



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Електротехнически факултет

Катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и
електротранспорт”

Маг. инж. Петър Иванов Стоев

**ЭНЕРГИЙНОЕФЕКТИВНИ РЕШЕНИЯ ЗА
ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНЕ НА ВЪНШНО ОСВЕТЛЕНИЕ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика

Научна специалност: Електроснабдяване и електрообзавеждане на
промишлеността

Научни ръководители:

проф. д-р инж. Ангел Саракинов Пачаманов

доц. д-р инж. Николай Стефанов Матанов

СОФИЯ, 2022 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Разширен катедрен съвет на катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” към Електротехнически факултет на Технически университет – София, проведен на 26.09.2022 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 26.01.2023 г. от 13,00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.2-74 / 29.09.2022 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Доц. д-р. инж. Светлана Георгиева Цветкова – председател
2. Доц. д-р. инж. Ива Чавдарова Петринска – научен секретар
3. Проф. д-р. Васил Димитров Димитров
4. Доц. д-р. Ивайло Стефанов Стоянов
5. Доц. д-р. Орлин Любомиров Петров

Рецензенти:

1. Проф. д-р. Васил Димитров Димитров
2. Доц. д-р. инж. Ива Чавдарова Петринска

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Електротехнически факултет при Технически университет – София, блок 12, кабинет 12222.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” на Електротехнически факултет. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Петър Стоев

Заглавие: Енергийноефективни решения за електрозахранване на външно осветление

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Непрекъснатото разширяване на външните осветителни уредби, увеличението на цените на електроенергията и развитието на осветителната техника във външното осветление са причина за търсене на методики и технически средства за повишаване на енергийната им ефективност. В последните години се наблюдава преход от осветители с разрядни лампи към по-съвременно осветление, реализирано предимно със светодиодни осветители. Независимо от тази модернизация, разходите за улично осветление (УО) могат да се снижат още, ако се осигурят енергоспестяващи режими на работа на светлинните източници (СИ). Това може да се осъществи, като се използват съоръжения за индивидуално или групово регулиране на светлинния поток. Прилагат се различни светлинни сценарии, съобразени с текущото състояние на пътното платно, интензивността на трафика и ресурса на СИ. При димиране, светлинните източници през по-голямата част от времето работят в режим на намален поток и мощност. Той се различава значително от работа при номинални параметри. В тази насока е необходимо да се изследва поведението на СИ и на осветителната уредба, за да се оцени енергийната ефективност при различни варианти на управление.

Широки възможности за ефективно използване на външните осветителни уредби могат да се реализират чрез интелигентните управляващи системи, реализиращи адаптивно управление на осветлението при променящите се експлоатационни условия.

Цел на дисертационния труд, основни задачи

Целта на дисертационния труд е повишаване на енергийната ефективност на външното осветление чрез рационализиране на режимите на работа на хранящите устройства и на светлинните източници. За постигане на поставената цел е необходимо да се решат следните основни задачи:

1. Оценка на възможностите за намаляване на разхода на електрическа енергия, чрез различни варианти на разположение на осветителите, така че да се удовлетворяват изискванията на нормативните документи, както за улични така и за тунелни осветителни уредби.
2. Разработване на концепция и решения за регулиране на потока на осветители с натриеви лампи с високо налягане (НЛВН) и светодиоди (LED).
3. Разработване на математически и симулационни модели на осветителна уредба, включващи - електроснабдителна мрежа, димиращи устройства, храняща линия, осветителни тела и система за управление.
4. Анализ на работата на външните осветителни уредби при различни варианти на управление. Избор на оптимален вариант.
5. Разработване на системи за адаптивно управление на външно осветление, чрез избор на рационални нива на „интелигентност” на системите за управление по категории улици на база минимална цена.

Методи за изследване

Основните методи на работа, използвани при решаването на поставените задачи в дисертацията са: теоретичен анализ, математическо и симулационно моделиране, оптимизация, експериментални изследвания и обработка на резултати.

Научна новост

1. С разработените алгоритми за управление на групово димиращо устройство - автотрансформатор за разрядни лампи и управляващо устройство за димиране на светодиодни осветители, се реализират режими повишаващи енергийната ефективност на осветителните уредби.

2. Разработени са алгоритъм и методика за определяне на инсталираните мощности в тунелна уредба. Формулирана е задача за оптимизиране на нивата на яркост във входната и преходната зони на пътен тунел, така че да се минимизира инсталираната мощност.

3. Разработени са симулационни модели на осветители с НЛВН и светодиоди. Съставени са универсални модели на осветителни уредби със същия тип лампи.

Практическа приложимост

1. Изследвани са режимите на работа на УОУ с два вида светлинни източници НЛВН и светодиоди. Оценена е ефективността при различните режими на работа на уредбата.

2. Разработени са алгоритъм и програма за определяне на допълнителните енергийни спестявания, които биха се реализирали при поддържане на постоянен светлинен поток в осветителните уредби.

3. Разработена е и внедрена система за димиране и отдалечен контрол на параметрите и състоянието на тунелна и улична осветителна уредба с натриеви лампи високо налягане.

4. Разработен е интелигентен индивидуален контролер за адаптивно управление на осветител с ЕПРА. Контролерът е с вградена функция за поддържане на постоянен светлинен поток на осветителя.

Апробация

Етапи от дисертационния труд са докладвани и обсъждани на:

1. V Конференция на Електротехническият факултет „ЕФ2013“, 2-5.09.2013г., Созопол.

2. VI Конференция на Електротехническият факултет „ЕФ2014“, 15-17.09.2014г., Созопол.

3. The 6th Balkan Conference on Lighting Balkan Light 2015, 16-19 September 2015, Athens, Greece

4. X научна конференция БулЕФ 2018, 11 - 14 септември, 2018 г. гр. Созопол.

5. XI научна конференция БулЕФ 2019, 11 - 14 септември, 2019 г. гр. Варна.

Резултатите са публикувани в Годишник на ТУ-София и IEEE Xplore.

Публикации

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 9 броя статии, от които една самостоятелна.

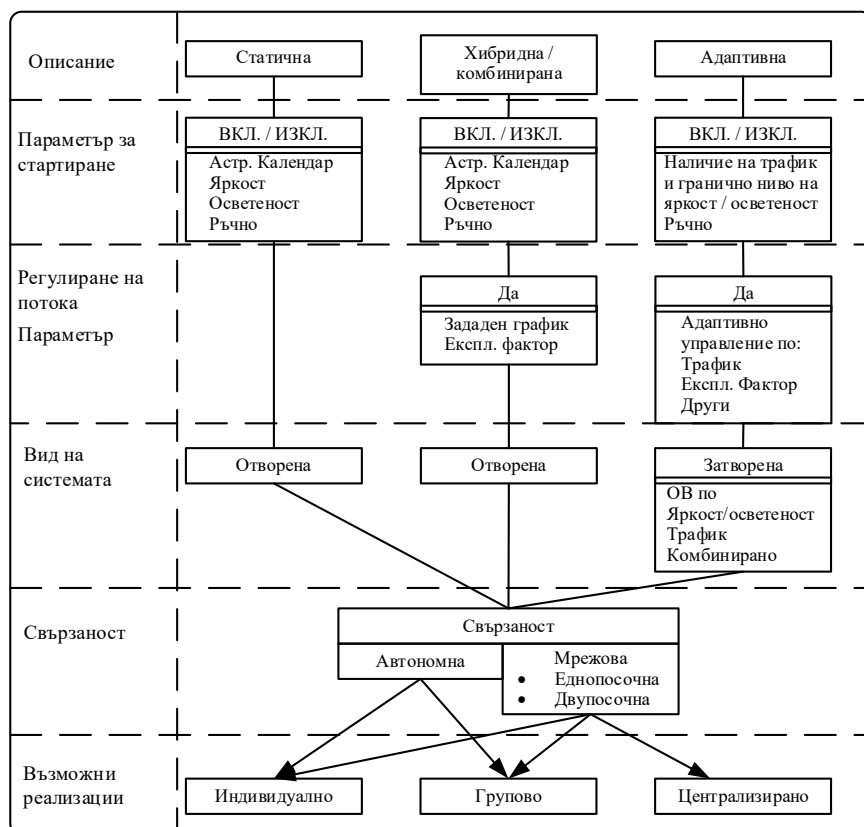
Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 134 страници, като включва увод, пет глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията, използвана литература и десет приложения в обем от 27 стр. Цитирани са общо 158 литературни източници, като 105 са на латиница и 53 на кирилица, а 5 от тях са интернет адреси. Работата включва общо 89 фигури и 37 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ПРОУЧВАНЕ И АНАЛИЗ НА МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ВЪНШНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ

Направен е литературен преглед на текущото състояние на външните осветителни уредби, използваните методи и възможностите за модернизация от гледна точка повишаване на енергийна им ефективност. Проучен е



потенциала им за повишаване на икономии на енергия и възможностите за рационализиране на режимите на работа на уредбата. Направена е класификация на системите за управление на светлинния поток във външните осветителни уредби в зависимост от управлявания параметър (фиг. 1.15).

Фиг. 1.15 Класификация на системите за управление на ВОУ

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТВАНЕ НА КОНЦЕПЦИЯ И РЕШЕНИЯ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА СВЕТЛИННИЯ ПОТОК НА ИЗТОЧНИЦИТЕ

2.1 Алгоритъм за определяне на нивата на редуциране на потока в улични осветителни уредби

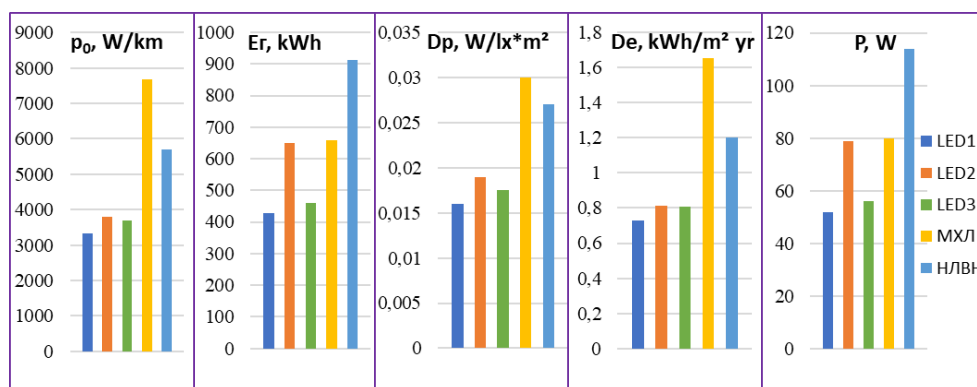
Регулирането на силата на светене на телата в уредбата е допустимо, след като се отчете промяната в светлинния клас на улицата. Параметрите, които определят това са свързани със скоростта на движение на МПС, наличието на опасни участъци и конфликтни точки. По изготвения алгоритъм за конкретен обект са разработени варианти с разрядни източници на светлина и светодиоди, като са изследвани различни режими на работа и разположение на осветителите. В таблица 2-13 са показани стойностите на потока за адаптиране на нивата на яркост на осветителите.

Таблица 2-13 Светлинен поток необходим след редуциране на класа на улицата

От	До	Необходим поток			
		LED 1	LED 2	LED 3	LED 1 - ЦД
М4	М5	66%	66,0%	66,0%	66,3%
М5	М6	60%	59,7%	59,8%	59,6%
М4	М6	39,6%	39,4%	39,5%	39,5%

Енергийната ефективност на всеки вариант се определя от светлинния добив на светодиодния модул, дълбочината на димиране и продължителността на времето на работа в режим на

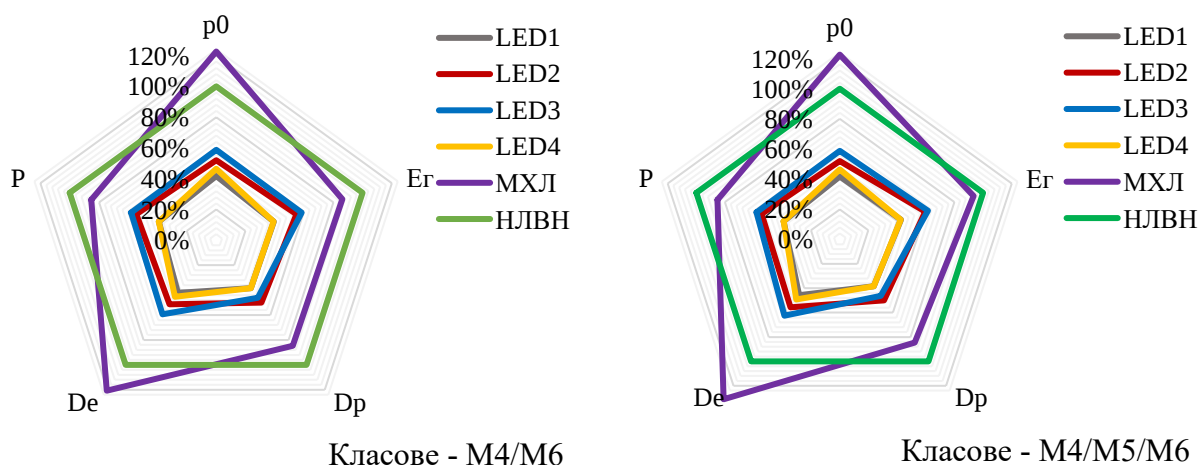
понижена мощност. На фиг.2.4 е показано сравнение на основните енергийни показатели за разглеждания пътен участък при използване на различни източници на светлина, СРК и разположение на осветителите. В този вариант не се управлява потока на осветителите, класа на улицата е М4, а периода за сравнение е 1год. с 4200 работни часа.



Фиг. 2.4 Сравнение на енергийните показатели на различните СИ

От данните може да се направи извода, че и без използване на мезопична яркост светодиодните осветители имат над 50% по-малка консумация на енергия спрямо разрядните източници. При МХЛ, ако не се използват мезопичните яркости се установява, че не са удачен вариант поради по-малкия си светлинен добив (при стандартна лампа). Това определя и по-голямата специфична инсталирана мощност (p_0) при тези осветители. Показателите D_p и D_e са подобни за трите светодиодни осветителя, но консумираната енергия (E_r) е различна, поради нееднакъв светлинен добив на лампите.

На Фиг. 2.5 са показани същите параметри, но този път в относителни единици, като за базови стойности са приети тези на осветителя с НЛВН.



Фиг. 2.5 Енергийни показатели в о.е. при преход към по-нисък клас

По така представените данни не може да се вземе решение кой е най-изгодния вариант, но най-енергоефективен е варианта с условно име LED 1.

Таблица 2.14 Икономия на електроенергия при намаляване на потока

№	M4 / M6	M4 / M5/M6
LED1	77%	75%
LED2	67%	64%
LED3	65%	63%
LED4	77%	75%
MXL	49%	44%
HLBH	40%	35%

В таблица 2.14 е направено сравнение на икономията на електроенергия за различните тела при намаляване на потока. За базов е приет осветителя с НЛВН без управление на потока. Най-големи са енергийните спестявания при варианти LED 1 и LED 2 – 77%. При работа на уредбата на междинен клас M5 се постига по-малка икономия на енергия – с около 2 до 5% за различните светлинни източници.

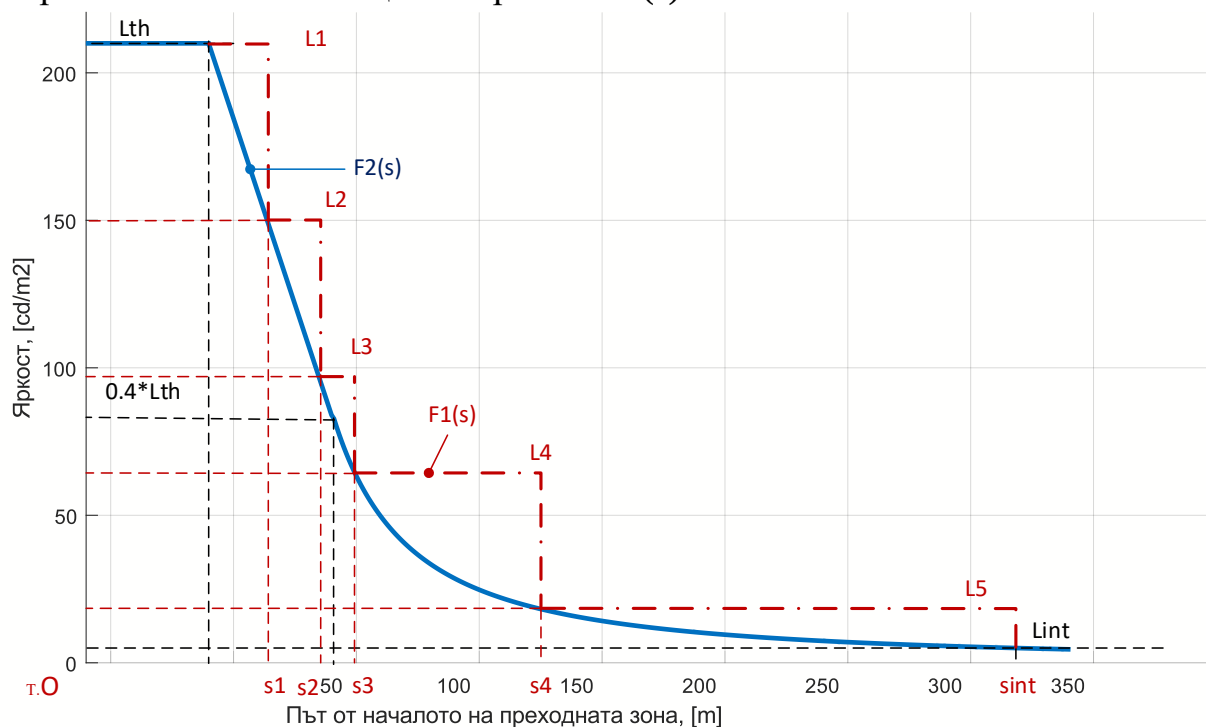
2.2 Определяне на инсталираните мощности при тунелни осветителни уредби

При вече определена максимална стойност на яркостта за адаптация, Наредбата за проектиране на пътни тунели и CIE 88:2004: "Guide for the lighting of road tunnels and underpasses" допускат да се замести кривата на теоретичната яркост със стъпаловидна апроксимираща функция ($L = f(s)$), така че разликата между изчислените нива на яркост за всеки участък и теоретичната крива да са минимални. Ако стъпките се вземат равномерно, уредбата няма да работи достатъчно ефективно, тъй като яркостите в началото на тръбата са високи и инсталираните мощности са големи. При експлоатация това ще доведе до преразход на електроенергия при работа на тази яркост.

2.2.1 Формулиране на оптимизационната задача

Примерна геометрична интерпретация на константите и параметрите е показана на фиг.2.8. Кривата на изменение на теоретичната яркост ($F2(s)$) в

различните зони на тунела е почастни нелинейна съставна функция с две точки на прекъсване. Заместващата я крива е $F1(s)$.



Фиг. 2.8 Геометрична интерпретация на задачата

Един от възможните подходи е да се търси минимум на разликата между двете функции $F1(s)$ и $F2(s)$. Функцията $F1(s)$ може да се представи с един от двата израза:

$$F1(s) = \overline{Os1} * \overline{Lth} + \overline{s1s2} * \overline{L1} + \overline{s2s3} * \overline{L2} + \dots \overline{s5Sint} * \overline{L5};$$

$$F1(s) = \overline{Os1} * \overline{Lth} + \sum_{i=1}^5 \overline{s_i s_{i+1}} * \overline{L_i}$$
(2-8)

Разглеждат се площите, които са над кривата на теоретичната яркост $F2(s)$ и тези изчислени по (2-8) по протежение на тунелната тръба. Функцията $F2$ е числената стойност на израза:

$$F2(s) = \int_{i=-50}^{Sint} Lth.ds, \text{ където}$$
(2-9)

$$Lth = \begin{cases} Lth, & -SD \leq s < -SD/2 \\ Lth = L_{th1} \cdot [1 - a \cdot (s - SD/2)], & -SD/2 \leq s < 0 \\ L_{tr} = L_{th1} (1.9 + (s - SD/2)/v)^{-1.4}, & 0 \leq s < S_{int} \\ L_{int}, & s \geq S_{int} \end{cases}$$

Като

$$Li = F2(si), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$
(2-10)

Търсят се такива стойности на яркостите и дължините на участъците, че да се изпълни условието:

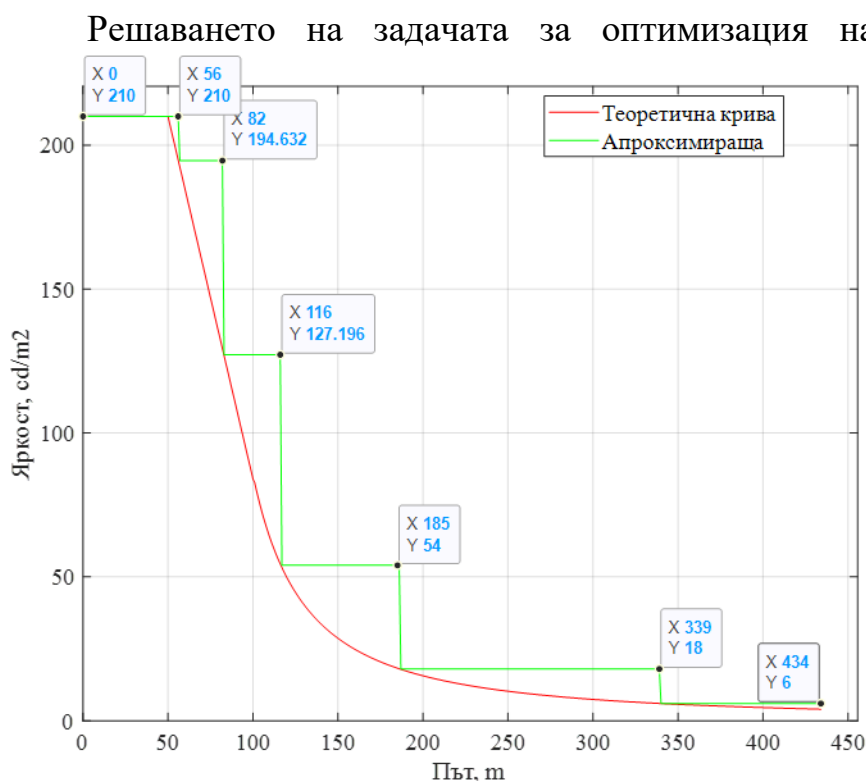
$$F1(s) - F2(s) = Z \rightarrow \min$$
(2-11)

Променливи в задачата са координатите $s_1, s_2 \dots s_n$ в метри или време „ti“ в секунди и яркостите $L_2, L_3 \dots L_{n-1}$ в cd/m^2 . Параметри на задачата са яркостта в началото на входната зона $L_{th1}=150 \text{ cd/m}^2$ (210 cd/m^2) и яркостта на вътрешната зона $L_{in}=4 \text{ cd/m}^2$, координатата $s_0=-SD/2=-50 \text{ m}$ на началото на втората половина на входната зона и координатата $s_n=SD+S_{int}=280 \text{ m}$, където по теоретичната крива попада L_{in} , в началото на вътрешната зона на тунела. Ограничителните условия, които трябва да се спазват са:

$$\begin{aligned} 1) \quad & \frac{L_i}{L_{i+1}} > 1, \quad i = 1:n; \\ 2) \quad & \frac{L_i}{L_{i+1}} \leq 3, \quad i = 1:n-1; \\ 3) \quad & \frac{L_n}{L_{int}} \leq 1.5; \\ 4) \quad & s_i - s_{i-1} > 1, \quad i = 1:n \end{aligned} \quad (2-12)$$

От изрази (2-8) до (2-11) се вижда, че целевата функция е съставена от две нелинейни по отношение на пътя функции именно умаляемо F1 и умалител F2. Ограничителните условия (2-12) т. 1), 3), 4) са от типа линейни неравенства, а 2) е нелинейно неравенство.

2.2.2 Решаване на оптимизационната задача



Фиг. 2.10 Най-добър резултат от решаването на задачата

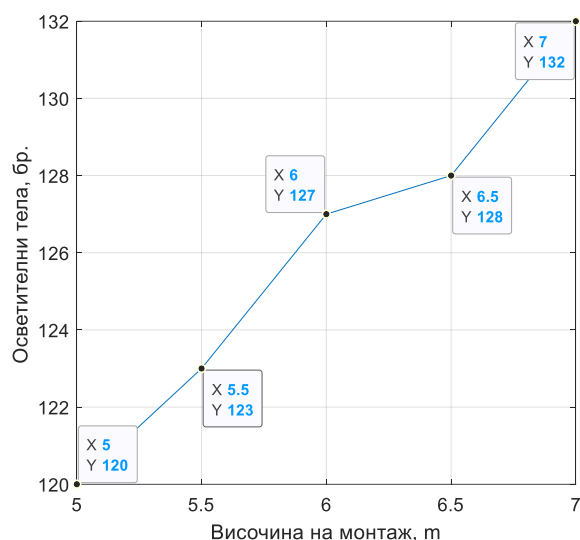
иллюстрираща промяната на общия брой лампи при промяна на височината на монтаж, за конкретната геометрия на тръбата на тунела.

преходните зони на пътни тунели следва алгоритъма показан на блоковата схема (фиг. 2.9).

Програмното реализиране на алгоритъма е направено в средата на MATLAB.

На фиг. 2.10 е показан най-добрият резултат от решаването на задачата.

На фиг. 2.13 е показана графика



Фиг. 2.13 Изменение на броя на лампите при промяна на височината на окачване

2.3 Избор на техническо решение за регулиране на светлинния поток

Димиране на светлинния поток на разрядни светлинни източници

Основният фактор оказващ влияние върху работата на разрядните източници е захранващото напрежение. От направения литературен преглед е установено, че за НЛВН с конвенционален тип ПРА, димирането с намаляване на амплитудата на захранващото напрежение е равностоеен на метода с промяна на честотата. Отчитайки, че устройствата за честотно регулиране на интензивността на светене са с по-висока себестойност и значително по-малка надеждност от тези за регулиране на амплитудата на напрежението, логично е да се разгледат условията за избор на такъв тип устройство. Едно от бюджетните решения е използването на понижаващ автотрансформатор.

За конкретната улица е проектирано ГДУ, съставено от три еднофазни АТ. Параметрите на трансформатора са показани в таблица 2-20.

Таблица 2-20 Параметри на автотрансформатора

ТИП АТ	U1	Рл	Лампи	cosFI	Stов	Kc1	Sat	s_ядро	a_ядро	l_ядро	H_ядро	b_проз.	B	Kc2	ε_н
	V	W	бр.	-	VA	-	VA	cm2	cm	cm	cm	cm	T	-	V/нав
АТ-4800	230	114	32	0,9	4783	0,7	917	24,21	4,80	4,80	12	4,80	1,50	0,9	0,725

Напрежение при димиране		65%Φ	50%Φ	пар.нам.	за 65%Φ	за 50%Φ	пар.нам.	ток посл.	ток пар.	външна	вътрешна	сеч.пров.	сеч.пров.	диам.пров.	диам.пров.
U_AT 65%	U_AT 50%	ΔU1'	ΔU1''	U2,V	w1a	w1b	w2	I1,A	I2,A	j1	j2	s1	s2	d1	d2
V	V	V	V	V	нав.	нав.	нав.	A	A	A/mm2	A/mm2	mm2	mm2	mm	mm2
199	186	31	44	199	43	22	274	20,80	3,99	3	2	6,93	1,99	2,97	1,59

По същата методика са изработени ГДУ за регулиране на потока на 400W НЛВН за 2 бр. тунела на автомагистрала „Струма“.

2.4 Изводи

Изготвен е алгоритъм и методика за избор на ДУ за разрядни лампи и димиране на светодиодни осветители. За конкретен обект са анализирани нивата, до които се редуцира светлинният клас на пътя Проектирани и произведени са групови димиращи устройства за НЛВН с различни мощности.

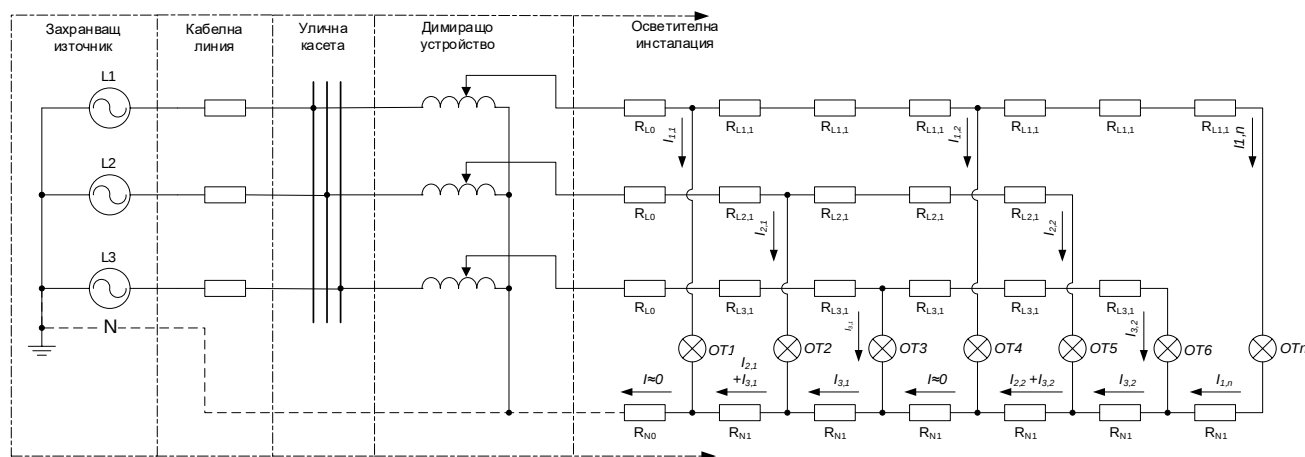
Разработен е алгоритъм и методика за проектиране на тунелни осветителни уредби, така че да се минимизират инсталираните мощности с цел подобряване на енергийната ефективност.

Направен е анализ и сравнение на енергийните показатели на улична осветителна уредба, при условие, че са удовлетворени светотехническите показатели на уредбата.

ГЛАВА 3. МОДЕЛИРАНЕ НА ВЪНШНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ ЗА ОЦЕНКА НА ТЯХНАТА ЕФЕКТИВНОСТ ПРИ РЕГУЛИРАНЕ НА СВЕТИЛНИЙ ПОТОК

3.1 Електроснабдителна система на осветителна уредба

За изготвяне на симулационен модел на външна осветителна уредба е използвана електрическата схема представена на фиг. 3.2.



Фиг. 3.2 Изчислителна схема на УОУ с трифазно захранване и еднофазни консуматори

3.2 Модели на светлинните източници и техните баласти

При работа в режим на понижена мощност се променят електрическите и светотехническите параметри на източника на светлина. Дори работа при номинално захранващо напрежение без димиране води до промяна на показателите на разрядните СИ с отдалечаване от източника на захранване. За да се изследват енергетичните показатели на уредбата и нейната ефективност в режим на димиране, ще се разработи симулационен модел, включващ съставните елементи на ВОУ.

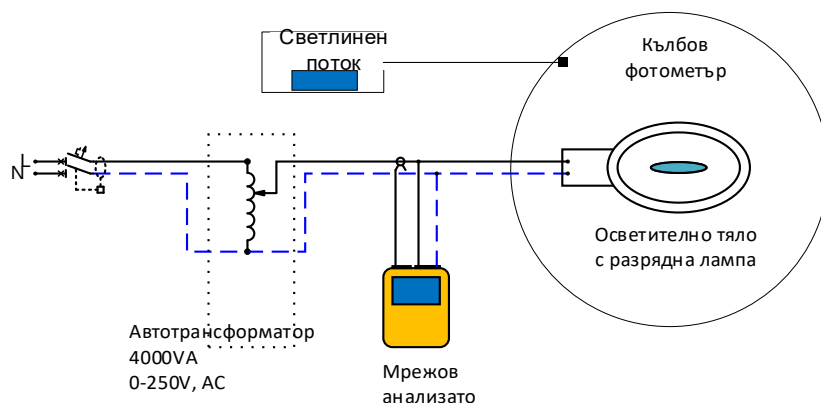
3.2.1 Разрядни светлинни източници

Оценка на мощности, ток и напрежение в осветителната уредба е чрез представяне на кривата на ток и напрежение към осветителното тяло в ред на Фурие. Потокът на лампата се описва най-точно, като се използва полиномна

апроксимация на функционалната зависимост на потока и подходяща електрическа величина - ток, напрежение или активна мощност.

3.2.1.1 Експериментални данни

За определяне на параметрите са направени серия опити, като паралелно с измерването на потока са измерени и енергетичните показатели на осветителните тела. Схемата на опитната постановка за провеждане на експеримент с разрядни лампи е показана на фиг. 3.3. Регулирането на напрежението е посредством автотрансформатора, а измерването на

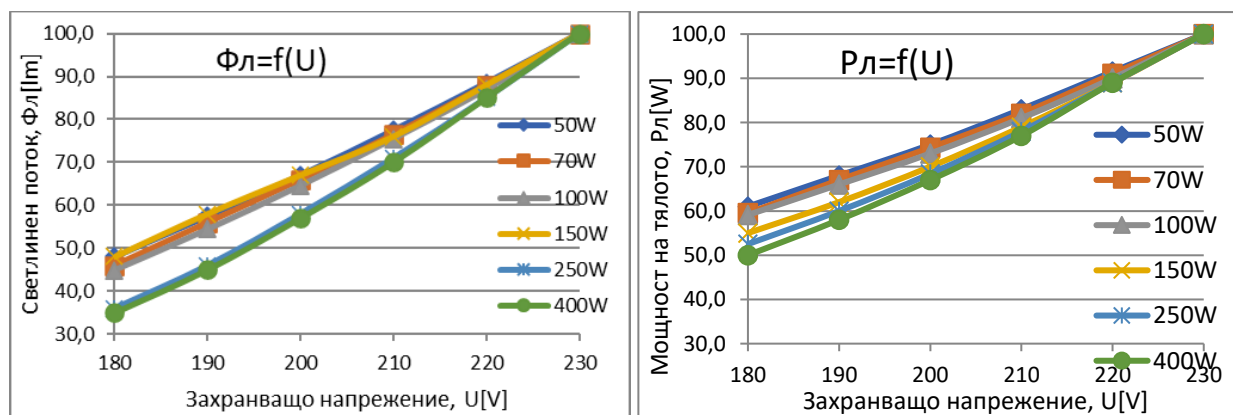


Фиг. 3.3 Схема на опитната постановка

хармоничния състав на тока и мощностите с мрежов анализатор QualiStar C.A 8334.

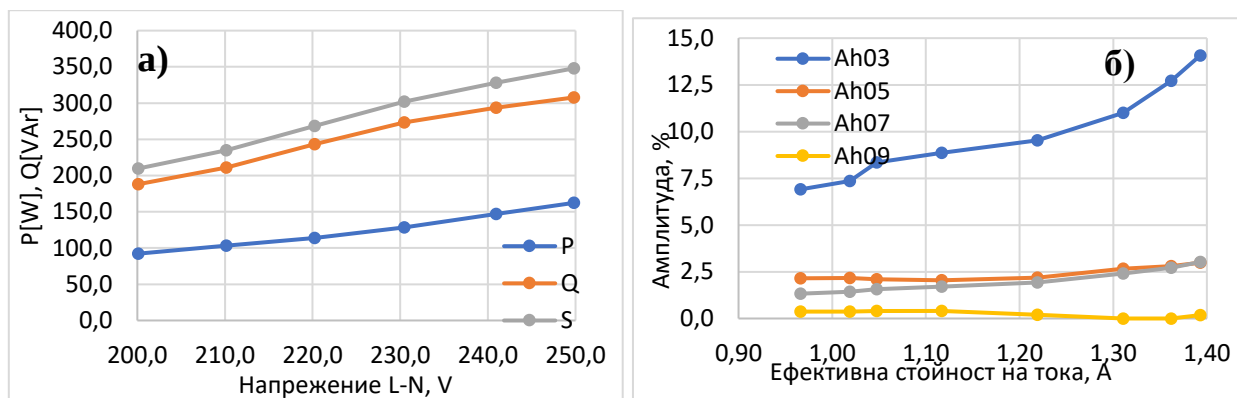
Резултатите от измерванията при различни захранващи напрежения, по-конкретно изменението на потока, активната

мощности от 50 до 400W и електромагнитен тип ПРА са показани на фиг. 3.4.



В осветителната инсталация от Глава 2 е използвана натриева лампа високо налягане с мощност 100W и за нейното моделиране са направени измервания на хармоничния състав на консумирания ток и на приложеното напрежение. На фиг. 3.5 е показана зависимостта на хармоничните съставлящи при изменение на амплитудната стойност на захранващото напрежение. На другата графика б) е показана зависимостта на амплитудата на хармониците от ефективна стойност на основния хармоник на тока на лампата.

В таблица 3-1 са показани измерените стойности на ефективната стойност на захранващото напрежение и амплитудите на основния и висшите хармоници на тока наблюдавани по време на експеримента.



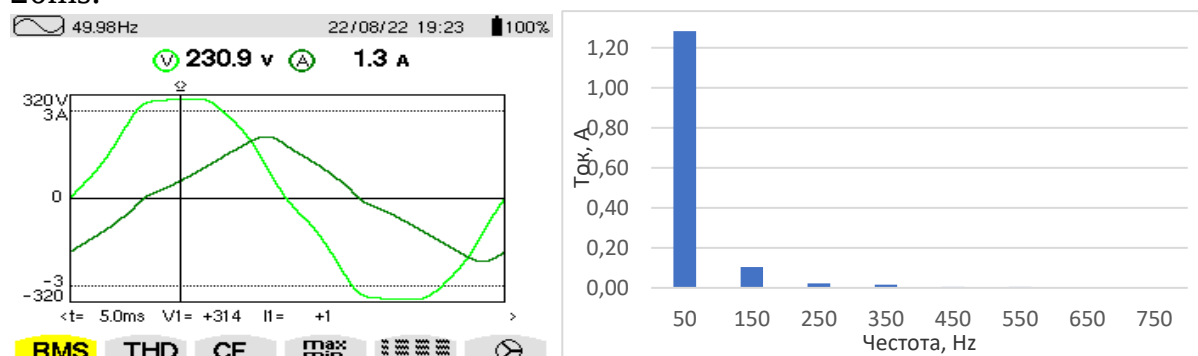
Фиг. 3.5 Криви на активна и реактивна мощност, и амплитуди на 3, 5, 7 и 9 хармоник при промяна на захранващото напрежение за 100W НЛВН без компенсиращ кондензатор

Използваните означения са - U_{rms} - ефективна стойност на захранващото напрежение; I_{rms} - ефективна стойност на тока към ОТ, както в именувани, така и в относителни единици. Ah03 - Ah15 амплитуди на висшите хармоници на тока (от трети до петнадесети).

Таблица 3-1 Амплитуда на хармоничните съставлящи на НЛВН без Ск

U_{rms}	I_{rms}	I_{rms}	Ah03	Ah05	Ah07	Ah09	Ah11	Ah13	Ah15
V	A	%	%	%	%	%	%	%	%
181,2	0,97	100,0	6,91	2,15	1,33	0,36	0,39	0,20	0,01
190,4	1,02	100,0	7,36	2,16	1,43	0,37	0,40	0,20	0,02
200,1	1,05	100,0	8,34	2,10	1,57	0,40	0,49	0,21	0,12
210,2	1,12	100,0	8,87	2,04	1,70	0,40	0,50	0,20	0,19
220,2	1,22	100,0	9,53	2,18	1,93	0,20	0,54	0,20	0,19
230,5	1,31	100,0	11,00	2,66	2,42	0,00	0,60	0,01	0,00
240,9	1,36	100,0	12,71	2,81	2,71	0,00	0,66	0,20	0,00
249,8	1,39	100,0	14,08	2,99	3,02	0,18	0,69	0,27	0,00

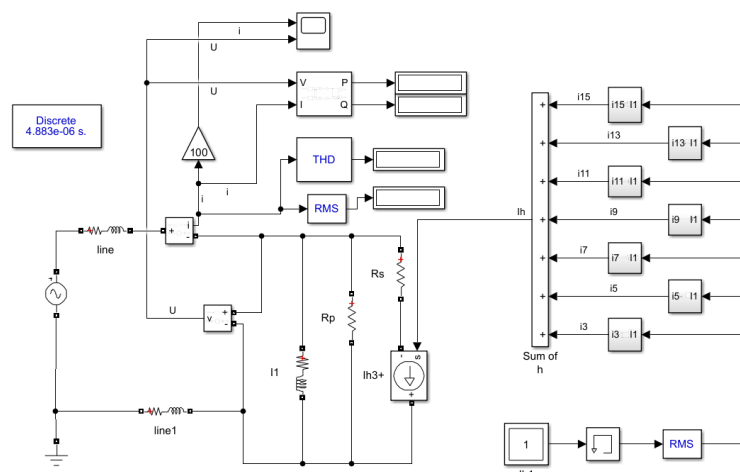
Експерименталните данни на фиг. 3.7 показват изменението на напрежението и ефективната стойност на тока на разрядна лампа за период от 20ms.



Фиг. 3.7 Криви на ток и напрежение за един период на НЛВН (100W) а) и спектрален състав на тока към лампата б)

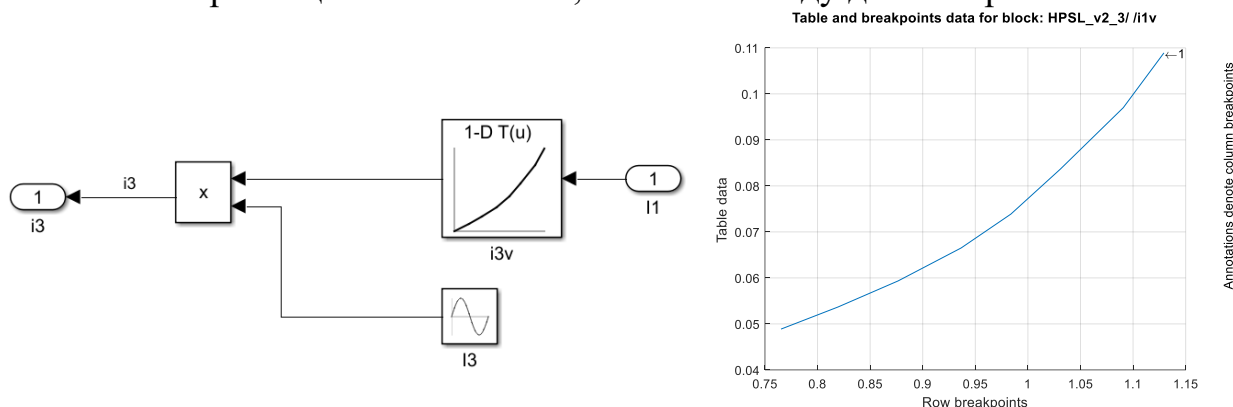
На база измерените стойности на хармоничните съставлящи е разработен симулационен модел на НЛВН (фиг. 3.9).

На показания на фиг. 3.9 модел, първи хармоник (I1) е представен с последователно свързан „R-L” товар, а висшите хармоници са сумирани по амплитуда и фаза, и са моделирани в схемата с управляем източник на ток.



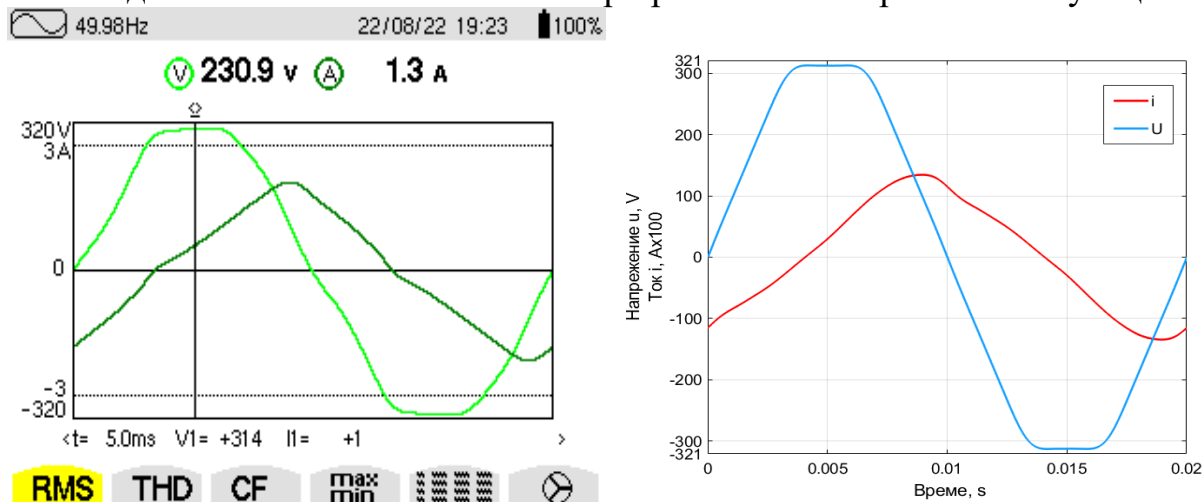
Фиг. 3.9 Симулационен модел на тяло с НЛВН 100W

Всеки хармоник се изчислява като се използва зависимостта му от средноквадратичната стойност на тока. Амплитудата се определя по измерените стойности, посредством „lookup tables“ в Simulink и се ползва линейна интерполация за стойности, които са между две измерени.



Фиг3.10 Моделна имитация на генерация на 3-ти хармоник и зависимостта и от големината на I_{RMS}

На фиг. 3.11 са показани графиките на ток и напрежение приложени към 100W НЛВН, без компенсиращ кондензатор при 230V и при 170,2V. Видно е почти еднаквото изменение на тока при реалното измерване и симулацията.



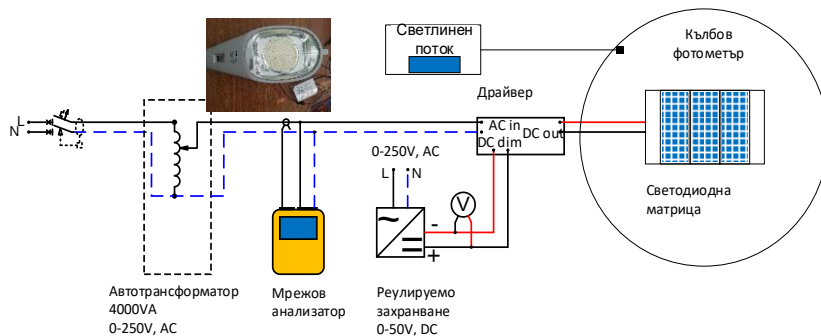
Фиг. 3.11 Измерени и симулирани стойности на ток и напрежение за НЛВН 100W, при захранващо напрежение 230V

Моделът е цифров с интервал на дискретизация $T_{\text{sim}}=1/50/1024$ s, еквивалентен на интервала на измервателния уред. Използването на дискретен модел, а не на непрекъснат, е с цел ускоряване на симулациите. Предварителното сравнение на резултатите от двата модела показва, че загубата на точност е средно 1-2 % при различните напрежения.

Изследвани са параметрите на два светодиодни осветителя. Единият е тунелен с единична мощност 150W и улично осветително тяло 50W.

Улично осветително тяло 50W

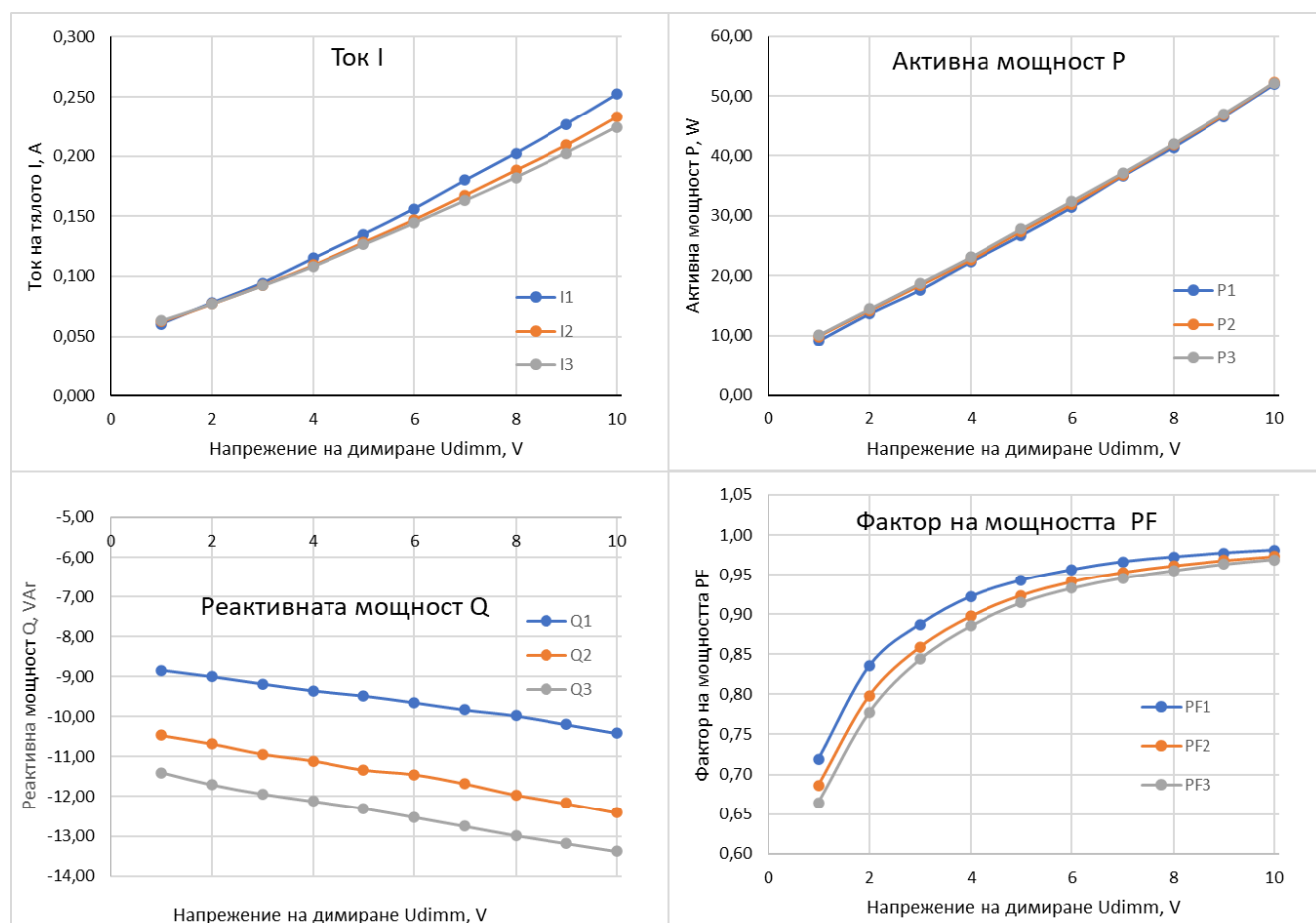
Фиг. 3.18 Опитната постановка за измерване на електрическите характеристики на осветителя (50W) при димиране с 0-10V DC



Фиг. 3.18 Опитната постановка за измерване на електрическите характеристики на осветителя (50W) при димиране с 0-10V DC

експериментални
данни при
регулиране на
потока и
различни
напрежения за
LED осветител.
Резултатите от
измерването са
представени в
графичен вид на

фиг. 3.19. Величините с индекс „1“ са измерени при напрежение 210V, тези с „2“ при 230, а с „3“ при $U_3=240V$.



Фиг. 3.19 Изменение на I, P, Q и PF при димиране

В таблица 3-6 е показана промяната на потока (Φ) и мощността (P) на тялото при изменение на управляващото напрежение (U_{dm}) на баласта от 1 до 10V.

Таблица 3-6 Енергетични характеристики на уличното ОТ

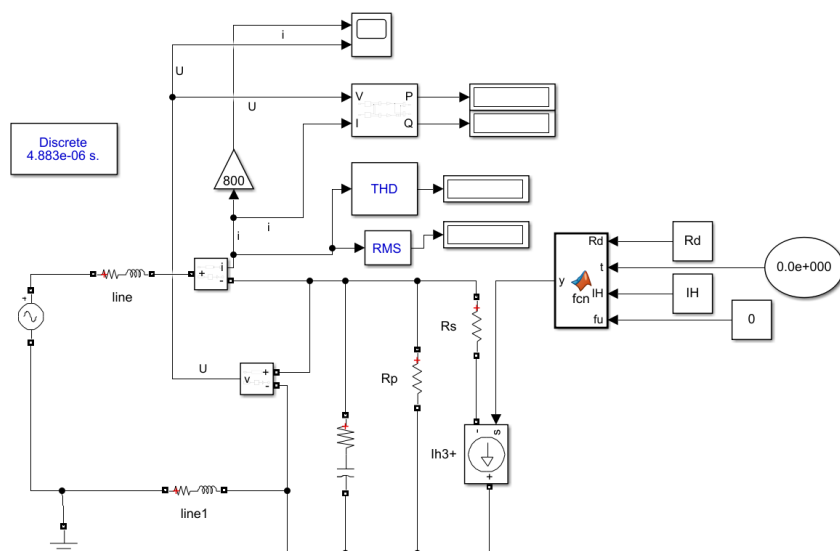
Udm	P, W	P, oe	Φ , oe	Φ , lm	LLMF	hour
10	52,3	1	1	4000	1	0
9	46,76	0,89	0,914	3656	0,96	25000
8	41,81	0,8	0,833	3332	0,93	50000
7	36,73	0,7	0,741	2964	0,89	75000
6	31,84	0,61	0,649	2596	0,86	100000
5	27,33	0,52	0,563	2252		
4	22,62	0,43	0,46	1840		
3	18,38	0,35	0,368	1472		
2	14,16	0,27	0,259	1036		
1	9,88	0,19	0,149	596		

на тялото при изменение на управляващото напрежение (U_{dm}) на баласта от 1 до 10V.

Моделът на лампата е показан на фиг.3.23. Освен елементите необходими за неговото функциониране са добавени и измерватели за контрол на електрическите характеристики по време на симулация при

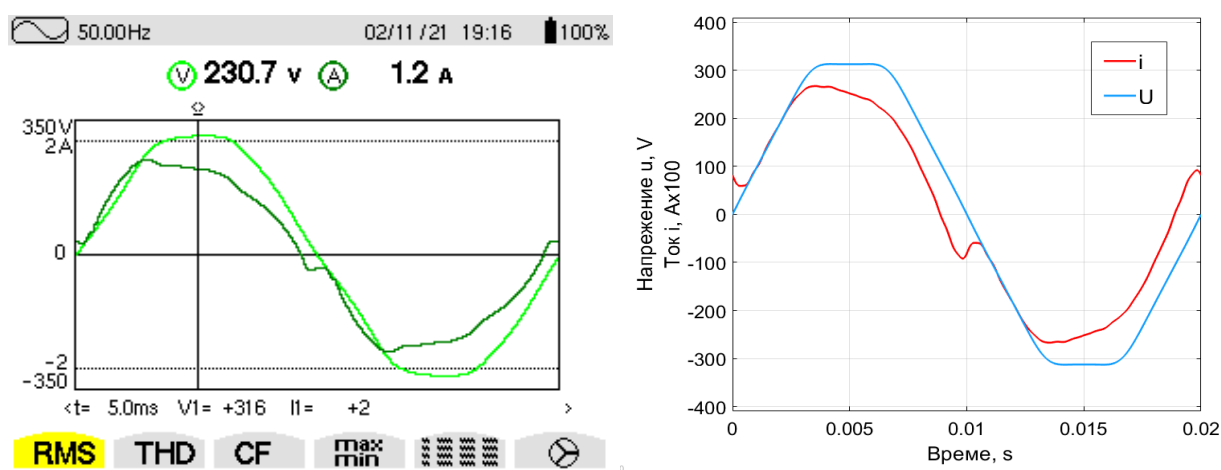
различните работни режими.

Резултатите от работата на модела на единичен осветител, по-конкретно ток и напрежение към консуматора са показани на фиг. 3.25.

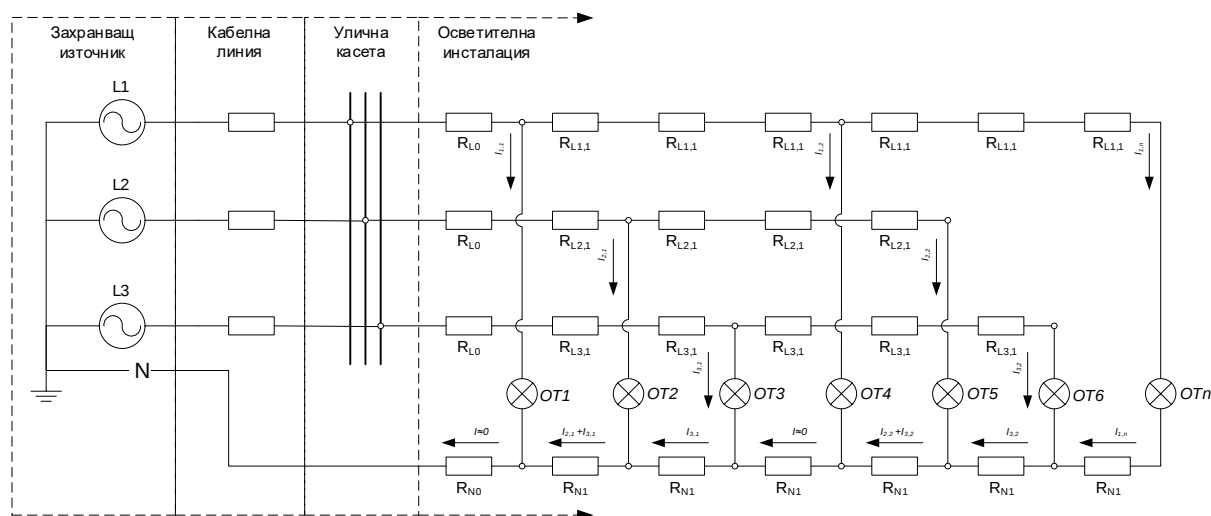


Фиг. 3.23 Симулационен модел на единичен светодиолен осветител

Показаните стойности са при управляващо напрежение $U_d=10V$ DC, което отговаря на работа с максимална мощност и излъченият поток е с максимална стойност за този драйвер.

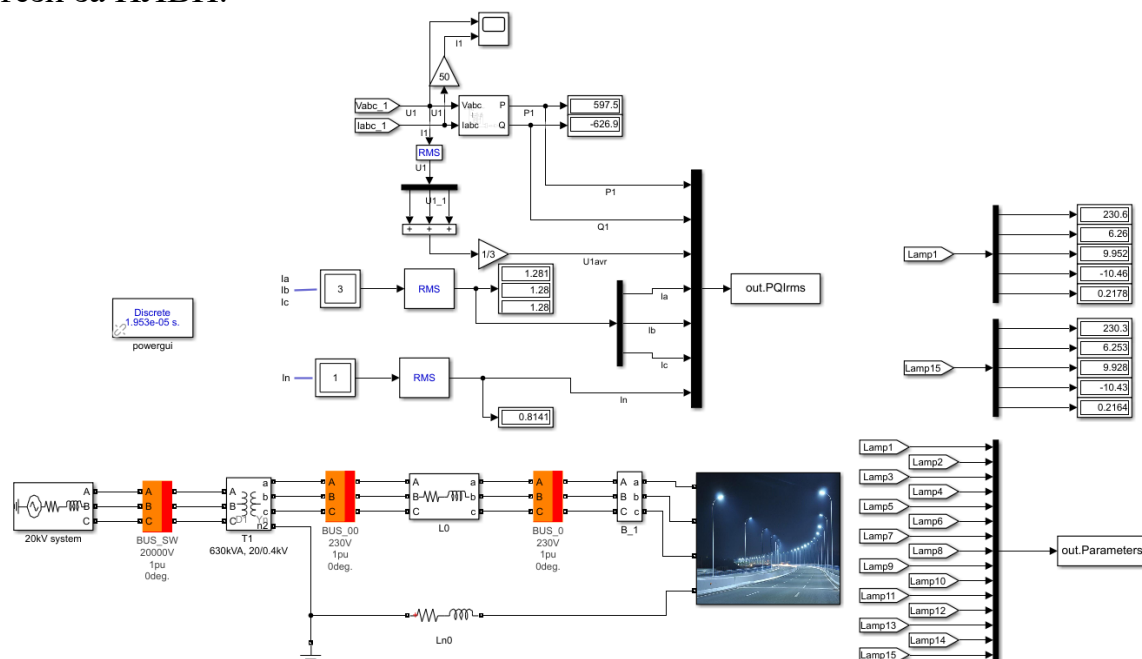


Фиг. 3.25 Напрежение и ток при измерване а) и симулация на работата на осветител с мощност 50W за един период



Фиг. 3.27 Схема на светодиодно осветителна уредба при трифазно захранване

По електрическите схеми показани на фиг. 3.26 и фиг. 3.27 е направен симулационния модел на осветителната инсталация фиг. 3.28. Инсталацията, както и всички елементи свързващи ОТ със захранващата мрежа са подобни на тези за НЛВН.



Фиг3.28 Симулационен модел на ОУ с 45бр. LED 50W

3.3 Изводи

В главата са изготвени симулационни модели на осветителни тела с два вида светлинни източници - НЛВН и светодиоди. Използвани са елементи от теорията на хармоничния анализ на периодична несинусоидална функция за изразяване на функционална зависимост между ток и мощност.

Съставени са модели за осветителни уредби с НЛВН и светодиоди на база на симулационните модели на осветителните тела.

Моделите са универсални (адаптивни) и дават възможност да се изследва работата на различни осветители за оценка на тяхната ефективност в конкретна осветителна уредба. Може също да се направи сравнителен анализ при реализиране на функция постоянен светлинен поток.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ НА РАБОТАТА НА ВЪНШНИТЕ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ ПРИ РЕГУЛИРАНЕ НА СВЕТЛИННИЯ ПОТОК

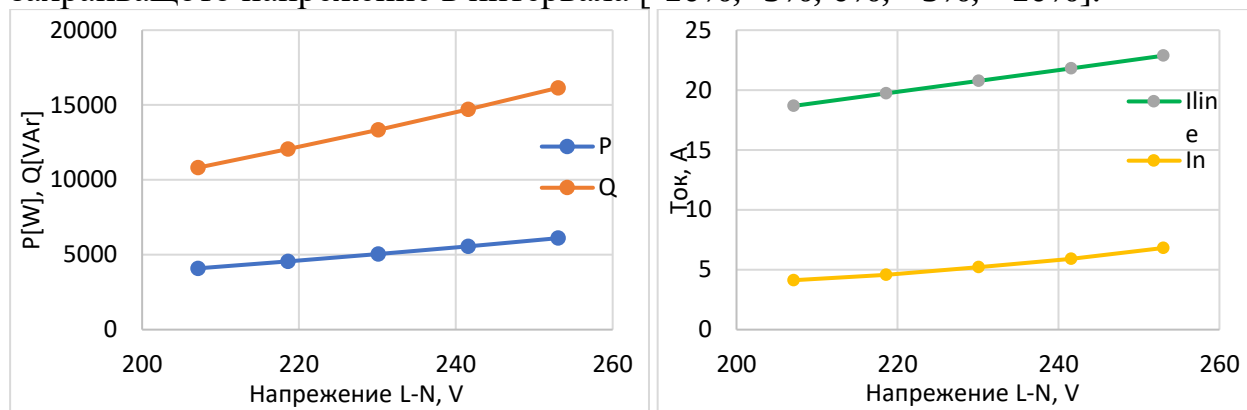
В главата е изследвана работата на ОУ при използване устройства за регулиране на потока на газоразрядни лампи високо налягане в частност НЛВН и светодиодни осветителни тела.

4.1 Разрядни източници на светлина

4.1.1 Работа при номинална мощност

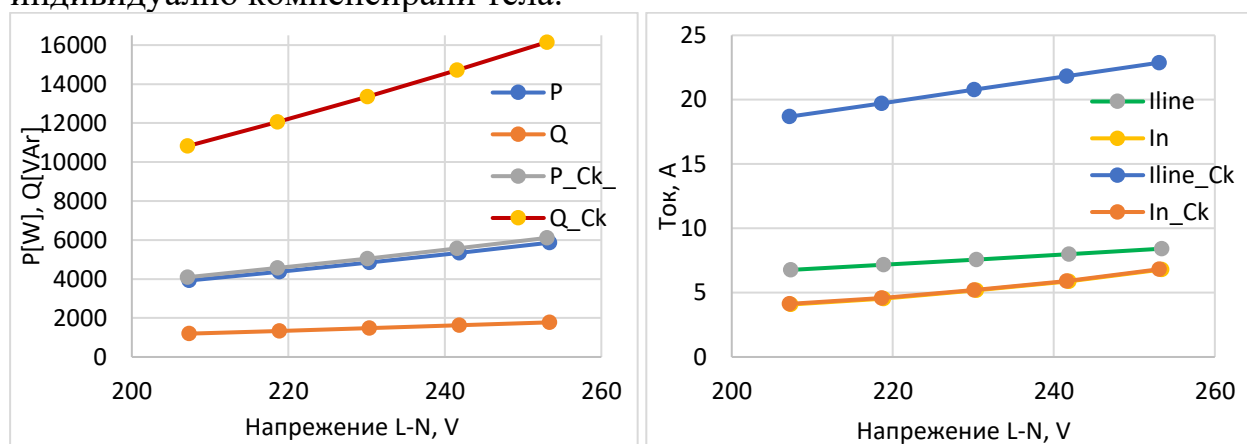
По разработения симулационен модел е направена оценка на работата на УОУ. Изчислени са активна и реактивни мощности, и енергия, както при номинално напрежение 230V, така и при промяна на захранващото напрежение. На фиг.4.1 е показана графично зависимостта на някои от

параметрите на уредба с не компенсирани осветителни тела при промяна на захранващото напрежение в интервала $[-10\%, -5\%, 0\%, +5\%, +10\%]$.



Фиг.4.1 Изменение на активна, реактивна мощност (а) и ефективна стойност на тока в линията, и неутралата (б) при промяна на захранващото напрежение $\pm 10\%$

На следващата фигура са показани графиките при инсталация с индивидуално компенсирани тела.



Фиг.4.2 Изменение на активна, реактивна мощност (а) и ефективна стойност на тока в линията, и неутралата (б) при промяна на захранващото напрежение $\pm 10\%$

С индекс „_Ck“ са показани величините за лампи с компенсиращ кондензатор, а за сравнение са показани и стойностите за лампа без него.

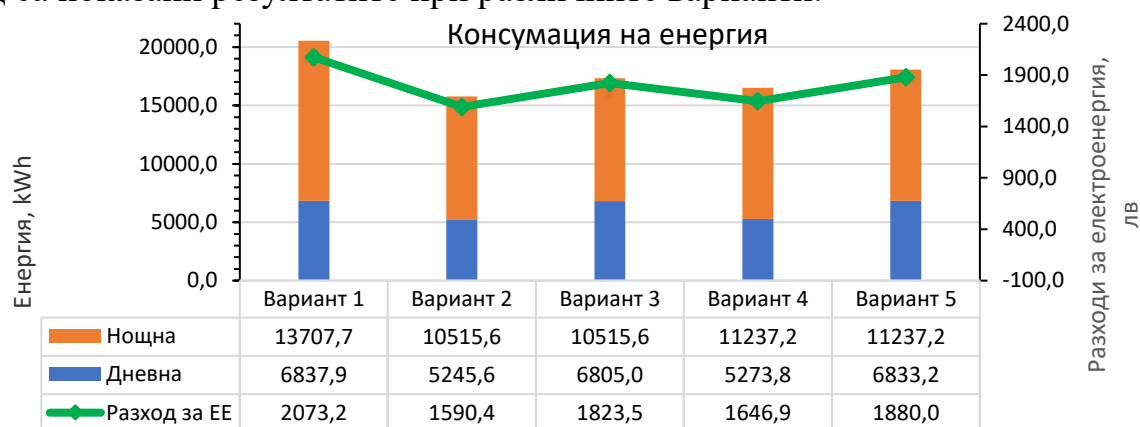
4.1.2 Анализ на работата при вариант с централно димиращо устройство

В таблица 4-1 са показани описание на режима, основното ниво на работа, времето, когато има превключване към по-ниска степен на потока и степента, до която се намалява потока.

Таблица 4-1 Режими на работа на уредбата

Вариант №	Описание на режима	Основно ниво	Време на превключване, h		
			6	22	24
1	100%	100%	100%	100%	100%
2	100/50%	100%	50%	50%	50%
3	100/50/100	100%	100%	50%	50%
4	100/66/50	100%	50%	66%	50%
5	100/66/50/100	100%	100%	66%	50%

За уредбата от Глава II са направени симулации за всичките варианти за оценка на работните режими и разход на енергия, като на фиг. 4.4 в обобщен вид са показани резултатите при различните варианти.



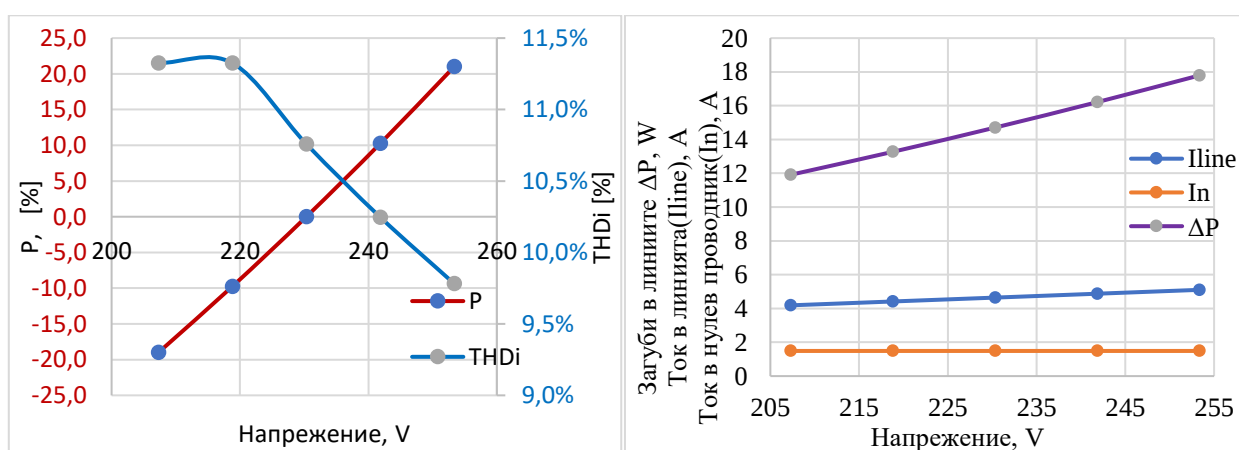
Фиг. 4.4 Електроенергия изразходвана от УОУ при различни варианти на управление

Базов е вариант 1, който е при номинално напрежение на мрежата и няма промяна в потока на лампите. Най малки са разходите за енергия и съответно консумираната активна мощност при вариант 2. Разлики при различните режими са обобщени в относителни единици. Резултатите са подобни на тези изнесени в Глава I. Изменения се получават при промяна на интервалите за превключване от една на друга степен на работа на груповото димиращо устройство. Така се променя и изразходваната енергия, но и нейната стойност в зависимост от това дали се таксува по цени за дневна или нощна тарифа.

4.2 Улична осветителна уредба със светодиоди

4.2.1 Анализ на работата на системата при номинална мощност

На фиг. 4.8 е показана зависимостта на активна мощност, ток и загуби в линията от захранващото напрежение.

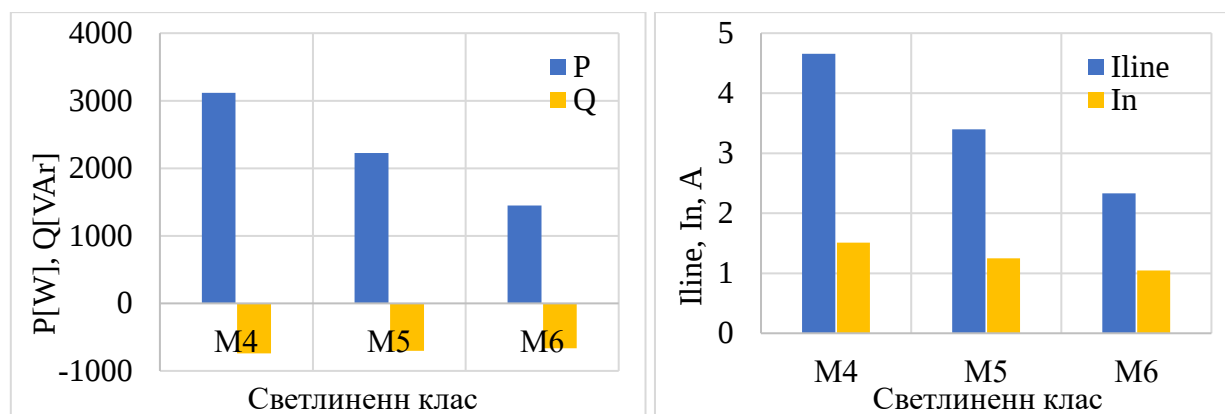


Фиг.4.8 Параметри на уредба със светодиоди при различни напрежения $\pm 10\%$. Un

4.2.2 Работа в режим на понижена мощност

Прави впечатление, че промяната на активната мощност от различните степени е около 50%, докато при реактивната промяната е по-незабележима от

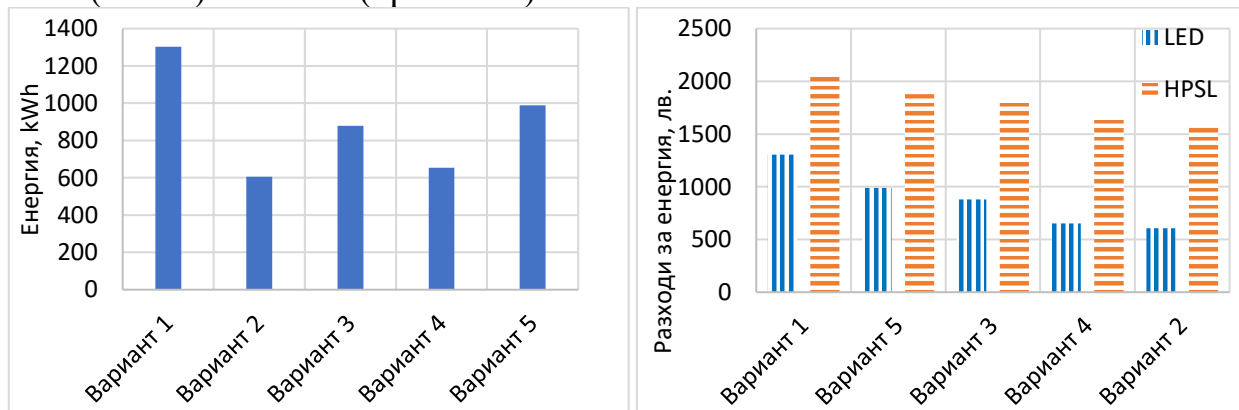
-5% при прехода от основен режим към 65,4% (клас M5) и 10% при работа на 39% (M6) от основния поток (фиг. 4.10).



Фиг. 4.10 Активна и реактивна мощност на УОУ при димиране

При димиране на LED осветители делът на активната спрямо реактивната мощност намалява и факторът на мощност се влошава ($\text{tg}(\varphi)$) в граници от 0.96 до 0.89. Характерът на товара при осветителни уредби с разрядни лампи е активно-индуктивен ($0.6 < \text{PF} < 0.95$), а при осветителни уредби с LED - активно-капацитивен ($-0.6 > \text{PF} > -0.96$).

На фиг. 4.12 е показан разходът на електроенергия при всеки от разглежданите варианти на управление. Сравнени са разходите за енергия при LED (синьо) и HPSL (оранжево).



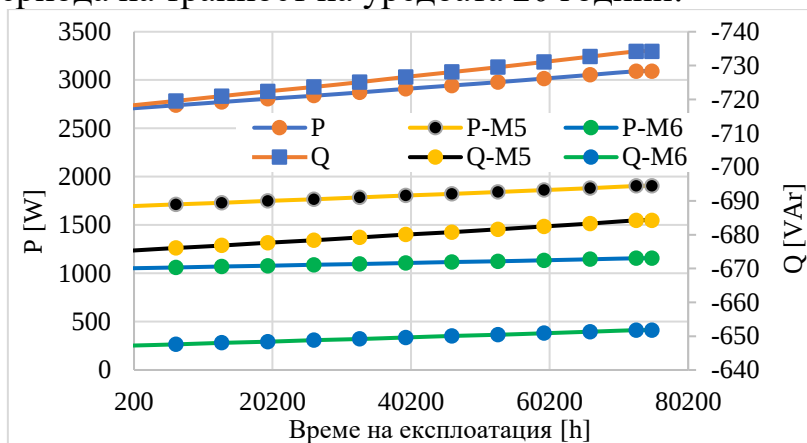
Фиг. 4.12 Разход на енергия при различните варианти на управление

Консумацията на енергия основно зависи от нивото, до което се понижава светлинният поток и времето, в което това се случва. От съществено значение е и ефективността на телата, особено в режим на понижена мощност, защото той обхваща по-голяма част от времето за работа на осветлението.

4.2.3 Икономия на енергия от компенсиране на LLMF

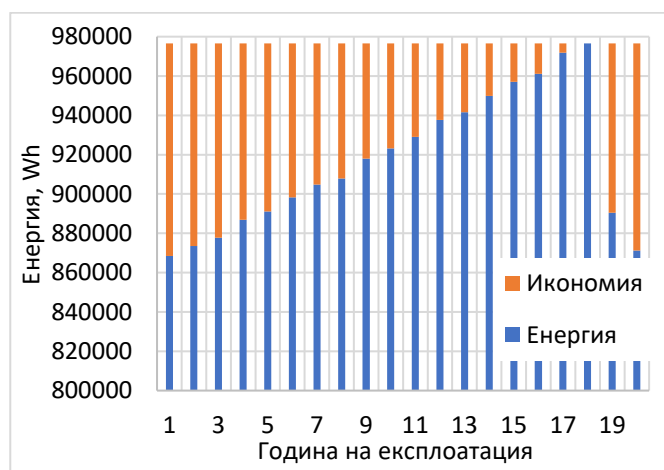
За изследваната уредба са направени две симулации със стъпално и плавно компенсиране на стареенето на потока (LLMF). За използвания светодиоден уличен осветител са показани кривите, по които става промяната на потока за периода на експлоатация. Изследвани са режима при светлинен клас M4, M4/M6 и M4/M5/M6 със съответната промяна на мощността и потока

на лампата. Изменението на параметрите за всеки от режимите са показани на фиг. 4.13 за периода на трайност на уредбата 20 години.



Фиг. 4.13 Изменение на мощността на инсталацията при реализиране на функцията постоянен поток

Енергията консумирана от уредбата е показана на фиг. 4.14 за период от 20 години.



Фиг.4.14 Икономия на енергия от компенсиране на стареенето на светодиода

Икономията възлиза на 6,1% за този осветител в сравнение с вариант без CLO. При всеки светодиод икономията е различна, като зависи от характера и степента на намаляване на потока в края на техническия живот на лампата.

Описаните до момента варианти на управление са базирани на оценка на трафика по предварително заснети данни и текущо определяне на светотехническия клас на улицата и необходимия поток.

4.3 Изводи

Изследвана е работата на улична осветителна уредба с два вида светлинни източници НЛВН и светодиоди при промяна на захранващото напрежение, и влиянието му върху ефективността ѝ.

Изследвана е енергийната ефективност на уредбите при реализиране на различни варианти на управление на потока на светлинните източници. Направен е сравнителен анализ на ефективността за различните варианти на управление за двата вида осветителни уредби.

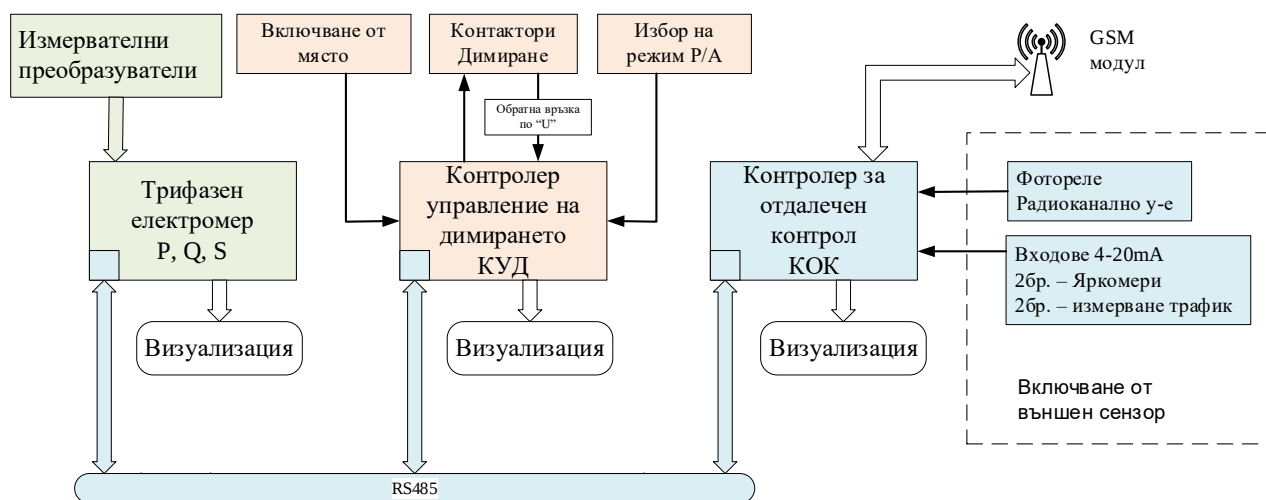
Разработени са алгоритъм и програма за определяне на допълнителните енергийни спестявания, които биха се реализирали при поддържане на постоянен светлинен поток в осветителните уредби.

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТВАНЕ НА СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ВЪНШНИ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ

5.1 Уредби с газоразрядни лампи

5.1.1 Принципна схема на управляващата система

За проектираното групово димиращо устройство е разработена система за управление и отдалечен контрол. Обобщена структурна схема е показана на фиг.5.3.



Фиг. 5.3 Обобщена структурна схема на системата за управление на ГДУ за разрядни лампи с електромагнитен баласт

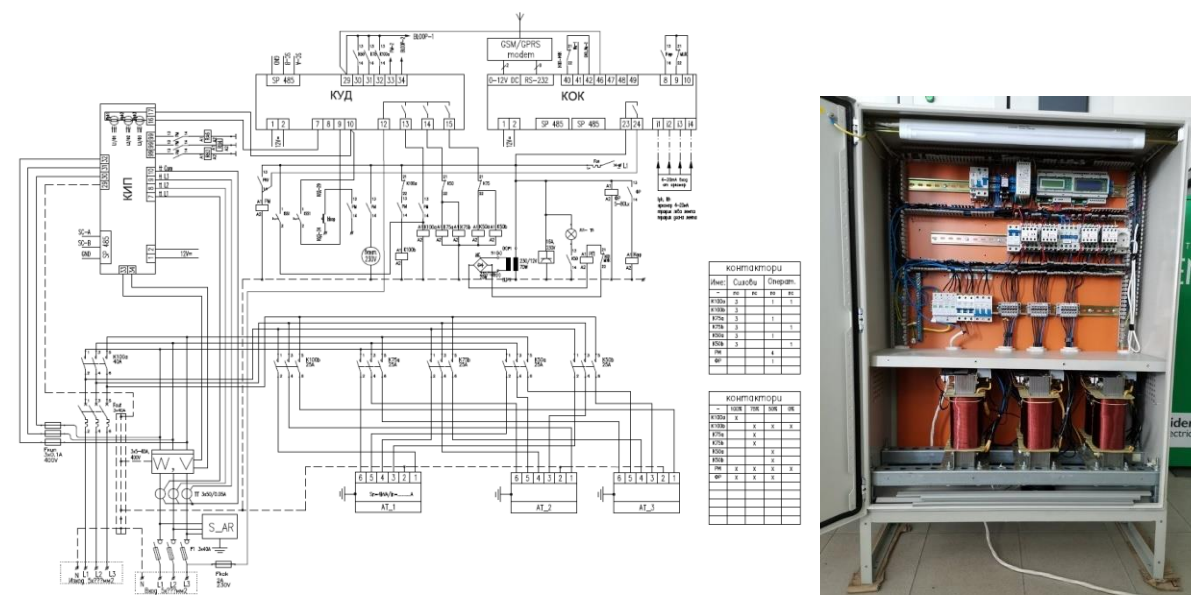
Системата е функционално разделена на три модула „Измерване“, „Контролер димиране“ управляващ работата на ГДУ и „Контролер за отдалечен контрол“. Захранването на схемата е с 24V DC от общ за касетата преобразувател.

За измервателен модул се използва трифазен електромер с вграден серийен комуникационен интерфейс RS485. Системата ползва modbus протокол за обмен на данни между основните модули. Измервателният модул дублира търговския електромер.

Контролер за управление на димирането

Димиращият контролер е изграден на база микропроцесор от фамилията PIC 16F88-I/P. Предвидени са пет входа на клеми, безпотенциални за обратни връзки от междинно реле, трите контактора за димиране (K100%р K75%, K50%) и бутон за ръчно управление. Контролерът е с вграден часовник за реално време, но може да получава сигнал и от този за отдалечен контрол в зависимост от зададените настройки. Вграден е комуникационен модул, позволяващ двупосочна комуникация в системата по RS485 като подчинено устройство към контролера за отдалечен контрол (КОК). Контролерът

осигурява режим на непрекъснат ток във веригата на светлинните източници и по този начин осигурява тяхната стабилна работа в режим на понижена мощност. На фиг. 5.5 е показана еднолинейна схема и снимка на УРК с ГДУ реализирано по тази схема.



Фиг. 5.5 Еднолинейна схема и снимка на касетата за управление

Подобно решение е използвано в „Автомагистрала „Струма“ ЛОТ 2, участък „Дупница- Благоевград“ от км 322+000 до км 359+483.52. Тунелни системи и осветление за тунел 2 с две тръби от км 351+120 до км 351+500“. Използваните автотрансформатори от фиг. 5.6 за димиране на дежурно, нощно



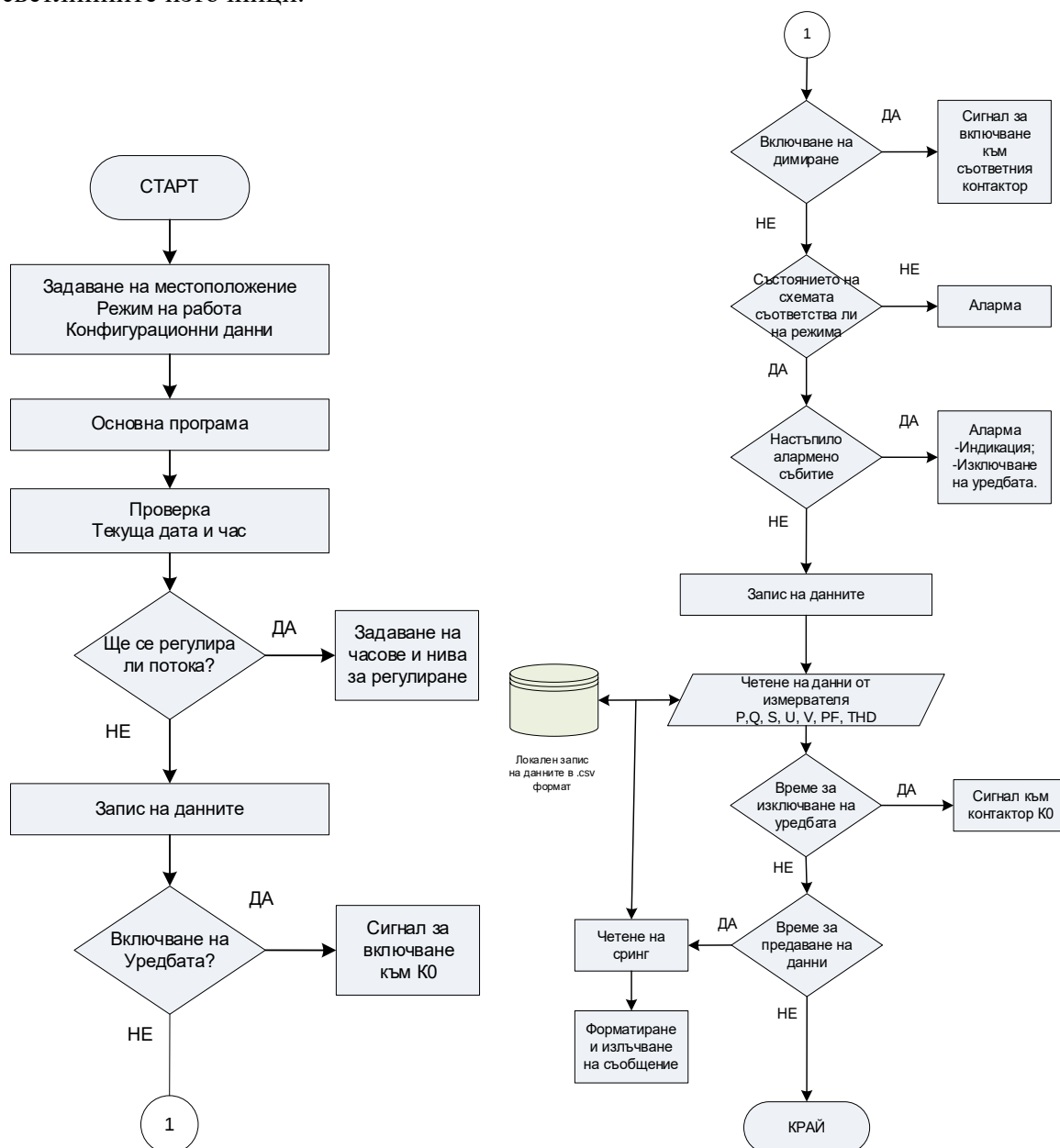
Фиг.5.6 Снимка на лява част на табло НН-контролери, релейни блокове, автоматични прекъсвачи и контактори а), дясна част на табло НН- димиране на нощно дежурно и предпортално осветление б)

и предпортално осветление са за общ товар 6 kVA и осигуряват икономия на електроенергия около 40% през нощта спрямо вариант без димиране. При напрежение над $1.05 \cdot U_{ном}$, чрез тях се избягват завишените загуби в осветителите, а при нови светлинни източници, чрез работа на степен 75% от номиналния

поток се прави допълнителна икономия на енергия, независимо от приетия експлоатационен фактор 0.7 (потокът е $1/0.7$ пъти по голям).

5.1.2 Алгоритъм на работа

Алгоритъма на работа дава представа за последователността на изпълнение на отделните процедури от системата за управление, за да се осигури енергийно ефективен режим на работа. Моментите на включване на съответната степен на димиране се определят от КУД, като се използва вграденият в нея астрономически календар. Те се задават предварително като се отчита географското местоположение на ОУ и времето за разгаряне на светлинните източници.



Фиг. 5.7 Обобщен алгоритъм на работа на системата

5.2 Уредби със светодиоди

За нуждите на тези класове улици М5 и М6 е разработено интелигентно автономно управляващо устройство за светодиодни осветители с димируеми драйвери. Групата от осветители, за улица, квартал или село, се включва и изключва от реле по астрономически календар. Във всеки осветител има малка управляваща система с интелигентно самонастройване по времето за работа на осветителя. По време на експлоатация се променя светлинният поток на

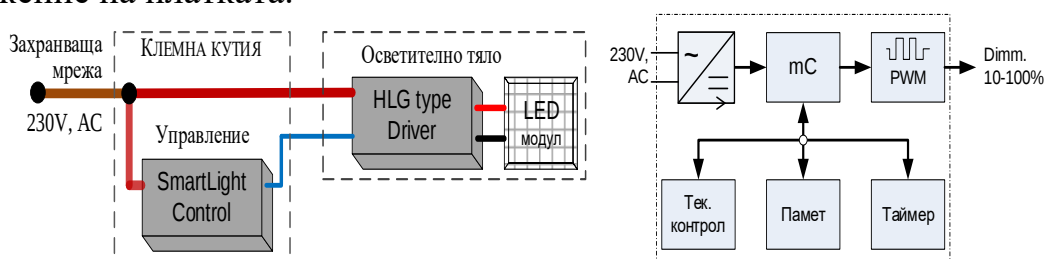
осветителя по зададен алгоритъм и се коригира стареенето на източниците по натрупаните часове работа.

Принципна схема

Предложени са две разработки за два различни типа драйвери. Първата е за драйвер тип “HLG”, като устройството се монтира извън корпуса на осветителя в разклонителна кутия в стълба. Захранването е от мрежата 230V/AC и на входа на драйвера се подава димиращ сигнал.

5.2.1.1 Блокова схема при контролер монтиран извън осветителното тяло

Както е показано на блоковата схема (фиг. 5.8) към захранващото напрежение е включен изправителен и стабилизиращ блок даващ работното напрежение на платката.

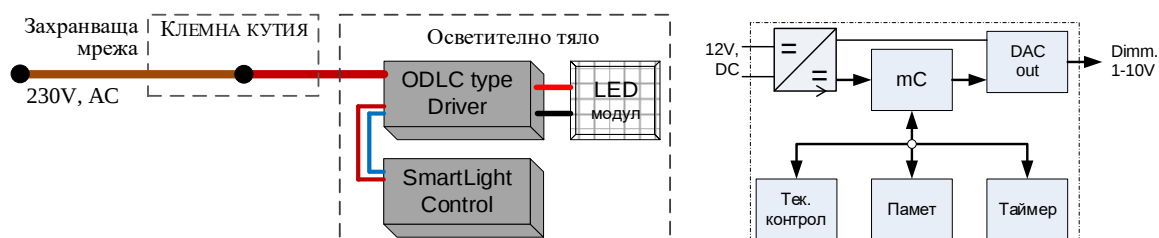


Фиг. 5.8 Схема на свързване на устройството извън осветителя с HLG драйвер. Блок схема на устройството Smart Light

Използван е едночипов 8 битов микропроцесор (mC), енерго-независима памет и часовник реализиран с вградения брояч на контролера. ШИМ модулиран сигнал за регулиране на силата на светене на светодиода е през цифров изход на чипа и транзисторно стъпало.

5.2.1.2 Блокова схема при драйвер монтиран в корпуса на осветителя

Вторият вариант е, когато използван драйвер тип „ODLC“. В този случай захранването е през постояннотоковия изход на драйвера (фиг. 5.9). Това определя на входа да се използва DC-DC регулатор за осигуряване на напрежение на схемата. Останалите елементи са с аналогични функции, но при необходимост от използване на регулиращо напрежение 0-10V/DC, се използва ЦАП с вход от стабилизиращата схема и управление от порта на микропроцесора.



Фиг. 5.9 Схема на свързване на устройството в корпуса на осветителя с ODL тип драйвер. Блок схема на устройството

На фиг. 5.10 е показан и външен изглед на устройството Smart Light във вариант със захранване на 12V/ DC.

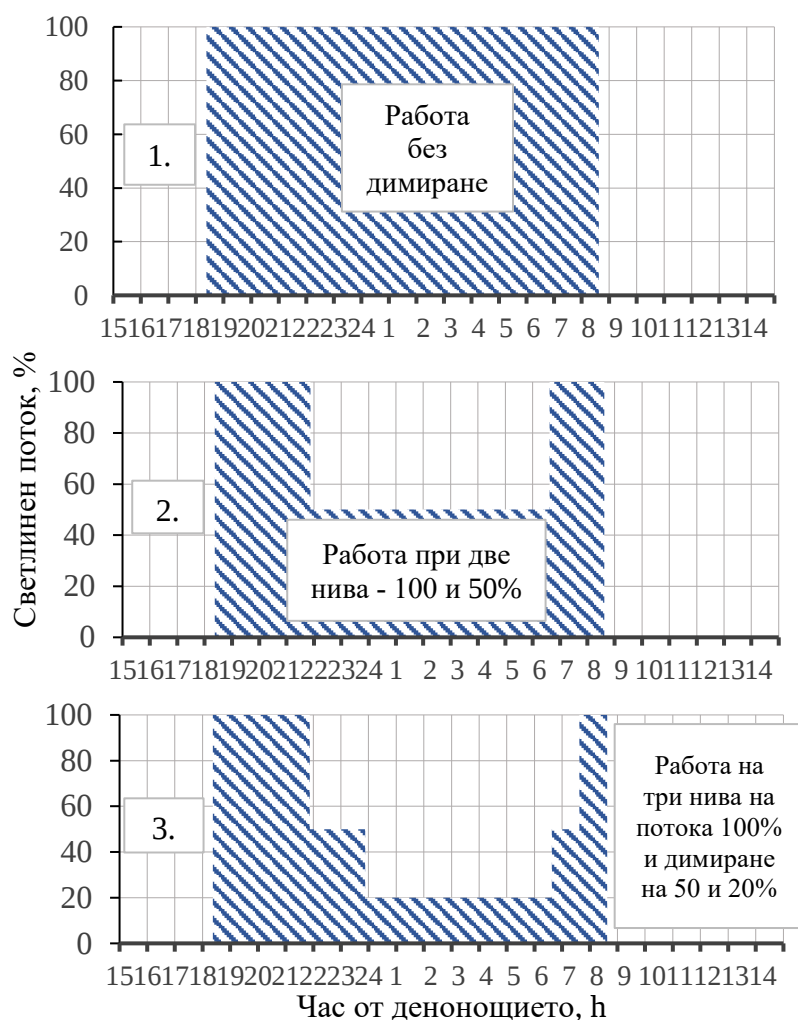


Фиг. 5.10 Изглед на устройството SmartLight

5.2.2 Стратегия на димиране. Алгоритъм на работата на системата

5.2.2.1 Възможности за регулиране на потока

Разработеното устройство позволява реализиране на различни работни режими във времето. На фигура 5.11 са показани три от тях.



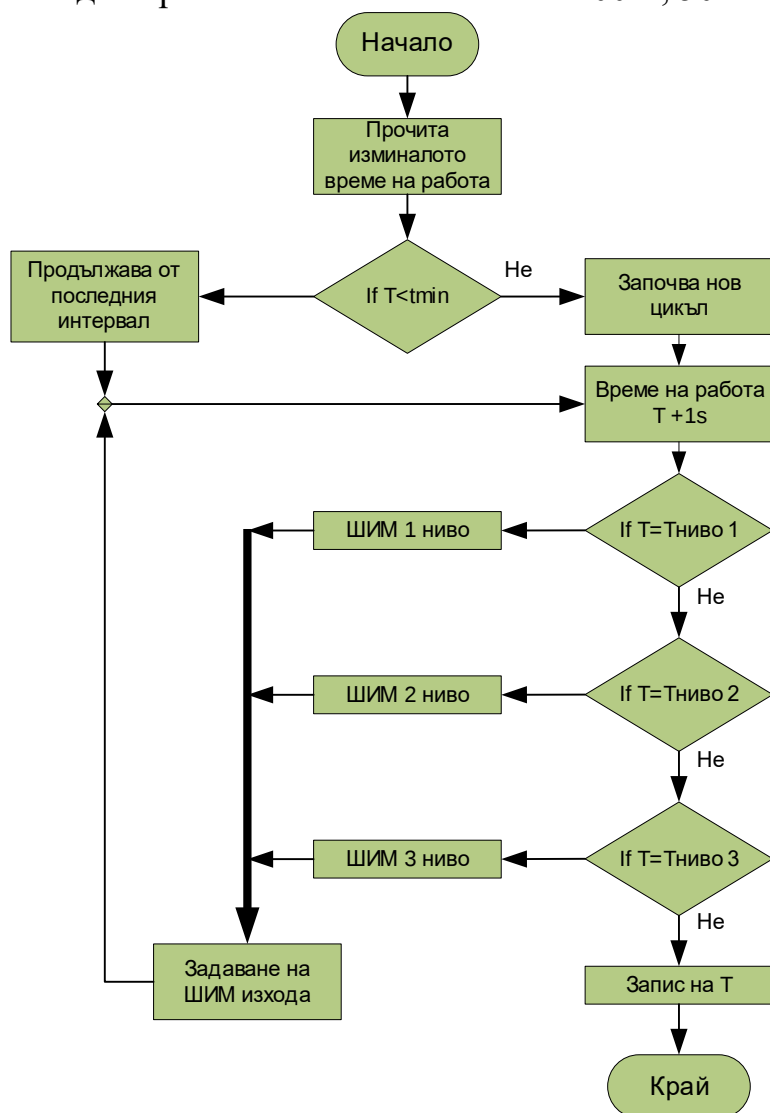
Фиг. 5.11 Варианти за регулиране на потока

- Първият вариант е случай на управление на осветителната уредба по астрономически календар или по осветеност и време.
- Вторият сценарий се отнася за намаляване на светлинния поток с 50% през часовете с нисък трафик - от 00:00 до 06:30 - консумират се - 25 % по-малко енергия спрямо първия.
- Третият сценарий е при три нива на работа на системата. В часовете със слаб трафик – от 22:00 до 24:00 мощността се редуцира от 100% на 50%, а за часове в интервала от 24:00 до 6:30 часа на 20%. През сутрешния пик отново се увеличава мощността до 50% и после до 100%.

В зависимост от изменението на трафика и други показатели на улицата могат да се настроят различни нива на регулиране, съответстващи на светлинния ѝ клас.

5.2.2.2 Алгоритъм на работа.

На фиг. 5.12 е показан обобщен алгоритъм на работа на устройството в случай с три нива на димиране на потока съответно 100%, 50 и 20%.



Фиг. 5.12 Алгоритъм на работа

Показана е последователността на работа при определяне на нивото на димиране в зависимост от изминалото време от началото на нов цикъл. Въз основа на изминалото отработено време се изчислява и стойността на допълнителния множител за компенсиране на стареенето на светодиода.

5.2.2.3 Реализиране на постоянен светлинен поток на осветителя

В началния период на експлоатация след изграждане или реконструкция, заради приетия експлоатационен фактор (ЕФ) уредбата е преоразмерена. Допълнителна икономия на енергия може да се реализира като се компенсира завишеният поток в началото на експлоатацията. Това се осъществява с допълнителен коефициент, нарастващ с 5% на всеки отработени 4000 часа. В таблица 5-2 е показано и компенсирането на намаляването на потока във времето за светодиоден осветител от среден клас.

Икономията по отношение на потока Φ при използване на функцията CLO е около 6-7%.

Таблица 5-2 Компенсиране LLMF фактора на осветителя

Етап	Сила на светене:			Време
	Максимум	Средно	Минимум	
№	%	%	%	часове
1	70	35	10	0 ÷ 3999
2	75	37	12	4000 ÷ 7999
3	80	40	15	8000 ÷ 11999
4	85	42	17	12000 ÷ 15999
5	90	45	20	16000 ÷ 19999
6	95	47	22	20000 ÷ 23999
7	100	50	25	24000 ÷ ∞

5.3 Техничко-икономическа оценка на вариантите за управление

Оценката на икономическата ефективност на варианти ще се извърши по метода на разходи за целия живот на уредбата (LCC), като метод даващ най-пълна оценка за избрано техническо решение. В таблица 5-3 са дадени основните параметри, по които е изготвена оценка на решението.

Таблица 5-3 Техничко-икономическа оценка на варианти на управление на осветителна уредба

	димиране 100/65/39	димиране 100/39	Без димиране
Вид на уредбата	УОУ	УОУ	УОУ
Параметри на осветителната уредба			
Осветители на стълб	1	1	1
Тип на светлинния източник	Philips - BGP7041 xLED110-4S/740 DN10		
Дължина на участъците, м	1000	1000	1000
Средно междустълбие в участъците, м	55	55,0	55,0
Брой осветители	18	18	18
Мощност на осветителя с ПРА, W	65	65	65
Инсталирана мощност, kW	1,17	1,17	1,17
ЧАСОВЕ РАБОТА ОБЩО НА ГОДИНА	4200	4200	4200
Енергия общо на година	3985	3609	4914
Жизнен цикъл на уредбата, години	25	25	25
Енергия за жизнения цикъл, kWh	99631	90224	122850
Цена енергия средно за година, лв	792	747	1229
Инвестиция за основни съоръжения	810	810	200
Обща стойност на необходимия кредит	810	810	200
Лихвен процент за отпускания кредит	6%	6%	6%
Години за връщане на кредита	25,00	25,00	25,00
Анюитетен фактор	12,78	12,78	12,78
Годишна вноска за обслужване на кредита, лв	63	63	16
Общи разходи за живота на уредбата, лв	34218	33087	43578
Общи разходи за живота на уредбата, о.е.	79%	76%	100%
Икономия	21%	24%	0%

Най-голяма икономия би се реализирала при втория вариант на регулиране 24%, докато при тристепенния вариант е по-малка, защото част от интервала се таксува на дневна тарифа при работа на $65\% \cdot P_n$.

5.4 Изводи

Синтезиран е алгоритъм на работа на система за димиране и отдалечен контрол на осветителни уредби.

Разработени са системи за димиране и отдалечен контрол на параметрите и състоянието на улична и тунелна осветителни уредби.

Разработен е интелигентен индивидуален контролер за адаптивно управление на осветител с ЕПРА. Устройството е с вградена функция за поддържане на постоянен светлинен поток на осветителя.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ

Разработени са алгоритми за управление на групово димиращо устройство - автотрансформатор за разрядни лампи и управляващо устройство за димиране на светодиодни осветители.

Разработен е алгоритъм и методика за определяне на инсталираните мощности в тунелна уредба. Формулирана е задача за оптимизиране на нивата на яркост във входната и преходната зони на пътен тунел, така че да се минимизира инсталираната мощност.

Разработени са симулационни модели на осветители с НЛВН и светодиоди. Съставени са универсални модели на осветителни уредби с НЛВН и светодиоди.

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Изследвани са режимите на работа на УОУ с два вида светлинни източници НЛВН и светодиоди. Оценена е ефективността при различните режими на работа на уредбата.

Разработени са алгоритъм и програма за определяне на допълнителните енергийни спестявания, които биха се реализирали при поддържане на постоянен светлинен поток в осветителните уредби.

Разработена е и внедрена система за димиране и отдалечен контрол на параметрите и състоянието на тунелна, и улична осветителна уредба с натриеви лампи високо налягане.

Разработен е интелигентен индивидуален контролер за адаптивно управление на осветител с ЕПРА. Контролерът е с вградена функция за поддържане на постоянен светлинен поток на осветителя.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Pachamanov, A, P. Stoev, K. Hristov, D. Pavlov and D. Ivanov. Collaboration of Conventional and LEDs Luminaries in Public Lighting of Small Settlements. The 6th Balkan Conference on Lighting Balkan Light 2015, 16-19 September 2015, Athens, Greece
2. Pachamanov, A, N. Matanov, K. Kashev and P. Stoev. A System for Remote Control for Public Lighting in Small Settlements using "Cloud Computing". The 6th Balkan Conference on Lighting Balkan Light 2015, 16-19 September 2015, Athens, Greece
3. Пачаманов, А, П. Стоев, Н. Матанов. Оптимален избор на нивата на яркост на пътното платно в преходната зона на пътни тунели, V-та конференция на електротехнически факултет „ЕФ 2013“, 2 - 5 септември 2013 г., Созопол, България (Годишник на Технически университет-София, том 63, книга 5, 2013, с.61-66), ISSN 1311-0829
4. Пачаманов, А., Н. Матанов, П. Стоев, И. Ангелов. Контролно-информационна и управляваща система за електроснабдяване и осветление на пътни тунели, V-та конференция на електротехнически факултет „ЕФ 2013“, 2 - 5 септември 2013 г., Созопол, България (Годишник на Технически университет-София, том 63, книга 5, 2013, с.53-60), ISSN 1311-0829
5. Пачаманов, А, П. Стоев, К. Христов, Д. Кайцанов. Управление на улично осветление при съвместна работа на конвенционални и LED-осветители. VI-та конференция на електротехнически факултет „ЕФ 2014“, 15 - 17 септември 2014 г., Созопол, България (Годишник на Технически университет-София, том 64, книга 3, 2014, с.297-306), ISSN 1311-0829
6. Пачаманов, А, П. Стоев, Т. Славчев, Д. Кайцанов. Изследване износването на класически светлинни източници и светодиоди при димиране. VI научна конференция ЕФ 2014, 15 - 17 септември, 2014 г. гр. Созопол, България (Годишник на Технически университет-София, том 64, книга 4, 2014, с.315-318), ISSN 1311-0829
7. Матанов, Н, П. Стоев, А. Пачаманов. Моделиране работата на газоразрядни лампи с високо налягане при димиране с автотрансформатор. VI научна конференция ЕФ 2014, 15 - 17 септември, 2014 г. гр. Созопол, България (Годишник на Технически университет-София, том 64, книга 4, 2014, с.295-304), ISSN 1311-0829
8. Стоев, П. Оценка на остатъчния ресурс на димируеми класически осветители, X научна конференция БулЕФ 2018, 11 - 14 септември, 2018 г. гр. Созопол, България (Годишник на Технически Университет - София, том 69, книга 1, 2019, с. 49-57), ISSN 1311-0829
9. I. Angelov and P. Stoev, "Autonomous Intelligent Control for LED Street Lighting," 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030777

ENERGY-EFFICIENT SOLUTIONS FOR ELECTRIC POWER SUPPLY OF OUTDOOR LIGHTING

MSc. Eng. Peter Ivanov Stoev

SUMMARY

The dissertation is developed in five chapters. In the first chapter, a literature review is made of the used methods and technical means for modernization from the point of view of increasing their energy efficiency.

In the second chapter, an assessment of the possibilities of increasing the energy efficiency for a specific lighting system is made. An analysis of solutions was made, both for equipment built with classic light sources (discharge lamps) and for equipment with LED lighting. The conditions and intervals at which energy-efficient modes of operation are realized, are defined. A methodology and a technical solution have been chosen to implement it. A comparative assessment of the indicators according to the BDS EN 13201 - 5 standard was made.

An algorithm has been compiled for determining the power of tunnel lighting systems. Two options were considered - dividing the theoretical brightness curve in the transition zone into several levels with equal distance between the illuminators and that with a variable step between them. When determining the levels for the first variant, an algorithm was used to optimize the brightness levels under set limiting conditions, so as to minimize the difference between the real and the theoretical brightness curve.

A group dimming device of the autotransformer type has been developed for regulating the flow of discharge lamps.

The third chapter contains mathematical and simulation models of illuminators from the point of view of their electrical parameters and the luminous flux emitted by them. The models are applicable to both gas discharge lamps and LEDs. They can be used to analyze different operating modes, evaluate the effectiveness of solutions and analyze the propagation of current harmonics in the low-voltage network.

In the fourth chapter, the operation of a lighting system during flow regulation is analyzed. Two main options were considered, an installation with discharge lamps and LED lighting. An analysis was made for each system under different operating modes. The changes in active and reactive power flows and the efficiency of group dimmers are evaluated. For a specific lighting fixture, the electricity savings are calculated while maintaining a constant light flow for the lifetime of the device.

In the fifth chapter, a control system for a group dimming device - autotransformer type is developed. An experimental system has been developed for the intelligent management of lighting intensity, hours of operation and consumed electricity by the lighting groups, which is a condition for reducing operating costs for outdoor lighting. At the luminaire level, a solution is proposed for individual control of each luminaire. The device is applicable both for LED and for fixtures with discharge lamps and electronic ballast.