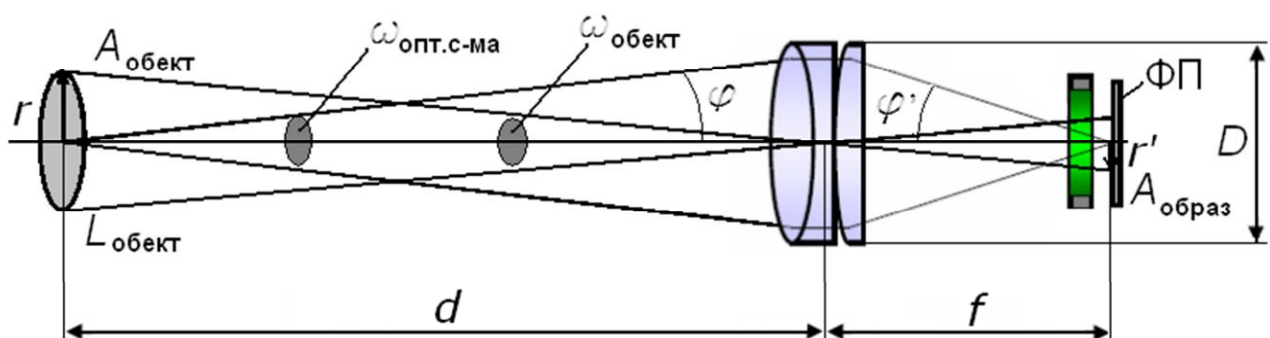
$$(3) \quad a^*(j_Z(I)) = \frac{S_z}{S_A} = \frac{\int_{I_{\min}}^{I_{\max}} j_Z(I) \cdot s_{rel}(I) \cdot dI \Big/ \int_{360nm}^{830nm} j_Z(I) \cdot V(I) \cdot dI}{\int_{I_{\min}}^{I_{\max}} j_A(I) \cdot s_{rel}(I) \cdot dI \Big/ \int_{360nm}^{830nm} j_A(I) \cdot V(I) \cdot dI}$$

Такава константа не е необходима, ако относителната спектрална чувствителност на приемника е точно коригирана до желаната относителна спектрална чувствителност на човешкото зрение [2,3] – дневно (фотопично) $V(\lambda)$, нощно (скотопично) $V'(\lambda)$ или смесено (мезопично) $V_{mes}(\lambda)$. За целта се използва коригиращ филтър (фиг.1), чиито спектрални коефициенти на пропускане се изчисляват по формулата $t(I_i) = V(I_i) / (k \cdot s(I_i))$ [4]. Стойностите на относителната спектрална чувствителност на комплекта филтър-фотоприемник се определят от възможността за точно реализиране на изчислените стойности $\tau(\lambda_i)$, при което $s_{kor}(I_i) = t_{real}(I_i) \cdot s(I_i) / \max(t_{real}(I_i) \cdot s(I_i))$. Оценяването на близостта на получената относителната спектрална чувствителност на комплекта филтър-фотоприемник $s_{kor}(\lambda_i)$, спрямо желаната $V(\lambda)$, се извършва по формулата [1]:

$$(4) \quad f_1^*(I) = \int_{380nm}^{780nm} |s_{kor}^*(I) - V(I)| \cdot dI \Big/ \int_{380nm}^{780nm} V(I) \cdot dI ,$$

където

$$(5) \quad s_{kor}^*(I) = s_{kor}(I) \cdot \int_{380nm}^{780nm} j_A(I) \cdot V(I) \cdot dI \Big/ \int_{380nm}^{780nm} j_A(I) \cdot s_{kor}(I) \cdot dI .$$

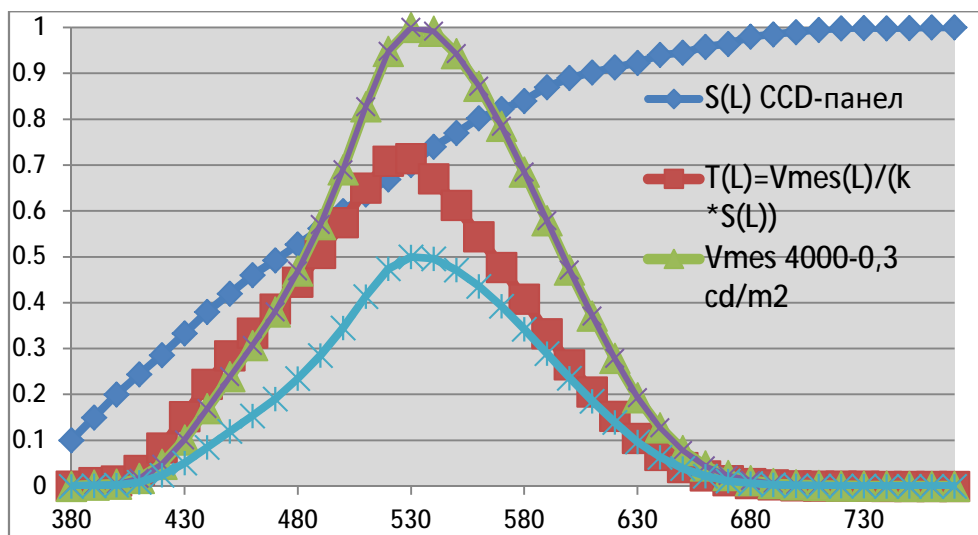


Фиг.1. Оптична система, филтър и фотоприемник (ФП) на уред за измерване на яркост (фотопична, скотопична или мезопична – в зависимост от филтъра)

2. Същинска част

На фиг.2 са показани графично изчислени стойности на филтър [4] $t(I_i) = V_{mes}(I_i)/(k \cdot s(I_i))$ към яркомер (фиг.1) за измерване на мезопична яркост [3], съответстваща на фотопична яркост 0,3 cd/m² [2]. Реализацията на филтъра е на две стъпки, за които са формулирани две оптимизационни задачи:

- 1) Пълно филтриране на потока: търси се набор от цветни стъкла с еднаква площ и различна дебелина, така че сумата от квадратите на разликите между изчислените стойности $t_{et1}(\lambda_i)$ и коефициентите на пропускане $\tau x1(\lambda_i)$ на поставените едно зад друго цветни стъкла да бъде минимална;
- 2) Филтриране по части: търси се набор от поставени един до друг сегменти от цветни стъкла с различна площ и дебелина, така че сумата от квадратите на разликите между изчислените стойности $t_{et2}(\lambda_i)$ и получените коефициенти на пропускане $\tau x2(\lambda_i)$ на набора стъкла да бъде минимална.



Фиг.2. Стойности $t(I_i) = V_{mes}(I_i)/(k \cdot s(I_i))$ на филтър за мезопична яркост, съответстваща на фотопична яркост 0,3 cd/m²

Описание на оптимизационните задачи

I етап: пълно филтриране

Пълното филтриране представлява метод за корекция на спектралната чувствителност на фотоприемник [5], при който чрез един или няколко слоя цветни стъкла с дебелини, определени от ограничително условие за допустимо минимално пропускане $\tau x1(k)$ на получения филтър1

$$(6) \quad \tau x1(k) > \tau x1_{\min}$$

и необходимите коефициенти на пропускане $t_{et1}(i)$, така че

$$(7) \quad t_{et1}(i) = V(i)/[k_1 \cdot s(i)],$$

се реализират коефициенти на пропускане $\tau x1(i)$, функция на свойствата на използваните слоеве стъкла:

$$(8) \quad \tau_{x1}(i) = \tau_r(i) \cdot \tau_{or}(i) \cdot \tau_y(i) \cdot \tau_{yg}(i) \cdot \tau_{gr}(i) \cdot \tau_{bl}(i).$$

Необходимите стойности на коефициентите на пропускане по (7) са определени така, че комплектът филтър1-приемник да има стойности на спектрална чувствителност кратни на тази на човешкото око $k_1 \cdot t_{et1}(i) \cdot s(i) = V(i)$. Коефициентът k_1 отразява намаляването на оригиналната спектрална чувствителност приемника $s(\lambda)$ вследствие наличие на филтър $tet1(\lambda)$.

Уравнение (8) може да бъде изразено чрез оптичната плътност на филтър1 и параметрите на използваните цветни стъкла:

$$(9) \quad 10^{-D_{x1}(i)} = 10^{-a_r(i) \cdot d_r} \cdot 10^{-a_{or}(i) \cdot d_{or}} \cdot 10^{-a_y(i) \cdot d_y} \cdot 10^{-a_{yg}(i) \cdot d_{yg}} \cdot 10^{-a_{gr}(i) \cdot d_{gr}} \cdot 10^{-a_{bl}(i) \cdot d_{bl}},$$

където $a_r(i) = -\log t_r(i)$ е десетичен показател на поглъщане на червено стъкло [7], определен на база коефициент на пропускане $\tau(i)$ за дължина на вълната i при дебелина на слоя 1 mm, а d_r – дебелината му в mm (индексите отразяват цвета на използваните стъкла: red, orange, yellow, yellow-green, green, blue). Този начин на представяне е по-удобен, тъй като се работи директно с оптична плътност на материала за дебелина 1 mm при всяка дължина на вълната [7].

Ако (9) се логаритмува, оптимизационната задача се получава линейна:

$$(10) \quad D_{x1}(i) = a_r(i) \cdot d_r + a_{or}(i) \cdot d_{or} + a_y(i) \cdot d_y + a_{yg}(i) \cdot d_{yg} + a_{gr}(i) \cdot d_{gr} + a_{bl}(i) \cdot d_{bl},$$

което означава, че при зададените ограничителни условия, ако задачата има решение, то е само едно.

Параметри на оптимизационната задача са n стойности на търсената оптична плътност $D_{et}(i) = 10^{-t_{et}(i)}$ на филтър1, по n стойности на показателите на поглъщане на 6-те цветни стъкла $a_r(i)$, $a_{or}(i)$, $a_y(i)$, $a_{yg}(i)$, $a_{gr}(i)$, $a_{bl}(i)$ и минималната стойност на коефициента на пропускане τ_{x1_min} , преобразуван като максимална оптична плътност на търсения филтър $D_{x1_max} = 10^{-\tau_{x1_min}}$.

Променливи са n стойности на оптичната плътност на търсения филтър1 $D_{x1}(i) = 10^{-t_{x1}(i)}$ и 6 дебелини на отделните слоеве стъкла d_r , d_{or} , d_y , d_{yg} , d_{gr} , d_{bl} . Целева функция е сумата от квадратите на разликите между получени и зададени стойности на коефициентите на пропускане:

$$(11) \quad \sum_{i=1}^n [t_{x1}(i) - t_{et1}(i)]^2 = \min,$$

но изразена в оптични плътности:

$$(12) \quad \sum_{i=1}^n [D_{x1}(i) - D_{et1}(i)]^2 = \min.$$

Ограничителни условия са също разрешените дебелини на стъклата на филтъра, например $d_r=0$ (липсва такъв слой); минималните технологични дебелини, напр. $d_r > 0.2$, $d_{or} > 0.2$, $d_y > 0.2$, $d_{yg} > 0.2$, $d_{gr} > 0.2$, $d_{bl} > 0.2$ и максималната оптична плътност на филтъра, съответстваща на уравнение (6)

$$D_{x1_max} = 10^{-\tau_{x1_min}};$$

$$(13) \quad D_{x1}[k] < D_{x1_max}.$$

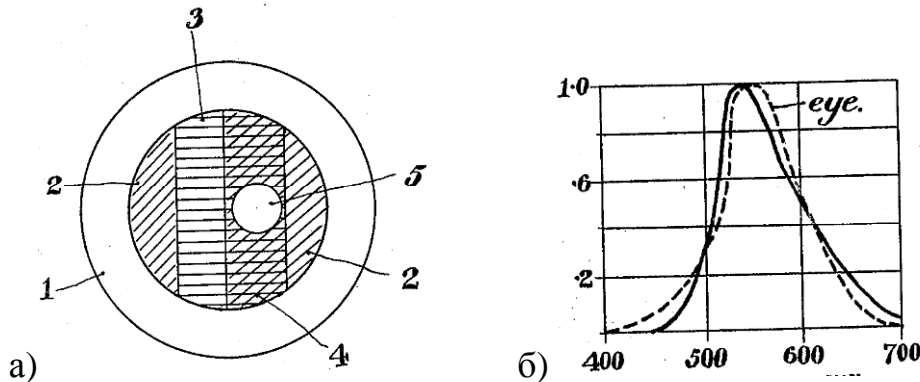
Примерни максимални оптични плътности могат да бъдат $D_{x1_max}=0.66$, което съответства на $t_{x1_min}=0.21$; $0,5 - 0,31$; $0,4 - 0,4$; $0,3 - 0,5$; $0,222 - 0,6$; $0,155 - 0,7$. Стойностите $t_{x1}(i)$ на получения филтър1 се изчисляват по израза:

$$(14) \quad t_{x1}(i) = 10^{-D_{x1}(i)},$$

където $D_{x1}(i)$ са оптични плътности на получения филтър1 за решение на оптимизационната задача при дебелини на слоевете $dr1, dor1, dy1, dyg1, dgr1, dbl1$.

II етап: филтриране по части

По-прецизно по-нататъшно филтриране е възможно по принципа на Дреслер [6], пояснен на фиг.3а. Активната част на фотоелемент (1) е покрита със сегменти от два вида цветни стъкла (2) и (3), като с (4) е означен участък, в който те се припокриват. В средата на участък (4) е пробит отвор (5), през който част от лъчистия поток директно достига повърхността на фотоелемента. Така фототокут на фотоелемент (1) ще бъде функция на 5 компоненти на падналия поток: а) компонента Φ_5 , преминала през отвор (5); б) компонента Φ_2 , пропусната през двата сегмента на стъкло (2); в) компонента Φ_3 , пропусната от самостоятелната част на стъкло (3); г) компонента Φ_4 , пропусната през частта с припокритите стъкла (2) и (3). Чрез подходящ подбор на цветове, дебелини и площи на двата вида стъкла, както и на отвора (5) е възможно постигане на добра корекция по $V(\lambda)$ на изходната крива на фотоелемента (фиг.3б).



Фиг.3. Принцип на Дреслер [6]: а) обяснение на патента; б) коригирана спектрална чувствителност на фотоелемент до тази на окото

голямото разнообразие на цветни стъкла [7,8] и възможността те да се поръчват по зададени размери и дебелини, принципът на Дреслер е удачно да бъде изменен по следния начин: приема се, че общата площ на фотоелемента A е покрита с до 6 типа цветни стъкла с известни десетични показатели на поглъщане $a_r(\lambda), a_{or}(\lambda), a_y(\lambda), a_{yg}(\lambda), a_{gr}(\lambda), a_{bl}(\lambda)$, всяко с дебелина dx и площ A_x , така че $A=A_r+A_{or}+A_y+A_{yg}+A_{gr}+A_{bl}$. Дебелина $dx=0$, както и площ $A_x=0$ на някое от стъклата показва отсъствието му като компонент в търсения филтър2. Последователността на решаване на задачата е следната:

Намират се стойностите на коефициентите на пропускане на филтър2:

$$(15) \quad t_{et2}(i) = V(i) / [k_2 \cdot s_{kor1}(i)],$$

с което се държи сметка комплектът филтър1-филтър2-фотоприемник да има стойности на спектрална чувствителност, кратни на тази на човешкото око $k_2 \cdot t_{er2}(i) \cdot s_{kor1}(i) = V(i)$. Коефициентът k_2 отразява новото намаляване на чувствителността на комплекта филтър1-фотоприемник $skor1(\lambda) = tx1(\lambda) \cdot s(\lambda)$ вследствие необходимостта от поставянето на втори филтър $tet2(\lambda)$.

Ограничителните условия на оптимизационната задача отново са допустимо минимално пропускане на получения филтър за зададена дължина на вълната $tx2(k)$ и минимални размери и дебелини на цветните стъкла:

$$(16) \quad tx2(k) > tx2_min .$$

Целева функция е сумата от квадратите на разликите между получени и зададени стойности на коефициентите на пропускане на филтър2, т.е.

$$(17) \quad \sum_{i=1}^n [t_{x2}(i) - t_{et2}(i)]^2 = \min .$$

Стойностите на коефициентите на пропускане на търсения филтър $tx2(i)$ се получават по израза:

$$(18) \quad t_{x2}(i) = \frac{\Phi_{\text{преминал}}}{\Phi_{\text{постъпил}}} = \frac{A_r \cdot t_r(i) + A_{or} \cdot t_{or}(i) + A_y \cdot t_y(i) + A_{yg} \cdot t_{yg}(i) + A_{gr} \cdot t_{gr}(i) + A_{bl} \cdot t_{bl}(i)}{A} ,$$

или изразено чрез параметрите на използваните цветни стъкла:

$$(19) \quad t_{x2}(i) = (1/A) \cdot (A_r \cdot 10^{-a_r(i) \cdot d_r} + A_{or} \cdot 10^{-a_{or}(i) \cdot d_{or}} + A_y \cdot 10^{-a_y(i) \cdot d_y} + A_{yg} \cdot 10^{-a_{yg}(i) \cdot d_{yg}} + A_{gr} \cdot 10^{-a_{gr}(i) \cdot d_{gr}} + A_{bl} \cdot 10^{-a_{bl}(i) \cdot d_{bl}}) ,$$

където $a_r(i) = -\log t_r(i)$ е десетичен показател на поглъщане на червеното стъкло, определен на база коефициент на пропускане $\tau(i)$ за дължина на вълната i при дебелина на слоя 1 mm, а d_r – дебелината му в mm (индексите отразяват цвета на използваните стъкла: red, orange, yellow, yellow-green, green, blue).

Параметри на оптимизационната задача са по n стойности на величините $tet2(i)$, $ar(i)$, $aor(i)$, $ay(i)$, $ayg(i)$, $agr(i)$, $abl(i)$, минималната стойност на коефициента на пропускане $tx2_min$ и общата площ на филтъра A . Променливи са n стойности на търсения филтър $tx2(i)$, площите на отделните стъкла A_r , A_{or} , A_y , A_{yg} , A_{gr} , A_{bl} , както и дебелините им d_r , d_{or} , d_y , d_{yg} , d_{gr} , d_{bl} .

РЕЗУЛТАТИ:

Двата етапа на задачата са решени чрез разработени два програмни продукта в среда AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming). Моделите, по които се търси решение, са `1ogf20.mod` и `2ogf20.mod`. Параметрите на задачата са зададени съответно в `1ogf20.dat` и `2ogf20.dat`. Използван е solver `minot`.

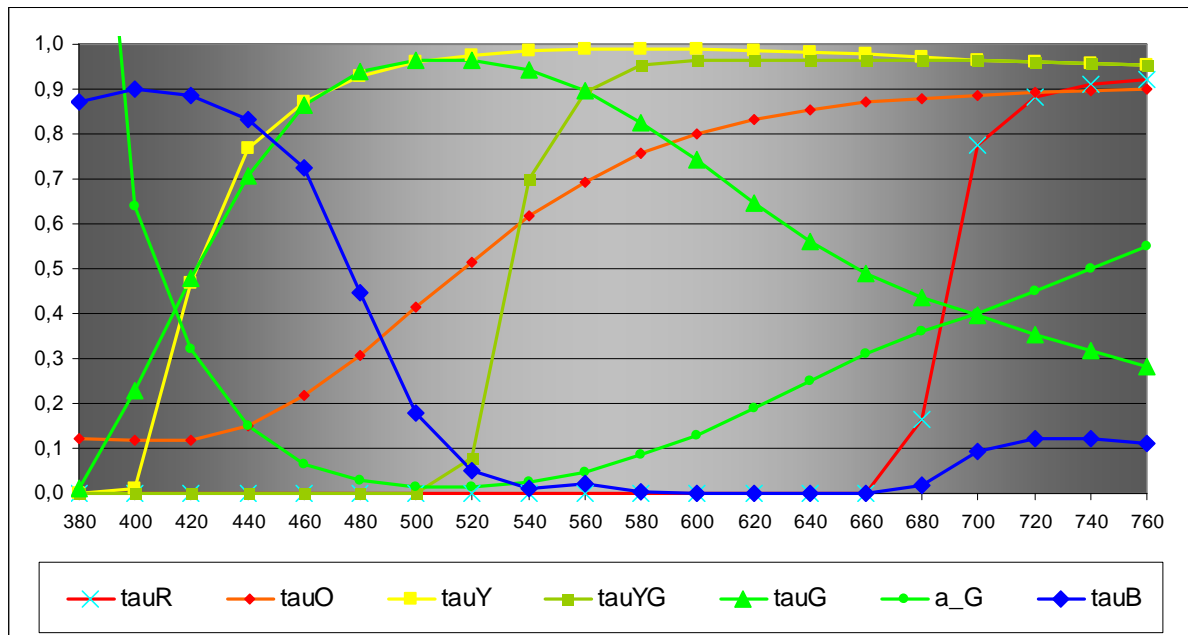
Пълно филтриране:

```
ampl: reset;
```

```
ampl: option solver minot;
```

```
ampl: model work\1ogf20.mod;
```

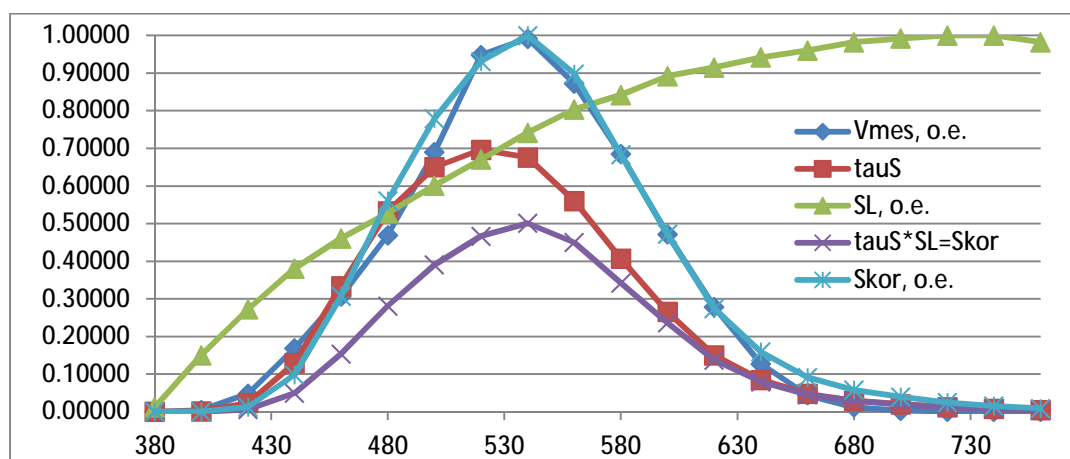
AMPL: data work\logf20.dat;
 AMPL: solve;
 MINOS 5.5: optimal solution found.



Фиг.4. Коэффициенти на пропускане за дебелина 1 mm на използваните 6 типа цветни стъкла и показател на поглъщане на зеленото стъкло

Цял филтър tauS(λ) с два слоя: dorange=0,25 mm [7, с.105-OC5], dgreen=4,20 mm [7, с.81- 3C8]

λ, nm	Vmes, o.e.	tauS	SL, o.e.	Skor	Skor, o.e.	fiA	fiA.Vmes	fiA.Skor	Cs.Skor-Vmes
380	0,00008	0,00003	0,01202	0,00000	0,00000	9,79	0,0007	0,0000	0,00007
400	0,00461	0,00150	0,15030	0,00023	0,00045	14,71	0,0678	0,0066	0,00420
420	0,04780	0,02323	0,27224	0,00632	0,01261	21,00	1,0037	0,2649	0,03622
440	0,16914	0,12957	0,38076	0,04933	0,09841	28,70	4,8544	2,8244	0,07885
460	0,30694	0,33396	0,46092	0,15393	0,30706	37,81	11,6055	11,6100	0,02522
480	0,46910	0,53284	0,52806	0,28137	0,56128	48,25	22,6339	27,0817	0,04586
500	0,68994	0,64983	0,60120	0,39068	0,77933	59,86	41,2997	46,6505	0,02507
520	0,94779	0,69631	0,67034	0,46676	0,93110	72,50	68,7146	67,5045	0,09354
540	0,99165	0,67608	0,74148	0,50130	1,00000	85,95	85,2322	85,9500	0,07418
560	0,87197	0,56027	0,80361	0,45024	0,89814	100,00	87,1967	89,8137	0,04796
580	0,68512	0,40710	0,84168	0,34265	0,68351	114,40	78,3777	78,1940	0,05802
600	0,47145	0,26546	0,89178	0,23673	0,47224	129,00	60,8177	60,9183	0,03819
620	0,27879	0,15031	0,91483	0,13751	0,27431	143,60	40,0339	39,3907	0,02712
640	0,12717	0,08487	0,94188	0,07994	0,15946	158,00	20,0935	25,1944	0,01912
660	0,04423	0,04778	0,95992	0,04587	0,09149	172,00	7,6079	15,7366	0,03971
680	0,01232	0,02955	0,98196	0,02901	0,05788	185,40	2,2841	10,7301	0,04078
700	0,00297	0,02011	0,99198	0,01995	0,03980	198,30	0,5892	7,8927	0,03355
720	0,00076	0,01243	1,00000	0,01243	0,02480	210,40	0,1598	5,2173	0,02199
740	0,00018	0,00767	1,00000	0,00767	0,01531	221,70	0,0401	3,3936	0,01386
760	0,00001	0,00474	0,98196	0,00465	0,00928	232,10	0,0017	2,1536	0,00851



Фиг.5. Графично представяне на резултатите от пълното филтриране

Филтриране по части

AMPL: model work\2ogf20.mod;

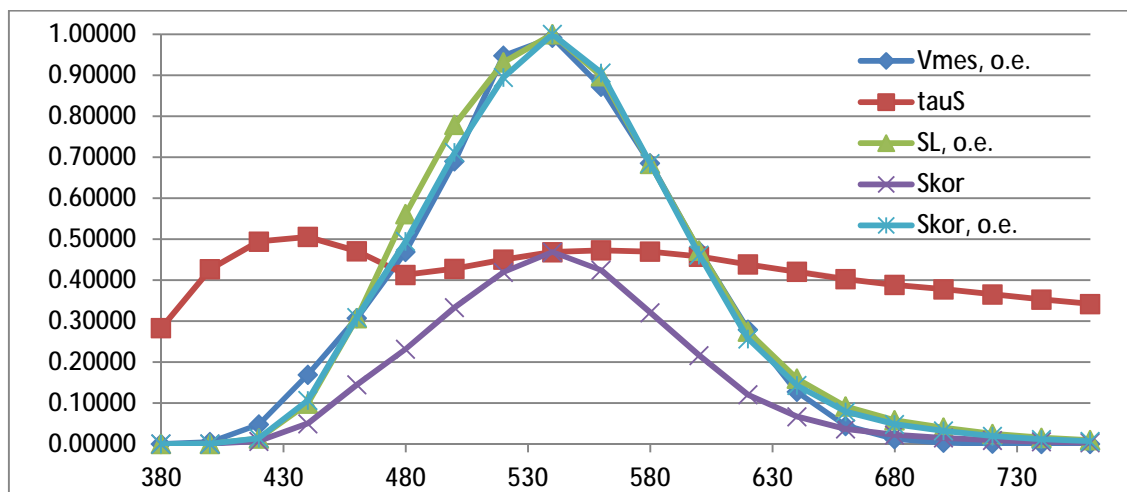
AMPL: data work\2ogf20.dat;

AMPL: solve;

MINOS 5.5: optimal solution found.

Филтриране по части $\tau S(\lambda)$ на площ $A=900\text{mm}^2$ с три стъкла: $A_{\text{ог}}=200\text{mm}^2$, $d_{\text{orange}}=0,8\text{ mm}$ [7, с.105-OC5]; $A_{\text{GR}}=310\text{mm}^2$, $d_{\text{green}}=0,70\text{ mm}$ [7, с.81- 3C8]; $A_{\text{BL}}=390\text{mm}^2$, $d_{\text{blue}}=4,2\text{ mm}$ [7, с.61-CC15]

λ , nm	Vmes, o.e.	tauS	SL, o.e.	Skor	Skor, o.e.	fiA	fiA.Vmes	fiA.Skor	Cs.Skor -Vmes
380	0,00008	0,28299	0,00001	0,00000	0,00000	9,79	0,0007	0,0000	0,00007
400	0,00461	0,42674	0,00060	0,00026	0,00055	14,71	0,0678	0,0080	0,00409
420	0,04780	0,49395	0,01328	0,00656	0,01400	21,00	1,0037	0,2940	0,03441
440	0,16914	0,50564	0,09841	0,04976	0,10622	28,70	4,8544	3,0484	0,06760
460	0,30694	0,47075	0,30706	0,14455	0,30854	37,81	11,6055	11,6660	0,01198
480	0,46910	0,41282	0,56128	0,23171	0,49457	48,25	22,6339	23,8632	0,00371
500	0,68994	0,42777	0,77933	0,33337	0,71158	59,86	41,2997	42,5954	0,00967
520	0,94779	0,45017	0,93110	0,41915	0,89468	72,50	68,7146	64,8644	0,09248
540	0,99165	0,46849	1,00000	0,46849	1,00000	85,95	85,2322	85,9500	0,03566
560	0,87197	0,47254	0,89814	0,42441	0,90589	100,00	87,1967	90,5894	0,00594
580	0,68512	0,46940	0,68351	0,32084	0,68484	114,40	78,3777	78,3454	0,03042
600	0,47145	0,45748	0,47224	0,21604	0,46113	129,00	60,8177	59,4863	0,03062
620	0,27879	0,43842	0,27431	0,12026	0,25670	143,60	40,0339	36,8619	0,03339
640	0,12717	0,42022	0,15946	0,06701	0,14303	158,00	20,0935	22,5984	0,00956
660	0,04423	0,40253	0,09149	0,03683	0,07861	172,00	7,6079	13,5211	0,03092
680	0,01232	0,38814	0,05788	0,02246	0,04795	185,40	2,2841	8,8898	0,03352
700	0,00297	0,37757	0,03980	0,01503	0,03208	198,30	0,5892	6,3609	0,02769
720	0,00076	0,36507	0,02480	0,00905	0,01932	210,40	0,1598	4,0655	0,01771
740	0,00018	0,35289	0,01531	0,00540	0,01153	221,70	0,0401	2,5562	0,01084
760	0,00001	0,34169	0,00928	0,00317	0,00677	232,10	0,0017	1,5707	0,00646



Фиг.6. Графично представяне на резултатите от филтриране по части

3. Заключение

Съгласно мярката за съгласуване $f1'\%$ [1] резултатите от спектралната корекция на фотоприемника за клас улици МЕ6 са приемливи ($6 < f1'\% \leq 12$) – за контрол на параметрите на осветителни уредби е допустима мярка на съгласуване дори в последния клас ($12 < f1'\% \leq 18$). Само за прецизни измервания се изисква много добро ($f1'\% < 2$) или добро съгласуване ($2 < f1'\% \leq 6$). По подобен начин са разработени филтри за спектрална корекция на фотоприемника за останалите светлотехнически класове улици.

Резултатите от втория етап (филтриране по части) е възможно да се използват и за софтуерно настройване на филтър2 към желан вид улица - получените площи на филтър2 се заменят с коефициенти на усилване на сигналите от фотоеlementи, покрити с избраните цветни стъкла. В този случай филтър1 (с пълно филтриране на потока) трябва да е избран така, че да обхваща кривите $Vmes(\lambda)$ за желаните класове улици МЕ6-МЕ4 или МЕ3-МЕ1 [2].

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012 г., научен проект в помощ на докторант «Мезопична фотометрия и енергийна ефективност в уличното осветление», договор № 121ПД0037-01/26.04.2012.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] CIE 023/E:2012. Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters
- [2] БДС EN 13201-2:2003. Улично осветление. Част 2: Технически изисквания
- [3] CIE 191:2010 “Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance”

- [4] Пачаманов А. Измерване на скотопична и мезопична яркост. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09-01.10.2012, гр. Созопол
- [5] Пачаманов А. Изчисляване на филтри за спектрална корекция на фотоприемници, използвани във физическата фотометрия. Известия на ВМЕИ „В.И. Ленин“, т.43, кн.9, 1988
- [6] <http://www.freepatentsonline.com/2086791.html>, Albert Dresler, Composite filter for photoelectric cells. United States Patent No.2086791/13.07.1937; Germany Patent No.698359/16.11.1933
- [7] http://optdesign.narod.ru/book/katalog_tsvetnyh_stekol.pdf, Цветное оптическое стекло и особые стекла. Каталог. Москва, 1990
- [8] http://jsdymd.en.alibaba.com/product/545050488-213505825/Colored_Filter_Glass.html

Автори:

Ангел Саракинов Пачаманов, д-р инж. – професор в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (pach@tu-sofia.bg), р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)
Dessislava A. Pachamanoва, Ph.D. Associate Professor, [Mathematics and Sciences Division](#) of [Babson College](#). MA, USA. <http://faculty.babson.edu/dpachamanoва/>

ФИЛТРИ ЗА СПЕКТРАЛНА КОРЕКЦИЯ НА ФОТОПРИЕМНИЦИ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ

Ангел Пачаманов, Димитър Павлов

Резюме: Влияние на нивото на фотопичната яркост и корелираната цветна температура на източника върху спектралната чувствителност на мезопичното зрение; Избор на криви $V_{mes}(\lambda)$ за различни нива на нормираната фотопична яркост; Изчисляване на филтри за спектрална корекция на фотоприемници на яркомери за различни категории улици.

Ключови думи: мезопично зрение, осветление при ниски светлинни нива

FILTERS FOR SPECTRAL CORRECTION OF LUMINANCE-METERS SENSORS FOR VARIOUS CATEGORIES OF STREETS

Angel Pachamanov, Dimitar Pavlov

Abstract: Influence of the level of photopic luminance and correlated color temperature of the source on the spectral sensitivity of mesopic vision. Select curves $V_{mes}(\lambda)$ for different levels of normalized photopic luminance; Calculation of filters for spectral correction of luminance-meters sensors for various categories of streets.

Keywords: mesopic photometry, street lighting with low light levels

1. Въведение

Несъответствието между величината яркост L_{ph} [1], основна нормирана величина в стандарта за улично осветление, и възприеманата светлост (brightness) в яркостния диапазон от 5 до 0,005 cd/m² води до преоразмеряване на външното осветление, особено за ниските нива на осветеност/яркост. В този диапазон фоторецепторите на двете системи на зрението «работят» едновременно: дневното (Photopic) – с колбички, основно разположени в централната част на окото; нощното (Scotopic) – с пръчици, равномерно разпределени по периферията на окото.

Адаптацията на окото на яркост над 5 cd/m² е функция на фотопичния поток, определен по формулата:

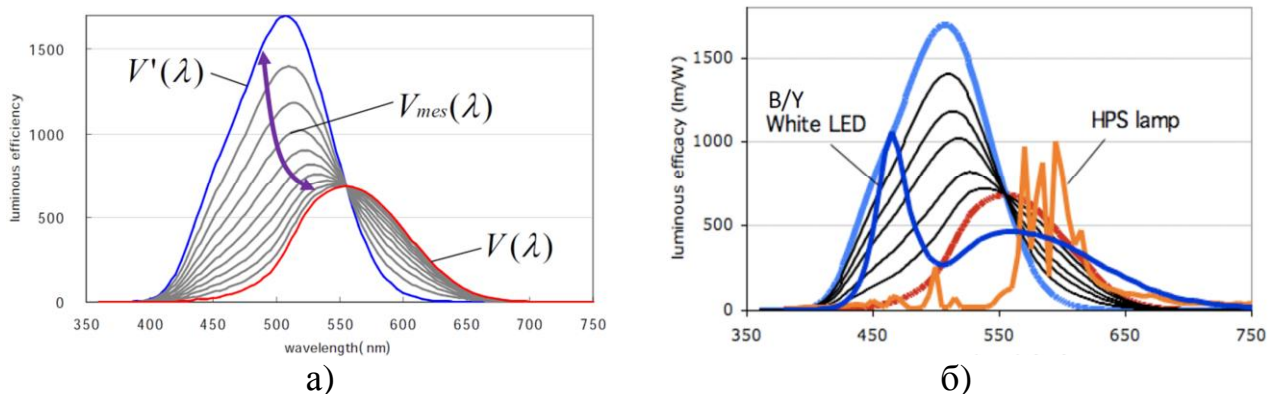
$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V(I_i) \cdot \Delta I \quad [\text{lm}],$$

където 683 [lm/W] е максималната спектрална чувствителност на дневното зрение (при $\lambda_m=555$ nm); $j(I_i)$ [W/nm] – са стойности на спектралната плътност на лъчистия поток Φ_e [W] в диапазона 380-780 nm (фиг.1б); $V(\lambda_i)$ – стойности на относителната спектрална чувствителност на дневното зрение (фиг.1а); $\Delta\lambda$ – стъпка за дискретизация на диапазона 380-780 nm.

При адаптация на окото на яркост под $0,005 \text{ cd/m}^2$ зрителното усещане е функция на скотопичния поток, определен по формулата:

$$(2) \quad \Phi' = 1700 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V'(I_i) \cdot \Delta I$$

където 1700 [lm/W] е максималната спектрална светлинна ефективност на нощното човешко зрение (при $\lambda_m = 507 \text{ nm}$); $V'(\lambda_i)$ – стойности на относителната спектрална чувствителност на нощното зрение (фиг.1а).



Фиг.1. Фотопично, мезопично и скотопично зрение (а) и излъчване на светлинни източници на фона на мезопични криви (б)

Международната комисия по осветление [2] препоръчва спектралната чувствителност на мезопичното зрение $V_{mes}(\lambda)$ да се определя като линейна функция на кривите за дневно и нощно зрение $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$ по формулата:

$$(3) \quad V_{mes}(I) = [m \cdot V(I) + (1 - m) \cdot V'(I)] / M(m)$$

където $M(m)$ е нормализираща функция, така че максималната стойност на $V_{mes}(\lambda)$ да се получи 1, а $0 \leq m < 1$ (за фотопичното зрение $m=1$).

При дефинирано поле на адаптация на всяка стойност m отговаря конкретна мезопичната яркост L_{mes} , равна на:

$$(4) \quad L_{mes}(I) = \frac{683}{V_{mes}(I_0)} \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} V_{mes}(I) \cdot l_e(I) \cdot dI$$

където $V_{mes}(\lambda_0)$ е стойността на функцията при $\lambda = 555 \text{ nm}$, а $l_e(\lambda)$ - спектралната плътност на яркостта $[\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}]$ за дефинираното поле на адаптация.

2. Същинска част

На базата на специално разработен програмен продукт по описаните по-горе зависимости са получени стойностите на спектралната чувствителност на мезопичното зрение за улици от светлотехнически класове ME6-ME4 (табл.1 и фиг.1-2) и за класове ME3-ME1 (табл.2 и фиг.3-4). Изчисленията са извършени за светлинни източници с корелирана цветна температура 4000K и 6500K.

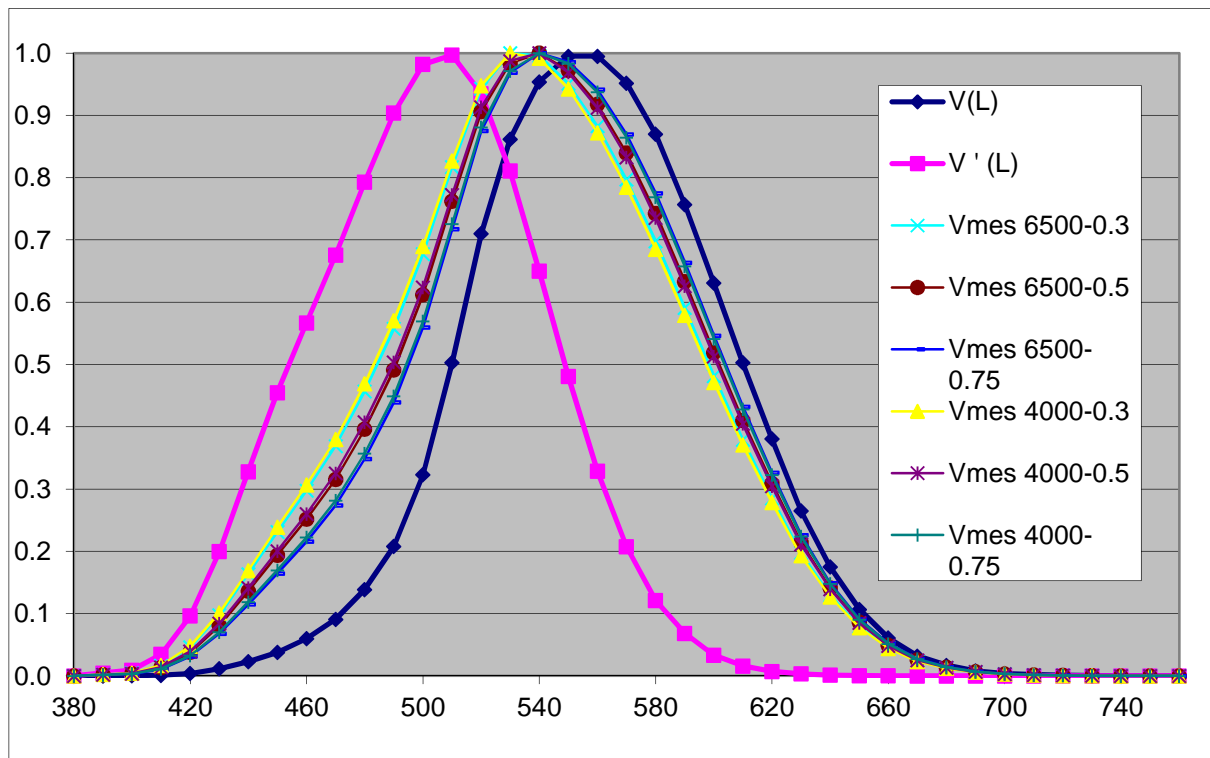
Прави впечатление, че кривите зависят много по-силно от нивото на фотопичната яркост, отколкото от корелираната цветна температура. Затова коригиращи филтри е оправдано да се изработват само по категории улици, но не и по корелирана цветна температура на използваните светлинни източници.

Табл. 1

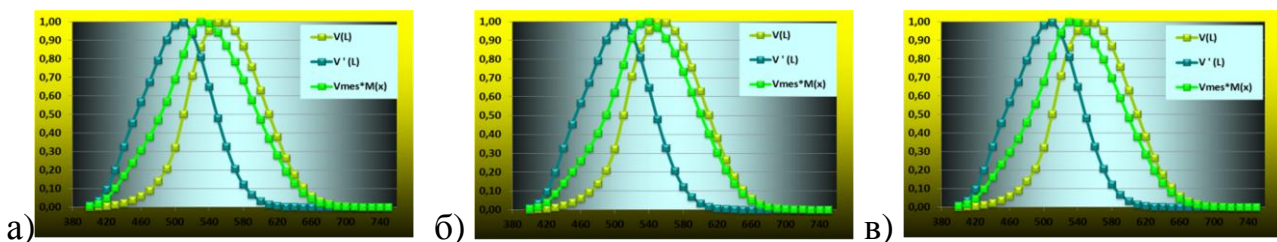
Криви на спектрална чувствителност на мезопично зрение за класове улици ME6, ME5, ME4 при светлинни източници с CCT=4000K и CCT=6500K

λ	$V(\lambda)$ >5cd/m ²	$V'(\lambda)$ <0,005cd/ m ²	Tc=4000K; S/P=1,56			Tc=6500K S/P=2,23		
			$V_{mes}(\lambda)$ 0,3cd/m ²	$V_{mes}(\lambda)$ 0,5 cd/m ²	$V_{mes}(\lambda)$ 0,75 cd/m ²	$V_{mes}(\lambda)$ 0,3cd/m ²	$V_{mes}(\lambda)$ 0,5 cd/m ²	$V_{mes}(\lambda)$ 0,75 cd/m ²
380	0,00004	0,00010	0,00008	0,00007	0,00006	0,00007	0,00007	0,00006
390	0,00022	0,00470	0,00234	0,00193	0,00161	0,00226	0,00186	0,00155
400	0,00040	0,00929	0,00461	0,00380	0,00315	0,00444	0,00365	0,00304
410	0,00120	0,03480	0,01704	0,01399	0,01155	0,01642	0,01345	0,01113
420	0,00400	0,09660	0,04780	0,03936	0,03264	0,04608	0,03787	0,03146
430	0,01160	0,19980	0,10126	0,08405	0,07030	0,09778	0,08100	0,06790
440	0,02300	0,32810	0,16914	0,14116	0,11877	0,16349	0,13619	0,11487
450	0,03800	0,45500	0,23898	0,20059	0,16985	0,23124	0,19377	0,16449
460	0,06000	0,56700	0,30694	0,26000	0,22230	0,29752	0,25163	0,21573
470	0,09100	0,67600	0,38002	0,32542	0,28142	0,36912	0,31565	0,27375
480	0,13900	0,79300	0,46910	0,40731	0,35727	0,45687	0,39620	0,34855
490	0,20800	0,90400	0,57056	0,50361	0,44899	0,55749	0,49148	0,43947
500	0,32300	0,98200	0,68994	0,62402	0,56943	0,67742	0,61190	0,55991
510	0,50300	0,99700	0,82700	0,77238	0,72549	0,81734	0,76197	0,71732
520	0,71000	0,93500	0,94779	0,91329	0,88096	0,94286	0,90611	0,87532
530	0,86200	0,81100	1,00000	0,98737	0,97134	1,00000	0,98381	0,96854
540	0,95400	0,65000	0,99165	1,00000	1,00000	0,99622	1,00000	1,00000
550	0,99500	0,48100	0,94272	0,96920	0,98331	0,95112	0,97233	0,98577
560	0,99500	0,32880	0,87197	0,91218	0,93719	0,88318	0,91773	0,94156
570	0,95200	0,20760	0,78455	0,83267	0,86428	0,79725	0,83969	0,86978
580	0,87000	0,12120	0,68512	0,73528	0,76907	0,69799	0,74278	0,77496
590	0,75700	0,06850	0,57895	0,62593	0,65798	0,59083	0,63305	0,66357
600	0,63100	0,03315	0,47145	0,51278	0,54121	0,48180	0,51909	0,54616
610	0,50300	0,01593	0,37094	0,40483	0,42824	0,37938	0,41003	0,43232
620	0,38100	0,00737	0,27879	0,30488	0,32295	0,28527	0,30889	0,32610
630	0,26500	0,00334	0,19307	0,21138	0,22408	0,19761	0,21420	0,22630
640	0,17500	0,00150	0,12717	0,13933	0,14777	0,13019	0,14120	0,14924
650	0,10700	0,00068	0,07765	0,08510	0,09028	0,07949	0,08625	0,09118
660	0,06100	0,00031	0,04423	0,04849	0,05144	0,04529	0,04914	0,05196
670	0,03200	0,00015	0,02320	0,02543	0,02698	0,02375	0,02577	0,02725
680	0,01700	0,00007	0,01232	0,01351	0,01433	0,01261	0,01369	0,01448
690	0,00820	0,00004	0,00594	0,00652	0,00691	0,00608	0,00660	0,00698
700	0,00410	0,0000178	0,00297	0,00326	0,00346	0,00304	0,00330	0,00349
710	0,00210	0,0000025	0,00152	0,00167	0,00177	0,00156	0,00169	0,00179
720	0,00105	0,0000014	0,00076	0,00083	0,00088	0,00078	0,00084	0,00089
730	0,00052	0,0000008	0,00038	0,00041	0,00044	0,00039	0,00042	0,00044
740	0,00025	0,0000004	0,00018	0,00020	0,00021	0,00019	0,00020	0,00021

750	0,00012	0,0000002	0,00009	0,00010	0,00010	0,00009	0,00010	0,00010
760	0,00001	0,0000002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
770	0,00000	0,0000000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



Фиг.1. Криви на спектрална чувствителност на мезопично зрение за светлинни източници 4000К и 6500К при фотопична яркост: а) 0,3 cd/m²; б) 0,5 cd/m²; в) 0,75 cd/m² (за една и съща фотопична яркост кривите почти съвпадат)



Фиг.2. Криви на спектрална чувствителност на мезопично зрение при фотопична яркост: а) 0,3 cd/m²; б) 0,5 cd/m²; в) 0,75 cd/m²

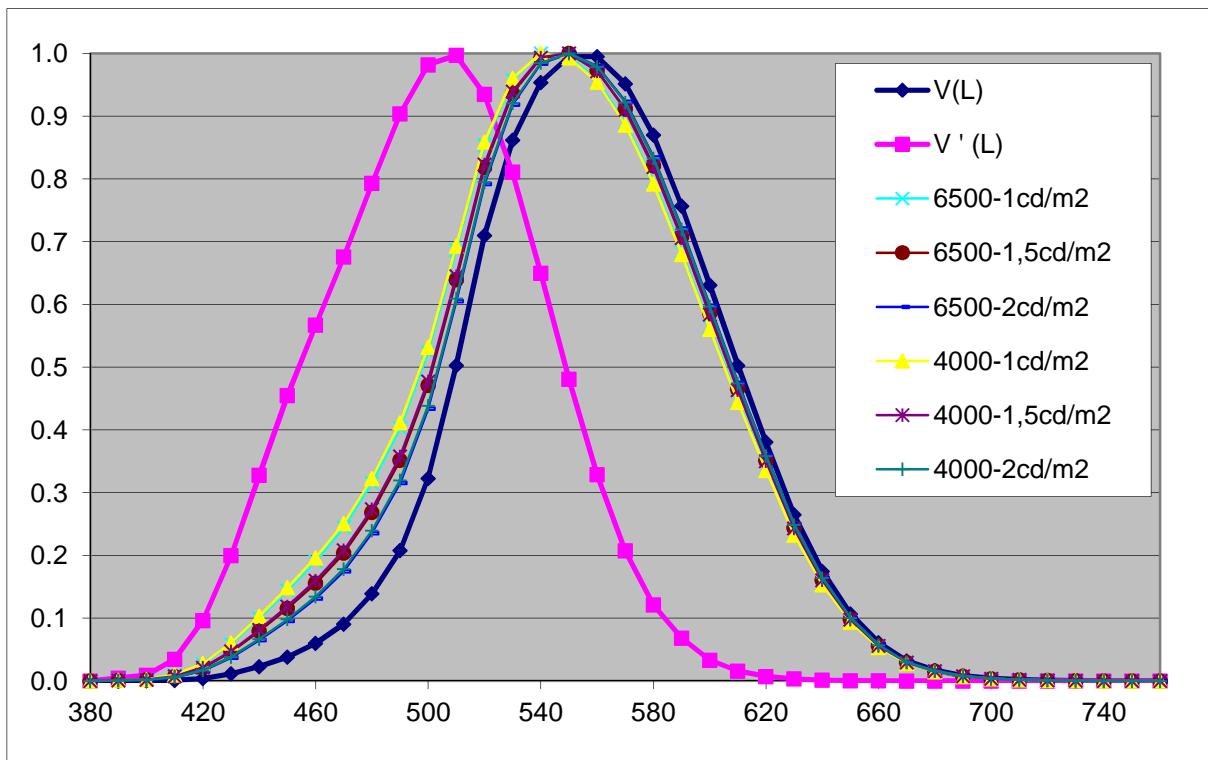
Обобщени показатели за малки стойности на яркостта:

ССТ, К	4000	6500	4000	6500	4000	6500
SCOTOPIC/PHOTOPIC S/P	1,56	2,23	1,56	2,23	1,56	2,23
ФОТОПИЧНА ЯРКОСТ	0,300	0,300	0,500	0,500	0,750	0,750
МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ	0,335	0,372	0,545	0,593	0,804	0,861
Vmes(555)	0,907	0,917	0,941	0,945	0,960	0,964
Smax=683/(Vmes(555), lm/W	753	745	726	723	711	709

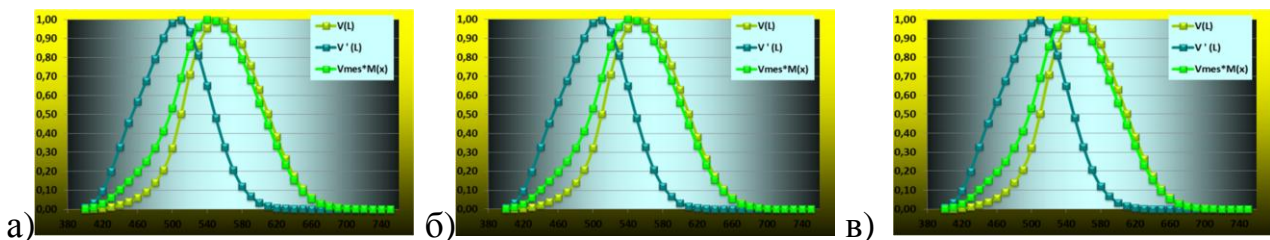
Табл. 2

Криви на спектрална чувствителност на мезопично зрение за класове улици ME3, ME2, ME1 при светлинни източници с CCT=4000K и CCT=6500K

λ	$V(\lambda)$ >5cd/m ²	$V'(\lambda)$ <0,005cd/m ²	T _c =4000K; S/P=1,56			T _c =6500K S/P=2,23		
			V _{mes} (λ) 1,0 cd/m ²	V _{mes} (λ) 1,5 cd/m ²	V _{mes} (λ) 2,0 cd/m ²	V _{mes} (λ) 1,0 cd/m ²	V _{mes} (λ) 1,5 cd/m ²	V _{mes} (λ) 2,0 cd/m ²
380	0,00004	0,00010	0,00006	0,00006	0,00005	0,00006	0,00005	0,00005
390	0,00022	0,00470	0,00138	0,00107	0,00085	0,00134	0,00104	0,00083
400	0,00040	0,00929	0,00271	0,00209	0,00166	0,00261	0,00202	0,00161
410	0,00120	0,03480	0,00988	0,00754	0,00593	0,00953	0,00729	0,00574
420	0,00400	0,09660	0,02801	0,02155	0,01708	0,02705	0,02084	0,01656
430	0,01160	0,19980	0,06085	0,04763	0,03844	0,05888	0,04617	0,03739
440	0,02300	0,32810	0,10338	0,08182	0,06683	0,10018	0,07944	0,06511
450	0,03800	0,45500	0,14870	0,11906	0,09841	0,14431	0,11578	0,09604
460	0,06000	0,56700	0,19637	0,15994	0,13450	0,19099	0,15590	0,13158
470	0,09100	0,67600	0,25117	0,20851	0,17862	0,24488	0,20376	0,17519
480	0,13900	0,79300	0,32287	0,27413	0,23980	0,31571	0,26867	0,23586
490	0,20800	0,90400	0,41143	0,35785	0,31986	0,40362	0,35182	0,31549
500	0,32300	0,98200	0,53188	0,47758	0,43852	0,52408	0,47138	0,43404
510	0,50300	0,99700	0,69325	0,64515	0,60950	0,68655	0,63948	0,60540
520	0,71000	0,93500	0,85872	0,82317	0,79518	0,85410	0,81872	0,79197
530	0,86200	0,81100	0,96031	0,93936	0,92071	0,95802	0,93640	0,91857
540	0,95400	0,65000	1,00000	0,99377	0,98484	1,00000	0,99235	0,98381
550	0,99500	0,48100	0,99301	1,00000	1,00000	0,99503	1,00000	1,00000
560	0,99500	0,32880	0,95440	0,97181	0,97901	0,95797	0,97295	0,97984
570	0,95200	0,20760	0,88601	0,91000	0,92194	0,89053	0,91190	0,92332
580	0,87000	0,12120	0,79231	0,81892	0,83308	0,79714	0,82117	0,83471
590	0,75700	0,06850	0,68002	0,70571	0,71978	0,68460	0,70795	0,72140
600	0,63100	0,03315	0,56076	0,58381	0,59667	0,56482	0,58586	0,59815
610	0,50300	0,01593	0,44435	0,46344	0,47419	0,44769	0,46515	0,47542
620	0,38100	0,00737	0,33538	0,35017	0,35853	0,33796	0,35150	0,35949
630	0,26500	0,00334	0,23282	0,24322	0,24912	0,23463	0,24416	0,24980
640	0,17500	0,00150	0,15357	0,16049	0,16442	0,15477	0,16111	0,16487
650	0,10700	0,00068	0,09383	0,09808	0,10050	0,09457	0,09847	0,10077
660	0,06100	0,00031	0,05348	0,05590	0,05728	0,05390	0,05612	0,05744
670	0,03200	0,00015	0,02805	0,02932	0,03005	0,02827	0,02944	0,03013
680	0,01700	0,00007	0,01490	0,01558	0,01596	0,01502	0,01564	0,01601
690	0,00820	0,00004	0,00719	0,00751	0,00770	0,00724	0,00754	0,00772
700	0,00410	0,0000178	0,00359	0,00376	0,00385	0,00362	0,00377	0,00386
710	0,00210	0,0000025	0,00184	0,00192	0,00197	0,00185	0,00193	0,00198
720	0,00105	0,0000014	0,00092	0,00096	0,00099	0,00093	0,00097	0,00099
730	0,00052	0,0000008	0,00046	0,00048	0,00049	0,00046	0,00048	0,00049
740	0,00025	0,0000004	0,00022	0,00023	0,00023	0,00022	0,00023	0,00024
750	0,00012	0,0000002	0,00011	0,00011	0,00011	0,00011	0,00011	0,00011
760	0,00001	0,0000002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
770	0,00000	0,0000000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



Фиг.3. Криви на спектрална чувствителност на мезопично зрение за светлинни източници 4000К и 6500К при фотопична яркост: а) 1,0 cd/m²; б) 1,5 cd/m²; в) 2,0 cd/m² (за една и съща фотопична яркост кривите почти съвпадат)



Фиг.4. Криви на спектрална чувствителност на мезопично зрение при фотопична яркост: а) 1,0 cd/m²; б) 1,5 cd/m²; в) 2,0 cd/m²

Обобщени показатели за големи стойности на яркостта:

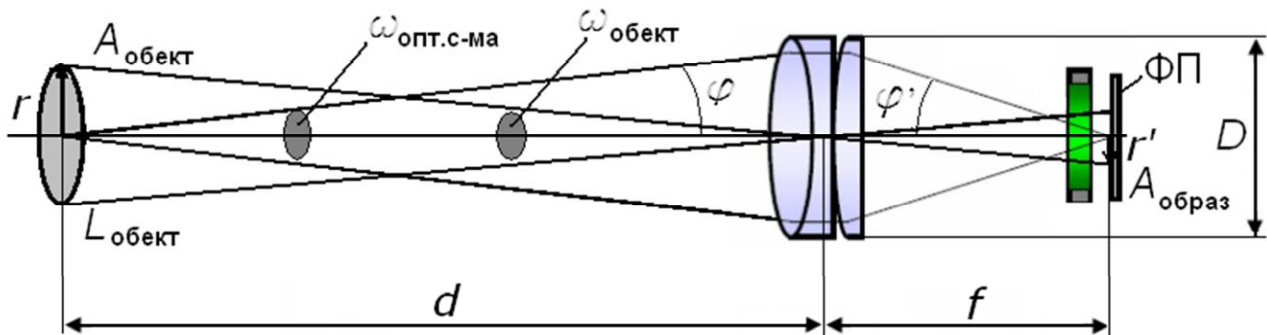
ССТ, К	4000	6500	4000	6500	4000	6500
SCOTOPIC/PHOTOPIC S/P	1,56	2,23	1,56	2,23	1,56	2,23
ФОТОПИЧНА ЯРКОСТ, cd/m ²	1,00	1,00	1,50	1,50	2,00	2,00
МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ, cd'/m ²	1,059	0,372	1,564	0,593	2,063	0,861
	0,974	0,917	0,986	0,945	0,990	0,964
	701	745	693	723	690	709

$V_{mes}(555)$

$S_{max} = 683 / (V_{mes}(555)), \text{ lm/W}$

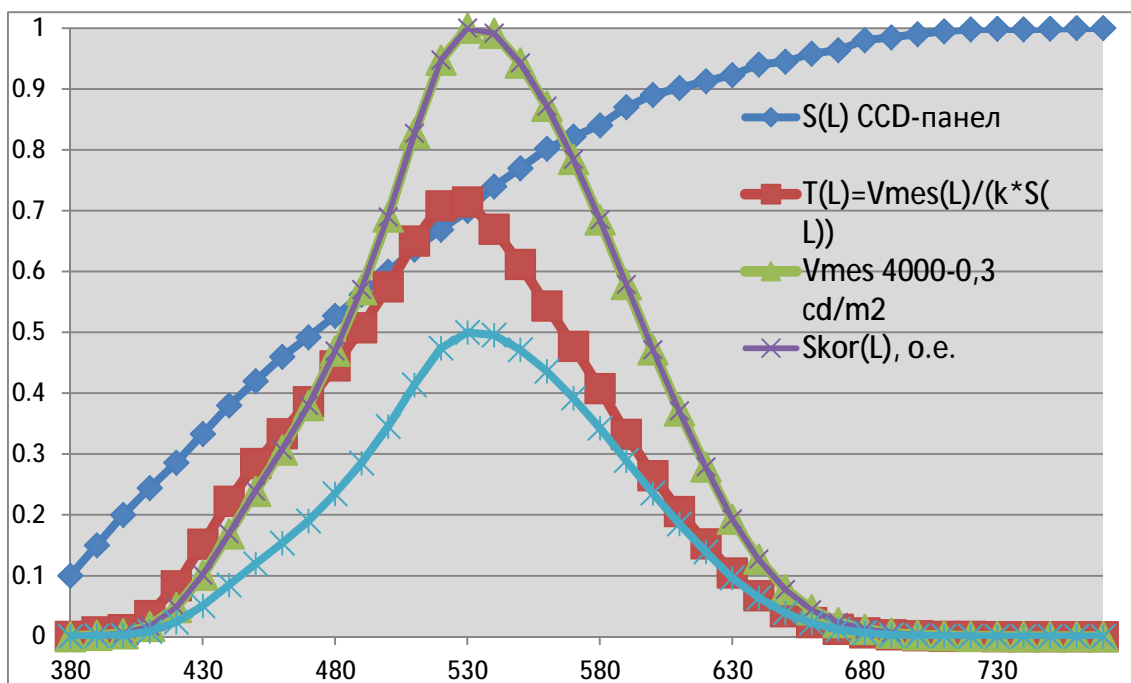
В уредите за измерване на мезопична осветеност/яркост [3] се използват CCD-матрици, чиито градивни компоненти са силициеви фотоеlementи (преобразуватели светлина-потенциал) с относителна спектрална чувствителност $S(\lambda)$, показана на фиг.6. За да се използва като фотоприемник за мезопична яркост пред CCD-матрицата се поставя коригиращ филтър (фиг.5),

със спектрални коефициенти на пропускане, изчислени по формулата $t_{mes}(I_i) = Vmes(I_i)/(k \cdot S(I_i))$. Резултантната чувствителност на комплекта филтър-фотоприемник ще бъде $Vmes(I_i) = k \cdot t_{mes}(I_i) \cdot S(I_i)$, чиито стойности са k пъти по-малки от изходните стойности $S(\lambda)$.



Фиг.5. Оптична система, филтър и фотопреобразувател на уред за измерване на яркост (фотопична, мезопична или скотопична – в зависимост от филтъра)

Получаването на стойностите на филтъра за спектрална корекция на фотоприемника са дадени в табл.3, а полученият филтър за мезопична яркост, съответстваща на фотопична яркост $0,3 \text{ cd/m}^2$ – на фиг.6. За останалите филтри се процедира по същия начин.



Фиг.6. Получаване на стойностите $t_{mes}(I_i) = Vmes(I_i)/(k \cdot S(I_i))$ на филтър за мезопична яркост, съответстваща на фотопична яркост $0,3 \text{ cd/m}^2$

Табл. 3

Спектрална корекция на фотоприемник с филтър за мезопична яркост, съответстваща на фотопична яркост 0,3 cd/m²

λ , nm	$S(\lambda)$	$\tau(\lambda)$	$V_{mes}(\lambda)$	$Skor(\lambda)$	$Skor^*(\lambda)$
380	0,100	0,000377	0,00008	0,000038	0,000075
390	0,150	0,007805	0,00234	0,001171	0,002342
400	0,200	0,011519	0,00461	0,002304	0,004608
410	0,244	0,034927	0,01704	0,008522	0,017045
420	0,286	0,083561	0,04780	0,023898	0,047797
430	0,333	0,152047	0,10126	0,050632	0,101263
440	0,380	0,222558	0,16914	0,084572	0,169144
450	0,420	0,284496	0,23898	0,119488	0,238977
460	0,460	0,333632	0,30694	0,153471	0,306941
470	0,492	0,386195	0,38002	0,190008	0,380016
480	0,527	0,445063	0,46910	0,234548	0,469096
490	0,562	0,507620	0,57056	0,285282	0,570565
500	0,600	0,574949	0,68994	0,344969	0,689938
510	0,636	0,65016	0,82700	0,413502	0,827003
520	0,669	0,708361	0,94779	0,473894	0,947788
530	0,700	0,714286	1,00000	0,500000	1,000000
540	0,740	0,670033	0,99165	0,495824	0,991649
550	0,770	0,612155	0,94272	0,471359	0,942719
560	0,802	0,543620	0,87197	0,435983	0,871967
570	0,822	0,477219	0,78455	0,392274	0,784548
580	0,840	0,407809	0,68512	0,342560	0,685119
590	0,870	0,332731	0,57895	0,289476	0,578952
600	0,890	0,264862	0,47145	0,235727	0,471455
610	0,902	0,205621	0,37094	0,185470	0,370940
620	0,913	0,152677	0,27879	0,139394	0,278787
630	0,923	0,104591	0,19307	0,096537	0,193075
640	0,940	0,067646	0,12717	0,063587	0,127174
650	0,945	0,041083	0,07765	0,038824	0,077647
660	0,958	0,023086	0,04423	0,022116	0,044232
670	0,964	0,012031	0,02320	0,011598	0,023196
680	0,980	0,006286	0,01232	0,006160	0,012320
690	0,985	0,003017	0,00594	0,002971	0,005943
700	0,990	0,001501	0,00297	0,001486	0,002971
710	0,995	0,000763	0,00152	0,000759	0,001519
720	0,998	0,000381	0,00076	0,000380	0,000760
730	0,999	0,000188	0,00038	0,000188	0,000376
740	0,998	9,06E-05	0,00018	0,000090	0,000181
750	0,999	4,35E-05	0,00009	0,000043	0,000087
760	1,000	3,66E-06	0,00001	0,000004	0,000007
770	1,000	0	0,00000	0,000000	0,000000
			max=	0,5000	

Пояснения:

$S(\lambda)$ – относителна спектрална чувствителност на фотоприемника (CCD-матрица)

Константа $k=2$ - колко пъти се допуска да се намали чувствителността на фотоприемника

$V_{mes}(\lambda)$ 4000K-0,3 cd/m²– стойности на мезопичната крива, до която трябва да се коригира $S(L)$

$T(\lambda)=V_{mes}(L)/(k*S(\lambda))$ - изчислени коефициенти на пропускане на филтъра
 $T_{real}(\lambda)$ - реализирани коефициенти на пропускане на филтъра (тук приети равни на търсените)
 $Skor(\lambda)=S(\lambda)*T_{real}(\lambda)$ –коригирана спектрална чувствителност на фотоприемника
 $Skor^*(\lambda)$ –коригирана спектрална чувствителност на фотоприемника в относителни единици

3. Заключение

Разгледаният алгоритъм за изчисляване на филтри за спектрална корекция на фотоприемници, използвани за измерване на мезопична яркост, ще намери приложение при разработването на апаратура за контрол на улично осветление, проектирано по мезопична яркост. Същественото намаляване на инсталираните мощности, особено за събирателните и обслужващите улици, ще оправдае влаганите допълнителни средства за контрол. Следваща стъпка е разработване оптимизационен модел, на базата на който ще е възможно разликата между стойностите на изчислен и реализиран филтър да бъде минимална [4].

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012 г., научен проект в помощ на докторант «Мезопична фотометрия и енергийна ефективност в уличното осветление», договор № 121ПД0037-01/26.04.2012.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13201-2:2003. Улично осветление. Част 2: Технически изисквания
- [2] CIE 191:2010 “Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance”
- [3] Пачаманов А., Измерване на скотопична и мезопична яркост. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09-01.10.2012, гр. Созопол
- [4] Пачаманов А., Д. Пачаманова. Оптимизационни модели за спектрална корекция на фотоприемници чрез пълно и частично филтриране на потока. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09-01.10.2012, гр. Созопол

Автори:

Ангел Саракинов Пачаманов, д-р инж. – професор в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (pach@tu-sofia.bg), р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

Димитър Тодоров Павлов, маг. инж. – редовен докторант в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (dpavlov@tu-sofia.bg), отговорен изпитвател в НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ НА РАБОТНОТО И АВАРИЙНО ОСВЕТЛЕНИЕ В ЛОГИСТИЧЕН ЦЕНТЪР

Захари Иванов, Боян Георгиев

Резюме: Проектирана е система за автоматично управление на осветлението в логистичен център в работен и аварийен режим.

Ключови думи: система за автоматично управление, осветление

AUTOMATIC CONTROL OF WORK AND EMERGENCY LIGHTING IN LOGISTICS CENTER

Zahari Ivanov, Boyan Georgiev

Abstract: Designed automatic lighting control in logistics and business center in emergency mode.

Key words: system for automatic control, lighting

1. Въведение

Темата за автоматизиране на процесите на контрол и управление на различните видове технически инсталации в сградите и извън тях става все по-актуална [7, 8, 9, 10]. Основни причини за това са постоянно растящите цени на енергоносителите и необходимостта от създаване на подходящ микроклимат във всяко помещение на сградата.

2. Същинска част

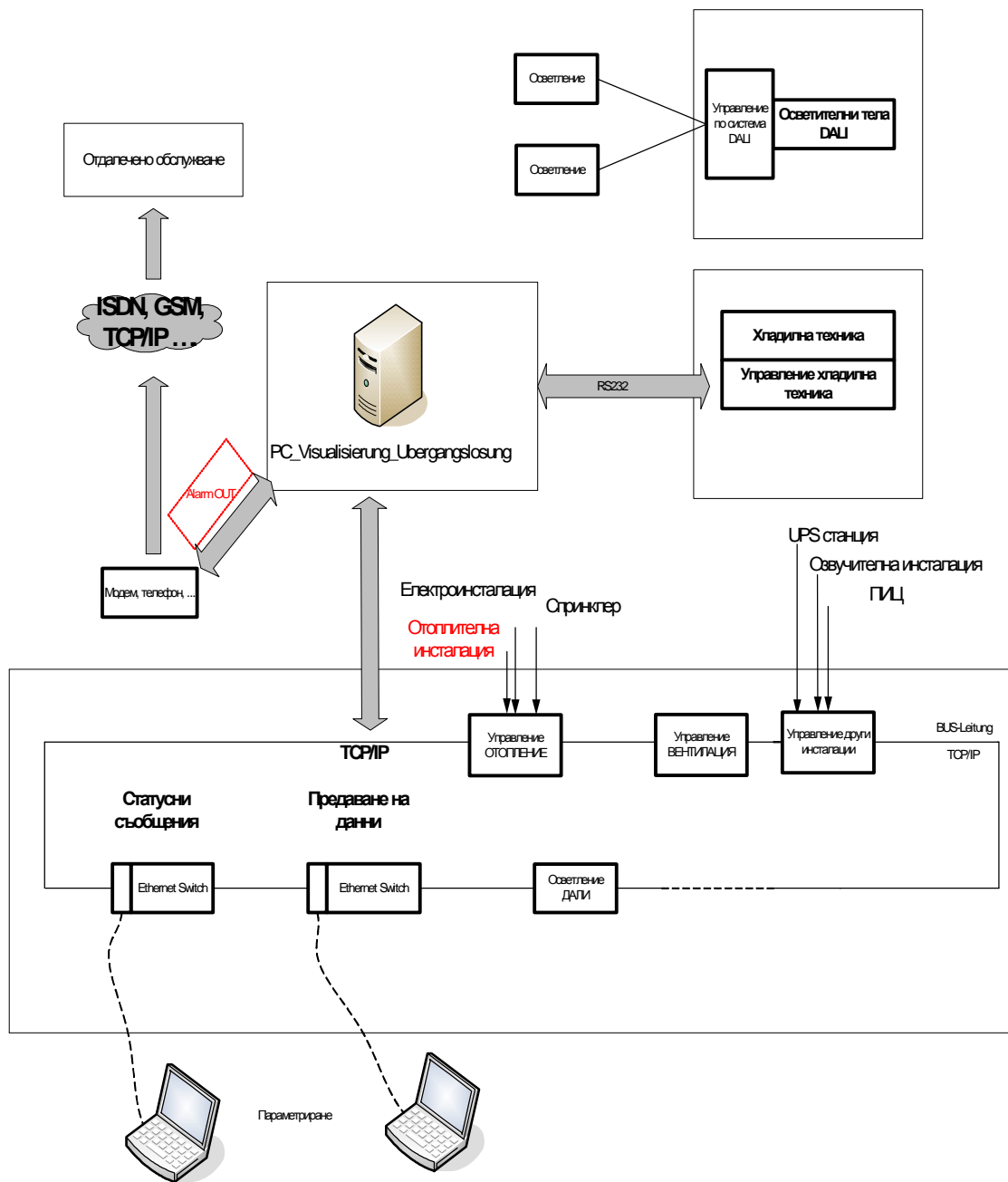
Осветлението ще се реализира с луминесцентни осветители 2x58W и е съобразено със заданието на инвеститора, архитектурните изисквания и светлотехническите изчисления.

На фиг.1 е показано мястото, което заема системата за автоматично управление на осветлението (АУО) в цялостната система за сградна автоматизация. Тя се явява част от нея и изпълнява функциите на подсистема.

За реализация на системата за АУО всички осветителни тела (ОТ) трябва да имат монтиран електронен пускорегулиращ апарат (ЕПРА) за система DALI, за осъществяване на двупосочна комуникация с контролерите, монтирани на DIN шина в електроразпределително табло на склада. ЕПРА са с висок фактор на мощността ($\lambda=0,96$).

ОТ ще бъдат монтирани на височина 14.00 м разположени в непрекъснати светещи линии в които е интегрирано аварийното осветление. ОТ за аварийно осветление са окомплектовани с електронни устройства за предварителни комутиране от АС в DC режим на захранване. Захранването в аварийен режим се осъществява чрез монтирана в сградата централна

акумулаторна батерия (ЦАБ). Последната се зарежда от мрежата, а в случай че мрежовото напрежение е отпаднало, от дизел - агрегат. Към ЦАБ се свързват и ОТ указващи посоката на изходите за евакуация в случай на пожар или друго събитие, налагащо това.

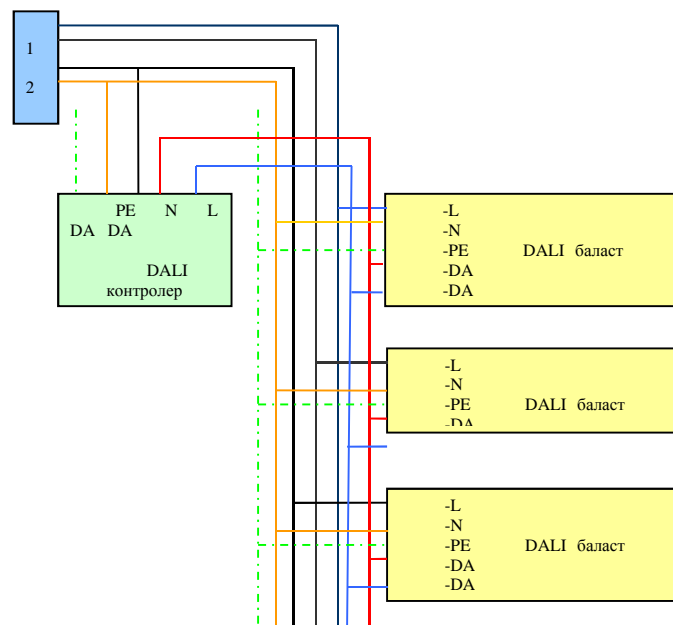


Фиг. 1. Представяне на системата DALI в общата структура на BMS

Захранването е трифазно, на редуващи се фази. Типът на захранващите кабели е NYU с клас на изолация до 1 kV. Аварийните и евакуационните ОТ се захранват с негорими кабели тип NHXN E30. Оперативната верига е изградена като усукана двойка кабели тип J-Y(St)Y 2x2x0.6 с повишена шумоустойчивост.

Топологията на системата DALI е звездообразно. При включването на системата се запамятава следните данни: групова принадлежност и единичен адрес за директно задействане.

Във всяко ОТ е интегриран ЕПРА с DALI интерфейс [2,3]. Съображенията за това са възможност за идентификация на всеки осветител, осъществяване на мониторинг върху неговият статус, както и удължаването на подаване на захранване при извънредни ситуации от ЦАБ. Чрез въвеждането на система DALI е възможно тя да се свърже като подсистема към системата за сградна автоматизация. Това се реализира чрез използването на транслатор-gateway. Това е необходимо тъй като системите ЕИВ и Ethernet не разпознават DALI протокола и следователно не е възможна комуникация между тях [1, 4]. Чрез свързване на системата DALI със системата за сградна автоматизация (BMS), осветлението в склада може да се регулира и по задание от операторския пулт на системата BMS [1]. Възможна е визуализация на моментното състояние на всеки осветител. Свързването на осветителите към BMS дава възможност да се получава информация за това дали има регистрирана повреда в някой осветител, изгоряла ЛЛ, нарушена връзка между даден DALI-ЕПРА и контролера. Осъществява се мониторинг и върху статуса и работата на DALI контролерите. Всеки контролер има зададен от производителя ID адрес. Когато приключи процесът на разпознаване, на дисплея на монитора се появява знак, че е осъществена връзка, което от своя страна е предпоставка за по-нататъшната коректна работа на системата.



Фиг. 2. Схема указваща начина на свързване на DALI контролера с DALI-ЕПРА на ОТ

В проекта е предвидена възможност DALI контролерите да се свържат към системата за измерване, регулиране и управление на техническите съоръжения и системи. Това ще става чрез Ethernet TCP/IP. За операторския интерфейс ще се използва операторската станция на системата за сградна автоматизация, както и нейния системен софтуер. Подаваните данни от всеки ЕПРА могат да се визуализират на екран на монитор на персонален компютър. Това може да се осъществи или чрез включването на DALI системата към тази

за сградна автоматизация или към DALI системата да се включи РС, чрез RS-232 интерфейс.

Комуникацията със системи, неразпознаващи DALI протокола (напр. BacNet, LonWorks), се осъществява посредством транслатор - gateway.

На фиг. 2 е показана схемата на свързване на DALI контролера с DALI-ЕПРА на ОТ. Веригата DA е оперативна и по нея се предават управляващите сигнали от DALI контролера към DALI - ЕПРА на ОТ.

Всеки DALI-ЕПРА се адресира индивидуално. Това става със съответен програмен продукт разработен фирмите производители на ЕПРА. Всяко ОТ с ЕПРА може да принадлежи едновременно към различни групи ОТ.

BMS позволява запис на регистрираните събития по време на работа на DALI системата. Посредством протокола на повредите и всеобхватните протоколи по всяко време има обширна информация за актуалното и миналото състояние на системата DALI. Освен това от пулта за управление могат да се изпълняват следните диалози: а) въвеждане на дата и час; б) въвеждане на дневна и седмична програма; в) освобождаване и блокиране на адреси и г) определяне на граничните стойности (най-висока и най-ниска).

Сигналите изпращани и получавани по шината за пренос на данни в рамките на DALI интерфейса са модулирани. Това налага всяко устройство от тази система да има на входа си демодулятор, а на изхода - модулатор. На практика това е реализирано с Модем (Mодулятор/DEModулятор).

Системата е проектирана така, че по области да се осъществяват автоматични задействания чрез техниката за измерване, управление и регулиране (MSR). В зоната на вход/ изход на стоките на съответните места ще се инсталират светлинни табла (общо 8 бр.), чрез които ще се осъществява визуализация на информацията за включените зони. На съответните вътрешни входове на халето е предвидено да се включва по една светлинна линия като преходно осветление. Това става ръчно чрез натискане на бутони, намиращи се до самия вход на халето.

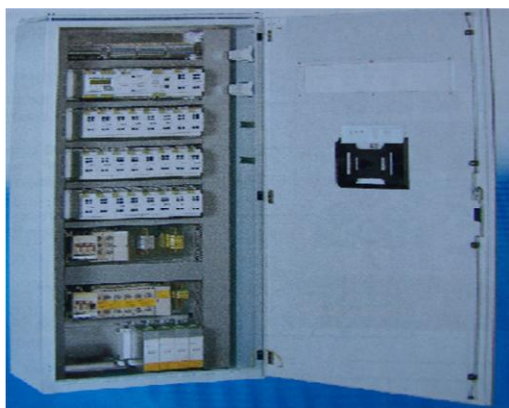
Предвидено е също при активиране на пожароизвестителната инсталация автоматично да се включва 1/3 от цялото осветление. Предварително ще бъде направено програмиране на адресите на точно определените ОТ, които ще се включват и светят в този режим. От операторския пулт ще се даде възможност по всяко време да може да се задават нови режими на работа на осветлението.

За аварийно захранване е предвидена акумулаторна батерия с възможност за временно захранване на всички аварийни и евакуационни ОТ. Системата се проектира така, че след отпадане на мрежовото напрежение, автоматично да се превключи към захранване от тази батерия. При отпадане на мрежовото напрежение се задейства и АВР. В случая това е генераторът, задвижван от дизелов агрегат. Постигането и поддържането на необходимите постоянни обороти, гарантиращи достатъчна мощност и честота 50 Hz на генерирания ток на дизел - агрегата се постигат в рамките на 4 минути. За това време е необходимо захранването на аварийните ОТ да се осъществява от ЦАБ. Предвидено е в режим на аварийно захранване от генератора да се реализира режим „1/3” светещи ОТ. Така постигнатата осветеност в склада позволява на

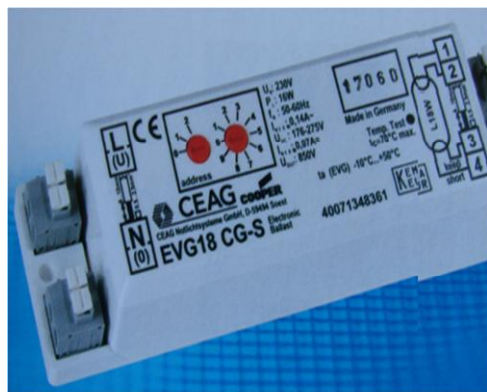
персонала да извърши най- неотложните ангажименти и изчака установяването на режим “захранване от енергийната мрежа”.

В аварийен режим трябва да се проектира и реализира адресируема система подобна на DALI, функционираща в нормален режим- при наличие на захранване от енергийната мрежа. За целта е предвидена ЦАБ модел ZB-S/18 на фирма “CEAG”- Германия. В нея се монтират до 18 захранващи модула.

На фиг.3 е показано главното ел. табло на предвидената ЦАБ. Самите акумулатори са разположени в специално изградено за целта помещение. В това помещение се следи концентрацията на газовете и температурата . Това се осъществява с помощта на газ детектор, който е свързан с контролер, монтиран в таблото и при достигане на предварително зададена гранична стойност на концентрацията контролерът подава управляващ сигнал за включване на монтиран на тавана вентилатор. Информация за нивото на заряд може да се изведе или на екрана на монитора на компютъра включен към системата или на дисплея на контролера, монтиран в аварийното табло в склада.



Фиг. 3. Главно ел. табло на ЦАБ



Фиг.4. Конвертор за комутация от АС в DC режим

Системата осъществява индивидуален мониторинг и контрол на всяко аварийно и евакуационно ОТ. Това е възможно чрез монтиране във всеки осветител на конвертор за комутация от АС в DC режим и прекъсване на захранването на едната ЛЛ в режим на захранване от ЦАБ. Това е необходимо, тъй като ОТ са с две ЛЛ x58W, захранвани от един електронен DALI ЕПРА за ЛЛ 2x58 W, а в аварийен режим има изискване да свети само едната от тях.

Конверторът се монтира във всяко ОТ, което ще свети в аварийен режим. Общо се предвиждат 146 такива ОТ в склада, т.е. всяко 6-то ОТ ще свети в аварийен режим. На фиг.4 е показан модулет, който се монтира в осветителя и осъществява комуникацията с контролер, монтиран в аварийното подтабло в склада.

Характерно е, че тези модули също са адресируеми. Потребителят може да избира до 20 адреса на токов кръг. Адресът на модула се задава ръчно от предвиден за целта превключвател, намиращ се на корпуса на самия модул. Чрез него всеки модул може да се получи адрес от 01 до 19. Промяната става чрез повторно превключване на нов адрес на модула.

Чрез другия превключвател предварително се задава желаната от инвеститора стойност на изходната мощност на осветителя в аварийен режим. Това става със стъпка от 10 % . В настоящия проект тази стойност е 80 %.

За реализацията на тази система не е необходимо допълнително окабеляване между аварийното подтабло, намиращо се в склада и аварийните и евакуационните ОТ. Комуникацията между контролера и модула се осъществява по кабела за силовото захранване на осветителните тела.



Фиг.5. Контролер за управление на аварийното осветление

На фиг.5 е показан контролерът, който управлява осветлението в аварийен режим. Той ще се монтира в аварийното подтабло на склада.

Контролерът е снабден с дисплей с 4 реда, 20 символа на ред, за визуализация на : а) статуса на всеки аварийен и евакуационен осветител; б) статуса на заряд на акумулаторите; в) зарядният ток на батериите; г) големината на тока в режим на захранване от акумулаторната батерия; д) има възможност да се извършва функционален тест на системата и е) съобщение за проблем в захранването на самото подтабло и др.

Тези проверки е необходимо да се правят поне веднъж седмично след пускане на обекта в експлоатация. Има и бутон „меню” .Чрез него и четирите стрелки се обхожда цялото меню, включващо различни настройки , тестове , извеждане на информацията на екран и др.

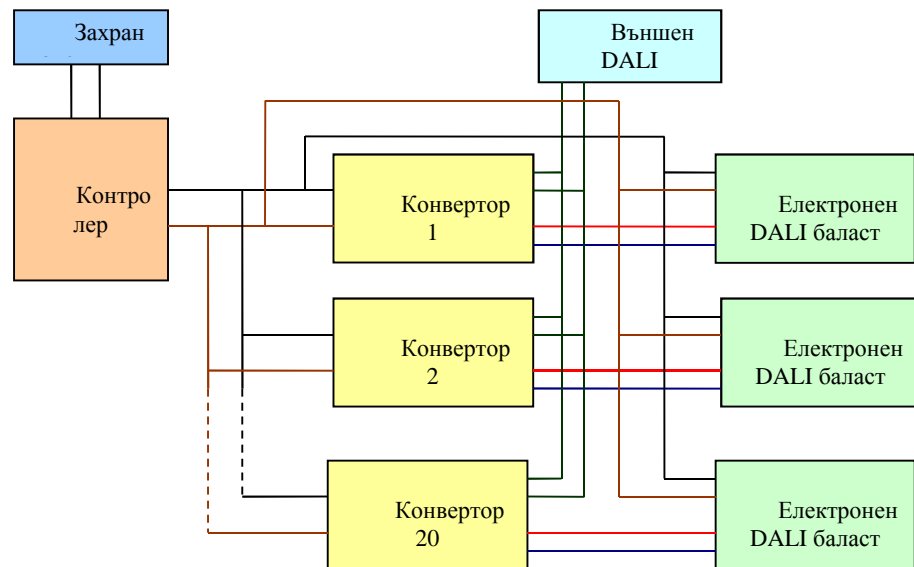
Наличието на тези допълнителни опции към контролера дава възможност на персонала по поддръжката да получава необходимата му информация за състоянието на системата, както и да прави някои промени в нея, без да се налага достъп до РС, който ще се намира в сървърното отделение- значително отдалечено място.

Посредством светодиоди намиращи се на лицевия панел на контролера се дава информация за наличие на захранване от мрежата или от акумулаторната батерия и сигнализация за технически проблем в някое от осветителните тела.

Контролерът може да се програмира директно от свързан към него компютър или чрез поставяне на смарт-медия карта в предвидено за целта гнездо в корпуса на контролера. Върху смарт - картата се записва информацията от РС чрез специално адаптиран флопи диск и след поставянето ѝ в контролера, този запис се прехвърля в неговата памет. Промени в записа,

съхранен в паметта на контролера могат да се правят повтаряйки същата процедура.

Комуникацията между контролера и РС се осъществява посредством индустриалния интерфейс RS 485.



Фиг.6. Схемата на свързване

На фиг.6 е илюстрирана схемата на свързване на модула към контролера и DALI ЕПРА на осветителя, както и на контролера към аварийното подтабло.

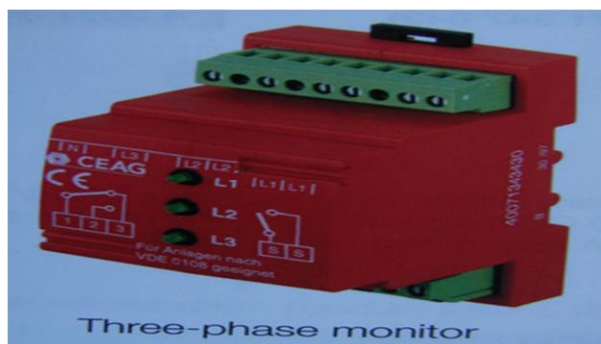
В проекта е предвиден и модул осъществяващ мониторинг на наличието на всяка една от трите захранващи фази (фиг.7).

Този модул ще се монтира в разпределително ел. табло в халето и ще следи наличието на всяка една от трите фази. В случай, че поне една от тях не е налична, той подава сигнал към контролера в главното аварийно табло. Последният активира режим "захранване от ЦАБ". При възстановяване на напрежението на повредената фаза, модулът отново подава информация по шината към контролера и той подава сигнал за преминаване на стандартен режим „захранване от мрежата”.

Комуникацията между модула и контролера също се осъществява по шина за пренос на данни използваща RS-485 протокол за обмен на данни.

По този начин ще се гарантира непрекъснатата работа на аварийните ОТ, дори и при наличие на частичен проблем в захранването [7, 8].

Фирмите предлагат и софтуер за програмиране и визуализация. Възможностите на този софтуерен продукт са свързване и управление до 480 контролера и подтабла, разпределени в 15 групи от по 32 устройства. При неголеми разстояния е възможно комуникацията да се осъществява чрез пренос на данни по усукана двойка кабел J-Y(St)Y 2x2x0.6. Когато разстоянието до устройствата е по-голямо като връзка се използва системата Ethernet.



Фиг.7. Модул за мониторинг на фазите

Софтуерът дава възможност да се извика адресът на всеки аварийен осветител и от разстояние да се получи информация за неговия статус. Извършва се и запис на настъпилите в минало време събития. Това е важно при осъществяване на контрол върху адекватните действия на персонала по поддръжката на техническите съоръжения и в частност на ОТ. Така записаната информация може да се съхранява за период от 2 години.

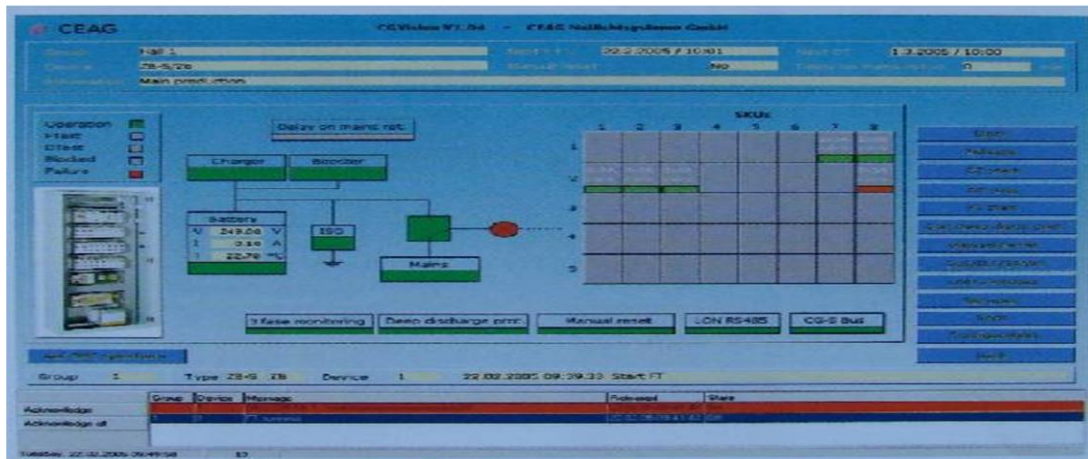
При наличие на проблем в даден осветител на екрана на монитора се появява виртуалният осветител оцветен в червено (фиг.8).



Фиг.8. Локализация на дефектирания осветител

При програмиране на системата се създава таблица за съответствие между условния адрес на всяко осветителни тяло и описание на реалното му местонахождение. Тя се появява и на екрана на свързания към системата персонален компютър. Това прави възможна идентификацията на ОТ, за което е получена информация за повреда. Всъщност повредата може да се установи от системата и да се визуализира информацията на екрана на компютъра или на дисплея на контролера в подтаблото. Тази информация се изобразява чрез символи, описани в техническата документация на софтуерния продукт.

При система с повече свързани устройства софтуерът дава възможност и за визуализация на виртуалното подтабло, към което е свързан дефектираният осветител. На фиг.9 е показан екрана на монитора в такава ситуация.



Фиг. 9. Локализация на токовия кръг, с дефектирания осветител

В халето и в офисната част евакуационното осветление ще се реализира с ОТ с ЛЛ 1x8 W с пиктограма, указваща посоката на изходите за евакуация при пожар или други събития, налагащи това. Тези ОТ ще бъдат монтирани на 5 см над всяка врата и в коридорите на височина 2.30 м от готов под, като местонахождението им се определя съгласно одобрен от Служба "Пожарна и аварийна безопасност" план за евакуация. В халето те трябва да имат степен на защита IP 65, понеже е налична спринклерна система за пожарогасене. Евакуационните ОТ също ще бъдат захранвани от ЦАБ. Във всяко от тях трябва да има монтиран ЕПРА и конвертор за комутация от променливотоков в постоянотоков режим на захранване. Процедурата по адресиране е същата, както при осветителните тела тип "светеща лента".

В офисната част ОТ ЛЛ 4x18 W с IP 21. Всяко ОТ ще бъде с монтиран ЕПРА- DALI. Осветлението трябва да може да се включва и изключва както от системата DALI, така и чрез ключове, монтирани в съответните помещения. В помещенията през деня има значителен приток на дневна светлина и ще бъдат монтирани сензори за управление на осветлението в зависимост от дневната осветеност. Тези сензори ще се включат към DALI контролера, който въз основа на получената от тях информация, ще подава управляващ сигнал за указване нивото на изходната мощност на всеки осветител индивидуално.

В коридорите и в санитарните помещения са предвидени ОТ с ЛЛ 1x36W и 2x36W. Те ще бъдат оборудвани с ЕПРА. Включването и изключването им ще се управлява от датчици за присъствие.

Аварийни ОТ ще бъдат монтирани и в помещението, в което е монтирана спринклерната централа във връзка с изискване на Службата по пожарна и аварийна безопасност. Там се предвиждат 2 броя ОТ с ЛЛ 2x36 W и степен на защита IP 65. Те трябва да бъдат снабдени с DALI ЕПРА и ще се свържат със системата за АУО в аварийен режим. Захранването ще се извърши посредством негорим кабел NHXN 3x2,5mm² тип Е 30. В аварийен режим ще свети само едната ЛЛ. Затова в ОТ ще бъдат монтирани конвертори за комутация от АС в DC режим на захранване. ОТ трябва да се монтира на стената на височина 2.3м, считано от готов под.

В халето на местата определени от Служба "Пожарна и аварийна безопасност" са разположени хидранти. Над всеки от тях е необходимо да се монтира ОТ, същото като евакуационното, но с пиктограма, указваща наличието на хидрант. Тя трябва да е в червен цвят. Осветителите е предвидено да се включат към ЦАБ, като всеки от тях има индивидуален адрес за идентификация и обмен на данни. Осветителите трябва да бъдат монтирани точно над хидрантите на височина 2.3 м, считано от готов под.

Важен момент от адресирането на всички ОТ е уеднаквяване на адресите им при настройката за работа и стандартен и в аварийен режим, т.е. всеки аварийен осветител има един и същи условен адрес и в двете системи.

За разпознаването на всеки аварийен осветител от телата тип "светеща линия" е необходимо на рефлектора от вътрешната му страна да се залепи червен кръгъл стикер с надпис, указващ номера на токовия кръг и поредния номер на осветителя съгласно изготвените таблици за съответствие.

3. Заключение

Като вишестояща система за управление и оптимизиране сградната управляваща техника поема задачи като осъществяване на централизиран контрол на всички видове технически инсталации в сградата, водене на статистика на съобщенията за повреди. Значително се подпомага и процесът на поддръжка в изправност на съоръженията и апаратурата в сградата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] www.automatedbuildings.com
- [2] www.dali-ag.org
- [3] www.dalicontrol.com
- [4] www.eiba.com
- [5] www.echelon.com
- [6] www.schneiderelectric.bg
- [7] www.stroiteli.elmedia.net
- [8] www.tllmedia.bg www.web.need.bg/electrocontrol
- [9] Матев Д.М., Киров Р.М., Гюров В.Н., Система за автоматизирано управление на улично осветление в гр. Варна, XIII Национална конференция по осветление „Осветление“ 2007.
- [10] Киров Р.М., Матев Д.М., Гюров В.Н., Изследване на технико - икономическата целесъобразност на система за автоматизирано управление на улично осветление, XV Национална конференция по осветление "BullLight 2010", Варна, 2010, ISSN 1314-0787.

Автори:

д-р инж. Захари Александров Иванов – доцент в катедра "Ел. снабдяване, ел. обзавеждане и ел. транспорт" (ЕСЕОЕТ), e-mail: zai@tu-sofia.bg;
маг. инж. Боян Георгиев, e-mail: elektropraktika@abv.bg

БИОДИНАМИЧНА ОСВЕТИТЕЛНА УРЕДБА В ДОМ ЗА ВЪЗРАСТНИ ХОРА

Захари Иванов, Божидар Гълъбов

Резюме: Проектирано е биодинамично осветление в дом за възрастни хора. Определено е разположението на осветителите, представена е схемата и матрицата за управление на отделните осветители, определени са осветеностите в различни режими на работа.

Ключови думи: биодинамично осветление

BIODYNAMIC LIGHTING SYSTEMS IN A HOME FOR THE ELDERLY

Zahari Ivanov, Bojidar Galabov

Abstract: Is designed biodynamic lighting in homes for the elderly. Definitely the location of luminaires, scheme is presented and matrix management of individual luminaires, are determined in different illumination modes.

Key words: biodynamic lighting

1. Въведение

Биодинамичните осветителни уредби се развиват и усъвършенстват с изключително бързи темпове. Логично е едни от първите обществени сгради, въвели биодинамичното осветление като средство за стимулиране на организма, да са болниците, старческите домове и училища [1,4]. Биодинамичните осветителни уредби (БДОУ) намират все по-широко разпространение в домовете за стари хора, тъй като в напреднала възраст човешкият организъм отслабва и все по-често има нужда от външни стимули.

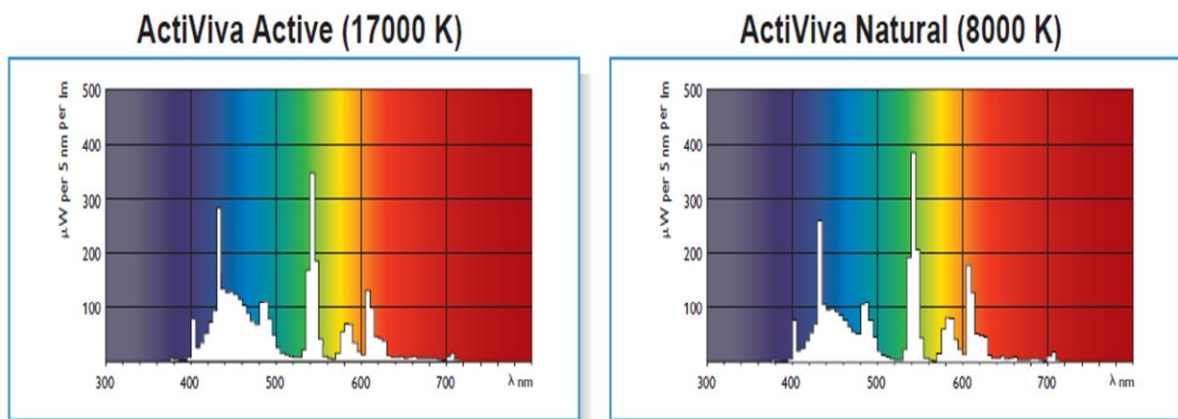
2. Същинска част

Светлинни източници в системите за биодинамично осветление

При проектиране и изпълнение на БДОУ, възниква въпросът как точно може да се променя в плавни граници цветната температура (Тцв, К) на светлинните източници (СИ) и кои СИ могат да бъдат използвани на практика? За регулиране на Тцв могат да се използват два типа СИ – светодиоди (СД) или луминесцентни лампи (ЛЛ). СД позволяват голяма гъвкавост и осветителите, които могат да бъдат използвани обикновено са доста по-малки по размери от тези с ЛЛ. Тцв на СД може да бъде съответно “димирана”, което позволява много плавни преходи при промяна. Тези системи със СД все още се използват много рядко, защото изпълнението на основното осветление само със СД е все още твърде скъпо. Най-често системите за биодинамично осветление (БДО) се изпълняват с ЛЛ.

Тъй като цветната температура на ЛЛ не може да бъде регулирана, при изпълнението на такива системи се използват осветители, в които са поставени лампи с различна Тцв. Това води до по-обемни осветители и по-малка гъвкавост, което е основният недостатък на този тип системи. Друг недостатък е необходимостта от индивидуална ЕПРА за всяка лампа в осветителя, което оскъпява схемата. Ефективно е решението, при което във всеки осветител половината от ЛЛ са с топла бяла светлина – ТБС (около 2700 К), а другата половина със студена бяла светлина- СБС (Тцв не трябва да бъде по-ниска от 6500К).

Светлинните източници (СИ) с биологично действие трябва да имат максимум на излъчването около 450 nm [3] и Тцв близка до тази на дневната светлина. Фирмата Philips произвежда специални СИ с биологично действие с наименованието ActiViva. Тези СИ могат да са с Тцв 8000 К или 17000К и спектралното им излъчване има силно изразена съставка в синята част на спектъра (фиг. 1). Osram произвежда специални ЛЛ с наименованието Biolux с Тцв = 6500К и силно излъчване в синята област около 450 nm. Към СИ с ТБС няма специални изисквания и може да бъдат използвани най-обикновени ЛЛ.

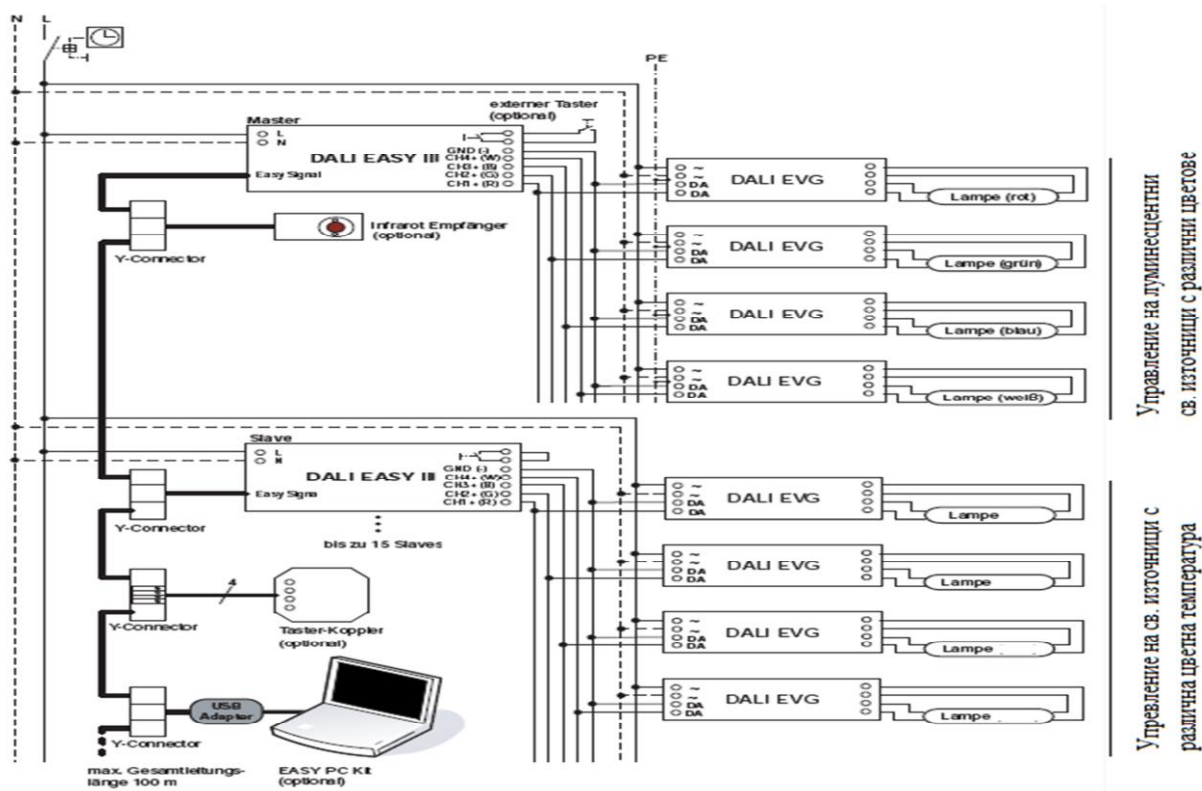


Фиг. 1. Спектрално разпределение на лампа ActiViva с биологично действие

Система за управление на биодинамично осветление.

Понастоящем съществуват редица системи за управление на биодинамичното осветление, като основно се базират на KNX/EIB или DALI. За BUS протоколи (EIB/KNX) съществуват и активни компоненти като Touch - табла, ключове, бутони, сензори и т.н. За да могат тези елементи обаче да управляват СИ трябва винаги да се използва „преводач” на протокола или така наречените коплери за преминаване към DALI протоколи. .

Фирмата Osram произвежда специализирана система за управление на БДО с наименование “DALI easy”. Osram е избрала наименованието “Easy” за своите комуникационни протоколи (Easy BUS). На фиг. 2 е показана примерна схема за такъв тип управление.



Фиг. 2. Биодинамично управление на светлинни източници с различна цветна температура.

Системата “Luxmate Emotion” е на фирмата Zumtobel, която има сериозни изследвания в областта на влиянието на светлината върху човешкия организъм. Продуктите на фирмата в тази насока се обединява под наименованието “Humanenergy balance”.



Фиг. 3. Примерна структура на системата Luxmate Emotion на фирмата Zumtobel за биодинамично осветление.

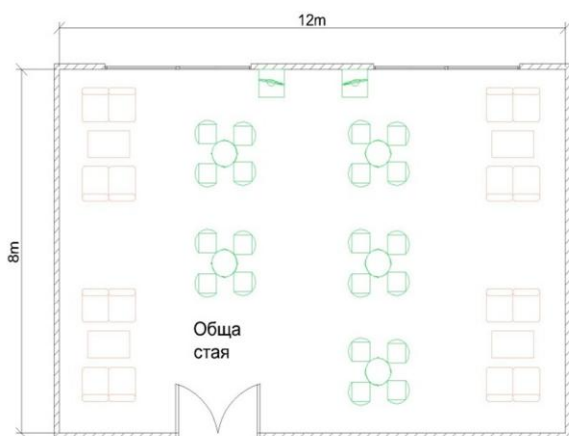
На фиг. 3 е показан пример на системата за биодинамично осветление Luxmate Emotion на фирмата Zumtobel. Разходите за такъв тип система са значително по-големи от класическите, но за по-ефективната работа на

персонала и стимулирането на естествения цикъл на човешкият организъм, напълно оправдават инвестираните средства. В срока за възвращаемост на средства трябва да се отчита по-високата продуктивност на работното място, вследствие на биодинамичната осветителна уредба.

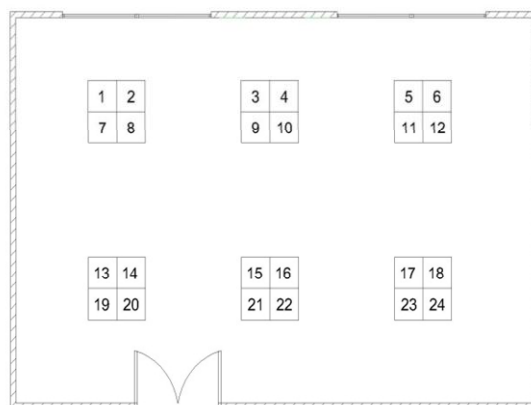
Редица други фирми като Philips, IGuzzini, Etap, Trilux и др. произвеждат също системи за управление [4, 5, 6].

Проектиране на биодинамична ОУ уредба в дом за възрастни хора

Проектираната БОУ е за помещение в старчески дом предназначено за събирания, забавления и престой. Помещението е с размери 12 на 8 метра, височина 3 метра, с два големи, тип „френски” прозореца по 2,5 метра височина всеки. То има окачен таван. Помещението се посещава от 50% жени и 50% мъже. На фиг.4 е показан чертежа на проектираната стая. Всички фактори за добро биодинамично осветление с максимално голям биологичен ефект трябва да бъдат спазени [2, 4].



Фиг. 4. Размери на помещението



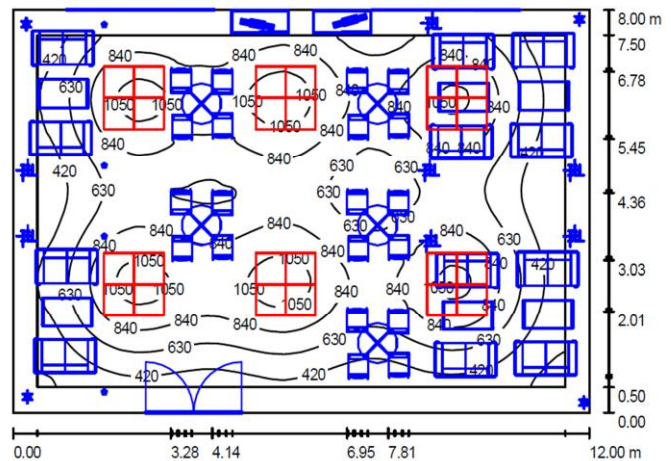
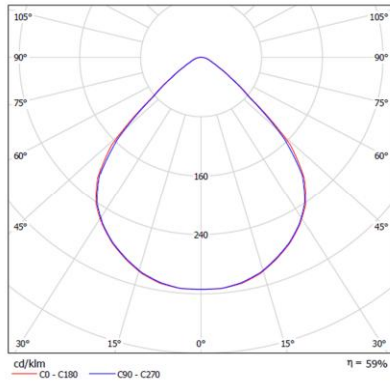
Фиг. 5. Номериране на осветителите

За да се постигне максимален ефект от биологичното действие трябва да бъдат спазени следните условия:

1. Тцв да е близка до дневната светлина с голяма синя съставка;
2. Възможно по-големи светещи повърхности за максимално възбуждане на рецепторите в зрителния орган;
3. Падащият ъгъл на светлината трябва да бъде между 45 и 90 градуса;
4. Светещите повърхности не трябва да бъдат в активното зрително поле, за да не предизвикват заслепяване;
5. Използваните осветители е най-добре да са с хомогенно излъчване на цялата светеща повърхност;
6. Цветната температура да бъде регулирана плавно (виж таблица 1);
7. Да се съобрази пола на хората, които посещават помещението.
8. Да се съобрази количеството дневна светлина, попадащо в помещението;
9. Да се съобрази възрастта на хората, които посещават помещението.

Табл. 1. Матрица за управление на отделните осветители

	Час	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 10	Nr. 11	Nr. 12
Епра 1/6500K	07:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 2/2700K	07:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 1/6500K	08:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Епра 2/2700K	08:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 1/6500K	09:00	30%	30%	30%	30%	30%	30%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Епра 2/2700K	09:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 1/6500K	10:00	30%	30%	30%	30%	30%	30%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Епра 2/2700K	10:00	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Епра 1/6500K	11:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Епра 2/2700K	11:00	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Епра 1/6500K	12:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Епра 2/2700K	12:00	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Епра 1/6500K	13:00	60%	60%	60%	60%	60%	60%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Епра 2/2700K	13:00	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Епра 1/6500K	14:00	70%	70%	70%	70%	70%	70%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Епра 2/2700K	14:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 1/6500K	15:00	70%	70%	70%	70%	70%	70%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Епра 2/2700K	15:00	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Епра 1/6500K	16:00	60%	60%	60%	60%	60%	60%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Епра 2/2700K	16:00	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Епра 1/6500K	17:00	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Епра 2/2700K	17:00	50%	50%	50%	50%	50%	50%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Епра 1/6500K	18:00	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Епра 2/2700K	18:00	60%	60%	60%	60%	60%	60%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Епра 1/6500K	19:00	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Епра 2/2700K	19:00	70%	70%	70%	70%	70%	70%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Епра 1/6500K	20:00	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Епра 2/2700K	20:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 1/6500K	21:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 2/2700K	21:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 1/6500K	07:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 2/2700K	07:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 1/6500K	08:00	90%	90%	90%	90%	90%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 2/2700K	08:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 1/6500K	09:00	70%	70%	70%	70%	70%	70%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Епра 2/2700K	09:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 1/6500K	10:00	70%	70%	70%	70%	70%	70%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Епра 2/2700K	10:00	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Епра 1/6500K	11:00	70%	70%	70%	70%	70%	70%	80%	80%	80%	80%	80%	80%



Фиг. 6. СРК на осветителите Фиг. 7. Изолуксни криви на работното място (сутрин)

Избор на светлинни източници и осветителни тела

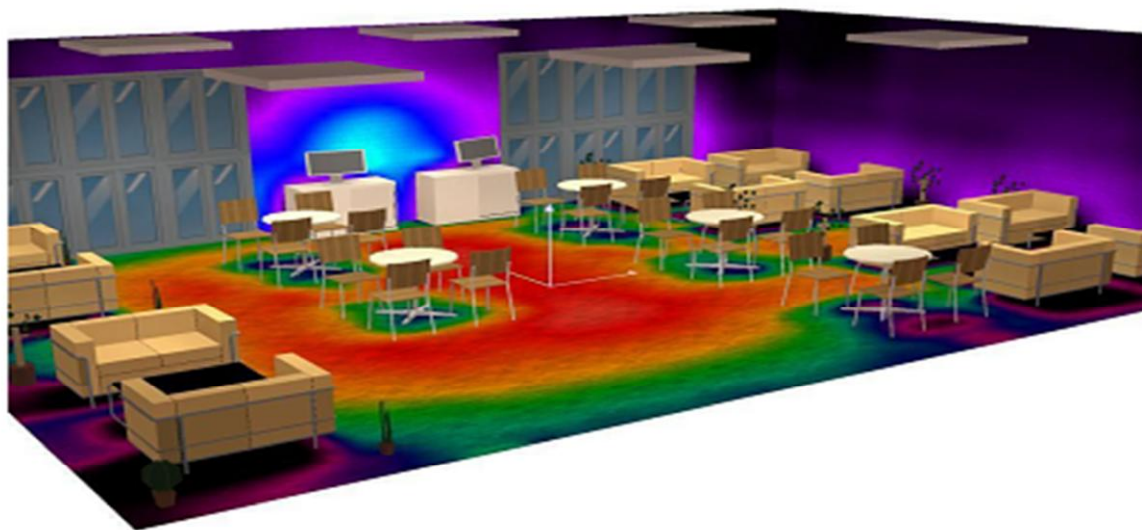
За изпълнение на условията (1, 2, 5, 7 и 9) при проектирането е избран осветител тип Savio – pure light 4x14W с хомогенно светеща повърхност със СРК показана на фиг. 6. В помещението са разположени 24 броя от тези осветители (фиг. 5 и 11). Тъй като в помещението има сравнително голям приток на дневна светлина и равен брой мъже и жени, са избрани лампи с цветна температура $T_{цв}=6500\text{ K}$ тип Master TL5 HE 14W/865 UNP и лампи с $T_{цв} = 2700\text{ K}$ тип Master TL5 HE 14W/827 1SL. Тъй като помещението се ползва от възрастни хора, реализирани са по- високи осветености (фиг.7).

Светлотехническите изчисления и визуализацията на биодинамичната осветителна уредба са направени с програмата Dialux. На фиг. 7 са показани изолуксните криви на работното място и реализираните осветености сутрин. Визуализацията на биодинамичното осветление в стаята за престой сутрин е показана на фиг.8, а за късен следобед и вечер на фиг. 9.

Продължение на табл. 1. Матрица за управление на отделните осветители

	Час	Nr. 13	Nr. 14	Nr. 15	Nr. 16	Nr. 17	Nr. 18	Nr. 19	Nr. 20	Nr. 21	Nr. 22	Nr. 23	Nr. 24
Епра 2/2700K	11:00	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Епра 1/6500K	12:00	70%	70%	70%	70%	70%	70%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Епра 2/2700K	12:00	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Епра 1/6500K	13:00	80%	80%	80%	80%	80%	80%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Епра 2/2700K	13:00	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Епра 1/6500K	14:00	90%	90%	90%	90%	90%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 2/2700K	14:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 1/6500K	15:00	90%	90%	90%	90%	90%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 2/2700K	15:00	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Епра 1/6500K	16:00	80%	80%	80%	80%	80%	80%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Епра 2/2700K	16:00	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Епра 1/6500K	17:00	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Епра 2/2700K	17:00	70%	70%	70%	70%	70%	70%	80%	80%	80%	80%	80%	80%

Епра 1/6500К	18:00	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Епра 2/2700К	18:00	80%	80%	80%	80%	80%	80%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Епра 1/6500К	19:00	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Епра 2/2700К	19:00	90%	90%	90%	90%	90%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 1/6500К	20:00	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Епра 2/2700К	20:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Епра 1/6500К	21:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Епра 2/2700К	21:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



Фиг. 8. Визуализация на биодинамичното осветление сутрин



Фиг.9. Визуализация на биодинамичното осветлени в стаята за престой късен следобед и вечер

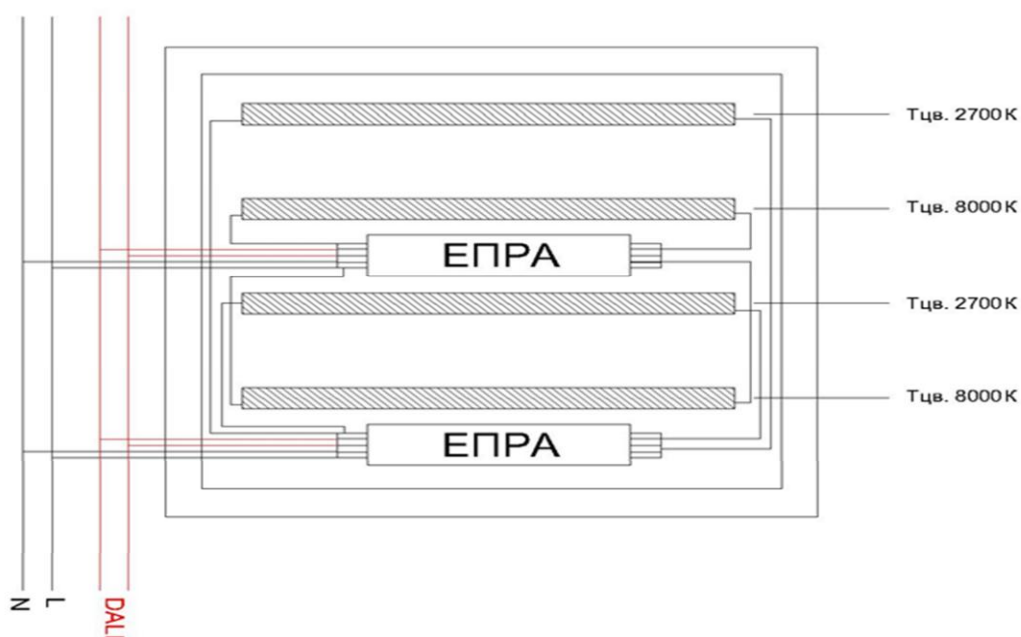
В областта близо до прозорците денем когато има наличен силен приток на естествена светлина, осветителите може да не работят на пълния капацитет в

сравнение с по-вътрешните части на стаята (съгласно условие №8). Това се постига чрез правилното програмиране на системата за управление.

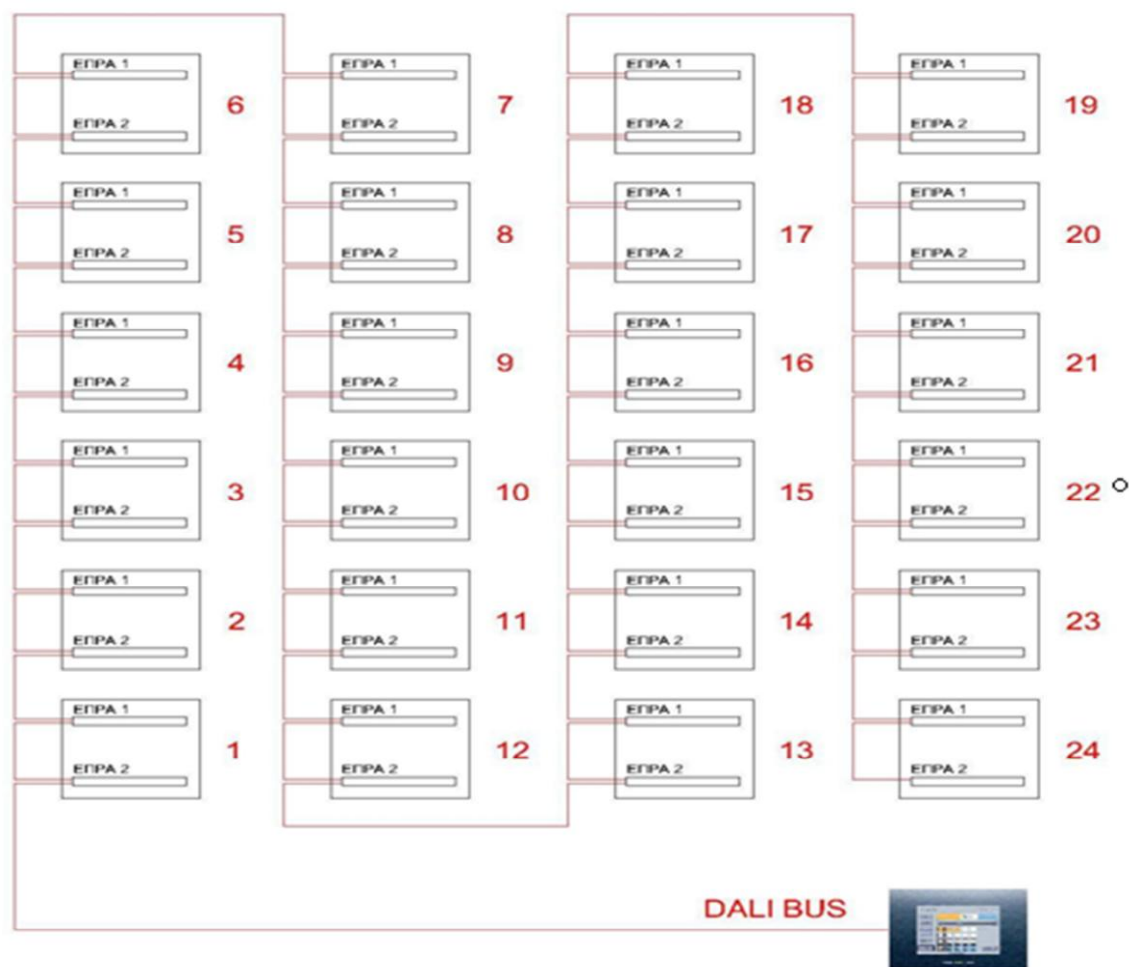
Условия 3 и 4 трябва да бъдат проверени след изпълнението на проекта.

Избор на система за управление

За да бъде изпълнено условие 6, системата за управление трябва да бъде цифрова. За системата е избрана схема на свързване (фиг. 10 и 11). с два електронно пускорегулиращи аппарата (ЕПРА).



Фиг. 10. Схеми за управление на светлинните източници в осветителите



Фиг. 11. Свързване на управляващата верига на осветителите в помещението

Както може да се види от представената матрица за управление на отделните осветители (табл. 1), през основната част от деня преобладават по-студените цветове. Това се постига с използването на ЛЛ с по-студен цвят на светлината. Също така е необходимо в периода от 14:00 до 16:00 ч., когато организма започва да изпитва умора, да има интензивно облъчване със студена светлина, за да се стимулира активността на хората. Вечер постепенно се намалява студената светлина и засилва излъчването в по-топлите цветове. Това успокоява организма и го подготвя за вечерните часове и съня през нощта.

3. Заключение

Понастоящем съществуват много системи чрез които може да се реализира управление на осветителната уредба за биодинамичното изкуствено осветление. Като основна пречка пред широкото разпространение на такъв тип системи е високата им цена, която кара много инвеститори да пренебрегват фактора на биологичното действие на светлината. В развитите страни такива системи са намерили много широко приложение в болнични заведения и старчески домове, където нуждата от допълнително стимулиране на естествените цикли на организма е много голяма. Въпреки ограниченото

разпространение тези системи ще се развиват много бързо в следващите години.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванов З. А., Приложение на системи за биодинамично осветление във вътрешни осветителни уредби, Международната научна конференция “UNITECH '08- Gabrovo”, 21 – 22. XI 2008, Габрово, том I, стр. I-91÷I-94.
- [2] Иванов З. А., Въздействие на светлината върху човешкия организъм, IV Научна конференция "ЕФ 2012", 28 - 30. IX 2012, Созопол
- [3] Василев Х., Биодинамично осветление, сп. Технологичен дом, 22. 10. 2007
- [4] www.dinamiclighting.philips.com
- [5] www.lighting.philips.bg
- [6] www.osram.com
- [7] www.iGuzzini.com
- [8] www.dialux.com/
- [9] www.dalicontrol.com/

Автори:

д-р инж. Захари Александров Иванов – доцент в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (ЕСЕОЕТ),
e-mail: zai@tu-sofia.bg;

маг. инж. Божидар Гълъбов , e-mail: galabov.sng@googlemail.com

СИСТЕМА ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДНЕВНА СВЕТЛИНА В ОФИС СГРАДИ

Вилиана Кисьова, Христо Василев

Повишаването на енергийната ефективност на сградите е основна задача при саниране на всички съществуващи сгради, наред с това трябва да бъде и основна цел при проектирането и изграждането на нови такива. Системите за използване на дневна светлина са неразделна част от “механизма” : фасада – изкуствено осветление - ОВК инсталация – сградна автоматизация.

SYSTEM FOR DAILY LIGHT USAGE IN OFFICE BUILDINGS

Vilana Kisiova, Hristo Vasilev

Increasing the energy efficiency of the buildings is a primary goal during sanitation of all existing buildings and also should be of primary importance when building new ones. The systems for usage of daily light are integral part of the “mechanism”: facade-artificial lightening-Heating Ventilation and Air conditioning-building automation.

1. Увод

Дневната естествена светлина създава не само комфорт, но е доказано, че пряко влияе върху здравето, работоспособността и душевното състояние на хората, които прекарват по-голямата част от живота си в офис сградите.

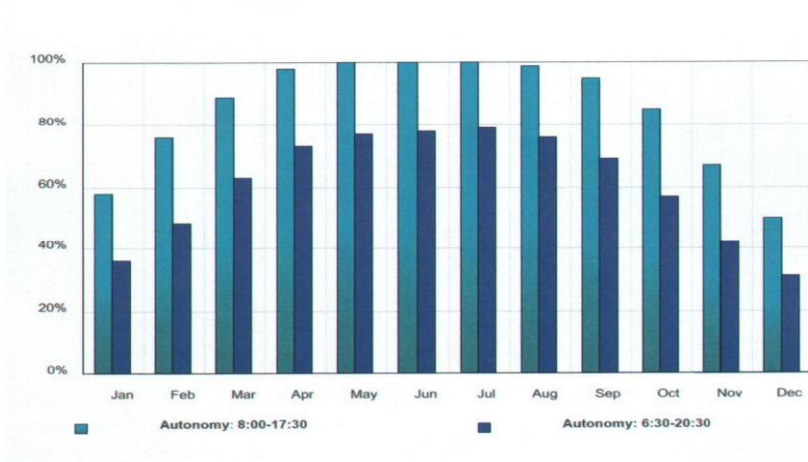
Принципът на действие на повечето системи за използване на дневна светлина е насочването ѝ в дълбочина на помещението, като едновременно с това трябва да гарантират:

- Защита от заслепяване;
- Гарантиране на топлинния баланс на помещението;
- Защита от отразен блясък;
- Свеждане до минимум необходимостта от включване на изкуствено осветление през светлата част на деня;
- Визуален контакт с външната среда;

2. Изложение

Правилният избор на фасадно решение с подходящо подобрени слънцenasочващи щори, включени към сградната автоматизация на една офис сграда водят до така наречената автономност на сградата по отношение на работа с дневна светлина. Конкретен пример за това са сградите “Литекс Тауър и Софарма Бизнес Тауърс”, първите и единствени за момента енергоефективни сгради от клас А за България. При тях в около 82%-86% от

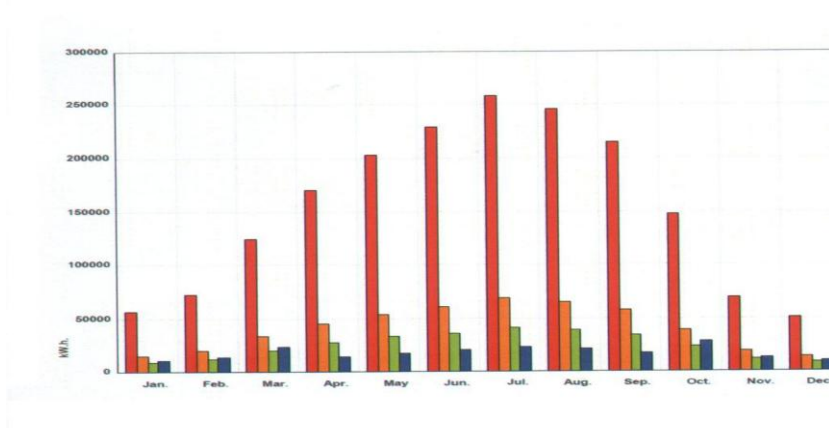
времето в годишен план, няма да има нужда от вътрешно изкуствено осветление, фиг. 1 и фиг.2. От друга страна адаптивността на фасадата по отношение на преноса на лъчиста енергия е показан на фиг.3. т.е. разходът от ОВ – инсталацията е много нисък, при инсталирани вече веднъж по-малки мощности.



Фиг.1 Процентно разпределение на автономността на сградите да оперират с ДС по месеци в два варианта.:

(светло синьо) раб.време 8.00ч-17.00ч.

(тъмно синьо) раб.време 6.30-20.30ч.



Фиг.2 Диаграма с общия товар слънчева енергия, облъчваща сградата (Софарма А) по месеци (червен) и поетата съответно енергия (преминала в сграда) при употребата на различни фасадни решения

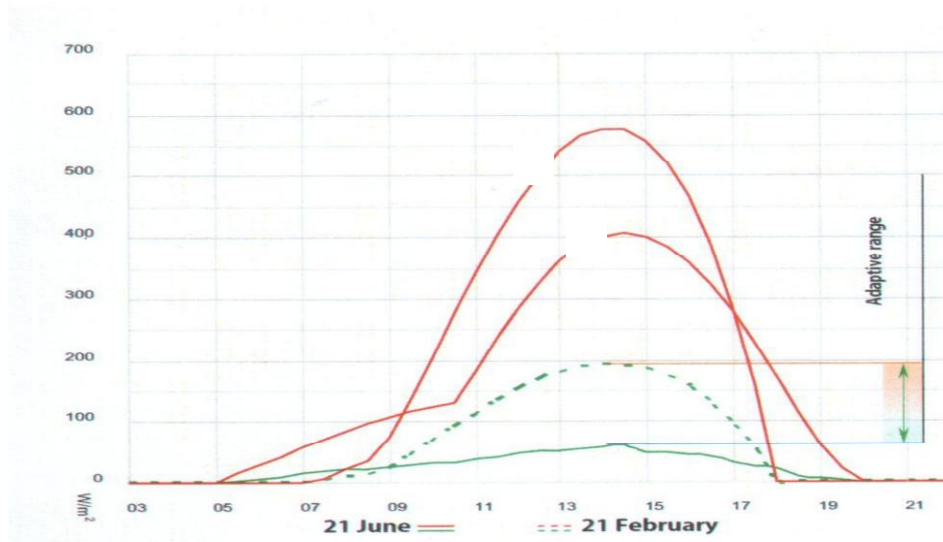
(оранжево) – традиционно остъкляване с интериорни щори: общ коефициент на слънцезащита 0.5

(зелен) – ниско емисионни и слънцезащитни стъкла +интериорни слънцезащитни щори: общ коефициент на слънцезащита 0.3

(синьо) – адаптивна фасадна концепция с прозрачни стъкла и ретро-оптични слънцезащитни щори: общ коефициент на слънцезащитен летен сезон 0.11, зимен сезон 0.35

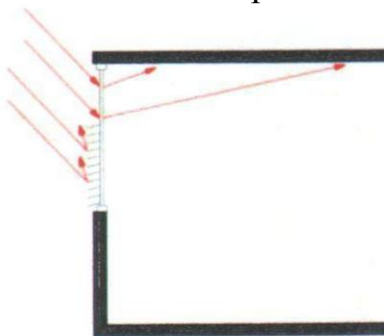
ü *Летен режим* – нисък пренос към интериора, доминантна светлина (червена линия „1” – падаща върху фасадата слънчева радиация, зелена плътна линия – пропусната към интериора енергия)

ü *Зимен режим* – висок енергиен пренос (червената линия „2” – падаща върху фасадата слънчева радиация, зелена прекъсната линия - пропусната към интериора енергия)



Фиг.3 Адаптивни възможности на фасадната концепция по отношение преноса на лъчиста енергия

Друго решение за използване на дневната светлина в офис сградите, е комбинация от микроструктурен елемент в горната част и конвенционални слънцезащитни щори в долната част на прозореца, фиг.4. Микроструктурният елемент нарушава визуалния контакт с външната среда, затова се поставя на височина над зрителната ос на прав човек (над 2.0м.).

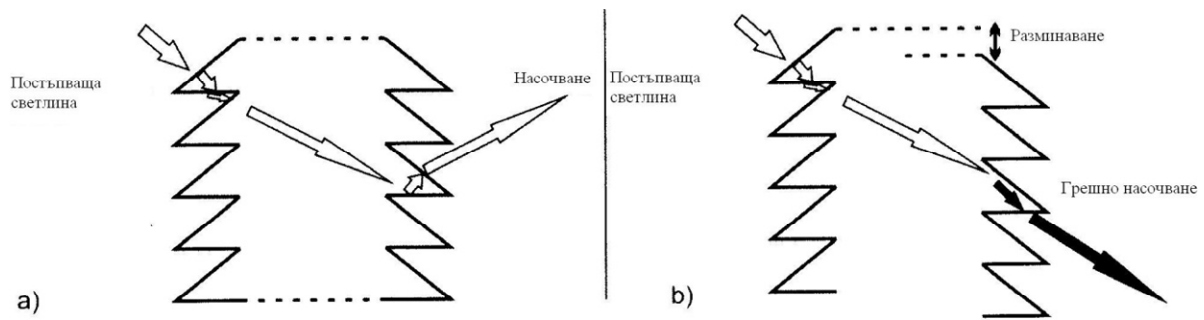


Фиг.4 Микроструктурен елемент и слънцезащитни щори

Всички съществуващи до момента системи за използване на дневната светлина използваха едностранно призматични елементи или двустранно чисто призматични елементи. И при двете решения обаче, голяма част от слънчевата светлина при много ниско и съответно при много високо слънце не може да бъде насочвана. При двустранно призматичните елементи с чиста геометрия се обхваща желания диапазон на височина на слънцето от 15° до 65° .

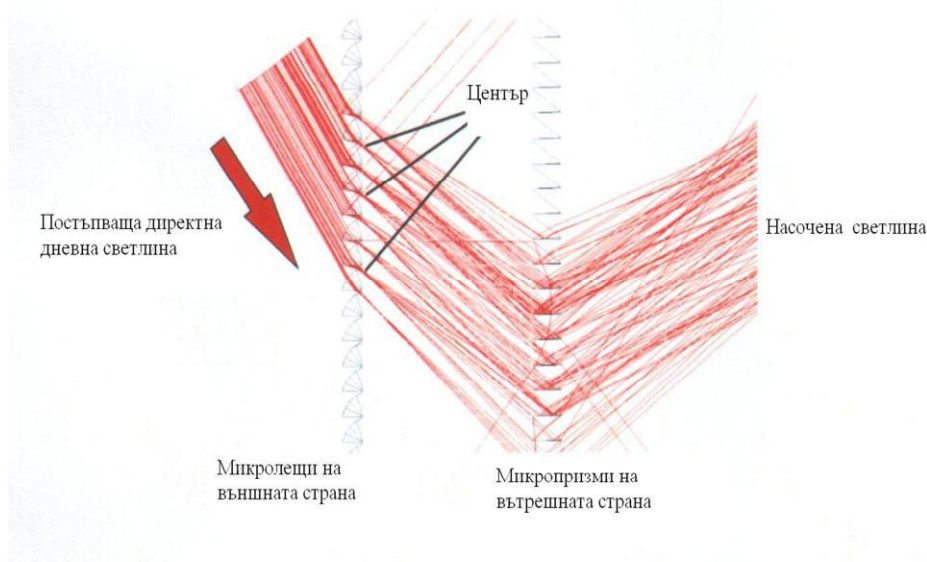
Недостатък при тях е, че от двете страни на елемента нарушават насочващите му функции, фиг. 5.

от



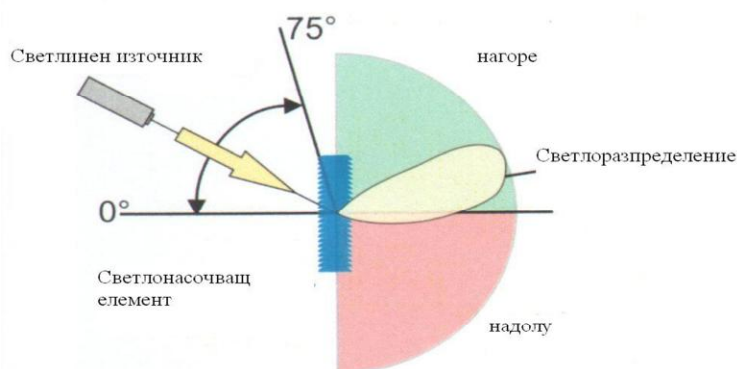
Фиг.5 Двустранен чисто микропризматичен елемент. а) Перфектно насочване на постъпващата светлина при идеално симетрично разположени призми от двете страни. б) Минимално разместване на призмите нарушава насочването на постъпващата светлина и тя просто се пропуска.

В този случай, постъпващата светлина се пропуска в помещението без насочване, което предполага появата на заслепяване и отразен блясък. За отстраняване на този проблем при новият микроструктурен елемент, външната страна се състои от изпъкнали сегменти, а вътрешната страна от микропризми, фиг.6. Тази структура гарантира насочващите му функции.



Фиг.6 Структура на микроструктурния елемент

Светлоразпределението на светлината от микроструктурният елемент в лабораторни условия е показано на фиг.7.



Фиг.7 Светлоразпределение на насочената от микроструктурния елемент светлина

За експериментално изследване на ефективността от използване на подобен микроструктурен елемент за територията на България, съвместно с ф. Денима подготвяме набор от инструменти и материали за изработката на елемент с дебелина 3мм и ширина на призматичните сегменти 0.35мм..

3. Заключение

Предимства на двустранния микроструктурен елемент – „изпъкнали сегменти - чисти микропризми“:

- ü Компактна структура, лесна за вграждане в стъклопакет;
- ü Неподвижен, следователно не се изисква система за следене положението на слънцето;
- ü Херметически затворен в стъклопакета, т.е. няма замърсяване, минимални разходи за почистване, запазва характеристиките си за голям период;
- ü Намалява топлинните загуби на стъклопакета през зимата, т.е намаляват се разходите за отопление;
- ü Предпазва от заслепяване и отразен блясък;
- ü Материалът и инструментите за производството му, не са скъпи, което го прави конкурентен на пазара в ценово отношение;

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Directive 2002/91/CE of the European Parliament and of the Council on energy performance of buildings, December 2002
- [2] Вакарелски Я., Кулите на литекс и Софарма, съвместен проект на „Koester Lichtplanung“, Германия , „Архитектоника студио“ и „Reynaers“ Белгия
- [3] VDI RICHTLINIEN 6011 – Optimierung von Tageslichtnutzung und kuenstlicher Beleuchtung , Grundlagen, August 2002
- [4] DIN 5034 – Tageslicht in Innenraumen, Februar 1983
- [5] DIN EN 4108-2; 4108-3; 4108-4; 4108-6; 4108-7; 4108-10, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden , Beuth Verlag Berlin, 2000,2001,2002, 2003
- [6] Klammt St., Mueller H., Neyer A., Mikrostrukturiertes Tageslichtlenksystem mit hoehr Effizienz, Berlin 2012
- [7] Clemens J., Tageslichtnutzung mit optimierter Verschattung, 11-Symposium, „Innovative Lichttechnik in Gebäuden“, Bad Staffelstein,2005

Автори :

Проф.д-р инж. Хр.Василев и маг.инж.В.Кисьова
licht@abv.bg

СПЕКТРАЛНА ДИАГНОСТИКА НА ПЛАЗМА ПОДДЪРЖАНА ОТ ПОВЪРХНИННА ВЪЛНА КАТО ИЗТОЧНИК НА СВЕТЛИНА

Магдалена Христова

Резюме: Представена е спектрална диагностика на плазма получена и поддържана от разпространяваща се повърхнинна вълна на границата плазма-диелектрик. Методът е приложим за контрол на плазмените параметри на технологична плазма, създадена за различни приложения, като източник на светлина, например. Предимството на методът е, че се използват линии на работния газ, а не се внасят примеси за целта, като водород например, каквато е обикновената практика.

Ключови думи: плазма поддържана от повърхнинна вълна, спектрална диагностика

SPECTROSCOPY DIAGNOSTICS OF A SURFACE WAVE'S PLASMA AS A LIGHT SOURCE

Magdalena Christova

Abstract: A spectral diagnostics of a surface wave's plasma have been presented. The study is of interest for plasma diagnostics of a wide range of technological plasma applications, as a light source, for example. Usually, the broadening of hydrogen lines from Balmer series is used for the electron density diagnostics. Adding small quantities of hydrogen to the working gas causes the plasma conditions alter in ways which are sometimes unacceptable.

Key words: surface wave's plasma, spectroscopy diagnostics

1. Introduction

The SWDs [1] are sustained by an electromagnetic surface wave, a proper mode of a plasma-dielectric waveguide structure. The wave and the discharge exist simultaneously: the wave creates the discharge and the produced plasma ensures the wave propagation. The flexibility of the SWDs makes them very attractive for involvement in gas discharge applications. SWDs can be produced in different gases, in wide ranges of variation of the frequency (500 kHz - 10 GHz) and gas pressure (10⁻⁵ Torr – 1 atm) and in vessels with different size (e.g., radius of the gas discharge tube from 0.5 mm to 15 cm). Plasmas with different values of the density ($10^8 - 5 \cdot 10^{15}$ cm⁻³) could be produced by applying HF power which is not too high (≤ 200 W, or up to 700 W at 1 atm).

The interest in SWDs as a substitute for the DC positive column of standard fluorescent lamps was high among the major lamp companies in 1980's [2]. It was motivated by the fact that, in contrast to DC plasmas, the radial density distribution of excited atoms in this type of plasma can show maxima off the discharge axis. One

could than expect that in the UV range more radiation could escape the surface-wave plasma, thereby increasing the radiation efficiency of the lamp. It was concluded in [3] that there exist operating conditions for which the optical radiation efficiency of the given radiative level in argon is higher than in a DC positive column. On the base of obtained results in [4] the conclusion is that the SWDs are potentially very useful in the lighting industry.

To optimize the conditions under which the discharges are stable, reproducible and produce plasmas possessing certain technological qualities, it is necessary to control the plasma parameters by reliable diagnostics methods. The spectral diagnostics employing the broadening of non-hydrogen lines emitted by the gas under investigation is always applicable yet rarely reported in the literature. It is hampered by the complex interactions between the radiators and perturbers in the plasma and the insufficient theoretical data about the broadening. There still exists a lack of atomic data about the high excited states of spectral transitions (that are important for the diagnostics) even of argon which is one of gases most used for generation and study of laboratory plasmas.

Plasma-broadened and shifted spectral line profiles have been used for a number of years, as the basis of a non-interfering plasma diagnostic technique. This technique needing Stark broadening data became, in some cases, the most sensitive and often the only possible plasma diagnostic tool. Stark broadening of spectral lines is important for the diagnostic and modelling of laboratory plasmas and for many purposes in astrophysics. In spite of numerous efforts to obtain the atomic parameters entering the calculation of spectral line intensities and profiles, a number of such important parameters are still missing.

In this work results for the electron density variation through the plasma column of surface wave sustained discharge under atmospheric pressure are presented. The method of pressure broadening of three argon lines emitted from intermediate Rydberg levels from one spectral series has been applied.

2. Theory and results

Under atmospheric pressure the broadening mechanisms of spectral lines emitted in surface wave plasmas are the pressure broadening due to Stark effect and interactions emitter-neutral atoms, Doppler effect and natural broadening. Natural broadening is negligible in comparison with other broadenings. It is a characteristic of SWDs that the plasma has two temperatures, the electron temperature T_e being different from the gas temperature T_g . The two temperatures differ even under atmospheric pressure.

Stark broadening

Within the semi-classical perturbation formalism [5, 6] the full half width (W) and the shift (d) of an isolated line originating from the transition between the initial level i and the final level f is expressed as:

$$(1) \quad W = 2n_e \int_0^{\infty} v f(v) dv \left[\sum_{i' \neq i} S_{ii'}(v) + \sum_{f' \neq f} S_{ff'}(v) + S_{el} \right]$$

$$(2) \quad d = \int_0^{\infty} v f(v) dv \int_{R_3}^{R_d} 2pr dr \sin 2j_p$$

where i' and f' are perturbing levels, n_e and v are the electron density and the velocity of perturbers respectively, and $f(v)$ is the Maxwellian distribution of electron velocities.

The inelastic cross sections $\sigma_{ii'}(v)$ (respectively $\sigma_{ff'}(v)$) can be expressed by an integration of the transition probability $P_{ii'}$ over the impact parameter:

$$(3) \quad \sum_{i' \neq i} S_{ii'}(v) = \frac{1}{2} p R_1^2 + \int_{R_1}^{R_d} 2pr dr \sum_{i' \neq i} P_{ii'}(r, v)$$

The elastic collision contribution to the width is given by:

$$(4) \quad S_{el} = 2p R_2^2 + \int_{R_2}^{R_d} 8pr dr \sin^2 d$$

$$(5) \quad d = (j_p^2 + j_q^2)^{1/2}$$

The phase shifts φ_p and φ_q are due to the polarization and quadruple potential respectively. The cut-offs R_1 , R_2 , R_3 , the Debye cut-off R_d and the symmetrisation procedure are described in [5, 6].

The calculations have been made for a set of temperatures $2.5 - 5.0 \cdot 10^4$ K at a perturber density of 10^{14} cm^{-3} . According to the recent experimental investigations of an argon SWD at atmospheric pressure [7, 8], the two Ar I lines 522.1 and 549.6 nm seem to be good data sources for determination of the electron density. The axial variation of the normalized (to its highest value) Lorentzian width of the 522.1 and 549.6 nm argon lines compared to that of the H_β line confirms that the former lines are sensitive to the electron density variation and the Stark effect contributes significantly to their Lorentzian broadening. This is in agreement with the general considerations regarding the structure of the atomic energy levels. It has been shown [9, 10] that one should expect a gradual increase in the Stark widths of the lines belonging to a spectral series with increasing the principal quantum number (n^*) of the upper state.

In figures 1,2 the calculations for the Stark broadening of Ar I 549.6 and 603.2 nm spectral lines in pure argon gas [11] are compared with those, published by Griem in [12, 13] and with the available experimental widths and shifts included in the critical reviews [14]. Theoretical results have been made for perturber density 10^{16} cm^{-3} and experimental ones have been normalized to this value. For the Ar I 549.6 and 603.2 nm spectral lines the impact approximation is not valid for ions under all experimental conditions in the literature. The calculated Stark widths and shifts for quasistatic ions were added. The theoretical results obtained in [11] are closer to the experimental points for these lines.

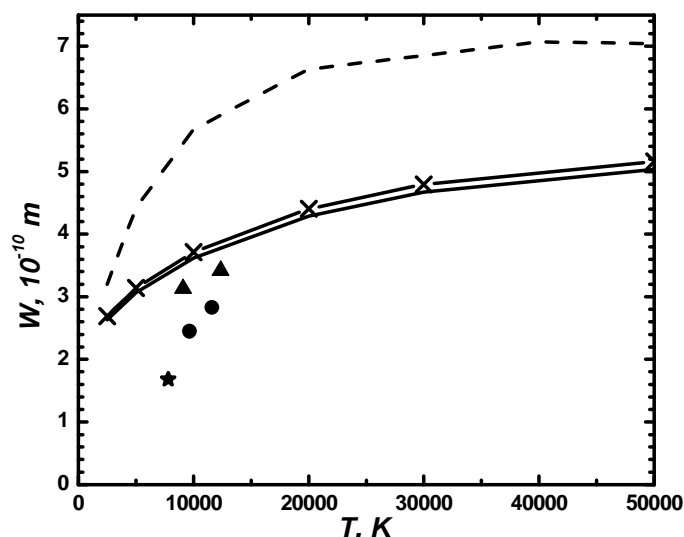


Fig.1. Stark width of Ar I 549.6 nm versus temperature for electron density of 10^{16} cm^{-3} . (Theoretical results: dashed line – [13]; solid line – [11] for impact-electrons and impactions; solid line and cross symbols – [11] for impact-electrons and quasistatic-ions; single symbols: experimental results from critical reviews [14] and references therein.)

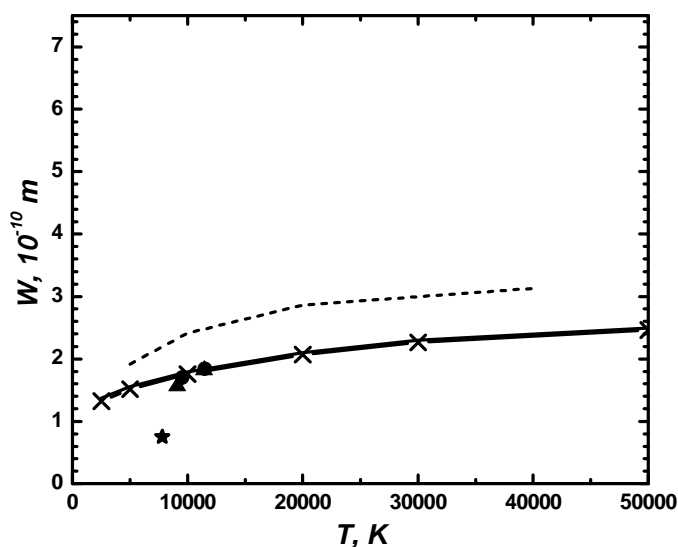


Fig.2. Stark width of Ar I 603.2 nm versus temperature for electron density 10^{16} cm^{-3} . (Dashed line: Griem's calculated results [12]; solid line: calculated results [11] using Sahal-Bréchet theory in case for impact ions; solid line and cross symbols: calculated results [11] using Sahal-Bréchet theory in case for quasistatic ions; single symbols: experimental results in critical review [14].)

The analysis of the Stark broadening parameters of Ar I 549.6 and Ar I 696.5 nm shows a good agreement between experimental results and theoretical ones predicted by Sahal-Bréchet theory [11].

Neutral broadening

The semi-classical theory in impact approximation for the neutral broadening has been used and the obtained results in [16] have been applied. According to the impact approximation the width γ of the line can be written [15] as:

$$(6) \quad g = 2N \langle s'v \rangle = bN$$

where N is the perturber density, σ' is the effective cross section for the impact broadening of the line and β is the broadening coefficient. Here the symbols $\langle \dots \rangle$ denote the thermal average over a Maxwellian distribution of the relative velocities of the interacting atoms. The potential of Kaulakys for the interaction between a Rydberg atom and the rare-gas atoms has been used [16]. This potential is approximated by a superposition of polarisation potentials and the Fermi pseudo-potential. Kaulakys has derived expressions for the broadening cross sections (σ') suitable for elastic collisions of ground-state rare-gas atoms with Rydberg atoms. For small effective quantum number n^* the broadening cross sections are defined by Rydberg-electron-perturber interaction:

$$(7) \quad s_e' = \begin{cases} 4p(n^*)^4 & n^* < n_1^* \\ \frac{8p(n_1^*)^8}{(n^*)^4} \left[1 - \frac{(n_1^*)^8}{2(n^*)^8} \right] & n_1^* < n^* < 0.7n_2^* \end{cases}$$

For larger n^*

$$(8) \quad s_e' = s_c' + \frac{8p(n_1^*)^8}{(n^*)^4} \left[1 - \left(\frac{5.7}{p} \right)^{1/2} \left(\frac{a}{2v} \right)^{1/3} \frac{1}{2(n^*)^2} \right] \quad n^* > 0.7n_2^*$$

where

$$(9) \quad s_c' = \left(\frac{p}{2} \right)^{5/3} \Gamma \left(\frac{1}{3} \right) \left(\frac{a}{2v} \right)^{2/3} \cong 5.7 \left(\frac{a}{2v} \right)^{2/3}$$

is the broadening cross section due to polarization interactions between the perturber and the core of a Rydberg atom; n_1^* and n_2^* are critical effective principal quantum numbers defined by:

$$(10) \quad n_1^* = \left[|L|/4v \right]^{1/4}$$

$$(11) \quad n_2^* = \left[|L|a^{-1/6}v^{-5/6} \right]^{1/3}$$

L is the scattering length, α is the polarisability of the perturber, v is the relative velocity between the radiator and the perturber. For $n^* > 0.70n_2^*$ broadening cross section decreases asymptotically approaching the value σ_c' . Equations (6)-(11) are in atomic units ($e = m = \hbar = a_0 = 1$). The broadening of the studied Ar I 522.1 nm, I 549.6 and 603.2 nm lines as a function of the gas temperature under atmospheric pressure using Kaulakys potential with Maxwellian averaging of the broadening cross section is presented in Fig.3.

On the basis of the experiments carried out in [8] and the theoretical results in [11, 16] on the broadening of argon lines, it is possible to determine the electron density of the surface wave capillary discharge under atmospheric pressure using several lines. The Ar I 522.1, 549.6 and 603.2 nm lines have been chosen (from the same spectral series) because of the more perceivable variation of their broadenings along the plasma column [8]. The obtained axial variation of the electron concentration is

shown on Fig.4. The mean value of the axial gradient of the electron concentration obtained from the three Ar lines is $8,3 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-4}$ which is 1.2 times more than the one ($7 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-4}$) obtained from the line 549.6 nm in [8] and twice the gradient ($4 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-4}$) calculated from the broadening of the hydrogen line H_{β} [8].

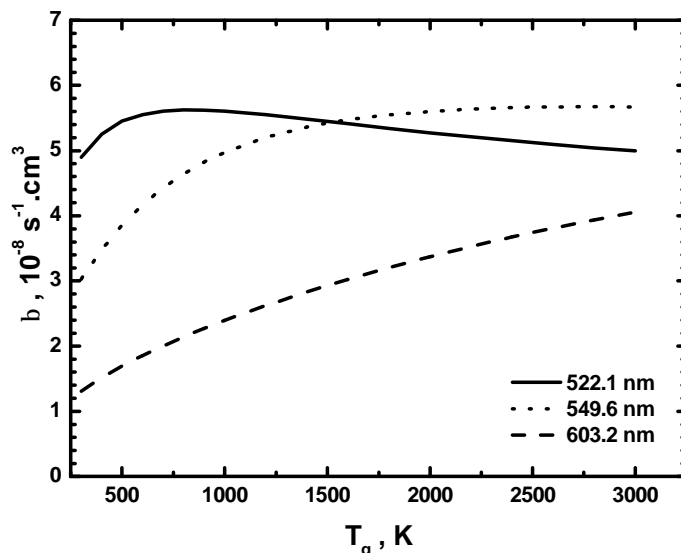


Fig.3. Gas temperature dependence of broadening coefficient of argon spectral lines due to interactions between emitters and atoms in a ground state using Kaulakys potential $\langle v s'(v) \rangle$.

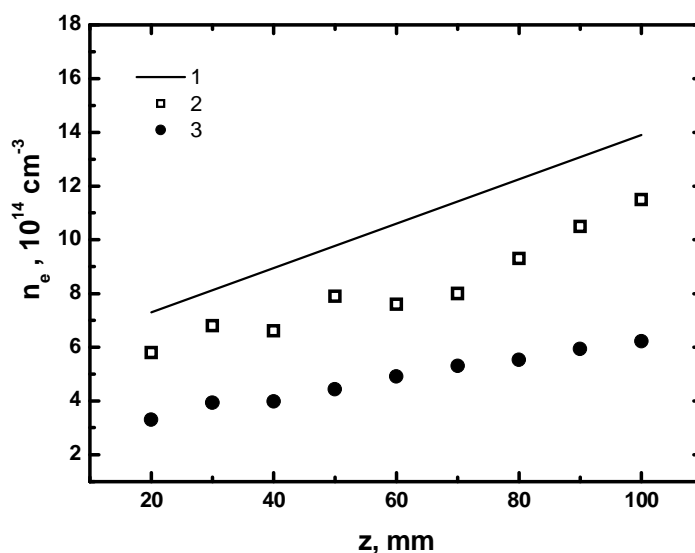


Fig.4. Variation of the electron density along the plasma column ($z = 0$ is the end of the column) in capillary surface wave discharge under $p = 1 \text{ atm}$, $T_g = 1600 \text{ K}$. The values are obtained from pressure broadening of emitted spectral lines: (1) using the average of 3 lines Ar I 522.1, 549.6 and 603.2 nm; (2) using Ar I 549.6 nm [8]; (3) using H_{β} within Griem's theory [8].

3. Conclusion

The results of the electron density obtained from three Ar lines of one spectral series demonstrate that the broadenings of those lines are sensitive to the change of the electron density which justifies their reliability to control the plasmas technological processes and applications, as a light source, for example.

REFERENCE

- [1] M. Moisan and J. Pelletier, *Microwave Excited Plasmas*, New York: Elsevier, (1992).
- [2] M. Moisan, j. Hubert, J. Margot and Z. Zakrzewski, *Advanced technologies Based on Wave and beam Generated Plasmas*, eds. H. Schlüter and A. Shivarova, NATO ASI Series 1998 Vol. **67** 23-64.
- [3] J. Margot, M. Moisan and A. Ricard 1991 *Appl. Spec.* **45**, 260-271.
- [4] N. Gibson, W. Kortshagen and J. E. Lawler 1997 *J. Appl. Phys.* **81** 1087-1092
- [5] Sahal-Bréchet S 1969 *Astron. Astrophys.* **1** 91
- [6] Sahal-Bréchet S 1969 *Astron. Astrophys.* **2** 322
- [7] Christova M and Calzada M D 2000 *Proc. 15th Int. Symp. on Plasma Chemistry (Orleans)* Vol **IV** p 1453
- [8] Christova M, Castaños-Martinez E, Calzada M D, Kabouzi Y, Luque J M and Moisan M 2004 *Appl. Spectr.* **58** No 9 1032—37
- [9] Wiese W L and Konjević N 1982 *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* **28** 185
- [10] Dimitrijević M S and Sahal-Bréchet S 1984 *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* Vol **31** No 4 301—13
- [11] Dimitrijević M S, Christova M and Sahal-Bréchet S 2007 *Phys. Scripta* **75** 809-819
- [12] Griem H R 1974 *Spectral line broadening by plasmas* (New York, Academic)
- [13] Griem H R 1964 *Plasma Spectroscopy* (New York, McGraw Hill)
- [14] Konjević N, Lesage A, Fuhr J R and Wiese W L, 2002 *J. Phys. Chem. Ref. Data* **31**, 820
- [15] Sobel'man I I, Vainshtein L A, and Yukov E A, *Excitation of Atoms and Broadening of Spectral Lines*, Berlin: Springer 1981
- [16] Christova M, 2007 *Journal of Physics: Conference Series* **63**, 012012

Автори:

д-р Магдалена Христова – доц. в ДПФ, email: mchristo@tu-sofia.bg

КОМПИЛИРАНЕ НА МАСИВИ ОТ СВЕТЛОДИОДИ С РАЗЛИЧНИ ЦВЕТОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Камелия Николова

***Резюме:** В доклада се разглеждат теоретични подходи за анализ на масиви от светодиоди с различен цвят на излъчваната светлина. Представени са резултати от прилагането им за конкретни конфигурации и получените цветови характеристики. Оценена е ефективността и цветовите характеристики на компилирани модули за конкретни приложения.*

***Ключови думи:** светодиодни модули, цветови характеристики*

DESIGN OF LED ARRAYS WITH DIFFERENT COLORIMETRIC CHARACTERISTICS

Kamelia Nikolova

***Abstract:** The current paper presents analytic methods for designing of white LED modules, produced from multicolor LEDs. The results of the analyses correspond to different configurations and the given colorimetric characteristics. It is made an assessment of the efficacy and the colorimetric characteristics of the different configurations for specific applications.*

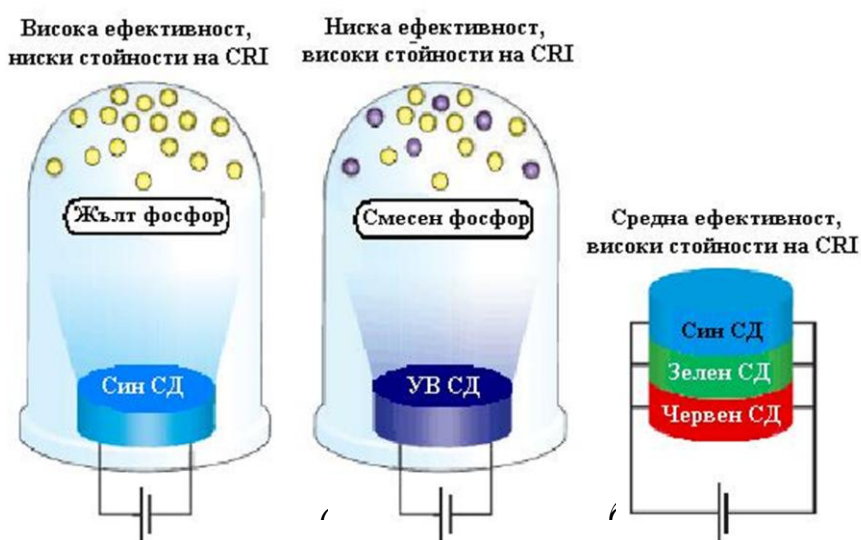
***Key words:** LED modules, colorimetric characteristics*

1. Въведение

Интензивното развитие в областта на светодиодите (СД), излъчващи бяла светлина ги превърна от средства за индикация и декоративно осветление в светлинни източници, приложими както за вътрешно, така и за външно осветление [1]. Различните изисквания по отношение на цветовите им характеристики (цветопредаване и цветна температура) в тези области на приложение са причина да се търсят ефективни методи за подобряването им. Светодиодните източници с бяла светлина се характеризират с индекс на цветопредаване (CRI) от 60 до 95. За вътрешно осветление са необходими стойности над 80 за разлика от външното, където се изискват по-ниски.

Съществуват различни технологии за получаване на бяла светлина от светодиодни източници (фиг.1). Най-масово използваната технология е комбинирането на GaN син светодиоден чип с жълт фосфор (фиг.1а) [2]. Те се характеризират с по-нисък индекс на цветопредаване и по-висока ефективност по отношение на останалите технологии. Проблемите при този вид СД с бяла светлина се дължат на промяната на интензивността на електролуминесценцията на сините светодиоди и нейния максимум в зависимост от големината на работния ток. Тези недостатъци са причина за ограниченото им приложение в областта на вътрешното осветление. Вторият

начин за получаване на бяла светлина е използването на ултравиолетови СД чипове в комбинация с различни луминофори (фиг.1б), по подобие на люминесцентните светлинни източници. Те са подходящи за вътрешно осветление, но се характеризират с по-ниска ефективност. Третият начин е комбиниране на червени, зелени и сини СД. Този подход е атрактивен, характеризира се високи стойности на CRI и е възможно реализиране на различни светлинни сцени, но основният недостатък е високата му цена. RGB модулите са по-ефективни от комбинацията от ултравиолетови СД и смес от луминофори, но имат друг съществен недостатък: промяна на цвета на светлината по време на живота на светлинния източник.



Фиг.1. Съществуващи технологии за получаване на бяла светлина от светлодиодни източници: а) комбинация от GaN син светлодиоден чип с жълт фосфор; б) комбинация от УВ светлодиоден чип и различни луминофори; в) комбинация от червен, зелен и син СД (RGB модули) [2]

Използването на СД осветители, целящи намаляване на потребяваната енергия в областта на вътрешното осветление, налага търсенето на възможности за постигане на по-добро цвето предаване при ниски цветни температури. Възможно решение е използването на комбинация от „синьо-жълти” СД с бяла светлина и цветни СД [1].

В доклада е представено изследване на резултантните колориметрични характеристики на компилации от фосфорни „синьо-жълти” СД с различен спектър (цветова температура) на излъчваната светлина и цветни СД.

2. Същинска част

2.1. Индекс на цвето предаване (CRI)

Цвето предаването на светлинните източници се характеризира с общ индекс на цвето предаване, CRI, който показва доколко естествено изглеждат обкръжаващите ни предмети осветявани от съответния източник на светлина. CRI е единствената международна метрическа система за оценяване на

възпроизвежданите цветове. CRI се определя посредством изчисляване на различията в цветовете – ΔE_{ai} [4] (в 1964 W^*U^*V равноконтрастна цвятова диаграма) на избрани 14 образци от колориметричната система на Мансел, табл. 1, при осветяване с еталонен светлинен източник и с изследвания светлинен източник:













$$(1) \quad \Delta E_{ai} = \sqrt{\left[U_{r,i}^* - 13W_{k,i}^* (u'_{k,i} - u_r) \right]^2 + \left[V_{r,i}^* - 13W_{k,i}^* (v'_{k,i} - v_r) \right]^2 + \left[W_{r,i}^* - W_{k,i}^* \right]^2},$$


ΔE_{ai} представлява разстоянието в равноконтрастното цвятово пространство CIE 1964 между точката, представляваща цвята при осветяване с еталонен източник ($U_{r,i}^*$, $V_{r,i}^*$, $W_{r,i}^*$) и с изследвания източник ($U_{k,i}^*$, $V_{k,i}^*$, $W_{k,i}^*$). Стойностите на $u_{r,i}$ и $v_{r,i}$ са координатите на цвятността на отразения от цвятните образци поток при осветяване с еталонния източник. Стойностите на $u_{k,i}$ и $v_{k,i}$ са координатите на цвятността на отразения от цвятните образци поток при осветяване с изследвания източник, като се вземе предвид адаптивното изместване на цвята, което се дължи на различната степен на цвятова адаптация. Стойностите на u_k и v_k се отнасят за директния излъчен поток от изследвания източник, без наличие на отразени компоненти. Съответните стойности на W^* се определят от:

$$(2) \quad W_{r,i}^* = 25Y_{r,i}^{1/3} - 17, \quad W_{k,i}^* = 25Y_{k,i}^{1/3} - 17.$$

Първите 8 образца за определяне на CRI са средно-наситени цветове, а последните шест образци са много наситени цветове (червено, жълто, зелено и синьо), цвят на лицето, и жълто-зелено.

Табл. 1. Цвятни образци за определяне на общия индекс на цветопрераждане на светлинни източници [3]

No.	Означение на образците в колориметричната система на Мансел	Цвят при осветяване с дневна светлина	No.	Означение на образците в колориметричната система на Мансел	Цвят при осветяване с дневна светлина
1	7,5 R 6/4 	Светло сиво-червено	9	4,5 R 4/13 	Ярко червено
2	5 Y 6/4 	Тъмно сиво-жълто	10	5 Y 8/10 	Ярко жълто
3	5 GY 6/8 	Ярко жълто-зелено	11	4,5 G 5/8 	Ярко зелено
4	2,5 G 6/6 	Умерено жълто-зелено	12	3 PB 3/11 	Ярко синьо
5	10 BG 6/4 	Светло синьо-зелено	13	5 YR 8/4 	Светло жълто-розово (цвят на човешката кожа)
6	5 PB 6/8 	Светло синьо	14	5 GY 4/4 	Умерено маслено зелено (зеленина)
7	2,5 P 6/8	Светло виолетово	8	1 YR 6/4	Цвят на азиатската

7			15		кожа
1 8	10 P 6/8 	Светло червено-пурпурно			

Еталонният светлинен източник е абсолютно черно тяло за тестови светлинни източници с корелирана цветна температура (CCT)<5000K или фаза на дневната светлина за тестови източници със CCT>5000K [5]. Процесът изразява преобразуванията в човешкото око, които са свързани с цветовата адаптация, съгласно теорията на фон Крайс. Частните индекси на цвето предаване R_i за всеки цветен образец се изчисляват от:

$$(3) \quad R_i = 100 - 4.6\Delta E_{ai} \quad (i=1, \dots, 14)$$

Формула (3) показва цветовото възпроизвеждане на всеки конкретен цветен образец. Общият индекс на цвето предаване R_a (4) се получава като средноаритметична стойност от първите 8 образца:

$$(4) \quad R_a = \sum_{i=1}^8 \frac{R_i}{8}$$

Когато е необходима обективна трансформация на (x,y) диаграмата и оценяване на незначителни визуални различия се използва равноконтрастната диаграма CIE 1976 (u' , v') [5]. Координатите на изследваните източници се определят от:

$$(5) \quad u' = \frac{4X}{(X+15Y+3Z)} = \frac{4x}{(-2x+12y+3)} ; \quad v' = \frac{9Y}{(X+15Y+3Z)} = \frac{9y}{(-2x+12y+3)},$$

където X , Y и Z са цветовите стимули, а x , y и z координатите на цветността (относителните цветови координати).

Максималната стойност на общия индекс на цвето предаване е 100 (без различия във възпроизвеждания цвят), като при големи различия на възпроизвежданите цветове стойностите на частните индекси на цвето предаване са отрицателни. Разликата между общия индекс на цвето предаване R_a и CRI се състои в това, че R_a се формира от цветовите различия на 8 образци, а CRI – от цветовите различия за 15 образци: R_a и R_i .

По-ниските стойности на CRI при светодиодите от фосфорен тип се дължи на по-малките интензитети на лъчение в оранжево-червената област на спектъра. Това е причината, поради която в общия случай се получават отрицателни или много малки стойности за частния индекс на цвето предаване R_9 (ярко червен цвят). На практика проблем се оказва възпроизвеждането на цветовете от червената гама и в резултат съществено по-ниски стойности на общото цвето предаване. Следователно възможност за повишаване на CRI на СД с бяла светлина от фосфорен тип е смесване на лъчението им със светлинни източници, при които доминиращата дължина на вълната λ_d е в оранжево-червената част на спектъра. Интерес представляват резултати, които

обезпечават $CRI > 80$ и биха предложили добри качествени показатели при висок резултатен светлинен добив.

2.2. Компилиране на СД модули, състоящи се от бели СД от фосфорен тип и цветни СД

За моделиране на компилации от СД се използват елементи от номенклатурата на Luxeon Lumileds [6], Табл. 2.

Табл. 2. Технически характеристики на използваните светодиоди Luxeon Rebel [6]

Вид СД	Цвят	ССТ, К	CRI	Светлинен добив χ , lm/W	Доминираща дължина на вълната λ_d , nm
LXH7-PW40	Бял	4000 (j=1)	70	114	-
LXML-PW31	Бял	5000 (j=2)	70	100	-
LXML-PWC1-0120	Бял	6500 (j=3)	70	114	-
LXML-PL01-0060	Кехлибарен (A)	-	-	60 (k=1)	590
LXM2-PH01-0070	Червено-оранжев (RO)	-	-	98 (k=2)	617
LXM2-PD01-0060	Червен (R)	-	-	83 (k=3)	627
LXM2-PL01-0100	Кехлибарен РС (A PC)	-	-	96 (k=4)	591

Спектралното разпределение на лъчистия поток за разглежданите компилации $S_{i,j,k}(\lambda)$ се определя по аналитичен път като се приема, че спектралното разпределение на белите светодиоди, $S_{w,j}(\lambda)$, е номиналното и не се изменя. Всяка от моделираните компилации $S_{i,j,k}(\lambda)$ съответства на зададено посредством тегловен коефициент k_i , табл.3, съотношение на: светодиод с бяла светлина със съответстващото му j -то спектрално разпределение $S_{w,j}(\lambda)$ (за различните корелирани цветни температури) и дял от номиналното спектрално разпределение на лъчистия поток $S_{k,i-nom}(\lambda)$ за всеки от разглежданите k цвята:

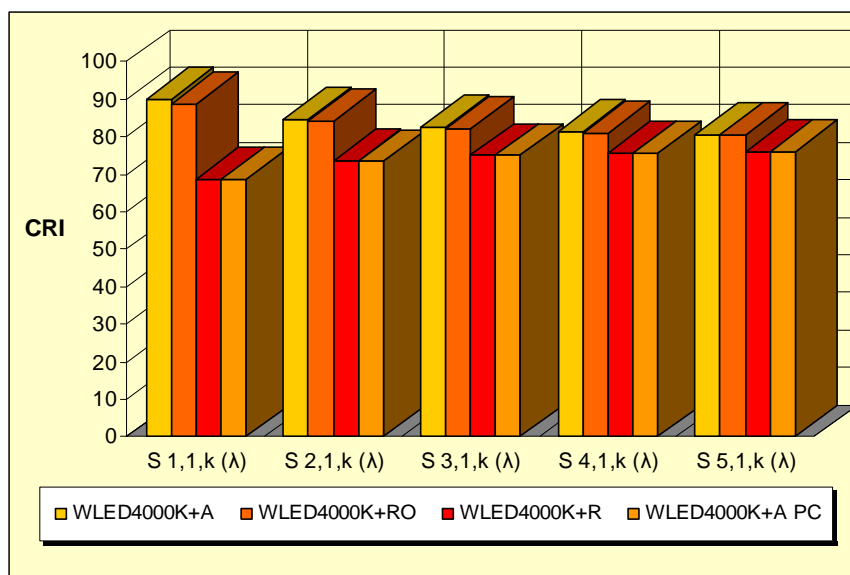
$$(6) \quad S_{i,j,k}(I) = S_{w,j}(I) + \frac{S_{k,i}(I)}{S_{k,i-nom}(I)} = S_{w,j}(I) + k_i * S_{k-nom}(I)$$

Таблица 3. Тегловни коефициенти k_i , използвани за определяне на $S_{i,j,k}(\lambda)$

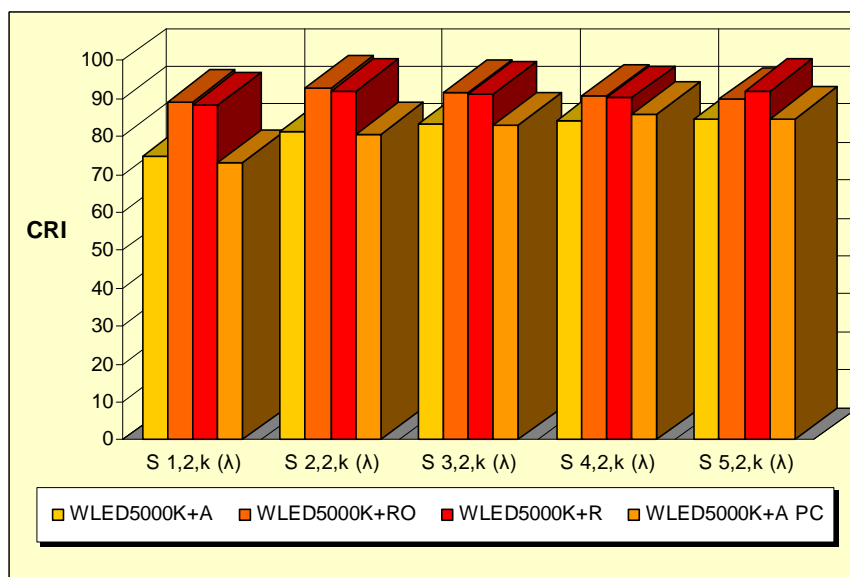
k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
1,00	0,50	0,33	0,25	0,20

Получените индекси на цвето предаване (CRI) за комбинации от СД с бял цвят с различни корелирани цветни температури (4000К, 5000К и 6500К) и СД с кехлибарен, червено-оранжев, червен и кехлибарен РС цвят при различни съотношения на смесваните лъчения са показани съответно на фиг. 2, 3 и 4. Резултатите показват, че не всички комбинации се характеризират с положителен резултат, например компилирането на бели СД с корелирана цветна температура 4000К и 6500К със СД с кехлибарен и кехлибарен РС цвят. Като цяло се наблюдава подобряване на индекса на цвето предаване, но

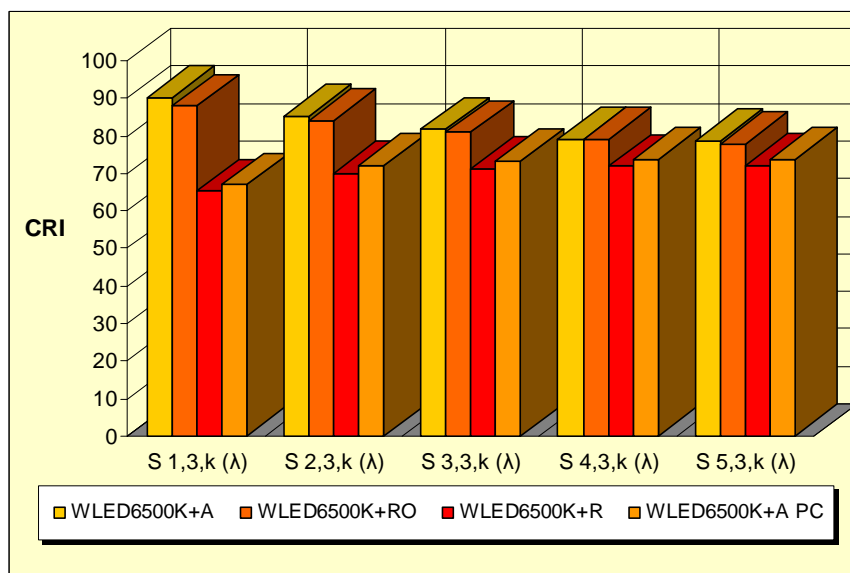
стойностите на CRI при тези комбинации със CCT=4000K не надхвърлят 76,2, а при CCT=6500K – CRI е по-малко от 73,8. Тъй-като целта на изследването е постигане на CRI>80, в последващите разглеждания, компилациите със CRI<80 не се взимат предвид.



Фиг.2. Индекс на цвето предаване CRI, определен за компилации от СД с бял цвят, корелирана цветна температура CCT=4000K, CRI=70 и цветни СД (A, RO, R и A PC) с тегловни коефициенти k_1, k_2, k_3, k_4 и k_5



Фиг.3. Индекс на цвето предаване CRI, определен за компилации от СД с бял цвят, корелирана цветна температура CCT=5000K, CRI=70 и цветни СД (A, RO, R и A PC) с тегловни коефициенти k_1, k_2, k_3, k_4 и k_5



Фиг.4. Индекс на цвето предаване CRI, определен за компилации от СД с бял цвят, корелирана цветна температура CCT=6500K, CRI=70 и цветни СД (A, RO, R и A PC) с тегловни коефициенти

k_1, k_2, k_3, k_4 и k_5

Основни количествени и качествени показатели, обект на изследване, на компилации на модули от по 10 бели СД и съответния брой цветни СД са представени в табл. 4.

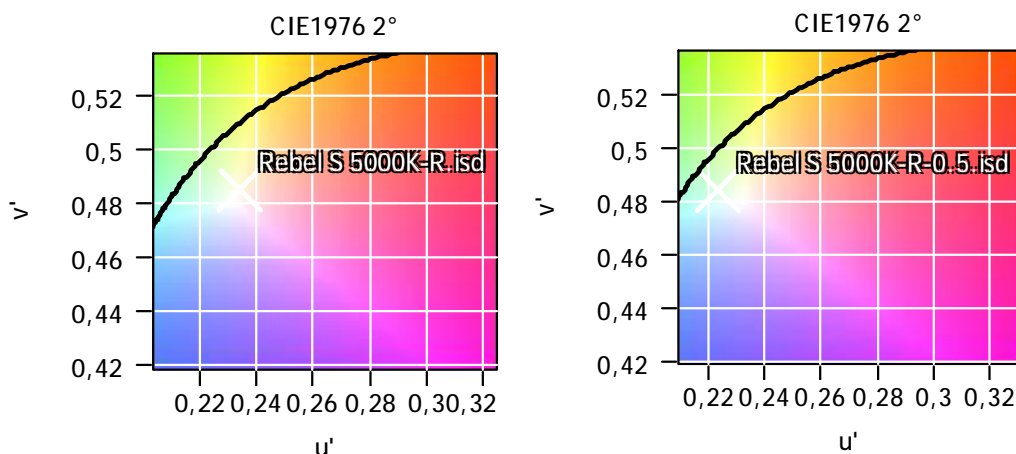
Таблица 4. Основни характеристики на компилациите от светодиоди за стойности на $CRI > 80$

Комбинация	P_{n-m}, W	Φ_{Σ}, lm	$P_{n-m}/\Phi_{\Sigma}, lm/W$	R_9	CRI	CCT, K	$\chi_p, lm/W$
CCT 3000-3500K							
WLED4000K+RO	17,85	1823	107,4	74,9	90	3179	81
WLED4000K+R	17,85	1713	101,2	89,2	89	3302	81
CCT 3500-4000K							
WLED4000K+R-0.5	14,18	1408	106,0	53,6	84	3585	103
WLED4000K+R-0.33	12,71	1286	108,6	39,2	82	3689	103
WLED4000K+R-0.25	11,97	1225	110,2	39,2	81	3743	103
WLED4000K+R-0.2	11,24	1164	112,0	26,7	80	3776	103
WLED4000K+RO-0.5	14,18	1463	106,0	47,2	85	3511	103
WLED4000K+RO-0.33	12,71	1319	111,2	35,3	83	3585	103
WLED4000K+RO-0.25	11,97	1247	112,0	28,7	81	3702	103
WLED4000K+RO-0.2	11,24	1175	113,0	24,5	81	3743	103
WLED5000K+A PC 0.5	15,84	1615	98,7	1,3	80	3534	103
WLED5000K+A PC 0.33	13,70	1410	99,1	13,6	83	3864	103
WLED5000K+RO	17,85	1823	99,2	70,9	89	3716	-
CCT 4000-4500K							
WLED5000K+R	17,85	1713	93,0	52	88	3935	-
WLED5000K+R 0.5	14,18	1408	95,6	95,7	92	4433	-
WLED5000K+A PC 0.2	11,57	1205	99,6	24,4	85	4224	106
WLED5000K+RO 0.5	14,18	1463	99,5	95,3	93	4297	-
WLED5000K+A 0.33	13,55	1285	91,0	5,7	83	4500	106
WLED6500K+RO	17,85	1823	107,4	81,9	90	4229	-
CCT 4500-5000K							
WLED5000K+A 0.25	12,53	1224	93,5	14	84	4614	106
WLED5000K+A 0.2	11,52	1163	96,5	19,1	85	4689	106
WLED5000K+RO 0.33	12,71	1319	99,7	80,4	92	4521	-
WLED5000K+RO 0.25	11,97	1247	99,8	71,5	91	4636	-
WLED5000K+RO 0.2	11,24	1175	99,9	65,9	90	4711	-
WLED5000K+R 0.33	12,71	1286	97,0	85,2	91	4618	-
WLED5000K+R 0.25	11,97	1216	97,4	74,9	90	4713	-
WLED5000K+R 0.2	11,24	1164	103,6	68,5	92	4772	-
WLED6500K+R	17,85	1713	93,0	62,9	88	4544	-
CCT 5000-5500K							
WLED5000K+A PC 0.25	12,64	1307	99,3	39,2	86	5017	111
WLED6500K+RO-0.5	14,18	1463	109,9	63,4	85	5052	111
WLED6500K+RO-0.33	12,71	1319	111,2	39,3	82	5372	100
WLED6500K+R-0.5	14,18	1408	106,0	71,1	84	5252	111
CCT 5500-6000K							
WLED6500K+R-0.33	12,71	1286	108,6	43,3	81	5515	111

Забележка: P_{n-m} - обща мощност на модула, W; Φ_{Σ} – сумарен светлинен поток на модула, lm; X_p – светлинен добив на наличната номенклатура от светодиоди на същия производител [6] със сходни CRI и CCT, lm/W

Представените показатели показват положителните резултати по отношение на общия индекс на цвето предаване CRI, а също така и по отношение на светлинната отдаваемост. За някои от компилациите, към момента на изследване, не са намерени данни за фосфорни СД със сходни показатели.

За практическата реализация и конструиране на компилирани СД модули е необходимо да се оцени при какво пространствено разпределение е подходящо да се реализира смесване на потока на отделните елементи и какъв тип да бъде светлоразпределението на цветните СД [7]. При неправилен подход към геометричното разположение и количественото съотношение може да се очаква визуално открояване на цветни участъци. От друга страна по-малките стойности на тегловните коефициенти k_i индикират по-висока ефективност на модула. В някои случаи, тя е съпроводена и с по-добър общ индекс на цвето предаване, например при комбинациите на бели фосфорни СД с цветова температура 5000K и червени СД, табл. 4 и фиг. 5.



Фиг.5. Координати на цветността на модули с бели СД 5000K и червени светодиоди с тегловни коефициенти а) $k_1=1$ (CRI=88, $P_{n-m}/\Phi_{\Sigma} = 93$ lm/W) и б) $k_2=0.5$ (CRI=92, $P_{n-m}/\Phi_{\Sigma} \approx 96$ lm/W) в равноконтрастното цветово пространство CIE 1976 (u' , v')

3. Заключение

Получените посредством моделиране компилации на СД с различни цветови характеристики се характеризират с подобрен общ индекс на цвето предаване CRI (над 80), частен индекс на цвето предаване R_9 в диапазона 24,5 - 95,7 и светлинна отдаваемост от 93 до 113 lm/W. В общия случай желаните резултати се получават при комбинации на бели фосфорни СД с червено-оранжеви ($\lambda_d=617$ nm) и червени ($\lambda_d=617$ nm). При комбиниране на бели фосфорни СД с

кехлибарени ($\lambda_d=590\text{nm}$) и кехлибарени РС ($\lambda_d=591\text{nm}$) за зададените тегловни коефициенти и цветови температури се получават по-малък брой компилации с подобрен общ индекс на цветоподаване.

Резултатите от изследванията могат да послужат за базисна информация при разработване на конструктивни решения за конкретни целеви приложения, а също така и при разработване на алгоритми за поддържане на постоянен CRI по време на периода на експлоатация на дадено изделие. Полезна информация в перспектива може да се получи за по-широк диапазон на вариантност на компилациите. Друга перспектива, която представлява интерес е икономическата обосновааност за прилагане на такъв вид конструктивни решения по отношение на съществуващата материална база: модулни СД и изпълнения с отстраним фосфор („remote phosphor“) [8]. Представените компилации на СД с различни цветови характеристики са предпоставка за получаване на по-ефективни в енергийно отношение модулни конструктивни изпълнения със съизмерими качествени показатели.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодаря на проф. А. Пачаманов и маг. инж. Д. Павлов за предоставените материали, послужили за обработване на данни от моделираните компилации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] H. Y. Chou, T. H. Hsu, T. H. Yang, “Effective method for improving illuminating properties of white-light LEDs,” in *Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing and Applications IX*; Steve A. Stockman, H. Walter Yao, E. Fred Schubert; Eds., Proc. SPIE 5739, p. 33-41 (2005).
- [2] Petridis K., “Prospects of LED Lighting”, RESchool 2009, Lifelong Learning Programme (2009).
- [3] <http://munsell.com/color-blog/color-light-perception/>
- [4] CIE 13.3:1995, Technical report “Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Source”.
- [5] CIE 15:2004, 3-rd Edition, Technical Report “Colorimetry”
- [6] <http://www.philipslumileds.com/products> (2012)
- [7] Ivan Moreno, Ulises Contreras, “Color distribution from multicolor LED arrays”, Vol. 15, No. 6, OPTICS EXPRESS 3607, 19 March 2007
- [8] Future Electronics Inc., “Remote Phosphor vs. White LEDs - Cost and Performance Comparison”, Presentation (2011)

Автор:

д-р инж. Камелия Николова – асистент в катедра “Обща Електротехника” (ЕО), email: knikolova@tu-sofia.bg

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ВЪНШНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА БАЗА ПРОЕКТИРАНЕ ПО МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ

Ангел Пачаманов, Димитър Павлов

Резюме: Дневна и нощна спектрална чувствителност на окото. Параметър S/P на светлинните източници. Модел на CIE за получаване на мезопичната спектрална чувствителност на окото. Изчисляване на мезопична яркост при известни фотопична и скотопична яркост. Преизчислени нормени яркостии по категории улици при известна корелирана цветна температура на източника.
Ключови думи: мезопично зрение, осветление при ниски светлинни нива

OPPORTUNITIES FOR ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF OUTDOOR LIGHTING DESIGN BASED IN BRIGHTNESS

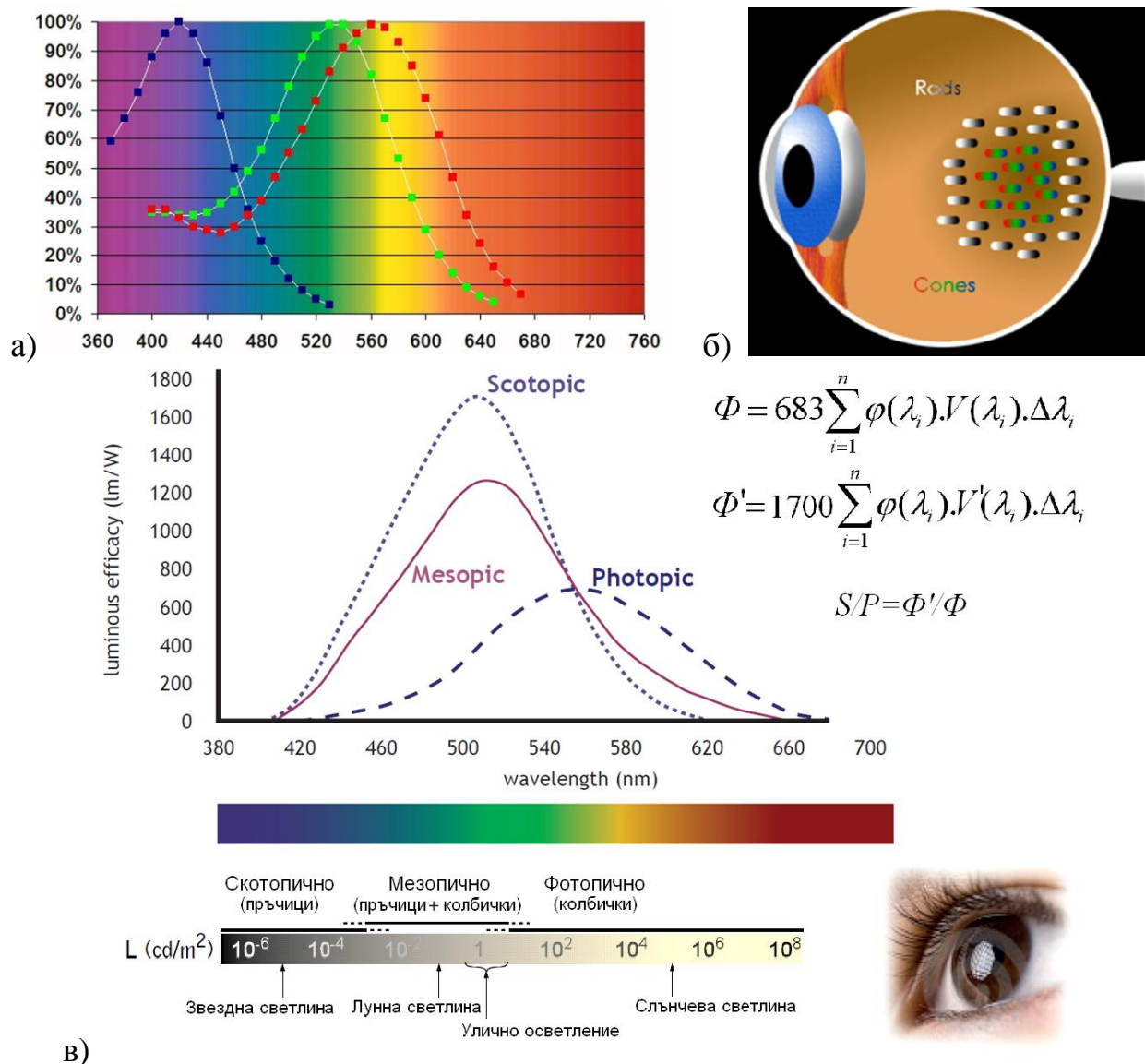
Angel Pachamanov, Dimitar Pavlov

Abstract: Day and night spectral sensitivity of the eye. Parameter S/P of the light sources. CIE model to obtain mezopic spectral sensitivity of the eye. Calculating mezopic luminance as function of photopic and skotopic luminance. Recalculated street lighting norms for some categories of streets with correlated color temperature of the sources.

Keywords: mesopic photometry, street lighting with low light levels

1. Въведение

Известно е, че нормите за улично осветление са разработени на база дневно зрение (Photopic), което означава, че ефективната стойност на фотопичния поток Φ , причиняващ зрителното усещане, се определя по стандартизираната от Международната комисия по осветление (МКО) функция на спектрална чувствителност на човешко око $V(\lambda)$ в диапазона 380-780 nm. Максималната стойност на $V(\lambda)$ е при дължина на вълната 555 nm, съответстваща на жълто-зелени лъчи. Кривата $V(\lambda)$ е получена при наблюдаване на ахроматична повърхност за яркостна адаптация на зрението при $L_{ph} > 5 \text{ cd/m}^2$. Тя се получава като резултат от три криви на спектрална чувствителност $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$, съответстващи на нивото на възбуждане в диапазона 380-780 nm на три типа колбички в окото. Последните са фоторецептори от един и същи тип, но с различни пигменти, благодарение на което в центровете на мозъка се определя от коя част на спектъра е зрителното усещане (процес «разпознаване на цветове»).



Фиг.1. Функции на спектрална чувствителност $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$ на трите типа колбички в окото (а); разположение на колбичките и пръчиците (б); фотопично, мезопично и скотопично зрение (в)

При тази постановка производната на фотопичния поток Φ величина яркост L_{ph} не съответства на понятието светлост (зрително усещане), тъй като при еднаква яркост на сини и червени повърхности, зрителното усещане е по-силно при първите. Несъответствието между величината яркост L_{ph} [1] (основна величина за осветяваните повърхности, нормирана в стандарта за улично осветление като L) и възприеманата светлост (brightness) се увеличава още повече в яркостния интервал от 5 до 0,005 cd/m^2 . В него фоторецепторите на двете системи на зрението «работят» едновременно: дневното (Photopic) – с колбички, основно разположени в централната част на окото; нощното (Scotopic) – с пръчици, равномерно разпределени по периферията на окото. Ефективната стойност на скотопичния поток Φ' се оценява по кривата $V'(\lambda)$. Тя също е заснета при наблюдаване на ахроматична повърхност, но за яркостна адаптация на зрението под 0,005 cd/m^2 . Максималната ѝ стойност е при 507 nm, т.е. нощното зрение е по-чувствително към “по-студени” цветове (синьо-зелени

лъчи). Затова в мезопичната зона (Mesopic) неотчитането на влиянието на пръчиците в създаването на зрителното усещане, особено при ниските нива на яркост, води до преоразмеряване на осветителните уредби. Очевидно е, че спектралното разпределение на потока на светлинните източници влияе на възприеманата светлост на повърхностите (brightness) при ниски нива на адаптационна яркост – светлостта е по-висока при изместено към синята част на спектъра излъчване на светлинния източник, тъй като делът на пръчиците в зрителното усещане е голям. Тази особеност на зрителния анализатор предопределя необходимостта от използване на различни светлинни източници по категории улици, тъй като за всеки тип улица се нормира различна средна яркост на платното L_{ph} . Затова за правилна оценка на реалните условия за виждане при ниски нива на яркостта се въвежда величината „мезопична яркост“ L_{mes} . Публикация CIE 191:2010 [2] дава възможност уличните уредби да се преизчислят по мезопична яркост, при което прилагането на различни светлинни източници по категории улици може да доведе до по-висока енергийната ефективност на уличното осветление.

Определянето на чувствителността на окото в яркостния интервал от 5 до 0,005 cd/m², когато двете системи (за дневно и нощно виждане) работят едновременно, е сложно поради различното пространствено разположение на двата вида рецептори и различната им чувствителност. Мезопичното зрение е функция на светлинното ниво, определящо съотношението между активността на фоторецепторите от двете системи, и адаптационното поле, определящо степента на възбуждане на периферно разположените пръчици. При преминаване от фотопично към скотопично зрение чрез намаляване на яркостта на обекта цветовете постепенно избледняват поради ниската чувствителност на колбичките за тези нива на яркостта - около 2,5 пъти по-ниска от тази на пръчиците (1699/683).



Фиг.2. От жълта към бяла светлина. Кога е оправдана реконструкцията?

Сега населените места „жълтеят“, тъй като доскоро не се отчиташе, че използваните натриеви лампи са по-енергоефективни от останалите светлинни източници само при високи нива на яркостта, когато зрителното усещане е от фоторецепторите на дневното зрение с функция $V(\lambda)$. При ниски яркости

спектралната чувствителност на окото се измества към синята част на спектъра и източниците с бяла светлина са толкова по-ефективни, колкото кривата $V_{mes}(\lambda)$ е по-близо до $V'(\lambda)$. Мярка за тази ефективност е параметърът S/P.

2. Същинска част

Преминаването от нормиране по фотопична яркост към нормиране по мезопична яркост позволява да се обърне по-сериозно внимание на цвета на светлината на използвания светлинен източник - при по-ниски нива на яркостта кривата на спектрална чувствителност на зрението се измества наляво. За определяне на кривата $V_{mes}(\lambda)$ са разработени няколко модела, на базата на които Международната комисия по осветление препоръча CIE 191:2010 [2].

2.1. Изчисляване на S/P

Зрителното усещане при адаптация на окото на яркост над 5 cd/m² е функция на фотопичния поток, определен по формулата:

$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V(I_i) \cdot \Delta I \quad [\text{lm}],$$

където 683 [lm/W] е максималната спектрална светлинна ефективност на дневното зрение, получена за монохроматично излъчване с дължина на вълната $\lambda_m=555$ nm (лъчист поток с мощност 1/683 W, излъчен при $\lambda_m=555$ nm съответства на светлинен поток $\Phi=1$ lm); $j(I_i) = \Delta\Phi_e(I_i)/\Delta I$ [W/nm] – стойности на спектралната плътност на лъчистия поток Φ_e [W] в диапазона 380-780 nm; $V(\lambda_i)$ – стойности на относителната спектрална чувствителност на дневното зрение; $\Delta\lambda$ – стъпка за дискретизация на диапазона 380-780 nm.

Зрителното усещане при адаптация на окото на яркост под 0,005 cd/m² е функция на скотопичния поток, определен по формулата:

$$(2) \quad \Phi' = 1700 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V'(I_i) \cdot \Delta I,$$

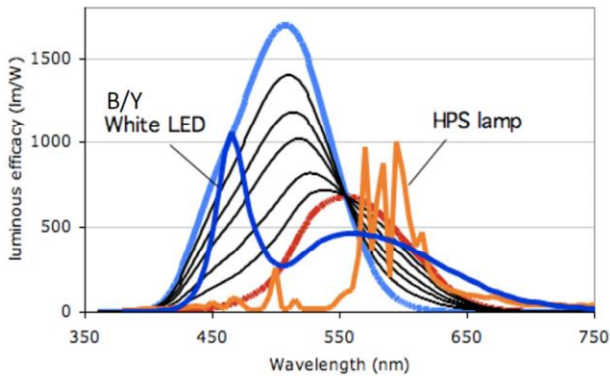
където 1700 [lm/W] е максималната спектрална светлинна ефективност на нощното човешко зрение, получена за монохроматично излъчване с дължина на вълната $\lambda_m=507$ nm (лъчист поток с мощност 1/1700 W, излъчен при $\lambda_m=507$ nm е равностоеен на светлинен поток $\Phi'=1$ lm); $j(I_i) = \Delta\Phi_e(I_i)/\Delta I$ [W/nm] – стойности на спектралната плътност на лъчистия поток Φ_e [w] в диапазона 380-780 nm; $V'(\lambda_i)$ – стойности на относителната спектрална чувствителност на нощното зрение; $\Delta\lambda$ – стъпка за дискретизация на диапазона 380-780 nm.

Очевидно е, че светлинни източници с различна спектрална плътност на лъчистия поток $\phi(\lambda)$ за двата вида зрениа ще бъдат с различна ефективност, т.е. източници с по-висока цветна температура (по-бяла светлина) ще бъдат по-подходящи за ниски нива на яркост на пътното платно (обслужващи улици):

при нива на яркост над 5 cd/m² един ват лъчист поток с дължина на вълната 555 nm се оценява на 683 lm;

при нива на яркост под 0,005 cd/m² един ват лъчист поток с дължина на вълната 507 nm се оценява на 1700 lm;

за междинните нива ефективността на светлинния източник се оценява чрез т.н. Scotopic/Photopic отношение:



$$S/P = \frac{1700 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V'(I_i) \cdot \Delta I}{683 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V(I_i) \cdot \Delta I} \quad (3)$$

Отношението S/P на светлинния източник показва колко пъти той е по-ефективен при оценяването му по крива V'(λ) спрямо оценяването му по крива V(λ). На показаната по-горе фигура белият светодиод (White LED) ще бъде по-ефективен при ниски нива на яркост, тъй като ефективният поток се получава по-голям от този при НЛВН (HPS) и обратно, за големи нива на яркост, ефективният поток на НЛВН е по-голям от този на белия светодиод.

Разгледаният класически начин за определяне на параметъра S/P е валиден за произволен спектрален състав на светлинния източник. За източници с непрекъснат спектър и известна корелирана цветна температура CCT(K) се предлага полиномна зависимост [4], която е по-удобна за ползване и дава добро приближение до точната стойност, получена по формула (3):

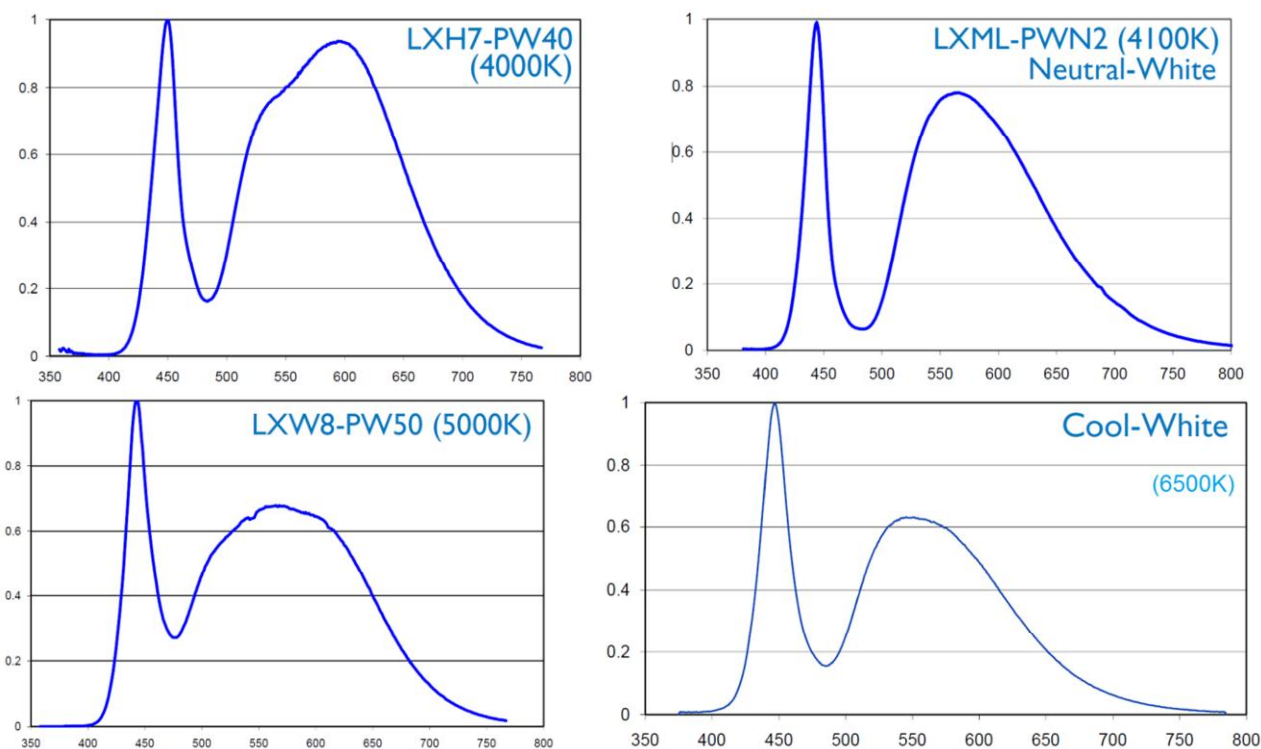
$$S/P = -7.10^{-8} \cdot (CCT(K))^2 + 0,001 \cdot (CCT(K)) - 1,3152 \quad (4)$$

Проверката е направена за четири типа светодиоди с бяла светлина със спектрални разпределения на потока, показани на фиг.3. В табл.1 са показани получените параметри S/P по формула (3) и изчислените по (4).

Табл.1

Изчислен параметър S/P по (3) и (4) за 4 типа бели светодиоди

	LXH7-PW40	LXML-PWN2	LXW8-PW50	Cool-White
CCT (K)	4000	4100	5000	6500
S/P(3)	1,523	1,528	1,941	2,179
S/P(4)	1,565	1,608	1,935	2,227
$EPS = 100 \frac{S/P(4) - S/P(3)}{S/P(3)}, \%$	+2,75	+5,24	-0,31	+2,20



Фиг.3. Спектри на бели светодиоди с различна цветна температура CCT

Проверка на формула (4) за определяне на параметъра S/P бе направена и за основните газоразрядни лампи, използвани за външно осветление, като точните му стойности са взети от [5]:

	Φ, lm	Φ', lm	S/P(3)	CCT(K)	S/P(4)	EPS, %
Metal halide discharge lamps						
OSRAM HQI TS 70W NDL	5431	9100	1,68	4200	1.65	-1,82
OSRAM HQI TS 70 W D	5030	9986	1,99	5600	2.09	+5,03
High pressure sodium lamp						
PHILIPS SON-T pro 70 W	7401	3967	0,54	2200	0.55	+1,85
PHILIPS SON-E 70 W	6685	3486	0,52	2200	0.55	+5,77
Low pressure sodium lamp						
PHILIPS SOX 35 W	4258	1126	0,26	1800	0,258	-0,77
Izoenergetic (theoret.), lm/W	683	1700	2,49			

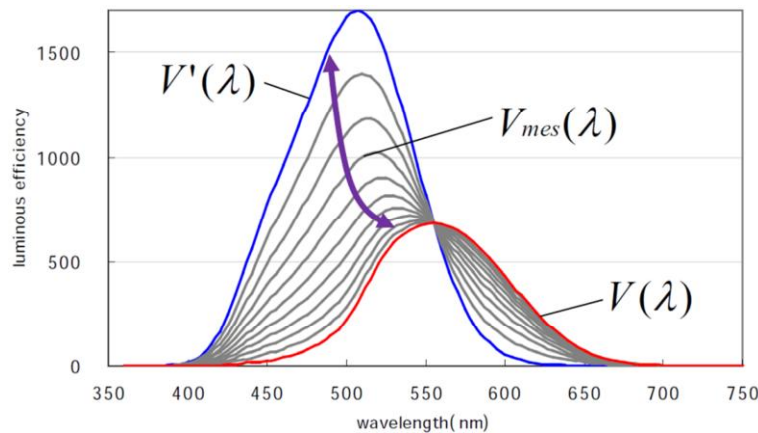
2.2. Модел на МКО за получаване на $V_{mes}(\lambda)$

Международната комисия по осветление препоръчва спектралната чувствителност на мезопичното зрение $V_{mes}(\lambda)$ да се определя като линейна функция на кривите за дневно и нощно зрение $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$ [2]:

$$(5) \quad V_{mes}(I) = [m \cdot V(I) + (1 - m) \cdot V'(I)] / M(m),$$

където $M(m)$ е нормализираща функция, така че максималната стойност на $V_{mes}(\lambda)$ да се получи 1, а $0 \leq m < 1$. За фотопичното зрение $m=1$, а за скотопичното $m=0$. На фиг.4 са показани стойностите на $V_{mes}(\lambda)$ в абсолютни единици на светлинната ефективност. При намаляване стойността на

параметъра m максимумът на кривата расте и се измества наляво (синьо-зелени лъчи).



Фиг.4. Светлинна ефективност на фотопично, мезопично и скотопично зрение

2.3. Изчисляване на L_{mes} по зададена L_{ph} и ССТ

При дефинирано поле на адаптация на всяка стойност m отговаря конкретна мезопичната яркост L_{mes} , равна на:

$$(6) \quad L_{mes}(I) = \frac{683}{V_{mes}(I_0)} \int_{380nm}^{780nm} V_{mes}(I) \cdot l_e(I) \cdot dI$$

където $V_{mes}(\lambda_0)$ е стойността на функцията при $\lambda=555$ nm, а $l_e(\lambda)$ - спектралната плътност на яркостта [$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$] за дефинираното поле на адаптация.

Тъй като в повечето случаи дефинирането на полето на адаптация не е лесно, мезопичната яркост L_{mes} и конкретната стойност на m се получават чрез итерационна формула, в която участват предварително известните фотопична и скотопична яркост, съответно L_{ph} и $L_{sc}=(S/P) \cdot L_{ph}$. Започва се от $m_0=0,5$:

$$(7) \quad L_{mes(n)} = \frac{m_{(n-1)} \cdot L_{ph} + (1 - m_{(n-1)}) \cdot L_{sc} \cdot V'(I_0)}{m_{(n-1)} + (1 - m_{(n-1)}) \cdot V'(I_0)}$$

$$(8) \quad m_{(n)} = a + b \cdot \log_{10}(L_{mes(n)})$$

където $V'(\lambda_0)=683/1699=0,402$ е стойността на $V'(\lambda)$ при 555 nm, а двете константи са: $a=0,767$ и $b=0,3334$ [2].

Пример за прилагане на методиката:

Дадено: $L_{ph}=0,3$ cd/m²; ССТ=6500 K

ИЗЧИСЛЕНО по формула (4): $S/P=(-7 \cdot 10^{-8}) \cdot 6500^2 + 0,001 \cdot 6500 - 1,3152=2,23$

$L_{sc}=(S/P) \cdot L_{ph}=2,23 \cdot 0,3=0,668$; $V'(\lambda_0)=683/1699=0,402$

ИТЕРАЦИИ: започва се от $m(0)=0,5$;

$L_{mes(n)}=((m_{n-1} \cdot L_{ph} + (1 - m_{n-1}) \cdot L_{sc} \cdot 0,402)) / (m_{n-1} + (1 - m_{n-1}) \cdot 0,402) = 0,405573$

$m_n=0,767 + 0,3334 \cdot \log(L_{mes(n)}) = 0,63633$

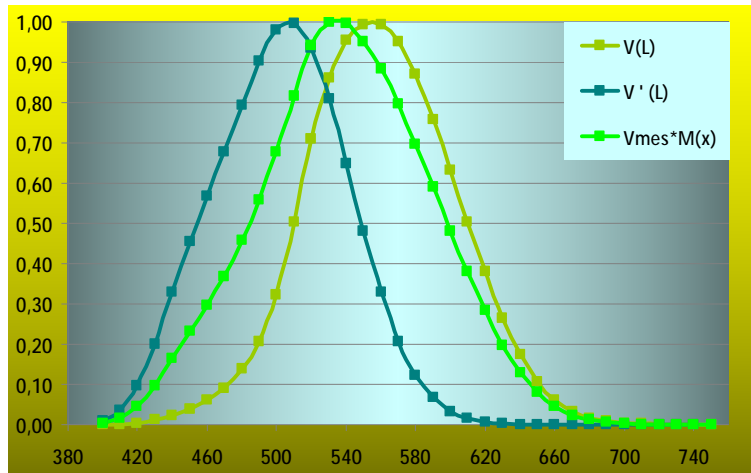
Изчислена чрез итерации яркост $L_{mes}=0,3719$

Изчислен чрез итерации коефициент $m = 0,6238$

$$V_{mes}(555) = [0,6238.V(555) + (1 - 0,6238).V'(555)] / M(m) = 0,917$$

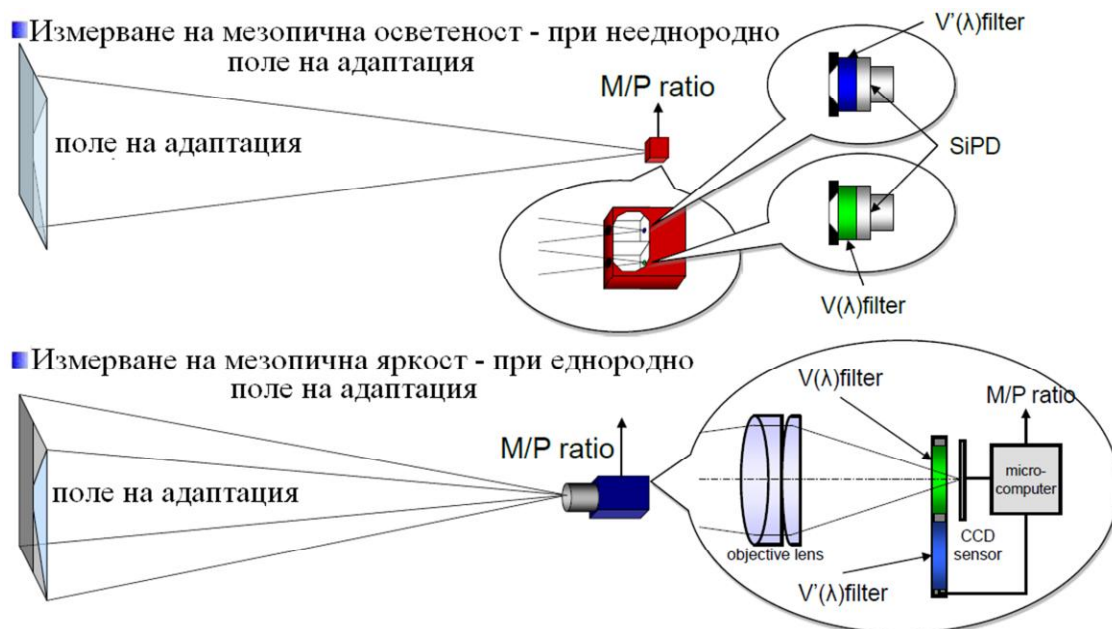
Итерации на база Lph и Lsc

mi	mi+1	Lmes(
0,5000000	0,6363300	0,4054
0,6363300	0,6225631	0,3687
0,6225631	0,6238775	0,3721
0,6238775	0,6237513	0,3718
0,6237513	0,6237634	0,3718
0,6237634	0,6237623	0,3718
0,6237623	0,6237624	0,3718
0,6237624	0,6237624	0,3718
0,6237624	0,6237624	0,3718



$$S_{max} = 683 / V_{mes}(555) = 683 / 0,917 = 745 \text{ lm/W}$$

Горният алгоритъм е в основата на разработени уреди [3] за измерване на мезопична осветеност/яркост с помощта на параметъра М/Р (отношение между мезопична и фотопична осветеност/яркост) - чрез две последователни измервания на адапционното поле с филтри, осигуряващи спектрална чувствителност $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$ на използвания фотоприемник (силициев фотоелемент). Авторите препоръчват при адапционното поле, състоящо се от площи с различни яркости да се ползва уред за измерване на осветеност $E_{mes} = (M/P) \cdot E_{PH}$ (фиг.4а), а при площи с близки яркости – яркомер с оптична система, при което $L_{mes} = (M/P) \cdot L_{PH}$ (фиг.4б).



Фиг.4. Уреди на Минолта [3]: а) мезопичен луксметър; б) мезопичен яркомер

2.4. Помощни материали за оценяване на ефекта от проектиране по мезопична яркост

На базата на изложеното дотук в табл.5 са представени стойности на редуцираната фотопична яркост за улици от светлотехнически класове МЕб-

ME1. Потенциалът за икономия на енергия, при използване на различни източници на бяла светлина, е различен и зависи от типа улица.

Табл. 5

Редуцирани фотопични яркости при проектиране по мезопични яркости и икономия на енергия за различни ССТ на светлинния източник и типове улици

	Lph, cd/m ²	Tc, K	S/P	Lmes	Lph-red	% ик.ен.	Smes-max
ME6	0,30	2350	0,65	0,28	0,32	-7,9%	768
	0,30	2800	0,94	0,30	0,30	-1,4%	762
	0,30	3500	1,33	0,32	0,28	6,9%	756
	0,30	4000	1,56	0,33	0,27	11,6%	753
	0,30	4300	1,69	0,34	0,26	14,0%	751
	0,30	5000	1,93	0,36	0,24	18,6%	748
	0,30	6500	2,23	0,37	0,23	24,0%	745
ME5	0,50	2350	0,65	0,47	0,53	-6,1%	732
	0,50	2800	0,94	0,49	0,51	-1,1%	730
	0,50	3500	1,33	0,53	0,47	5,3%	727
	0,50	4000	1,56	0,55	0,45	9,0%	726
	0,50	4300	1,69	0,55	0,45	10,9%	725
	0,50	5000	1,93	0,57	0,43	14,5%	724
	0,50	6500	2,23	0,59	0,41	18,7%	723
ME4	0,75	2350	0,65	0,71	0,79	-4,8%	716
	0,75	2800	0,94	0,74	0,76	-0,9%	714
	0,75	3500	1,33	0,78	0,72	4,2%	712
	0,75	4000	1,56	0,80	0,70	7,1%	711
	0,75	4300	1,69	0,81	0,69	8,6%	711
	0,75	5000	1,93	0,84	0,66	11,5%	710
	0,75	6500	2,23	0,86	0,64	14,8%	709
ME3	1,00	2350	0,65	0,96	1,04	-3,9%	705
	1,00	2800	0,94	0,99	1,01	-0,7%	704
	1,00	3500	1,33	1,03	0,97	3,5%	702
	1,00	4000	1,56	1,06	0,94	5,9%	701
	1,00	4300	1,69	1,07	0,93	7,1%	701
	1,00	5000	1,93	1,10	0,90	9,5%	700
	1,00	6500	2,23	1,12	0,88	12,3%	699
ME2	1,50	2350	0,65	1,46	1,54	-2,8%	693
	1,50	2800	0,94	1,49	1,51	-0,5%	693
	1,50	3500	1,33	1,54	1,46	2,5%	693
	1,50	4000	1,56	1,56	1,44	4,2%	693
	1,50	4300	1,69	1,58	1,42	5,2%	693
	1,50	5000	1,93	1,60	1,40	6,9%	693
	1,50	6500	2,23	1,63	1,37	8,9%	692
ME1	2,00	2350	0,65	1,96	2,04	-2,1%	691
	2,00	2800	0,94	1,99	2,01	-0,4%	691
	2,00	3500	1,33	2,04	1,96	1,9%	690
	2,00	4000	1,56	2,06	1,94	3,2%	690
	2,00	4300	1,69	2,08	1,92	3,8%	690
	2,00	5000	1,93	2,10	1,90	5,1%	690
	2,00	6500	2,23	2,13	1,87	6,6%	690

Реконструкцията на осветителната уредба би била изгодна ако вложените средства се изкупуват до 5 години с цената на спестената енергия. При пониски нива на яркост възвръщането на вложените средства става по-бързо.

2.5. Изчисляване на консумираната енергия за външно осветление

Консумираната електроенергия за външно осветление се определя от инсталираната мощност на уредбите и годишната продължителност на работа на осветлението. Последната се определя от нивата на естествената осветеност, при които се включва (вечер) и изключва (сутрин) уличното (табл.6) и районното осветление (табл.7).

Табл. 6

Прагове за управление на външно осветление и годишна продължителност на работа на осветлението ТА при улици, нормирани по яркост (БДС EN 13201-2)

Категория на улицата по БДС EN 13201-2	L, cd/m ²	EXOP, lx	ТА, часове
ME1 (Скоростни градски магистрали)	2,00	80	4260
ME2 (Градски магистрали)	1,50	60	4240
ME3 (Главни улици)	1,00	40	4220
ME4 (Районни артерии)	0,75	30	4200
ME5 (Събирателни улици)	0,50	20	4150
ME6 (Квартални улици)	0,30	10	4100

Табл. 7

Прагове за управление на външно осветление и годишна работа на осветлението ТА при улици, нормирани по осветеност (БДС EN 13201-2)

Категория на улицата по БДС EN 13201-2	EXOP_СР, lx	EXOP_МИН, lx	ТА, часове
S1 (Алеи за велосипедисти, аварийни ленти)	15	5	4140
S2 (Места за паркиране)	10	3	4100
S3 (Тротоари)	7,5	1,5	4070
S4 (Алеи за пешеходци, квартални улици)	5	1	4015
S5 (Училищни дворове и зелени площи)	3	0,6	3960
S6 (Улици в малки населени места)	2	0,6	3930

За повечето населени места от 10 до 50 х. жители определящи за разходите за външно осветление са три типа улици – главни, събирателни и обслужващи. Осветление на тротоари и пешеходни зони към главните и събирателните улици обикновено се причислява към класове S3-S4, а това към обслужващите улици (алеи и зелените площи в жилищни райони и паркове) - към класове S4-S5.

В табл. 8 са показани резултати от проучване на улично осветление на среден по големина град в България [7], изцяло изпълнено с осветители с натриеви лампи високо налягане. Общата дължина на улиците е 114,79 km при

обща инсталирана мощност 263,50 kW. Годишна консумация на енергия, изчислена на база продължителност на работа на осветлението по типове уредби (табл.6-7) е 1096340 kWh. Изчисленото процентно разпределение на мощността по категории улици може да послужи като база за цялостна оценка на ефективността от прилагане на проектиране по мезопична яркост.

Табл. 8

Резултати от проучване на съществуващо външно осветление в околност на град, изпълнено с осветители с натриеви лампи високо налягане

Тип улица	Клас по [1]	Ринст. W/1000 m	Прод. Та, h	% по дълж.	% по Ринст.	% по Wконс.
1. Градски артерии: 1 cd/m ²	ME 3	7005	4220	18%	56%	57%
2. Събирателни улици: 0,5 cd/m ²	ME 5	2096	4150	14%	13%	13%
3. Обслужващи улици: 0,3 cd/m ²	ME 6	1899	4100	18%	15%	14%
4. Тротоари и пеш. зони: 7,5-5 lx	S3-S4	399	4050	32%	6%	5%
5. Алеи и зелени площи: 5-3 lx	S4-S5	1393	4000	18%	11%	10%

3. Заключение

Разгледаните въпроси са основа за провеждане на анализи за състоянието на външното осветление в населените места на Р. България. На тяхна база е възможно съществено намаляване на инсталираните мощности, особено за събирателните и обслужващите улици, които са преобладаващи в средните и малките населени места. Прилагането на принципа „проектиране по мезопична яркост/осветеност“ ще намали разходите на общините за услугата „публично осветление“, като същевременно ще се подобри и нощният облик на населеното място – бялата светлина осигурява по-добро възпроизвеждане на специфичните характеристики на обектите в градската среда.

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012 г., научен проект в помощ на докторант «Мезопична фотометрия и енергийна ефективност в уличното осветление», договор № 121ПД0037-01/26.04.2012.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13201-2:2003. Улично осветление. Част 2: Технически изисквания
- [2] CIE 191:2010 “Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance”
- [3] Tatsukiyo Uchida, Yuqin Zong, Cameron Miller, and Yoshi Ohno. A Practical Photometer for CIE Performance Based Mesopic Photometry System. CORM 2011: May 4-6, 2011, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD
- [4] City of San José Public Streetlight Design Guide: Public Streetlight Replacement Guide, Public Streetlight Installation Guide, Adaptive Street Lighting Design Guide. February 2011
- [5] Pípa Marek, Alfonz Smola. Comparative measurements of photopic and scotopic luminous fluxes of different light sources, 11th European Lighting Conference “Lux Europa’2009”, 9 - 11 September 2009, Istanbul, Proceedings, pp.1079-1081
- [6] <http://www.philipslumileds.com>. Бели светлодиоди
- [7] Павлов Д., А. Пачаманов. Типови решения и оценка на енергийната ефективност на улично осветление, проектирано по мезопична яркост. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09.2012-01.10.2012, гр. Созопол

Автори:

Ангел Саракинов Пачаманов, д-р инж. – професор в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (pach@tu-sofia.bg), р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

Димитър Тодоров Павлов, маг. инж. – редовен докторант в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (dpavlov@tu-sofia.bg), отг. изпитвател в НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

ТИПОВИ РЕШЕНИЯ И ОЦЕНКА НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ, ПРОЕКТИРАНО ПО МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ

Димитър Павлов, Ангел Пачаманов

Резюме: Мастер план на гр. Кърджали - категоризация по улици; Избор на нормени показатели L_{ph} и преизчисляване на L_{mes} ; Процентно участие на различните улици по дължина и по инсталирана мощност; Очакван ефект за града от препроектиране на уредбите по мезопична яркост.

Ключови думи: мезопично зрение, осветление при ниски светлинни нива

TYPES OF DECISIONS AND EVALUATE THE ENERGY EFFICIENCY OF STREET LIGHTING, DESIGNED BY MESOPIC LUMINANCE

Dimitiy Pavlov, Angel Pachamanov

Abstract: Master plan for Kardzhali city – categorization by street type; Selection of norm benchmarks L_{ph} and recalculation of L_{mes} ; Percentage of streets with various length and installed capacity (calculated by L_{ph} and L_{mes}); Expected impact for the city from redesigning installations from photopic luminance to mesopic luminance.

Key words: mesopic vision, street lighting at low luminance levels

1. Въведение

Приложението на най-новите изследвания в областта на мезопичното зрение може да доведе до намаляване на разходите за външно осветление на общините от 20% до 30% в зависимост от типа осветление. Това се отнася особено за приложения с ниски светлинни нива, каквито са обслужващите улици, пешеходните и парковите зони. Процентното увеличаване на мезопичната яркост спрямо фотопичната при използване на светлинни източници с различен спектрален състав е показано в табл.1 [5]. Очевидно е, че за ниски нива на фотопичната яркост L_{ph} бялата светлина е по-подходяща, тъй като на източници с по-висока цветна температура съответстват по-високи нива на мезопичната яркост L_{mes} .

2. Същинска част

2.1. Категоризация на улиците на гр. Кърджали

Кърджали е най-големият административен, промишлен, търговски и културен център на Източните Родопи. Населението му към март 2012 година е 45450 жители. Уличната мрежа на града е с обща дължина 57395 метра. При категоризацията ѝ са възприети три групи: главни улици, събирателни улици и обслужващи улици. Дължините им са съответно 21235 метра (37%), 16000 метра (28%) и 20160 метра (35%). Осветлението на тротоарите и пешеходните

зони към първите два типа улици е разгледано отделно, а за обслужващите улици – като осветление на алеи и зелени площи (табл.3).

Табл. 1

Мезопични яркости L_{mes} по типове улици за нормени нива L_{ph} и различни цветни температури на използваните светлинни източници [5]

L_{ph} , cd/m ²	T_c , К	S/P	L_{mes}	L_{ph-red}	% ик.ен.	$S_{mes-max}$
0,30	2350	0,65	0,28	0,32	-7,90%	768
0,50	2350	0,65	0,47	0,53	-6,09%	732
1,00	2350	0,65	0,96	1,04	-3,94%	705
0,30	3500	1,33	0,32	0,28	6,86%	756
0,50	3500	1,33	0,53	0,47	5,33%	727
1,00	3500	1,33	1,03	0,97	3,47%	702
0,30	4000	1,56	0,33	0,27	11,60%	753
0,50	4000	1,56	0,55	0,45	9,02%	726
1,00	4000	1,56	1,06	0,94	5,89%	701
0,30	4300	1,69	0,34	0,26	14,04%	751
0,50	4300	1,69	0,55	0,45	10,92%	725
1,00	4300	1,69	1,07	0,93	7,14%	701
0,30	5000	1,93	0,36	0,24	18,64%	748
0,50	5000	1,93	0,57	0,43	14,51%	724
1,00	5000	1,93	1,10	0,90	9,51%	700

Табл.2

Нормени показатели по категории улици [1]

Светлотехнически и клас на улицата	Яркост на повърхността на пътното платно при суха пътна настилка			Смушаващо заслепяване	Осветление на обкръжението
	L в cd/m ² [минимална поддържана]	U_0 [минимална]	U_1 [минимална]	T_l в % [максимално]	SR 2b [минимално]
ME3	1,0	0,40	0,7	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	-

Табл.3

Инсталирана мощност и брой на осветителите по категории улици (сега)

Категория на улиците	Брой на осветителите	Инсталирана мощност, W
Градски артерии (ME3)	969	148752
Пешеходни зони, тротоари (S3)	79	5640
Събирателни улици (ME5)	406	33534
Пешеходни зони, тротоари (S3)	133	9220
Обслужващи улици (ME6)	617	38278
Алеи, зелени площи (S4)	468	28080
Общо	2672	263504

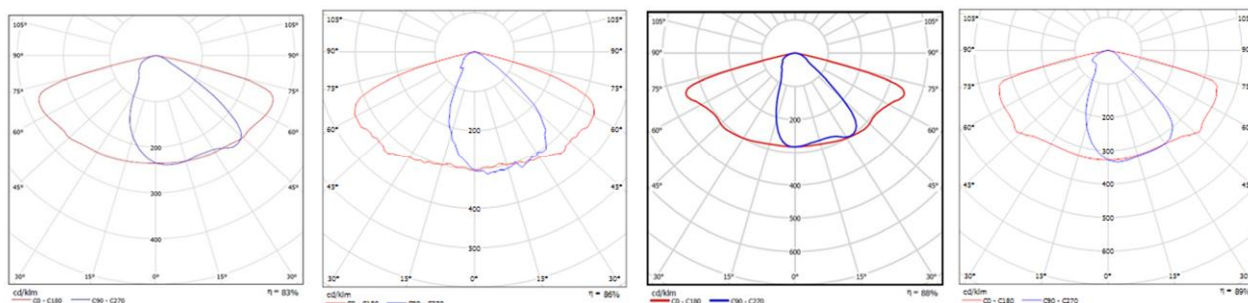
Нормените показатели за категориите улици, възпрети за гр. Кърджали, са показани в табл.2. Нормирането на осветлението на тротоарите и пешеходните зони, както и на алеите и зелените площи е по осветеност, съответно 5-7 lx за първите и 3-5 lx - за вторите [1].

2.1. Сегашно състояние на уличното осветление в гр. Кърджали

Уличното осветление е реализирано с осветители с натриеви лампи с високо налягане (НЛВН) 50, 70, 100 и 150 W. Общият брой на осветителите е 2672, като от тях 1992 са улични и 680 – паркови (табл.3). Общата инсталирана мощност за улично осветление е 263504 W, съответно 148752 W за градските артерии, 5640 W за пешеходните зони и тротоарите към тях; 33534 W за събирателните улици, 9220 W за пешеходните зони и тротоарите към тях; 38278 W за обслужващите улици, 28080 W за алеи и зелени площи към тях.

2.2. Препроектиране на уличното осветление чрез подмяна на осветителите с НЛВН с LED-осветители

За да се провери доколко ефективна би била подмяната на съществуващото осветление със светодиодно, по-долу е описана замяната на съществуващите осветители с НЛВН с LED-осветители. Чрез софтуерен продукт Dialux [6] са извършени пълни светлотехнически изчисления по категории улици. За „градски артерии“ те са извършени за бул. „България“, бул. „Тракия“ и „Ардински мост“; за „събирателни улици“ - за ул. „Отец Паисий“, ул. „Осми март“ и ул. „Пирин“; за „обслужващи улици“ - за ул. „Средец“, ул. „Родопи“ и ул. „Мир“. За описаните улици са използвани осветители с различно светлоразпределение и мощност, и различна цветна температура на светлинните източници. Като най-подходящи по категории улици са избрани LED-осветители BGP353 T15 1xECO156-2S/740 DW, BGP322 T35 1xECO60-2S/647 DM, BGP352 T35 1xECO91-2S/647 DC, BGP322 T35 1xECO35-2S/840 DN, съответно с мощности 145 W, 90 W, 56 W и 41 W. Светлоразпределението на осветителите е показано на фиг.1.



Фиг.1. Светлоразпределителни криви на използваните LED осветители 145 W(4000K), 90 W(5000K), 56 W(4000K) и 41 W(4000K)

При спазване на нормените показатели за различните категории улици новото LED осветление се получава с инсталирана мощност 205537 W, съответно 126063 W за градските артерии и 3896 W за пешеходните зони и

тротоарите към тях; 23640 W за събирателните улици и 6358 W за пешеходните зони и тротоарите към тях; 26392 W за обслужващите улици и 19188 W за алеи и зелени площи към тях (табл.4).

Табл.4

Инсталирана мощност и брой осветители по категории улици за препроектираното улично осветление на гр. Кърджали

Категория на улиците	Брой на осветителите	Обща инсталирана мощност, W
Градски артерии	969	126063
Пешеходни зони, тротоари	79	3896
Събирателни улици	406	23640
Пешеходни зони, тротоари	133	6358
Обслужващи улици	617	26392
Алеи, зелени площи	468	19188
Общо	2672	205537

При подмяна на старите осветители с LED осветители с по-добра оптична система инсталираната мощност се намалява, както е показано в табл.5. Общото намаляване на инсталираната мощност е 57967 W или 22%. Разпределена процентно между различните категории улици тя е 39% за градски артерии, 3% за пешеходните зони и тротоарите към тях; 17% за събирателни улици, 5% за пешеходните зони и тротоарите към тях; 21% за обслужващи улици, 15% за алеи и зелени площи към тях. От таблицата става ясно, че най-голям е ефектът при градските артерии и пешеходните зони към тях (42%); 22% е при събирателните улици и пешеходните зони към тях; 36% е при обслужващите улици и алеите към тях.

Табл.5

Намаление на инсталираните мощности по категории улици

Категория	Икономия на инсталирана мощност, W	Икономия на мощност, %
Градски артерии	22689	39%
Пешеходни зони, тротоари	1744	3%
Събирателни улици	9894	17%
Пешеходни зони, тротоари	2868	5%
Обслужващи улици	11886	21%
Алеи и зелени площи	8892	15%

2.3. Преизчисляване на уличното осветление по мезопична яркост

Проектирането на уличното осветление по мезопична яркост осигурява възможност за допълнително намаляване на разходите за електрическа енергия от 20% до 30% в зависимост от типа улица. Тъй като светлинните източници се различават по спектрално разпределение на излъчването, тяхната визуална ефективност се променя в зависимост от отношението S/P (скотопичен към фотопичен излъчен поток) и светлинното ниво [2]. Процентното увеличаване

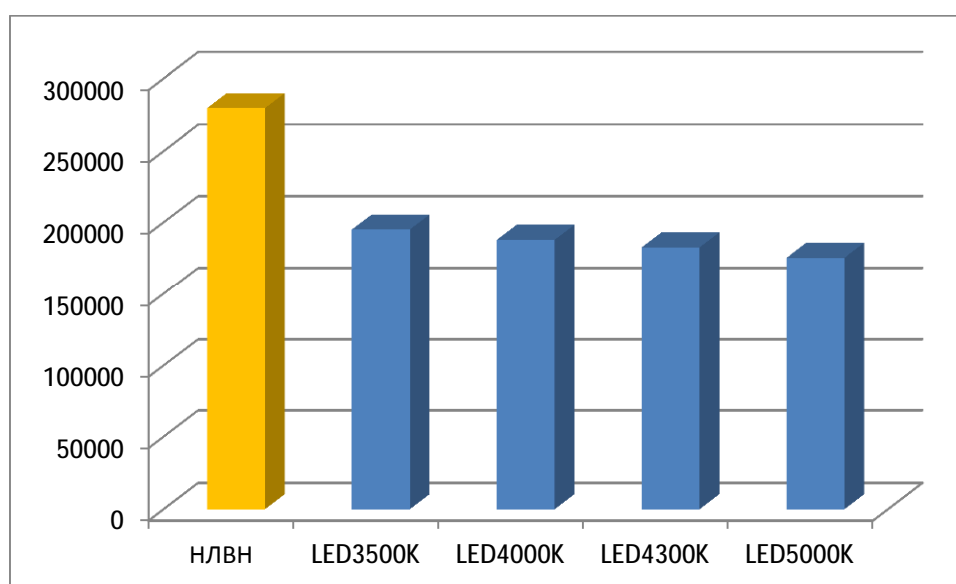
или намаляване на мезопичната яркост спрямо фотопичната при светлинни източници с различен спектрален състав е показано в табл.1 и б.

Табл. 6

Редуцирани фотопични яркости L_{ph-red} при проектиране по мезопична яркост L_{mes} и икономия на енергия за различни светлинни нива (по типове улици) [5]

L_{ph} , cd/m ² *	Tc, К	S/P	L_{mes}	L_{ph-red}	% ик.ен.	$S_{mes-max}$
0,10	2350	0,65	0,09	0,11	-12,80%	886
0,15	2350	0,65	0,13	0,17	-10,79%	832
0,10	3500	1,33	0,11	0,09	10,82%	851
0,15	3500	1,33	0,16	0,14	9,24%	813
0,10	4000	1,56	0,12	0,08	18,21%	844
0,15	4000	1,56	0,17	0,13	15,58%	808
0,10	4300	1,69	0,12	0,08	21,99%	841
0,15	4300	1,69	0,18	0,12	18,83%	805
0,10	5000	1,93	0,13	0,07	29,11%	835
0,15	5000	1,93	0,19	0,11	24,96%	801

*Фотопични яркости на настилка R3 със среден яркостен фактор $q_0=0,07$ при класове улици S3-S4 (за осветености 5 lx и 7 lx)



Фиг.2. Обща инсталирана мощност при замяна на съществуващите осветители с LED-осветители (3500K, 4000K, 4300K и 5000K)

Намаляването на мощността за различните типове улици е изчислена съгласно методиката, описана в [5]. Икономията на енергия е определена на база редуцирана нормена яркост в зависимост от цветната температура на използвания светлинен източник. Ако се вземат предвид и часовете работа на осветителните уредби от различен тип може да се изчисли и консумираната енергия по типове улици. За обслужващи улици, проектирани по осветеност, необходимата информация е дадена в табл. б.

Преизчисляването на уличното осветление по мезопична яркост води до икономия на енергия от намаляване на инсталираната мощност поради по-

добри оптични системи на използваните LED-осветители и от заложените по-ниски нормени нива на фотопична яркост, заради проектиране по мезопично зрение. Резултатите за получените инсталирани мощности са показани на фиг.2. При избора на LED осветители е отчетен фактът, че с напредване на възрастта на наблюдателя лещата на окото пожълтява. Затова са показани варианти на използвани светлинни източници с цветна температура от 3500K до 5000K.

Табл.7

Инсталирани мощности преизчислени с отчитане на мезопичната компонента

Категория	НЛВН инсталир ана мощност, W	LED 3500K инсталир ана мощност, W	LED 4000K инсталир ана мощност, W	LED 4300K инсталир ана мощност, W	LED 5000K инсталир ана мощност, W
Градски артерии	154553	121 651	118625	117113	114 087
Пешеходни зони, тротоари	6249	3 536	3288	3 162	2467
Събирателни улици	35579	22 387	21512	21063	20 212
Пешеходни зони, тротоари	10215	5 770	5366	5 160	4770
Обслужващи улици	41302	24 571	23330	21063	20212
Алеи и зелени площи	31674	17 110	15692	14967	13 602
Общо	279572	195025	187813	182528	175350

Табл.8

Процентно намаляване на инст. мощности за различна цветна температура

Категория	LED 3500K инсталирана мощност, W	LED 4000K инсталирана мощност, W	LED 4300K инсталирана мощност, W	LED 5000K инсталирана мощност, W
Градски артерии	21,3%	23,2%	24,2%	26,2%
Пешеходни зони, тротоари	43,4%	47,4%	49,4%	60,5%
Събирателни улици	37,1%	39,5%	40,8%	43,2%
Пешеходни зони, тротоари	43,5%	47,5%	49,5%	53,3%
Обслужващи улици	40,5%	43,5%	49,0%	51,1%
Алеи и зелени площи	46,0%	50,5%	52,7%	57,1%
Общо	30,2%	32,8%	34,7%	37,3%

От табл.1 и 6 се вижда, че при използване на осветители с НЛВН за ниски яркости, инсталираната мощност трябва да се повиши - общата инсталирана мощност на НЛВН без отчитане на мезопичната компонента е 263504 W, а с

отчитане на нейното влияние 279572W. Инсталираната мощност при отчитане на мезопичната компонента за LED-осветители с различна цветна температура е 10512 W за LED3500K, 17724W за LED4000K, 23000 W за LED4300K и 30187 W за LED5000K (таблици 7 и 8).

2.3. Очакван ефект от проектиране на уредбите по мезопична яркост

Разходите за осветление се определят от разходите за съоръжения, проектиране и инсталиране на уредбата; разходите за техническата поддръжка на съоръженията и разходите за електроенергия. Те участват при изчисляване на приведените годишни разходи за осветление, по чиято стойност се прави рационален избор между многото технически решения. Скъпите решения най-често осигуряват по-модерно и качествено осветление, но трябва да се вземе предвид и годишната използваемост на уредбата, за да се изчисли дали са обосновани големи инвестиции за техника. При определяне на разхода на електроенергия в kWh е необходимо да се знае годишната продължителност на включване на осветителната уредба и работната ѝ мощност (табл.9):

$$W_a = P_{инст} \cdot T_p, \text{ kWh.}$$

Табл. 9

Икономия на средства от електроенергия за различните категории улици

Категория	ТА, часове	При осветители с НЛВН, лв	При LED осветители, лв	Разлика, лв
ME3	4220	125547	106397	19150
S3	4050	4568	3155	1413
ME5	4150	27833	19621	8212
S3	4050	7468	5149	2318
ME6	4100	31388	21641	9747
S4	4015	22464	15350	7114
Общо, лв		219268	171316	47953

При изчисляването на разходите за поддръжка се вземат предвид подлежащите на подмяна лампи NCH, определени на база часове работа TP на уредбата за всяка категория улица:

$$(2) \quad N_{CH} = N_L \frac{T_p}{T_N},$$

където NL е общия брой лампи, а TN е животът на използваните лампи в часове. Общата цена за електроенергия за осветление се изчислява по:

$$(3) \quad C_{EN} = W_a \cdot e, \text{ където } e \text{ е цената на 1 kWh електроенергия.}$$

Поддръжката на уредбата се състои в подмяна на изгорели лампи, което се комбинира с почистване на оптичните системи на осветителите:

$$(4) \quad C_{MAINT} = \sum_{i=1}^m \frac{T_L \cdot N_L}{T_N} (e_L + e_{L-CH}),$$

където m е общият брой редове осветители в улицата, eL - цената на една лампа, eL_{CH} - разходи за подмяна на лампа и почистване на оптичната система (приети равни на цената на една лампа).

При изчисляване на общите разходи се вземат предвид и разходите за обслужване на кредита, изтеглен за реконструкция на осветителната уредба (10-годишен кредит с годишна лихва в два варианта - 5% и 10%). Вноската за обслужване на кредит с период на погасяване T години е:

$$C_A = \frac{K}{\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^T}}, \quad (5)$$

където K е стойността на изтегления кредит за реконструкция на осветителната уредба, лв; r - годишната лихва, при която е отпуснат кредитът. Знаменателят на формулата е т.н. анюитетен фактор, показващ за колко години се изплаща главницата на заема (през останалите години до T се връща цената на кредита - натрупаните лихви за ползване на кредит със стойност K за години T).

Стойността на изтегления кредит за реконструкция се определя от цената на осветителите $K_{освет}$, стойността на демонтажа на рогатки $K_{дем.рог.}$ и стойността на монтажните работи $K_{монт.раб.}$:

$$K = (K_{освет} + K_{дем.рог.} + K_{монт.раб.}) N_L \quad (6)$$

Общите годишни разходи за реконструкция на осветлението са:

$$Z = C_{en} + C_{MAINT} + C_A \quad (7)$$

В таблици 10 и 11 са показани общите годишни разходи за двата варианта на лихвата - 5% и 10% при период на връщане на кредита 10 години. Цената на електроенергията е приета 0,20 лв/kWh. Разгледани са 4 варианта на цени на LED-осветители - от 5 пъти до 2 пъти стойността на осветителите с НЛВН. Базисните цени на осветителите с НЛВН са приети 200,150,120 и 100 лева/бр. за мощности 150 W, 100 W, 70 W и 50 W. На тези мощности съответстват LED-осветители с единични мощности 145 W, 90 W, 56 W и 41 W.

Табл. 10

Общи годишни разходи на вариантите при лихва 5%

Категория	НЛВН	LED (5) *	LED (4) *	LED (3) *	LED (2) *
ME3	163879	233937	208839	183741	158643
S3	6904	10153	8547	6501	5407
ME5	44356	75078	64562	54046	43530
S3	11365	16574	14048	10603	8939
ME6	48961	69129	60168	44187	39220
S4	35575	49897	43836	31715	28684
Общо, лв	311040	454768	400000	330793	284424

*Стойността в скобите показва с колко пъти цената на LED осветителите е по-висока от тази на осветителите с НЛВН.

Табл. 11

Общи годишни разходи на вариантите при лихва 10%

Категория	НЛВН	LED (5) *	LED (4) *	LED (3) *	LED (2) *
ME3	172144	266673	235020	203508	171996
S3	7380	11948	9925	7356	5982
ME5	47948	89312	76047	62844	49641
S3	12158	19505	16322	11997	9908
ME6	52497	81318	70014	49949	43713
S4	38220	58764	51116	35897	32092
Общо, лв	330347	527523	458444	371550	313331

*Стойността в скобите показва с колко пъти цената на LED осветителите е по-висока от тази на осветителите с НЛВН.

При проектиране на уредбите по мезопична яркост инсталираната мощност се редуцира съгласно показаните стойности в табл.7. Общите годишни разходи за осветление намаляват в зависимост от използваните осветители - в таблици 12 и 13 е показана общата икономия в лева, съответно при лихви 5% и 10%.

Табл. 12

Общи годишни разходи при оценяване и по мезопична яркост (при лихва 5%)

Осветител	НЛВН	LED (5)*	LED (4) *	LED (3) *	LED (2) *
LED3500K	311040	446081	391313	322106	275737
LED4000K	311040	440120	385353	316146	269776
LED4300K	311040	435764	380996	311789	265420
LED5000K	311040	429835	375067	305860	259491

*Стойността в скобите показва с колко пъти цената на LED-осветителите е по-висока от тази на осветителите с НЛВН.

Табл. 13

Общи годишни разходи при оценяване и по мезопична яркост (при лихва 10%)

Осветител	НЛВН	LED (5) *	LED (4) *	LED (3) *	LED (2) *
LED3500K	330347	518521	449757	362863	304643
LED4000K	330347	512561	443797	356903	298683
LED4300K	330347	508204	439440	352546	294326
LED5000K	330347	502275	433511	346617	288397

*Стойността в скобите показва с колко пъти цената на LED осветителите е по-висока от тази на осветителите с НЛВН.

3. Заключение

Подмяната на старите осветители с НЛВН с нови LED-осветители води до икономия на енергия и подобряване на качеството на услугата "публично

осветление", предоставяна на населението. Разработеният примерен проект по [2] за реконструкция на уличното осветление в гр. Кърджали може да послужи като пример за „проектиране по мезопично яркост“ и за други общини в страната.

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012 г., научен проект в помощ на докторант «Мезопична фотометрия и енергийна ефективност в уличното осветление», договор № 121ПД0037-01/26.04.2012.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13201-2:2003. Улично осветление. Част 2: Технически изисквания
- [2] CIE 191:2010 - Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance‘
- [3] Van Tichelen P., Geerken T., Jansen B. Vanden Bosch, M. (Laborelec), Van Hoof V., Vanhooydonck L. (Kreios), Vercalsteren A., City of San Josse Public Streetlight Design Guide, USA, 2011,“Final Report Lot 9: Public street lighting”, 2007/ETE/R/021 [http://www.sanjoseca.gov/transportation/SupportFiles/greenvision/PublicStreetlight Design Guide.pdf](http://www.sanjoseca.gov/transportation/SupportFiles/greenvision/PublicStreetlight%20Design%20Guide.pdf)
- [4] <http://www.philipslumileds.com> Бели светодиоди
- [5] Пачаманов А.. Д. Павлов. Възможности за повишаване на енергийната ефективност на външно осветление на база проектиране по мезопична яркост. IV Научна конференция ЕФ2012, 28.09.2012-01.10.2012, Созопол
- [6] <http://www.dialux.com>

Автори:

Димитър Тодоров Павлов, маг. инж. – редовен докторант в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (dpavlov@tu-sofia.bg), отговорен изпитвател в НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

Ангел Саракинов Пачаманов, д-р инж. – професор в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (pach@tu-sofia.bg), р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАГУБИ В СВЕТОДИОДИ ПРИ ВКЛЮЧЕНО СЪСТОЯНИЕ

Симона Петракиева, Йордан Шопов, Галя Георгиева-Таскова

Резюме: Електрическите загуби са от съществено значение за нормалната работа на полупроводниковите прибори, в частност за светодиодите. В доклада е изведена зависимостта между загубите във включено състояние на светодиодите и на тока през тях. Анализирано е влиянието на средната и ефективната стойности в режим на регулиране на тока (фазово и импулсно). На тази основа е направен извода, че в тези загуби доминираща е средната стойност, а не ефективната, както е при елементите с линейни характеристики. При стабилизация на средната стойност тока през светодиода, тази зависимост се променя (в някои случаи съществено) при промяна на ъгъла на регулиране или на коефициента на запълване, съответно при фазово или при импулсно управление.

Ключови думи: електрически загуби в светодиоди, средна и ефективна стойност на тока, ъгъл на регулиране, коефициент на формата

ELECTRIC LOSSES IN LIGHT EMITTING DIODES IN SWITCH ON MODE

Simona Petrakieva, Jordan Shopov, Galia Georgieva-Taskova

Abstract: Electrical losses take an essential part for normal work of the non-linear devices, in particular for Light Emitting Diodes (LEDs). In the paper, the expression about the connection between the losses in LEDs and the current passed through them is deduced. The influence of the average and the RMS values in phase and pulse current control, are analyzed. On this base it is made the conclusion, that the dominating part of this dependency has the average value of the current in difference of the linear elements, where the RMS value is essential. When the current passed through the LED stabilizes this dependency changes (sometimes essentially) with changes of the delay angle and duty cycle in phase and pulse control, respectively.

Key words: electrical losses in LEDs, average and RMS values of the current, delay angle, duty cycle

1. Въведение

Известно е, че светодиодите (LED - Light Emitting Diodes) притежават редица предимства спрямо конвенционалните светлинни източници. Освен това в резултат на интензивните научни изследвания в целия свят техните параметри и характеристики непрекъснато се подобряват и приложението им прогресивно се разширява. Те все повече изместват конвенционалните светлинни източници в битовото, уличното и декоративното осветление, в мобилните средства, в електронните устройства и в редица по-нови области като: производство на

монитори, телевизори, самолетостроене и други [1, 2].

Основен фактор за надеждна и продължителна експлоатация при мощните светодиоди е правилното изчисляване на мощността, която се отделя в $p-n$ прехода. При различни режими на работа тя се променя, като в някои случаи може да се получи локално прегряване на кристала, независимо, че допустимата мощност не е превишена и съответната система за охлаждане работи нормално.

Известно е, че в резултат на нелинейността на $V-A$ характеристика отделената мощност в светодиодите, за разлика от конвенционалните светлинни източници, зависи от средната, а не от ефективната стойност на тока [3, 6]. При захранване от постояннотоков източник и неизменна средната стойност, се гарантира безопасен режим на работа. Резултатите се променят съществено при използване на регулируемо мрежово или импулсно захранване. В този случай, независимо от запазване на неизменна средна стойност на тока, може да се получи повреда от значителното нарастване на ефективната стойност.

По тази причина от ключово значение е измерването на съответните стойности на електрическите величини (средна или ефективна) с подходящи методи и средства. След анализирането на получените от измерването резултати може да се прецени при какви режими и кои стойности (средна, ефективна) влияят съществено на процеса на загряване. Последният зависи както от формата (синусоидална, несинусоидална, правоъгълна и т.н.) на съответната величина, така и от избрания метод за измерване и регулиране. Резултатите от измерването и действителните стойности могат да се различават съществено.

Като най-прост пример за това може да се посочи измерването на променливи напрежение или ток с помощта на обикновен уред с цифрова индикация. Този тип уреди измерва средна стойност, а показанията за ефективна стойност се получават с умножение по 1,11. Всъщност, 1,11 е коефициентът на формата ($k_f = U_{RMS} / U_{av}$), при измерване на синусоидални величини и показанието е валидно само при това условие. Ако, обаче, в резултат на регулиране през единия или двата полупериода се пропуска не цялата, а част от синусоидалната величина, коефициентът на формата може да има стойност 3, 4 и повече. Очевидно е, че в тези случаи измереният резултат не е верен и трябва да се използва уред за измерване на средноквадратична стойност (True RMS).

2. Дефиниране на проблема

Светодиодите са особено чувствителни към превишаване на стойностите на захранващото напрежение и тока и изискват прилагането на различни принципни решения за предпазване от критични режими. Много често при захранване от мрежата за това се използват източници със стабилизация или с автоматично регулиране на тока. В този случай, в зависимост от избрания метод на управление (напр. импулсно [3, 4, 5] или фазово [3, 4, 6]) при неправилно измерени стойности на величините, които се контролират, може да

настъпи повреда. Това може да се случи както при захранване с постоянен ток, а така също и при захранване от променливотоков източник.

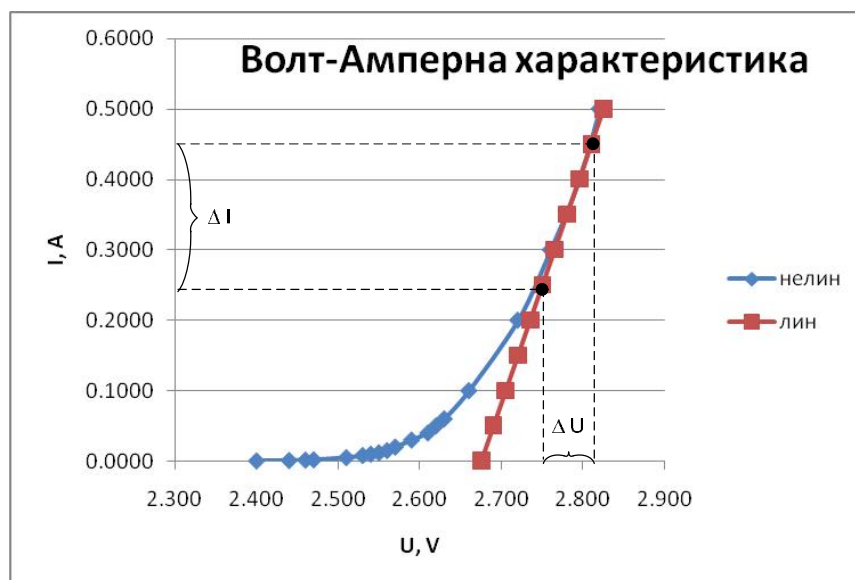
Във включено състояние през светодиодите протича работният ток, а върху тях се установява пад на напрежение, който е в граници 2,5 V до 3,5 V. В резултат на това в кристала се отделят загуби. Ако захранването е от мрежата, посредством обикновен, фазоворегулируем токоизправител без филтър, средната стойност на загубите в рамките на един период е:

$$(1) \quad P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$$

За да се реши този интеграл трябва да е известно изменението на двете величини (ток и напрежение) във времето и взаимната им връзка при включено състояние на прибора. На фиг.1 е дадена волт-амперната характеристика на реален светодиод (получена експериментално – табл. 1). С достатъчна за практиката точност тази характеристика може да се апроксимира с отрезово уравнение на права линия. Тази апроксимация се характеризира с два параметъра u_0 – прагово напрежение, което характеризира “отреза” върху абцисната ос (в дадения случай $u_0 \approx 2,7 \text{ V}$) и R_d – диференциално съпротивление, което отчита наклона ($\Delta U / \Delta I$) на характеристиката (в дадения случай $R_d \approx 0,3 \text{ } \Omega$).

Табл. 1

U, V	I, A
2.400	0.0004
2.440	0.0010
2.460	0.0015
2.470	0.0020
2.510	0.0050
2.530	0.0080
2.540	0.0100
2.550	0.0120
2.560	0.0150
2.570	0.0200
2.590	0.0300
2.610	0.0400
2.620	0.0500
2.630	0.0600
2.660	0.1000
2.720	0.2000
2.760	0.3000
2.795	0.4000
2.820	0.5000



фиг. 1

$$\begin{cases} u_0 = 2,675 \text{ V} \\ R_d = 0,3 \text{ } \Omega \end{cases} \Rightarrow u(t) = u_0 + R_d \cdot i(t) = 2,675 + 0,3 \cdot i(t)$$

При тези допускания средната стойност на загубите е:

$$(2) \quad P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt = \frac{1}{T} \int_0^T (u_0 + R_d \cdot i) \cdot i dt = \frac{1}{T} \int_0^T u_0 \cdot i dt + \frac{1}{T} \int_0^T R_d \cdot i^2 dt = \\ = u_0 \cdot \frac{1}{T} \int_0^T i dt + R_d \cdot \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = u_0 \cdot I_{av} + R_d \cdot I_{RMS}^2, \text{ W}$$

Първият член от решението е пропорционален на средната, а вторият – на ефективната стойност на тока.

Като се има предвид изразът за коефициента на формата

$$(3) \quad k_f = \frac{I_{RMS}}{I_{av}} \quad \text{или} \quad I_{RMS} = k_f \cdot I_{av}$$

изразът (2), след заместване с числени стойности, добива вида:

$$(4) \quad P_{av} = u_0 \cdot I_{av} + R_d \cdot k_f^2 \cdot I_{av}^2 = 2,675 \cdot I_{av} + 0,3 \cdot k_f^2 \cdot I_{av}^2, \text{ W}$$

При синусоидална форма на тока $k_f = 1,11$

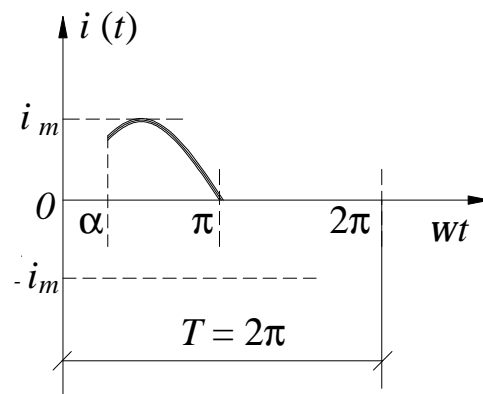
В този случай при $I_{av} = 0,5 \text{ A}$

$$P_{av} = 2,675 \cdot 0,5 + 0,3 \cdot 1,11^2 \cdot 0,5^2 \approx 1,34 + 0,092 = 1,432 \text{ W.}$$

От този пример се вижда, че влиянието на вторият член, пропорционален на ефективната стойност на тока, върху стойността на общата мощност е около 6%, т.е. несъществено. Резултатите обаче се променят, когато токът през светодиодите е част от синусоида, т.е. при фазово управление.

3. Загуби в светодиоди при фазово управление

При фазово регулиране се променя ъгъла на отпушване α , който се дефинира от началото (нулата) на синусоидата. Тъй като средната стойност на загубите P_{av} зависи от средната и от ефективната стойност на тока, изчислени за един полупериод $T/2 = \rho$, то ще се анализира подаденото към консуматора напрежение само за този интервал (фиг. 2).



Фиг. 2. Фазово регулиране на тока

Тогава средната стойност на тока във функцията от ъгъла на регулиране α се определя като:

$$(5) \quad I_{av}(\alpha) = \frac{1}{p} \int_a^p i(t) \cdot dt = \frac{1}{p} \int_a^p i_m \cdot \sin \omega t \cdot dt$$

При отчитане на факта, че $\omega = 2\pi f = 2\pi / T = 2\pi / 2p = 1$ се получава следния израз за средната стойност на тока през светодиода във функцията от ъгъла на регулиране α :

$$(6) \quad I_{av}(\alpha) = \frac{1}{p} \int_a^p i_m \cdot \sin t \cdot dt = \frac{i_m}{p} (\cos \alpha + 1)$$

При същите допускания съответният израз за ефективната стойност на тока е:

$$(7) \quad I_{RMS}^2(\alpha) = \frac{1}{p} \int_a^p i^2(t) \cdot dt = \frac{1}{p} \int_a^p i_m^2 \cdot \sin^2 \omega t \cdot dt = \frac{i_m^2}{2} \sqrt{\frac{2p - 2\alpha + \sin \alpha}{p}}$$

След разделяне на изрази (7) и (8) се получава зависимост на коефициента на формата от ъгъла на регулиране α .

$$(8) \quad k_f(\alpha) = \frac{I_{RMS}(\alpha)}{I_{av}(\alpha)} = \frac{\sqrt{p \cdot (2p - 2\alpha + \sin \alpha)}}{2 \cdot (1 + \cos \alpha)}$$

Замествайки (6) и (8) в (4), окончателният израз за средната стойност на загубите в светодиода, в зависимост от ъгъла на регулиране (α), добива вида:

$$(9) \quad P_{av}(\alpha) = u_0 \cdot I_{av}(\alpha) + R_d \cdot I_{av}^2(\alpha) \cdot \frac{p \cdot (2p - 2\alpha + \sin \alpha)}{4 \cdot (1 + \cos \alpha)^2}$$

$$(9a) \quad P_{av}(\alpha) = 2,675 \cdot I_{av}(\alpha) + 0,3 \cdot I_{av}^2(\alpha) \cdot \frac{p \cdot (2p - 2\alpha + \sin \alpha)}{4 \cdot (1 + \cos \alpha)^2}$$

Забележка: Ъгълът α във формули (5) – (9) се отчита в радиани.

Като пример в таблица 2, с помощта на (9a) е пресметнато изменението на тези загуби в зависимост от ъгъла на регулиране α , при запазване на средната стойност на тока неизменна и равна на: $I_{av} = 0,5 \text{ A}$. Този режим на практика се получава при промяна на напрежението в широки граници и режим на стабилизация на средната стойност на тока.

Табл. 2

$\alpha, ^\circ \text{ ел}$	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°
$P_{av}(\alpha), \text{ W}$	1,43	1,4345	1,447	1,4698	1,5815	2,035	2,9016	6,415

От табл. 2 се вижда, че с увеличаване на ъгъла на регулиране, стойността на загубите $P_{av}(\alpha)$ се увеличава, независимо, че токът е стабизиран. Това е за

сметка на втория член, т.е. от промяната на коефициента на формата! Тази тенденция на рязко увеличаване на $P_{av}(\alpha)$ е особено силно изразена при големи ъгли на регулиране (над 120° ел.). Това трябва да се отчита, за да не се повреди съответния светодиод.

Максимално допустимият ъгъл на фазово регулиране се определя от неравенството:

$$(10) \quad P_{av}(\alpha) < P_{av}^{\max},$$

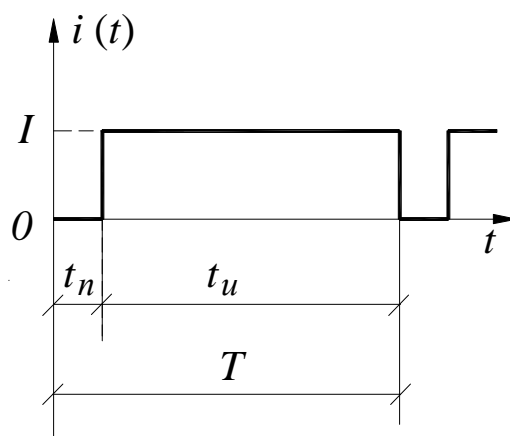
където P_{av}^{\max} е максимално допустимата мощност за съответния светодиод по каталожни данни, в този случай при $\alpha = 0$.

Друг, широко разпространен начин за регулиране на електрическите величини на различни консуматори е с прилагането на импулсно управление. И в този случай при захранване на светодиоди има промяна на влиянието на двете стойности на тока върху загубите.

4. Загуби в светодиоди при импулсно управление

Най-разпространеният начин на регулиране в съвременните преобразователни устройства е импулсният, като на практика формата на импулсите в много случаи е близка и може да се приеме за правоъгълна. Поради тази причина е извършен анализ на процесите при импулсно регулиране на захранването на светодиоди чрез промяна на т.н. коефициент на запълване $k_s = t_u/T$, $0 < k_s \leq 1$ и влиянието му върху отделената мощност (фиг. 3).

При управление на „динамични“ светодиодни индикации, регулирането на тока се осъществява чрез импулсно управление, като при определена честота се мени съотношението импулс-пауза (използва се т.н. коефициент на запълване, който представлява съотношението между широчината на импулса и периода). Ако средната стойност на тока е неизменна, очевидно е, че при намаляване на широчината на импулсите, амплитудата на тока се повишава и обратно.



Фиг. 3. Импулсно регулиране на тока

Ако с t_n се означи закъснението при подаване на импулса, който продължава до края на периода T , т.е. $t_n = T - t_u$, то изразът за средната стойност на тока през светодиода добива вида:

$$(11) \quad I_{av}(k_3) = \frac{1}{T} \int_{t_n}^T i(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_{t_n}^T I \cdot dt = \frac{I}{T} \cdot t \Big|_{t_n}^T = \frac{I}{T} \cdot (T - t_n) = \frac{I}{T} \cdot t_u = k_3 \cdot I$$

Съответният израз за ефективната стойност на тока през светодиода е:

$$(12a) \quad I_{RMS}^2(k_3) = \frac{1}{T} \int_{t_n}^T i^2(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_{t_n}^T I^2 \cdot dt = \frac{I^2}{T} \cdot t \Big|_{t_n}^T = \frac{I^2}{T} \cdot (T - t_n) = \frac{I^2}{T} \cdot t_u = k_3 \cdot I^2$$

$$(12б) \quad I_{RMS}(k_3) = \sqrt{k_3} \cdot I$$

След разделяне на изрази (12б) и (11) се получава зависимостта на коефициента на формата k_f от коефициента на запълване k_3 :

$$(13) \quad k_f = \frac{I_{RMS}(k_3)}{I_{av}(k_3)} = \frac{\sqrt{k_3} \cdot I}{k_3 \cdot I} = \frac{1}{\sqrt{k_3}}$$

Замествайки (11) и (13) в (4), окончателният израз за загубите в светодиода добива вида:

$$(14) \quad P_{av} = u_0 \cdot I_{av} + R_d \cdot \frac{1}{k_3} \cdot I_{av}^2, \text{ W}$$

$$(14a) \quad P_{av} = 2,675 \cdot I_{av} + 0,3 \cdot \frac{1}{k_3} \cdot I_{av}^2, \text{ W}$$

Като пример в таблица 3, с помощта на (14a) е пресметнато изменението на тези загуби в зависимост от коефициента на запълване, при запазване на средната стойност на тока неизменна и равна на: $I_{av} = 0,5 \text{ A}$.

Табл. 3

$t_u, \text{ sec}$	1.T	0,9.T	0,8.T	...	0,5.T	0,4.T	0,3.T	0,2.T	0,1.T
$t_n, \text{ sec}$	0	0,1.T	0,2.T	...	0,5.T	0,6.T	0,7.T	0,8.T	0,9.T
$k_3, -$	1	0,9	0,8	...	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$P_{av}, \text{ W}$	1,4125	1,4208	1,4312	...	1,5196	1,525	1,5875	1,7125	2,0875

От таблица 3 се вижда, че с намаляване на коефициента на запълване k_3 , средната стойност на загубите P_{av} се увеличава, в резултат на действието на ефективната стойност на тока. Тази тенденция е особено силно изразена при по-малки стойности на коефициента.

5. Заключение

Основната част от загубите във включено състояние на светодиодите се обуславят от първия член, даден в (2), т.е. доминираща е средната стойност на

тока, а не ефективната, както е при елементите с линейни характеристики. При осъществяване на стабилизация на тока, тази зависимост се променя при промяна на ъгъла на регулиране или коефициента на запълване, съответно при фазово или при импулсно управление съгласно ф-ли (9а) и (14а). При несъобразяване с посочените зависимости може да настъпи повреда в съответния елемент.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Куцаров, Ст., Мощни светодиоди, драйверни схеми, захранващи модули, вторична оптика, сп. Инженеринг ревю, юли 2012, стр. 32-42, ISSN 1311-0470
- [2] <http://www.autoled-bg.com/>
- [3] М. Минчев, Й. Шопов, Е. Рац, “Преобразователна техника“, Авангард Прима, София 2008, 160 стр.
- [4] Табаков, Ст., Тиристорна техника, Техника, София, 1982, 354 стр.
- [5] Holmes, D. Gr., A. Lipo, T.A. Lipo, Width Modulation for Power Converters: principles and practice, 2003, 724 pages.
- [6] Shopov, J., G. Georgieva-Taskova, S. Filipova-Petrakieva, Electrical Losses in semi-Conductive Devices, Proceedings of Summer school ADVANCED ASPECTS OF THEORETICAL ELECTRICAL ENGINEERING - Sozopol 2012, 07-09 September 2012, Sozopol, Bulgaria, под печат.

Автори:

д-р инж. Симона Петракиева – доцент в катедра “Теоретична електротехника” (ТЕ), ф-т „Автоматика” (ФА), email: petrakievas-te@tu-sofia.bg

д-р инж. Йордан Шопов - доцент в катедра “Електрически апарати” (ЕА), Електротехнически факултет (ЕФ), e-mail: shopov@tu-sofia.bg

маг. инж. Галя Георгиева-Таскова – асистент в катедра “Теоретична електротехника” (ТЕ), факултет „Автоматика” (ФА), email: gvgt@tu-sofia.bg

ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА СВЕТЛИНАТА ВЪРХУ ЧОВЕШКИЯ ОРГАНИЗЪМ

Захари Иванов, Божидар Гълъбов

***Резюме:** Анализирани са процесите на визуалното и биологично възприятие и въздействието на цветната температура върху човешкия организъм при биодинамично осветление.*

***Ключови думи:** светлина, въздействие, човек*

EFFECTS OF LIGHT ON THE HUMAN ORGANISM

Zahari Ivanov, Bojidar Galabov

***Abstract:** Analyzed the processes of visual and biological effects of perception and color temperature on the human body for biodynamic lighting.*

***Key words:** light, influence, human*

1. Въведение

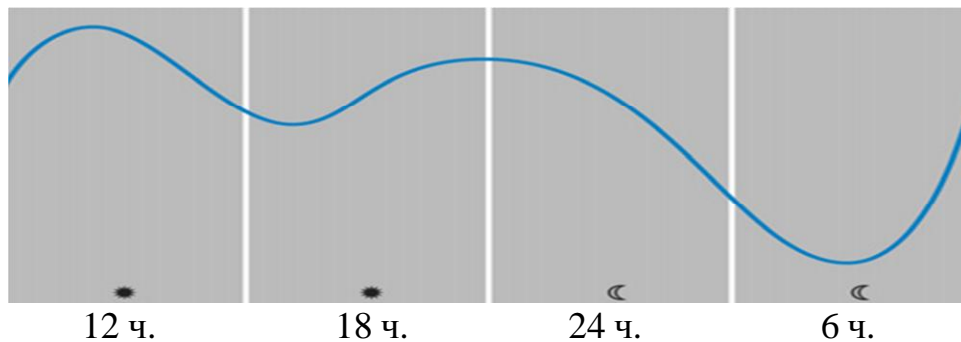
Много от функциите на човешкото тяло протичат циклично. Хронобиолозите, които изучават тези цикли, различават два вида ритми: ултрадиални и циркадиални. Ултрадиалните ритми протичат в период от няколко часа, например фазите на глад или пък активните и пасивните фази при новородени бебета [7]. Циркадиалните ритми са свързани с по-големи промени, като например деня и нощта (фиг.1).

2. Същинска част

Всички функции на човешкия организъм имат максимални и минимални нива в рамките на едно денонощие. Например малко преди събуждане температурата на тялото се повишава, кръвното налягане и честотата на пулса също. След около час организмът започва да произвежда стимулиращи хормони. Неслучайно и медицината е установила, че часовете между 10 и 12 часа са най-опасни за сърдечен удар, тъй като в това време действат и стимулиращите хормони. Също така между 12 и 14 часа стомахът произвежда най-голямо количество киселини за храносмилане. По обяд се наблюдава спад в активността, като ранният следобед отново е фаза на възход във формата. Тези изменящи се състояния в тялото са показани на фиг. 1.

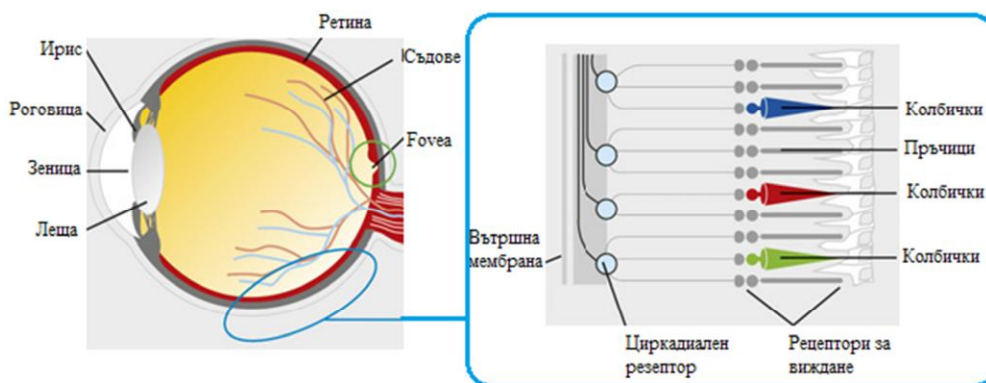
От направени експериментални изследвания е установено, че синята светлина значително намалява отделянето на мелатонин през нощта [5, 14]. В човешкия мозък се намира нервен център, който служи като „централа” за управление на единичните цикли на органите в организма. Така нареченото „супрахиазмално ядро” в главния мозък (suprachiasmatic nucleus (SCN) се състои от два, с големината на оризово зърно, центъра, които се намират над кръстопътя на двата очни нерва в мозъка [7]. Тези области се състоят от по

няколко хиляди нервни клетки, които реагират на дневна светлина и спрямо лъчението дават команди към съответните жлезди или органи. Зрителният анализатор участва в циркадиалната система за управление на дневните и нощните ритми.



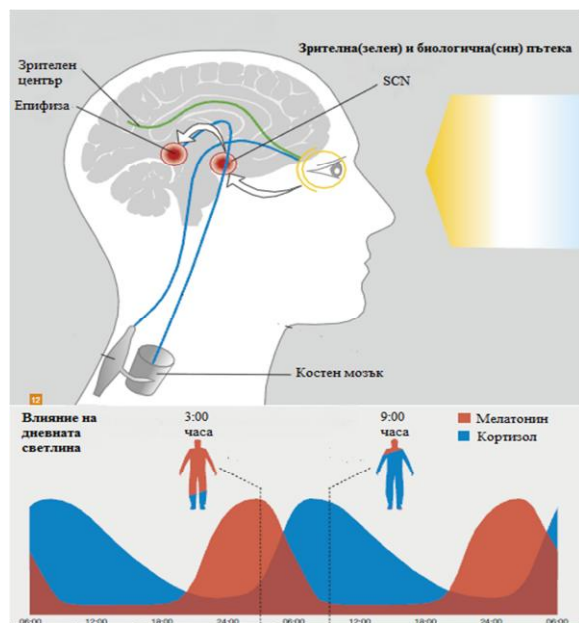
Фиг. 1. Активни фази и продуктивност при човешкия организъм

Основните съставни елементи на окото са ирис, роговица, зеница, леща, ретина, кръвоносни съдове, фовеа и зрителния нерв. Основна функция за зрителния процес имат разположените върху ретината пръчкообразни клетки и така наречените колбички (фиг. 2). Пръчкообразните клетки имат високо съдържание на веществото родопсин и служат при нощно виждане, колбичките пък имат високо съдържание на йодопсин и служат за дневното виждане.

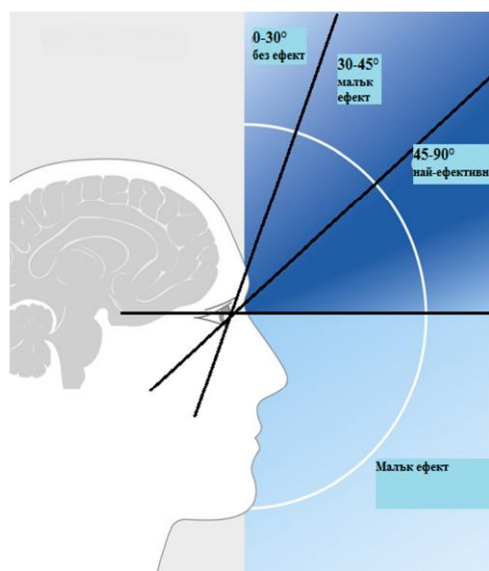


Фиг. 2. Устройство на зрителния анализатор

През 2002 година е открит и друг, трети, рецептор разположен върху цялата площ на ретината от който се изпращат свои собствени импулси към мозъка. Тези допълнителни импулси също преминават през очния нерв. В тези „нови“ клетки учените откриват веществото меланопсин [2,7]. Тези клетки са свързващото звено между зрителния орган и SCN системата – контролният център за тези процеси в главния мозък. Процесът протича така: разположените върху ретината, високочувствителни към светлина клетки, регистрират и най-малките промени на светлината. Чрез зрителния нерв, но по собствени канали, те предават информацията на SCN центровете, които от своя страна според получената информация дават команди към гръбначния мозък или определени жлезди, които произвеждат хормоните **кортизол** или **мелатонин** (фиг. 3).



Фиг. 3. Процеси на зрително и биологично възприятие

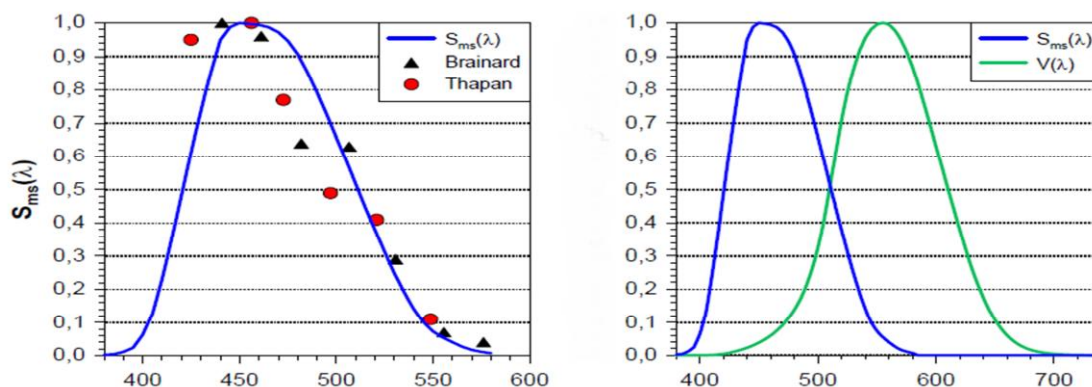


Фиг. 4. Ефективност на действието на светлината спрямо ъгъла на падане

Разпределението на тези допълнителни рецептори върху ретината показват колко добре се е адаптирало окото към естествените условия в природата: най-чувствителните, съдържащи меланопсин, клетки са разположени във фронталната и долната част на окото (виж фиг. 2). Това се дължи на факта, че небето осветява нашия зрителен орган от горе и фронтално. Изкуственото осветление с биологичен ефект би трябвало максимално добре да пресъздаде естествените условия на осветяване (фиг. 4).

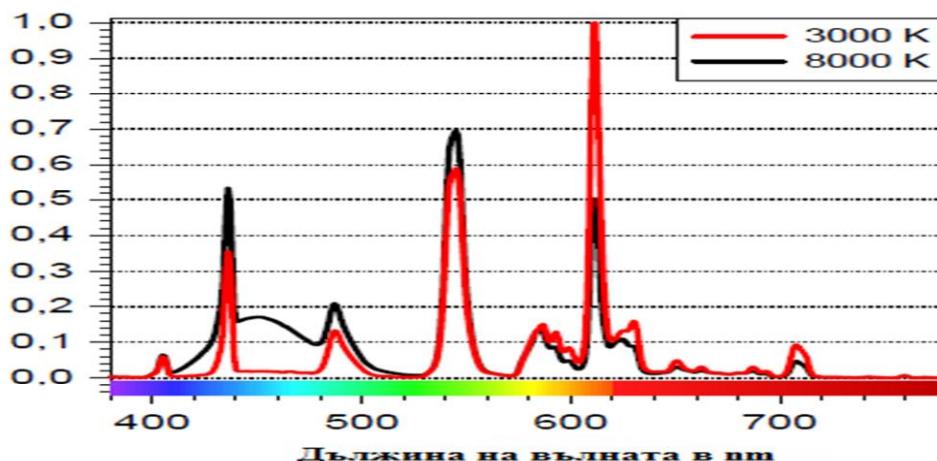
Понастоящем хората все повече се отдалечават от естествения ритъм, зададен от природата. Затова се говори за века на „биологичното затъмнение“, имайки предвид века, в който живеем.

Направени са открития в системата за възприятие на човека, влияещи на биологични процеси в организма като: а) произвеждането на мелатонин; б) объркване на циркадиалните ритми; в) повишаване на активността; г) лечение на сезонни депресии (SAD) [6]. Възниква въпросът дали изкуственото осветление отговаря на изискванията за предполагаемата „здравословна“ светлина? За нормиране на осветлението в помещенията трябва да се вземат предвид не само визуалните критерии, но и биологичното въздействие на светлината върху организма [4]. В университета в Илменау – Германия през 2010 г. се експериментира по подмяна на съществуващото осветление на работните места с ново, според техните разбирания „здравословно“ осветление [4]. Установено е, че чрез облъчване на хора през нощта, нивото на мелатонин в кръвта може значително да бъде понижено [5,14]. Учените Гал [9], Брайнард и Тапан установяват, че чувствителността на системата за биологично регулиране в организма не съвпада с тази на нашия зрителен орган, т.е. наблюдава се изместване от 555 nm към синята област (фиг. 5).



Фиг. 5. Спектрално изместване на чувствителността към потискане на мелатонина спрямо тази на зрителния орган. ($S_{ms}(\lambda)$ – спектрална чувствителност на **мелатониново** потискане в организма; $V(\lambda)$ – спектрална чувствителност на зрителния орган).

От фиг. 5 се вижда, че в областта около **450 nm** допълнителните рецептори върху ретината, които предават сигналите към SCN центъра, ще бъдат възбуджани най-силно.



Фиг. 6. Спектрално разпределение на ЛЛ с различна цветната температура

На фиг. 6 са съпоставени два ЛЛ с различна цветна температура ($T_{цв}$) и различно спектрално разпределение. Спрямо тези данни при еднаква осветеност и различна $T_{цв}$ може да се определи зрителният (формула 1) или биологичният ефект на светлината (формула 2):

$$\left(\frac{X_{v_8000K}}{X_{v_3000K}} = \frac{500lx}{500lx} = 1,0 \right.$$

$$\left(\frac{X_{S_{ms}_8000K}}{X_{S_{ms}_3000K}} = \frac{0,713W / m^2}{0,244W / m^2} = 2,9 \right.$$

, където X_v е стойност на лъчението спрямо $V(l)$, а $X_{S_{ms}}$ е стойност на лъчението спрямо биологичната спектрална чувствителност $S_{ms}(l)$.

Следователно при използване на ЛЛ с различна Тцв при еднаква осветеност, лампите с Тцв = 8000 К има **2,9** пъти по голям биологичният ефект в сравнение с лампите с цветна температура 3000 К.

Влиянието на цветната температура може да се изчисли чрез съпоставяне на визуалното и биологичното въздействие на светлината.

За визуалното въздействие лъчението е:

$$X_v = \int X_{e\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

За биологичното въздействие съответно е:

$$X_{ms} = \int X_{e\lambda}(\lambda) \cdot S_{ms}(\lambda) \cdot d\lambda$$

Биологичния фактор на въздействие a_{msv} : е отношението на тези две величини .

$$a_{msv} = \frac{\int X_{e\lambda}(\lambda) \cdot S_{ms}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int X_{e\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

С нарастване на стойността на фактора a_{msv} , се увеличава и биологичното въздействие от светлината на лампите [4]. Стойностите на фактора на биологично въздействие a_{msv} : за ЛЛ с различна Тцв са дадени в таблица 1.

Табл. 1. Влияние на Тцв на СИ върху биологичния ефект на светлината

Тцв	3000 К	4000 К	6500 К	8000 К
Цвят	Топло бяла	Неутрална	Дневна	Небесно бяла
a_{msv}	0,34	0,52	0,9	0,98
Emsv при E=500lx	0,249 W/m ²	0,381 W/m ²	0,659 W/m ²	0,805 W/m ²
Emsv/Emsv_3000K	1,0	1,5	2,6	3,2
Emsv/Emsv_4000K	0,7	1,0	1,7	2,1

Редица изследвания показват, че допълнителните рецептори за биологичното въздействие в окото на човека, в много случаи, могат лесно да достигнат до състояние на насищане [7]. Източниците на синя светлина трябва да бъдат с големи площи, за да могат да възбудят повече рецептори, наподобявайки нормалното облъчване на зрителния орган в природата.

Експериментите са проведени в различни фирми и университета в Илменау- Германия [4, 22, 26]. При сравнението на статичното осветление с динамичното е направен извод, че при биодинамичното осветление се наблюдава много по-висока активност на човешкия организъм и по-добро качество на съня [4].

В изследователската лаборатория в ТУ- София бяха проведени психофизиологични изследвания за влиянието на осветлението с натриевите лампи високо налягане и с луминесцентни лампи [27]. За целта бе изградена “Универсална светлотехническа уредба за изследване показателите на осветлението” [28].

Съкращението **PLACAR** идва от „Plasmalampen für circadiane Rhythmen“. Това е сдружение, с цел разработване и създаване на лампи, съобразени с естествения биологичен ритъм на човешкия организъм.

Резултати от изследванията потвърждават, че в най-различни всекидневни ситуации, използването на лампи с по-малки съставки на синя светлина, водят до намаляване риска от нежеланото потискане на отделянето на мелатонин. По този начин се избягва нежелано „будуване” вечер и проблеми със заспиването.

Светлината може да има и отрицателно въздействие. Така, при дължини на вълната от **380 nm** до **500 nm** при висока интензивност се предизвикват фотохимични процеси в очите. Може да се говори за "заплахата от синя светлина", защото нейния спектър е много близо до спектралното разпределение на циркадната функция (фиг. 3.1). Поради тази причина, при проектиране на осветителни уредби трябва да се има в предвид и спектралното разпределение на използваните лампи.

Светлодиодите (СД) превръщат нощта в ден. От СД излиза по-силен поток от синя светлина в малък пространствен ъгъл. Когато този сноп попадне в очите на човека, тялото му постоянно намалява производството на мелатонин и сънят му не е пълноценен.

Подходящата светлина се използва успешно за лечение на сезонни болести (които се появяват през есента и отшумяват през пролетта) [10]. Днес това са така наречените SAD (Seasonal Affective Disorder) болести. Характерните прояви на тези болести са сънливост, преяждане, въглехидратен глад. С разбиране на действието на циркадиалната система на човека на фокуса на терапевтите е не само осветеността, която е определяща до началото на 90-те, а вече и цветната температура, на която са подложени пациентите.

Досега бяха изброени редица фактори, с които едно биодинамично осветление трябва да бъде съобразено, за да има желаните позитивен ефект върху човешкия организъм. Това са: **а)** близка до дневната светлина Тцв с голяма синя съставка; **б)** възможно по-големи светещи повърхности за максимално възбуждане на рецепторите в зрителния орган; **в)** падащият ъгъл на светлината трябва да бъде по възможност между 45 и 90 градуса; **г)** светещите повърхности не трябва да бъдат в активното зрително поле, за да не предизвикват заслепяване **д)** най-добре е използваните осветителни тела да имат хомогенно излъчване на цялата светеща повърхност.

Освен разгледаните досега фактори съществуват и редица други, които в никакъв случай не трябва да бъдат подценявани и трябва да се вземат предвид наравно с изброените. Допълнителни фактори са следните: **1)** плавност на регулирането на цветната температура; **2)** пол на хората; **3)** количество дневна светлина в помещенията; **4)** работа на смени и **5)** възрастта на хората, намиращи се в помещенията.

При регулиране на цветната температура процесът задължително трябва да протича плавно, защото резките промени водят до нежелани ефекти, безпокойство и усещане за дискомфорт. Промяната на цветовете чрез USC – система за описване на цветовете можем да запишем с уравнението:

$$(6) \quad \Delta u'v' = \sqrt{(u_2' - u_1')^2 + (v_2' - v_1')^2}$$

, където u_1, v_1 са началните цветове на светлината, а u_2, v_2 са крайните цветове. В тази област са направени редица проучвания [3], които показват тенденцията за това, че колкото по резки са промените, толкова повече чувството за дискомфорт се увеличава.

От направените изследвания в биодинамични осветителни уредби, могат да се направят следните изводи [3]: а) възприятието на промените на цветовете не зависи от нивото на осветеност; б) стойността на скоковете от едно на друго цветово ниво играе голяма роля за възприятието на промените на цветовете. Препоръчително е промяната от едно към друго ниво да бъде в границите на $\Delta u'v' = 0,0025$, като границата на дискомфорт са стъпки с $\Delta u'v' = 0,0045$; в) промяната от по-високи цветни температури към по-ниски е по-критична в сравнение с обратното. При еднакви интервали на промяна, тя се възприема като дискомфорт.

При проектиране на различните сцени на осветление в помещенията, трябва задължително да се вземе предвид и времето за адаптация към новата сцена. Средната стойност на времето за адаптация е в интервал от **40 до 60** секунди. Други изследователи, като Фейршилд и Рейниф, дефинират адаптационен период от порядъка на **80 до 100** секунди [8]. Тези времена са може би по-универсални, тъй като съвпадат с времената дадени от изследователя Аренд през 1993 година [1].

Жените, в сравнение с мъжете, се чувстват принципно по-малко активни. Според различни проучвания [4] жените си лягат по-рано от мъжете, за сметка на това обаче сутрин стават по-рано от тях. Жените много по-често се оплакват от проблеми със съня, принципно спят по-лошо и нощем се будят по-често от мъжете.

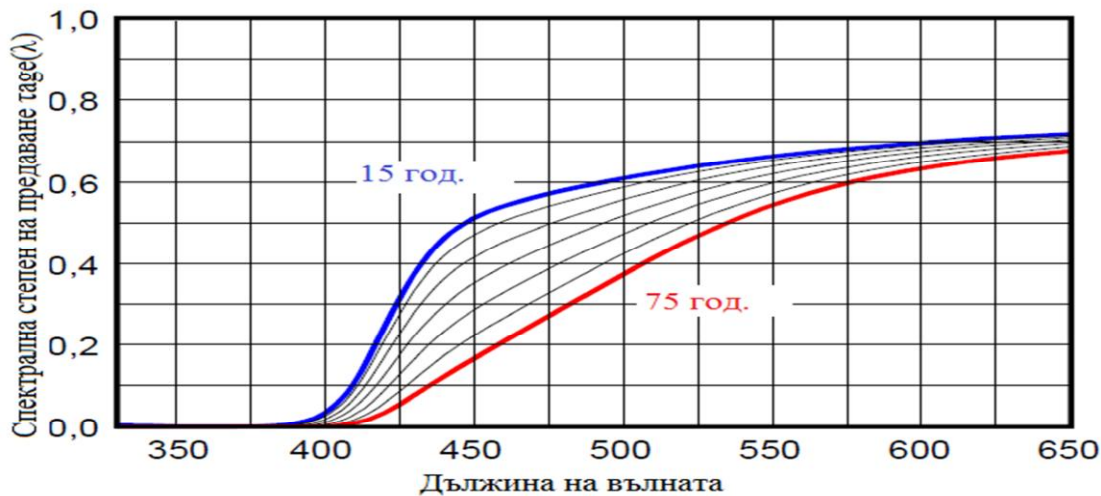
За да се избере правилна програма за управление спрямо количеството дневна светлина, навлизащо в дадените помещения, трябва да разполагаме с информация както за продължителността на престоя на хората в помещенията, така и за количеството светлина, проникваща от прозорци [4]. Затова при проектирането на системи за динамично управление, достъпът на дневна светлина е от решаващо значение за тази задача. При помещения без достъп на дневна светлина, такива системи са почти задължителни.

След изследване на хора, които работят на различни смени се установява, че при по-продължителна работа на вечерни смени, циркадиалния ритъм на човешкия организъм се напасва на новите работни времена и се опитва да напасне организма на тези времена [4]. Затова при работата на смени изпълнението на динамични системи за управление е препоръчително.

В периода на стареене на човешкия организъм се наблюдава оцветяване на очната леща. Това оцветяване разбира се има ефект върху възприятието на светлината. Степента на пропускане на светлината $\tau(\lambda)$ през зрителния анализатор на възрастните хора значително намалява.

Спектралната чувствителност за биологично въздействие при хората е в диапазона около **450nm**. Вижда се от фиг. 7, че точно тази област е особено силно засегната от стареенето на зрителния орган и биологичният ефект от светлина със силно изразена синя съставка ще намалява с течение на времето.

Затова по-възрастните хора се нуждаят от по-високи осветености в сравнение с младите за постигане на един и същ биологичен ефект.



Фиг. 7. Степен на спектрална пропускливост на зрителния орган спрямо възрастта

За зрителния и биологичния ефект при по-възрастни хора може да се въведе корекционен фактор. Корекционния фактор за зрителния ефект е:

$$(7) \quad W_{vis,age} = \frac{\int_{380}^{780} S_{\lambda}(\lambda) \cdot \frac{\tau_{age}(\lambda)}{\tau_{vis}(\lambda)} \cdot V(\lambda) \cdot d(\lambda)}{\int_{380}^{780} S_{\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d(\lambda)}$$

където $W_{vis,age}$ е корекционен фактор, $S_{\lambda}(\lambda)$ - спектралното излъчване, $\tau_{age}(\lambda)$ - възрастова спектрална пропускливост на зрителния орган, $\tau_{vis}(\lambda)$ - спектрална пропускливост в момента, спрямо който използваме корекционния фактор [13], $V(\lambda)$ - спектрална чувствителност на зрителния анализатор.

За невизуалното въздействие т.е. биологичното можем по аналогичен път да се въведе корекционен фактор:

$$(8) \quad W_{nonvis,age} = \frac{\int_{380}^{780} S_{\lambda}(\lambda) \cdot \frac{\tau_{age}(\lambda)}{\tau_{nonvis}(\lambda)} \cdot S_{ms}(\lambda) \cdot d(\lambda)}{\int_{380}^{780} S_{\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d(\lambda)}$$

Като единствената разлика тук е, че в уравнение **8** в числителя участва $S_{ms}(\lambda)$ - спектралната чувствителност към потискане на мелатонина според Гал [9]. За $\tau_{nonvis}(\lambda)$ според Брайнард и Тапан [5,14] трябва да се вземе възраст около 25 години т.е. $\tau_{nonvis}(\lambda) = \tau_{25}(\lambda)$. Следователно можем да кажем, че за 25 годишни коректурният фактор $W_{nonvis,age}$ отговаря на вече споменатия фактор на действие a_{msv} (виж формула 8).

Следователно факторът на възрастта задължително трябва да се вземе предвид при проектирането на биодинамични осветителни уредби.

3. Заключение

Изследванията в областта на въздействието на светлината върху човешкия организъм стават все по-актуални. Огромен интерес към това биологично действие имат производителите на светлотехническа продукция, така и в учените от много други области на науката. В резултат на изследванията учените установяват наличието на допълнителни рецептори в зрителния орган, които регулират естествения ритъм на организма. Още повече, че редица биолози доказват и пряката връзка между стимулирането на тези рецептори и отделянето на определени хормони от жлезди в мозъка – **кортизол** за тонус и способност за работа и **мелатонин** за отпускане и подготовка за сън. Всички тези открития все по често поставят един основен въпрос в центъра на различни дебати за качеството на изкуственото осветление, а именно достатъчни ли са настоящите светлотехнически изисквания за различни типове помещения, нужни ли са поправки на настоящите норми имайки предвид въздействието на светлината върху нас хората?

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Arend LE: How much does illuminant color affect unattributed colors? Journal of the Optical Society of America 1993
- [2] Berson, Dunn Fa, Takao M: Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Science 2002
- [3] Bieske, Karin, Schierz, Christoph: Dynamische Beleuchtungssysteme - Zeitliche Variation der Lichtfarbe, Ilmenau 2010
- [4] Bieske, Karin, Cornelia Vandahl, Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz: „Projekt Licht und Gesundheit“, Ilmenau 2011
- [5] Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J.M., Byrne B. et al.: Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. J. Neurosci. V21 N16 (2001)
- [6] Deutssches Institut für Normung: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen - Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren. DIN VDE 5031 Teil 100, Berlin: Beuth Verlag, Juni 2009
- [7] Fördergemeinschaft Gutes Licht: Licht. Wissen 19, Wirkung des Lichts auf Menschen, 2010
- [8] Fairchild MD, Reniff L: Time course of chromatic adaptation for color-appearance judgments. Journal of the Optical Society of America 1995
- [9] Gall, D.: Die Messung circadianer Strahlungsgrößen. Tagung Licht und Gesundheit 26. – 27.2.2004 Berlin (2004)
- [10] Lehofer M, Ch. Czermak: Geschichte und Forschungsgeschichte der SAD und deren Therapie durch Licht, Graz, 1999
- [11] Schierz Christoph: Einfluss des alternden Auges auf biologische Lichtwirkungen, Ilmenau 2010

- [12] Schmits PW: Arbeitsstättenbeleuchtung - auf der Suche nach neuen Lichtqualitäten: In: Tagungsband- Zweites Symposium Licht und Gesundheit. Berlin: 2001
- [13] Sharpe L.T., Stockman A., Jagla W., Jägle H.: A luminous efficiency function, $V^*(\lambda)$, for daylight adaptation. Journal of Vision V5 (2005)
- [14] Thapan K, Arendt J, Skene DJ: An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. Journal of Physiology 2001
- [15] Gudd, Nora: Subjektive Bewertung der Helligkeit in Räumen mit unterschiedlichen Lichtfarben, Ilmenau 2009
- [16] Wolf, Stefan: Ansteuerung und Dimmung von Leistungs-LEDs mittels synchroner Pulsweitenmodulation für Farbmischung, Ilmenau 2008
- [17] Bieske, Karin: Wahrnehmung von Farbunterschieden von Licht- und Körperfarben, Lüneburg 2007 Bieske, Karin: Untersuchungen zur Wahrnehmung von Farbunterschieden, Dörnfeld 2005
- [18] Gall, Dietrich: Influence of artificial daylight on gerontopsychiatric care of elderly people, Ilmenau 2005
- [19] Bieske, Karin: Evaluation des Einsatzes von tageslichtähnlichem Kunstlicht in der gerontopsychiatrischen Pflege und Betreuung Hochbetagter, in: Tagung 5. Symposium „Licht und Gesundheit“ Berlin 2006
- [20] Bieske, Karin: Wahrnehmung von Farbunterschieden von Licht- und Körperfarben, Ilmenau 2008
- [21] Vandahl, Cornelia: Die Ermittlung von Licht- und Farbfeldgrößen zur Bestimmung der spektralen Wirkung des Lichtes, Ilmenau 2009
- [22] Gall, Dietrich: Die Messung circadianer Strahlungsgrößen, Ilmenau 2010
- [23] Bieske, Karin: Grundlagenuntersuchung zur Farbdynamik, Lüneburg 2007
- [24] Schierz, Christoph: Licht für die ältere Bevölkerung – Physiologische Grundlagen und ihre Konsequenzen, Ilmenau 2008
- [25] Schuster, Heide: Lichtfarbenänderung durch Tageslichtsysteme, Dortmund 2007
- [26] ThyssenKrupp Steel Europe AG, Ford-Werke GmbH, MEG Mechanik GmbH, H. Heinz Messwiderstände GmbH, IL Metronic Sensortechnik GmbH
- [27] N. Wassilev - Z.Iwanow - G.Dikanarow - BG, D.Gall R.Schnor- DDR, "Investigation of the psycho-physiological influence of interior lighting with high pressure sodium lamps" „Sixt European Lighting Congress , Budapest, 3 - 5 X 1989., Papers 1, p. 68-75 .
- [28] Иванов З.А., Универсална светлотехническа уредба за изследване показателите на осветлението , X национална конференция с международно участие , " ОСВЕТЛЕНИЕ '96 " , 9-11 октомври 1996 г., МДУ"Ф.Ж.Кюри"- Варна, стр. 48

Автори:

д-р инж. Захари Александров Иванов – доцент в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (ЕСЕОЕТ), e-mail: zai@tu-sofia.bg ;
 маг. инж. Божидар Гълъбов, ТУ- София, e-mail: galabov.sng@googlemail.com

МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ГОНИОФОТОМЕТЪР ЗА ВЪЗПРОИЗВЕЖДАНЕ НА ЕТАЛОНА ЗА СВЕТЛИНЕН ПОТОК В БЪЛГАРСКИ ИНСТИТУТ ПО МЕТРОЛОГИЯ

Красимир Велинов, Орлин Кишкилов, Христо Христов, Явор Рубенов, Николай Александров

Резюме: От 1988 г. в българския институт по метрология работи автоматизиран гониофотометър за възпроизвеждане на единицата светлинен поток. Системата е модернизирана през 2008 година, при което се подмени управлението на базата на WEB контролер i.Lon Smart Server. Разработен е нов софтуер за управление на системата, извършване на измерванията, обработката и тяхната визуализация.

MODERNIZATION OF GONIOPHOTOMETER FOR REPRODUCTION OF ETALONS FOR LIGHT FLOW IN BULGARIAN INSTITUTE OF METROLOGY

Krasimir Velinov, Orlin Kishkilov, Hristo Hristov, Yavor Rubenov, Nikolaj Alexandrov

Abstract: Since 1988, in the Bulgarian Institute of Metrology operates automated goniophotometer for playback the unit flux. The system was modernized in 2008, thus replacing management based on WEB controller i.Lon Smart Server. Developed new software management system of measurement, processing and their visualization.

1. Въведение

Възпроизвеждането на единицата светлинен поток е една от задачите на „Еталонната лаборатория за оптични измервания“, при българския институт по метрология. За целта трябва да се създаде устройство, което с висока точност може да измерва светлинния поток на източници на светлина. Съществуват два способа за такова измерване. Измерване на светлинния поток в кълбов фотометър [1] и гониофотометричен метод [2]. Първият метод е сравнителен, при което е необходимо еталонен източник на светлина, поради което не може да се използва за поставената цел. Гониофотометричният метод се основава на абсолютно измерване на интензитета на светлината. Светлинният поток на източника се изчислява по формулата:

$$\Phi = \Sigma(I_{\gamma}C \cdot \Delta\Omega), \quad (1)$$

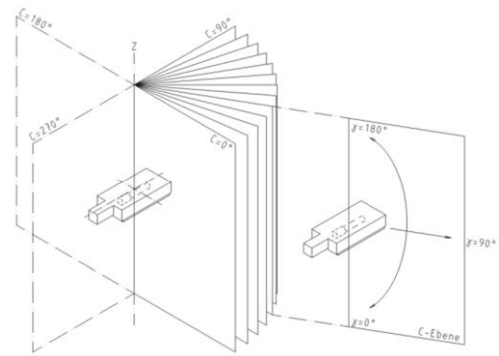
където:

$I_{\gamma}C$ е интензитетът на светлината в посока за ъгъл γ в равнината C ;

$\Delta\Omega$ – пространствен ъгъл в който се извършва измерването на интензитета

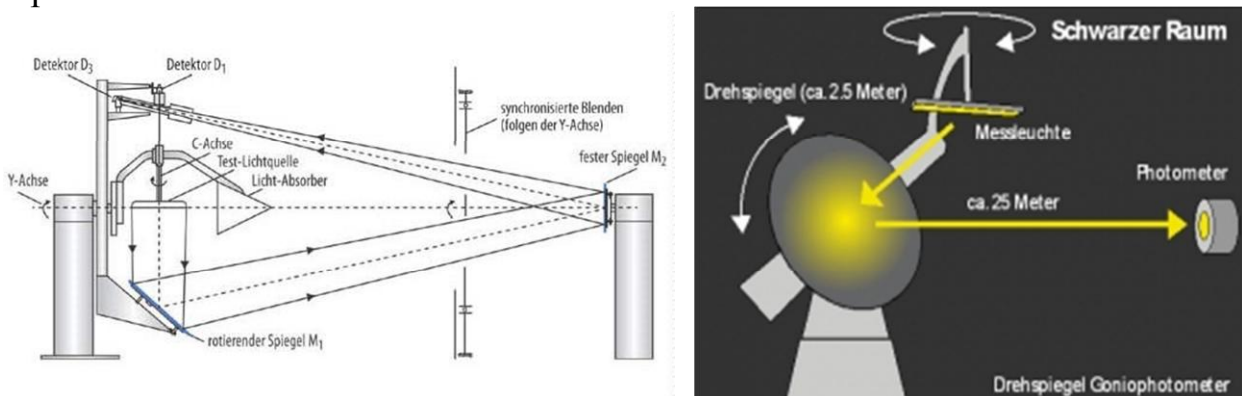
Поради възпроизводимостта на измерванията този метод е възприет за еталонен при измерване на светлинен поток.

Устройствата с които се извършва това измерване се наричат гониофотометри. Съществуват няколко основни вида конструкции на гониофотометри в зависимост от тяхното предназначение. Измерването на пространственото разпределение на интензитета на светлината може да се извърши по три схеми. Най-разпространено в практиката е заснемането на светлоразпределението в γ -С равнинна система (Фиг. 1)



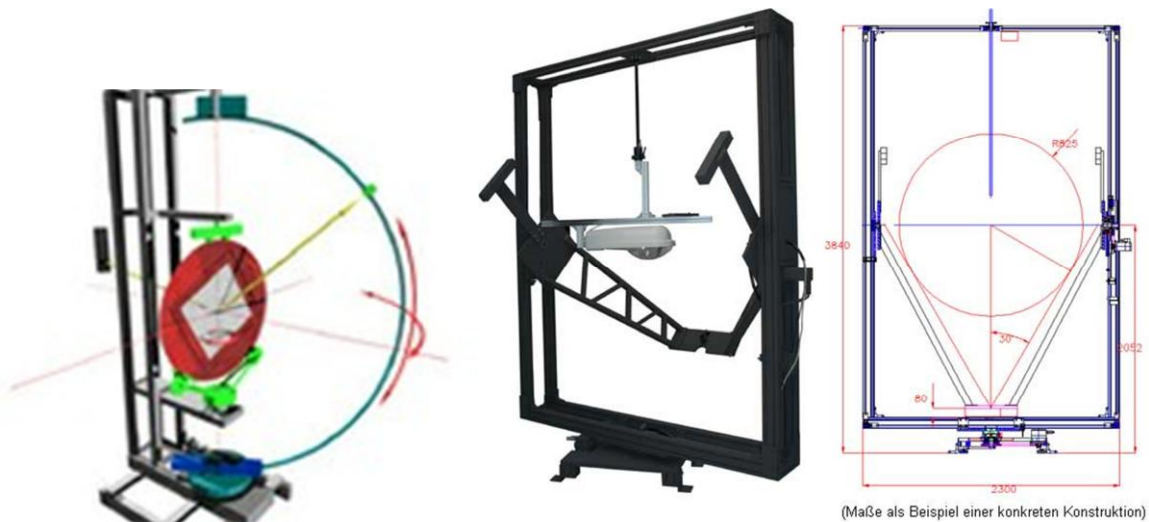
Фиг. 1. γ -С равнинна система

Основният критерий е постигане на висока точност в измерванията. Точността на измерванията зависи от много фактори. В [3] е направен обзор на видовете грешки, които се допускат при измерване на интензитет на светлината. В най-голяма степен грешката се определя от качествата на фотоприемника и от съотношението на размера на измервания обект и измервателното разстояние. На фиг. 2 са показани няколко основни вида конструкции на огледални гониофотометри, които се използват преобладаващо за изпитване на осветители в работно положение.



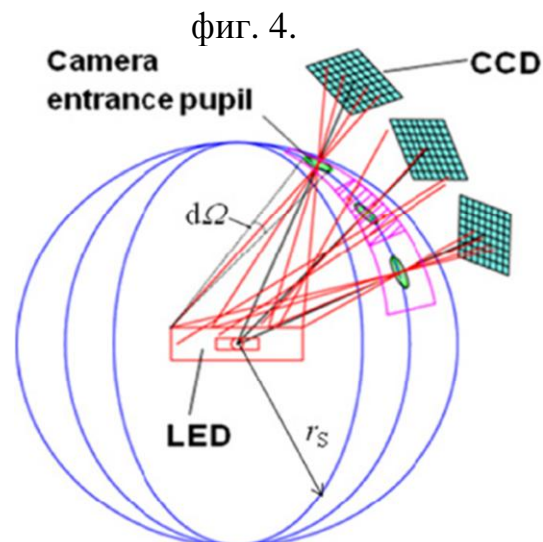
фиг. 2.

За измерване параметрите на светлинни източници се използват гониофотометри с късо рамо (фиг.3.).



фиг. 3.

Светлинният източник обикновено е нажежаема лампа (фиг.4.). Тъй като размерът на светлинния източник е относително малък, то измервателното разстояние може да бъде от 1 – 2 м без при това да се внася забележима грешка. Затова в този случай за измерване на светлинния поток се използват гониофотометри с късо рамо.



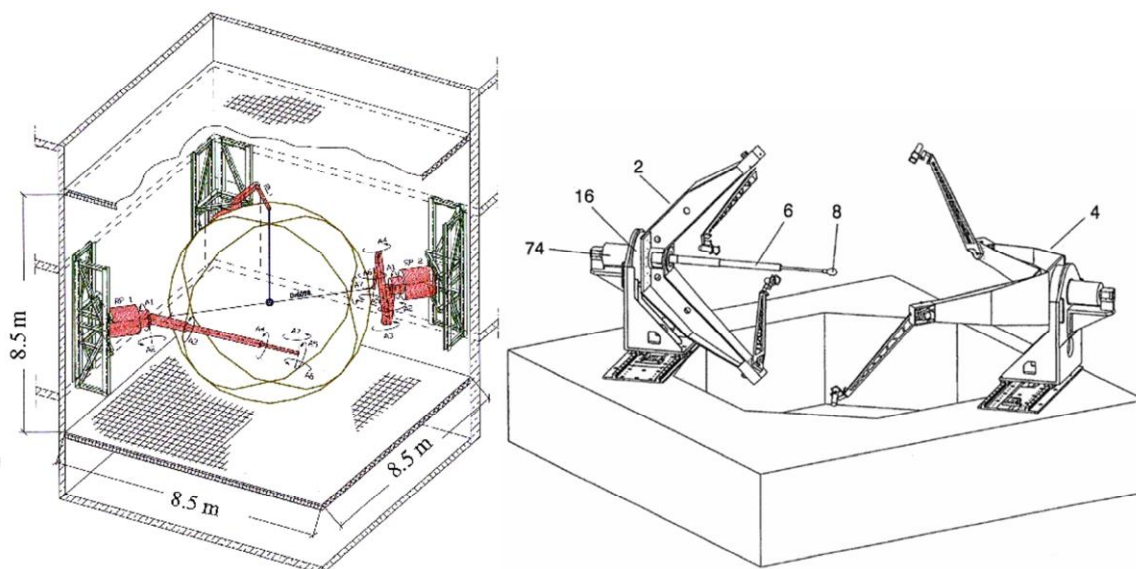
фиг. 5

В случай, че излъчвателя има силно неравномерно светлоразпределение, заснемането му трябва да се извърши през малки интервали по γ -С равнините. Ако се използва класическата схема едно измерване може да продължи много дълго. Затова в този случай се използва схемата показана на фиг. 5. Като фотоприемник се използва CCD камера [4]. Всеки елемент на камерата се използва като отделен сензор и измерва интензитета под различен ъгъл. Това

позволява измерване в милиони точки за кратко време. Точността на измерването обаче не е достатъчна за създаване на еталони.

Аналогичен е случая при който се използват голям брой фотоприемници работещи паралелно [6] и [7].

Гониофотометри с висока точност на измерване (клас L според [2]) може да се използват за възпроизвеждане на еталона за светлинен поток. Пример за такъв е гониофотометърът на РТВ – германския център по метрология (Фиг. 6), който за ускоряване на измерванията има два фотоприемника.



Фиг. 6. Гониофотометър за измерване на светлинен поток на РТВ [5]

Първоначална система

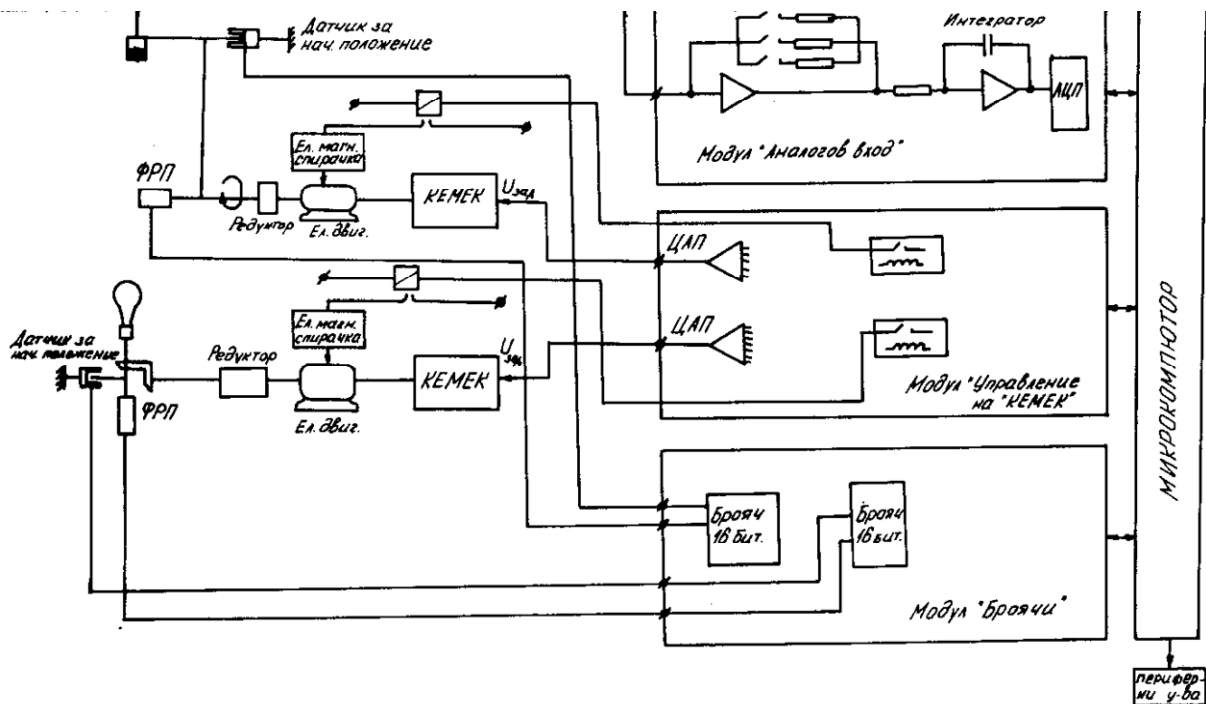
През 1988 г. по договор с НИС на ТУ-София за нуждите на българския институт по метрология беше създаден автоматизиран гониофотометър за възпроизвеждане на единицата светлинен поток [8]. Еталонната лаборатория за оптични измервания, където е монтиран фотометъра отговаря за осигуряване на проследимостта на различни еталони и светлинни източници в областта на фотометрията, радиометрията и оптичните свойства на материалите. Еталонът на единицата за светлинен поток се състои от еталонни светлоизмерителни лампи и гониофотометър. Еталонът е проследим до РТВ, Германия.

Фотометърът се състоеше от два блока:

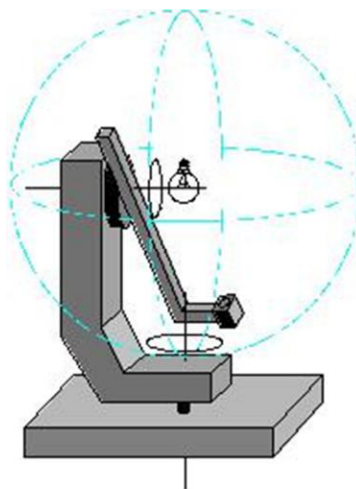
Блок-1. Постояннотоков двигател, редуктор 470:1, противотежест, крайни изключватели, хоризонтална ос с рамо, носещо фотоприемника, фоторастеров преобразувател;

Блок-2. Постояннотоков високомоментен двигател тип 1ПИ12.05 с въртящ момент 1.5Nm с вграден тахогенератор и електромагнитна спирачка, редуктор с преводно число 470:1, хоризонтално рамо с конична предавка и вертикална ос, фоторастеров преобразувател, 2 броя тиристорни преобразуватели тип „Кемек”, захранващи блокове, успокоител(противотежест)

Управлението на фотометъра, обработката на информацията се извършваше с хардуерни и софтуерни приложения за микрокомпютъра „Правец-82“. На фиг. 7 е показана структурната схема на изработения фотометър.



Фиг. 7.



Фиг. 8.

Принципната кинематична схема е избрана от следните съображения: измерваният светлинен източник (лампа с нажежаема жичка) се монтира с цокъла нагоре и се върти на стъпки спрямо вертикалната ос от 0° – 360° . В дадена вертикална „С“ равнина източникът остава неподвижен, а приемникът извършва непрекъснато измерване с постоянно движение около хоризонтална ос (фиг. 8).

Скоростта на движение е така избрана, че ъгловото преместване от 0.10 да съответства на времето за интегриране на сигнала от приемника и да е по-голямо от два полупериода на захранващото напрежение с честота 50 Hz .

През 2008 година Системата бе модернизирана, при което се подмени управлението на базата на WEB контролер i.Lon Smart Server. Разработен бе нов софтуер за управление на системата, извършване на измерванията, обработката и тяхната визуализация. Програмите за управление на гониофотометъра, записването на данните и изчисленията са написани на Dot Net. В системата като външни устройства са включени термометър, високо точен фототоков измервател, мощно захранване със стабилизатор на напрежение и високо точен измервател на захранващото напрежение. При преработката се запази съществуващата конфигурация от фиг. 7, както и механичната част на системата, която е изработена много стабилно.

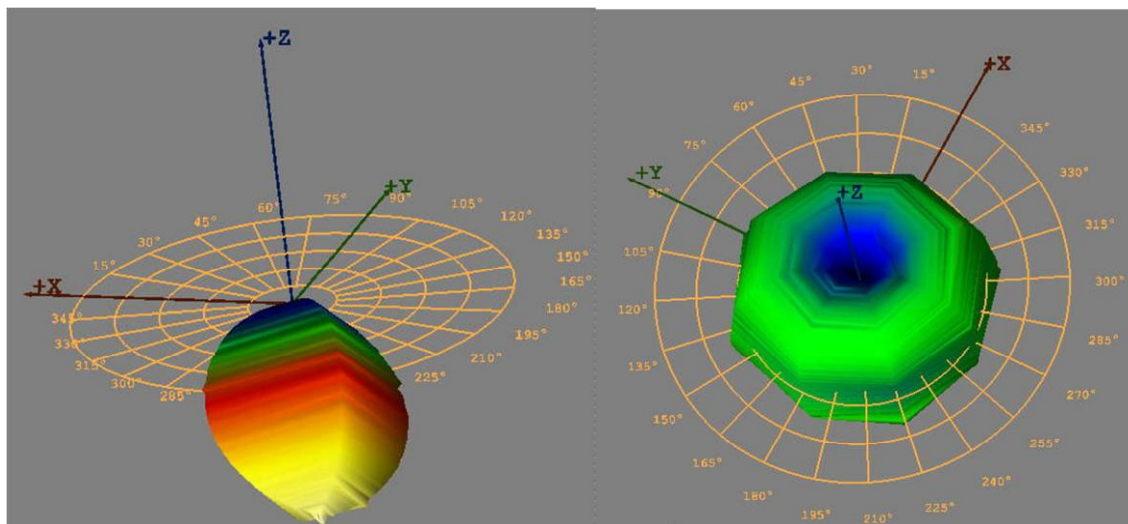
На фиг. 9 е показан в действие преработеният гониофотометър на националния център по метрология. Част от предпазните капаци са свалени, за да се вижда конструкцията на системата.



Фиг. 9. Гониофотометър за измерване на светлинен поток на НЦМ-България

3. Резултати

За да могат да се визуализират резултатите от измерванията беше написан допълнителен софтуер на DELPHI. Той записва светлоразпределението на източника на светлина в EULUMDAT формат и спомага също и за настройка на някои от параметрите на измерването. На фиг. 10 е показан в 3D-модел резултатите от изпитването на два светлинни източника.



Фиг. 10.

При извършените международни междулабораторни измервания на светлинни еталони се констатира много висока възпроизводимост на резултатите.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Велинов К. В. Войводов, Модернизация на кълбов фотометър с цифрови фотосензори, Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски”, 2012 г.
- [2] БДС EN 13032-1,2:2005, Светлина и осветление. Измерване и представяне на фотометрични данни на лампи и осветители.
- [3] Велинов К., Оценка на грешките при измерване интензитет на светлината, II научна конференция ЕФ 2010, Созопол, 23 септември 2010 г.
- [4] http://www.technoteam.de/products/near_field_goniophotometer/index_eng.htm
- [5] http://www.ptb.de/de/publikationen/jahresberichte/jb2001/bilder/04_3_Goniophotometer.gif
- [6] Велинов К. Гониофотометър за експресно измерване на светодиодни осветители, XIV Национална конференция с международно участие BulLight / България Светлина 2010,10 – 12 Юни 2010, Варна, България.
- [7] Велинов К, Модернизация на гониофотометър с голям брой цифрови фотосензори, Научна сесия на МГУ “Св. Иван Рилски”, 19-20.10.2011. Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски”, 2011 г.
- [8] Проучване и изследване на възможностите за възпроизвеждане на единицата светлинен поток и разработване на метод за измерване с автоматизиран гониофотометър, тема № 106-4/1985 г. НИС при ВМЕИ „Ленин”, етап П2, П3, София, 1988 г

Автори:

1. доц. д-р. инж. Красимир Любенов Велинов, МГУ „св. Иван Рилски”, катедра: „Електрификация на минното производство”, каб. 111 WEB: <http://lighting->

bg.eu/ Е-mail: candela@mail.bg, GSM: (+359) 888 71 21 82, Тел. (+359 2) 8060 270

2. инж Орлин Кишкилов – управител на
„УНИКОМ МИКРОСИСТЕМИ” ЕООД, ул. "Славянска" 21, София 1000,
Телефон/Факс: (02) 981 40 47; 987 60 35, WEB: <http://www.unicom-bg.com/>
Е-mail: info@unicom-bg.com

3. ст. н.с. д-р. инж. Христо Кирилов Христов, GSM: (+359) 888 622 178

4. Явор Рубенов, ТУ – София, Централна лаборатория по компютърна графика
и географски информационни системи, WEB: <http://acstre.com>

Е-mail: yavor@acstre.com

5. маг. физик Николай Александров, Началник отдел - „ОПТИКА, АКУСТИКА
И ВИБРАЦИИ", Български институт по метрология

УРЕД ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ

Ангел Пачаманов, Димитър Павлов

Резюме: Оптична система и фотоприемник; Защо CCD-елемент, а не фотоелемент с интегрираща сфера; Филтри за корекция на спектралната чувствителност на фотоприемника според категорията улица; Апаратно и програмно обезпечаване на решението.

Ключови думи: мезопично зрение, измерване на яркост при ниски светлинни нива

MESOPIC LUMINANCEMETER

Angel Pachamanov, Dimitar Pavlov

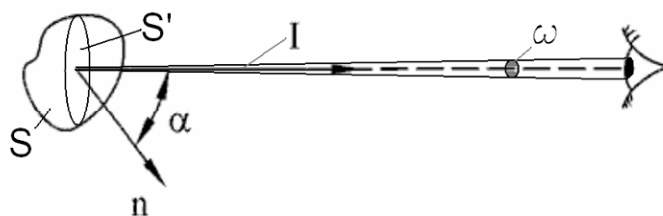
Abstract: Optical system and photoreceiver; Why CCD-array, not a photoelectric cell with an integrating sphere? Filters for correction the spectral sensitivity of the receiver by category street; Hardware and software support of decision.

Keywords: mesopic photometry, measurement of luminance in low light levels

1. Въведение

Зрителното усещане е пропорционално на осветеността на участъка от ретината, където е проектиран обрнатият образ на наблюдаваната повърхност. Един и същи поток, излъчен от малка и голяма повърхности предизвиква по-силно усещане в полза на по-концентрирания образ от малката повърхност, тъй като в тази част на ретината биохимичните реакции са по-интензивни. Величината, изразяваща тази особеност на зрението се нарича „яркост” и се представя със светлинния поток, равномерно разпределен в пространствения ъгъл ω , под който се вижда зеницата на окото, разделен на проекцията S' на излъчващата повърхност в равнина с нормала към наблюдателя. За да може светещата повърхност да се възприема като точков излъчвател и връх на пространствения ъгъл ω , разстоянието между нея и наблюдателя трябва да бъде около 10 пъти по-голямо от размера й, при което:

$$(1) \quad L = \frac{I}{S'} = \frac{\Phi/w}{S'}$$

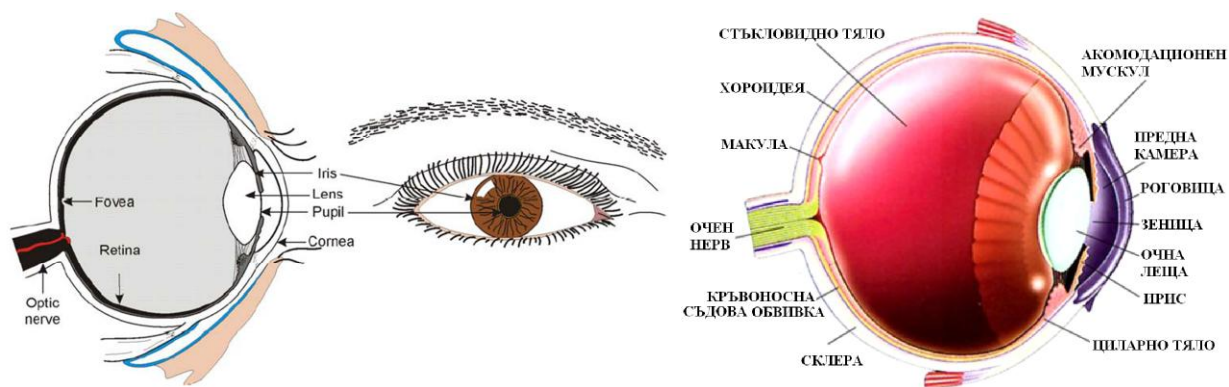


На фиг.1 и фиг.2 е показано устройството на зрителния анализатор. При адаптация на окото към нива на яркост над 5 cd/m² (дневно зрение, осигурявано от три типа фоторецептори с форма на колбички, разположени основно в централната част на ретината) зрителното усещане е пропорционално на т.н. фотопичен поток:

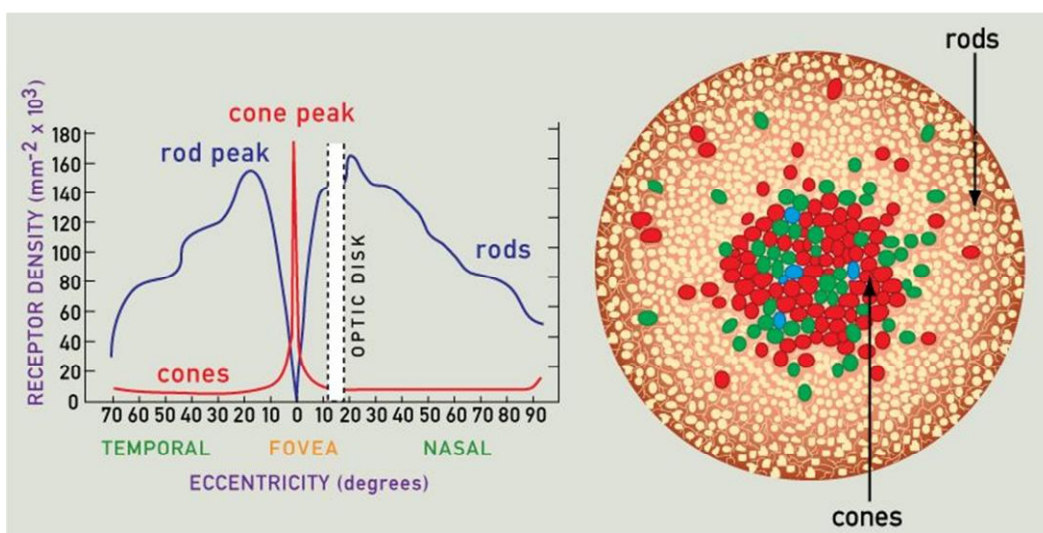
$$(2) \quad \Phi = 683 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V(I_i) \cdot \Delta I \quad [\text{lm}],$$

където 683 [lm/W] е максималната спектрална светлинна ефективност на дневното зрение (за $\lambda_m=555 \text{ nm}$); $j(I_i) = \Delta\Phi_e(I_i)/\Delta I$ [W/nm] са стойности на спектралната плътност на лъчистия поток Φ_e [W] в диапазона 380-780 nm; $V(\lambda_i)$ са стойности на относителната спектрална чувствителност на дневното зрение; $\Delta\lambda$ е стъпка за дискретизация на спектралния диапазон 380-780 nm.

Величината фотопична яркост L , изчислена по формула (1), е приета за основна величина в стандарта за улично осветление [1], като нормираната ѝ стойност е за поток Φ , определен по уравнение (2). Стойността ѝ се „покрива“ с възприеманата светлост (brightness) само при осветяване на сиви повърхности, тъй като спектрална чувствителност на дневното зрение $V(\lambda)$ е определена за такава повърхност. В действителност при една и съща измерена яркост сините повърхности се възприемат като по-светли от червените (ефект на Пуркине).



Фиг.1. Устройство на зрителния анализатор



Фиг.2. Разположение на двата вида фоторецептори по ретината

При адаптация на окото на яркост под $0,005 \text{ cd/m}^2$ (нощно зрение, осигурявано от фоторецептори с форма на пръчици, разположени по цялата

ретина, с изключение на централната ѝ част) зрителното усещане е пропорционално на т.н. скотопичен поток:

$$\Phi' = 1700 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V'(I_i) \cdot \Delta I \quad (3)$$

където 1700 [lm/W] е максималната спектрална светлинна ефективност на нощното зрение (при $\lambda_m = 507 \text{ nm}$); $V'(\lambda_i)$ са стойности на относителната спектрална чувствителност на нощното зрение.

Величината скотопична яркост L' се дефинира като в уравнение (1) вместо Φ , изчислен по (2) се замести Φ' , изчислен по (3). При ниски яркостни нива (фотопична яркост под $0,005 \text{ cd/m}^2$) възприеманата светлост (brightness) при цветни повърхности съответства на измерената стойност L' , тъй като при нощното зрение всичко се вижда в нюанси на сивото.

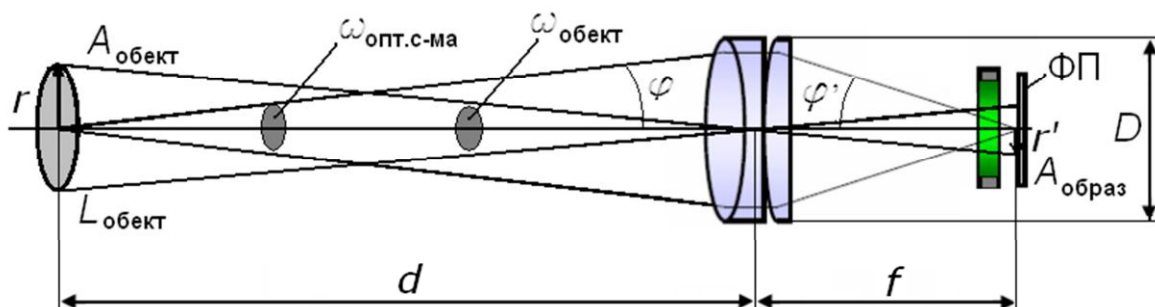
Разликата между това, което се измерва (фотопична яркост) и това което се вижда (светлост) е най-силно изразена в яркостния интервал от 5 до $0,005 \text{ cd/m}^2$, в който фоторецепторите на двете системи «работят» едновременно. За този диапазон се въвежда величината „мезопична яркост“ L_{mes} , която по подобие на фотопичната яркост L се определя по (1), но за ефективен поток Φ_{mes} [2], получен по формулата:

$$\Phi_{mes} = \frac{683}{V_{mes}(I_0)} \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V_{mes}(I_i) \cdot \Delta I \quad (4)$$

където $V_{mes}(\lambda_0)$ е стойността на функцията $V_{mes}(\lambda)$ при $\lambda = 555 \text{ nm}$, а $\varphi(\lambda)$ – спектралната плътност на лъчистия поток [$\text{W} \cdot \text{nm}^{-1}$]. Спектралната чувствителност на мезопичното зрение $V_{mes}(\lambda)$ се определя като линейна функция на кривите за дневно и нощно виждане $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$ [2]:

$$V_{mes}(I) = [m \cdot V(I) + (1 - m) \cdot V'(I)] / M(m) \quad (5)$$

където $0 \leq m < 1$, а $M(m)$ е нормализираща функция, избрана така, че максималната стойност на $V_{mes}(\lambda)$ да се получи 1. Когато $m=1$, $V_{mes}(\lambda) = V(\lambda)$ – зрението е фотопично; когато $m=0$, $V_{mes}(\lambda) = V'(\lambda)$ – зрението е скотопично.



Фиг.3. Принципна схема на уред за измерване на яркост (фотопична, мезопична или скотопична – в зависимост от филтъра за спектрална корекция на ФП)

При проектиране на уред за измерване на мезопична яркост всички изложени по-горе особености на зрението трябва да бъдат съобразени в

максимална степен. На фиг. 3 е показана принципна схема на яркомер, чиито филтри за спектрална корекция са от типа, изчислени в [3].

2. Същинска част

Оптична система и фотоприемник

Част от изложените в т.1 „принципни положения”, заедно с резултата от изследване на възможността за използване на различни фотоприемници са разгледани в [4]. При фотоприемник с интегрална чувствителност S [A/lm] и относителни загуби в оптичната система $(1-\eta)$, стойността на фототока I_{ph} при различна площ на обекта $A_{обект}$ се определя от израза:

$$(6) \quad I_{ph} = S \cdot h \cdot \Phi_D = S \cdot h \cdot I_{обект} \cdot V_{опт.с-ма} = S \cdot h \cdot L \cdot A_{обект} \cdot V_{опт.с-ма},$$

където $A_{обект} = \omega_{обект} \cdot d^2$ е площ (фиг.3), перпендикулярна на направлението на наблюдение, а пространственият ъгъл $\omega_{опт.с-ма} = \pi \cdot D^2 / (4 \cdot d^2)$ се определя от диаметъра D на отвора на яркомера и разстоянието до обекта d :

$$(7) \quad I_{ph} = S \cdot h \cdot L \cdot w_{обект} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

т.е. при известна интегрална чувствителност на фотоприемника S и зададена минимална яркост на обекта L големината на фототока I_{ph} еднозначно се определя от диаметъра D на входящия отвор на оптичната система и пространствения ъгъл $w_{обект} = A_{обект} / d^2$.

В табл.1 са дадени изчислени решения [4], които гарантират проектиране на участък от пътното платно като “образ” върху цялата площ на фотоелемента при сигнал, надхвърлящ 1 път нивото на шума.

Табл.1

Избор на оптична система и фотоприемник* на яркомер за улично осветление

η	L , cd/m ²	D , mm	f , mm	α , о	d , m	S , nA/lx	A , mm ²	I_{dark} , nA	E , lx	I_{ph} , nA
0,9	20	40	100	1	80	56	100	8	0,272	11,5
0,9	10	50	100	1	80	56	100	8	0,133	9,0
0,9	5	80	100	1	80	56	100	8	0,061	11,5
0,9	1**	300	200	1	80	350	600	32	0,0023	33,8

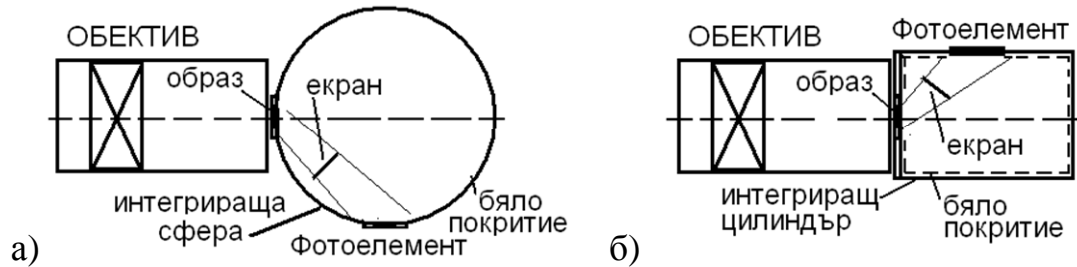
* фотоелемент OSD60-E с активна площ 100 mm², диаметър 11,3 mm; интегрална чувствителност $S=56$ nA/lx; ток на тъмно 8 nA;

** четвъртият вариант е само за илюстрация, в случай че се използва фотоелемент с активна площ 600 mm², с диаметър 25 mm. Заради по-високата чувствителност с него може да се измерва яркост до 1 cd/m², но при диаметър на обектива 300 mm!

Защо CCD-матрица, а не фотоелемент с интегрираща сфера

Изложените по-горе постановки важат при измерване на равнорък обект, когато образът му запълва изцяло приемната повърхност на фотоелемента – по дефиниция яркостта е интензитет, разделен на проекцията на светещата площ, а

интензитетът - поток от обекта, равномерно разпределен в пространствения ъгъл $\omega_{\text{опт.с-ма}}$. Това е причината при измерване на средна яркост на неравноярък обект (например 20-градусово поле на адаптация на водач на МПС преди навлизане в тунел) да се използва една от показаните на фиг.4 конструкции за измерване на средна яркост. Интегриращите обеми, сфера (а) или цилиндър (б), осигуряват многократни отражения на постъпващия поток с образа на обекта, като с екран е осигурено до фотоелемента да не достигат директни лъчи.



Фиг.4. Яркомери за измерване на средна яркост на обекти

При наличие на многократни отражения от дифузно-отразяващо бяло покритие установеният в сферата светлинен поток е:

$$(8) \quad \Phi_{\text{УСТАНОВЕН}} = \Phi_{\text{ОБРАЗ}} \frac{r}{1-r},$$

където r е интегралният коефициент на отражение на бялото покритие.

Нека радиусът на интегриращата сфера е равен на диаметъра на отвора на оптичната система и приемем, че образът е фокусиран на площ 100 mm^2 (ред 1 от табл.1). Тогава $r_{\text{сфера}} = D_{\text{обектив}} = 40 \text{ mm}$, а вътрешната повърхност на сферата е $4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 40^2 = 20096 \text{ mm}^2$, т.е. около 200 пъти по-голяма от площта на образа на обекта. Бялото покритие, с което е покрита вътрешната повърхност на сферата, обикновено е бариев сулфат с интегрален коефициент на отражение $r=0,9$. Тогава осветеността на вътрешната повърхност на сферата (и върху приемната повърхност на фотоелемента) ще бъде:

$$(9) \quad E_{\text{СФЕРА}} = \frac{\Phi_{\text{УСТАНОВЕН}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \Phi_{\text{ОБРАЗ}} \frac{r}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (1-r)} = \frac{9}{0,020096} = 447,85 \cdot \Phi_{\text{ОБРАЗ}}$$

В случая, когато образът директно се проектира върху фотоелемент (фиг.3) с площ 100 mm^2 ($0,0001 \text{ m}^2$) осветеността ще бъде:

$$(10) \quad E_{\text{ФЕ}} = \Phi_{\text{ОБРАЗ}} / 0,000100 = 10000 \cdot \Phi_{\text{ОБРАЗ}},$$

т.е. при директно фокусиране и приетите размери на сферата сигналът е

$$(11) \quad E_{\text{ФЕ}} / E_{\text{СФЕРА}} = 10000 / 447,85 = 22,22$$

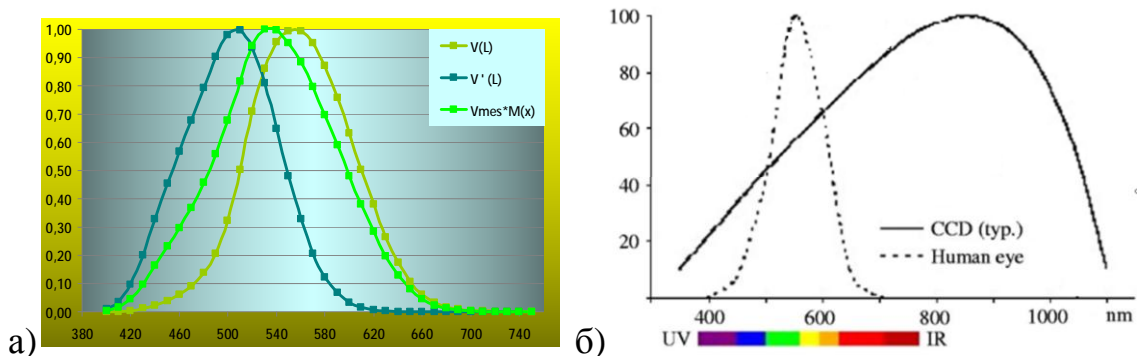
пъти по-голям, спрямо този при използване на интегрираща сфера.

Изводът е, че яркомер с интегрираща сфера може да се използва за случаи, когато прагът на минималната яркост, която се измерва, е висок (напр. за адапционни яркости от 100 до 5000 cd/m^2 преди навлизане в пътни тунели), или когато интегралната чувствителност на фотоприемника е много висока.

Филтри за спектрална корекция на приемника според категорията улица. Апаратно и програмно обезпечаване на решенията

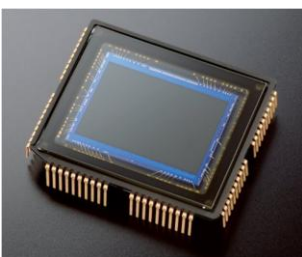
От формула (11) се вижда, че фотоприемник с интегрираща сфера дава значително по-нисък сигнал спрямо случая с директно проектиране на образа върху него (фиг. 3). Като се има предвид, че при измерване на мезопична яркост ($0,3\text{--}2\text{ cd/m}^2$, според категорията улица) пред фотоприемника се поставят и филтри за спектрална корекция (фиг.5а), условието за чувствителност на фотоприемника се удовлетворява единствено с използване на CCD-елемент (Charge Coupled Device). Заради високата си чувствителност CCD-елементите първо са приложени в астрономията. С тях значително се намаляват размерите на оптичните устройства за наблюдаване на небесните тела. Сега те са основен елемент на всяка охранителна камера, цифров фотоапарат или WEB-камера. Принципът на действие се основава на натрупване на заряди в елементарни «фотоелементи» за продължителен период от време, при което е възможно регистриране на многократно по-ниски яркости от тези при използване на класическите фотоелементи.

При използване на CCD-елемент с интегрираща сфера филтрите за спектрална корекция се поставят на отвора на интегриращата сфера (фиг.4а) и са разработени с пълно и частично филтриране на потока [5]. Такива яркомери може да се използват при измерване на средна стойност на мезопичната яркост в диапазона $0,3\text{--}2\text{ cd/m}^2$ (за нуждите на контрола и управлението на улични осветителни уредби, проектирани по мезопична яркост). Удачно е да се използва евтин CCD-елемент от «черно-бяла» охранителна камера.



Фиг.5. Спектрална чувствителност: а) на човешко зрение - скотопично $V'(\lambda)$, мезопично $V_{mes}(\lambda)$ за 0.3 cd/m^2 и фотопично $V(\lambda)$; б) на CCD матрица (силициеви фотоелементи със спектрална чувствителност $s(\lambda)$)

За измерване на ниски стойности на мезопична яркост ($0,005\text{--}0,5\text{ cd/m}^2$) е удачно чрез специално подбран обектив да се осигури фокусиране на измерваното поле върху CCD-елемента ($1/4''$). Тогава се използва само филтър с пълно филтриране на потока, който се поставя пред обектива на използваната «черно-бяла» камера. В този случай «прицелването» в частта от улицата, подлежаща на измерване, се прави чрез изображението ѝ



върху екрана на използвания дисплей. С допълнително програмно осигуряване е възможно определяне на разпределението на яркостта по пътното платно и на средната яркост. При по-сложна система може да се осигури и автоматичен избор на филтър за спектрална корекция, така че яркомерът да отговаря на естествените процеси в зрителния анализатор, изложени в т.1.

3. Заключение

Разгледаните особености при измерване на мезопична яркост са база за по-нататъшно конкретизиране на нуждите от измервателна апаратура за контрол на осветлението по категории улици. Предвижда се разработване на няколко типа яркомери, с помощта на които ще бъде възможно провеждане на изследвания в мезопичната област при реални пътни условия.

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012 г., научен проект в помощ на докторант «Мезопична фотометрия и енергийна ефективност в уличното осветление», договор № 121ПД0037-01/26.04.2012.

ЛИТЕРАТУРА

- [9] БДС EN 13201-2:2003. Улично осветление. Част 2: Технически изисквания
- [10] CIE 191:2010 “Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance”
- [11] Пачаманов А., Д. Павлов. Филтри за спектрална корекция на фотоприемници при измерване на мезопична яркост. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09-01.10.2012, гр. Созопол
- [12] Пачаманов А. Измерване на скотопична и мезопична яркост. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09-01.10.2012, гр. Созопол
- [13] Пачаманов А., Д. Пачаманова. Оптимизационни модели за спектрална корекция на фотоприемници чрез пълно и частично филтриране на потока. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09-01.10.2012, гр. Созопол

Автори:

Ангел Саракинов Пачаманов, д-р инж. – професор в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (pach@tu-sofia.bg), р-л НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

Димитър Тодоров Павлов, маг. инж. – редовен докторант в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (dpavlov@tu-sofia.bg), отговорен изпитвател в НИИКЛ “Осветителна техника” (www.onilot.com)

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СВЕТОДИОДИТЕ В БИТОВОТО ОСВЕТЛЕНИЕ

Милена Недева, Христо Василев, Ганчо Ганчев

Резюме: В статията се разглеждат възможностите за приложение на светодиодите в битовото осветление, като се насочва вниманието към все още нерешената опасност от вредното действие на синята светлина, излъчвана от светодиодите. Подчертава се използването на светодиоди с бяла светлина с цветна температура 2700K-3000K. Настоява се за провеждане на изследвания в България.

Ключови думи: битово осветление, светодиоди, LED, синя светлина, опасност

LED APPLICATION IN THE HOME LIGHTING

Milena Nedeva, Hristo Vassilev, Gancho Ganchev

Abstract: The current paper presents the opportunities for application of LED in the home lighting. The attention is directed to the pending actions of the blue light, emitted from the LED. There is underlined necessity of using the white light with color temperature of 2700K – 3000K. It is persist for carrying out study of the problem in Bulgaria.

Key words: home lighting, LED, blue light, danger

1. Въведение

Битовото осветление може да стане най-големият потребител на светодиодни осветители, тъй като то заема около 30% от консумацията на електроенергия за осветление [7]. За да стане това, обаче, е необходимо да се обърне по-голямо внимание на разработването на специализирани осветители за различните помещения в жилището, според тяхното предназначение и техните функции.

Нашата концепция за битовото осветление се базира на факта, че новите светлинни източници изискват нов подход. За бита трябва да се разработват светодиодни осветители със специален дизайн, а не да се ползват ретрофит светодиодни колби[1,2].

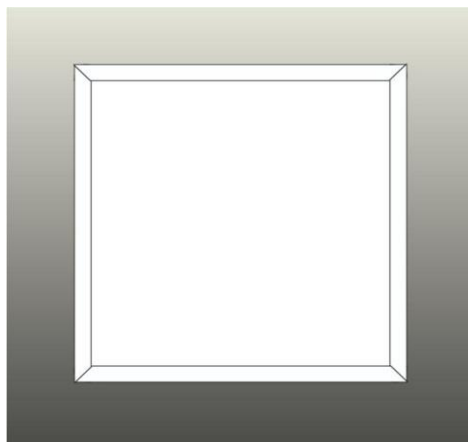
За захранване на осветлението със светодиоди могат да се изградят специални токови кръгове на 12V или 24 V, които да се захранват от общ захранващ блок. В този случай трябва да се помисли върху защитите на отделните LED осветители.

2. Разработване на битови осветители отговарящи на новата концепция

А. Светещ равнорък панел:

Светещият равнорък панел е с дифузно отразяващи призми в материала. Светодиодите са разположени отстрани, в рамката на панела. Създава се

приятна, дифузно разсеяна светлина, излъчвана от панела. Такава светлина е предпочитана от всички! Този панел може да служи за основа за изграждане на осветлението в дома.



Фиг. 1 Модел на светещ панел

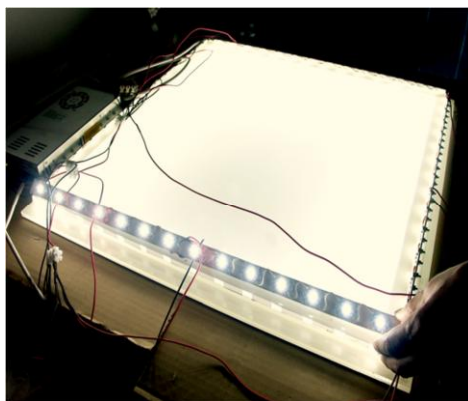
Светодиодните панели могат да се изработват с различни размери и оцветяване според интериора. Светодиодния панел монтиран на тавана може да реализира необходимата осветеност на работния плот в кухнята, на масата за хранене и др.



Фиг. 2 Светещ панел с размери 60x60 или 40x40

Разработеният панел се базира на пълно вътрешно отражение на светлината. Този ефект се постига с формирането на призматични повърхности във вътрешността на пластмасов листов материал. След просветляване със светодиодни линейни модули се получава равноярка светеща повърхност, с меко излъчване на светлина[2].

На фигурите са показани линейен модул със светодиоди, който се монтира отстрани на панела и светещия панел със светодиоди.



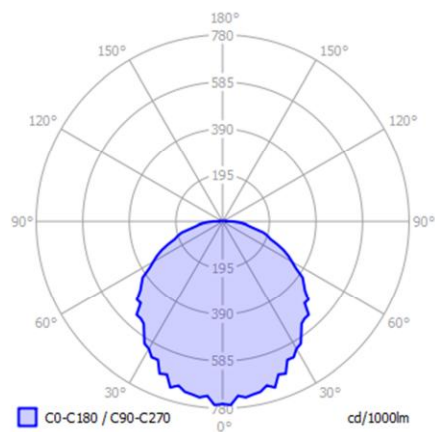
Фиг. 3 Монтаж на светодиоден линеен модул в страничните рамки на панела



Фиг. 4 Светодиоден панел с различни размери, в зависимост от предназначението и мястото на монтаж - трапезария, коридор и др.

Б. Светодиоден осветител „СЛЪНЦЕ” за „Дневна”

1. Мощност – 60 W (25 + 35)
2. Брой светодиоди: централен модул – 1 x 25 W; в „лъчите” – 60 x 0,4 W
3. Светодиоди тип NLampXR-G на фирма Cree с единична мощност - 25 W
4. КПД – 0,75
5. Светлинен поток $\Phi = 2200 \text{ lm}$



Фиг. 5 Светодиоден осветител „Слънце” и неговото светлоразпределение

Таблица 1. Сравнителна таблица на параметрите на светлинните източници



Илюстрация				
Принцип на излъчване	Излъчване на светлина чрез прилагане на напрежение върху органична материя	Излъчване на светлина чрез пропускане на електрически ток през волфрамова спирала	Ултравиолетови лъчи генерирани от електрически ток бомбардират ламинофора за да преобразува в видима светлина	Излъчване на светлина при прилагане на напрежение върху неорганичен полупроводник
Характеристики	В хармония с околната среда	Плътно се доближава до естествената светлина	Използване на рискови субстанции (живак)	В хармония с околната среда
Използване	Очакваните приложения включват места за живеене, офиси, декоративно осветление, интериор на автомобили и др.	Фотографско осветление, места за живеене, като кухни, трапезарии, дневни спални и др.	Места за живеене, офиси, търговски помещения и др.	Индиректно осветление, таванно осветление, спот осветление в малки търговски обекти и др.

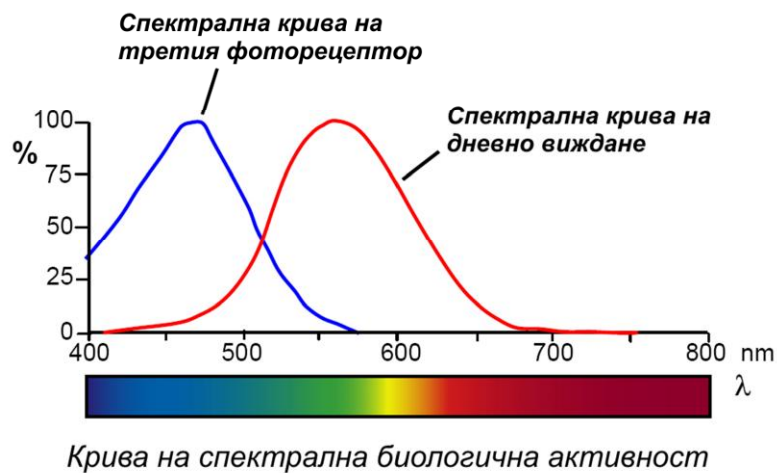
Таблица 2. Данни за ефективността на различните светлинни източници

	Панел от OLED с бяла светлина	Нажежаема лампа	Луминесцентна лампа	LED
Ефективност на светлинно излъчване (lm/W)	64	10 - 20	60 - 100	50 - 70
Продължителност на излъчване (часове)	10 000	До 3 000	5 000 – 10 000	До 40 000

Очевидно е, че осветлението с OLED и LED са перспектива за битовото и офисното осветление – т.е. на вътрешното осветление. То може да бъде много по-ефективно и да се пригоди за всеки отделен проект с внимателно подбрани осветители - излъчващи плоскости, линии, специални форми за акцентуване върху отделни моменти от интериора и т.н **НО...**

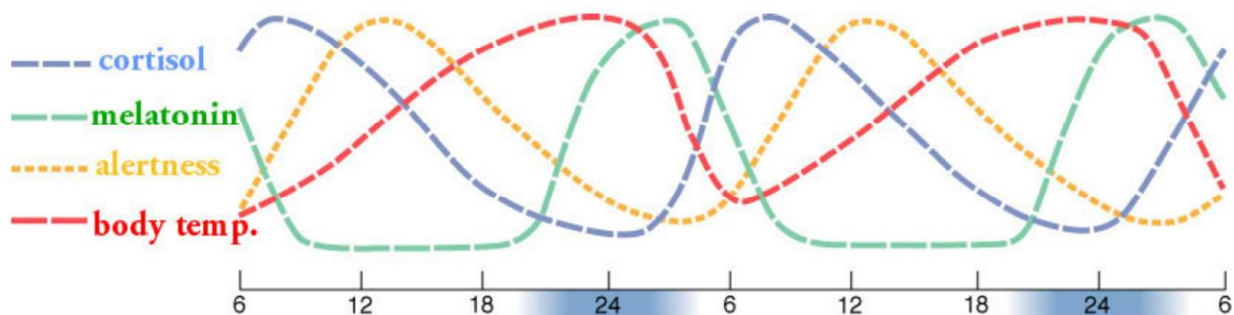
Преди пет години бе открит хормон в човешкия мозък, който се активира от синята светлина. Светодиодите генерират синя светлина, за получаването на белия цвят но трудно може да се каже доколко тя е опасна за хората.

Какви са основните функции на новооткрития трети фоторецептор?



Фиг. 6 Крива на спектралната биологична активност

Чрез третия фоторецептор светлината влияе на: телесната температура, бодростта, нивото на хормоните кортизол и мелатонин. Кортизола е известен като “хормон на стреса”, а мелатонина като “хормон на съня”.



Фиг. 7 Биологичния ритъм на човешкото тяло се определя от хормоните

От белите светодиоди най-малка опасност за зрението представляват светодиодите с цветна температура T_c не по-висока от 4000 K, при които нивото на излъчване в синьо-сивата област на спектъра не е повече, отколкото в жълто-оранжевата. Затова и белите светодиоди с T_c от порядъка 6500 K вече предизвикват опасност.

Човек получава зрителна информация чрез рецепторите – пръчици и колбички, докато невизуална информация човешкото тяло получава така наречените “рецептори от трети род”.

На въпрос, зададен на проф. Гал от университета в Илменау, Германия, по време на участието му в конференция по осветление в МДУ “Ф.Ж.Кюри”, как стои въпросът с вътрешното осветление - в дома, в офиса - той отговаря: “Направили сме много проби и проблемите вече се очертават. Защото един диод излъчва синя светлина. После идва жълтата, за да се получи желаната бяла. А самата синя светлина определено е вредна за окото. Заради нея се

очертава още един сериозен риск.” И продължава: **”Ние в Германия сме решени да продължим с изследванията си, преди да заложим на тъй пропагандираната бяла светлина”.**

Синята светлина има и антибактериален ефект: Синята светлина блокира действието на бактерията, причиняваща акне и стимулира оздравителните процеси в тялото. LED фототерапията осигурява достатъчна светлинна енергия, за да достигне дълбочина до 2 мм (дълбочината на дермата), където се разпространява бактерията причиняваща акне. В следствие на приложението на синята светлина, бактериалната активност намалява, възпаленията се редуцират и общото състояние на кожата видимо се подобрява. Процедурата има противовъзпалителен и регенериращ ефект.

Едно изследване, проведено от учени от Италия, САЩ и Израел, анализира производството на мелатонин в присъствието на три вида осветление: натриеви лампи, халогенни лампи и светодиоди.

Изследването стига до заключението, че светлината от всички източници намалява производството на мелатонин, когато светлината е студено бяло (синкава). Въпреки това, докато светлината на първите два източника намаляват три пъти хормона, светодиодите намаляват този хормон пет пъти.

Франция готви указ за забрана на светодиодите с умерен и с повишен фотобиологичен риск, за което уведоми Еврокомисията [4].

Мотивът за исканата забрана е “опасност за ретината на окото”.

Указът е подготвен след изследване на Френската агенция за безопасност на храните, околната среда и труда. Тя е проучвала как системите за осветление, които използват светодиоди, въздействат върху здравето на хората. Заключението на експертизата сочи, че излагането на лампи LED може да въздейства на здравето заради фотохимични реакции, които се дължат на синята светлина в спектралния им състав и заслепяването, което те предизвикват.

Проектодокументът на френското правителство забранява да се пускат, да се продават и да се държат с цел продажба или за безплатно разпространение лампи и осветителни тела, които представляват фото биологичен риск. Това обаче се отнася само за светодиодните лампи за бита. По-нататък се обяснява, че оценката на фотобиологичния риск се извършва в класификация по четири групи:

- Нулева група – без фотобиологичен риск;
- Първата група – слаб фотобиологичен риск,
- Втора група – умерен фотобиологичен риск;
- Трета група – повишен фотобиологичен риск.

Въпросният стандарт е публикуван в Държавния вестник на Франция.

Забраната ще се отнася за втората и третата група фотобиологичен риск.

Производители и инженерингови фирми на осветителни системи, използващи светодиоди се насърчават да използват оптика или дифузори, така че лъчите на светлината, излъчвана от светодиодите да не може да бъде наблюдавана директно, за да се избегнат отблясъци.

Производителите също трябва да предвидят постепенното износване на слоя луминофор в белите светодиоди, което същевременно би могло да доведе до преминаването на изделието към по-висока фотобиологична група.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ

- **LED** и **OLED** осветлението са бъдещето на осветителната техника в света и в частност – в България.
- Създадената Браншова камара на производителите и вносителите на светодиодно осветление е навременен акт, който има за задача да въведе ред в този бранш, за да се избегне компрометирането на добрата идея още в зародиш.
- Но съществуващите проблеми, свързани с вредното действие на синята светлина, не трябва да се прикрива от бизнеса, а да се въведе целенасочено обучение на населението, като се започне от най-малките.
- Необходимо е да се сформира изследователска група, съставена от специалисти в осветителната техника, биолози, офталмолози и други специалности, които трябва да започнат български изследвания за установяване на границите на опасност от влияние на синята светлина.
- Да се аргументира искане пред ФНИ за целенасочено отпускане на средства и изграждане на изследователска лаборатория по изложените тук проблеми. Тази лаборатория може да бъде част от изследователския център на ТУ-София, като и се осигури независимо финансиране.

3. Заключение

Светодиодите са призвани да изместят използваните сега светлинни източници за битово и офисно осветление. Необходими са задълбочени изследвания за решаване на проблемите с високата яркост, с оптичните системи, с термичния мениджмент и с вредното влияние на синята светлина.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Христо Василев, Ганчо Ганчев, Вълчан Георгиев, Ива Драганова,
- [2] Възможности за икономия на електрическа енергия чрез светодиодно осветление „Енергиен форум 2012, Варна, МДУ “Ф. Ж. Кюри”, 2012.
- [3] Христо Василев, Ганчо Ганчев, Вълчан Георгиев, Стефан Стефанов, Светодиодите за вътрешно осветление и осветление на дома, Bullight 2010: 06.2010г. МДУ “Ф. Ж. Кюри”
- [4] 1. DOE -Light at Night – The latest science
- [5] LED magazine: LEDs are safe – Fact or Fiction?
- [6] [Dan Roberts, Founding Director](#) Macular Degeneration Support, Artificial Lighting and the Blue Light Hazard (The Facts About Lighting and Vision)
- [7] LED magazine, Light and human health: LED risks highlighted, 2010

[8] GREEN PAPER, Towards an integrated European market for card, internet and mobile payments. Brussels, 11.1.2012. COM(2011) 941 final

Автори:

Милена Недева – докторант ТУ-София, ЕФ, катедра ЕСЕОЕТ,
e-mail: nedeva_m@abv.bg

Христо Николов Василев – Денима 2001 ООД, Христо Василев – Денима 2001 ООД,

Ганчо Иванов Ганчев – Денима 2001 ООД ул. Проф. Г. Брадистилов, № 2,
тел.03592 962 0627; e-поща: h.vasilev@denima2001.com

ЕВРОПЕЙСКА ПОЛИТИКА В ОСВЕТИТЕЛНАТА ТЕХНИКА

Христо Василев, Ганчо Ганчев, Стефан Стефанов, Румен Киров

***Резюме:** В статията се разглеждат проблеми, свързани с широкото внедряване на светодиодите в осветлението на бита, офисното и административното осветление, в уличното осветление и пр. в духа на последните документи на ЕС за LED осветлението. Разглеждат се както технологични, така и психологически проблеми, както и проблеми свързани с физиологичното въздействие на синята светлина.*

***Ключови думи:** LED осветление, светодиоди, ефективност, европейски директиви.*

EUROPEAN POLICI IN THE LIGHT TECHNUECS

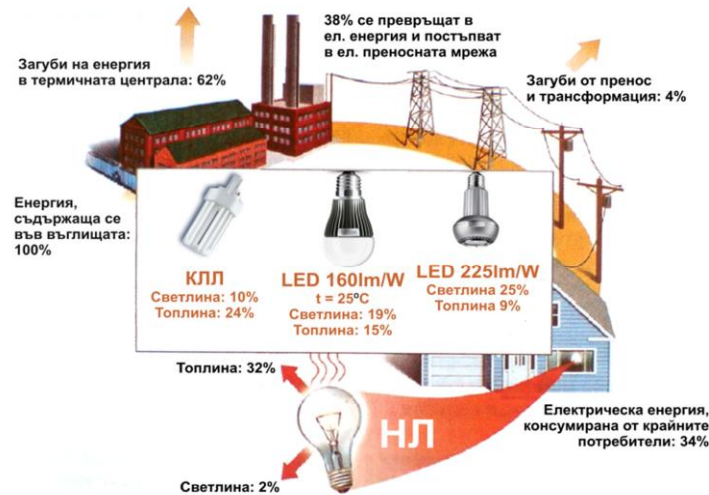
Hristo Vassilev, Gancho Ganchev, Stefan Stefanov, Rumen Kirov

***Abstract:** In present paper a problems related with large introducing of the LED in the illumination of the home, in the offices and administration, in the street lighting and etc. are discussed in the spirit of last documents of the EU for LED lighting. There are consider technological problems, as well as psychological and physiological problems.*

***Key words:** LED lighting, efficiency, EU Directives,*

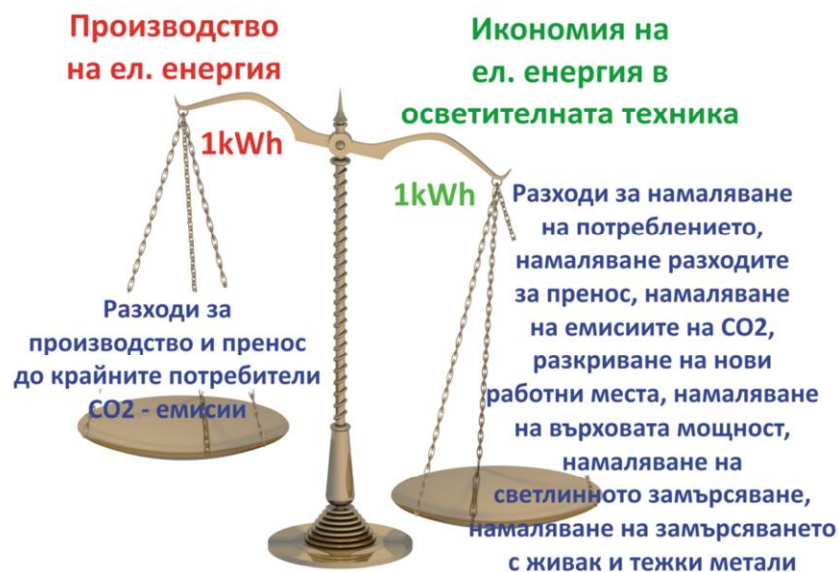
1. Въведение

България е изправена пред вземането на едно изключително важно решение: да изгражда ли допълнително генериращи мощности за производство на електроенергия или да насочи инвестициите към енергийна ефективност. Този проблем стои за решение пред всички нормално развити държави с изградена собствена енергетика. Този въпрос може да се реши само чрез задълбочен анализ на възможностите, които отделните мероприятия за повишаване на енергийната ефективност в различни отрасли и направления могат да осигурят и чрез анализ на инвестициите, необходими за строителство на нови генериращи мощности. На (фиг.1) е показан примерът с производство на електроенергия от топлоелектрическа централа, работеща на въглища [1].



Фигура 1. Пример за загуби в една ТЕЦ на въглища и ефективност на различни светлинни източници

От диаграмата се вижда, че за осветление се изразходва около 2% от потребяваната електроенергия. Това наистина е малко спрямо общото потребление, но всеки принос към ефективното използване на енергията има своя ниша, свой принос и най – важното – кара специалистите да търсят нови пътища и технологии, за да направят своя принос към ефективността.



Фигура 2. Приноси на икономията на енергия в осветлението към различни елементи от екологията и технологиите.

2. Същинска част

Всички източници на светлина се класират в класове на енергийна ефективност (табл.1).

Table 1: Energy efficiency classes for lamps

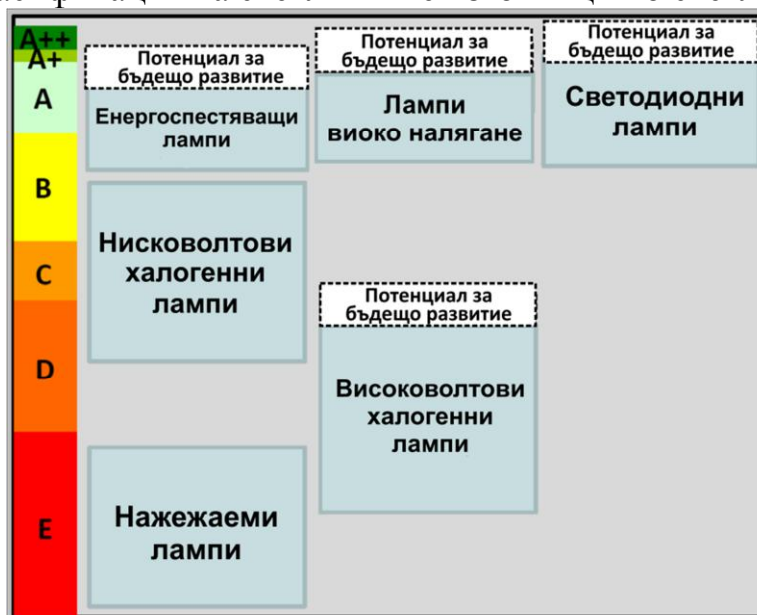
Energy efficiency class	Energy efficiency index (EEI) for non-directional lamps	Energy efficiency index (EEI) for directional lamps
A++ (most efficient)	$EEI \leq 0.11$	$EEI \leq 0.15$
A+	$0.11 < EEI \leq 0.20$	$0.15 < EEI \leq 0.20$
A	$0.20 < EEI \leq 0.24$	$0.20 < EEI \leq 0.50$
B	$0.24 < EEI \leq 0.60$	$0.50 < EEI \leq 0.95$
C	$0.60 < EEI \leq 0.80$	$0.95 < EEI \leq 1.20$
D	$0.80 < EEI \leq 0.95$	$1.20 < EEI \leq 1.75$
E (least efficient)	$EEI > 0.95$	$EEI > 1.75$

Таблица 1. Енергийно ефективни класове за лампите

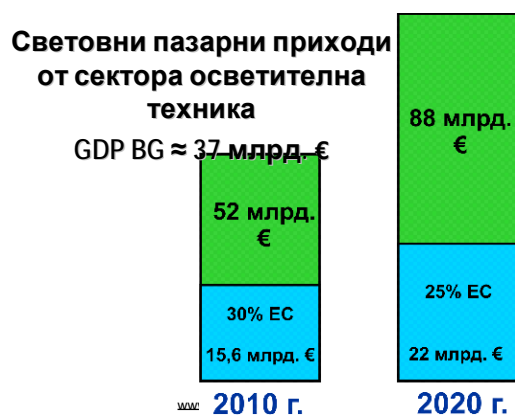
$$EEI = P_{cor}/P_{ref}$$

	lm/W
A+++	110,62
A++	70,23
A+	59,81
A	55,56
B	20,83
C	15,63
D	13,16
E	11,36
G	<9,62

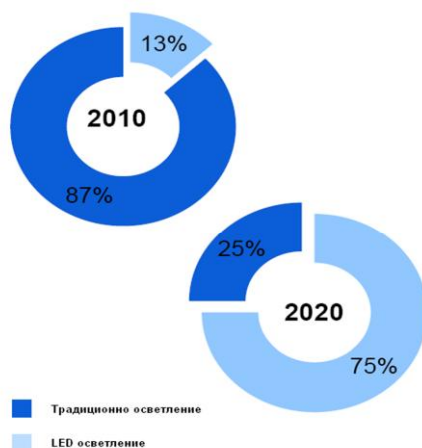
Таблица 2. Класификация на светлинните източници по светлинния им добив



Фигура 3. Сравнение на потенциала за развитие на някои светлинни източници



Фигура 4. Развитие на пазарите за осветителна техника



Фигура 5. Перспективи до 2020 за развитие на пазарите на LED

	2010	2012	2015	2020
Студено бяла Добив (lm/W)	134	176	224	258
Студено бяла Цена (\$/klm)	13	6	2	1
Топло бяла Добив (lm/W)	96	141	202	253
Топло бяла Цена (\$/klm)	18	7,5	2,2	1

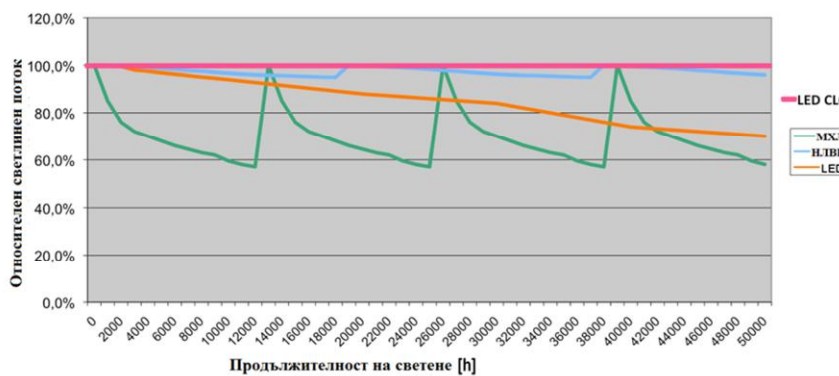
Таблица 3. Прогнози за развитие на светодиодите до 2020 година

Бележки:

1. Стойностите при студено бяла светлина са получени при CCT = 4746-7040K и CRI = 70-80, докато стойностите за топло бялата светлина са получени при CCT = 2580 - 3710K и CRI = 80-90. Всичко стойности за добива са получени при 25°C с плътност на тока 35 A/кв.см
2. Средният живот на осветителните тела е 50 000 ч. при среден поток на 70% и плътност на тока 35A/кв.см



Фигура 6. Светлинен добив на (lumen/W) от 2003 до 2014 година



Фигура 7. Изменение на светлинния поток в процеса на експлоатация на газоразрядни лампи и светодиоди

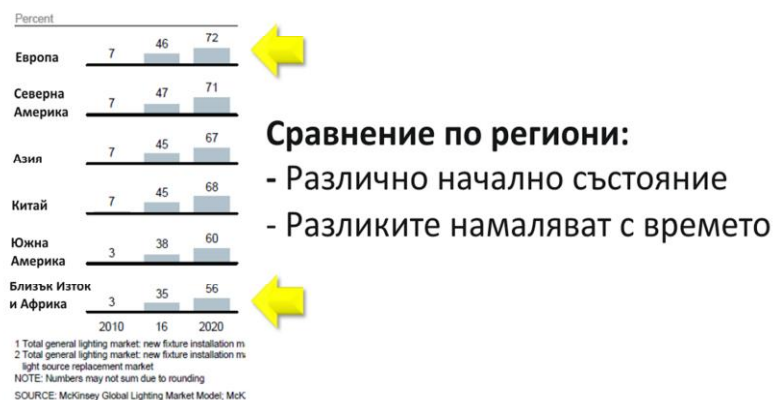
Вид на енергоспестяващата мярка	Процентно приложение			
	Потенциал за икономия на ел.енергия	България	Приложение в EU 27	Германия
Ръчно включване и изключване на осветлението	0 %	> 97 %	> 97 %	> 85 %
Приложение на високоефективни осветителни тела и светлотехнически материали	10 %	< 5 %	< 35 %	< 50 %
Конкретно светлотехническо проектиране на осветителна уредба	10 % -40 %	< 10 %	< 10 %	< 15 %
Димиране в зависимост от дневната светлина	20 % -40 %	< 1 %	< 8 %	< 12 %
Автоматично включване и изключване с датчик за присъствие	15 % -35 %	< 3 %	< 8 %	< 12 %
Приложение на технологията CLO	10 % -25 %	0 %	< 3 %	< 3 %
Комбинация от високоефективни осветителни тела и материали, проектиране , CLO, датчик за присъствие и използване на дневната светлина	40 % -80 %	< 1 %	< 3 %	< 5 %

Таблица 4. Потенциал за икономия на електроенергия от изкуствено осветление в нежилищни сгради в ЕС

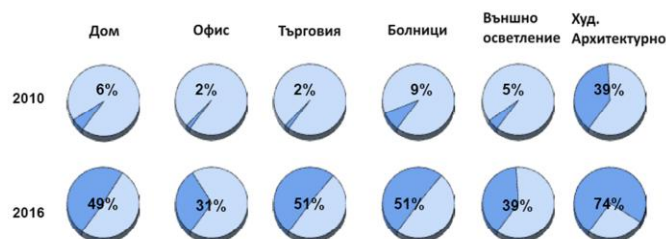
Световен пазар за осветление 2011



Фигура 8. Световните пазари на осветителна техника през 2011 г.
Въвеждане на LED осветлението



Фигура 9. Етапи на въвеждане на LED осветление в различни региони
Преминаване към LED осветление в световен мащаб, по сектори



Фигура 10. Въвеждане на LED осветление в различни сектори

Предложението на Комисията за Директива относно енергийната ефективност, която прилага на практика ключови части от Плана за енергийна ефективност, включва няколко елемента, които могат да стимулират

възприемането на технологията на светодиодни услуги по осветлението в обществени сгради.

По-специално, в него се предлага публичните органи по принцип да закупуват само продукти, включително продукти за осветление, които принадлежат към най-високия клас на енергийна ефективност, какъвто скоро да бъде случаят на светодиодите.

В Директивата за енергийните характеристики на сградите (ДЕХС) се изисква всички нови обществени сгради да станат сгради с почти нулево потребление на енергия до 2019 г., като тя ще бъде разширена, за да обхване всички нови сгради до 2021 г. Съгласно директивата държавите-членки отговарят за определяне на минимални изисквания за енергийните характеристики на сградите.

Подготвя се регламент, в който е дадена методика за изчисляване равнищата на оптимални разходи във връзка с минималните изисквания за енергийните характеристики на нови и съществуващи сгради (както жилищни, така и нежилищни).

Регламентът също така насърчава държавите-членки да изчисляват и определят изисквания за оптимални разходи на системно равнище за системи за осветление за съществуващи нежилищни сгради или да извличат тези изисквания от изчисленията, извършвани на равнище сгради.

Относно жилищните сгради е необходимо също така да се въведат финансови и други стимули за потребителите да закупуват и инсталират технологии за светодиодно осветление. Може също така да бъдат въведени новаторски модели за договаряне, когато например осветлението ще се предоставя като услуга от дружества. Тези дружества ще поемат инвестициите за уредбата за светодиодно осветление, като тяхната възвращаемост се основава на икономии на енергия, постигнати с новата осветителна уредба. Предложената Директива относно енергийната ефективност насърчава такива модели за договаряне, свързани с енергийните показатели.

Широкото разпространение на светодиодното осветление ще се отрази върху осветлението като стопанска дейност. За следващите 3-5 години, се очаква на пазара на светодиодното осветление да преобладават търговските дейности по модернизирание, което ще се подсилва от текущото изтегляне от употреба на традиционните крушки с нажежаема жичка.

С превръщането на светодиодни лампи в преобладаващи ще започне постепенното изместване на търговската дейност от продажба на лампи за заместване към продажба на осветители и по-специално към продажба на интелигентни осветителни системи и услуги за осветление. Финансиране от ЕС на научните изследвания и иновациите; инициативи по време на текущия програмен период (2007-2013 г.)

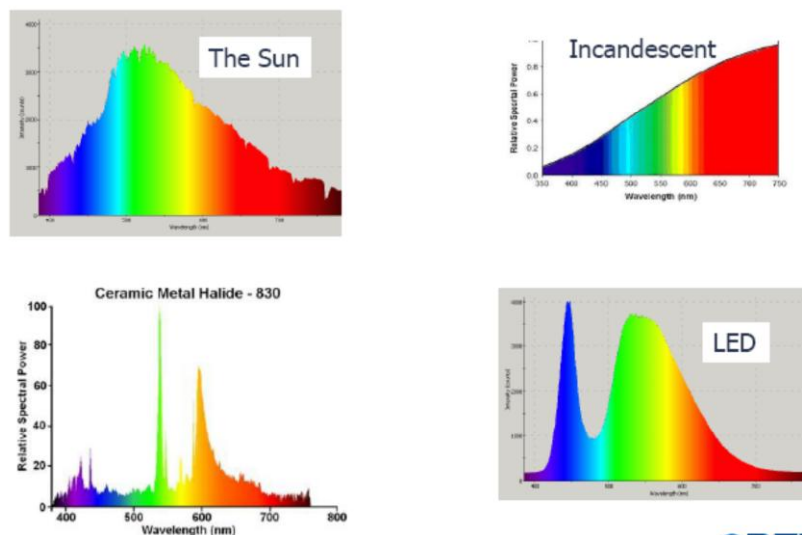
Седмата рамкова програма (РП7) ще допринесе с повече от 90 милиона евро за подпомагането на научноизследователската дейност в областта на светодиодното осветление в целия ЕС. Дейностите включват изследвания в областта на светодиодите и органичните светодиоди и на техните производствени процеси.

Тематичната област "Нанонауки, нанотехнологии, материали и нови производствени технологии" подкрепя научните изследвания в областта на материалите за по-ефективни източници на светлина. Тематичната област на ИКТ подкрепя научните изследвания, насочени към значително подобряване на функционалните възможности, качество и показатели на осветителни приложения на основата на светодиодно осветление.

ZHAGA консорциум за стандартизация на LED осветлението

Консорциумът ZHAGA е създаден за въвеждане на ред както в технологиите така и за начално въвеждане на стандартизационни елементи при светодиодните осветители и да улесни въвеждането на стандарти.

Visible Light Spectrum of Various Sources



Фигура 13. Спектрален състав на различни източници на светлина

Предизвикателства пред LED технологията към днешна дата:

- Скъпи продукти
- Потребителите не са запознати с тази нова технология и трябва да добият доверие в нейната употреба
- За технологията са характерни бързите нововъведения
- Липсват стандарти

LED технологията в осветлението с общо предназначение осигурява съществени преимущества в следните направления:

- Енергийна ефективност

Възможност за намаляване на потреблението на ел. енергия в сектора на осветлението до 70%.

Екология

- LED лампите не съдържат живак, нямат UV и IR излъчвания.
- Чувствително намаляване на емисиите от CO₂ от сектора осветление в следствие чувствителното намаляване на консумацията на ел. енергия
- Чувствително намаляване на светлинното замърсяване

– Намаляване на замърсяването от живак и тежки метали

Качество на зрението и зрителен комфорт

LED технологията предлага висококачествено осветление и зрителен комфорт по отношение на цвето предаването (наситени ярки цветове на осветените предмети) и динамично управление (ефективно регулиране на светлинния поток, моментално включване/изключване, промяна на спектъра). LED продуктите са с дълъг срок на експлоатация (25 -60 хил ч.) интензитетът и цветът на светлината са лесно регулируеми, което позволява регулиране на осветлението според нуждите на случая или личните предпочитания на потребителите.

Текущите проучвания показват също така че условията за осветление с разсеяна светлина, създавани от някои светодиодни лампи, допринасят за комфорта и оптимални условия на работа и учене (например в училищата и административните помещения) и оказват положително влияние върху човешката жизненост, концентрация и бдителност.

Оформление и естетика

LED технологията дава на проектантите неограничени възможности развиване на нови концепции и технически решения. Тя позволява нови форми на осветление и осветителните системи включително пълното им вграждане в сградните компоненти (стени, тавани, прозорци).

Възможности за приложение на LED осветители

Пример: Офис с размери 3.9 м x 5.4 м = 21.35 м²

Тип на светлинните източници	T8-ИКПРА съществуващо положение	T5 ЕПРА	LED състояние от 08.2012 г
Вид на осветителите	4 x18 W	4 x14 W	Микропризмен рефрактор
Брой на осветителите	4 бр	4 бр	4 бр
Мощност на осветителя	80 W	61 W	40 W
Експлоатационна осветеност E _m	≥ 500 lx	≥ 500 lx	≥ 500 lx
Инсталирана мощност	320 W	244 W	160 W
Относителна инсталирана мощност W/m ²	15 W/m ²	11.4 W/m ²	7.5 W/m ²
Годишна потребление на ел.енергия съгласно (EnEV 2009), Референтна стойност 388 kWh/год	404 kWh/год	314 kWh/год	186 kWh/год
Процентно съотношение на разходите	100 %	78 %	46 %
Годишни разходи на ел.енергия при приложение на системи за управление	-	209 kWh/год	124kWh/год
Процентно съотношение на разходите	100 %	52 %	31 %

Основни изводи

До масовото въвеждане на светодиодите за осветление има да се извърви дълъг и нелек път. Освен технологичните и оптически проблеми, свързани с термичния мениджмент и подходящо светлоразпределение свързано с предназначението на LED осветителя, съществуват още и физиологични проблеми, свързани с излъчването на синя светлина, психологични проблеми – свързани с развитие на пазара и привличане на клиентите, въвеждането на стандарти за LED осветление и т.н.

3. Заключение

Българските специалисти по осветление, организирани в Националния комитет по осветление и в професионарните организации на производители и вносители на LED осветителна техника ще съумеят да изпълнят тази изключително отговорна задача и да развият науката е техниката на LED осветлението в България и да се превърнат в технологичен център на тази технология в региона.

Авторите изказват благодарност на проекта ДУНК 01/3 за подкрепата при проведените проучвания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jorg Minnerup, Energieeffiziente Beleuchtung in Gebäuden: EnEV2012 und DIN V 18599:2011;
- [2] Soheil Moghtader, Energieeffizienz von lichttechnischen Anlagen und Produkte – Die europäischen Mandate M/480 und M/485;
- [3] Jan de Boer, Neue enegetische Effizienzkennzahlen und Bewertungsverfahren für Beleuchtungssysteme in Gebäuden;
- [4] Jörg Minnerup, Fachtagung EU-Enerieeffizienzrichtlinie- Beitrag der Beleuchtung zum Erreichen der Klimaziele, 10.2011, Vertretung der EU-Kommission in Deutschland, Bberlin. Diverse Dokumente von CELMA und ZVEI (Untersuchungen, Marktzahlen etc.)
- [5] Христо Василев, Ганчо Ганчев, Вълчан Георгиев, Стефан Стефанов, Светодиодите за вътрешно осветление и осветление на дома, Bullight 2010: 06.2010 г. МДУ “Ф. Ж. Кюри”
- [6] Христо Василев, Ганчо Ганчев,\ Вълчан Георгиев, Ива Драганова, Възможност за икономия на електрическа енергия чрез светодиодно осветление, Енергиен форум, Варна МДУ „Ф. Жолио Кюри”, 2012 г.

Авторите:

Христо Николов Василев – Денима 2001 ООД, ул. Проф. Г. Брадистилов, № 2, тел.03592 962 0627; е-поща: hristo.vasilev@denima2001.com

Ганчо Иванов Ганчев – Денима 2001 ООД ул. Проф. Г. Брадистилов, № 2, тел.03592 962 0627; е-поща: g.ganchev@denima2001.com

Стефан Стефанов, Денима 2001 ООД, ул. Проф. Г. Брадистилов, № 2, тел.03592 962 0627; е-поща: s.stefanof@denima2001.com

Румен Киров, ТУ-Варна,

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СЪВМЕСТИМОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ОСВЕТИТЕЛИ

Стойо Платиканов, Петър Цвятков, Милко Йовчев

Резюме: Изследват се електромагнитното поле от различни светлинни източници, пускорегулиращи апарати – дросели, преобразуватели и електрически осветители. Измерванията се извършват в подходяща среда със специализиран измервателен уред, който има сензор за магнитно поле. Резултатите и изводите от измерванията са сравнени с препоръките на нормативи и стандарти.

Ключови думи: магнитно поле, лампи, дросели, електромагнитна индукция, осветителни тела

STUDY ON THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF ELECTRICAL LUMINAIRES

Stoyo Platikanov, Petar Tsvyatkov, Milko Yovchev

Abstract: The electromagnetic field of different lamps, luminaries and gears like electromagnetic and electronic ballast are studied. The measurements are carried out in a suitable environment with specialized measuring instrument that has a magnetic field sensor. The results and conclusions from the measurements are compared with the recommendations of norms and standards.

Key words: magnetic field, lamps, electromagnetic ballast, electronic ballast, electromagnetic induction, gear, ignitors, luminaries

1. Въведение

Електромагнитната съвместимост при електрическите осветители се изразява в способността им да работят в условията на средата, за която са предназначени, а от друга страна да не са източник на електромагнитни влияния над определено ниво, т.к. може да предизвикат смущения в работата на различни електронни устройства [1, 2, 3, 7, 8]. Светлинните излъчвания от лампите се възприемат само във видимата част на спектъра, но те генерират електромагнитни излъчвания и в други части на спектъра. В настоящата разработка се изследват експериментално с измервателна апаратура електромагнитните излъчвания, създавани от лампи, пускорегулираща апаратура и от съвместната им работа в електрическите осветители.

2. Изследвания и експериментални резултати

Изследванията се извършват в лаборатория „Осветителна техника“, като се извършва проверка на електромагнитния фон и се изключват всички „активни“

електрически консуматори. Обект на измерванията са: лампи – газоразрядни с високо налягане, луминесцентни, компактни луминесцентни, светодиодни; електромагнитни дросели и електронна пусково-регулираща апаратура (ЕПРА). Те се разполагат върху неметална неподвижна повърхност.

Измерванията се извършват с цифров анализатор ME 3851A на фирмата Gigahertz Solution [9], закрепен върху неподвижен статив. Честотният обхват на широколентовия филтър на уреда е от 50 Hz до 100 kHz с цилиндричен сензор за изследване на поле. Методиката на провеждане на измерванията е в съответствие с препоръките на фирмата производител [9], като се приема регламентирано отстояние от изследвания обект 0,5 m. Измерванията се извършват в „3-D“, по трите координатни оси – X, Y, Z, в съответствие с метода на измерване и изчисление. Изследваните комплекти „лампа + дросел“ и „лампа + ЕПРА“ се ориентират по двете оси Z и Y в хоризонталната равнина. Измерванията се извършват при оптимална височина от хоризонталната равнина, при която се отчита максимална стойност на полето [nT]. Приемат се предложените практически правила за определяне на общото магнитно поле – таблица 1.

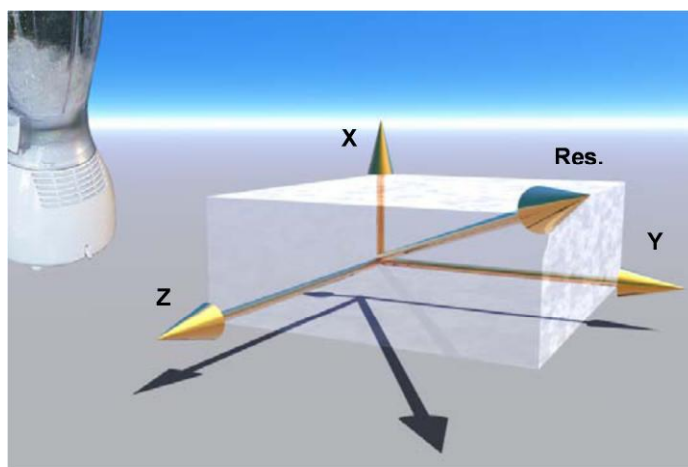
Таблица 1

Измерени стойности	Резултантно магнитно поле
Една висока, двете най-ниски стойности	Най-висока стойност
Две високи, една ниска стойност	Най-висока стойност + половината от втората по големина стойност
Три подобни стойности	Един път и половина от най-високата стойност

Резултантното общо магнитно поле е сумата от единичните стойности на магнитната индукция по осите X, Y и Z – съответно B_x , B_y , B_z , т.е. „3-D измервана стойност“. Обобщената стойност B в [nT] се определя по предложените практически правила. Изчислената резултантна стойност B_{res} е:

$$(1) \quad B_{res} = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2)}$$

Честотна област	Н о р м и		
	MPR II	TCO '92 – '99	TV RHEINLAND
Магнитно променливо поле 5 Hz до 2 kHz 2 kHz до 400 kHz	200 nT 25 nT	200 nT 25 nT	200 nT 25 nT



Фиг. 1. Ориентация на измервателния уред

В таблица 3, таблица 4 и таблица 5 са представени резултати от проведените 153 единични измервания с измервателен уред ME 3851A и стойностите на изчислената резултантна индукция B_{res} за 51 броя лампи, дросели и комплекти от ПРА. Получените резултати са сравнени с препоръките на нормативи и стандарти [1, 2, 3, 7, 9]. Тук се прилагат препоръчаните от тях норми, възприети от MPR II, TCO '92 – '99, TV RHEINLAND (таблица 2):

Електрическо променливо поле 5 Hz до 2 kHz 2 kHz до 400 kHz	25 V/m 2,5 V/m	10 V/m 1 V/m	10 V/m 2,5 V/m
Разстояние от измерителен уред до обекта	0,5 m	0,5 m	0,5 m

Таблица 2

Таблица 3

	Л а м п и Д р о с е л и	И з м е р е н и				Изчислени
		B_x	B_y	B_z	Обобщена В	Резултантна B_{res}
		[nT]	[nT]	[nT]	[nT]	[nT]
1	Живачна лампа с високо налягане 250 W	28,2	5,8	9	28,2	30,2
	Дросел на живачна лампа 250 W	1907	101,7	172,3	1907	1918
2	Металхалогенна лампа 250 W	37,5	16,5	12,6	45,7	42,9
	Дросел на металхалогенна лампа 250 W	1865	152,6	186	1858	1880
3	Натриева лампа с високо налягане 250 W	23,2	2,5	9	23,2	25
	Дросел на натриева лампа с високо налягане 250 W	1912	13,9	139	1912	1917

Продължение на Таблица 3

	Л а м п и Д р о с е л и	И з м е р е н и				Изчислени
		B_x	B_y	B_z	Обобщена В	Резултантна B_{res}
		[nT]	[nT]	[nT]	[nT]	[nT]
4	Луминесцентна лампа 36 W с отдалечен дросел (по надлъжна ос)	12,3	5	12,3	18,4	18,1
	Луминесцентна лампа 36 w с отдалечен дросел (по напречна ос)	16,9	2,1	20,4	28,9	26,6
5	Дросел на луминесцентна лампа 36 W (по надлъжна ос)	109	5,4	32,4	109	113,8
	Дросел на луминесцентна лампа 36 W (по напречна ос)	121,9	11,5	68	121,9	140,1
6	Луминесцентна лампа 18 W с отдалечен дросел	1,8	3,5	4,4	6,2	5,9

	(по надлъжна ос)					
	Луминесцентна лампа 18 W с отдалечен дросел (по напречна ос)	10	7,7	7,4	13,8	14,6
	Дросел LSI 20/220-III на луминесцентна лампа 18 W (по надлъжна ос)	136,8	11,5	11,5	136,8	138,2
	Дросел LSI 20/220-III на луминесцентна лампа 18 W (по напречна ос)	145,4	14,3	82,8	186,8	167,9
8	Светлодиодна (LED) лампа 7,9 W – Toshiba (по напречна ос)	23,2	2,3	21,5	34	31,4
	LED лампа 7,9 W – Toshiba (по надлъжна ос)	28,2	2,6	22,1	39,3	35,9
9	LED лампа 12 W-Philips (по напречна ос)	28,1	5,2	27,2	41,7	39,5
	LED лампа 12 W-Philips (по надлъжна ос)	27	3,1	20,4	37,2	34
10	LED лампа 5 W (по напречна ос)	16,2	2,8	16,4	24,5	23,2
	LED лампа 5 W (по надлъжна ос)	20,8	2,9	16,7	29,1	26,8
1	Нажежаема лампа 25 W	10,8	2,5	5,3	13,4	12,2

Таблица 4

Комплект от лампи и пусково регулираща апаратура	И з м е р е н и				Изчислени	
	B_x	B_y	B_z	Обобщена B	Резултантна B_{res}	
	[nT]	[nT]	[nT]	[nT]	[nT]	
1	Луминесцентна лампа 36 W с дросел (по надлъжна ос)	40,5	62,7	26,7	82,9	79,3
	Луминесцентна лампа 36 W с дросел (по напречна ос)	23	14,8	77,6	77,6	82,3
	Луминесцентна лампа (T5)-14 W с ЕПРА (по надлъжна ос)	16,9	1,7	11,4	22,6	20,3
	Луминесцентна лампа (T5)-14 W с ЕПРА (по напречна ос)	20,1	4,4	19,4	29,8	28,3
	Компактна луминесцентна лампа с вграден дросел-21 W (Narva-Prisma) и компактна луминесцентна лампа с външен	74,5	7,5	24,8	74,7	79,7

	дросел (PI-T) 26 W (захранващ кабел отзад)					
	Компактна луминесцентна лампа с вграден дросел-21 W (Narva-Prisma) и компактна луминесцентна лампа с външен дросел (PI-T) 26 W (захранващ кабел отстрани)	100,7	27,2	88,2	144,8	136,6
	Компактна луминесцентна лампа с вградена ЕПРА – 15 W(Gemini) (захранващ кабел отзад)	9,4	1,9	15,6	20,3	18,3
	Компактна луминесцентна лампа с вградена ЕПРА – 15 W(Gemini) (захранващ кабел отстрани)	24,4	2,8	29,8	42	38,6
	Компактна луминесцентна лампа с вградена ЕПРА-SL electronic – Philips - 15 W (захранващ кабел отзад)	10,3	2	16,7	21,8	19,7
	Компактна луминесцентна лампа с вградена ЕПРА-SL electronic – Philips - 15 W (захранващ кабел отзад)	23,2	3,7	25,4	37	34,6

Продължение на Таблица 4

	Комплект от лампи и пусково регулираща апаратура	И з м е р е н и				Изчислени
		B_x	B_y	B_z	Обобщена В	Резултантна B_{res}
		[nT]	[nT]	[nT]	[nT]	[nT]
6	Компактна луминесцентна лампа с вградена ЕПРА-PL electronic/c-15 W (захранващ кабел отзад)	8,2	1,9	15,9	20	18
	Компактна луминесцентна лампа с вградена ЕПРА-PL Electronic/c-15 W (захранващ кабел отстрани)	22,4	3	25,5	36,7	34,1
7	Компактна луминесцентна лампа с вградена ЕПРА-Energy smart – 15 W, General Electric (захранващ кабел отзад)	9,5	1,7	20,1	24,8	22,3
	Компактна луминесцентна лампа с вградена ЕПРА-Energy Smart – 15 W, General Electric (захранващ кабел отстрани)	23,4	3,8	24,6	36,3	34,2

Таблица 5

	Комплект от лампа, дросел и	И з м е р е н и	Изчислени
--	-----------------------------	-----------------	-----------

	запално устройство	B_x	B_y	B_z	Обобщена B	Резултантна B_{res}
		[nT]	[nT]	[nT]	[nT]	[nT]
1	Живачна лампа с високо налягане 250 W и дросел (по надлъжна ос, на височина 50 mm)	1670	388	527	1670	1794
	Живачна лампа с високо налягане 250 W и дросел (по напречна ос, на височина 50 mm)	1839	584	1223	2450	2284
	Живачна лампа с високо налягане 250 W и дросел (по надлъжна ос, на височина 100 mm)	1751	221	875	2188	1970
	Живачна лампа с високо налягане 250 W и дросел (по напречна ос, на височина 100 mm)	1776	701	1484	2518	2418

Продължение на Таблица 5

№	Комплект от лампа, дросел и запално устройство	И з м е р е н и				Изчислени
		B_x	B_y	B_z	Обобщена B	Резултантна B_{res}
		[nT]	[nT]	[nT]	[nT]	[nT]
2	Натриева лампа с високо налягане 250 W с дросел и запално устройство (по надлъжна ос, на височина 25 mm)	362	100	236	480	443
	Натриева лампа с високо налягане 250 W с дросел и запално устройство (по напречна ос, на височина 25 mm)	385	150	260	515	488
3 5	Металхалогенна лампа 250 W с дросел и запално устройство (по надлъжна ос, на височина 80 mm)	1908	412	1066	2441	2224
	Металхалогенна лампа 250 W с дросел и запално устройство (по напречна ос, на височина 80 mm)	1995	888	1799	2894	2829
4	Натриева лампа с ниско налягане с дросел и запално устройство – 66 W (по надлъжна ос, на височина 40 mm)	25	8	294	294	295
	Натриева лампа с ниско налягане с дросел и запално устройство – 66 W (по напречна ос, на височина 40 mm)	13,1	348	83	348	358

35	Натриева лампа с ниско налягане с ЕПРА – 66 W (по надлъжна ос, на височина 40 mm)	6,9	9,7	18,7	23,5	22,2
	Натриева лампа с ниско налягане с ЕПРА – 66 W (по напречна ос, на височина 40 mm)	4	6,1	69,3	69,3	69,7

Продължение на Таблица 5

	Комплект от лампа, дросел и запално устройство	И з м е р е н и				Изчислени
		B_x	B_y	B_z	Обобщена B	Резултантна B_{res}
		[nT]	[nT]	[nT]	[nT]	[nT]
6	Ксенонова лампа – автомо-билна – 35 W - 2PCS Xenon, С преобразувател (по надлъжна ос, на височина 50 mm, захранващ кабел – отзад)	65,1	9,7	84,9	117	107
	Ксенонова лампа – автомо-билна – 35 W - 2PCS Xenon, С преобразувател (по напречна ос, на височина 50 mm, захранващ кабел – отстрани)	237	125	115	237	292
7	Индукционна лампа QL 85W, HF generator QL 58 W S/03 (Philips) (по напречна ос)	18,6	8,5	21,2	30,5	29,5
	Индукционна лампа с дросел LTTS 40 W (уличен осветител) – JR-DL0106	34	2,7	23,5	45,8	41,4

3. Анализ на резултатите

Въз основа на препоръчаната норма за гранична стойност на индукцията на полето 200 nT (таблица 2) и от резултатите от измерванията на лампи и отделени от тях дросели (таблица 3) се заключава:

- газоразрядните лампи с високо налягане (ЖЛВН, МХЛ, НЛВН) нямат силно излъчване на електромагнитно поле, то е в диапазона (25 ÷ 42,9) nT;
- дроселите на газоразрядните лампи с високо налягане излъчват в диапазона (1917 ÷ 1880) nT, чувствително над нормата 200 nT;

- луминесцентните лампи излъчват в диапазона (5,9 ÷ 26,6) nT, при норма 200 nT. По-големите измерени стойности са по „напречната ос”, т.к. се обхваща електромагнитното поле и на захранващите проводници;
- дроселите за луминесцентните лампи 36W излъчват в диапазона (113,8 ÷ 140,1) nT, а на 18 W, в диапазона (138,2 ÷ 167,9) nT;
- светодиодни (LED) лампи излъчват в диапазона (23,2 ÷ 39,5) nT, при норма 200 nT.

От резултатите от измерванията на индукцията на променливо магнитно поле на комплект от луминесцентни, компактни луминесцентни лампи и пусково регулираща апаратура (таблица 4) може да се обобщи:

- луминесцентна лампа 36 W с близко разположен електромагнитен дросел излъчва в диапазона (79,3 ÷ 82,3) nT;
- луминесцентна лампа (T5) – 14W с ЕПРА излъчва в границите (20,3 ÷ 28,3)nT;
- компактни луминесцентни лампи 21W с вграден дросел и 26W с външен дросел излъчват в диапазона (79,7 ÷ 136,6) nT;
- компактни луминесцентни лампи 15 W с вградена ЕПРА излъчват в диапазона (18 ÷ 38,6) nT;
- при измерванията на тези комплекти съществено влияние оказва местоположението на техните захранващи проводници.

От резултатите, получени след измервания на индукцията на променливо магнитно поле на комплект от газоразрядни лампи с високо налягане с дросели и запално устройство (таблица 5), се вижда че:

- комплект „металхалогенна лампа” има най-високи стойности на индукция на полето, в диапазона (2224 ÷ 2829) nT. За сравнение при измерване на самостоятелна металхалогенна лампа – 42,9 nT;
- комплект „живачна лампа с високо налягане” – (1794 ÷ 2284) nT, а самостоятелна живачна лампа – 30,2 nT;
- комплект „натриева лампа с високо налягане” – (443 ÷ 488) nT, а самостоятелна натриева лампа – 25 nT;
- комплект „натриева лампа с ниско налягане” с дросел – (295 ÷ 358) nT, а с ЕПРА (22,2 ÷ 69,7) nT;
- комплект „ксенонова лампа” с преобразувател – (107 ÷ 292) nT;
- комплект „индукционна лампа” с HF генератор – 29,5 nT, а с дросел 41,4 nT.

4. Заключение

Резултатите при измерванията се влияят от изменението на честотата, отклонението и колебанието на захранващото напрежение, от влиянието на други активни консуматори в помещението, от близко разположени метални повърхности и предмети, от посоката на насочване на сензора на измервателния уред.

От анализа на резултатите в таблици 3, 4 и 5 се установява, че нивото на електромагнитните излъчвания е различно за отделните елементи на

електрическите осветители – лампи, дросели, преобразуватели, захранващи проводници и на тяхното комплектуване в осветителя, а така също зависи и от тяхната ориентация.

Резултатите от изследването на електромагнитните влияния при работа на електрическите осветители показват, че смущаващото въздействие, което е измерено на разстояние 0,5m, силно намалява при отдалечаване и е винаги под граничните стойности, когато отстоянието до осветителите стане 1 m.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 61000-3-2 – Electromagnetic compatibility, Part 3: Limits, Section 2: Limits for harmonics current emissions – April 1995.
- [2] IEC 1547, International Elektrotechnical Commision.
- [3] EN 55015: 1996 – Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment.
- [4] Maes W., Stress durch strom und strahlung, IBN Institut für baubiologie + ökologie.
- [5] Katalyse E. V., Elektrosmog, C. F. Müller Verlag, Heidelberg.
- [6] König, Folkerts: Elektrischer storm als umweltfaktor, Richard Pflaum Verlag, München.
- [7] Иванов З., Пускорегулиращи апарати за разрядни лампи, София, 2003.
- [8] Киров Р., Д. Матев, В. Гюров, Изследване на електромагнитната съвместимост на управляеми улични осветителни уредби, XIV Национална конференция по осветление с международно участие „BulLight 2010” - „България Светлина 2010“, Сб. доклади, с. VII-1, Варна, 2010, ISSN 1314-0787
- [9] GIGAHERTZ SOLUTION, ME 3851A, Technische Referenz, Deutschland

Автори:

доц. д-р инж. Стойо Платиканов – катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане” (ЕСЕО), ТУ-Габрово, e-mail: platikanov@tugab.bg;
инж. Петър Цвятков – катедра ЕСЕО, ТУ-Габрово, e-mail: pzwyatkov@tugab.bg;
ас. инж. Милко Йовчев – катедра ЕСЕО, ТУ-Габрово, e-mail: milkoyovchev1986@gmail.com.

ФУНКЦИЯТА „ПОСТОЯНЕН СВЕТИНЕН ПОТОК“ - НОВАТА ТЕХНОЛОГИЯ В СВЕТОДИОДНОТО УЛИЧНО ОСВЕТЛЕНИЕ

Николай Бърдарски , Христо Василев

Резюме: В доклада е описана новата технология при драйверите за светодиодни осветителни тела ,която поддържа постоянен светлинен поток за целия живот на светодиодните модули. Разглежда се също така и икономическия ефект от въвеждането на тази допълнителна функция на светодиодните токозахранващи устройства.

Ключови думи: постоянен светлинен поток

CONSTANT LIGHT OUTPUT – NEW TECHNOLOGY FOR LED DRIVERS IN STREET LIGHTING

Nikolay Bardarski , Hristo Vasilev

Abstract: The current paper presents a new technology for constant light output applied in LED drivers for street luminaries. In conclusion some calculations about payback period are made.

Key words: constant light output

1. Въведение

При изчисляването на осветителни уредби и в частност на улично осветление се използва т.нар. експлоатационен фактор MF. Неговата цел е така да коригира първоначалната осветеност/яркост/ ,така че в края на експлоатационния период тя да е по-голяма или равна на нормената за дадена задача. В процеса на експлоатация няколко различни фактора оказват влияние върху изходящия светлинен поток на едно осветително тяло. Съвременните технологии и развитие на светодиодната техника позволяват да се влияе на един или друг от компонентите на експлоатационния фактор и по този начин неговата стойност да се доближи до единица.

2. Експлоатационен фактор /MF/

Експлоатационния фактор MF се състои от три компонента както е видно от формула (1)

$$(1) \quad MF = LLMF * LSF * LMF$$

Ще разгледаме поотделно всеки един от трите компонента. Последния от тях определя намаляването на светлинния поток вследствие замърсяването на

осветителното тяло **LMF** (Luminaire Maintenance Factor). Стойността на този компонент зависи от три неща:

- степента на защита на осветителното тяло **IP**
- периода на почистване на осветителните тела
- степента на замърсяване на околната среда

LMF се избира от стандартни таблици създадени от Международната Комисия по Осветление (CIE). За степен на защита **IP 6x** и период на почистване 4 години коефициента варира от 0.80 до 0.89 в зависимост от замърсеността на средата.

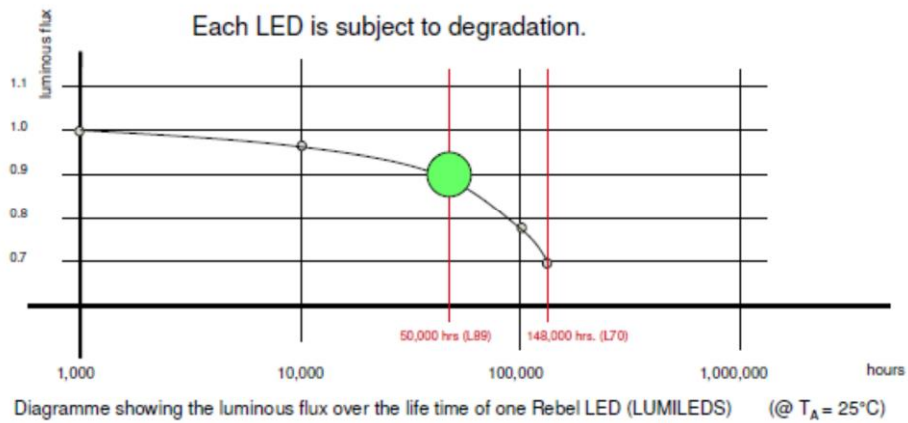
Табл. 1

Период на почистване /години/	1 год.			2 год.			3 год.			4 год.		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
Степен на защита на Осветителното тяло												
IP2X	0,8 2	0,6 2	0,53	0,7 9	0,5 6	0,4 5	0,7 8	0,53 2	0,4	0,77	0,51	0,40
IP5X	0,9 2	0,9 0	0,89	0,9 0	0,8 6	0,8 4	0,8 8	0,82 6	0,7	0,87	0,79	0,69
IP6X	0,9 3	0,9 2	0,91	0,9 1	0,8 9	0,8 8	0,9 0	0,87 3	0,8	0,89	0,86	0,80
Замърсеност на въздуха: L = НИСКА (Low) / M = СРЕДНА (Medium) / H = ВИСОКА (High)												

Вземайки предвид предимствата на новата светодиодна технология ,стойностите от табл.1 следва да се завишат ,като за период на почистване 4 години ще станат от 0.86 до 0.96. Всичко това е в резултат на намаленото топлинно излъчване в областта на оптичния прозорец ,също така намаленото излъчване на UV и липсата на топлинна конвекция в областта на оптичната система за разлика от конвенционалните осветителни тела. Това са причините осветителя да стане по-малко „привлекателен” за насекомите и праха в областта на оптичната система.

Втория компонент от формула (1) **LSF** (Lamp Survival Factor) оценява възможността за авария на лампата/светодиодния модул/. Поради прилагането на високи стандарти за качество и използването на най-нови технологии при светодиодните модули тази възможност е много ниска. Процента на авариралите модули е между 1 и 2% или стойността на **LSF** може да се приеме 0.98 за светодиодни модули.

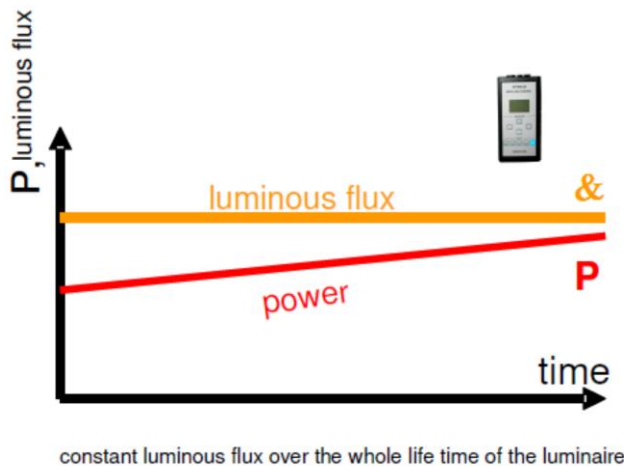
Първия компонент на експлоатационния фактор **LLMF** (Lamp Lumen Maintenance Factor) оценява намаляването на светлинния поток през целия живот на източника на светлина. Както при другите източници и при светодиодите се наблюдава намаляване на светлинния поток по време на експлоатация. Деградацията на светлинния поток е онагледена на следващата фиг.1. Както се вижда от диаграмата в края на живота на светодиодния модул светлинния поток намалява с 30% или стойността на **LLMF** е 0.7 .



Фиг.1 Намаление на светлинния поток при светодиоди

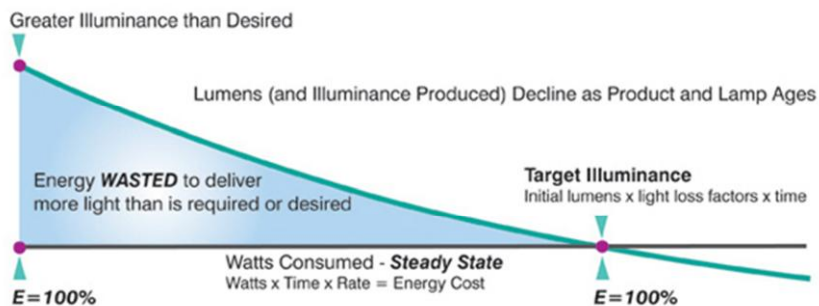
2. Постоянен светлинен поток

Идеята на функцията „постоянен светлинен поток” при новите захранващи устройства за светодиоди е чрез регулиране на мощността на диода да се компенсира намаляването на светлинния поток в процеса на експлоатация. Така стойността на LLMF се доближава до единица, което от своя страна води до значително повишаване на стойността на общия експлоатационен фактор.

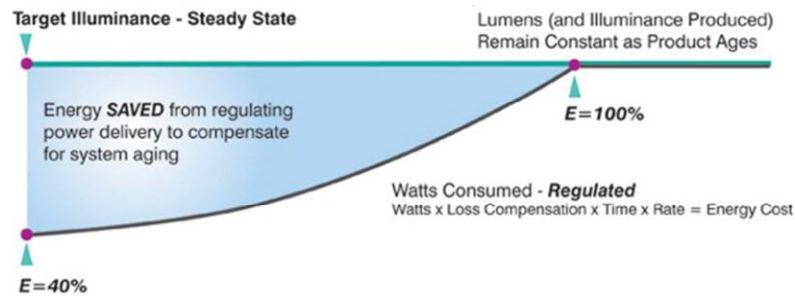


Фиг.2 Постоянен светлинен поток

При следващите две фигури може да се види разликата между потребената енергия без система за поддържане на постоянен светлинен поток и с вградена такава система.



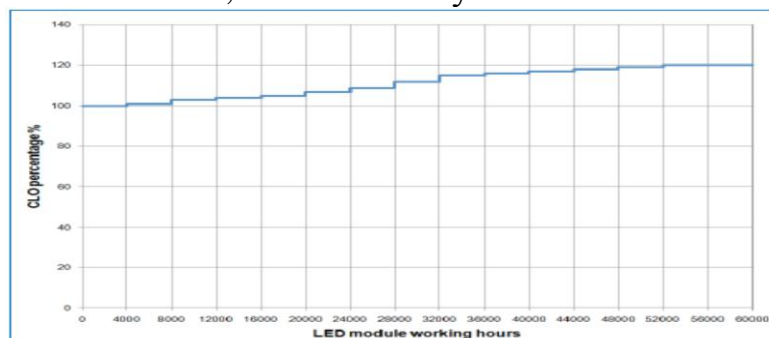
Фиг.3 Консумация на енергия без система CLO



Фиг.4 Консумация на енергия със система CLO



При първия случай енергията е константна за целия период и мощността на осветителя е увеличена така ,че да компенсира намаляването на светлинния поток и в края на периода да останем близко до нормените показатели. Това означава ,че по време на експлоатация консумираната енергия не се променя и е завишена в първоначалния период. Във втория случай интелигентната система постепенно увеличава мощността на светодиодния модул ,компенсирайки намаляването на светлинния поток. Така няма нужда още от началото да презастраховаме системата и се създават условия за спестяване на енергия. По данни на проучвания направени от някои от големите производители в бранша ,икономията на енергия е около 12%.

Възможни са два подхода за създаване на система за поддържане на постоянен светлинен поток. При първия начин се измерва изходящия светлинен поток на модула и чрез създаване на обратна връзка към драйвера се осигурява поддържането на постоянна стойност на потока. Този подход е относително сложен и скъп. Ето защо практическо приложение е намерил втория начин на регулиране на системата драйвер-светодиоден модул. При него на базата на експертни знания и данни на производителя се определя след какъв период от време колко да се увеличи тока през модула за да се компенсира загубата на светлинен поток. На следващата фигура 5 е показан пример за стъпално регулиране на тока в модула. Целия експлоатационен период е разделен на 16 части ,като брояч интегриран в драйвера отчита релните часове на работа на модула и при достигане на прагова стойност подава команда за увеличаване на базовия ток със съответния процент. Тук трябва да се спомене ,че е изключително важно да се спазят изискванията на производителя за охлаждане на диодите и чрез подходящ термичен мениджмънт да се избегне прегряване на диодите в края на живота им ,когато тока е увеличен.



Фиг.5 Стъпално регулиране на мощността при система CLO

Като заместим стойностите на различните компоненти във формула 1, ще видим, че при използване на система поддържаща постоянен светлинен поток значително се увеличава експлоатационния фактор спрямо обикновените драйвери. На следващата фигура 6 е даден пример направен за улично светодиодно осветително тяло със и без CLO.

Example SQ50 LED (50.000h lifetime)			
without constant light output BASIC		MF	= 0.7 x 0.98 x 0.96 = 0.66
Cleaning interval: 4 years / Protection rating: IP65 / Dirtlevel: low			
with constant light output PLUS		MF	= 1.0 x 0.98 x 0.96 = 0.94
Cleaning interval: 4 years / Protection rating: IP65 / Dirtlevel: low			

Фиг.6 Експлоатационния фактор MF със и без система CLO

3. Заключение

Разработената система поддръжане на постоянен светлинен поток осигурява енергоикономичен режим на работа на светодиодните осветители. По данни на производителите цената с която се увеличава стойността на драйвер с CLO е около 5 евро. Но като се вземе предвид, че ще се намали броя на диодите и лещите, на практика общата цена на осветителя с вграден CLO намалява. Пак според данни на производителите количеството на спестена енергия възлиза на 12%. Като заключение може да се каже, че предимствата от използването на система за CLO са неоспорими и тя ще се наложи в бъдеще като стандарт при производството на светодиодни осветителни тела.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Публикация CIE 154:2003
- [2] SITECO – каталожни данни
- [3] PHILIPS – каталожни данни

Автори:

маг. инж. Николай Бърдарски – ”ЕЛКО”ООД – гр.Плевен, email: elkop1@abv.bg

проф. Христо Василев, преподавател в катедра ЕСЕО, ТУ-София, e-mail: hristo.vasilev@denima2001.com

СВЕТОДИОДНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА ПЕШЕХОДНАТА ЗОНА НА БУЛЕВАРД ВИТОША

Ива Драганова, Вихър Комаров, Христо Василев

***Резюме:** В доклада е описано как може да приложим новите технологии в осветителната техника, как успешно са въведени светодиодни осветители в пешеходната зона на един от най – оживения булевард в столицата – бул. Витоша.*

***Ключови думи:** светодиодно осветление*

LED LIGHTING IN THE PEDESTRIAN ZONE ON VITOSHA BOULEVARD

Iva Draganova, Vihar Komarov, Hristo Vasilev

***Abstract:** The report described how to apply new technologies in lighting and successfully introduced LED lighting in the pedestrian zone of Vitosha Blvd.*

***Key words:** LED lighting*

1. Въведение

Булевард „Витоша“, по-известен като „Витошка“ е основна пътна артерия в центъра на София. Той е популярен с многобройните си магазини и бутици, а в участъка между ул. „Алабин“ и бул. „Патриарх Евтимий“ булевардът е пешеходна зона, забранена за МПС, като се допуска само пресичане през перпендикулярните на „Витоша“ улици. Бул. Витошка" е популярен с многобройните си магазини и бутици по нея. Според проучване на „Къшмън и Уейкфилд“ за 2005 г. „Витошка“ е 22-рата най-скъпа търговска улица в света



Фиг.1. Пешеходната част на бул. Витоша

2. Същинска част

Външното осветление изисква сериозни инвестиции и е голям електропотребител. Вече отмина времето когато улиците на всички селища в България тънеха в тъмнина. Сега външното осветление е в значително подобро състояние и обхват. Настъпва обаче моментът да се премине в нови високи технологии на неговото изграждане и експлоатация: въвеждане на иновативни осветителни системи; въвеждане на светодиоди като светлинни източници; подобряване на експлоатацията, в т.ч. адекватно управление на осветлението и други. Така външното осветление ще стане електропотребител с висока енергийна ефективност, няма да бъде непреодолима тежест на общинските бюджети и ще даде на гражданите европейско самочувствие.



Задание от Община София:

Общината имаха няколко изисквания към осветителните тела, които да се монтират на пешеходната зона на булевард Витоша. Осветителното тяло трябва да бъде монтирано на декоративен стълб и корпуса на осветителя да отговора на архитектурния стил на декоративният стълб. Новата светодиодна осветителна уредба да отговаря на всички нормени количествени и качествени показатели.

Предимства на светодиодите са известни в продължение на четиридесет години:



- Дълъг живот - ниски разходи за поддръжка.
- Устойчивост - висока надеждност.
- Наситени цветове - максимален визуален ефект.
- Няма UV или IR - широки възможности за кандидатстване.

- Ниско напрежение работа - повече сигурност, лекота на използване.
- Не съдържат живак - грижа за околната среда

Избор на светлинен източник

Fortimo LED LLM

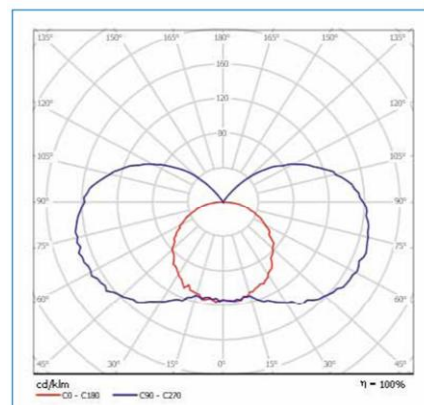
Мощност: 18W

Светлинен поток: 1800lm

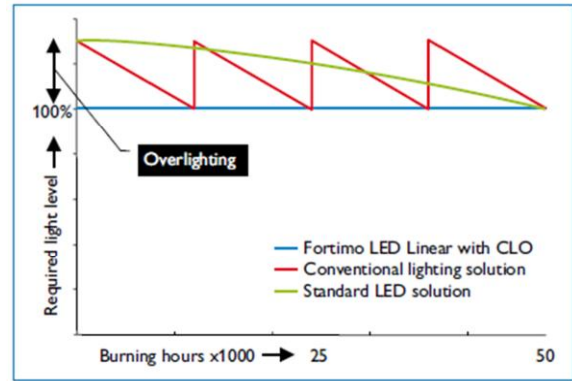
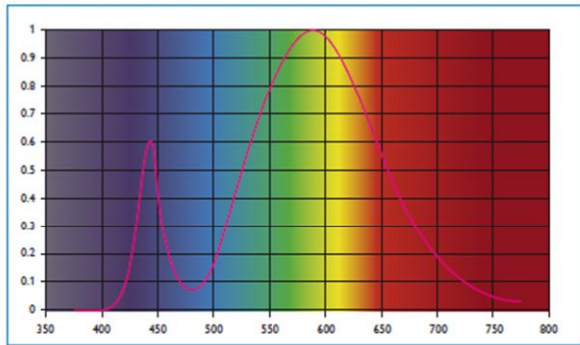
Цветна температура: 4000K

Индекс на цвето предаване: 70

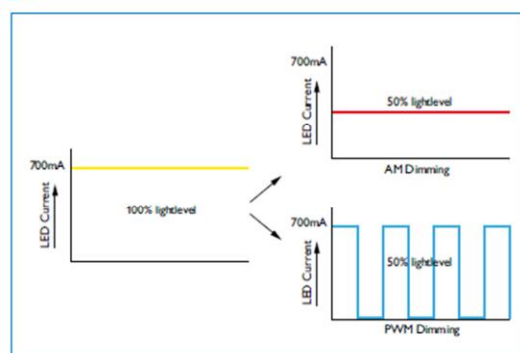
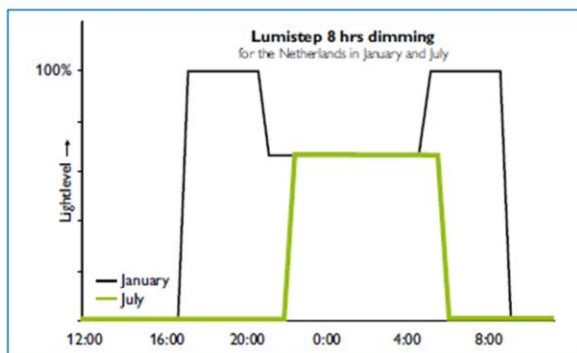
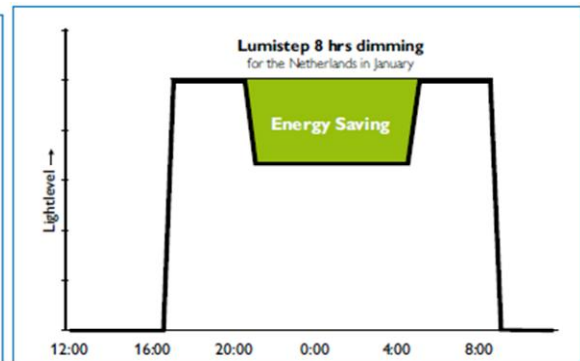
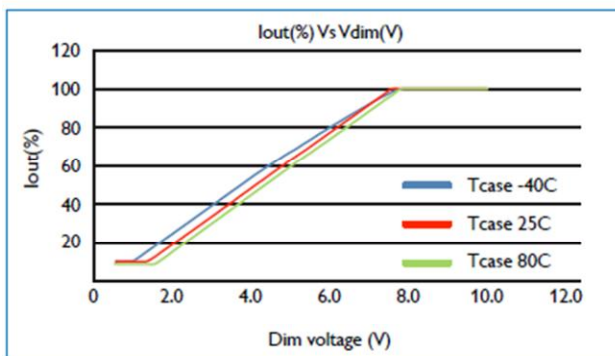
Tc = 55°C



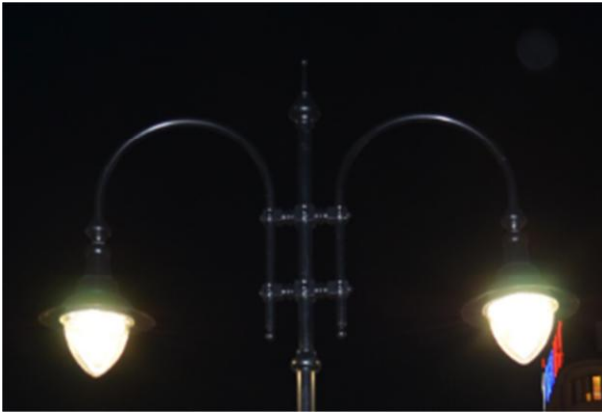
Special Power Distribution Fortimo LLM 4000 K



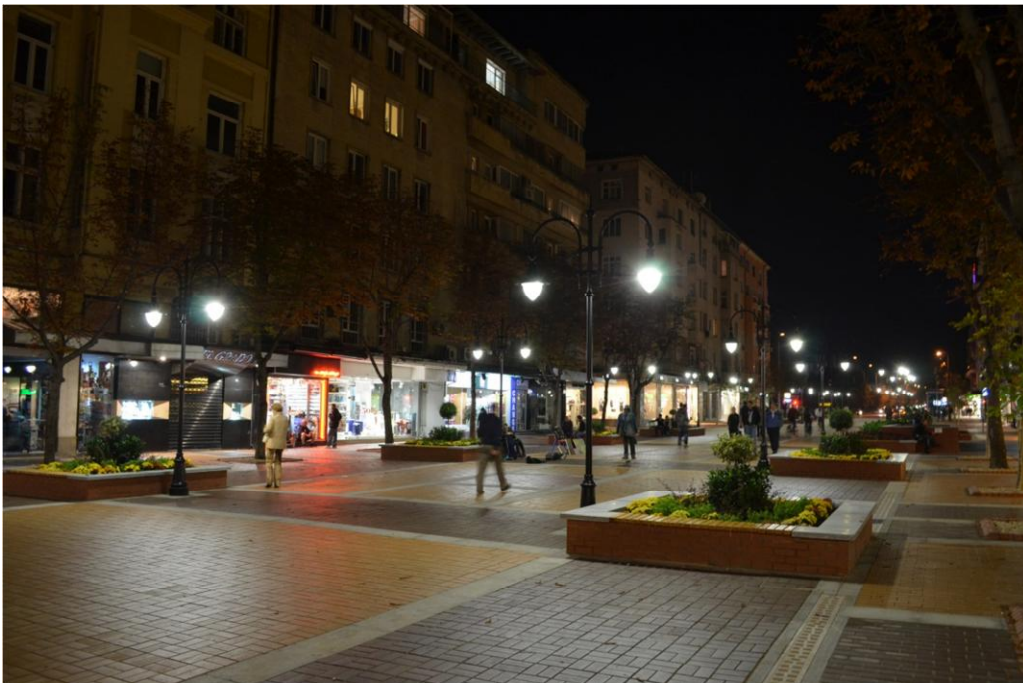
Постоянен светлинен интензитет (лумена поддръжка) Fortimo LED Linear система е оборудвана със специална функция CLO (Постоянен светлинен интензитет), когато се използва в рамките на спецификацията на интензитета на 100% се очаква в 50000 часа (средно живот спецификация). Основните ползи от CLO система са оптимизирана консумация на енергия и подобряване на надеждността на системата разлика между системата CLO и конвенционална система или стандартни LED светлинна система е, че с CLO крайния потребител винаги има необходимото ниво на светлината, не е overlighting (виж Overlighting картина срещу ЦЗВ). Функцията CLO използва предсказуем алгоритъм, за да увеличи настоящия на LED над определен живота на 50Khrs. Текущите увеличения потреблението на енергия се увеличава с около 20%. Чрез предотвратяване на overlighting, могат да бъдат постигнати значителни икономии на енергия, в сравнение с конвенционалното осветление решения и стандартни ориентираните решения. Тези икономии може да се увеличи още повече , когато се използва lumistep.



Проектиране на светодиоден парков осветител



2. Заключение



Получени резултати

$$E_{av} [lx] = 15lx$$

$$E_{min} / E_{max} = 0,35$$

Осветлението на бул. “Витоша” е един положителен пример за въвеждане на светодиодите в пешеходните зони:

- висок индекс на цвето предаване
- ниски енергийни разходи
- много добри гаранционни условия – 5 години

Авторите изказват благодарност на проекта ДУНК 01/3 за подкрепата при проведените проучвания.

ЛИТЕРАТУРА

[1] <http://www.lighting.philips.bg/>

Автори:

маг. инж. Ива Драганова, редовен докторант в катедра ЕСЕОЕТ, e-mail: ivadraganova@tu-sofia.

проф. д-р инж. Христо Василев – професор в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електрически транспорт” (ЕСЕОЕТ), email: hristo.vasilev@denima2001.com

СВЕТОДИОДНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА НОВ БЪЛГАРСКИ УНИВЕРСИТЕТ

Ива Драганова, Христо Василев

Резюме: В доклада е описано въвеждането на светодиодно осветление в сградите на Нов Български Университет. Проекта има за цел модернизация и реновиране на осветителната инсталация в двата корпуса на университета.
Ключови думи: светодиодно осветление

LED LIGHTING OF NEW BULGARIAN UNIVERSITY

Iva Draganova, Hristo Vasilev

Abstract: The report described the introduction of LED lighting in buildings of New Bulgarian University. The project aims at the modernization and renovation of the lighting installation in the two wings of the University.
Key words: LED lighting

1. Въведение

Нов български университет (НБУ) е български частен университет. Основната му база е разположена в София в две сгради (наричани 1-ви и 2-ри корпус), като притежава и други академични бази из страната, а също и собствена университетска библиотека.

Основни цели за повишаване на енергийната ефективност на осветлението в сградата на НБУ:



- Намаляване на енергийните разходи и облекчаване на бюджети чрез инвестиции с кратък срок на откупуване;
- Подобряване на микроклимата в университета и създаване на условия за нормално протичане на учебния процес;
- Възпитаване в необходимостта от ефективно използване на енергията;
- Намаляване на емисиите на вредни вещества в околната среда.

2. Същинска част

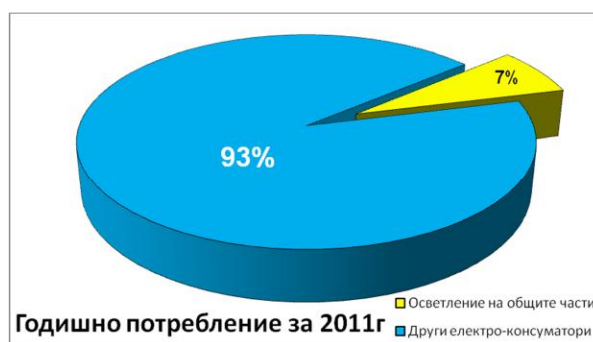
Съществуващата осветителна уредба на двата корпуса на сградата на Нов Български Университет беше изградена със стандартна електроинсталация, осветителните тела бяха разнообразни, но морално остарели. Цялата осветителна система е изпълнена с конвенционални баласта (дросели) и с

луминесцентни лампи Т8. В следствие на това, КПД на осветителните тела става изключително ниско и неефективно, а светлинният поток е нестабилен. На места междуетажните площадки не са осветени.

На база данните от изготвения през 2009г доклад за енергиен одит на сградите на НБУ и допълнително получената справка от Стопанския отдел за консумацията на електроенергия през 2010 и 2011г може да се направят следните изводи:

- Относителният дял на консумираното електричество от осветлението на общите части на двете основни сгради – Корпус1 и Корпус2 е в рамките на 10% от общото потребление на електроенергия, което е в унисон с общоприетите норми при енергиен баланс.

- Този дял проявява тренд към устойчиво намаляване спрямо общата консумация на електричество от сградите, като през 2011г, достига до 7% както се вижда от диаграмата :

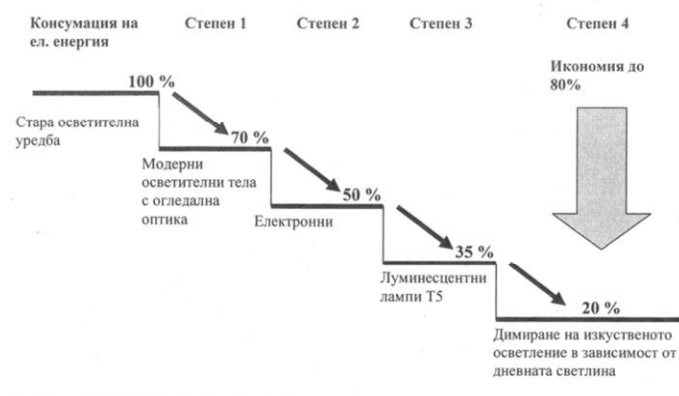


Основна причина за това е постепенното и трайно увеличаване на общата инсталирана мощност и в следствие на потребяваната енергия от останалите електро-консуматори, тъй като при направените огледи на място се установи, че за осветителната уредба не е предвидено дори контролно измерване на консумацията, а данните за потребеното електричество са апроксимирани на база инсталирана мощност, коефициенти на едновременност, изправност и времеползване за всеки вид осветителни тела. Така че тази величина е константна и е взета от докладите от обследването на двата корпуса и е 155 276 kWh за година. От тях 76 264 kWh е годишната консумация за осветление на общите пространства в 1ви корпус, а 79 012 kWh – във 2ри корпус. В тази връзка е добре на следващия етап от изпълнението на проекта, да се предвидят възможности за отчет на тази консумация, с цел верификация и точна количествена оценка на икономииите.

Сградния фонд е проектиран и изграден съобразно нормите, действащи през 70те години на миналия век, съответно и осветителната уредба е отговаряла на тогавашните изисквания и технически предписания. Факт е, че чрез всеобщия технически напредък в т.ч. и в осветителната техника са нараснали не само светлотехническите възможности, но са се повишили и изискванията към нея. Безспорно днес със значително по-нисък разход на енергия, може да се постигне по-високо ниво на осветеност. При реализация на саниране съобразно настоящите предписания тези разходи ще се понижат рязко

и поради факта, че цените на енергията имат трайна тенденция към повишаване, това е една сигурна инвестиция в бъдещето.

Потенциалът за икономия на електроенергия при саниране на стари осветителни уредби може да се илюстрира чрез следната графика:



Проекта има за цел модернизация и реновиране на осветителната инсталация в двата корпуса на университета, с цел постигане на нормите за осветеност по БДС EN 12464-1, подобряване на енергийната ефективност на сградите, като осигури минимални годишни разходи за целия период на експлоатация на осветителната уредба.

Изготвяне на цялостен проект за осветителна инсталация, който включва, нови захранващи линии от захранващите електрически табла, преработка на електрически табла, светотехнически изчисления за всички помещения за които по стандарт има изискване към осветеността и други параметри на осветлението. Изчисленията да бъдат направени на софтуерен продукт от последно поколение DIALux с пълна функционалност и точност.

На база на направените изчисления за броя и вида на осветителните тела във всяко помещение да се изградят необходимият брой лампени излази за захранване на предвидените осветителни тела. На места с цел по-добра функционалност, енергоефективност и комфорт може да се предвиди разделяне на осветителните тела в дадено помещение на отделно командвани групи.

Реализираните количествени и качествени показатели от предложения вариант са представени в следващите таблици.

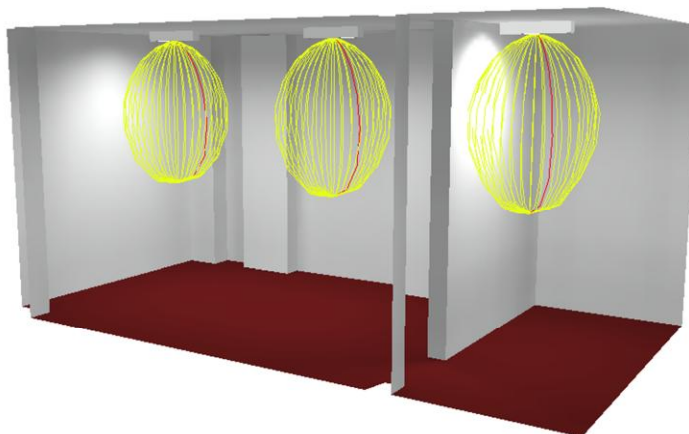
Коридор					
Повърхност	ρ коефициент на отражение [%]	$E_{ср}$ [lx] Средна осветеност	E_{min} [lx] Минимална осветеност	E_{max} [lx] Максимална осветеност	U_0 Обща равномерност
Работна повърхност	30	136	72	269	0.488
Под	30	106	56	168	0.496
Таван	70	28	23	29	0.750

Стени	50	49	25	68	/
-------	----	----	----	----	---

Санитарни помещения

Реализирането на санитарните помещения са направени със светодиодни осветителни тела 35W. Резултатите получени от изчисленията са показани в следващата таблица.

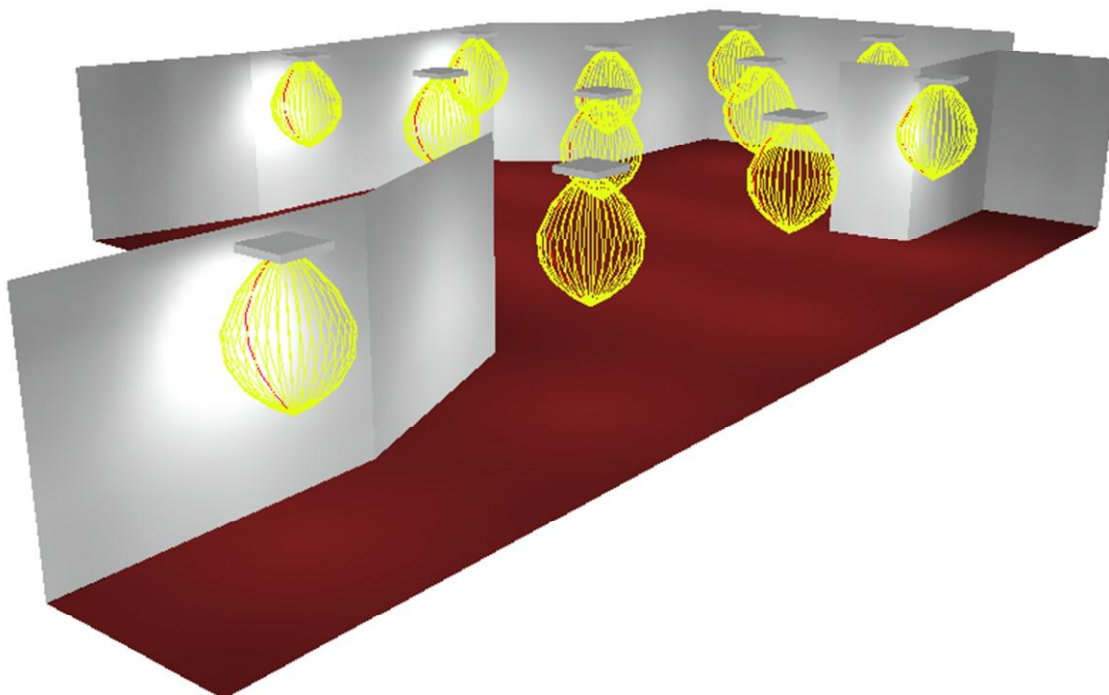
САНИТАРНИ ПОМЕЩЕНИЯ					
Повърхност	ρ [%] коэффициент на отражение	Еср [lx] Средна осветеност	Еmin [lx] Минимална осветеност	Еmax [lx] Максимална осветеност	Uo Обща равномерност
Работна повърхност	/	183	31	290	0.168
Под	20	143	33	189	0.389
Таван	70	37	20	99	0.533
Стени	50	80	17	1023	/



Фойе

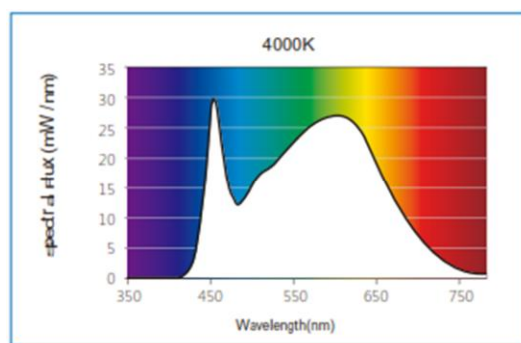
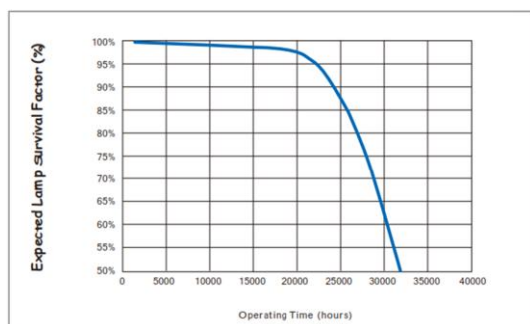
Реализираните количествени и качествени показатели са показани в таблицата

Фойета					
Повърхност	ρ [%] коэффициент на отражение	Еср [lx] Средна осветеност	Еmin [lx] Минимална осветеност	Еmax [lx] Максимална осветеност	Uo Обща равномерност
Работна повърхност	30	245	32	468	0.129
Под	30	209	36	324	0.375
Таван	70	43	17	89	0.403
Стени	50	86	19	467	/



3. Заключение

След много предложени идеини проекта, ръководството на Нов Български Университет избра да изпълним проекта с ново поколение светодиодни тръби Master LED tube GA[1].



Годишната използваемост на осветлението в университета е 3000 часа. С въвеждането на светодиодно осветление инсталираната мощност се намалява 2 пъти, годишните разходи – 3,5 пъти, гаранция на светлинните източниците – 5 години.

Авторите изказват благодарност на проекта ДУНК 01/3 за подкрепата при проведените проучвания.

ЛИТЕРАТУРА

[1] <http://www.lighting.philips.bg/>

Автори:

маг. инж. Ива Драганова, редовен докторант в катедра ЕСЕОЕТ, e-mail: ivadraganova@tu-sofia.

проф. д-р инж. Христо Василев – професор в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електрически транспорт” (ЕСЕОЕТ), email: hristo.vasilev@denima2001.com

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОПТИЧНИТЕ ЗАГУБИ НА СВЕТОДИОДНИ УЛИЧНИ ОСВЕТТЕЛИ

Ива Драганова

Резюме: Уличното осветление е неразделна част от инфраструктурата на всяко населено място. Основната му задача в градовете и населените места, а така също и на автомагистралите се явява обезпечаване на безопасността на предвижване на моторизираните превозни средства и пешеходците. Според изискванията стационарните улични осветителни уредби по пешеходните зони, улиците и магистралите трябва да създават такива условия за зрителната работа на водачите на пътно транспортни средства - (ПТС) и пешеходците, че да се осигури своевременното регистриране на появилите се препятствия в зоните за движение.

Ключови думи: Улично осветление

LOSS OF OPTICAL LED ROAD LUMINAIRES

Iva Draganova

Abstract: The application of LEDs in the street lighting offers many opportunities but requires development of new optical systems. The designers are tempted to achieve as wide light distribution curves as possible increasing that way the efficiency of luminaires being developed. This is achieved by spatial distribution of LEDs and /or by adding secondary optics – reflective or refractive. Often the expected benefits are estimated only based on analysis of secondary optics, disregarding additional components comprising the entire luminaire. The influence of internal reflection of the luminaire protective glass on the light distribution curve and lighting efficiency are discussed here. The internal reflection acts in a way that eliminates the benefits of very wide light distribution. The impacts of that phenomenon on the light distribution curve of the entire luminaire and on the quantitative indices of the road lighting are studied.

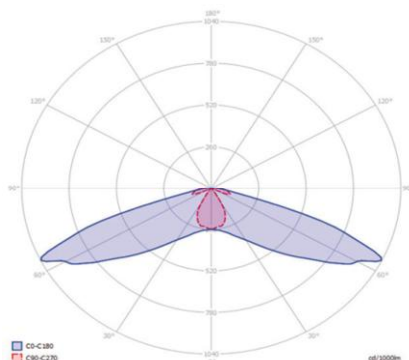
Key words: LED lighting,

1. Въведение

Известно е, че най разпространеният тип светлоразпределение за улични осветители е кривата BATWING, която в общи линии изглежда така както е показано на фигура 1.

Постигането на такъв тип светлоразпределение посредством използването на конвенционални светлинни източници вече не представлява особена трудност. Посредством използването на такъв тип СРК се постига равномерност на осветяване на пътното платно и значително лесно

удовлетворяване на количествените и качествени показатели при изготвянето на проекти за улично осветление.



Фигура 1. Светлоразпределителна крива BATWING.

На фигура 2. ясно се вижда как намалението на светлинният добив на светодиодите спрямо първоначалният базов се влияе от различни компоненти. Сортирането на светодиодите по бин както и получаването на топлобяла светлина с индекс на цвето предаване $Ra=70$ водят до намаляване на светлинния добив с около 8%. Влиянието на експлоатационният фактор и термичното влияние върху светлинния добив е доста по усезаемо и достига до 20%.

Фактори влияещи върху ефективността на светодиодните осветители	Намаление на светлинния добив [%]	lm/W
Светодиод	База 100 %	160
Сортиране на светодиодите по бин	-8 %	147
Термично влияние ($25^{\circ}\text{C} \rightarrow 55^{\circ}\text{C}$)	-8 %	135
Загуби в драйвера	-12 %	125
Загуби в оптичната леща	- 12 %	110
Загуби в защитното стъкло	- 10 %	99
Експлоатационен фактор $MF=70\%$	-20 %	70 lm/W

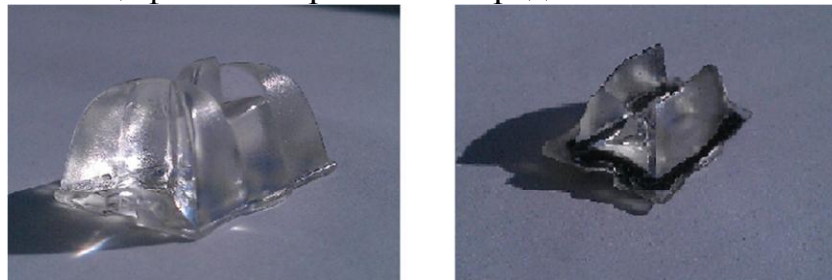
Фигура 2. Фактори влияещи на ефективността на светодиодите.

Оптичен к.п.д.

Светодиодите имат Ламбертово светлоразпределение – излъчваният поток е разпределен в ъгъл от 120° , което чрез използването на оптични лещи се преобразува в типичното светлоразпределение за уличните осветители. Уличните осветители с класически светлинни източници (НЛВН, КЛЛ, МХЛ) се характеризират с много "разпиляна" светлина, попадаща върху фасадите на сградите и околните пространства. При светодиодните осветители, благодарение на оптичните лещи почти цялото количество светлина, излъчено от светодиодите се насочва върху уличното платно и

удовлетворяването на показателя SR. За някои оптични лещи, при определени геометрии на уличната уредба, това е проблем. Чрез намалената разпиляна светлина се създават предпоставки за намаляване на необходимия светлинен поток до 20 – 25%. Това е едно от съществените преимущества на оптични лещи при светодиодното осветление.

Коефициента на полезно действие на вторичните лещи използвани за прецизно насочване на светлинният поток в желаните координати обикновено има стойности от 85% - 90%. В процеса на работа се получава пожълтяване в следствие на стареенето на лещите, както и замърсяване породено от спецификата на работната среда.



Фигура 3. Оптични лещи за светодиоди

Термичен мениджмънт

Когато се задава мощността на осветителя, трябва да се определи какво количество топлина ще се отдели от монтираните светодиоди в корпуса, за да се осигури достатъчно голяма повърхност, която да разсее тази топлина в пространството и да осигури нормални условия за работа на светодиодите. Веднага ще уточним, че под нормална работа в дадения случай авторите приемат 55°C. Може да има много предложения и съображения – напр. 60° - 65° или че се разработват светодиоди, които ще работят нормално при 120°C, но ние приемаме това, което е сигурно днес.

Днес се знае, че съгласно изследвания на Thomas Kuhn et all. и много други, най – ефективно светлоотдаване и най – дълъг живот имат светодиоди, работещи при температура на р – n прехода (T_j) около 55°C. Конструкторът трябва да има информация за това, дали T_j ще бъде надвишена по време на работа на осветителя или не.

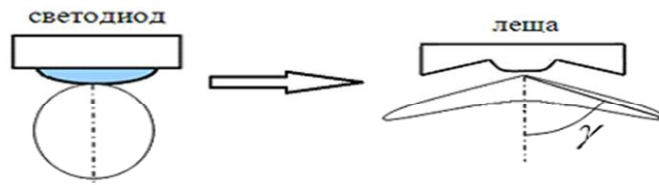
Типичният светодиод със светлинен добив от 135 lm/W произвежда около 35% видима светлина и 65% топлина. При следващо повишаване на светлинния добив, относителния дял на топлината непрекъснато ще намалява. Специално при високомощните LED е много важно да се отведе тази топлина чрез охладител или, по – общо казано с терминологията, наложила се в света, с подходящ топлинен мениджмънт. Без добро топлинно разсейване се дават предпоставки за негативната промяна на характеристиките на светодиодите.

2. Същинска част

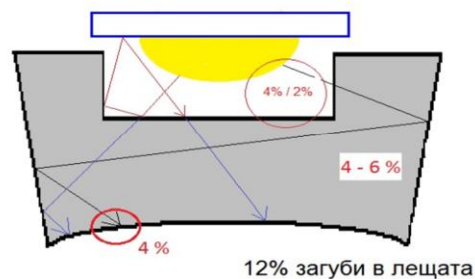
Наличието на плоско защитно стъкло в уличните осветители е съпроводено с ефект на вътрешно отражение, чието влияние не може да бъде пренебрегнато.

Този ефект е толкова по-силен, колкото по-широка е СРК на осветителя. Голяма част от светлинния поток, пренасочен от оптичната система под голям ъгъл спрямо нормалата се отразява от защитното стъкло навътре към осветителя, като по този начин една част от потока се губи, а друга се излъчва през защитното стъкло като дифузна компонента.

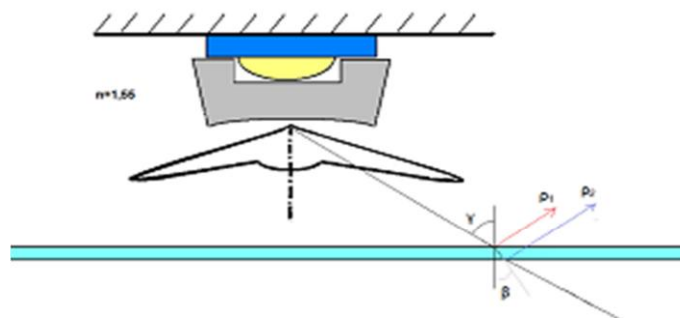
Основната светлотехническа задача е да се преобразува „естественото“ светлоразпределение на светодиода до желаното светлоразпределение на осветителя



Загуби в лещата



Загуби в плоското стъкло



При класическите осветители задължително се използва защитно стъкло играе ролята на разсейвател на осветителя. Светлината от светодиодите, пречупена на определен ъгъл от лещите или отражателите на основната оптична система, трябва да премине през защитното стъкло, където обаче част от нея се поглъща, част се пропуска, а част се отразява на обратно.

Методика на изчисление

- Определяне на ъгъла на пречупване на светлината β

- Изчисляване коефициента на отражение от вътрешната част на стъклото ρ_1
- Изчисляване коефициента на отражение от външната част на стъклото ρ_2
- Изчисляване на сумарния коефициента на отражение на стъклото

$$(1) \quad \rho_{\Sigma} = \rho_1 + \rho_2 \times 0.985$$

Коефициенти на отражение

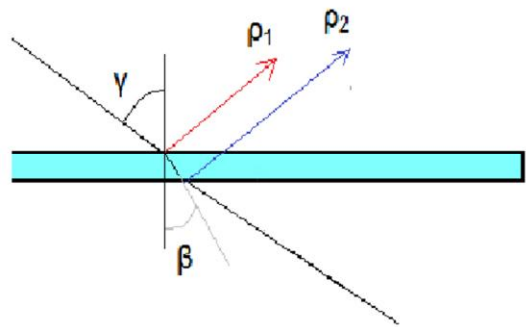
$$(2) \quad r_{1(c=0\div 45)} = \left[\frac{n_1 - 1}{n_1 + 1} \right]^2$$

$$(3) \quad r_1 = 0.5 \times \left[\frac{\sin^2(a - b)}{\sin^2(a + b)} + \frac{\text{tg}^2(a - b)}{\text{tg}^2(a + b)} \right]$$

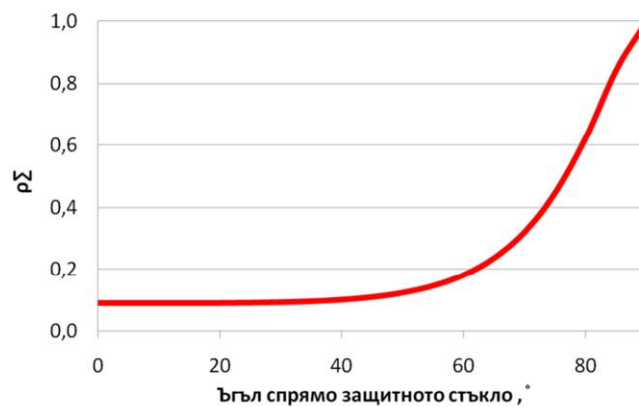
$$(4) \quad \sin a = n \times \sin b$$

$$(5) \quad b = \arcsin \left[\frac{\sin a}{n} \right]$$

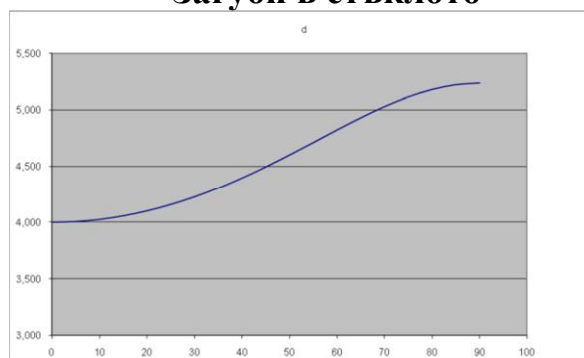
$$(6) \quad r_2 = 0.5 \times (1 - a_{\text{поглъщане}})^2 \times (1 - r_1) \times \left[\frac{\sin^2(a - b)}{\sin^2(a + b)} + \frac{\text{tg}^2(a - b)}{\text{tg}^2(a + b)} \right]$$

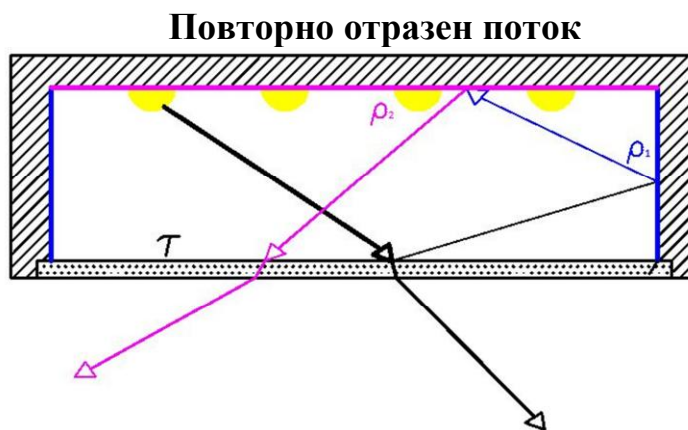


Влияние на отражението на отражението от ъгъла на падане на светлината



Загуби в стъклото





Φ пропуснат от стъклото = 81.02%

Φ повторно отразен = 54%

3. Заключение

При оценка на ефективността на дадена оптична система, е необходимо да се отчита не само влиянието на лещите или отражателя, а и на защитното стъкло и страничните повърхнини на осветителя, тъй като те могат да променят сериозно ефективността на целия осветител заради вътрешното отражение и намаления коефициент на пропускане. Ефектът е толкова по-силен, колкото поразперена е СРК. Този ефект може да бъде преодолян, като се използва подходящ разсейвател, върху които светлината да пада по нормалата за всички пространствени ъгли.

Авторите изказват благодарност на проекта ДУНК 01/3 за подкрепата при проведените проучвания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ALUMINIUM - REFLEKTOREN FÜR DIE LANGLEBIGE RUNKTLICHTQUELLE www.alux-luxar.de, LICHT,4 2011
- [2] Farchtchian N,LED-Kaltlichtquelle für faseoptische Systeme, LICHT 2010, Wien
- [3] Belloni P, Vazquez- Molini D., Fernandez- Balbuena A., Neuentwicklung von Holichtleiter system mitt verbessereetem Wirkungsgrad, LICHT 2010, Wien
- [4] Jordanow W, Effiziente Entwicklung nichtabbildender Beleuchtungsaptiken mit Hilfe von Raysets

Автори:

маг. инж. Ива Драганова, редовен докторант в катедра ЕСЕОЕТ, e-mail: ivadraganova@tu-sofia.

ИЗСЛЕВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА УЛИЧНИ ОСВЕТИТЕЛИ С ПЛОСКО И ИЗПЪКНАЛО СЪГКЛО

Христо Василев, Вълчан Георгиев, Ива Драганова

Резюме: Интензивното развитие, големия брой светодиодни модификации и липсата на натрупан опит и рутинa определят и основните проблеми при проектиране и конструиране на светодиодни осветители. Светодиодните източници се различават по светлотехнически и експлоатационни характеристики от конвенционалните лампи и концепциите, прилагани при конструиране на осветители с конвенционални лампи, в общия случай, не са приложими при разработване на светодиодни осветители.

Ключови думи: Улично осветление

ENERGY AND PHOTOMETRIC PARAMETERS OF ROAD LUMINAIRES WITH FLAT AND CURVED GLASS

Hristo Vasilev, Vultchan Gueorgiev, Iva Draganova

Abstract: In the near future the street lighting will be implemented mainly with LED luminaires. Construction of such luminaires differ from that of luminaires with conventional lamp types because of the many reasons.

Key words: Street lighting

1. Въведение

При проектиране на нови оптични системи, усилията са съсредоточени само върху основната оптика – леща или отражател, като се пренебрегват много от считаните за несъществени фактори. Така е възможно, в стремежа си да получат колкото е възможно по-широка крива, изследователите да предложат техническо решение, което има лоши параметри, след действителна реализация.

При класическите осветители задължително се използва защитно стъкло, което да отдели светлинния източник от околната среда. То играе ролята на разсейвател на осветителя. В уличното осветление се поставят високи изисквания за степента на защита (изисква се най-малко IP54, но се предпочита IP65), което означава, че тази ситуация ще се запази и при светодиодните осветители, т.е. и при тях няма да може да се разчита само на лещите, а ще трябва те да се предпазят от прах и влага чрез защитно стъкло. Светлината от светодиодите, пречупена на определен ъгъл от лещите или отражателите на основната оптична система, трябва да премине през защитното стъкло, където обаче част от нея се поглъща, част се пропуска, а част се отразява на обратно.

Само коефициентът на поглъщане може да се счита за константа, независеща от светоразпределението и е приблизително 1% за 1 mm просветлено стъкло (1 mm просветлено стъкло, с дебелина 1 mm ще погълне 1% от падащата върху него светлина). Типичната дебелина на защитно стъкло е 4 mm, освен това, за да се намали цената, не се използва просветлено стъкло, а закалено такова с нормални оптични свойства, затова коефициентът на поглъщане е в диапазона 4-6 %. Използването на други материали – ПММА, плексиглас и пр. се избягва не само защото имат по-лош коефициент на пропускане, а и заради други недостатъци – жълтеене и неустойчивост на абразивното действие на уличния прах.



Как да намалим загубите в защитното стъкло при улични светодиодни осветители

2. Същинска част

При оценка на ефективността на дадена оптична система, е необходимо да се отчита не само влиянието на лещите или отражателя, а и на защитното стъкло, тъй като то може да промени сериозно ефективността на целия осветител заради вътрешното отражение и намаления коефициент на пропускане [3,4]. Ефектът е толкова по-силен, колкото по-разперена е СРК. При особено големи ъгли на максимален интензитет – над 67° , ефективен осветител може да се получи само с изпъкнало защитно стъкло, което да елиминира гореспоменатите ефекти.

Последователност на решение на задачата

1. Интензитет, пропуснат през стъклото

$$I_{\text{пропуснат}} = I_{\text{леща}} \times (1 - R_G)$$

Където:

R_G – коефициент на отражение от стъкло, изчислен за различните стойности на ъгъла на падане на светлината

$I_{\text{леща}}$ – Интензитет на светлината от лещата за различните стойности на ъглите γ и C .

2. Интензитет, отразен от стъклото навътре в осветителя

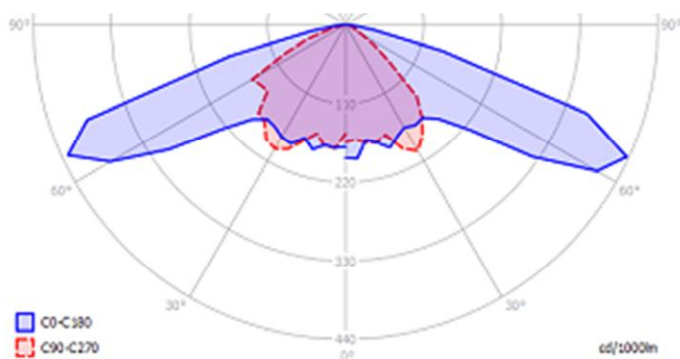
$$I_{\text{отразен}} = I_{\text{леща}} \times R_G$$

3. Изчисляване на светлинния поток, пропуснат през стъклото

$$\Phi_{\text{пропуснат}} = \frac{2\pi \times I_{\text{пропуснат}} \times [\cos(\gamma - 2,5^\circ) - \cos(\gamma + 2,5^\circ)]}{24}$$

gamma	C 0°	C 30°	C 60°	C 90°	C 120°	C 150°	C 180°	C 210°	C 240°	C 270°	C 300°	C 330°	C 360°
0	188,0	168,8	165,2	168,8	193,4	184,3	203,4	177,9	200,7	180,7	201,6	188,0	188,0
5	189,7	191,5	186,0	190,6	198,8	182,4	205,1	196,0	193,3	177,8	189,7	190,6	189,7
10	187,5	185,6	187,5	188,4	185,6	177,4	180,2	184,7	186,6	183,8	178,4	184,7	187,5
15	196,9	189,6	186,8	174,1	176,8	185,0	186,8	187,7	188,7	185,9	177,7	190,5	196,9
20	184,1	190,5	185,0	187,7	185,0	188,7	198,7	189,6	185,0	179,6	187,7	186,8	184,1
25	198,3	194,7	195,6	206,5	200,2	200,2	187,4	189,3	204,7	206,5	202,0	182,9	198,3
30	194,9	204,9	206,7	214,0	211,3	208,5	179,5	189,5	205,8	217,6	211,3	197,7	194,9
35	186,5	221,8	228,2	208,2	227,2	216,4	183,8	201,9	210,1	201,9	220,9	214,6	186,5
40	183,0	229,8	224,4	188,4	226,2	225,3	180,3	209,1	210,0	178,5	216,3	216,3	183,0
45	194,7	258,0	230,3	182,2	224,1	247,3	193,8	202,7	163,5	151,1	161,7	206,3	194,7
50	228,5	296,0	243,4	149,6	237,3	285,5	230,2	189,9	105,7	89,1	106,6	187,3	228,5
55	292,2	356,7	253,4	147,4	251,6	332,8	312,3	132,1	70,6	56,0	71,4	130,4	292,2
60	353,3	430,3	265,8	146,2	277,2	415,6	377,1	72,6	40,7	31,6	41,5	75,9	353,3
65	370,1	484,5	244,9	86,1	247,2	483,8	374,7	48,0	21,2	19,7	23,5	48,7	370,1
70	296,2	402,2	157,7	49,0	165,2	366,9	277,2	32,7	18,5	18,5	19,2	34,8	296,2
75	108,6	192,2	58,7	18,9	61,5	178,3	91,9	18,3	13,7	13,3	13,9	20,0	108,6
80	24,8	48,7	7,9	6,6	8,4	48,2	21,0	8,6	6,9	7,0	6,9	8,7	24,8
85	4,9	10,7	3,0	3,0	3,0	9,9	4,4	3,4	3,2	3,2	3,1	3,4	4,9
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Светлоразпределителна крива при изпъкнато стъкло



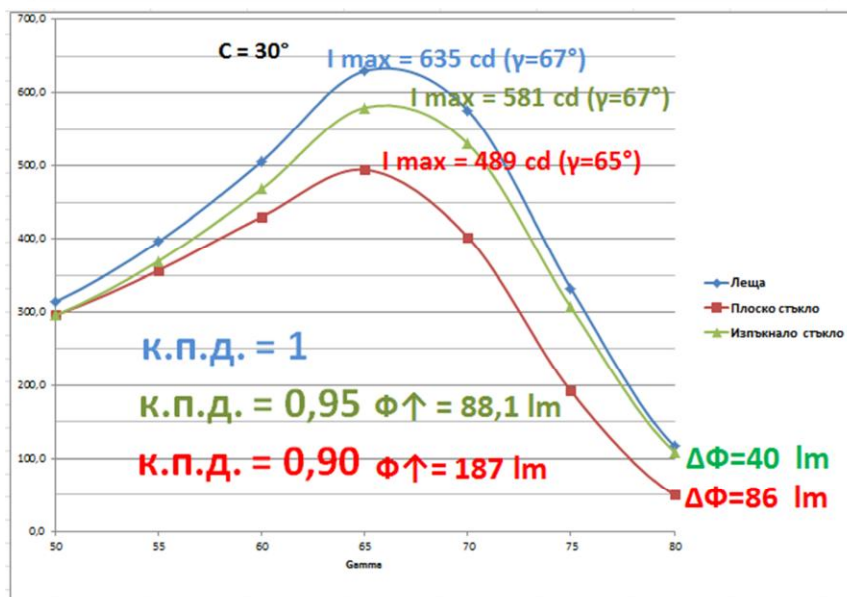
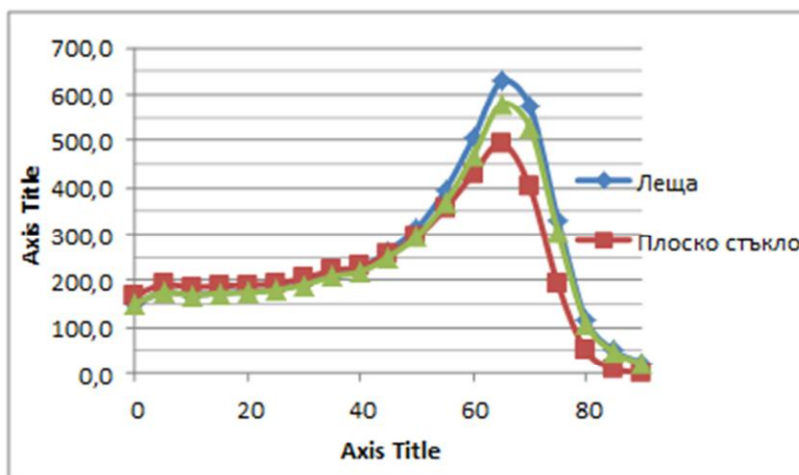
Физпъкнато стъкло = 946.5 lm $E_{sp} = 5.3lx$

gamma	C 0°	C 30°	C 60°	C 90°	C 120°	C 150°	C 180°	C 210°	C 240°	C 270°	C 300°	C 330°	C 360°
0	170,9	151,8	148,1	151,8	176,3	167,2	186,4	160,9	183,6	163,6	184,5	170,9	188,0
5	172,6	174,5	169,0	173,6	181,8	165,4	188,1	179,0	176,3	160,8	172,6	173,6	189,7
10	170,6	168,8	170,6	171,6	168,8	160,6	163,4	167,9	169,7	167,0	161,5	167,9	187,5
15	180,4	173,1	170,4	157,6	160,3	168,5	170,4	171,3	172,2	169,5	161,3	174,0	196,9
20	168,1	174,5	169,1	171,8	169,1	172,7	182,7	173,6	169,1	163,6	171,8	170,9	184,1
25	183,1	179,5	180,4	191,3	184,9	184,9	172,2	174,0	189,5	191,3	186,8	167,6	198,3
30	180,7	190,7	192,5	199,8	197,1	194,4	165,2	175,2	191,6	203,5	197,1	183,4	194,9
35	173,6	209,1	215,5	195,5	214,6	203,7	170,9	189,1	197,3	189,1	208,2	201,8	186,5
40	171,9	219,2	213,8	177,4	215,6	214,7	169,2	198,3	199,2	167,3	205,6	205,6	183,0
45	186,5	251,1	222,9	173,7	216,5	240,2	185,6	194,7	154,6	141,9	152,8	198,3	194,7
50	225,6	295,7	241,1	143,6	234,7	284,8	227,4	185,5	98,1	80,8	99,0	182,8	228,5
55	303,8	369,3	259,1	146,2	257,3	343,8	322,0	129,8	64,2	48,8	65,2	128,0	292,2
60	382,8	468,4	285,3	152,4	298,1	452,0	409,2	70,4	34,9	24,9	35,8	74,1	353,3
65	431,7	580,2	282,4	92,9	285,1	567,4	437,2	47,4	15,5	13,7	18,2	48,3	370,1
70	387,7	529,8	201,9	56,2	211,9	482,4	362,2	34,3	15,2	15,2	16,1	37,1	296,2
75	168,8	306,3	86,8	21,2	91,4	283,5	141,4	20,3	12,7	12,1	13,0	23,0	108,6
80	49,1	109,2	8,2	5,2	9,5	105,5	40,0	9,8	5,8	6,1	5,8	10,2	24,8
85	13,2	46,9	2,5	2,3	2,3	42,3	10,4	5,0	3,5	3,6	3,1	4,6	4,9
90	2,0	20,9	3,3	1,2	2,3	18,2	1,9	2,4	1,9	1,2	1,8	1,3	0,0

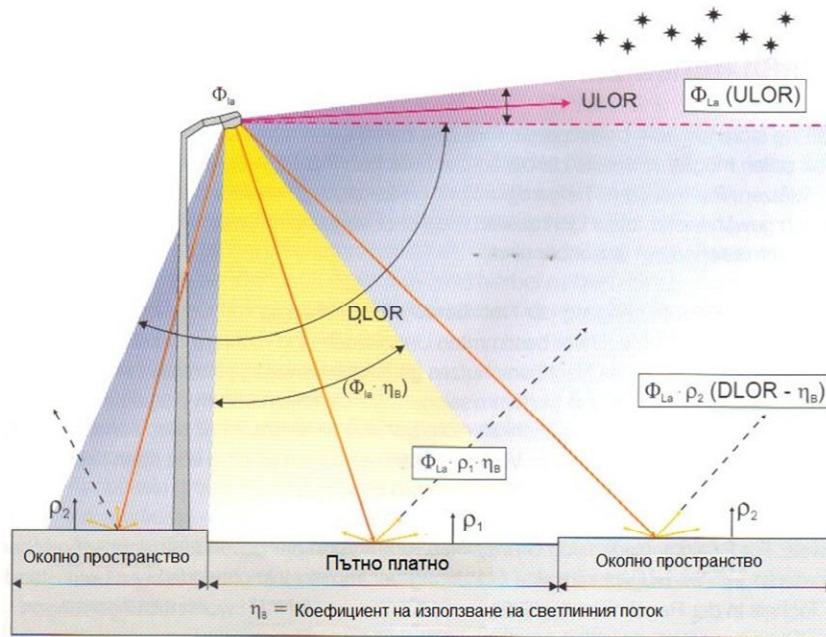
На следващата фигура са показани светлоразпределителните криви, в табличен и графичен вид, на светодиоден осветител с леща, с плоско стъкло и с изпъкнато стъкло. На една и съща координатна система са показани кривите в равнината C30. При това положение са определени основни светлотехнически

показатели на осветителната уредба, при положение, че се използват осветители с всяка от посочените СРК.

gamma°	I f(γ) от лещата C = I плоско 30°		
	стъкло C 30°	стъкло C 30°	изпъкнало стъкло C 30°
0	150.0	168.8	151.8
5	175.0	191.5	174.5
10	169.0	185.6	168.8
15	174.0	189.6	173.1
20	176.0	190.5	174.5
25	182.0	194.7	179.5
30	195.0	204.9	190.7
35	216.0	221.8	209.1
40	228.0	229.8	219.2
45	264.0	258.0	251.1
50	314.0	296.0	295.7
55	396.0	356.7	369.3
60	506.0	430.3	468.4
65	630.0	494.5	580.2
70	576.0	402.2	529.8
75	332.0	192.2	306.3
80	117.0	49.7	109.2
85	50.0	10.7	46.9
90	23.0	0.0	20.9



Светлинно замърсяване



Проектодоклад на СИЕ

$$UPF = E_{cp} x S \left[\frac{ULOR}{K_{II}} + r_1 + r_2 \left(\frac{DLOR}{K_{II}} - 1 \right) \right];$$

$K_{II} = h_B$ - коефициент на използване на светлинния поток на осветителната уредба;

UPF – поток излъчен в горната полусфера от осветителя;

$$UPF_{изн} = E_{cp} x S \left[\frac{ULOR}{K_{II}} + r_1 + r_2 \left(\frac{DLOR}{K_{II}} - 1 \right) \right] = 493.2 \text{ lm}$$

$$UPF_{плоско} = E_{cp} x S \left[\frac{ULOR}{K_{II}} + r_1 + r_2 \left(\frac{DLOR}{K_{II}} - 1 \right) \right] = 519.5 \text{ lm}$$

3. Заключение

Наличието на плоско защитно стъкло в уличните осветители е съпроводено с ефект на вътрешно отражение, чието влияние не може да бъде пренебрегнато.

Този ефект е толкова по-силен, колкото по-широка е СРК на осветителя.

Голяма част от светлинния поток, пренасочен от оптичната система под голям ъгъл ($g > 60^\circ$) спрямо нормалата се отразява от защитното стъкло навътре към осветителя, като по този начин се губи.

Този ефект може да бъде преодолян, като се използва изпъкнало защитно стъкло, върху което, светлината на осветителя да пада приблизително нормално за всички пространствени ъгли.

- Намаляване на енергийните разходи с 12%
- Намаляване на мощността с 12%
- Намаляване на себестойността на осветител с 6%
- Намаляване на светлинното замърсяване

Авторите изказват благодарност на проекта ДУНК 01/3 за подкрепата при проведените проучвания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Richter Ch., Status der LED im Umfeld der energieeffizienten Straßenbeleuchtung. LICHT 2010, Wien
- [2] Жань В., Хуа Ш., О рабочих характеристиках светильников со светодиодам в КНР, Светотехника, 3, С29-31, 2010.
- [3] Кончи Икеда, Расчет компактного светильника с учетом многократных отражений между лампой и отражателем, Светотехника, №4, 2009, с. 52-56.
- [4] Шварц П., Экономические и экологические недостатки дорожново освещение светильниками с плоским защитным стеклом. Светотехника, 4, 2009, с28-30

Автори:

проф. д-р инж. Христо Василев – професор в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електрически транспорт” (ЕСЕОЕТ), email: hristo.vasilev@denima2001.com

доц. Вълчан Тодоров Георгиев, катедра ЕСЕОЕТ, e-mail: vulchy@tu-sofia.bg

маг. инж. Ива Драганова, редовен докторант в катедра ЕСЕОЕТ, e-mail: ivadraganova@tu-sofia.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА СЛЪНЦЕНАСОЧВАЩИ ЩОРИ

Борислав Бойчев, Харалан Пенев, Вълчан Георгиев

***Резюме:** В доклада е описана разработена в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт”(ЕСЕОЕТ) на ТУ-София система за енергоефективно управление на слънцenasочващи щори. Системата се състои от микропроцесор, който с помощта на zero-cross схема управлява 8 щори .*

***Ключови думи:** енергийна ефективност*

ENERGY EFFICIENT CONTROL OF SUN GUIDING BLINDS

Borislav Boychev, Haralan Penev, Valchan Georgiev

***Abstract:** The current paper presents a system for energy efficient control of sun guiding blinds, developed in the “Electrical Power Supply, Electrical Equipment and Electrical Transport” department of the Technical University – Sofia. The system consists of microprocessor, which by using zero-cross circuit controls 8 blinds.*

***Key words:** energy efficiency*

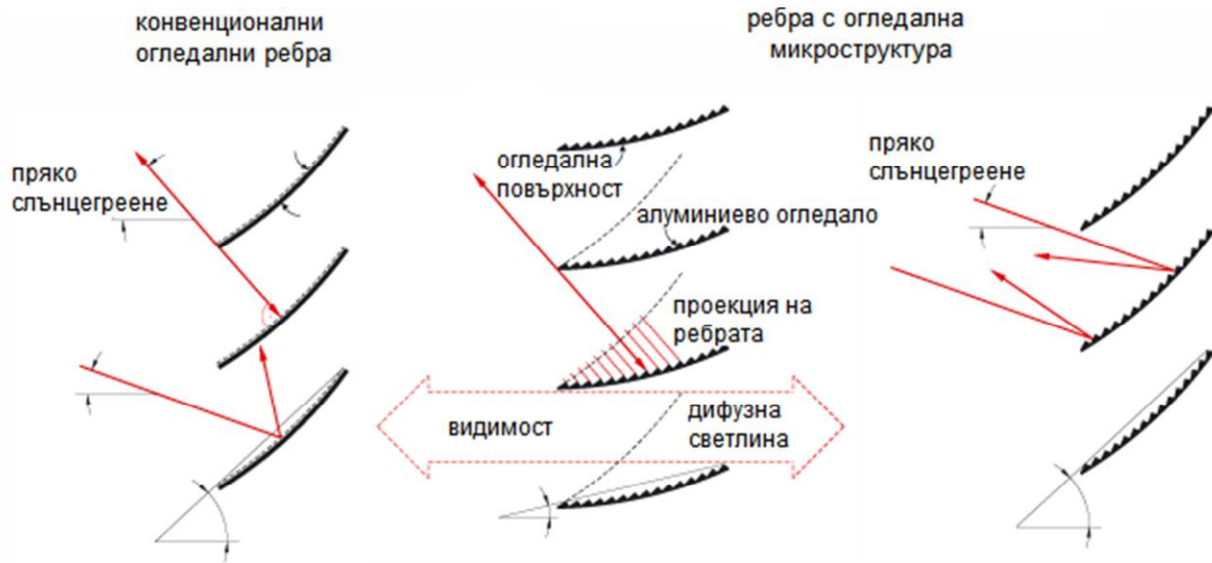
1. Въведение

Използването на естествената слънчева светлина е важен фактор при повишаване на енергийната ефективност на сгради. Рационалното управление на навлизащата в сградата слънчева радиация дава възможност да се оптимизират разходите както за осветление, така и за отопление на сградата. В допълнение към намаленото енергопотребление, управлението на естественото осветление води до повишаване на комфорта в сградата. Въпреки, че слънцenasочващи щори се предлагат от много години, доскоро тяхното използване беше икономически неоправдано заради високата им цена. В момента, необходимостта от повишаване на енергоефективността на сградите, както и променените нагласи на инвеститорите повишиха популярността на това решение, особено в големи офис-сгради. Чрез регулиране на ъгъла на завъртане на щорите се променя пропускаемата в сградата слънчева радиация, като в същото време се осигурява постоянна естествена осветеност, липса на заслепяване и намалено топлинно натоварване на сградата. Основната задача, която трябва да се реши е свързана с управлението на щорите—както по отношение на апаратните средства, така и по отношение на управляващия алгоритъм.

2. Същинска част

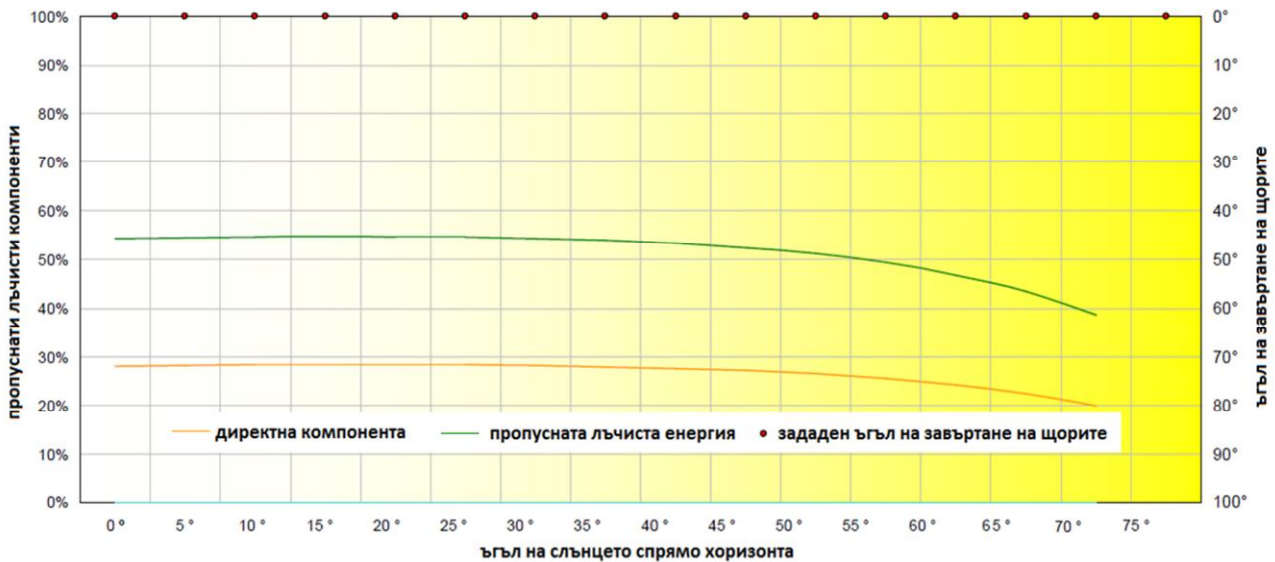
Съществуват различни видове слънцезащитни щори, но в настоящата публикация е обърнато внимание на предлаганите от фирма Retrosolar – RetroFlex 80. Основното предимство, което отличава разглежданите щори от

конвенционалните е използваната огледална микроструктура на ребрата(фиг. 1).

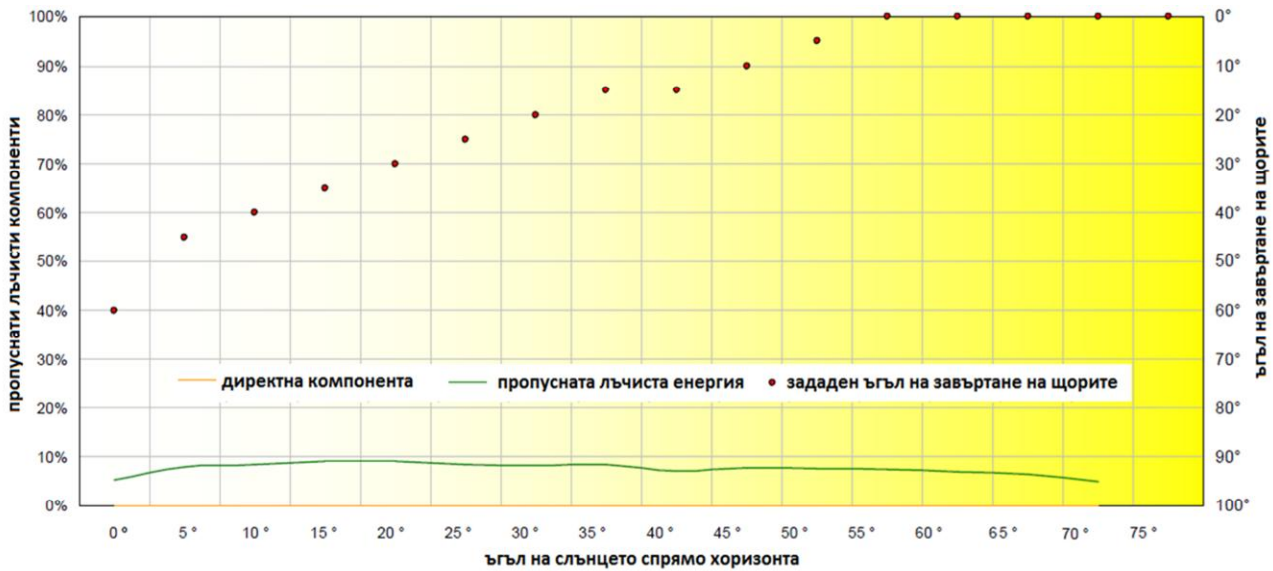


Фиг.1. Отражение на светлината при конвенционалните ребра и тези с огледална микроструктура [2]

Микроструктура е шампована в алуминия и следва математически изградено Фрешнел огледало със силно отдалечен фокус от външната страна (в посока навън). Гладката долна страна има бяла алуминиева повърхност. Цветът на повърхността е RAL 9010 с 86% обща дифузна рефлексивност на материала. На фигури 2 и 3 е онагледена разликата между прозорец със стъклопакет с нискоемисионно покритие, при който не са използвани щори и при същият прозорец но със щори с адаптивно управление.

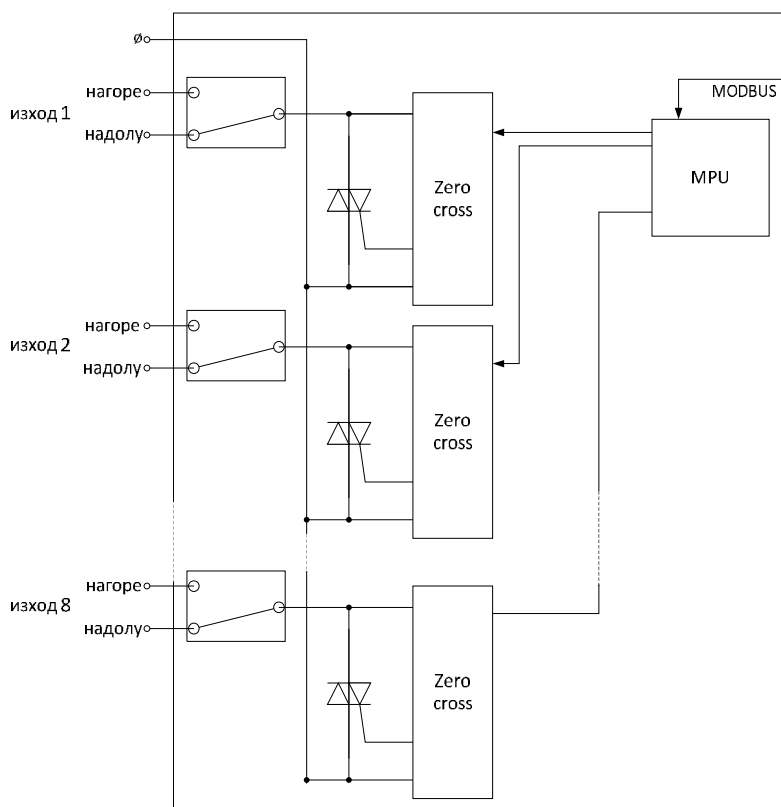


Фиг.2. Стъклопакет с нискоемисионно покритие (слънчев фактор 55%) без щори



Фиг.3. Стъклопакет с нискоемисионно покритие (слънчев фактор 55%) със щори с адаптивно управление

За задвижване на щорите са използвани 8 специализирани двигатели на фирма Elero тип JA 05 Soft. Двигателите на щорите работят на 230 V променливо напрежение и се въртят с постоянна ъглова скорост от $0.125^{\circ}/ms$ и нямат обратна връзка за положение. Това определя и основната особеност на тяхното управление: необходим е бърз контролер, който да подава управляващо въздействие в рамките на един полупериод, а отправна точка да се търси в крайно горно или крайно долно положение. Управлението на двигателите е



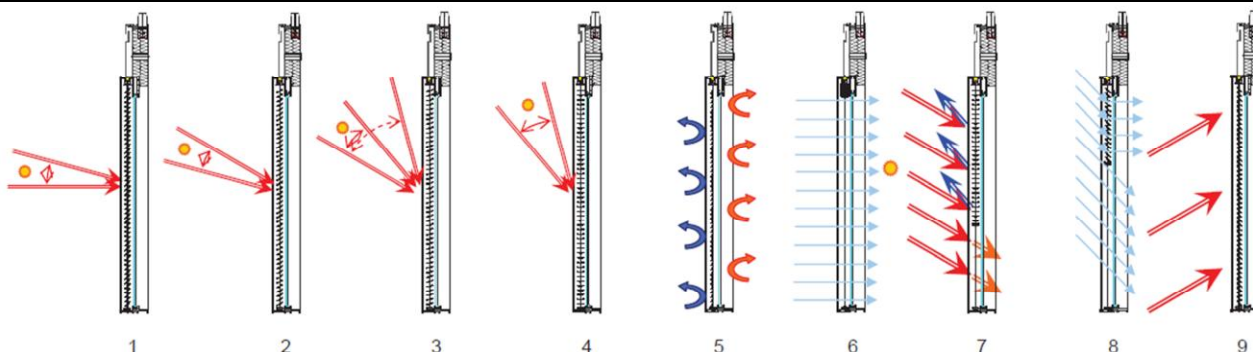
реализирано чрез микроконтролер със 8 изхода снабдени със zero-cross системи за определяне на началото на управляващото въздействие (Фиг.4). Реализираният контролер позволява връзка към налична SCADA или BMS система. Връзката се осъществява чрез стандартен MODBUS протокол.

Основните работни режими на щорите са дадени в таблица 1 и онагледени на фигура 5.

Фиг.4. Принципна блокова схема на контролера

Табл. 1

	Височина на слънцето над хоризонта	Ъгъл на позициониране на елементите на слънцезащитите
Основни режими при пряко огряване		
1	0°÷15° - ниско слънце	45°
2	15°÷30° - зимно слънце	30°
3	30°÷50° (или 72° летен сезон)	15°
4	50°÷72° - лятно слънце	0°
Други		
5	Ватворени слънцезащити –нощен режим/при нужда	70°÷75° (при нужда и нощно време, студен сезон)
6	Вдигнати слънцезащити	Предимно за облачно време с цел максимален пренос на светлина.
7	Лека облачност	Слънцезащити частично спуснати до 1,8 m височина от пода и преобърнати -5° до 45° наклон с цел пренасочване на светлина в дълбочина.
8	Вимен режим при ярко слънцегреене	Слънцезащитите са повдигнати на височина 1÷1,5 m. Горната част следва съответната активна програма.
9	Специален режим	45° - за използване като мултимедиен екран



Фиг.5. Работни режими на щорите

3. Заключение

Слънцезащитните щори осигуряват висока ефективност и комфорт. Нуждаят се от бърз контролер, интегриран към стандартните системи за сградна автоматизация, която да е в състояние да реализира сложен алгоритъм за управление.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ELERO JA 05 Soft – functional diagrams, parameters and installation.
 [2] <http://www.retrosolar.de>

Автори:

маг. инж. Борислав Бойчев – главен асистент в катедра Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт, email: bojchev@tu-sofia.bg

бак. инж. Харалан Пенев, редовен магистър в катедра Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт, email: hpenev@live.com

д-р инж. Вълчан Георгиев – доцент в катедра Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт, email: vulchy@tu-sofia.bg

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОПТИМАЛНИЯ ЕКСПЛОАТАЦИОНЕН ФАКТОР ПРИ ВЪТРЕШНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ

Вълчан Герогиев, Христо Василев, Ива Петринска, Ива Драганова

Резюме: Разглежда се проблемът за определяне на оптималния експлоатационен фактор във вътрешни осветителни уредби. Направен е опит за определяне на оптималната стойност на този фактор, при отчитане на конкретните икономически условия в страната за настоящия период. Критерий за определяне на оптимума е минимизиране на съвкупните разходи за осветителна уредба – от нейното проектиране до края на живота ѝ. **Ключови думи:** оптимален експлоатационен фактор, оптимална експлоатация на осветителна уредба

DETERMINATION OF OPTIMAL MAINTENANCE FACTOR FOR INDOOR LIGHTING

Vultchan Gueorgiev, Hristo Vasilev, Iva Petrinska, Iva Draganova

Abstract: The optimal value of the maintenance factor of indoor electric lighting systems is discussed in the paper. The optimum value is determined by taking into account the actual price-formation in the country. The total expenditure for the indoor lighting system, accumulated during its lifecycle, is considered as an optimization criteria.

Key words: optimal MF, optimal exploitation of indoor lighting

1. Въведение

Задаването на определена стойност на експлоатационния фактор (MF) е задължително при проектиране на нова осветителна уредба (ОУ). Сред проектантите в страната е разпространено мнението, че експлоатационния фактор е реципрочната стойност на използвана в миналото константа, а именно коефициент на запаса. Не се отчита факта, че именно с избора на стойността на експлоатационния фактор, се задават условията на експлоатация на осветителната уредба и задължителни действия по нейното обслужване. Това от своя страна се отразява на експлоатационните разходи за уредбата. Тъй като изчислителна осветеност се умножава по стойността на експлоатационния фактор преди да се сравни с нормената осветеност, MF влияе директно върху инсталираната осветителна мощност, а от там върху размера на инвестицията за осветителната уредба и бъдещите разходи за електроенергия.

В доклада се изчислява оптимална стойност на експлоатационния фактор, като се минимизират общите разходи за осветителната уредба – както първоначалните инвестиции, така и експлоатационните разходи по време на

целия живот на уредбата. При това са отчетени реални цени на отделните дейности по експлоатацията. Тези цени са упоменати по-долу в доклада. Изчисляването на експлоатационния фактор се определя от публикация на CIE [1] и се записва с долния израз:

$$(1) \quad MF = LLMF * LSF * LMF * RSRF$$

Тук:

- LLMF – определя намаляването на светлинния поток на лампите в процеса на експлоатация.
- LSF – определя процента на изгорелите лампи (в периодите между тяхната подмяна)
- LMF – определя деградацията на светлинния поток на осветителит вследствие замърсяване и стареене на оптичната система
- RSRF – определя намаляването на осветеността, дължащо се на замърсяването на повърхностите на помещението (стени, таван, под), което води до намаляване на коефициентите им на отражение, а следователно и на индиректната компонента на осветеността.

2. Постановка на задачата

Търси се минимум на сумарните разходи, направени за осветителната уредба през нейния живот. Тези разходи са съвкупност от пърначалните инвестиции K и годишни експлоатационни разходи. За да могат да се сравняват отделните варианти, всички разходи са приведени към момента на инвестиране в уредбата, според израза:

$$(2) \quad PV = K + \sum_{T=1}^{10} \frac{C_T}{(1+r)^T},$$

където:

- I PV – сумарни разходи, приведени към началния момент
- I K – първоначални инвестиции,
- I C_T – годишни разходи (през поредната T -та година),
- I $r=10\%$ - лихвен процент,
- I T – индекс, отчитащ поредната година.

При разглеждане на задачата са направени някои основни допускания:

- живота на уредбата е постоянен и е приет за 10 години;
- разгледани са само уредби, осветени с луминесцентни лампи, тип T5;
- индекса на помещението е приет за 0.8;
- нормена осветеност е приета равна на 500 lx;

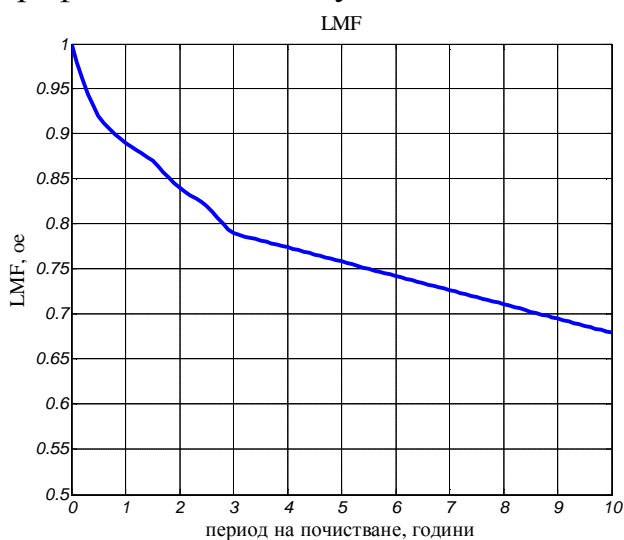
- приета е инсталирана мощност (при MF=1): $2.5 \frac{W}{m^2 100lx}$
- броят осветители е обратно пропорционален на MF;
- всички резултати са за 1 m² осветявана площ;
- Разглежда се само комбинирана подмяна на осветителите.
- Годишна използваемост на уредбата: 2500 часа.

Приети са следните цени на дейностите по експлоатация на вътрешни ОУ:

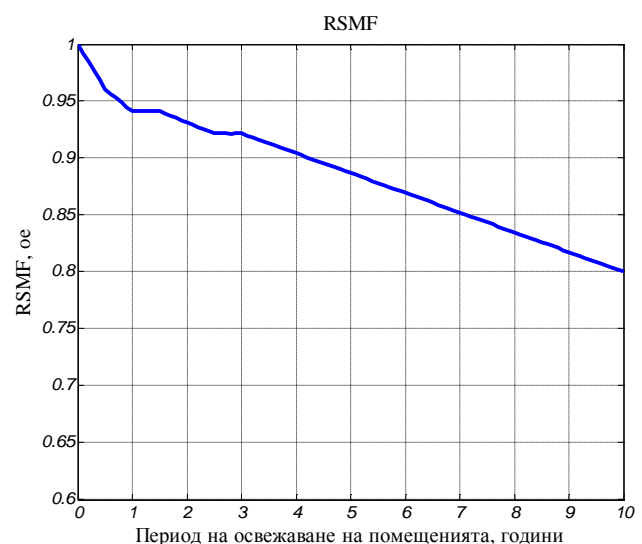
- Електроенергия: 0.22 лв/kWh;
- Осветител 4x14 W: 65 лв/брой;
- Инсталиране на осветител 4x14 W: 30 лв;
- Лампа T5: 4 лв.
- Подмяна на лампа: 0.65 лв;
- Почистване на лампа: 1.5 лв;
- Освежаване на помещение (боядисване): 10 лв/m²

3. Екстраполация на съставките на MF

Международната комисия по осветление в [1] дефинира съставките LMF и RSMF за относително кратки периоди от време – до 3 години. Очевидно този срок не се отговаря на масовата за нашата страна стратегия при експлоатация на вътрешни ОУ. Затова е извършена екстраполация на данните за LMF и RSMF. При това не е запазен трендът на изменение на съставките от известните три години, тъй като в такъв случай стойностите на тези съставки биха се намалили нереално много. Приетите екстраполационни стойности са дадени в графичен вид по-долу.



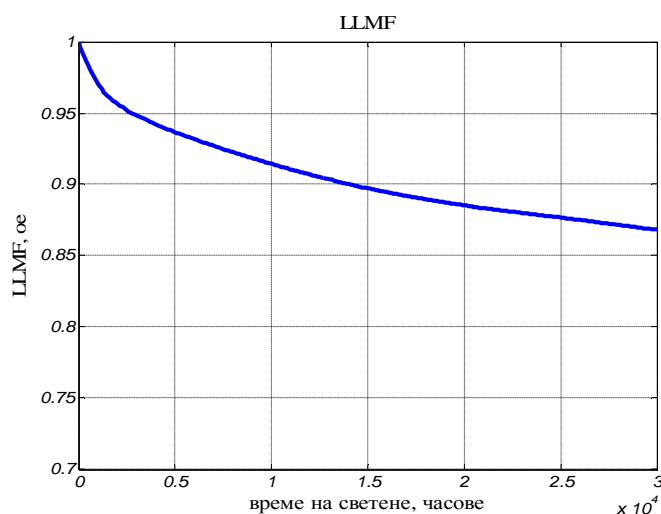
Фиг.1. Екстраполация на изменението на LMF за десет годишен период.



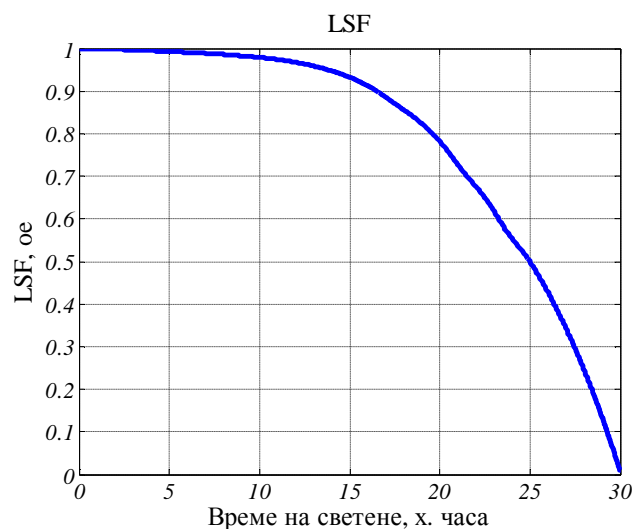
Фиг.2. Екстраполация на изменението на RSMF за десет годишен период.

Необходимо е да се спомене, че приетите екстраполационни трендове имат много голямо влияние върху оптималната стойност и е необходимо тяхното уточняване в бъдеще.

Останалите две съставки на експлоатационния фактор, а именно LLMF и LSF са определени за лампи тип LongLast™ T5 на GE [2]. Тяхното изменение е дадено на Фиг.3 и Фиг.4.



Фиг.3. Изменение на LLMF за живота на лампата (30 хил. часа).



Фиг.4. Вероятност за изгаряне на лампите LongLast™ T5. След 30 хил. часа, стойностите са екстраполирани.

4. Подход при решаване на задачата

След прилагане на споменатите по-горе допускания, се изчислява инсталираната мощност за зададеното ниво на осветеност. Ако се познава и експлоатационния фактор – MF, лесно може да се определи първоначалната инвестиция за всеки квадратен метър осветявана площ. Експлоатационният фактор обаче е функция на все още неопределените четири съставки. „Рекурентното „ естество на оптимизационната задачата изисква нетрадиционен подход при нейното решаване. Затова, влиянието на всяка от четирите съставки върху стойността на MF е изследвана по отделно (другите три съставки са считани за константа). Може да се счита, че се прилага модификация на метода с разделяне на променливите.

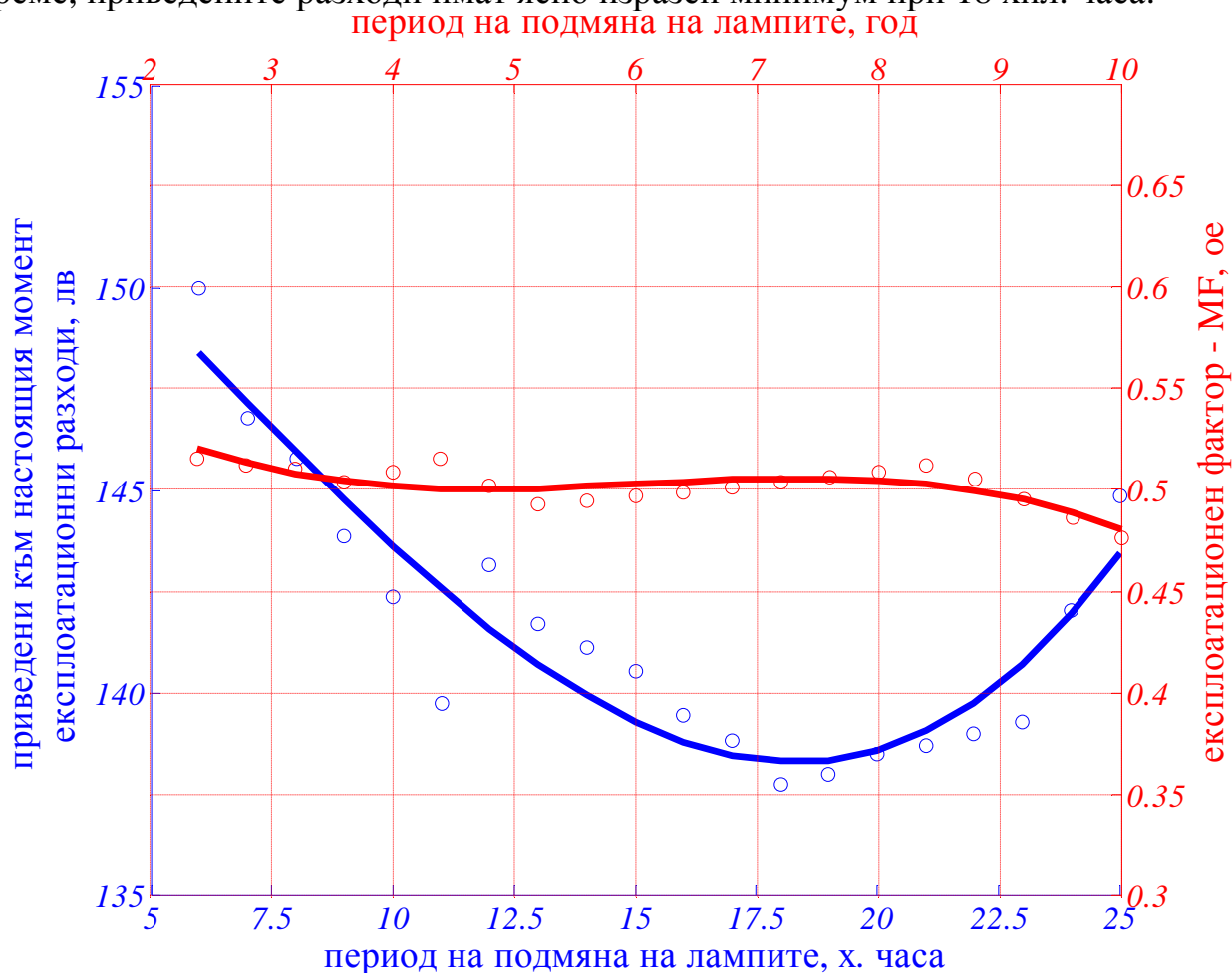
За всеки вид дейност по експлоатация на ОУ се изчисляват приведените разходи и стойността на MF, така че експлоатационната осветеност да не спада под нормената за целия живот на уредбата. Минимумът на приведените разходи определя експлоатационна стратегия, която се счита за оптимална и по-нататъшните изчисления се правят с нейното отчитане.

В началото, периодът на почистване на осветителите и периодът на освежаване на помещенията се приемат равни на живота на уредбата. Отчитайки деградацията на светлинния поток на лампата (Фиг.3.), се задават различни интервали на групова подмяна на лампите, така че експлоатационната осветеност да остава по-голяма или равна на 500 lx. Така всички съставки на MF са известни и могат да се определят приведените разходи – PV. Минимумът на приведените разходи определя период на групова подмяна, който се счита за оптимален и по-нататъшните изчисления се правят точно с тази стойност на периода на групова подмяна.

Факторът LSF се използва при определяне на експлоатационните разходи, но не и при определяне на броя осветители, тъй като при комбинирана подмяна, неговата стойност е $LSF=1$, а в доклада се разглежда само комбинирана подмяна.

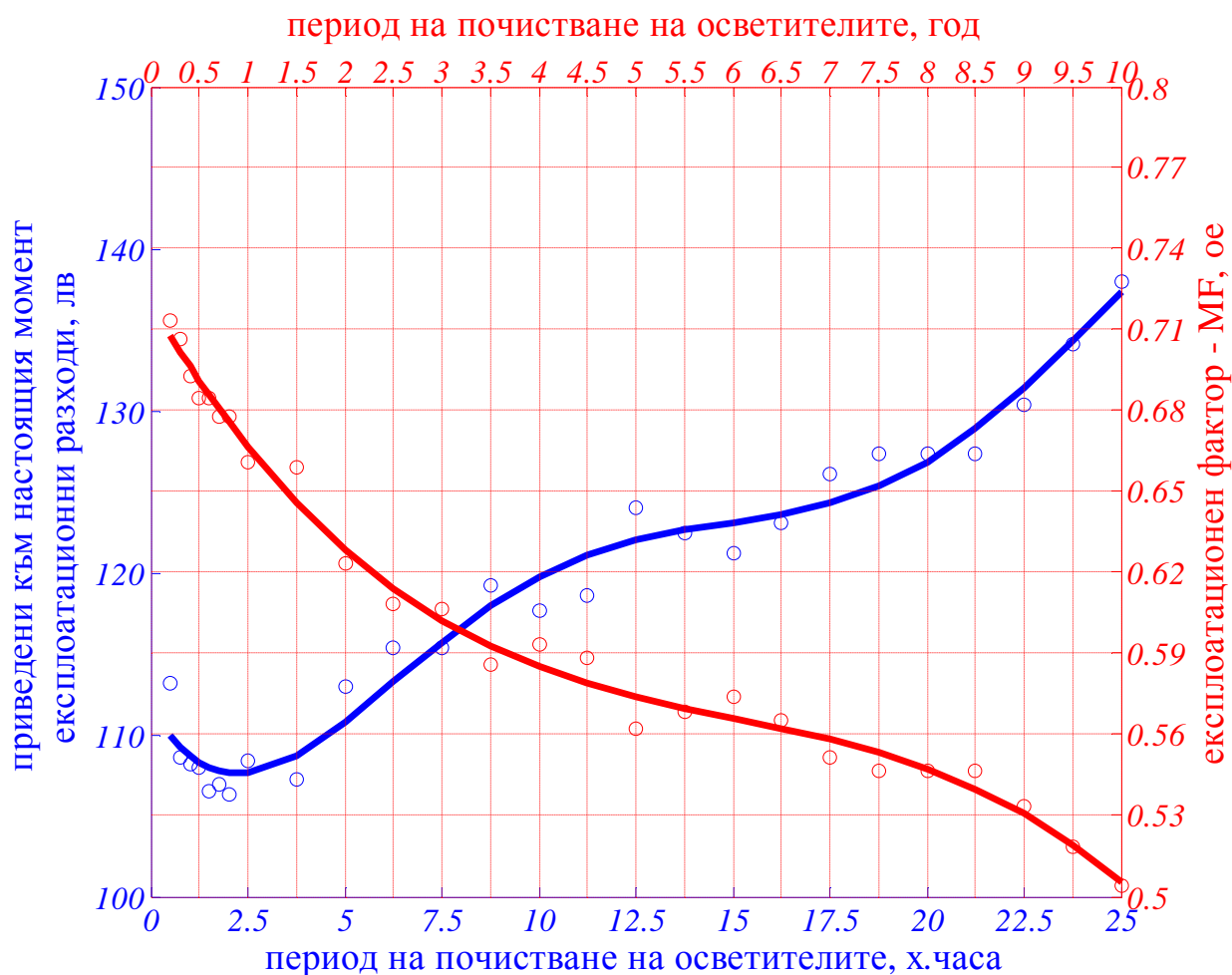
5. Резултати

Влиянието на периода на групова подмяна на лампите върху стойността на MF е показана на Фиг. 5. Върху лявата ос са дадени приведените експлоатационни разходи, а по лявата – стойността на MF. Извършена е интерполация на дискретните изчислителни резултати. Вижда се, че експлоатационният фактор има ниски стойности, слабо чувствителни към периода на подмяна. В същото време, приведените разходи имат ясно изразен минимум при 18 хил. часа.



Фиг.5. Влияние на периода на подмяна на лампите.

Влиянието на периода на почистване на осветителите е показана на Фиг. 6. Резултатите на фигурата са получени при период на групова подмяна, равен на приетата за оптимална стойност от 18 хил. часа. Експлоатационният фактор зависи силно от периода на почистване, а приведените разходи имат минимум при 2,5 хил. часа.



Фиг.6. Влияние на периода на почистване на осветителите.

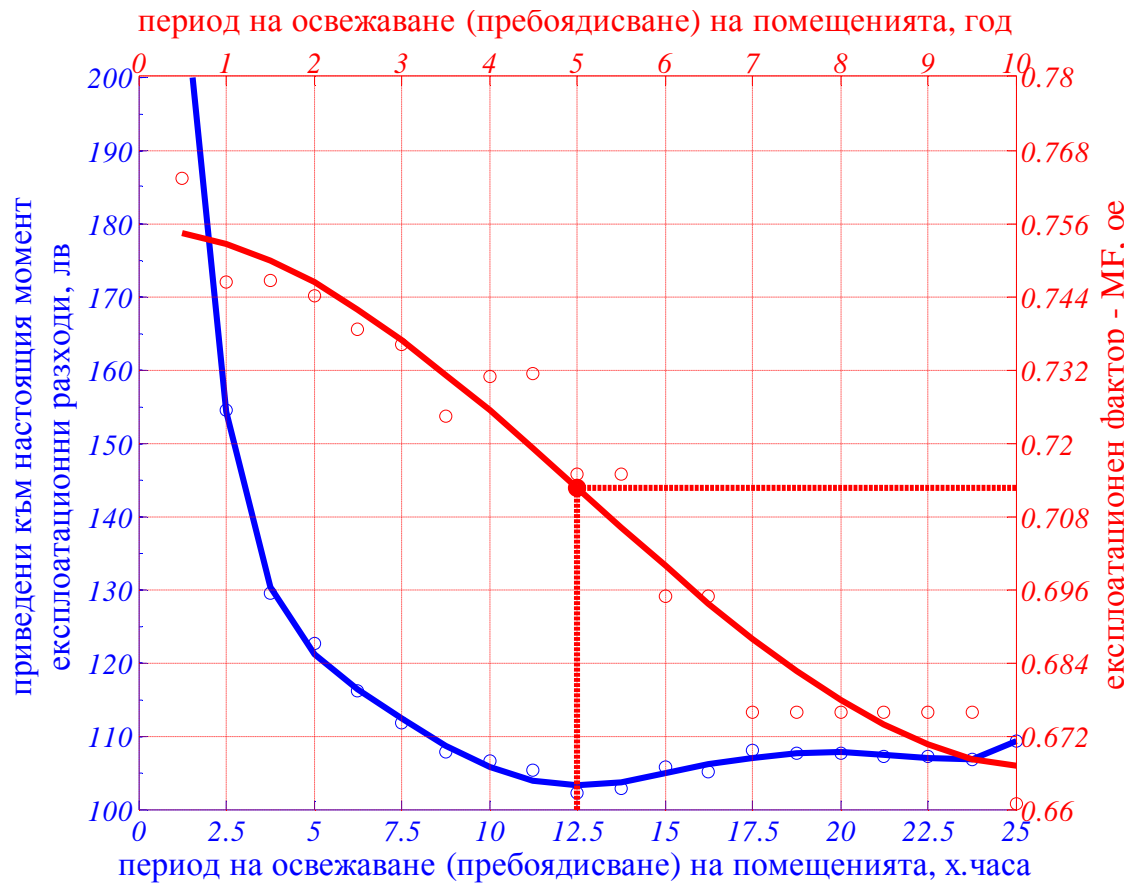
Влиянието на периода на освежаване на помещенията е показана на Фиг. 7. Резултатите на фигурата са получени при период на групова подмяна, равен на приетата за оптимална стойност от 18 хил. часа, а стойността на периода на почистване е 2,5 хил. часа.

Налице е полегат минимум при период на пребоядисване около 5 години. Забелязва се, че разходите се увеличават съвсем слабо, ако помещенията не се пребоядисат изобщо за период от 10 години.

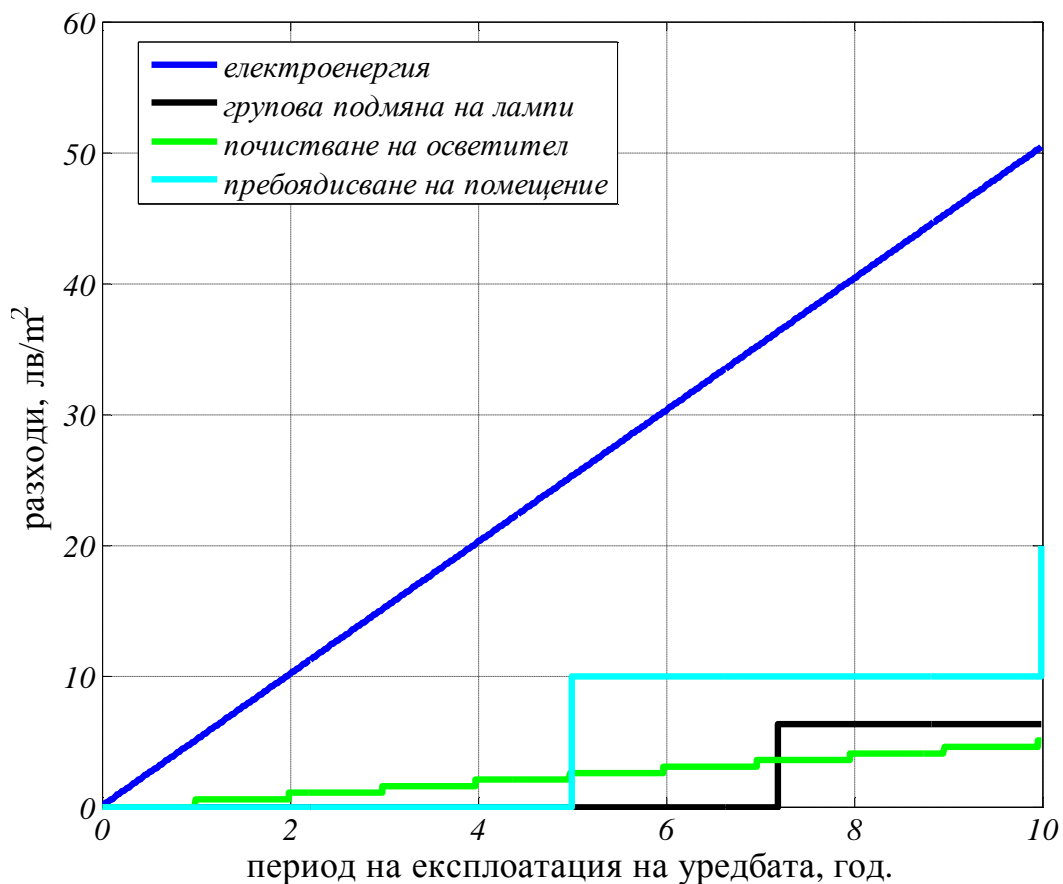
Въпреки това, е приета оптималната стойност – 5 годи за период на освежаване, което позволява да се определи и оптималната стойност на експлоатационния фактор, а именно:

$$(3) \quad MF_{opt} = 0.71$$

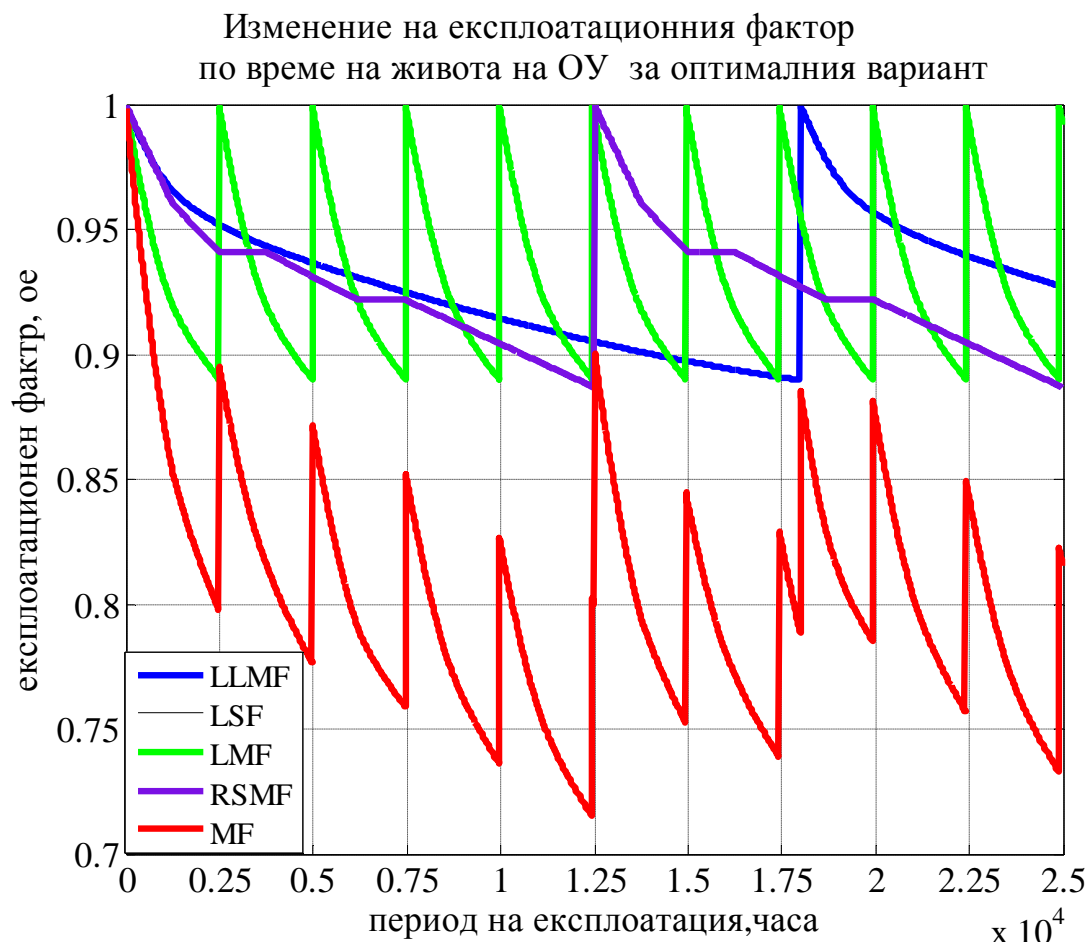
На Фиг. 8 е дадено изменението на различните пера на експлоатационните разходи по години за оптималния вариант. Разходите са отнесени към 1 квадратен метър осветявана площ, при отчитане на горепосочените допускания. Кумулативният разход за електроенергия е доминиращ.



Фиг.7. Влияние на периода на освежаване на помещенията.



Фиг.8. Изменение на експлоатационните разходи за ОУ по пера.



Фиг.9. Изменение на експлоатационния фактор MF и неговите съставящи за оптималния вариант.

3. Заключение

- ! Определеният оптимален експлоатационен фактор е $MF=0.71$,
- ! Период на подмяна на лампите – **18х.часа**,
- ! Период на почистване на осветителите – **1 година**,
- ! Период на освежаване на помещенията – **5 години**,
- ! Минимумът по отношение освежаването на помещенията е плосък, което означава, че това не е определящ фактор,
- ! Честото почистване на осветителите и дългият период на подмяна на лампите се определят от ниската цена на труда и високата цена на лампите.

Необходимо е изследванията по темата да продължат и да се разработи интерактивен софтуер, който да изчислява разходите и да посочва оптималния вариант за всяка конкретна ОУ.

Такъв софтуер би внесъл яснота при избора на MF при проектиране на нова уредба и би бил изключително полезен инструмент в проектантската практика.

ЛИТЕРАТУРА

[1] CIE №97, Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems, 1992.

[2] GE Data Sheet, T5 LongLast™ Linear Fluorescent Lamps.

Автори:

д-р инж. Вълчан Герогиев – доцент в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане” (ЕСЕО), email: vulchy@tusofia.bg.

д-р инж. Христо Василев – професор в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане” (ЕСЕО).

д-р инж. Ива Петринска – главен асистент в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане” (ЕСЕО), email: ipetrinska@tusofia.bg.

маг. инж. Ива Драганова, редовен докторант в катедра ЕСЕО.

ВЛИЯНИЕ НА ПОЖЪЛТЯВАНЕТО НА ЛЕЩАТА НА ОКОТО С ВЪЗРАСТТА ВЪРХУ ЯРКОСТНИТЕ ВЪЗПРИЯТИЯ ПРИ МЕЗОПИЧНО ЗРЕНИЕ

Станимир Стефанов

Резюме: В доклада са приложени резултатите от теоретично изследване на влиянието на пожълтяването на лещата на окото с възрастта върху яркостните възприятия при мезопично зрение. Изследването е проведено на база данните за пожълтяване на лещата за три възрасти - 25, 50 и 75 години с използване на няколко фиктивни светлинни източника с различен спектрален състав.

Ключови думи: възраст, леща, мезопично, зрение, осветление, пожълтяване, яркост

INFLUENCE OF YELLOWING OF THE EYE LENS WITH AGE ON BRIGHTNESS PERCEPTION IN CONDITIONS OF MESOPIC VISION TECHNOLOGY

Stanimir Stefanov

Abstract: The paper applied the results of a theoretical study of the influence of the yellowing of the lens of the eye with the age on brightness perception in mesopic vision. The study was conducted based on collected data concerning yellowing of the lens for three ages – the age of 25, 50 and 75 using several fictitious light sources with different spectral composition.

Key words: age, lens, lighting, luminance, mesopic, vision, yellow

1. Въведение

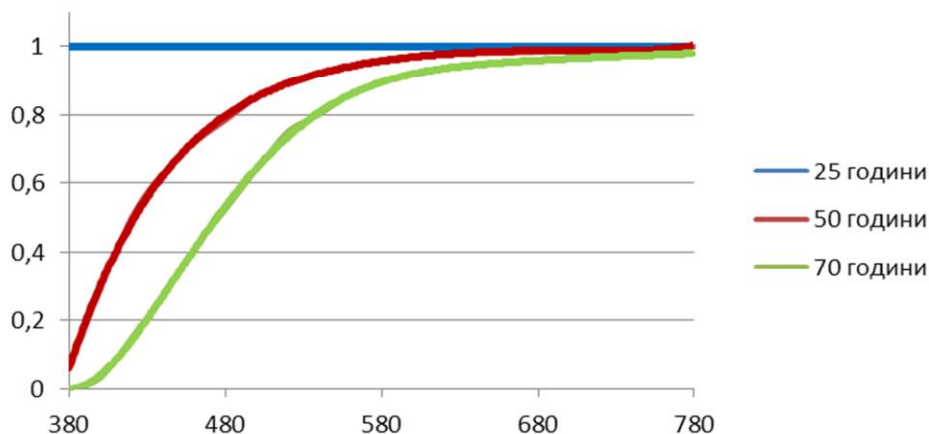
Както е известно, нормирането на уличните осветителни уредби (УОУ) се извършва основно по фотопични яркостни показатели съгласно стандартите за улично осветление EN 13201, RP – 8 – 00, където яркостните нива се определят за 23 (25) годишен наблюдател. За възраст на наблюдателя, различна от посочената, се извършва една единствена корекция, която е свързана с изчисляването на воалиращата яркост – стойността на константата 10 в израз (1):

$$(1) \quad L_v = 10 \sum_{k=1}^{k=n} \frac{E_k}{q_k^2}, \text{ cd/m}^2 [1] \quad \text{се заменя с} \quad 9,86 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{66,2} \right)^4 \right]$$

където A е възрастта на наблюдателя.

Тази корекция в [1, 6] се прилага само при отчитане заслепяващото действие на осветителната уредба, но не се прилага в изчислителните формули за определяне на яркостните нива на уличните платна. Освен това в тези

изчислителните формули не се отчита спектралния състав на светлинните източници, което може да доведе до осезаеми разлики във зрителните възприятия на наблюдателите от различните възрастови групи, поради факта, че с пожълтяването на лещата на човешкото око с нарастването на възрастта, пропускателната ѝ способност се изменя различно относно различните дължини на вълните от светлинния спектър – фиг. 1.



Фиг. 1. Намаляване на проникването на вълните в окото в зависимост от възрастта с увеличаване на пожълтяването на лещата

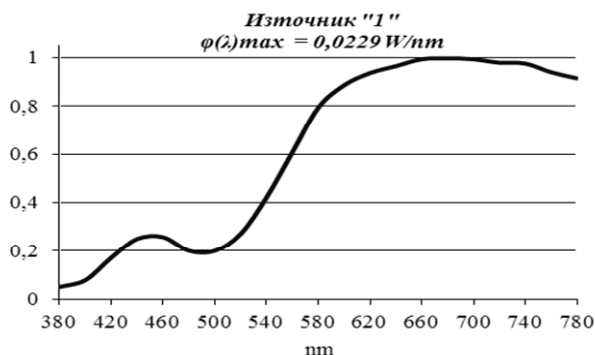
От друга страна, фотопичните яркостни нива за които се нормират уличните осветителни уредби, съвпадат с нивата при които функционира така нареченото мезопично зрение, характеризиращо се с изменящи се по форма и максимум (в зависимост от фотопичната яркост) криви на спектрална чувствителност на окото. Чрез използване на това повишаването на максимума на спектралната чувствителност в условията на мезопично зрение и с подходящ спектрален състав на светлинните източници се реализират по-високи яркостни нива, отколкото при фотопично зрение. Този факт вече все повече се използва при нормиране на улични осветителни уредби и благодарения на него се реализират осветителни уредби с по-ниска консумация на електроенергия, отколкото при нормиране по фотопични показатели [4].

Както е известно [2, 3], при мезопично зрение с намаляване на яркостните нива, максимума на спектралната чувствителност се увеличава и измества в посока на сините светлини и е естествено да се очаква, че при УОУ ефективността ще бъде по-висока при използване на източници със синя и бяла светлина. Но поради факта, че с нарастването на възрастта се изменя пропускателната способност на лещата [4, 7], се дават препоръки, при нормиране на уличните осветителни уредби, да се използват източници с пожълт спектър и с корелирана цветна температура от порядъка на $4200^{\circ} - 4500^{\circ} K$, за да могат да бъдат гарантирани зрителните възприятия на по-възрастните участници в уличното движение.

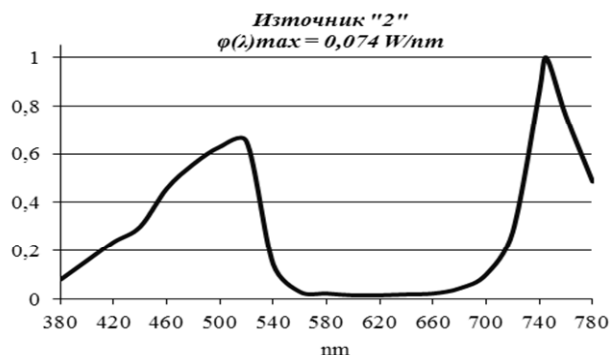
Във връзка със споменатото до тук, е интересно да се види и извърши оценка на яркостните нива и светлинните потоци от гледна точка на възприятията на наблюдатели от различни възрасти при използване на източници с различен спектрален състав.

2. Същинска част

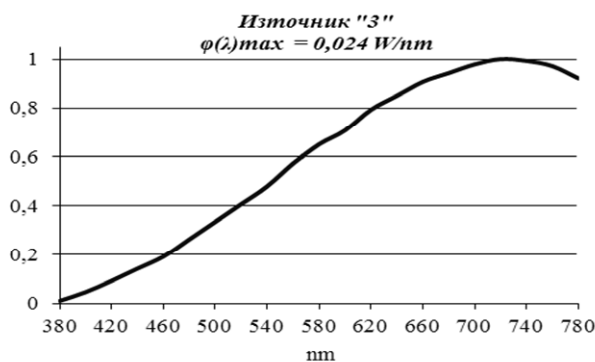
За целите на изследването са използвани седем фиктивни светлинни източника, имащи фотопичен светлинен поток от 1000 lm , различен спектрален състав и съответно различна максимална спектрална плътност $\varphi_i(\lambda)_{\max}$.



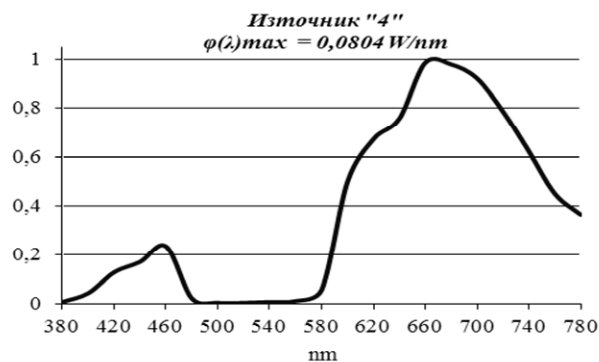
Фиг. 2. Светлинен източник (СИ) „1“*



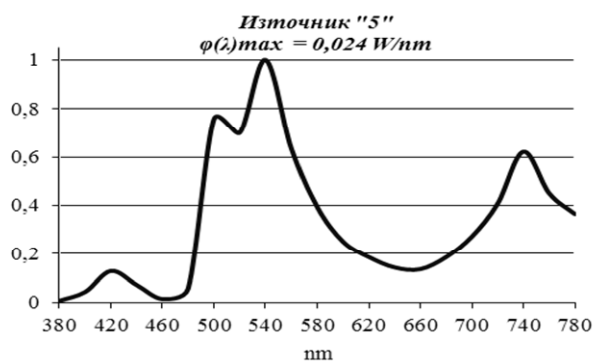
Фиг. 3. Светлинен източник „2“*



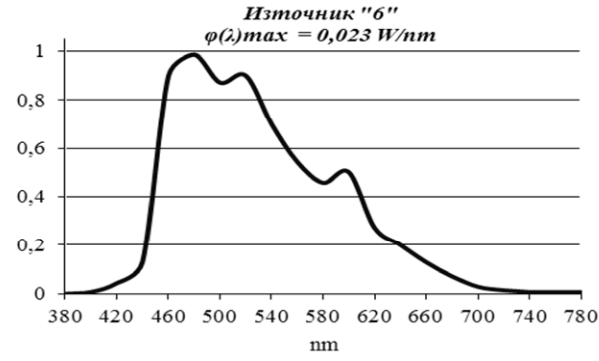
Фиг. 4. Светлинен източник „3“*



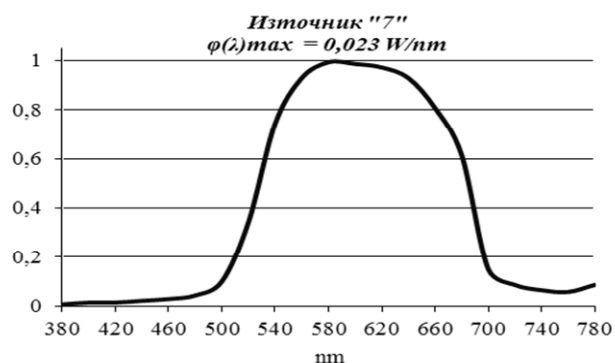
Фиг. 5. Светлинен източник „4“*



Фиг. 6. Светлинен източник „5“



Фиг. 7. Светлинен източник „6“



Фиг. 8. Светлинен източник „7“

*Фиктивните СИ^{ци} от 1 до 4 са създадени на основата на спектралния състав на реални цветни халогенни лампи [5].

В изчисленията за яркостните възприятия за различните възрасти са използвани фотопичните светлинни потоци Φ_{ph25i} , Φ_{ph50i} и Φ_{ph75i} на показаните източници. Тези потоци са приведени към 25, 50 и 75 годишна възраст съобразно пропускателната способност на лещата (вследствие нейното пожълтяване) с израза:

$$(2) \quad \Phi_{phyi} = S_{max} \cdot t_{l_j} \cdot \Delta I \cdot \sum_{j=1}^{j=n} j_i(I_j) \cdot V_{ph}(I_j), \text{ lm}$$

където Φ_{phyi} - стойността на фотопичния светлинен поток на i -тия източник за възраст y ;

S_{max} е стойността на максималната спектрална чувствителност при фотопично зрение, lm/W ;

τ_{λ_j} – спектралния коефициент на пропускане на лъчистия поток за съответната дължина на вълната λ_j в зависимост от възрастта (фиг.1);

$\Delta\lambda$ – широчината на разлагане на спектралния състав в интервали по λ , nm ;

$\varphi_i(\lambda_j)$ - спектралната плътност на лъчистия поток на i -тия светлинен източник при монохроматична дължина на вълната λ_j , W/nm ;

$V_{ph}(\lambda_j)$ - относителната фотопична спектрална чувствителност за λ_j ;

n – броя на интервалите, на които е разложен спектралния състав на светлиния източник „ i “.

По същият начин са определени и светлинните потоци Φ_{sc25i} , Φ_{sc50i} и Φ_{sc75i} за условията на скотопично зрение, като във формула (2) на мястото на S_{max} и $V_{ph}(\lambda_j)$ са използвани стойността на максималната спектрална чувствителност S'_{max} и кривата на относителната спектрална чувствителност на окото $V'_{sc}(\lambda_j)$ при скотопично зрение.

Яркостта $L_{mes,y}$ и стойностите на относителните спектрални чувствителности $V_{mes}(\lambda_j)$ в условията на мезопично зрение са изчислени чрез използване на методиката наречена “*MOVE method*“ [2]. Изчисленията са направени за шест фотопични яркостни нива – 0,1, 0,5, 1, 1,5, 2 и 3 cd/m^2 и за всеки един от $СИ^{III}$, отчитайки пропускателните особености на лещата за трите споменати възрасти.

$$(3) \quad L_{mes,n} = \left(\frac{683}{x_n V_{ph}(555) + (1 - x_n) V_{sc}(555)} \right) \left(x_n \frac{L_{ph}}{683} + (1 - x_n) \frac{L_{sc}}{1699} \right), \text{ cd/m}^2$$

като x_n се определя на цикли по (4) до изравняване на стойностите на x_n и x_{n-1}

$$(4) \quad x_n = 1,49 + 0,282 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{M(x_{n-1})} \left(x_{n-1} \frac{L_{ph}}{683} + (1 - x_{n-1}) \frac{L_{sc}}{1699} \right) \right],$$

$M(x)$ е нормализираща функция, такава че $V_{mes,max}(\lambda_j) = 1$, а

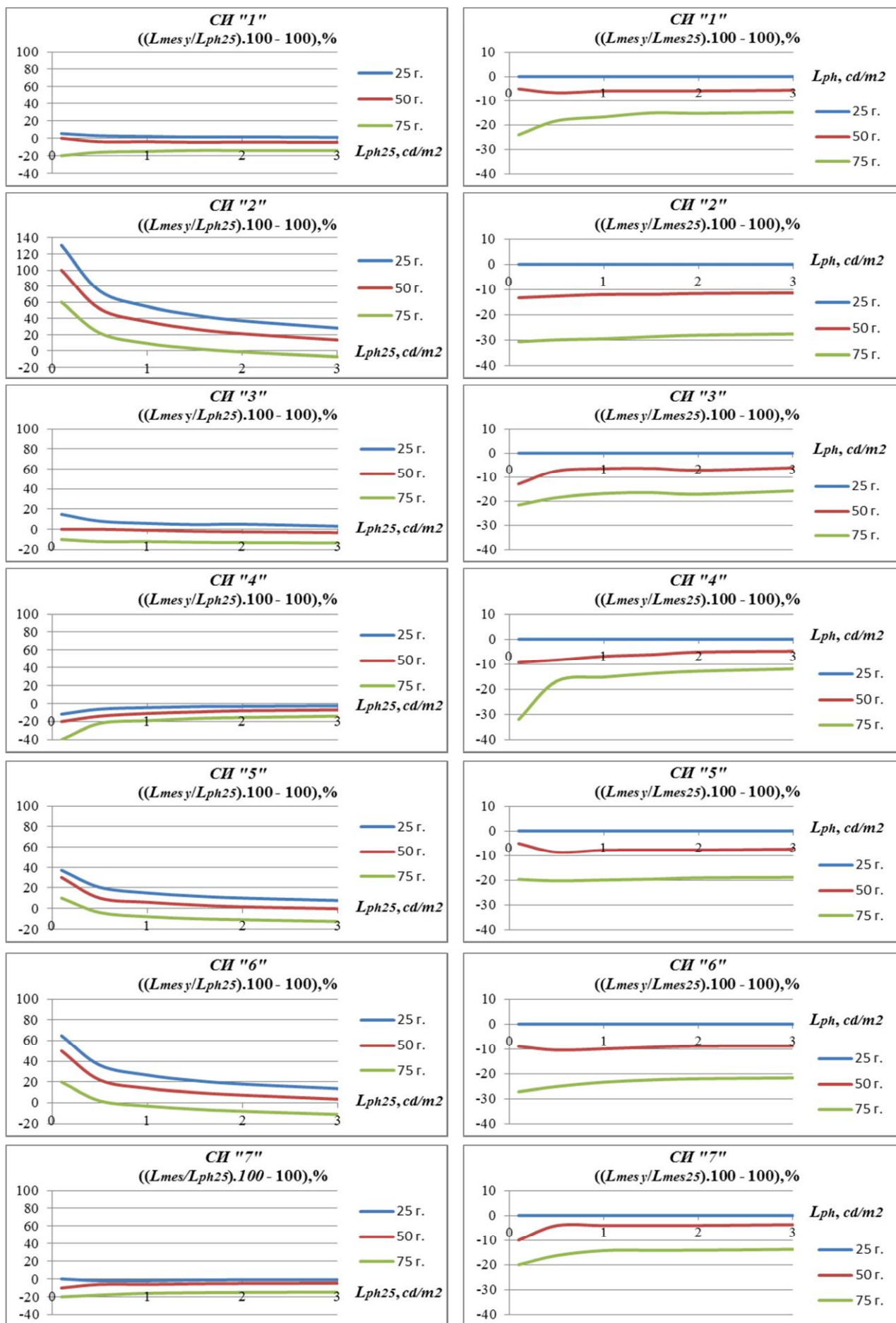
$$(5) \quad V_{mes}(\lambda) = \frac{1}{M(x)} (xV_{ph}(\lambda) + (1-x)V_{sc}(\lambda)).$$

Резултатите от направените изчисления са показани в таблица 1 и на фигури 9 и 10. В Табл. 1 са поместени резултатите за получените стойности на мезопичната яркост, фотопичните и скотопичните светлинни потоци приведени към възрастовите характеристики на пожълтяването на лещата за 7^{-ме} източника. За сравнимост на резултатите е прието, че освен еднакъв фотопичен поток на СИ^{III}, имаме и еднакви светлоразпределения и геометрии на УОУ^{бу}.

Табл. 1

					$L_{ph25}, cd/m^2$					
					0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
					$L_{mesy}, cd/m^2$					
	Възраст	Φ_{ph}, lm	Φ_{sc}, lm	S/P						
Св. изт. "1"	25	1000	1138	1,13	0,11	0,51	1,02	1,52	2,03	3,03
	50	951	977	1,03	0,10	0,48	0,96	1,43	1,91	2,86
	75	871	776	0,89	0,08	0,42	0,85	1,29	1,72	2,58
Св. изт. "2"	25	1000	5420	5,41	0,23	0,87	1,55	2,16	2,74	3,84
	50	877	4461	5,09	0,20	0,76	1,36	1,90	2,42	3,40
	75	711	3282	4,62	0,16	0,61	1,09	1,54	1,97	2,78
Св. изт. "3"	25	1000	1388	1,38	0,11	0,54	1,06	1,57	2,10	3,09
	50	946	1203	1,27	0,10	0,50	0,99	1,47	1,95	2,90
	75	858	963	1,12	0,09	0,44	0,88	1,31	1,74	2,60
Св. изт. "4"	25	1000	724	0,72	0,09	0,47	0,96	1,45	1,94	2,93
	50	967	530	0,55	0,08	0,43	0,89	1,36	1,84	2,79
	75	913	328	0,36	0,06	0,39	0,81	1,25	1,69	2,58
Св. изт. "5"	25	1000	2027	2,02	0,14	0,60	1,15	1,68	2,20	3,23
	50	926	1799	1,94	0,13	0,55	1,06	1,55	2,03	2,99
	75	814	1480	1,82	0,11	0,48	0,92	1,35	1,78	2,62
Св. изт. "6"	25	1000	2927	2,92	0,16	0,68	1,27	1,82	2,36	3,41
	50	918	2463	2,68	0,15	0,61	1,14	1,65	2,15	3,11
	75	798	1872	2,35	0,12	0,51	0,97	1,41	1,84	2,67
Св. изт. "7"	25	1000	886	0,89	0,10	0,49	0,98	1,48	1,98	2,97
	50	964	831	0,86	0,09	0,47	0,94	1,42	1,90	2,86
	75	870	698	0,80	0,08	0,41	0,84	1,27	1,70	2,56

На графиките от фигури 9 и 10 са показани процентни разлики между мезопичните и фотопичните яркостни нива от Табл. 1, като за база 100% в 9 са взети фотопичните, а в 10 мезопичните яркостни нива за 25 годишна възраст.



Фиг. 9. $(L_{mes}/L_{ph25}).100 - 100, \%$

Фиг. 10. $(L_{mes}/L_{mes25}).100 - 100, \%$

От резултатите поместени в таблица 1 и на фигури 9 и 10 се вижда, че светлинния източник „2“ дава най - високи резултати, относно мезопичната яркост в сравнение с фотопичната, независимо от възрастовата група и факта, че L_{mes75} за 75 годишна възраст намалява с между 28 - 30% спрямо L_{mes25} .

Светлинните източници „1“, „4“ и „7“ реализират мезопични яркости, пониски от фотопичните и очевидно източници с подобен спектрален състав не са удачни за проектиране на осветителни уредби по мезопични показатели. Същевременно спектралния състав на тези източници допринася за най - слабо понижение на яркостните нива по мезопични показатели с нарастване на възрастта и при повишаване на фотопичната яркост на наблюдаваните обектите. Причината за това е, че тяхното основно излъчване е изместено към дълговълновата част на спектъра.

Светлинният източник „5“ дава най - ниски показатели за изменението на мезопичните яркостни нива с нарастването на възрастта (при разглежданите условия) – понижаване от 19 - 20% за 75 години спрямо 25. При този източник нивата за L_{mes50} са с от 10% до 0% над нивата на L_{ph25} (във фотопичния диапазон (0,5 – 2) cd/m^2), а нивата за L_{mes75} са с (-4)% до (-13)% по - ниски спрямо тези за L_{ph25} .

4. Заключение

1. При избора на светлинни източници, даващи добри резултати относно мезопичната яркостта за 25 годишна възраст на наблюдателите, е желателно да се отчитат измененията настъпващи с възрастта, така че получаваните резултати за L_{mes75} да са над или достатъчно близки до L_{ph25} (или до съответни мезопични нормени нива на яркостта за даден светлинен клас, каквито все още няма регламентирани).

2. Видно е, че при подходящ спектрален състав (при нормиране по мезопични показатели), се постига много добро понижаване на необходимите за достигане на определени яркостни нива светлинни потоци - СИ „2“, независимо от силното понижаване във възприемането на мезопичната яркост с възрастта. Същевременно обаче, подходящия за условията на мезопично зрение спектрален състав на СИ „2“, имащ значителното излъчване в синята част на спектъра, притежава здравословен негатив. Според последните медицински изследвания, синята светлина има разрушаващо въздействие върху ретината и подтиска отделянето на някой от хормоните в човешкото тяло, особено в телата на подрастващите. Поради този факт, продължителния престой в осветени със преобладаващ син спектър зони е нежелателен и източници от типа на СИ „2“ може да се окажат неизползваеми.

3. Анализа на получените резултати показват, че ако една VOY^{-a} се нормира по фотопични показатели за 25 годишен наблюдател с използване на подходящ светлинен източник, то тя ще може почти или напълно да удовлетворява нуждите на 75 годишен наблюдател в условията на мезопично зрение.

4. За постигане на максимален визуален комфорт в условия на мезопично зрение, може да се дефинират оптимизационни задачи, свързани със

спектралния състав на източниците, относителната мезопична спектрална чувствителност на окото и възрастовите му характеристики. Тяхното решение би дало подходящи спектрални състави на излъчване, въз основа на които биха могли да се създават нови, по - подходящи за виждане в условия на мезопично зрение светлинни източници.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 13201, Noveber, 2003.
- [2] Ketomäki J., Effects of lighting parameters on contrast threshold in the mesopic and photopic luminance ranges, Helsinki University of Technology, Lighting laboratory Espoo, Finland. 2006.
<http://lib.tkk.fi/Diss/2006/isbn9512283344/isbn9512283344.pdf>
- [3] Levin I., Lamp color and visibility in outdoor lighting design.
<http://www.arcongreensolutions.com/PDFS/lampcolor.pdf>
- [4] Public streetlight design guide, City of San Jossé, USA, 2011.
http://www.sanjoseca.gov/transportation/SupportFiles/greenvision/Public_Streetlight_Design_Guide.pdf.
- [5] Product catalog 2010/11, BLV Ushino Group, Germany, 2010.
- [6] RP -8- 00 Rowadway lighting, 2005.
- [7] Пачаманов А., Енергийно-икономическа ефективност на системите за външно осветление, City Talk: Градско осветление, 29 май 2012г. - хотел „Шератон“, София, 2012.

Автор:

д-р инж. Станимир Благоев Стефанов – главен асистент в катедра “Електротехника” ФЕА, филиал Пловдив, ТУ - София, email: glasst@abv.bg

ПОЖЪЛТЯВАНЕ НА ЛЕЩАТА НА ОКОТО С ВЪЗРАСТТА, СПЕКТРАЛЕН СЪСТАВ НА СВЕТИНИТЕ ИЗТОЧНИЦИ И НИВА НА ОСВЕТЕНОСТ

Станмир Стефанов

Резюме: В доклада е описано изследване за влиянието на пожълтяването на лещата на човешкото око с възрастта върху зрителните възприятия при нормиране на осветителни уредби по осветеност. За целта са използвани няколко фиктивни светлини източника, базирани на реални с различен спектрален състав и е разгледана връзката между спектрален състав, степента на пожълтяване на лещата и „усещанията“ за нива на осветеност.

Ключови думи: леща, око, пожълтяване, осветеност

YELLOWING OF THE EYE LENS WITH AGE, THE SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT SOURCES AND LEVELS OF LUMINANCE

Stanimir Stefanov

Abstract: The report describes research on the impact of the yellowing of the lens of the human eye with age on the visual perception in conditions of standardization of lighting systems regarding their luminance. For this purpose are used several fictitious light sources based on real ones, having different spectral composition. The relationship between spectral composition, degree of yellowing of the lens and the perception of light levels was studied and analyzed.

Key words: lens, eye, yellow, light

1. Въведение

В осветителните уредби нормирани по осветеност, било то външни или вътрешни се поставят изисквания за спектралния състав на източниците свързан с цветопрераждането в зависимост от дейностите които се извършват. В битовите жилища, в местата за забавление, отмора, в архитектурното и художественото осветление спектралния състав на източниците се избира основно според търсения цветови ефект. Но във всеки един от тези случаи проектирането на осветителните уредби се извършва за наблюдатели с чиста, непожълтяла леща на възраст 25 години. Както е известно, с напредването на възрастта, лещата на човешкото око започва да пожълтява и нейните пропускателни характеристики относно различните дължини на светлинните вълни се променят по различен начин. Това от своя страна води както до намаляване на количеството светлинен поток преминаващ през лещата и попадащ върху светлочувствителните рецептори, така и до изкривяване в интерпретирането на цветовете заради по-силното филтриране на вълните с по-къси дължини. Поради тази причина може да се очаква, че една осветителна уредба, нормирана правилно за 25 годишен наблюдател, може да не

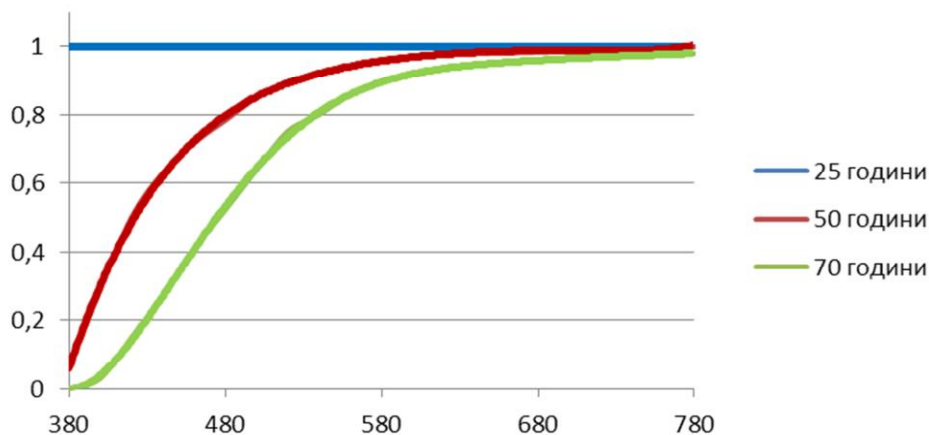
удовлетворява напълно нуждите на 50 и повече годишни наблюдатели – например офиси, бюра, производствени помещения, библиотеки, художествени зали, външни осветителни уредби и прочие, тъй като възрастта в тези уредби се взема под внимание основно в оценката на физиологичното заслепяване [1], [2], [6].

Целта на направеното изследване е да се установи доколко с възрастта се изменят количествата светлинен поток, попадащи във вътрешността на окото в зависимост от спектралния състав на различни светлини източници и до каква степен нивата на осветеност, за които се проектират осветителните уредби за 25 годишен наблюдател, биха съответствали на нивата които се „усещат“ от 50 и 75 годишни наблюдатели.

2. Същинска част

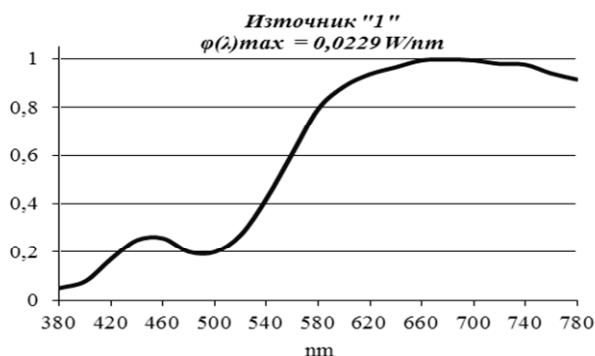
За целите на изследването са използвани:

1. Данни за пожълтяването на лещата на човешкото око с нарастването на възрастта и изменението в пропускателната ѝ способност относно различните дължини на вълните от светлиния спектър за три възрастови групи – фиг. 1.[5]

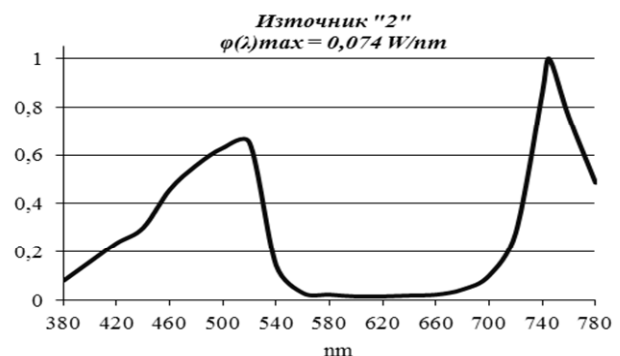


Фиг. 1. Намаляване на проникването на вълните в окото в зависимост от възрастта с увеличаване на пожълтяването на лещата

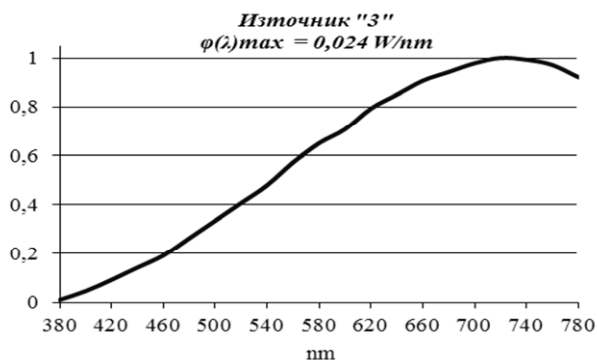
2. Седем фиктивни светлинни източника (създадени на базата на реални), имащи един и същ светлинен поток от 1000 lm, различен спектрален състав и съответно различна максимална спектрална плътност $\varphi_i(\lambda)_{\max}$.



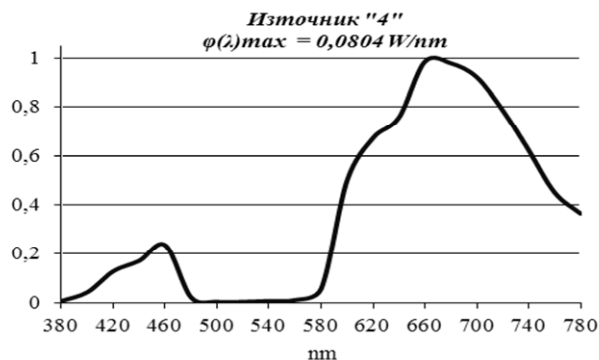
Фиг. 2. Светлинен източник „1“*



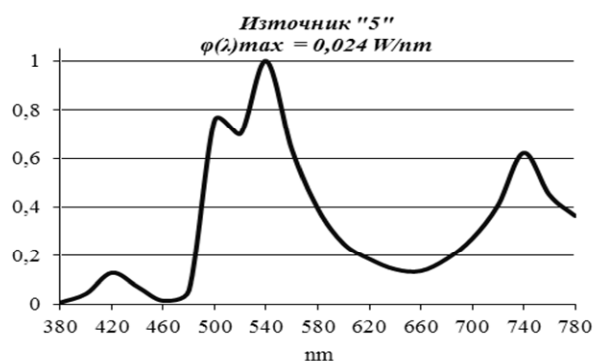
Фиг. 3. Светлинен източник „2“*



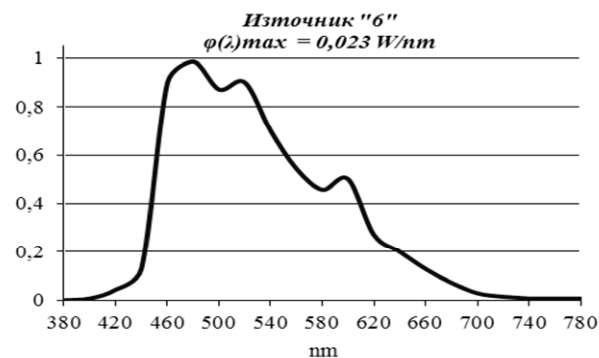
Фиг. 4. Светлинен източник „3“*



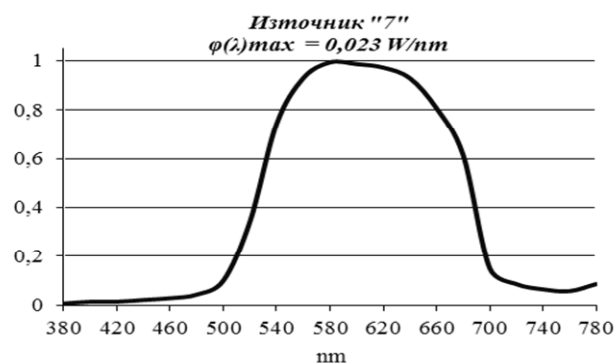
Фиг. 5. Светлинен източник „4“*



Фиг. 6. Светлинен източник „5“



Фиг. 7. Светлинен източник „6“



Фиг. 8. Светлинен източник „7“

*Фиктивните СИ - ции от 1 до 4 са създадени на основата на спектралния състав на реални цветни халогенни лампи [4].

В изчисленията за различните възрасти са използвани фотопичните светлинни потоци Φ_{25i} , Φ_{50i} и Φ_{75i} на показаните източници. Тези потоци са приведени към 25, 50 и 75 годишна възраст съобразно пропускателната способност на лещата (вследствие нейното пожълтяване) с израза:

$$(1) \quad \Phi_{yi} = S_{\max} \cdot t_{I_j} \cdot \Delta l \cdot \sum_{j=1}^{j=n} j_i(I_j) \cdot V(I_j), \text{ lm}$$

където Φ_{xi} - стойността на фотопичния светлинен поток на i -тия източник за възраст y ;

S_{max} е стойността на максималната спектрална чувствителност при фотопично зрение, lm/W ;

τ_{λ_j} – спектралния коефициент на пропускане на лъчистия поток за съответната дължина на вълната λ_j в зависимост от възрастта (фиг.1);

$\Delta\lambda$ – широчината на разлагане на спектралния състав в интервали по λ , nm ;

$\varphi_i(\lambda_j)$ - спектралната плътност на лъчистия поток на i -тия светлинен източник при монохроматична дължина на вълната λ_j , W/nm ;

$V(\lambda_j)$ - относителната фотопична спектрална чувствителност за λ_j ;

n – броя на интервалите, на които е разложен спектралния състав на светлиния източник „ i “.

Привеждането на „усещането“ за нивата на осветеност към възрастите 50 и 75 години е извършено на база пропорционалността в израза (2):

$$(2) \quad \frac{\Phi_{25i}}{\Phi_{50(75)i}} = \frac{E_{25i}}{E_{50(75)i}}$$

и съответно:

$$(3) \quad E_{50(75)i} = \frac{E_{25i}}{\Phi_{25i}} \cdot \Phi_{50(75)i}, lx$$

където $\Phi_{25i} = 1000 lm$ е светлиния поток на светлините източници с който се нормира осветителната уредба за 25 годишен наблюдател;

$\Phi_{50(75)i}$ - изчисления и приведен по (1) към 50(75) годишна възраст на наблюдателя светлинен поток, lm ;

E_{25i} - базовата осветеност за 25 годишен наблюдател, приета за 200 lx ;

$E_{50(75)i}$ - осветеността за съответния i -тия светлинен източник, приведена към 50(75) годишен наблюдател, lx .

За съпоставимост на резултатите е прието, че имаме осветителната уредба с постоянна геометрия, съдържа един и същ брой светлини източници имащи едно и също светлоразпределение.

В Таблица 1 са поместени резултати от направените изчисления, като в петата колона е изчислена процентната разлика “ $(E_{50(75)} - E_{25})\%$ ” между осветеностите за различните възрасти спрямо базовата осветеност за 25 годишен наблюдател (4):

$$(4) \quad (E_{25i} - E_{50(75)i})\% = 100 - \frac{E_{50(75)i}}{E_{25i}} \cdot 100, \%$$

В шестата и седмата колона са дадени стойностите на осветеностите, които се получават за нивата на вътрешно и външно аварийно осветление когато се преведат (съгласно (3)) към съответните възрастови групи.

В последните четири колони са приложени стойностите, получени след привеждане на нормените нива за хоризонтална улична осветеност за класовете *S 4*, *CE 3*, *CE 4* и *CE 5* [2] към трите разглеждани възрасти.

Табл. 1

	Възраст	Φ , <i>lm</i>	E_i , <i>lx</i>	$(E_{25} - E_{50(75)})$ %	Външ. авар. освет. <i>lx</i>	Вътр. авар. освет. <i>lx</i>	Улична осветеност			
							<i>S4</i> <i>lx</i>	<i>CE5</i> <i>lx</i>	<i>CE4</i> <i>lx</i>	<i>CE3</i> <i>lx</i>
Св. изт. "1"	25	1000	200	0	0,2	0,5	5	7,5	10	15
	50	951	190	5	0,19	0,48	4,8	7,1	9,5	14,3
	75	871	174	13	0,17	0,44	4,4	6,5	8,7	13,1
Св. изт. "2"	25	1000	200	0	0,2	0,5	5	7,5	10	15
	50	877	175	12	0,18	0,44	4,4	6,6	8,8	13,2
	75	711	142	29	0,14	0,36	3,6	5,3	7,1	10,7
Св. изт. "3"	25	1000	200	0	0,2	0,5	5	7,5	10	15
	50	946	189	5	0,19	0,47	4,7	7,1	9,5	14,2
	75	858	172	14	0,17	0,43	4,3	6,4	8,6	12,9
Св. изт. "4"	25	1000	200	0	0,2	0,5	5	7,5	10	15
	50	967	193	3	0,19	0,48	4,8	7,3	9,7	14,5
	75	913	183	9	0,18	0,46	4,6	6,9	9,1	13,7
Св. изт. "5"	25	1000	200	0	0,2	0,5	5	7,5	10	15
	50	926	185	7	0,19	0,46	4,6	6,9	9,3	13,9
	75	814	163	19	0,16	0,41	4,1	6,1	8,1	12,2
Св. изт. "6"	25	1000	200	0	0,2	0,5	5	7,5	10	15
	50	918	184	8	0,18	0,46	4,6	6,9	9,2	13,8
	75	798	160	20	0,16	0,40	4,0	6,0	8,0	12,0
Св. изт. "7"	25	1000	200	0	0,2	0,5	5	7,5	10	15
	50	964	193	4	0,19	0,48	4,8	7,2	9,6	14,5
	75	870	174	13	0,17	0,43	4,3	6,5	8,7	13,0

От получените и поместени в Табл. 1 резултати се вижда, че с нарастване на възрастта и в зависимост от спектъра на светлинния източник може да се достигне до 29% понижаване на проникващия през лещата на окото светлинен поток (светлинен източник „2“), съответно и затрудняване на правилната интерпретацията от мозъка на получената зрителна информация. Като цяло, намаляването на осветеността за 75 годишна възраст се движи между 9% и 20% в зависимост от спектралния състав, което е доста над допустимите норми за вътрешните осветителни уредби. За 50 годишна възраст намаляването е в

рамките на 3% - 7% и е около допустимите 5% понижаване на проектната осветеност, създавана от осветителната уредба, спрямо нормената.

При нормиране по осветеност на улици по фотопични показатели се вижда, че за някои светлинни класове улиците може да не бъдат достатъчно добре осветени по отношение зрителните възприятия на възрастните хора при неподходящ източник. На практика, в такива случаи, улици със светлини изисквания за даден клас ще бъдат осветена като улици от по-нисък клас за по-възрастните хора, което е недопустимо с оглед опасността от настъпване на ПТП, криминални деяния или други произшествия свързани с наличието на недостатъчно добро зрително възприятие.

От друга страна, ако сравним светлинните класове за нормиране по осветеност - *CE*, *S* със светлинните класове за нормиране по яркост – *ME*, то съгласно EN 13201 – 2, класовете от *CE1* до *CE5*, съответстват на класовете от *ME1* до *ME5* и *S4* на *ME6*. Яркостния диапазон, в който са нормирани тези светлини класове е от $0,3 \text{ cd/m}^2$ до 2 cd/m^2 и попада в диапазона на фотопична яркост в който функционира мезопичното зрение. Следователно при нормиране по осветеност, би следвало да се отчитат и функционирането на мезопичното зрение, и промяната в относителната спектрална чувствителност на окото, а в съответствие с тях и стойностите на мезопичния светлинен поток, които ще определят осветеността в условията на мезопично зрение. От предишни изследвания относно нивата на мезопична яркост, спектралния състав на източниците и пожълтяването на лещата, бе установено, че от разгледаните светлини източници най-добре се представя светлиния източник „2“. С него, в диапазона фотопична яркост $0,1 - 2 \text{ cd/m}^2$, се реализират нива на мезопичната яркост за 75 годишната възрастова група с от +60% до (-7)% спрямо фотопичните за 25 годишната възрастова група. Съответно би следвало, светлинните „мезопични“ потоци да са с до 60% по-високи стойности от фотопичните, а от там и оценката на осветеността в условията на мезопично зрение за 75 годишните, вместо влошена до минус 29%, би могла да се окаже подобрена с над 60% (или влошена само с (-7)%) в сравнение с тази за 25 години по фотопични показатели. В същото време, светлинните източници „1“, „4“ и „7“ от „добри“ в условия на фотопично зрение, може да се окажат „недобри“ в реалните условия на функциониране на зрението при уличното осветление – а именно в условията на мезопично зрение.

3. Заключение

1. В условия на фотопично зрение при външните и вътрешните осветителни уредби е очевидно, че ако желаем да бъде осигурено добро зрително възприятие на по-възрастните хора, е необходимо да се подбират светлини източници с подходящ за целта спектрален състав източници (от вида на „1“, „4“ и „7“) и да се завишават проектните осветености на осветителните уредби с около 3 – 5 % спрямо нормените, особено в работни среди и конфликтни зони.

2. По отношение на уличните осветителни уредби нормирани по осветеност, се вижда, че в зависимост от светлиния източник, може да има голям контраст

между крайните резултати при нормиране по фотопични показатели и при съобразяване на нормирането с условията на функциониране на зрението в мезопичния диапазон.

3. Обикновено нормирането по осветеност се прилага, когато не се познават отражателните характеристики на уличната повърхност или геометрията на изчислителното поле е такава, че не позволява да се изчисли яркостта съобразно постановените от стандартите методики. От тук, основния проблем за определяне на осветеността в условия на мезопично зрение е определянето на стойностите на яркостта, необходими за изчисляването на относителната мезопична спектрална чувствителност. За ориентировъчно определяне в уличното осветление на отношението „фотопична осветеност/мезопична осветеност“ за настилка с непознати отражателни характеристики би могло да се ползва отношението „фотопична яркост/мезопична яркост“ за настилка с познати характеристики, като се сравнява средностатистически близостта на зрителните усещания за двете настилки. Друг вариант (независимо, че не съществува еквивалентна връзка между яркост и осветеност), е чрез сравнения на резултати от измервания с технически средства на фотопичната осветеност, фотопичната яркост и мезопичната яркост на даден обект, да се определи мезопичната осветеност, тъй като тези величини са пропорционални на светлинният поток който ги създава.

4. За отчитане ефекта от изменението на пропускателните характеристики на лещата на окото (вследствие пожълтяването ѝ с възрастта) и коригирането му при проектиране на осветителни уредби, би било удобно да се разработи и създаде система или системи от таблични коефициенти в зависимост например от корелираната цветна температура на светлинните източници.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 12464.
- [2] EN 13201.
- [3] Levin I., Lamp color and visibility in outdoor lighting design.
<http://www.arcongreensolutions.com/PDFS/lampcolor.pdf>
- [4] Product catalog 2010/11, BLV Ushino Group, Germany, 2010.
- [5] Пачаманов А., Енергийно-икономическа ефективност на системите за външно осветление, City Talk:Градско осветление, 29 май 2012г. - хотел „Шератон“, София, 2012.
- [6] Справочная книга по светотехнике, Энергоатомиздат, Москва, 1995.

Автор:

д-р инж. Станимир Стефанов – главен асистент в катедра “Електротехника” ФЕА, филиал Пловдив, ТУ - София, email: glasst@abv.bg