

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Кінетика післясвічення світлодіодів

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕЕмз
напряму підготовки (спеціальності) 141

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Бондарець О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Андрійчук В.А.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) Вакуленко О.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
 Кафедра електричної інженерії
 Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр
 Галузь знань 14 – «Електрична інженерія»
 Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електричної інженерії
д.т.н., проф. Тарасенко М. Г.

“ _____ ” _____ 2019 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бондарець Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Кінетика після свічення світлодіодів»,

керівник роботи Андрійчук Володимир Андрійович,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

консультант роботи _____,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23 серпня 2019р. № 4/7-731

2. Строк подання студентом роботи - грудень 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: Виконати аналітичне дослідження імпульсні джерела живлення для напівпровідникових джерел світла. Розробити установку для проведення вимірювань післясвічення світлодіодної матриці. На основі отриманих результатів вибрати частоту слідування імпульсів та ступінь заповнення періодичного імпульсного сигналу. Провести дослідження залежності світлового потоку при імпульсному живленні від параметрів ШІМ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Науково-дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Проектно-конструкторська частина

5. Спеціальна частина

6. Обґрунтування економічної ефективності

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

8. Екологія

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| <i>Обґрунтування економічної ефективності</i> | | | |
| <i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i> | | | |
| | | | |
| <i>Екологія</i> | | | |
| <i>Нормоконтроль</i> | | | |

7. Дата видачі завдання - _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|--|---|----------|
| 1 | <i>Аналітична частина</i> | | |
| 2 | <i>Науково-дослідна частина</i> | | |
| 3 | <i>Технологічна частина</i> | | |
| 4 | <i>Проектно-конструкторська частина</i> | | |
| 5 | <i>Спеціальна частина</i> | | |
| 6 | <i>Обґрунтування економічної ефективності</i> | | |
| 7 | <i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i> | | |
| 8 | <i>Екологія</i> | | |
| 9 | <i>Оформлення пояснювальної записки</i> | | |
| 10 | <i>Оформлення графічної частини</i> | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

_____ **Бондарець О.В.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Андрійчук В.А.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бондарець О.В. Кінетика після свічення світлодіодів. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, Група ЕЕмз-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2019.

Стор. - 125; рис. - 49; табл. - 13; креслень - 6; джерел - 23; додатків - __.

Метою дипломної роботи було провести дослідження кінетики післясвічення світлодіодів різного спектрального складу випромінювання, на основі аналізу післясвічення світлодіодів визначити максимальну частоту та коефіцієнт заповнення імпульсної напруги живлення.

Для світлодіодів білого, синього та червоного кольорів свічення визначено час затухання світлового потоку при імпульсному збудженні.

Визначено максимальну частоту напруги живлення та коефіцієнт заповнення імпульсів при різних значеннях амплітуди напруги, для яких світловий потік світлодіода дорівнює номінальному.

Отримано експериментальні дані залежностей параметрів світлодіодної матриці від різних режимів імпульсного живлення та визначено оптимальний режим імпульсного живлення.

Запропоновано блок імпульсного живлення світлодіодного світлового приладу, який містить фільтр електромагнітних перешкод, випрямляч, коректор коефіцієнта потужності та імпульсний стабілізатор струму, до виходу якого підключені світлодіоди.

Ключові слова: світлодіодні джерела світла, світлодіодні світлові прилади, кінетика післясвічення, імпульсне живлення, широтно-імпульсна модуляція.

ANNOTATION

Bondarets OV Kinetics after LED glow. 141 - Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University. Faculty of Applied Information Technology and Electrical Engineering. Department of Electrical Engineering, EEmz-61 Group. - Ternopil .: TNTU, 2019.

Pages - 125; Fig. - 49 tab. - 13; drawings -6 sources - 23; applications - ___.

The aim of the thesis was to study the kinetics of the afterglow of LEDs of different spectral composition of radiation, to determine the maximum frequency and the fill factor of the pulse supply voltage based on the analysis of the afterglow of the LEDs.

For white, blue, and red LEDs, the time of the luminous flux damping is determined.

The maximum frequency of the supply voltage and the pulse fill factor at different values of the voltage amplitude for which the LED light flux is equal to the nominal are determined.

The experimental data of the dependences of the parameters of the LED matrix on different modes of pulse power were obtained and the optimal mode of pulse power was determined.

An impulse power supply unit of an LED light unit is proposed, which contains an electromagnetic interference filter, a rectifier, a power factor corrector, and a pulsed current stabilizer to which the LEDs are connected.

Keywords: LED light sources, LED light devices, afterglow kinetics, pulse power, pulse width modulation.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СД - світлодіод;

ЛР - лампа розжарення;

ШІМ - широтно-імпульсна модуляція;

ККД - коефіцієнт корисної дії;

ІМС - інтегральна мікросхема;

ЕСК - електронна схема керування;

ВАХ - вольт-амперна характеристика;

ЕМП - електромагнітні перешкоди;

ККП - коректор коефіцієнта потужності.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 9 |
| 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА..... | 11 |
| 1.1 Сучасний стан розвитку напівпровідникових джерел світла..... | 11 |
| 1.2. Характеристики світлодіодів | 17 |
| 1.3. Вплив режиму роботи на експлуатаційні характеристики напівпровідникових джерел світла..... | 20 |
| 1.4. Регулювання світлового потоку світлодіодів | 23 |
| 1.5. Характеристики імпульсного живлення напівпровідникових джерел світла | 25 |
| 1.6. Висновки до розділу..... | 30 |
| 2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА..... | 31 |
| 2.1. Вимірювання кінетики затухання та енергетичних характеристик випромінювання СД..... | 31 |
| 2.2. Висновки до розділу..... | 42 |
| 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА..... | 44 |
| 3.1. Опис лабораторної установки для проведення світлотехнічних і електротехнічних вимірів | 44 |
| 3.2. Експериментальні дослідження залежності світлового потоку від зміни напруги при живленні постійним струмом СД матриці | 47 |
| 3.3 Експериментальні дослідження залежності світлового потоку від коефіцієнта заповнення при сталій частоті слідування імпульсів | 50 |
| 3.4. Експериментальні дослідження залежності світлового потоку від частоти слідування імпульсів при сталому коефіцієнті заповнення | 53 |

| | |
|---|-----|
| 3.5. Висновки до розділу..... | 56 |
| 4. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА..... | 57 |
| 4.1. Вибір схеми імпульсного живлення світлодіодних джерел світла | 57 |
| 4.2. Розрахунок системи імпульсного живлення на основі широтно-імпульсної модуляції | 59 |
| 4.3. Математична модель контура регулювання струму з ШІМ | 65 |
| 4.4. Висновки до розділу..... | 70 |
| 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА..... | 71 |
| 5.1. Особливості будови та експлуатації імпульсного блоку живлення для світлодіодних ламп | 71 |
| 5.2. Фільтр електромагнітних перешкод..... | 71 |
| 5.3. Випрямляч змінної напруги..... | 73 |
| 5.4. Коректор коефіцієнта потужності. | 76 |
| 5.5. Стабілізатор струму..... | 80 |
| 6. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ..... | 86 |
| 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | |
| 7.1. ОХОРОНА ПРАЦІ..... | 98 |
| 7.1.1. Заходи безпеки при обслуговуванні електроустановок | 98 |
| 7.1.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок..... | 101 |
| 7.2. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..... | 103 |
| 7.2.1 Захист електротехнічних систем та електронної апаратури від пошкоджень, які викликані електромагнітним імпульсом ядерного вибуху. | 103 |
| 7.2.2 Дія електричного струму на людину. Перша допомога при електротравмах | 107 |
| 8. ЕКОЛОГІЯ..... | 116 |

| | |
|--|-----|
| 8.1. Актуальність охорони навколишнього середовища | 116 |
| 8.2. Проблеми енергозбереження в Україні | 117 |
| 8.3 Аналіз сучасних систем освітлення | 119 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ..... | 122 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... | 124 |

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Світлодіодне освітлення – один з найперспективніших напрямів технології штучного освітлення, який базується на використанні світлодіодів як джерел світла. Застосування напівпровідникових джерел світла та світлових приладів на їх основі дозволяє суттєво знизити рівень споживання електроенергії на освітлення. Завдяки високій світловіддачі, великому терміну служби, відсутності пульсацій, екологічності світлодіодні прилади на даний час займають найбільший сегмент на ринку джерел світла. Одним із способів зміни світлового потоку світлодіода є живлення його за допомогою імпульсів. В зв'язку з тим актуальним є дослідження їх кінетики післясвічення. Залишкове свічення при імпульсному живленні обмежує частотний діапазон, тому вивчення кінетики затухання світлового потоку дозволить визначити максимальну частоту та тривалість імпульсів напруги живлення.

Мета і завдання роботи: на основі аналізу післясвічення світлодіодів різного спектрального складу випромінювання визначити максимальну частоту та коефіцієнт заповнення імпульсної напруги живлення.

Об'єкт дослідження: Процес живлення напівпровідникових джерел світла імпульсами струму високої частоти.

Предмет дослідження: Техніко-енергетичні характеристики кінетики післясвічення при імпульсному живленні та визначення максимальної частоти імпульсної напруги.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Для світлодіодів білого, синього та червоного кольорів свічення визначено час затухання світлового потоку при імпульсному збудженні.

2. Визначено максимальну частоту напруги живлення та коефіцієнт заповнення імпульсів при різних значеннях амплітуди напруги, для яких світловий потік світлодіода дорівнює номінальному.

3. Отримано експериментальні дані залежностей параметрів

світлодіодної матриці від різних режимів імпульсного живлення та визначено оптимальний режим імпульсного живлення.

Практична цінність результатів дослідження:

1. Розроблена установка для дослідження свічення світлодіодів при імпульсному живленні, що дозволяє проводити вимірювання світлотехнічних і електротехнічних параметрів та кінетики затухання світлового потоку при різних режимах імпульсного живлення.

2. Розроблено електричну схему імпульсного живлення світлодіодної матриці на базі мікросхеми LM3445 з гальванічною та без гальванічної розв'язки.

3. Запропоновано блок імпульсного живлення світлодіодного світлового приладу, який містить фільтр електромагнітних перешкод, випрямляч, коректор коефіцієнта потужності та імпульсний стабілізатор струму, до виходу якого підключені світлодіоди.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи і її результати доповідалися на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2019 р.)

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Кінетика післясвітчення світлодіодів» у збірнику матеріалів VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Збірник тез конференцій. 27-28 листопада 2019 р., Тернопіль, С. 11)

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 розділів, висновків та переліку посилань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Сучасний стан розвитку напівпровідникових джерел світла

Світлодіодне освітлення – один з найперспективніших напрямів технологій штучного освітлення, оснований на використанні світлодіодів як джерела світла. Світлодіод або випромінюючий світлодіод (СД, СВД, LED (англ. Light emitting diode)) – це напівпровідниковий прилад, який перетворює електричний струм у світлове випромінювання. Конструкцію СД представлено на рис. 1.1.

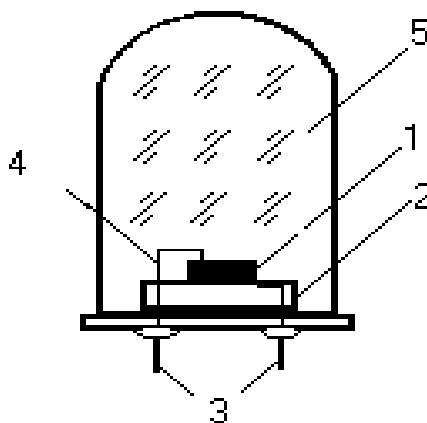


Рисунок 1.1 – Конструкція світлодіода: 1 – напівпровідниковий кристал; 2 – кристалотримач; 3 – виводи; 4 – контактні проводи; 5 – пластмасовий ковпачок (лінза).

Для збудження напівпровідникового кристалу в ньому повинен бути створений *p-n*-перехід, тобто провідність в області поблизу одного контакту повинна бути дірковою, а поблизу другого – електронною. Приконтатні шари напівпровідника повинні бути леговані, відповідно, акцепторними і донорними домішками. При включенні напруги на діод в прямому напрямку (+ на *p* - , – на *n*- область) дірки і електрони інжектуються з різних сторін в активну область. Світлові кванти, які випромінюються в активній області

попадають в зовнішнє середовище в заданому тілесному куті з мінімальним поглинанням світла всередині напівпровідникової структури і на контактах.

Фокусування випромінювання в заданому тілесному куті забезпечується випуклим пластмасовим ковпачком (лінзою) із заданим діаметром і показником заломлення. Для різного застосування він може мати як випуклу, так і плоску форму, бути прозорим або матовим. Кристалотримач забезпечує тепловідвід від активної області СД, щоб зменшити її нагрів і, відповідно, збільшити строк служби.

Таким чином, відбувається перетворення електричної енергії в світлову. Воно характеризується відношенням числа випромінювальних в одиницю часу квантів світла до числа пересікаючих р-n-перехід електронно-діркових пар зовнішньо-квантовим виходом випромінювання η_e , і дорівнює добутку внутрішнього квантового виходу випромінювання η_i , на коефіцієнт інжекції пар на активну область γ , і на коефіцієнт оптичного виходу випромінювання в зовнішнє середовище η_0 :

$$\eta_e = \gamma \cdot \eta_i \cdot \eta_0. \quad (1.1)$$

Розвиток світлодіодного освітлення безпосередньо пов'язаний з технологічною еволюцією світлодіода. Розробки СД за останні три десятиліття поступово виконували ці різні умови. В 70-х роках було принципово вирішено завдання створення ефективних червоних СД на основі гетероструктур твердих розчинів арсеніду галію – алюмінію і зелених СД із фосфіду галію, малопотужних голубих СД із карбіду кремнію. Промислові розробки останні двадцять років довели ці рішення до масового виробництва з великим економічним ефектом.

В кінці 80-х – на початку 90-х років було вирішено завдання створення ефективних жовто-оранжевих СД на основі гетероструктур із твердих розчинів фосфідів галію – індію – алюмінію. Вирішення деяких із проблем довго не могло досягти успіху. Зокрема, не дивлячись на великі зусилля дослідників і

розробників, до останнього часу не було вирішене завдання створення ефективних СД для короткохвильової частини спектру – зеленувато-голубого, синього, фіолетового.

Створення голубих СД можливе на основі напівпровідників з великою шириною забороненої зони – карбїду кремнію, сполук групи $A^{II}B^{VI}$, нітридів групи $A^{III}B^V$. Ці матеріали досліджувались для розробки СД на їх основі. Світлодіоди з SiC випускались різними фірмами, але мали малу ефективність так як SiC непрямозонний напівпровідник.

Світлодіоди із гетероструктур прямозонних з'єднань типу твердих розчинів селенїду цинку мають достатньо великий квантовий вихід, але їх структури були дефективні, послідовний опір великий і внаслідок перегріву вони поки не довговічні.

Нітрид галїю (GaN) – напівпровідник групи $A^{III}B^V$ – кристалїзується (на відміну від кубїчних кристалїв GaAs, InP, InAs, AlAs) в гексагональній решітці типу в'юрцита (сталї решітки $a = 0,318$ нм, $b = 0,518$ нм) і має ширину забороненої зони $E_g = 3,5$ еВ при 300 К. Температура плавлення GaN біля 2000°C , що обумовлює технологїчні труднощі вирощування досконалих монокристалїв. Це прямозонний напівпровідник; максимум валентної зони і мінімум зони провідності лежать в просторї квазіімпульсів в центрі зони Брїллюєна (точка Γ). Спеціально нелегованї кристали GaN мають велику концентрацію донорів, які обумовлюють провідність n – типу і концентрацію електронів $n = (10^{18} \div 10^{19}) \text{см}^{-3}$.

Аналогїчні з'єднання (нітриду алюмінію і індію – AlN і InN) також гексагональнї кристали, прямозоннї напівпровідники з шириною забороненої зони, відповідно, $E_g = 6,5$ еВ і $E_g = 1,8$ еВ. Сталї решітки цих бінарних кристалїв сильно відрізняються (відповідно, $a = 0,311$, $b = 0,498$ і $a = 0,354$, $b = 0,570$ нм). Бінарнї сполучення утворюють потрійнї твердї розчини $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$, ширина забороненої зони яких змінюється приблизно лїнійно до їх складу. В рядї $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ можна підібрати параметр x , енергїя E_g для якого відповідає заданій λ в голубїй і зеленїй областях спектру.

В 70-х роках були опубліковані роботи про створення фіолетових і голубих СД на основі GaN, створених на основі епітаксійних плівок GaN на підкладці із сапфіру. Квантовий вихід цих СД був достатнім для практичних застосувань (долі %), але строк їх служби був обмеженим. В р - області була

мала концентрація дірок внаслідок компенсації. Опір СД був великий, тому при роботі вони перегрівалися і виходили із ладу. Було досліджено, що під дією електронного пучка GaN локально стає яскравим люмінофором. Ця локальна обробка дозволила запропонувати пристрої оптичної пам'яті з просторовим розв'язком, обмеженим діаметром обробки під сфокусованим пучком.

Роботи І.Акасакі із Університету Нагоя показали, що при обробці широким електронним пучком з скануванням можливо створити яскравий люмінесцентний шар GaN. При дослідженні електричних властивостей було виявлено, що шар при обробці стає р- типу, однак цей факт декілька років залишився без належної уваги.

Багатошарові гетероструктури для голубих і зелених світлодіодів. На початку 90-х років Ш.Накамура із фірми Nichia Chemical використав результати І.Акасакі для епітаксійних плівок нітридів III групи, вирощених методом газової епітаксії з металоорганічних з'єднань. Підібраним легуванням і термообробкою він зумів одержати ефективно інжектуючий шар р- типу світлодіодних GaN- структурах.

Була досліджена технологія вирощування багатошарових гетероструктур GaN/Ga_{1-y}Al_yN, GaN/Ga_{1-x}In_xN, Ga_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}Al_yN при порівняно низьких температурах і малій швидкості росту, з товщиною шарів до (10 ÷ 2,5) нм і шороховатістю гетерограниці порядку одного атомного шару.

Перший етап був оснований на створенні СД з подвійних гетероструктур Ga_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}Al_yN з активним шаром Ga_{1-x}In_xN, який був легований цинком. Спектральні максимуми голубих і зелених СД були близько (460 ÷ 520) нм, а сила світла досягала відповідно 1 і 2 кд, а зовнішній квантовий вихід – 3 і 2 %. Фірма Nichia Chemical почала промисловий випуск таких СД, а група Ш.

Накамури продовжувала досліджувати голубі і зелені світлодіоди на основі гетероструктур з квантовими ямами.

Наступний етап розробок був заснований на створенні СД із багат шарових гетероструктур GaN/Ga_{1-x}In_xN з нелегованим активним шаром Ga_{1-x}In_xN, товщина якого була зменшена до 0,2 ÷ 0,3 нм. Фізичні принципи, раніше здійсненні для розробок світлодіодних гетероструктур типу GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs, GaAs/In_xAl_yGa_{1-x-y}P, ZnSe/Zn_{1-x}Cd_xSe, були використані і розвинуті в застосуванні до нових структур.

В надтонких шарах є присутні два ефекти. По-перше в них відображаються ефекти розмірного квантування; енергетичний спектр електронів і дірок залежить від розчинів (товщини активного шару). Це має місце, якщо товщина є співмірною з довжиною хвилі Де-Бройля вквантовій ямі, утвореною в вузькозонному напівпровіднику, який знаходиться між шарами широкозонного напівпровідника. По-друге, різниця параметрів решітки на гетерограницях в таких тонких шарах не приводить до утворення дефектів і дислокацій невідповідності. Виникає пружна деформація розтягу або стиску, в залежності від цього, постійна решітка шару менша або більша постійної решітки межуючих широкозонних шарів. Використання таких шарів покращує досконалість активних шарів, дає можливість керувати спектрами випромінювання, враховуючи зсув ефективної ширини забороненої зони внаслідок розмірного квантування і деформації.

На рис. 1.2 показано розроблену фірмою Nichia Chemical багат шарова структура для зелених СД з одиничними квантовими ямами. На сапфіровій підкладці, після буферного шару GaN (приблизно 30 нм) вирощується порівняно товстий (4 мкм) шар *n*-GaN:Si. Потім йдуть шари *n*-Al_{0.1}Ga_{0.9}N:Si (≈100 нм) і шар *n* - In_{0.05}Ga_{0.95}N:Si, необхідні для інжекції електронів і для узгодження решітки-підкладки з активним шаром. Активним шаром служить тонкий (≈2 нм) нелегований шар In_xGa_{1-x}N (*x*=0,43), ширина забороненої зони якого для зелених СД відповідає випромінюванню на λ=(510÷525) нм. Довжина хвилі в максимумі спектру змінюється від голубої до жовтої області,

якщо склад активного шару x змінюється в межах $0,2 \div 0,7$; вона залежить і від товщини шару.

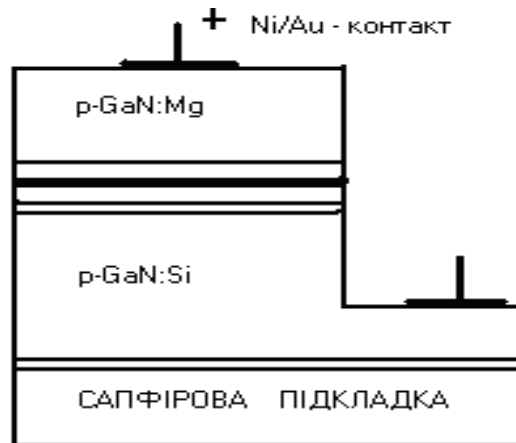


Рисунок 1.2 – Багатошарові гетероструктури на основі GaN і його твердих розчинів для зелених і голубих СД

Далі йде бар'єрний шар p - $Al_{0,1}Ga_{0,9}N:Mg$ (≈ 100 нм), інжектує дірки і узгоджує решітку з верхнім шаром p -GaN/Mg (0.5 мкм), на який нанесений металевий контакт Ni – Au. Металевий контакт Ti – Al до нижнього шару n -GaN створюється після травлення частини структури. Технологічні проблеми вибору складу, легування і товщини шарів вимагають детальних досліджень властивостей матеріалів групи нітридів і ще можуть бути пізніше оптимізовані.

В грудні 1995 року група Ш. Накамури повідомила, що вирощування структур на основі GaN з багатьма квантовими ямами $Ga_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}Al_yN$ дозволило створити інжекційний лазер на $\lambda = 417$ нм, працюючий в імпульсному режимі при кімнатній температурі.

Фірма Hewlett – Packard, вже зараз випускаючи СД з об'ємом продажу до декількох млрд. доларів в рік, повідомила про розробки голубих і зелених СД на основі нітридів $A^{III}B^V$ з підкладками із карбіду кремнію (напівпровідника з високою електро- і теплопровідністю) до якого можна з підвести тиловий контакт (на відміну від сапфірових підкладок)).

Японські фірми Panasonic і ToyodaGosei (яка входить в крупний автомобільний концерн Toyota), в слід за фірмою NichiaChemical, організували масове виробництво СД на основі нітридних структур. Традиційні застосування СД в індикаторних пристроях різних приладів суттєво розширюються, так як описані розробки дають можливість створити повну кольорову гамму індикаторів. Ще на прикладі малопотужних СД була розв'язана задача створення випромінювача будь-якого, в тому числі білого.

1.2 Характеристики світлодіодів

Параметри напівпровідникових джерел світла, як і будь-якого джерела світла можна розділити на вхідні та вихідні. До вхідних параметрів відносяться [1]:

- прямий струм через світлодіод;
- прямий спад напруги при номінальному струмі;
- максимально допустима зворотна напруга;
- вольт амперна характеристика (залежність прямого падіння напруги від струму).

До вихідних параметрів можна віднести:

- силу світла;
- яскравість випромінювання;
- люмен-амперна характеристика;
- колір свічення;
- максимум спектрального розподілу.

Прямий струм I_{np} – значення постійного прямого струму, при якому забезпечується задана надійність при довготривалій роботі діода. Постійна пряма напруга U_{np} – значення напруги на СВД при протіканні через нього постійного прямого струму.

Основним електричним параметром світло діода є прямий струм, а не напруга на ньому. Це пов'язано з тим, що у СВД р-п-перехід вмикають у

прямому напрямку і його електричний опір малий. Зазвичай прямий струм через СВД задається зовнішнім колом: наприклад, відповідним вибором обмежуючого опору.

Параметри світлодіодів як нелінійних елементів кіл постійного струму визначаються вольт-амперними характеристиками (ВАХ).

На рис. 1.3 представлено вольтамперні характеристики світлодіодів різних структур.

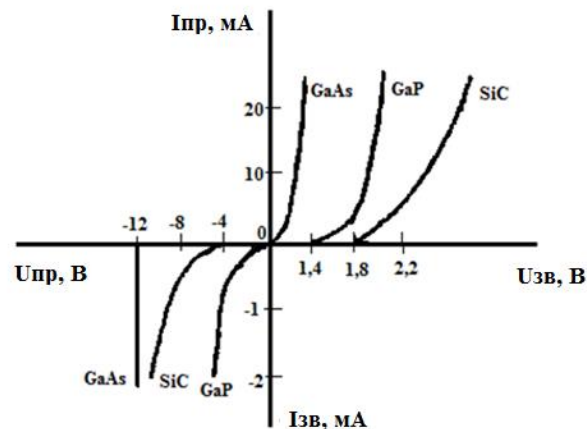


Рисунок 1.3 – Вольт-амперні характеристики світлодіодів

Відмінності прямих гілок ВАХ пов'язані з різницею у ширині забороненої зони застосовуваних матеріалів. Чим менші довжини хвиль випромінювання, тим більше пряме падіння напруги на СВД і втрати електричної енергії в ньому. Зворотні гілки ВАХ мають малу допустиму зворотну напругу, оскільки ширина р-n-переходу в СВД невелика. При роботі у схемах з великими зворотними напругами послідовно з світло діодом необхідно вмикати звичайний діод.

Сила світла I – випромінюваний діодом світловий потік., що припадає на одиницю тілесного кута в напрямку, перпендикулярному до площини випромінюючого кристала. Вказується при заданому значенні прямого струму і вимірюється в канделах (кд). Яскравість випромінювання L – величина, що дорівнює відношенню сили світла до площі світної поверхні. Вона

вимірюється в канделах на квадратний метр ($\text{кд}/\text{м}^2$) при заданому значенні прямого струму через діод.

Максимум спектрального розподілу λ_{max} – довжина хвилі випромінювання, що відповідає максимуму спектральної характеристики випромінювання СВД.

Колір світіння характеризується матеріалом кристалу СД. Наприклад діоди на основі фосфіду галію мають спектральні характеристики з двома вираженими максимумами в червоній і зеленій ділянках спектра. Залежно від кількості активних домішок, внесених у структуру випромінюючого кристала при його виготовленні, співвідношення між значеннями максимумів змінюється у бік червоного або зеленого кольору. При досягненні цього співвідношення 10:1 і вище отримують червоний або зелений колір випромінювання. При співвідношеннях максимумів 10:4 отримують світло діоди жовтогарячого кольору світіння.

Ефективність роботи СВД характеризується залежностями параметрів оптичного випромінювання від прямого струму через елемент від довжини хвилі випромінювання. Залежність потоку випромінювання Φ , Вт, від прямого струму $I_{\text{пр}}$ називається випромінювальною (люмен-амперною) характеристикою (рис. 1.4). Випромінювальною характеристикою називають також залежність яскравості L , $\text{кд}/\text{м}^2$, від прямого струму, а залежність сили світла від прямого струму – світловою характеристикою.

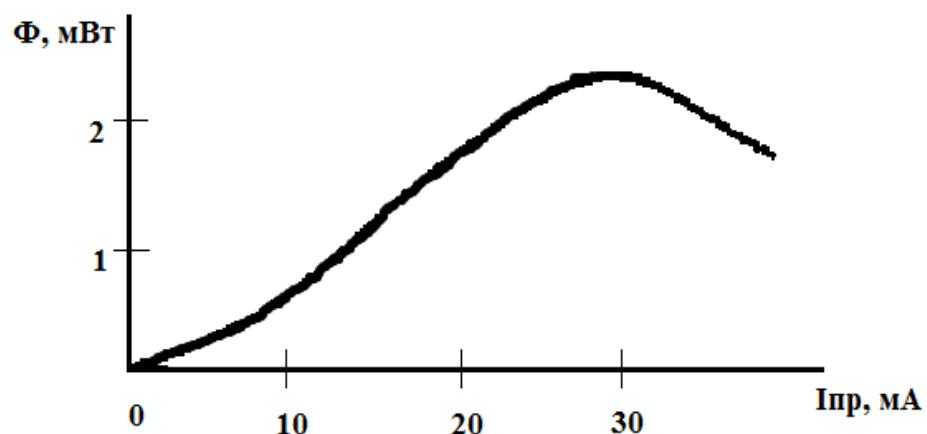


Рисунок 1.4. Випромінювальна характеристика світлодіода

1.3 Вплив режиму роботи на експлуатаційні характеристики напівпровідникових джерел світла

Якісні кристали дають 100% номінального ресурсу світлодіодів, тому світлодіоди з такими кристалами працюють довше. А значить і світлодіодні світильники мають більш тривалий термін експлуатації.

У ході експлуатації світлодіоди втрачають рівень яскравості, тобто «деградують», а з ними втрачають яскравість і меркнуть світлодіодні світильники. Існують дві межі, при яких світлодіод вважається таким, що вийшов з ладу:

1) 30% деградація – зменшення світлового потоку на 30%. Така деградація не позначається на сприйнятті світла людським оком, але грає вирішальне значення при освітленні об'єктів на вулицях і великих приміщеннях. При освітленні відбитим світлодіодним світлом актуальний саме 30% поріг деградації.

2) 50% деградація – зменшення світлового потоку на 50%. При такій деградації сприйняття світла людським оком змінюється і вважається що світлодіод вийшов з ладу. 50% поріг деградації застосовують для освітлення прямим світлом (в дорожніх знаках, світлофорах і т.д.).

Надійні та якісні електросхеми на платах, в які вбудовуються світлодіоди, також забезпечують тривалий термін роботи світлодіодних світильників. Якщо мікросхеми з неякісною пайкою або доріжками, які окислюються, то такі світильники прослужать не більше 5 років.

Запорука довговічності світлодіодних світильників – міцний корпус з певним рівнем вологозахисності та теплопровідні властивості. Якщо в корпус просочується вода, або рівень вологостійкості і теплопровідності не відповідає умовам експлуатації, то термін служби світильників знижується.

Зазвичай ступінь теплопровідності і захисту від вологи вказується в маркуванні світильників.

Температура навколишнього середовища і сила струму дуже впливають на стан кристалів в світлодіодах і можуть прискорити їх деградацію, а значить і прискорити вихід з ладу світильників. Як показали дослідження [2], кожні додаткові +10 градусів в на 10000 год. знижують термін служби світлодіодних світильників. Тому світильники не можна розташовувати поблизу джерел тепла. Що стосується сили струму, то її підвищення руйнівно діє на стан кристалів і контактів в світлодіоді. Це зменшує тривалість служби світлодіодних світильників. На рис. 1.5 представлено графік залежності терміну служби від температури для різних типів світлодіодів [3].

Термін служби будь-якого світлодіода в значній мірі залежить від температурного режиму його експлуатації. Тому, питанню правильного і достатнього відводу тепла від світлодіодів слід приділяти особливу увагу. Для світлодіодів не слід допускати прямого струму вище, ніж встановлений паспортною документацією з урахуванням конкретної температури навколишнього середовища.

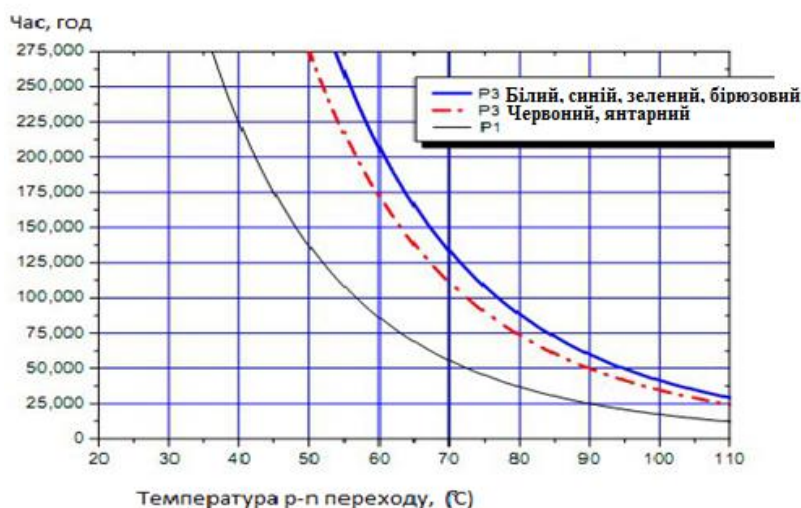


Рисунок 1.5 – Графік залежності терміну служби від температури для різних типів світлодіодів

Зі зростанням температури прямий спад напруги на СВД падає,

відповідний коефіцієнт становить від (-1,3) до (-2,5) мВ/°С. Довжина хвилі максимальної інтенсивності випромінювання збільшується зі зростанням температури, коефіцієнт дорівнює приблизно 0,2 нм/°С або менше в залежності від матеріалу СВД. Крім того, випромінювання СВД слабшає із зростанням температури, типове значення негативного температурного коефіцієнта приблизно дорівнює 1%/°С.

Оскільки СВД є твердотільним приладом, термін його служби повинен перевищувати довговічність обладнання, де він установлений. Проте надзвичайно повільна природна дифузія домішок у кристалічній напівпровідниковій сполуці поряд з іншими не зовсім ясними механізмами призводить до того, що з плином часу світловий потік трохи зменшується. Встановлено, що спад світлового потоку більший при великих струмах, однак, як правило, він менше 10% навіть після 1000 год безперервної роботи.

Як правило, термін служби СВД визначається як час, за який світловий потік знижується до 50% свого первісного значення. Для СВД з випромінюванням у видимому діапазоні зазвичай наводиться термін служби 100000 год (понад 11 років) для нормальних робочих умов. Швидкість деградації також залежить відобраного робочого струму, його зниження послаблює деградацію, збільшує термін служби.

Сила світла (4...5) мкд достатня для того, щоб чітко розрізнити світіння світлодіода в умовах яскраво освітленого приміщення (освітленість близько 1000 лк). Для високоефективних червоних світлодіодів видимого діапазону випромінювання необхідний струм який зазвичай дорівнює ~10 мА, для інших кольорів – 20мА.

Завдяки малій робочій напрузі, струму і споживаній потужності світлодіодів схему з електронними схемами збудження здійснити простіше, ніж у випадку ламп розжарювання або газорозрядних джерел світла. Жорсткі герметичні корпуси забезпечують високу ударну та вібраційну міцність СВД, що дозволяє використовувати СВД при таких несприятливих умовах впливу навколишнього середовища, які не витримують інші джерела світла.

Застосування твердотільних матеріалів для виготовлення СВД забезпечує великий термін служби, що збільшує загальну надійність і зменшує витрати на експлуатацію обладнання, де світлодіоди встановлені. Широка гама кольорів випромінювання світлодіодів: від червоного до помаранчевого, жовтого і зеленого - дає розробникам різноманітні можливості їх застосування. Світлодіоди відрізняються низьким рівнем власних шумів і високою завадостійкістю, швидкістю і стабільністю відгуку на вплив керуючої схеми; при цьому вони не створюють кидків струму і не мають періоду розігріву, характерного для джерел світла з нитками розжарювання.

Відведення тепла від світлодіодів для поверхневого монтажу значно поліпшується при збільшенні розмірів контактних площадок на друкованих платах, які служать додатковим тепловідведенням і це призводить до пониження температури кристала і, як наслідок, до продовження терміну експлуатації світлодіодів. Радикальний спосіб це застосування металевих друкованих плат на основі фольгованого алюмінію або фольгової міді, а також двосторонніх плат з металізацією отворів-провідників тепла на другу, покриту в потрібних місцях міддю, сторону плати.

1.4 Регулювання світлового потоку світлодіодів

Регулювання світлового потоку напівпровідникових джерел світла можна здійснювати за допомогою двох методів [4]:

- шляхом зміни струму через СД;
- методом широтно-імпульсної модуляції.

Основними недоліками регулювання шляхом зміни струму через СД є:

- зменшення світловіддачі при зменшенні напруги р-п переходу чи струму через нього відносно номінальних значень;
- складність реалізувати велику глибину керування світловим потоком.

Це призводить до зниження ефективності використання світлових приладів. Альтернативою цьому методу є метод широтно-імпульсної

модуляції, який полягає у тому, що на світлодіод подається не постійний, а імпульсно-модульований струм, причому частота сигналу повинна становить сотні або тисячі герц, а ширина імпульсів і пауз між ними може змінюватися. Середня яскравість світлодіода стає керованою, у той же час світлодіод не гасне [5].

Для характеристики режиму роботи регулятора на основі ШІМ користуються коефіцієнтом заповнення D , який визначається відношенням тривалості імпульсу τ_0 до періоду коливань T :

$$D = \frac{\tau_0}{T}. \quad (1.2)$$

Використання імпульсного живлення світлодіодів призводить також до зменшення температури кристалу, а отже і продовження терміну експлуатації напівпровідникових джерел світла. Для забезпечення відповідних теплових режимів здійснюють вибір частоти слідування імпульсів та коефіцієнту заповнення. Для зменшення температури при стабільному коефіцієнті заповнення, зменшують частоту подачі імпульсів. Ефективним методом продовження терміну служби світлодіодів для виробів, що експлуатуються поза приміщеннями, є шлях зниження струму через світлодіод в похмурий, вечірній і нічний час доби за допомогою автоматичного ШІМ регулятора, що змінює шпаруватість імпульсів в залежності від освітленості панелі на якій встановлені світлодіоди.

Подвоєння струму збудження призводить до більш ніж дворазового збільшення світлового потоку. Це свідчить про зростання світлової ефективності світлодіодів при великих збуджуючих струмах і вказує на те, що імпульсні схеми збудження дозволяють отримати більший світловий потік у порівнянні із статичними. Так досягається збільшення світлової ефективності, що ілюструється числовим прикладом, який належить до характеристики червоного GaAsP–світлодіода і до форми імпульсів збуджуючого струму,

зображеної на рис. 1.6, а.

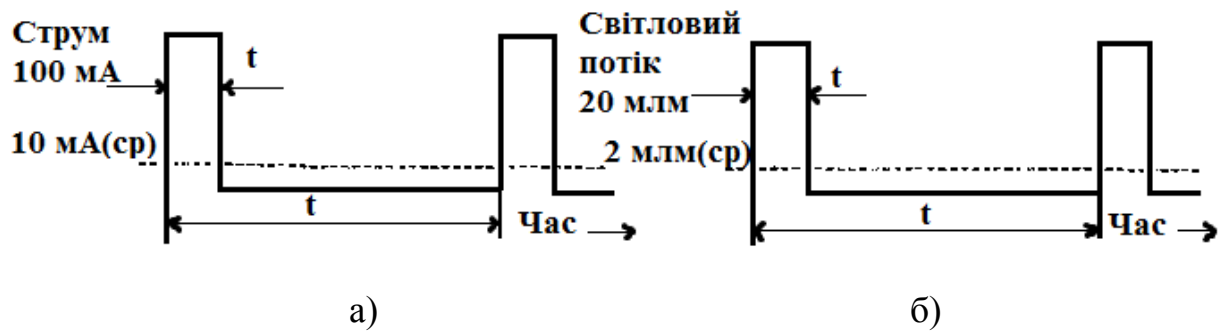


Рисунок 1.6 – Часові діаграми: а – збуджуючий струм; б – світловий потік

Як видно з рис. 1.6, б, при збудженні постійним струмом 10 мА створюється світловий потік близько 0,7 мВт, а при імпульсному збудженні середній світловий потік складає 2,0 мВт ($\sim 10\%$ від 20 мВт). При збудженні великими струмами тривалість і коефіцієнт заповнення імпульсу впливають на температуру переходу. Якщо світлодіоди збуджуються імпульсами частотою, що значно перевищує 30 Гц, то не виникає ні миготіння, ні інших відчуттів спалаху, помітних людському оку.

1.5 Характеристики імпульсного живлення напівпровідникових джерел світла

Живлення світло діодів в імпульсному режимі найбільш частіше здійснюється за допомогою імпульсів прямокутної, трапецеїдальної та трикутної форм (рис. 1. 7).

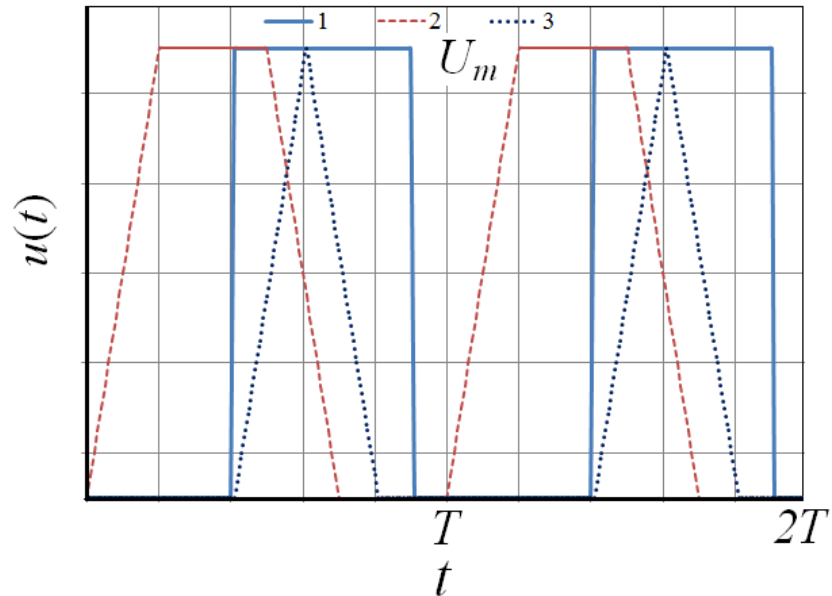


Рисунок 1.7 – Графічне представлення імпульсів: 1 – прямокутна форма; 2 – трапецеїдальна форма; 3 – трикутна форма.

Аналізом [7] на прикладі світлодіода Led ARPL-3W та генератора імпульсів Rigol DG 4062 було встановлено, що найбільш енергоефективним є режим живлення напівпровідникових джерел світла імпульсами прямокутної форми (рисунок 1.8).

Технічна оцінка форми імпульсу струму напряду пов'язана із кількісною оцінкою основних параметрів імпульсу. На рисунку 1.8 приведено послідовність позитивних імпульсів струму [6]. Основні характеристики одиничного додатного імпульсу наведено в таблиці 1.

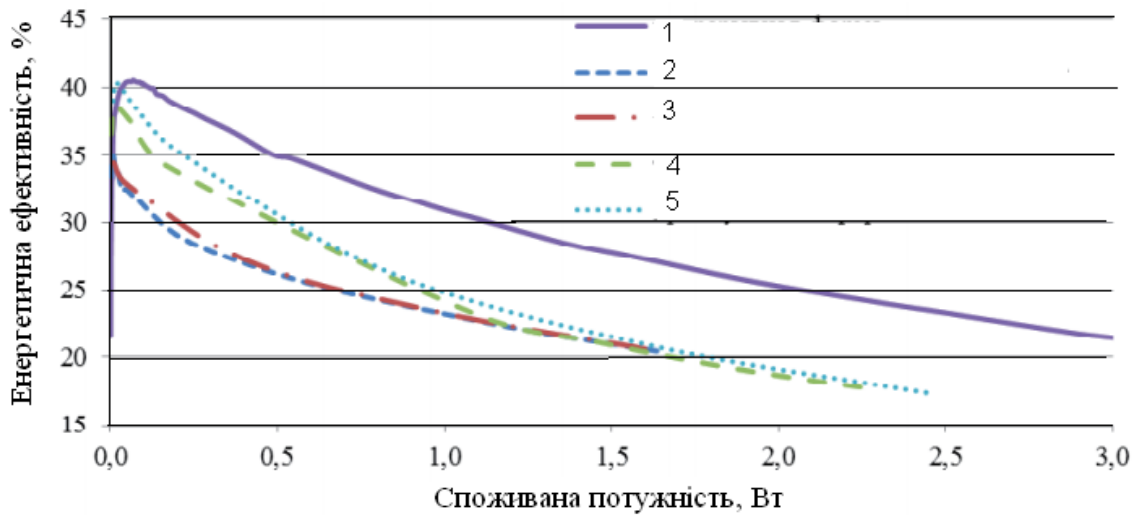


Рисунок 1.8 – Графік залежності енергетичної ефективності від форми імпульсу сигналу: 1 – неперервна форма сигналу; 2 – трикутна несиметрична форма; 3 – трикутна симетрична форма; 4 – трапецеїдальна форма; 5 – прямокутна форма.

Виділяють три основні характеристики імпульсу струму, які задаються системами, які відповідають за формування імпульсів:

- тривалість імпульсу τ_0 ;
- частота імпульсів f ;
- коефіцієнт заповнення імпульсу D .
-

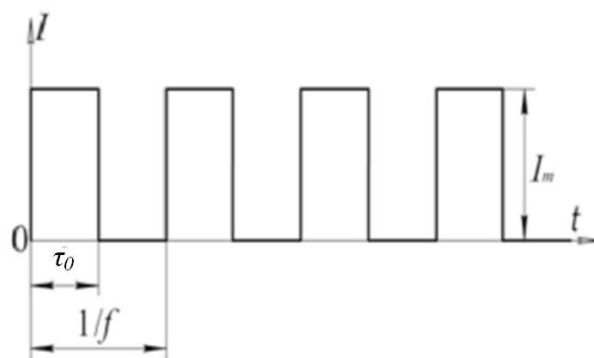


Рисунок 1.8 – Послідовність прямокутних імпульсів струму

Таблиця 1.1 – Основні характеристики імпульсного струму

| Характеристика | Формула для розрахунку |
|-----------------------------|--|
| Період | $T = \frac{1}{f}$ |
| Шпаруватість | $Q = \frac{T}{\tau_0}$ |
| Коефіцієнт заповнення | $D = \frac{\tau_0}{T}$ |
| Діюча напруга | $U = \frac{U_m}{\sqrt{Q}}$ |
| Діючий струм | $I = \frac{I_m}{\sqrt{Q}}$ |
| Активна потужність імпульсу | $P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(t) dt = \frac{P_m}{Q}$ |

Напрямок подальших досліджень є встановлення залежностей між світлотехнічними характеристиками напівпровідниковими джерел світла та коефіцієнтами заповнення імпульсів їх живлення. Подібні дослідження проводились в роботах [8 –10]. Зокрема в роботі [8] проведено дослідження та подані залежності світлового потоку світло діодів від шпаруватості імпульсів широтно-імпульсної модуляції амплітудою 350 мА для різних частот (рис. 1.9). Також в [9] встановлено залежності потужності оптичного випромінювання від струму інжекції при збудженні світлодіода марки LED-003W-13C-220-240LM-B-PS виробництва Bridgelux, США імпульсами різної тривалості частотою 1 кГц (рис. 1.10) та потужності випромінювання від частоти імпульсів збудження при тривалості імпульсу 50 мкс та потужності 10 Вт (рис. 1.11). В роботі [10] отримано осцилограми світлового потоку при живленні імпульсним струмом для світлодіода XREWHT-L1-0000-005 та світлодіодної матриці Epistar 10X10.

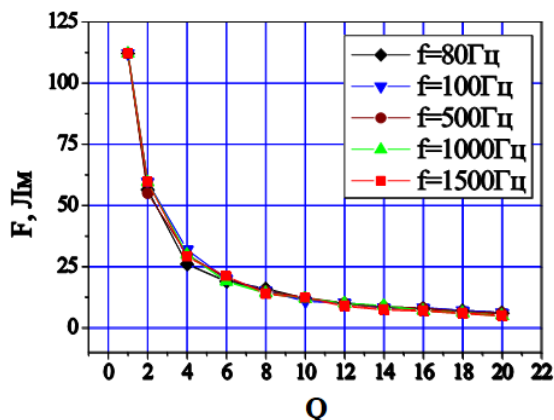


Рисунок 1.9 – Залежності світлового потоку світло діодів від шпаруватості імпульсів широтно-імпульсної модуляції амплітудою 350 мА для різних частот

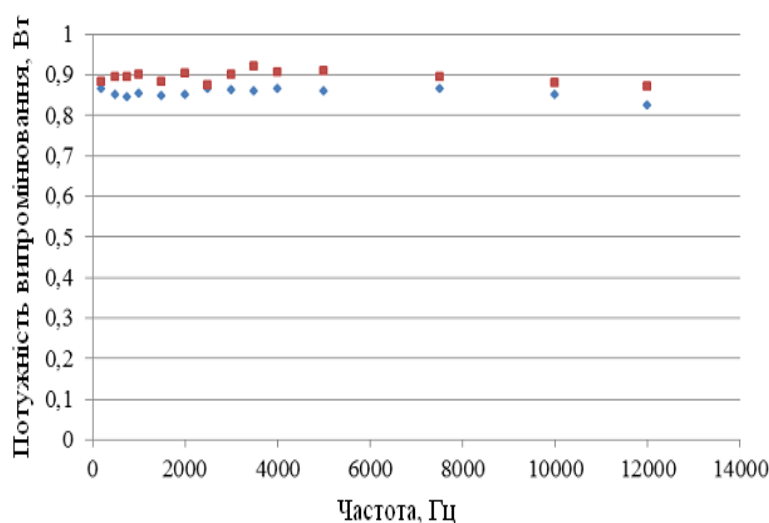


Рисунок 1.10 – Залежність потужності випромінювання від частоти імпульсів збудження при тривалості імпульсу 50 мкс та потужності 10 Вт

Як видно із вищенаведеного, дослідження проводились для світлодіодів середньої та високої потужності. Проте на даний час виробниками пропонується широкий асортимент вивідних світлодіодів потужністю до 0,5 Вт та струмом живлення від 20 до 60 мА [11]. Напівпровідникові джерела світла такого типу використовуються для створення декоративного світлового ефекту або як інструмент дисплейного та рекламного освітлення [12, 13]. Це і обумовлює необхідність дослідження залежностей світлового потоку напівпровідникових джерел світла в залежності від значень коефіцієнта

заповнення імпульсу та амплітудних значень напруги їх живлення при сталій частоті.

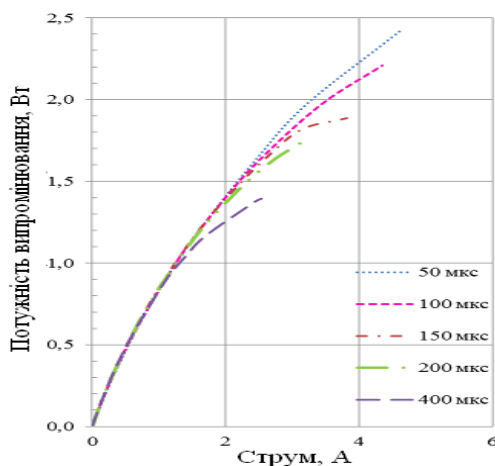


Рисунок 1.11 – Залежності потужності оптичного випромінювання від струму інжекції для СД LED-003W-13C-220-240LM-B-PS

1.6 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз сучасного стану розвитку напівпровідникових джерел світла. Визначено характеристики світлодіодів. Охарактеризовано вплив режиму роботи на експлуатаційні характеристики напівпровідникових джерел світла.

2. Проаналізовано методи регулювання світлового потоку напівпровідникових джерел світла. Аналізом публікацій встановлено, що найбільш енергоефективним є живлення напівпровідникових джерел світла імпульсами прямокутної форми.

3. Наведено основні характеристики імпульсного живлення та їх вплив на світловий потік світлодіодів середньої та високої потужності. Встановлено, що для малопотужних вивідних напівпровідникових джерел світла, які використовуються для створення декоративного світлового ефекту або як інструмент дисплейного та рекламного освітлення, необхідним є проведення досліджень при імпульсних режимах їх живлення.

2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Вимірювання кінетики затухання та енергетичних характеристик випромінювання СД

Для проведення досліджень кінетики після свічення світло діодів було змонтовано установку, блок-схему якої приведено на рис.2.1. Досліджуване джерело світла 2 та фотоприймач 3 поміщалися в інтегральний фотометр 1 таким чином, що прямий світловий потік від джерела світла не попадав на фотоприймач. Електричний сигнал від фотоприймача передавався на цифровий осцилограф 4. Режим роботи напівпровідникового джерела світла задавався блоком живлення 5. Керування роботою установки, обробкою та збереженням результатів вимірювань здійснювали за допомогою персонального комп'ютера 6.

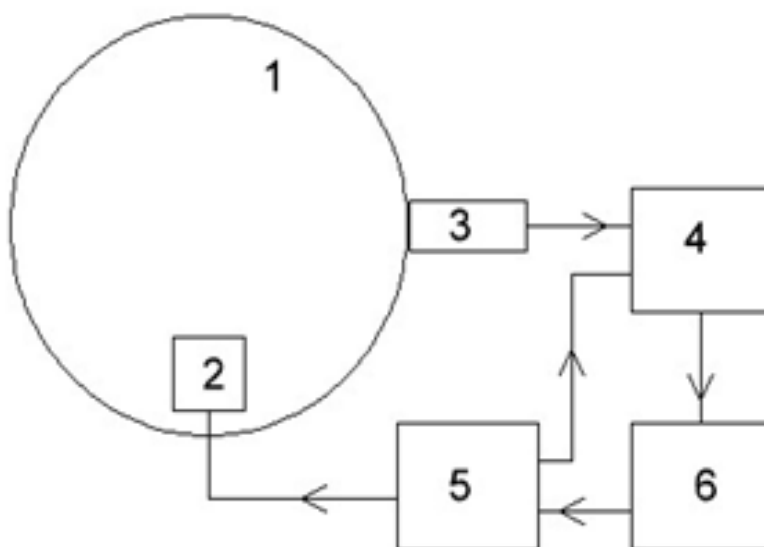


Рисунок 2.1 – Блок-схема установки для досліджень кінетики післясвічення світлодіодів

Блок живлення 5 складався із стабілізованого регульованого джерела постійної напруги SW3010D, генератора сигналів SDG 1050 і комутуючого

прист-рою. Це дозволяло здійснювати живлення джерела світла як по-стійним струмом, так і в імпульсному режимі на частоті 100 кГц з різним коефіцієнтом заповнення імпульсів. Контроль струму та напруги живлення, амплітуду й тривалість імпульсів здійснювали за допомогою цифрового осцилографа ISDS220B. Як фотоприймач використовували фотоелектронний помножувач (ФЕП) ФЕУ-85, який володіє високою чутливістю у видимій області та оптимальним співвідношенням сигнал/шум [2].

Як досліджувані напівпровідникові джерела світла були вибрані СД білого, синього, червоного та зеленого кольорів свічення. Спектральний розподіл даних джерел світла показано на рис. 2.2. При виконанні магістерської роботи кінетику післясвічення досліджували для білого світло діода.

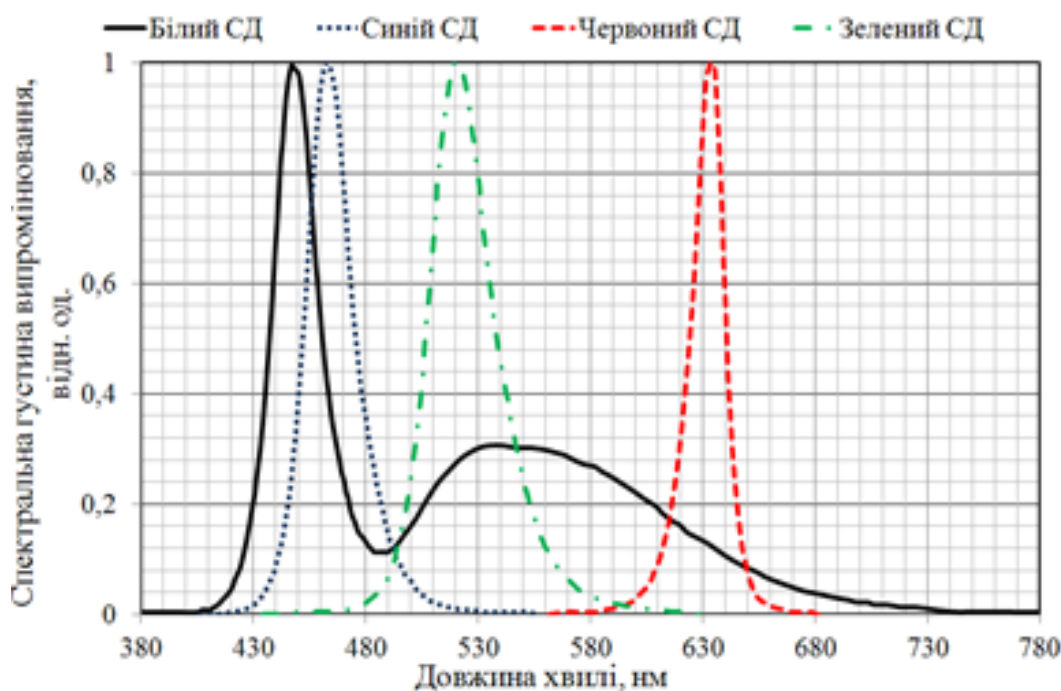


Рисунок 2.2 – Спектральний розподіл досліджуваних світлодіодних джерел світла

На рис. 2.3 представлені осцилограми імпульсів напруги, струму та фотоструму білого СД. Амплітуда імпульсу напруги $U = 3,5$ В та коефіцієнт заповнення $D = 40$ %. Із даних осцилограм видно, що імпульси напруги (рис. 2.3, а) й струму (рис. 2.3, б) йдуть синхронно із досить крутими фронтами.

Така ж синхронність спостерігається із імпульсами світлового потоку (рис. 2.3, в). Час наростання і спадання імпульсів $\tau \leq 10^{-7}$ с.

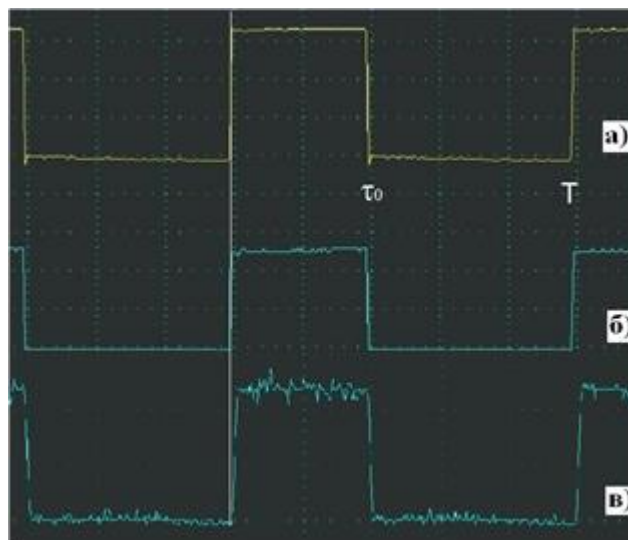


Рис 2.3 – Осцилограми імпульсів напруги (а), струму(б) та фотоструму(в) білого СД

На рис.2.4 приведені осцилограми світлового (1) та електричного (2) імпульсів для синьої смуги свічення 450 нм. білого світло діода. Частота імпульсної напруги 100 кГц, тривалість імпульсу 7 мкс. На осцилограмі світлових імпульсів чітко видно процес післясвічення. Сама кінетика цього процесу є складною. Тут можна виділити дві складові після свічення – швидка з часом затухання 150 нс та повільна з часом 4,3 мкс. З осцилограми видно, що в смугі свічення 450 нм переважає швидка складова затухання, тоді як повільна не перевищує 20%.

На рис.2.5 приведені осцилограми світлового (1) та електричного (2) імпульсів для смуги свічення 560 нм. цього ж білого світло діода. Тут також спостерігається дві області після свічення швидка з часом затухання 150 нс та повільна з часом 2,3 мкс. Для довгохвильової ділянки спектру білого світло діода співвідношення між складовими затухання свічення складає 50%. Таким чином на основі дослідження кінетики післясвічення світло діода білого свічення можна стверджувати, що максимальна частота напруги при імпульсному живленні з різною наповненістю імпульсів 100 кГц.

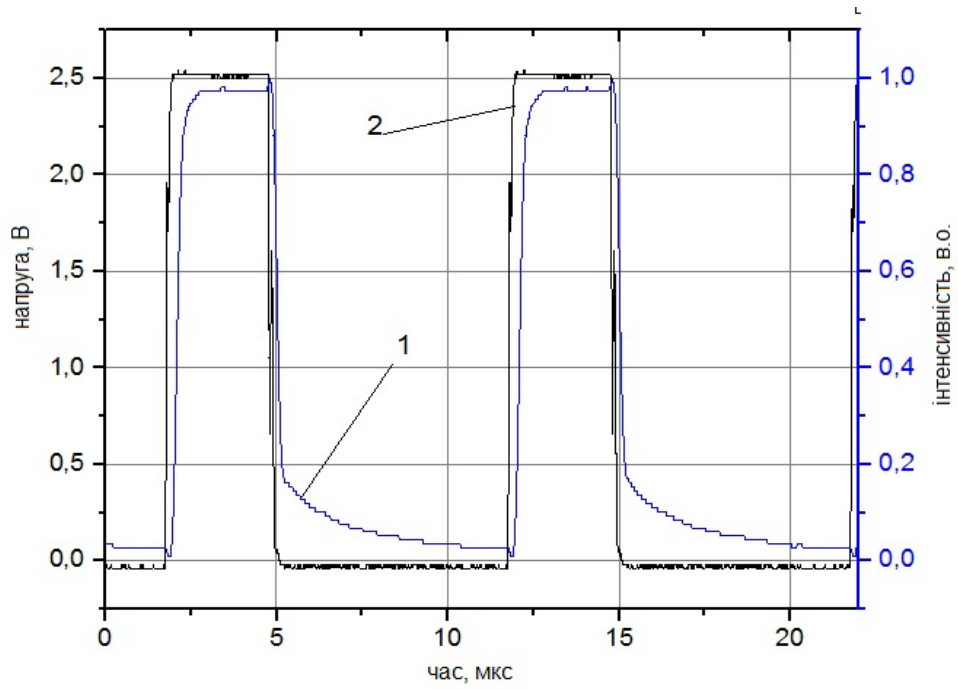


Рисунок 2.4 – Осцилограма світлового імпульсу (1) та імпульсу напруги (2) смуги свічення 450 нм. білого світло діода.

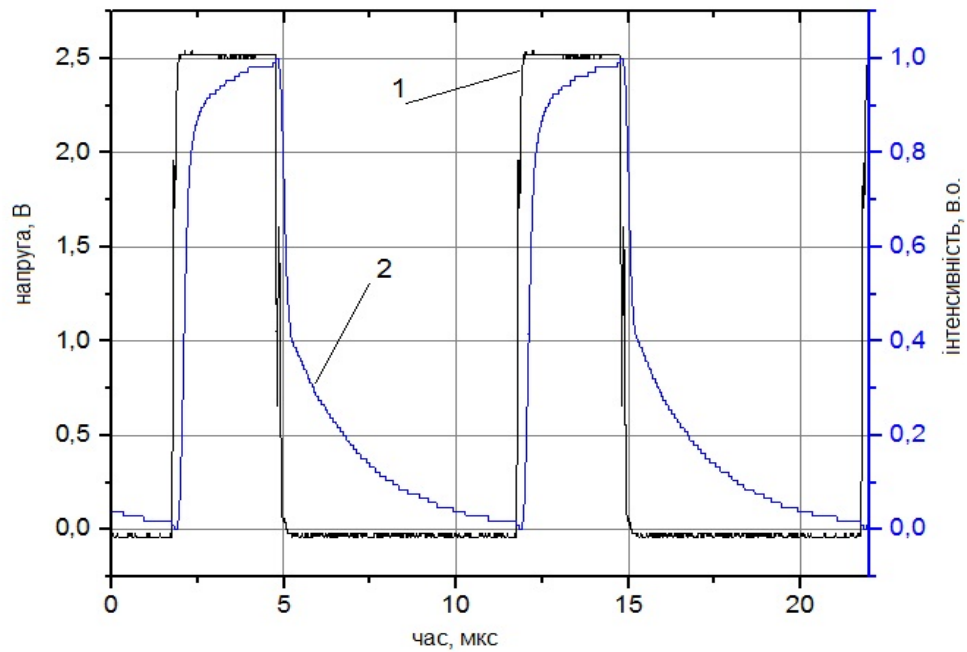


Рисунок 2.5 – Осцилограма імпульсу напруги (1) та світлового імпульсу (2) для смуги свічення 560 нм. білого світло діода.

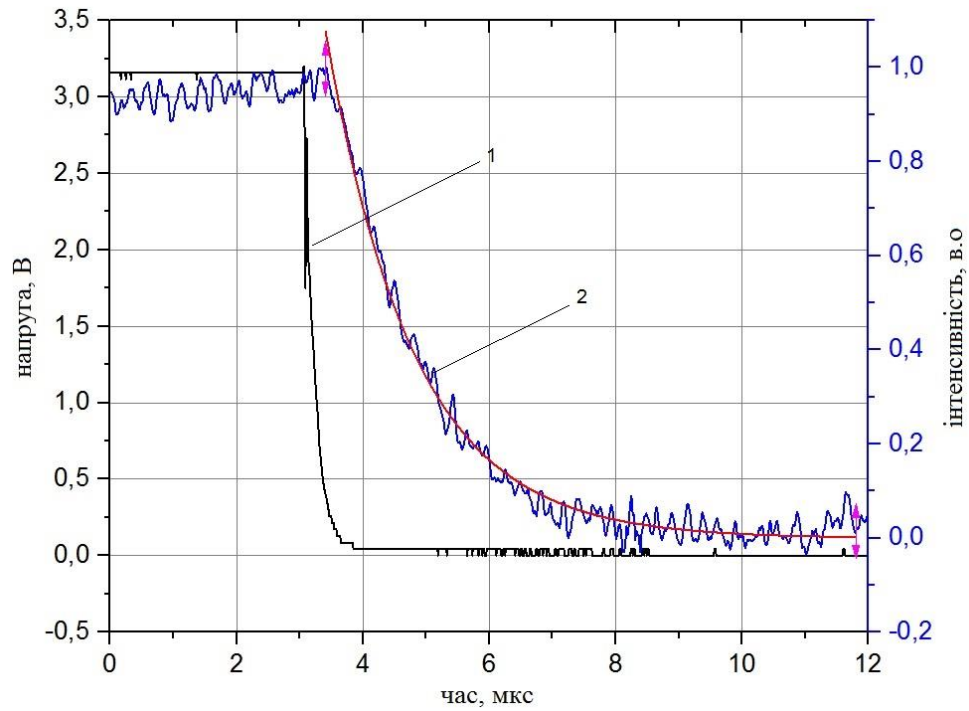


Рисунок 2.6 – Осцилограма імпульсу напруги (1) та світлового імпульсу (2) синього світлодіода.

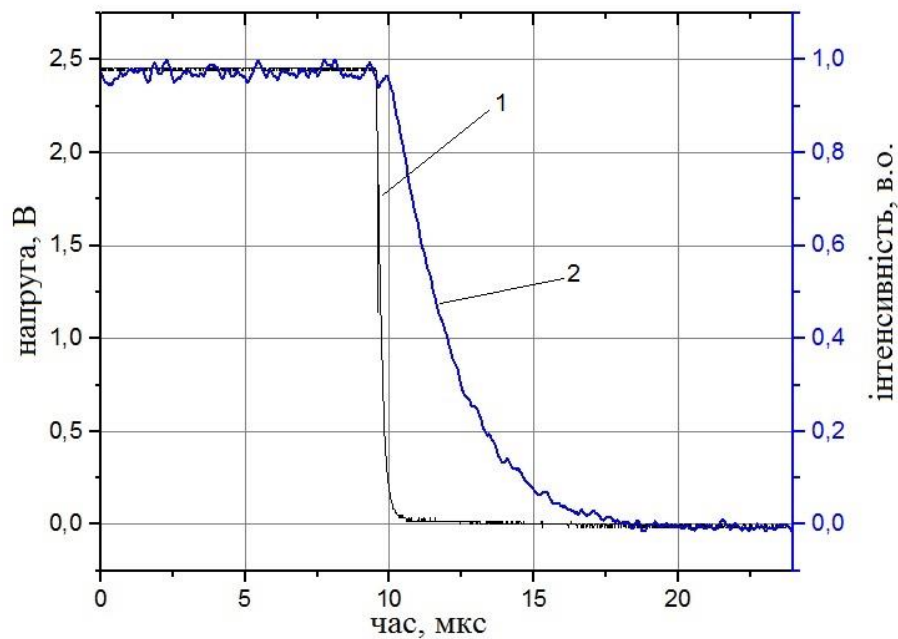


Рисунок 2.7 – Осцилограма імпульсу напруги (1) та світлового імпульсу (2) червоного світлодіода.

Також були проведені дослідження кінетики післясвічення світлодіодів з монохроматичним світловим потоком – червоного та синього

випромінювання. Їх спектр випромінювання приведений на рис.2.2. На рис 2.6 та 2.7 приведені світлові та електричні імпульси для синього та червоного світло діодів, відповідно. Криві затухання світлового потоку описуються експоненціальною залежністю з постійним часом затухання 1,4 мкс для синього світло діода та 2,2мкс для червоного. Дані часи післясвічення вказують на те, що червоні та сині світлодіоди можна живити імпульсною напругою з максимальною частотою слідування імпульсів 100 кГц з широтно-імпульсною модуляцією ступеня заповнення.

Крім дослідження кінетики післясвічення, також були проведені дослідження електричних властивостей СД. Виявлено, що струм СД не залежить від частоти та тривалості імпульсу до критичної частоти 100 кГц, а амплітуда імпульсу фотоструму зростає як із ростом амплітуди, так і тривалості імпульсів струму, що протікає через СД.

Світловий потік визначали за допомогою інтегрального фотометра за стандартною методикою [6, 12]. Крім того світловий потік Φ розраховували із осцилограм за формулою [6, 8]

$$\Phi = W/T = (1/(S_{\text{ФЕП}} \cdot T)) \cdot \int_0^T i_{\text{Ф}}(t) \cdot dt = I_{\text{Ф}} \cdot T / (S_{\text{ФЕП}} \cdot T) = I_{\text{Ф}} / (S_{\text{ФЕП}}), \quad (2.1)$$

де W – енергія випромінювання СД протягом одного періоду; $S_{\text{ФЕП}}$ – інтегральна чутливість ФЕП; $i_{\text{Ф}}(t)$ – осцилограма фотоструму; $I_{\text{Ф}}$ – амплітудне значення фотоструму.

Після цього співставляли світловий потік, виміряний інтегральним фотометром $\Phi_{\text{інтегр}}$ зі світловим потоком $\Phi_{\text{е}}$, визначеним на основі осцилограми фотоструму ФЕП і розраховували коефіцієнт пропорційності k :

$$k = \Phi_{\text{інтегр}} / \Phi_{\text{е}}. \quad (2.2)$$

Розрахунки на основі осцилограм напруги, струму та фотоструму проводилися із використанням пакету прикладних програм MATLAB.

Світловий потік визначали за формулою

$$\Phi_e = (1/n) \cdot k \cdot \sum_{p=1}^{p=n} i_{\Phi p}(t), \quad (2.3)$$

де n – кількість дискретних значень функції $i_{\Phi}(t)$ протягом періоду $T = 10^{-5}$ с.

Споживану потужність P СД визначали на основі розрахунку потужності несинусоїдного струму. Для цього імпульси $u(t)$ та $i(t)$, форми яких представлено на осцилограмах, розкладали у ряд Фур'є [9]

$$u(t) = U \cdot (\tau_0/T) + \sum_{l=1}^{l=N} [(2 \cdot U / (l \cdot \pi)) \cdot \sin(l \cdot \pi \cdot \tau_0/T) \cdot \cos(2 \cdot l \cdot \pi \cdot t/T - l \cdot \pi \cdot \tau_0/T)], \quad (2.4)$$

$$i(t) = I \cdot (\tau_0/T) + \sum_{l=1}^{l=N} [(2 \cdot I / (l \cdot \pi)) \cdot \sin(l \cdot \pi \cdot \tau_0/T) \cdot \cos(2 \cdot l \cdot \pi \cdot t/T - l \cdot \pi \cdot \tau_0/T)], \quad (2.5)$$

де U , I – амплітудні значення імпульсів напруги та струму; τ_0 – тривалість імпульсу; l – порядок гармонійної складової; N – кількість гармонійних складових, яка у відповідності до теореми Котельникова [11] визначалась як $N = n/2 - 1$.

Оскільки осцилограми струму і напруги співпадають як за часом, так і за формою (рис. 2.3, а, б), то кут зсуву фаз між відповідними гармонійними складовими $\varphi_l = 0$, а отже $\cos \varphi_l = 1$. Звідси споживану електричну потужність P визначали, виходячи із формули [1]

$$P = U_0 \cdot I_0 + \sum_{l=1}^{l=N} U_l \cdot I_l. \quad (2.6)$$

де U_0, I_0 – постійні складові ряду Фур'є; U_l, I_l – діючі значення відповідних гармонік.

Поділивши Φ_e , на споживану потужність P , отримаємо формулу для розрахунку світлової віддачі η_e напівпровідникового джерела світла при імпульсному режимі живлення

$$\eta_e = \Phi_e / P. \quad (2.7)$$

На рис. 2.8 показані залежності світлової віддачі від коефіцієнта заповнення імпульсу напруги $\eta_e(D)$ для СД білого (рис.2.8, а), синього (рис.2.8, б), червоного (рис.2.8, в) та зеленого (рис.2.8, г) свічення при різних його амплітудах.

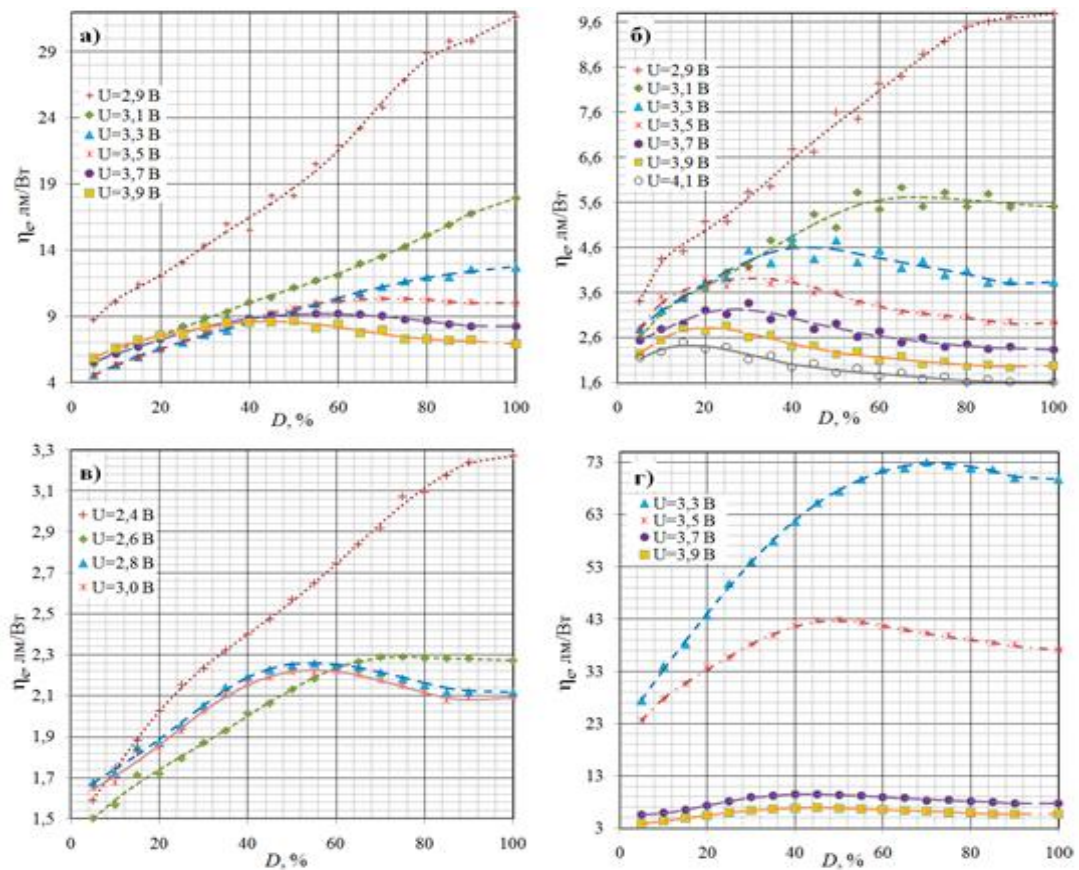


Рисунок 2.8 – Залежності світлової віддачі від коефіцієнта заповнення імпульсу напруги $\eta_e(D)$ для СД білого (а), синього (б), червоного (в) та зеленого (г) свічення

Із даних графіків видно, що починаючи із амплітуди імпульсу, близької до номінальної і вище на кривих $\eta_e(D)$ спостерігається максимум, який зі збільшенням напруги зсувається в сторону менших значень D (таблиця 2.1). Так для СД білого свічення при амплітуді імпульсу $U = 3,5$ В він розташований при $D = 72$ %, а при амплітуді $U = 3,7$ В та $U = 3,9$ В він змістився до $D = 56$ % та $D = 45$ %, відповідно. Таке ж спостерігається і для СД інших кольорів свічення. Для синього СД при зміні амплітуди імпульсу від $U = 3,1$ В до $U = 4,1$ В максимум зміщується від $D = 69$ % до $D = 17$ %, відповідно. Для зеленого світлодіода положення максимуму змінюється від $D = 72$ % при $U = 3,3$ В до $D = 43$ % при $U = 3,9$ В, а для червоного – від $D = 75$ % при $U = 2,6$ В до $D = 55$ % при $U = 3,0$ В. Це можна пояснити тим, що із збільшенням коефіцієнта заповнення температура гетеропереходу зростає, що призводить до зниження енергетичного виходу випромінювання СД.

Таблиця 2.1 - Результати розрахунку на основі рівняння

| Тип СД | $U_{роб}, В$ | $U, В$ | | | | | | | | | | | $D, \%$ |
|----------|--------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|
| | | ,4 | ,6 | ,8 | ,9 | ,0 | ,1 | ,3 | ,5 | ,7 | ,9 | ,1 | |
| Білий | 3,0 – 3,6 | | | | 00 | | 00 | 00 | 2 | 6 | 5 | | |
| Синій | 3,0 – 3,6 | | | | 00 | | 9 | 4 | 1 | 7 | 0 | 7 | |
| Червоний | 2,3 – 2,4 | 00 | 5 | 5 | | 5 | | | | | | | |
| Зелений | 3,2 – | | | | | | | 2 | 9 | 3 | 3 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 3,6 | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Також були проведені дослідження умов живлення, при яких СД випромінює номінальний світловий потік $\Phi_{\text{ном}}$, який визначається при постійній номінальній напрузі живлення. Для цього було побудовано залежності світлового потоку від коефіцієнта заповнення імпульсу $\Phi_e(D)$, які приведені на рис.2.9.

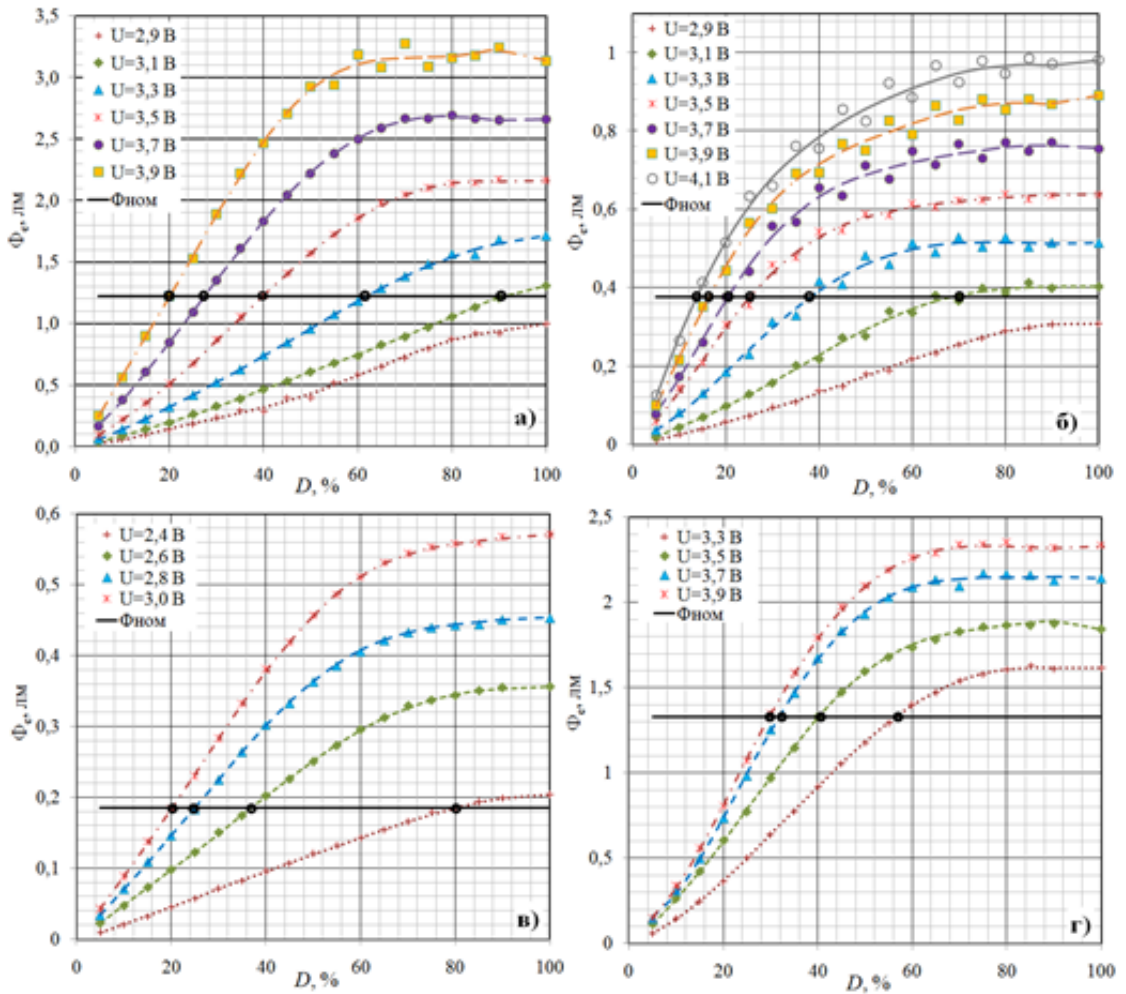


Рисунок 2.9 – Залежності світлового потоку від коефіцієнта заповнення імпульсу $\Phi_e(D)$ для СД білого (а), синього (б), червоного (в) та зеленого (г) свічення

Апроксимацію цих залежностей проведено за допомогою поліномів 6-го порядку з коефіцієнтом кореляції $R^2 \geq 0,991$. Загальна формула даних поліномів має вигляд

$$\Phi_e(D) = a_1 \cdot D^6 + a_2 \cdot D^5 + a_3 \cdot D^4 + a_4 \cdot D^3 + a_5 \cdot D^2 + a_6 \cdot D + a_7, \quad (2.8)$$

де a_1, a_2, \dots, a_7 – коефіцієнти полінома, отримані за допомогою методів найменших квадратів.

Також на вказаних графіках подано прямі номінальних світлових потоків для білого (рис. 2.9, а), синього (рис. 2.9, б), червоного (рис. 2.9, в) та зеленого (рис. 2.9, г) СД, які відповідно дорівнюють 1,224, 0,377, 0,185 та 1,331 лм і визначалися при живленні СД постійним струмом $I = 20$ мА.

Як видно з рис. 2.9, номінальний світловий потік, отриманий як в режимі постійного струму, так і при імпульсному живленні з різним значенням коефіцієнта заповнення можна отримати лише за умови: $U \geq U_{\text{роб}}$. Для кривих, які задовільняють дану умову розраховано значення коефіцієнтів заповнення D . Ці значення відповідають абсциссам точок перетину прямих номінальних потоків із кривими залежностей $\Phi_e(D)$ і є коренями рівняння:

$$a_1 \cdot D^6 + a_2 \cdot D^5 + a_3 \cdot D^4 + a_4 \cdot D^3 + a_5 \cdot D^2 + a_6 \cdot D + a_7 = \Phi_{\text{ном}}. \quad (2.9)$$

Результати розрахунку на основі рівняння (2.9) наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунку на основі рівнянь

| Тип СД | $U_{\text{роб}}, \text{В}$ | $U, \text{В}$ | | | | | | | | | | | $D, \%$ |
|--------|----------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|---------|
| | | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,1 | |
| Білий | 3,0 – 3,6 | - | - | - | - | - | 90,5 | 61,6 | 39,8 | 27,2 | 20,0 | - | |
| Синій | 3,0 – 3,6 | - | - | - | - | - | 70,1 | 37,9 | 24,9 | 20,4 | 16,1 | 13,6 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|------|------|------|---|------|---|------|------|------|------|---|--|
| Червоний | 2,3 – 2,4 | 79,9 | 36,8 | 24,8 | - | 20,1 | - | - | - | - | - | - | |
| Зелений | 3,2 – 3,6 | - | - | - | - | - | - | 56,9 | 40,5 | 32,3 | 29,8 | - | |

На рис. 2.10 представлено залежності коефіцієнта заповнення імпульсів напруги живлення від величини амплітуди імпульсу при номінальному світловому потоку. З даних графіків видно, що із збільшенням амплітуди імпульсу коефіцієнт заповнення D зменшується. Дані залежності дозволяють підбрати такий режим живлення з широтноімпульсною модуляцією, при якому буде максимальна світлова віддача СД.

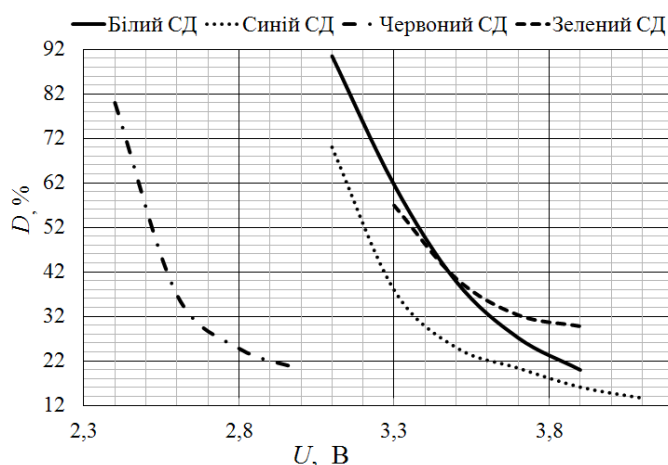


Рисунок 2.10 – Залежності коефіцієнта заповнення імпульсів напруги живлення від величини амплітуди імпульсу при номінальному світловому потоку.

2.2 Висновки до розділу

1. Розроблено методику та змонтовано установку для вимірювання кінетики післясвічення білого червоного та синього світло діодів. Встановлено, що затухання світлового імпульсу описується експоненціальною залежністю і має для білого світло діода дві складові – швидку та повільну. Для смуги 450 нм $\tau_1=0,15$ мкс, а $\tau_2=4,3$ мкс. Для смуги 560 нм $\tau_1=0,15$ мкс, а

$\tau_2=2,3$ мкс. Затухання світлового потоку для синього світло діода також описується експонентою і має одну складову з $\tau=1,4$ мкс, а для червоного $\tau=2,2$ мкс.

2. На основі проведених досліджень кінетики після свічення трьох типів світлодіодів – білого, синього та червоного встановлено, що максимальною частотою імпульсної напруги живлення є 100 кГц з різним ступенем заповнення імпульсів.

3. Розроблено методику та змонтовано установку для вимірювання енергетичних характеристик напівпровідникових джерел світла як при постійному, так і імпульсному живленні.

4. На основі осцилограм напруг, струмів та фотострумів, отриманих при частоті слідування імпульсів 100 кГц проведено розрахунок світлової віддачі малопотужних напівпровідникових джерел світла білого, синього, червоного та зеленого кольорів свічення. На основі даного розрахунку встановлено, що залежності світлової віддачі від коефіцієнта заповнення імпульсу мають максимуми в тих випадках, коли амплітуди імпульсів напруги дорівнюють робочим значенням або є більшими. Встановлено параметри імпульсних джерел живлення, при яких світлова віддача є максимальною.

5. Отримано залежності світлових потоків СД від коефіцієнта заповнення імпульсів. Розраховано значення коефіцієнта заповнення імпульсів при різних значеннях напруги імпульсного живлення, для яких світловий потік СД дорівнює номінальному. Встановлено, що зі збільшенням амплітуди імпульсів напруги D зменшується, що дозволяє обрати такий режим живлення з широтно-імпульсною модуляцією, при якому буде максимальна світлова віддача СД.

3.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

В даному розділі проведено апроксимацію експериментальних динах методом найменших квадратів, знято експериментальні дані світлового потоку від напруги живлення, коефіцієнта заповнення імпульсів при різних значеннях частоти слідування імпульсів і потужності світлодіодної матриці. Побудовано залежності світлового потоку та світлової віддачі СД від коефіцієнта заповнення імпульсів.

3.1 Опис лабораторної установки для проведення світлотехнічних і електротехнічних вимірів

На сьогодні найпоширенішими джерелами живлення для світлодіодних світильників є джерела живлення з ШІМ(широтно-імпульсною модуляцією).

За допомогою ШІМ, світлодіоди забезпечуються рекомендованим струмом і в той же час з'являється можливість роботи регулювання потужності, тобто світлового потоку шляхом зміни коефіцієнта заповнення та частоти слідування імпульсів.

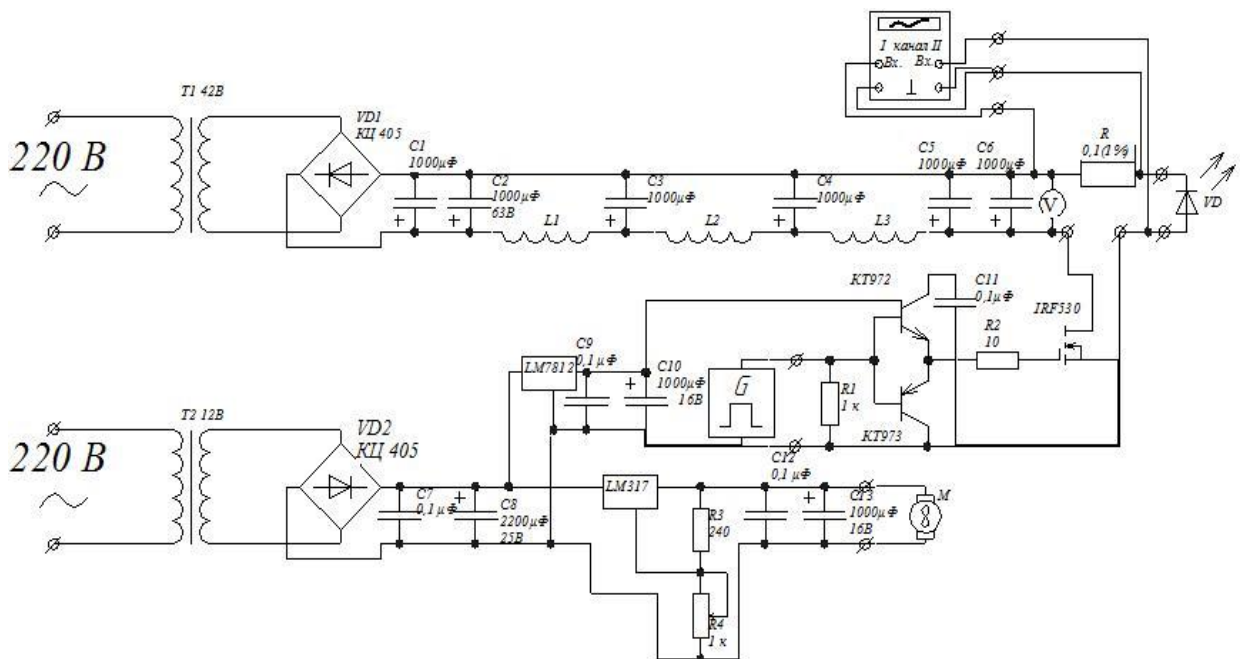


Рисунок 3.1 – Схема для живлення і зняття ВАХ СД матриці.

Для проведення вимірювань зміни світлового потоку, було використано електричну схему зображену на рис. 3.1 для живлення СД матриці.

Дана схема дозволяє визначити струм і напругу, а також осцилограми параметрів роботи напівпровідникових джерел світла, вона забезпечує одночасне зняття струму і напруги з осцилографа типу SOS1104CLF.

Для проведення дослідження імпульсних режимів роботи світлодіодів важливу ролі відіграє генератор імпульсів, ми використовуємо Генератор імпульсів типу SOG 1025 на рис. 3.1. Генератор імпульсів SOG 1025, як і всі прилади подібного класу, відтворює електромагнітні сигнали. SOG 1025 створює сигнал певної форми. Прилад формує групу імпульсів за заданими характеристиками, дозволяючи провести випробування будь-яких обчислювальних пристроїв. А також генератор імпульсів забезпечує зміну коефіцієнта заповнення від 0,1% до 99,9%, і зміну частоти слідування імпульсів від декілька Гц до сотень МГц, що дає змогу більш точно дослідити світлотехнічні характеристики СД матриці.

Осцилограма імпульсів напруги і струму живлення СД матриці наведена на рис. 3.2.

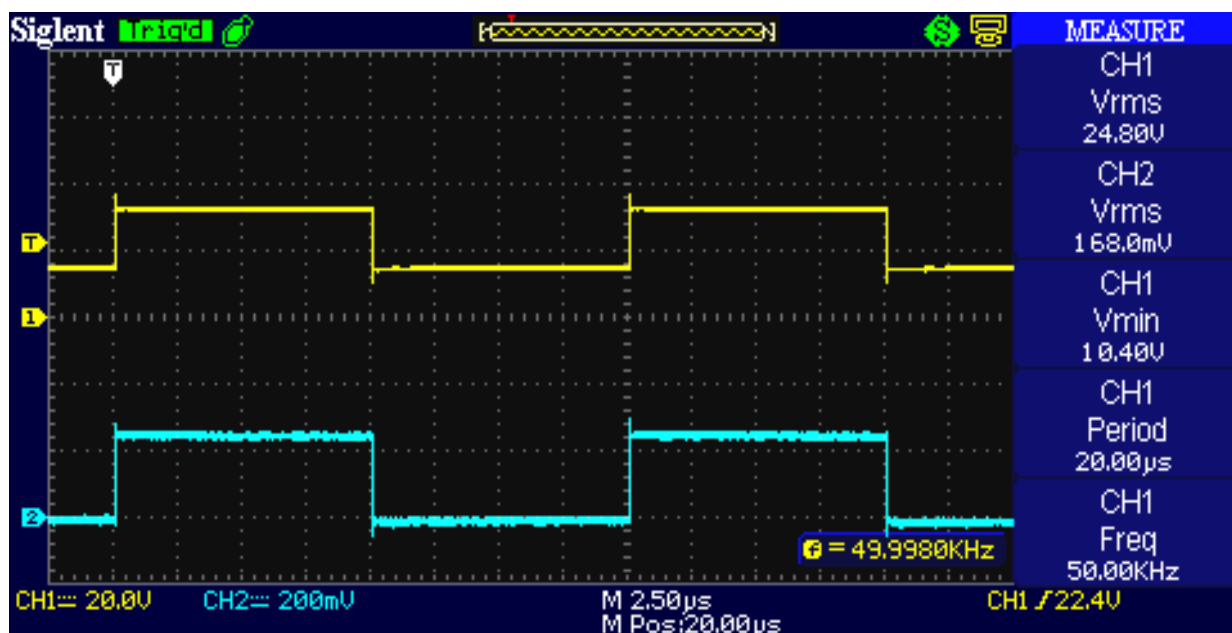


Рисунок 3.2 – Осцилограма імпульсів напруги і струму живлення СД матриці

Для проведення вимірювань світлових характеристик ламп використовують 1 – фотометрична куля; 2 – екран; 3 – селеновий фотоелемент; 4 – гальванометр; 5 – світлодіодна матриця. Загальна схема установки наведена на рис. 3.3.

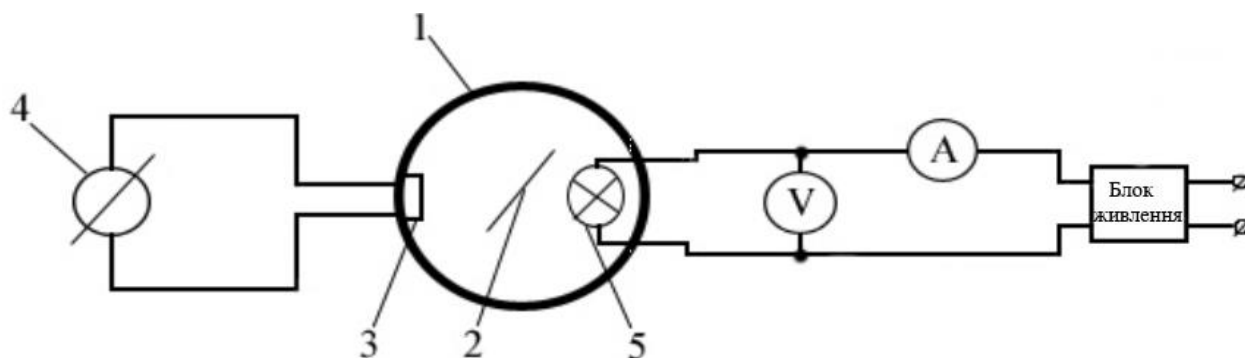


Рисунок 3.3 – Схема установки для вимірювання світлотехнічних параметрів світлодіодів

На рис. 3.4 приведено зовнішній вигляд експериментальної установки.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд експериментальної установки

3.2 Експериментальні дослідження залежності світлового потоку від зміни напруги при живленні постійним струмом СД матриці

При розробці схем живлення і керування світлодіодами, що працюють у стаціонарних умовах, потрібно враховувати такі фактори, як складність та вартість схеми керування, її К.К.Д, а також можливість компенсації температурної залежності інтенсивності випромінювання світлодіодів. Самою простою схемою керування світлодіодами є *джерело постійної напруги*.

Перед тим, як проводити дослідження широтно-імпульсним методом регулювання світлового потоку СД матриці, провели дослідження залежності світлового потоку від зміни напруги при живленні постійним струмом.

Вимір світлового потоку СД здійснюють у фотометричній кулі рис. 3.3.

Світловий потік досліджуваної СД матриці $\Phi_{\text{досл}}$ визначається співвідношенням:

$$\Phi_{\text{досл}} = \Phi_{\text{ет}} \cdot \frac{i_{\text{досл}}}{i_{\text{ет}}}, \quad (3.1)$$

де $\Phi_{\text{ет}}$ – еталонний світловий потік.

Експериментальні дані записані в табл. 3.1.

На рис. 3.5 наведено вольт-амперну характеристику світлодіодної матриці типу МТК2-30W, на рисунку 3.6 наведено залежність світлового потоку від струму, а на рис. 3.7 – від напруги.

Таблиця 3.1 – Експериментальні дані

| Р, Вт | U _д , В | I _д , А | Φ, Лм | η, Лм/Вт |
|--------|--------------------|--------------------|----------|----------|
| 3,36 | 28 | 0,12 | 35,54 | 11 |
| 4,736 | 29,6 | 0,16 | 88,85 | 19 |
| 6,08 | 30,4 | 0,2 | 213,24 | 35 |
| 8,736 | 31,2 | 0,28 | 426,48 | 49 |
| 12,8 | 32 | 0,4 | 621,95 | 49 |
| 19,68 | 32,8 | 0,6 | 1137,28 | 58 |
| 27,552 | 33,6 | 0,82 | 1421,6 | 52 |
| 37,152 | 34,4 | 1,08 | 1821,425 | 49 |
| 56,64 | 35,4 | 1,6 | 2292,33 | 40 |

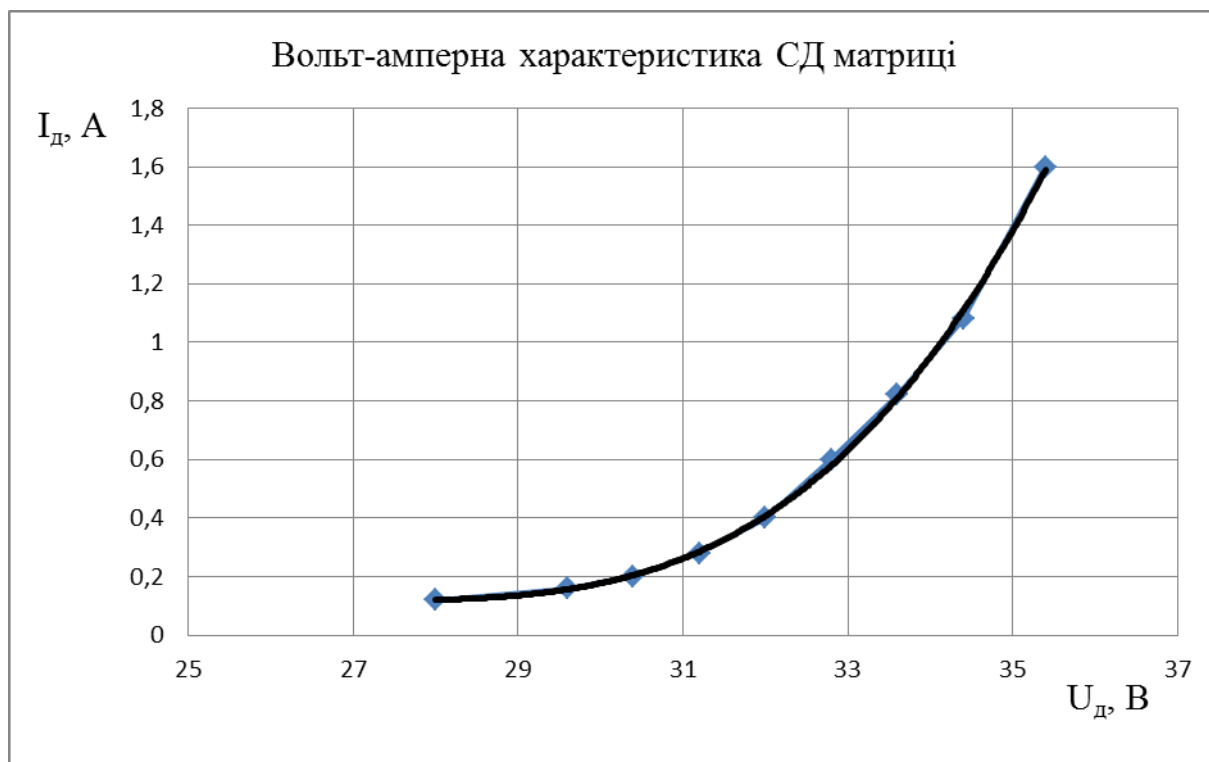


Рисунок 3.5 – Вольт-амперна характеристика світлодіодної матриці

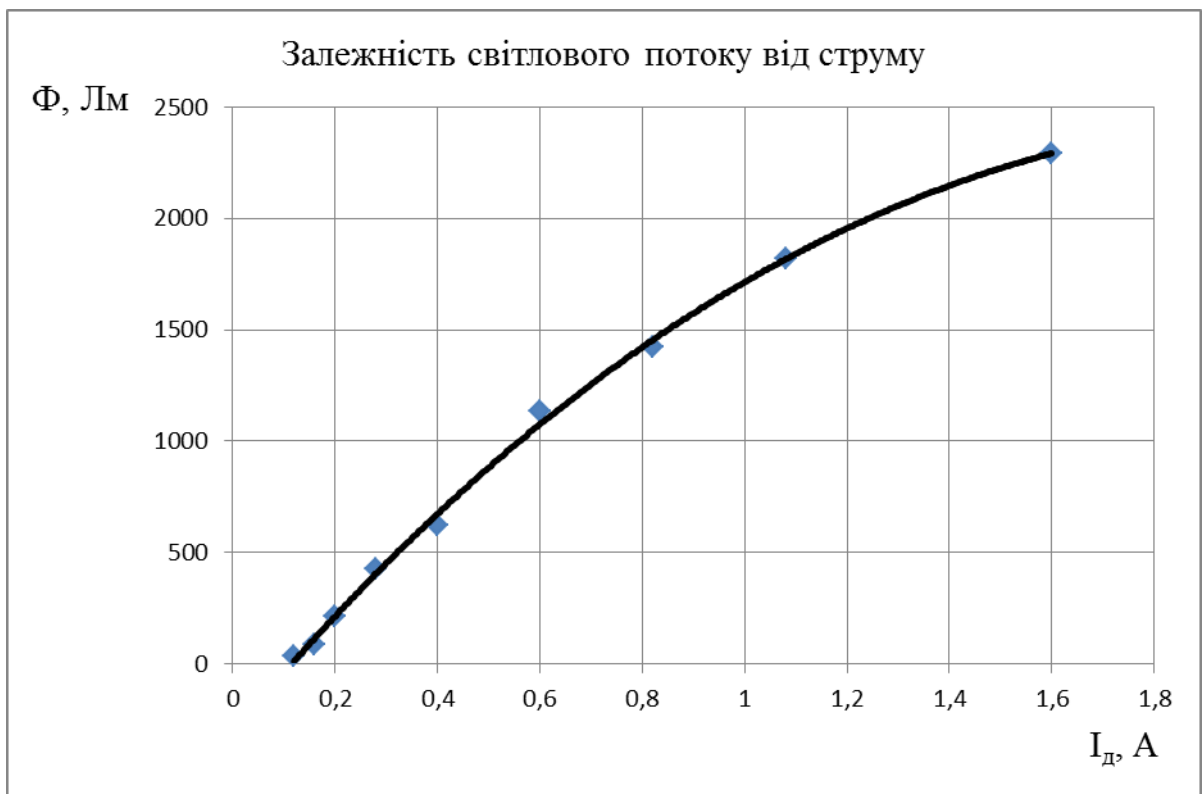


Рисунок 3.6 – Залежність світлового потоку від струму

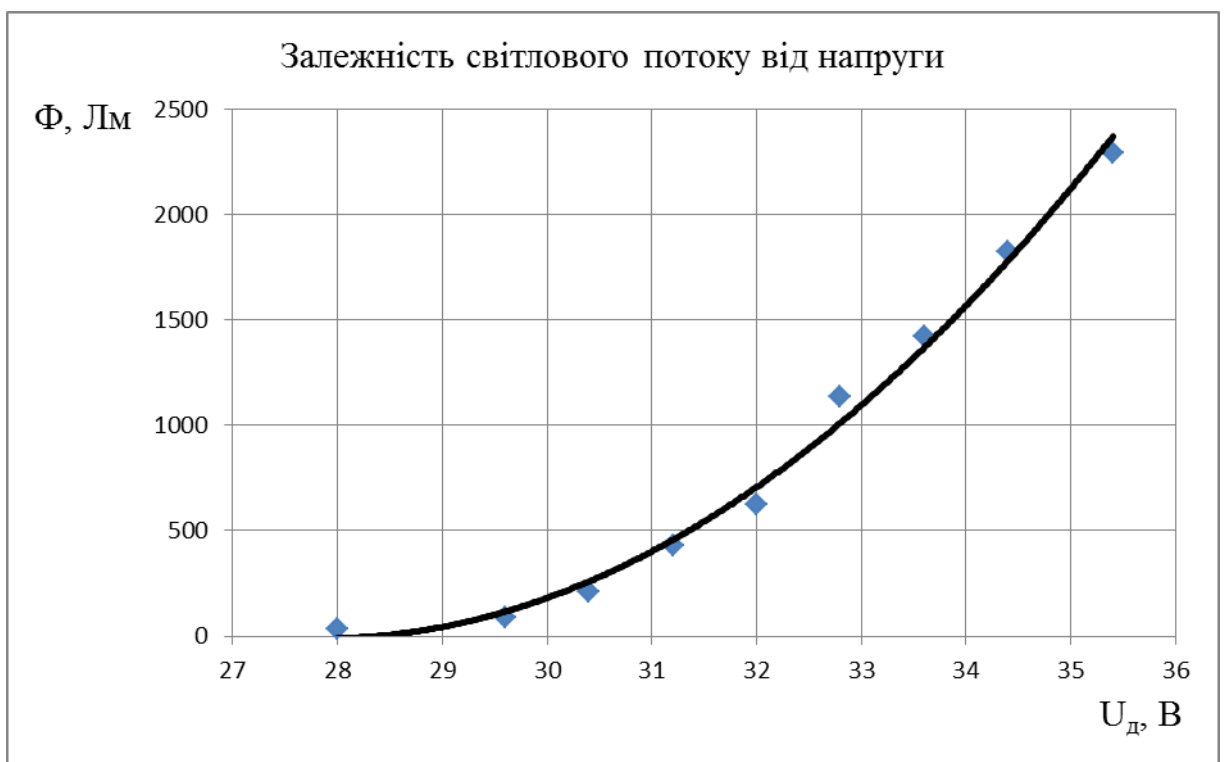


Рисунок 3.7-- Залежність світлового потоку від напруги

З отриманих значень і графіків показаних на рис. 3.5, рис. 3.6, і рис. 3.7 можна зробити висновок, що струм СД матриці, який зображено на рис. 3.5,

змінюється дуже стрімко при незначній зміні напруги від 30 В до 35 В. Отже, можна сказати що регулювати світловий потік за допомогою зміни напруги дуже складно і неточно тому що при незначній зміні напруги СД матриці різко змінюється світловий потік, це видно із графіка на рис. 3.7.

3.3 Експериментальні дослідження залежності світлового потоку від коефіцієнта заповнення при сталій частоті слідування імпульсів

При дослідженні широтно-імпульсного методу було знято ряд експериментальних даних при різних коефіцієнтах заповнення але при сталій частоті слідування імпульсів.

В табл. 3.2 наведено експериментальні дані при частоті слідування імпульсів 30 кГц, в таблиці 3.3 при частоті 50 кГц і в табл. 3.4 при частоті 90кГц

Таблиця 3.2 – Експериментальні дані при $f=30\text{кГц}$

| Р, Вт | U _д , В | I _д , А | Φ, Лм | K _з , % | η, Лм/Вт |
|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|----------|
| 31 | 19,2 | 1,60 | 880 | 20 | 29 |
| 32 | 20,8 | 1,52 | 1122 | 30 | 35 |
| 35 | 24,0 | 1,44 | 1292 | 40 | 37 |
| 36 | 26,0 | 1,40 | 1392 | 50 | 38 |
| 38 | 28,0 | 1,36 | 1491 | 60 | 39 |
| 40 | 30,4 | 1,30 | 1562 | 70 | 40 |
| 41 | 31,8 | 1,28 | 1633 | 80 | 40 |
| 42 | 33,6 | 1,24 | 1704 | 90 | 41 |

Таблиця 3.3 – Експериментальні дані при $f=50\text{кГц}$

| Р, Вт | U _д , В | I _д , А | Φ, Лм | К _з , % | η, Лм/Вт |
|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|----------|
| 36 | 19,2 | 1,9 | 923 | 20 | 25 |
| 37 | 20 | 1,84 | 1164 | 30 | 32 |
| 39 | 22,4 | 1,72 | 1363 | 40 | 35 |
| 40 | 24,8 | 1,6 | 1527 | 50 | 38 |
| 41 | 27,2 | 1,52 | 1633 | 60 | 39 |
| 43 | 28,8 | 1,5 | 1740 | 70 | 40 |
| 44 | 30,4 | 1,44 | 1811 | 80 | 41 |
| 45 | 31,2 | 1,44 | 1846 | 90 | 41 |

Таблиця 3.4 – Експериментальні дані при $f=50\text{кГц}$

| Р, Вт | U _д , В | I _д , А | Φ, Лм | К _з , % | η, Лм/Вт |
|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|----------|
| 46 | 19,2 | 2,4 | 880 | 20 | 19 |
| 50 | 23,2 | 2,16 | 1164 | 30 | 23 |
| 51 | 25,2 | 2,04 | 1363 | 40 | 27 |
| 54 | 27,2 | 2 | 1519 | 50 | 28 |
| 55 | 29 | 1,88 | 1633 | 60 | 30 |
| 57 | 31,2 | 1,84 | 1740 | 70 | 30 |
| 60 | 32,8 | 1,84 | 1846 | 80 | 31 |
| 61 | 34,4 | 1,76 | 1882 | 90 | 31 |

На рис. 3.8 наведено графік залежностей світлового потоку від коефіцієнта заповнення, рис. 3.9 графік залежностей потужності від коефіцієнта заповнення, а також графік залежностей світловіддач від коефіцієнта заповнення рис. 3.10 при частоті слідування імпульсів 30 кГц, 50 кГц, і 90 кГц.

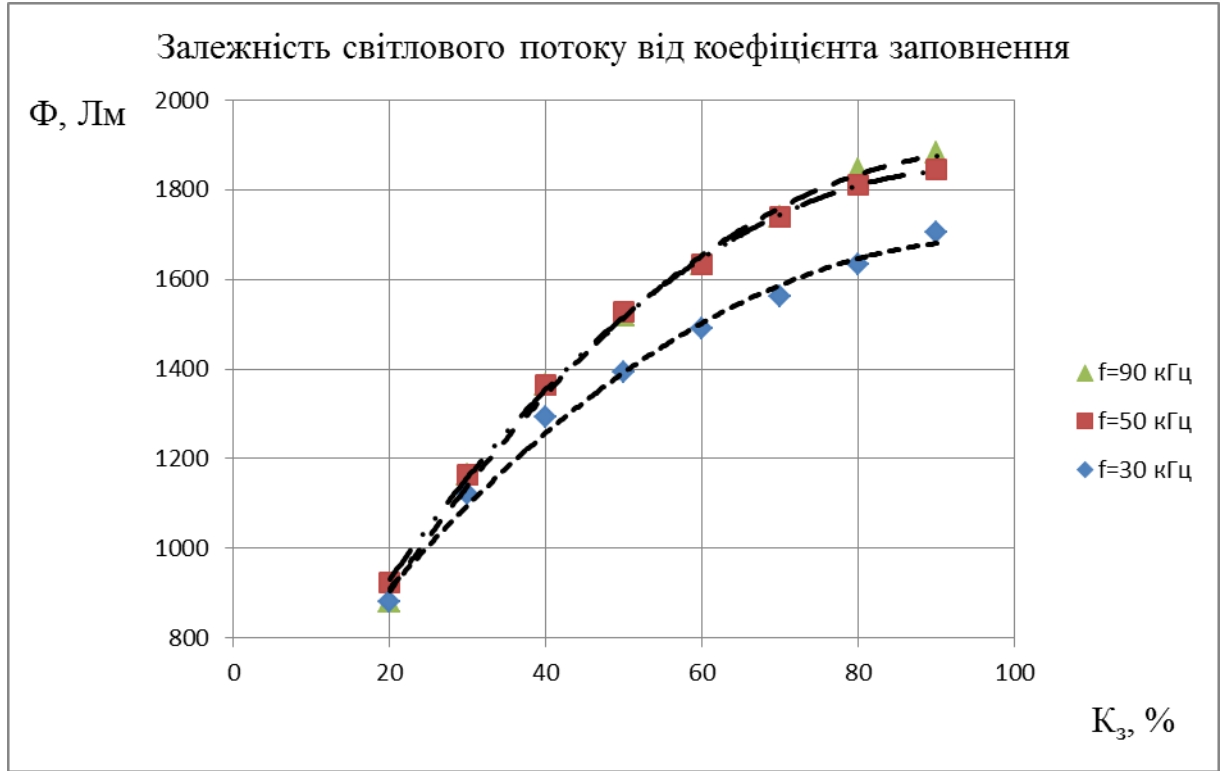


Рисунок 3.8 – Графік залежностей світлового потоку від коефіцієнта заповнення

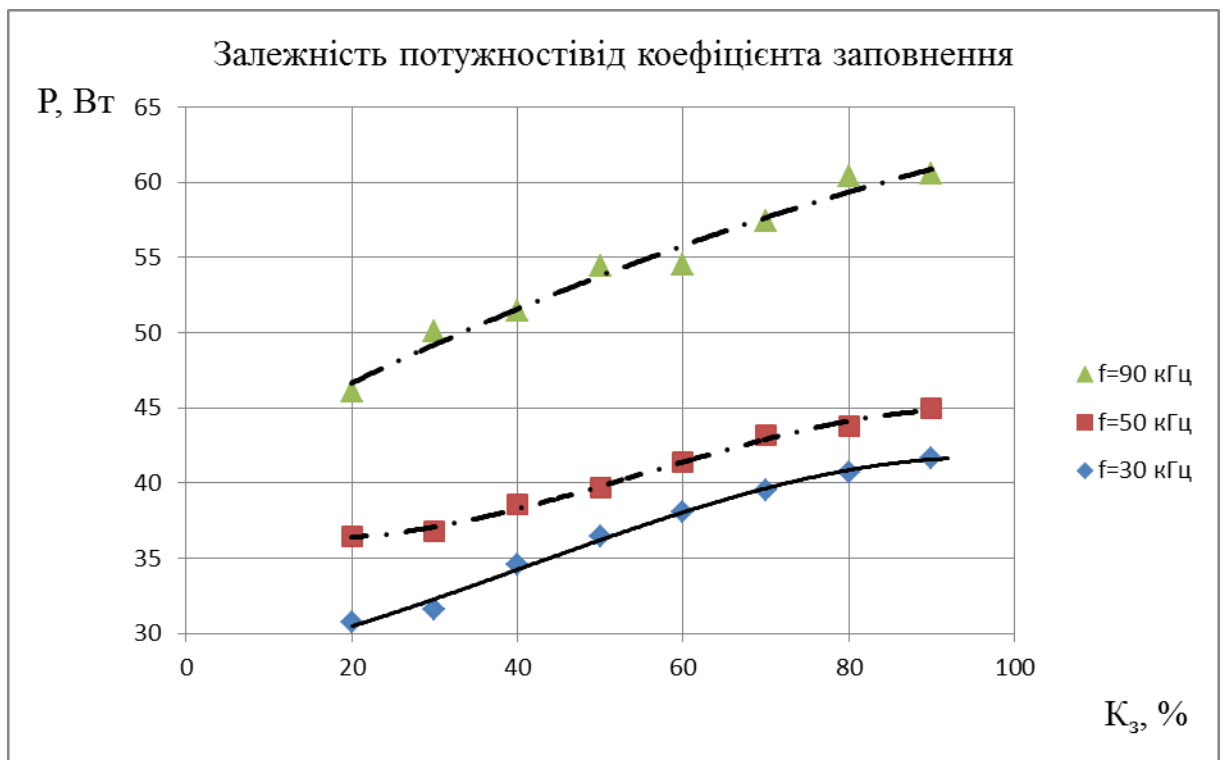


Рисунок 3.9 – Графік залежностей потужності від коефіцієнта заповнення

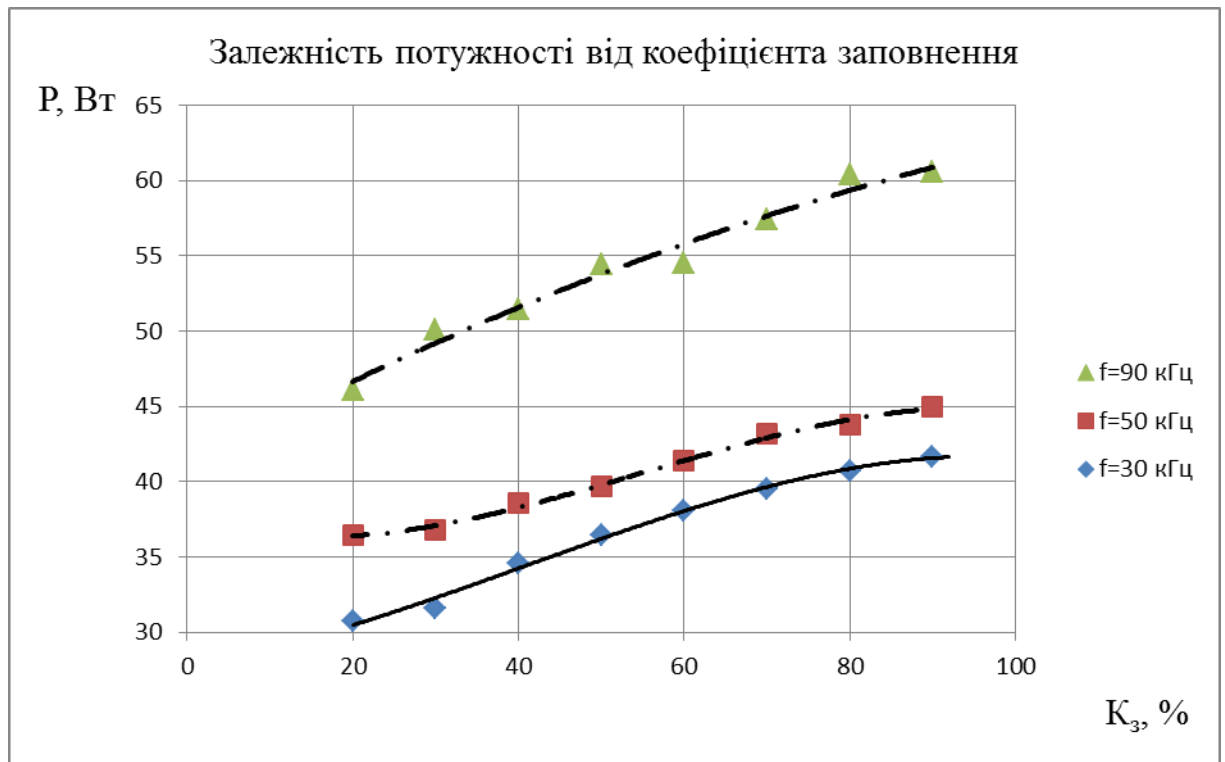


Рисунок 3.10 – Графік залежностей світловіддачі від коефіцієнта заповнення

Отже, отримані експериментальні дані показують, що зі зміною коефіцієнта заповнення від 20% до 90% відбувається плавна зміна світлового потоку (рисунок 3.8), але також можна помітити що із збільшенням частоти слідування імпульсів зменшується світловіддача світлодіодної матриці (рис. 3.9), а також збільшується споживана потужність (рис. 3.10).

Отже можна зробити висновок, що доцільно використовувати світлодіодну матрицю при невеликих частотах слідування імпульсів.

3.4 Експериментальні дослідження залежності світлового потоку від частоти слідування імпульсів при сталому коефіцієнті заповнення

Також при дослідженні широтно-імпульсного методу було знято ряд експериментальних даних при різній частоті слідування імпульсів але при сталому коефіцієнті заповнення. В табл. 3.5 наведено експериментальні дані при коефіцієнті заповнення 30%, в табл. 3.6 - 50%, і в табл. 3.7 - 90%

Таблиця 3.5 – Експериментальні дані при $K_3=30\%$

| Р, Вт | U _д , В | I _д , А | Φ, Лм | f, кГц | η, Лм/Вт |
|-------|--------------------|--------------------|-------|--------|----------|
| 32 | 21,6 | 1,46 | 1065 | 10 | 34 |
| 32 | 20,8 | 1,52 | 1093 | 20 | 35 |
| 32 | 20,8 | 1,52 | 1122 | 30 | 35 |
| 39 | 23,2 | 1,68 | 1108 | 40 | 28 |
| 37 | 23,2 | 1,84 | 1164 | 50 | 32 |
| 43 | 24 | 1,8 | 1164 | 60 | 27 |
| 48 | 24 | 2 | 1164 | 70 | 24 |
| 48 | 23,2 | 2,08 | 1179 | 80 | 24 |
| 50 | 23,2 | 2,16 | 1164 | 90 | 23 |
| 57 | 25,6 | 2,24 | 1122 | 100 | 20 |

Таблиця 3.6 – Експериментальні дані при $K_3=50\%$

| Р, Вт | U _д , В | I _д , А | Φ, Лм | f, кГц | η, Лм/Вт |
|-------|--------------------|--------------------|-------|--------|----------|
| 34 | 264 | 1,28 | 1420 | 10 | 42 |
| 35 | 26,4 | 1,32 | 1406 | 20 | 40 |
| 36 | 26 | 1,4 | 1392 | 30 | 38 |
| 40 | 28 | 1,44 | 1420 | 40 | 35 |
| 40 | 24,8 | 1,6 | 1527 | 50 | 38 |
| 46 | 27,8 | 1,66 | 1491 | 60 | 32 |
| 52 | 28,8 | 1,8 | 1491 | 70 | 29 |
| 52 | 27,2 | 1,9 | 1491 | 80 | 29 |
| 54 | 27,2 | 2 | 1519 | 90 | 28 |
| 60 | 28,8 | 2,08 | 1491 | 100 | 25 |

Таблиця 3.7 – Експериментальні дані при $K_3=90\%$

| P, Вт | U_d , В | I_d , А | Φ , Лм | f , кГц | η , Лм/Вт |
|-------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| 38 | 33,6 | 1,12 | 1704 | 10 | 45 |
| 38 | 33,6 | 1,12 | 1775 | 20 | 47 |
| 42 | 33,6 | 1,24 | 1704 | 30 | 41 |
| 44 | 33,6 | 1,32 | 1775 | 40 | 40 |
| 45 | 33,6 | 1,44 | 1846 | 50 | 41 |
| 50 | 34,4 | 1,44 | 1846 | 60 | 37 |
| 55 | 34,4 | 1,6 | 1846 | 70 | 34 |
| 59 | 34,4 | 1,72 | 1846 | 80 | 31 |
| 61 | 34,4 | 1,76 | 1882 | 90 | 31 |
| 65 | 34,4 | 1,88 | 1846 | 100 | 29 |

На рис. 3.11 наведено графік залежностей світлової віддачі від частоти слідування імпульсів, рис. 3.12 світловий потік від частоти слідування імпульсів при коефіцієнті заповнення 30%, 50%, і 90%.

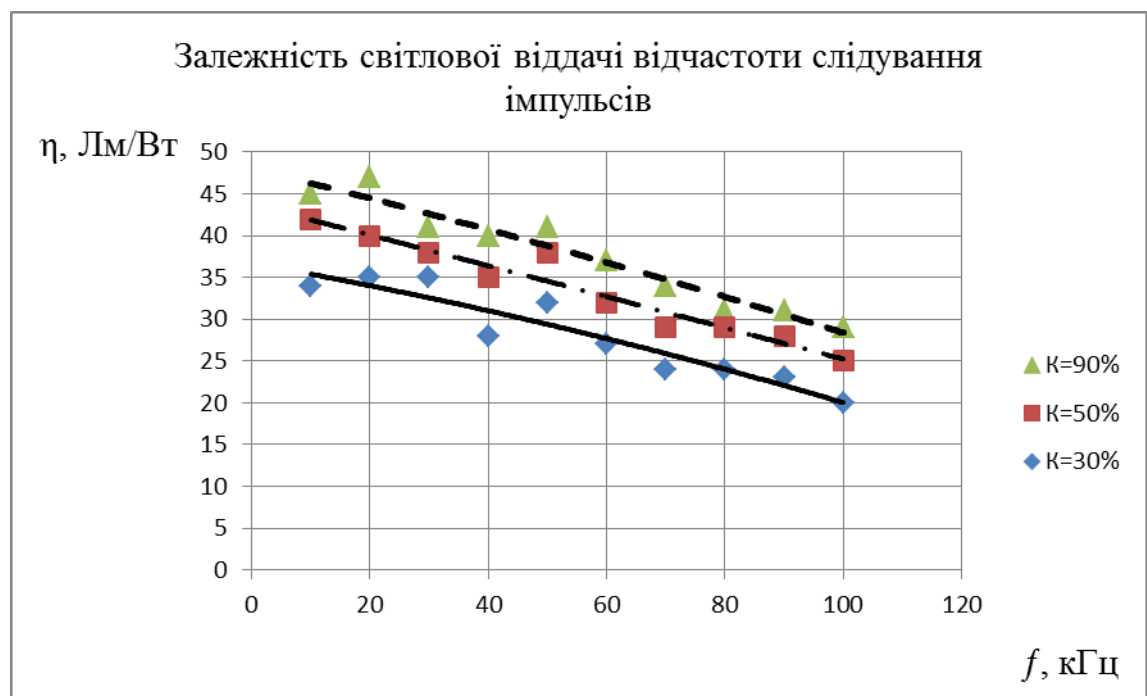


Рисунок 3.11 – графік залежності світлової віддачі від частоти слідування імпульсів при коефіцієнті заповнення 30%, 50%, 90%

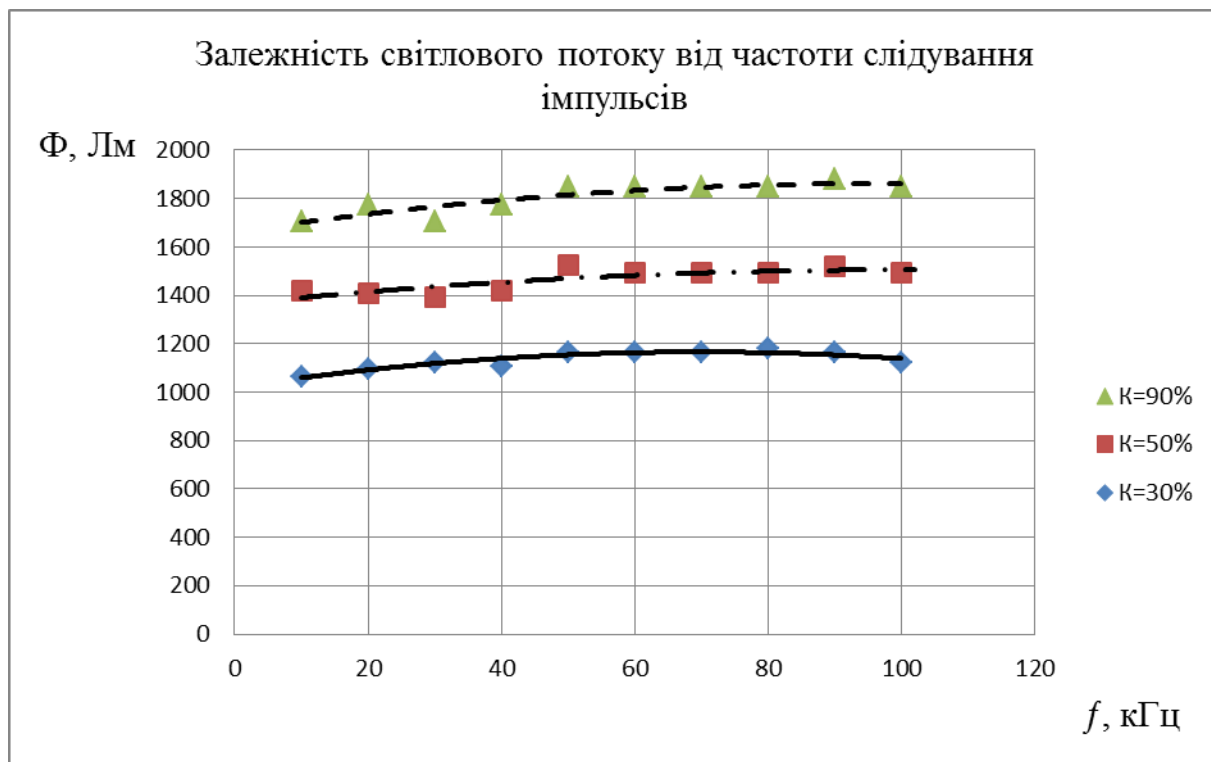


Рисунок 3.12 – графік залежності світлового потоку від частоти слідування імпульсів при коефіцієнті заповнення 30%, 50%, 90%

3.5. Висновки до розділу

Отримані експериментальні дані показують, що зі зміною частоти слідування імпульсів від 10 кГц до 100 кГц відбувається зміна світлового потоку (рис. 3.11), але із збільшенням частоти слідування імпульсів зменшується світловіддача світлодіодної матриці (рис. 3.12).

Отже, можна зробити висновок, що доцільно використовувати світлодіодну матрицю при невеликих частотах слідування імпульсів.

4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Вибір схеми імпульсного живлення світлодіодних джерел світла

У зв'язку з тим, що реалізація сучасного високоефективного, конкурентоздатного пристрою живлення неможлива без застосування ІМС імпульсних джерел живлення, то важливий вибір найбільш відповідної ІМС. Практично усі провідні фірми-виробники електронної компонентної бази випускають керовані ІМС для імпульсних джерел живлення. Номенклатура таких ІМС величезна і вибір, як правило, пов'язаний з визначенням відношення - ціна/необхідні характеристики.

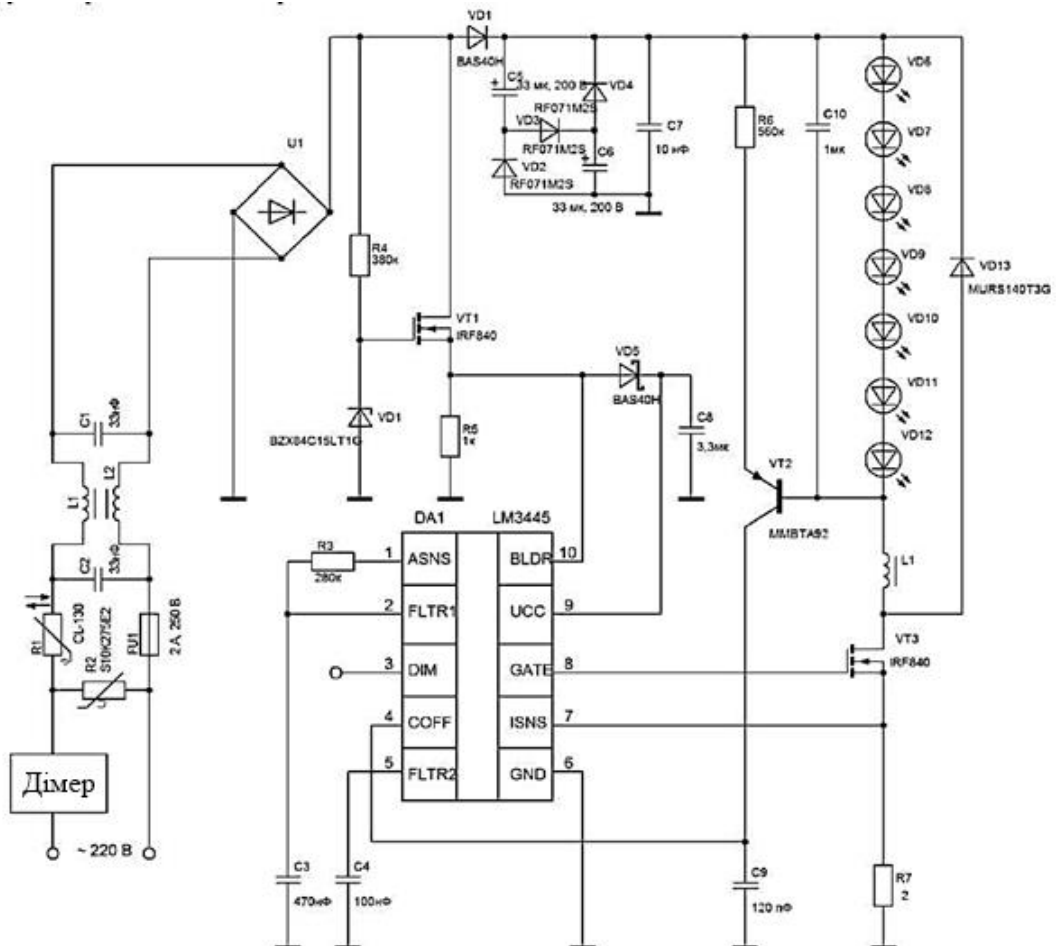


Рисунок 4.1 – Схема електрична принципова ІМС LM3445 пристрою живлення світлодіодної лампи без гальванічної розв'язки.

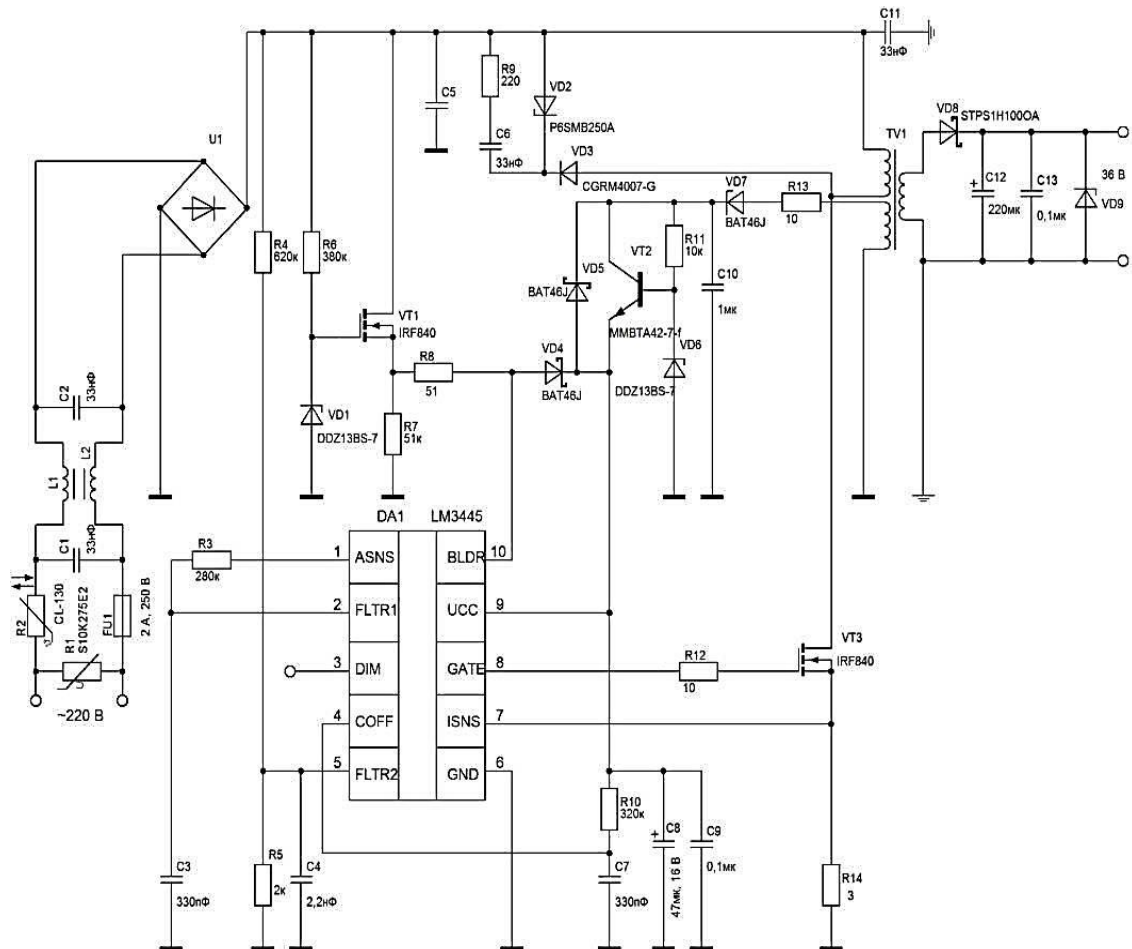


Рисунок 4.2 – Схема електрична принципова ІМС LM3445 пристрою живлення світлодіодної лампи з гальванічною розв'язкою

В зв'язку з цим інтерес представляє така ІМС, як LM3445. ІМС LM3445 має дуже широкий набір функцій, що дозволяє гнучко реалізовувати різні пристрої живлення для більшості світлодіодних світильників побутового і промислового призначення, також для сфери ЖКГ.

Принципова електрична схема пристрою живлення на основі ІМС LM3445, виконаного згідно з схемотехнікою понижаючого перетворювача без гальванічної ізоляції навантаження представлена на рис. 4.1.

ІМС LM3445 має наступні основні характеристики:

- робочий діапазон напруги живлення від 6,0 до 8,0 В;
- робочий струм управління світлодіодами більше 1 А;
- частота ШІМ, що налаштовується;

- адаптивне налаштування часу вимкненого стану, що забезпечує постійний рівень пульсацій;
- струм живлення(у стані спокою) не більше 3 мА;
- можливість побудови пристрою живлення з гальванічною ізоляцією навантаження і без гальванічної ізоляції
- стабільний ККД практично в усьому діапазоні робочої напруги живлення;
- наявність теплового захисту.

Принципова електрична схема пристрою живлення на основі ІМС LM3445, виконаного згідно з схемотехнікою понижаючого перетворювача з гальванічною ізоляцією навантаження представлена на рис. 4.2.

Вибір правильного типу ЕСК ще не гарантує стабільність її роботи та довговічність. Потрібно провести правильний вибір типів електронних компонентів. Так в кожній з приведених схем є електролітичні конденсатори, які мають властивість з часом втрачати свою ємність, що пов'язане з випаровуванням електроліту. Оскільки електронна схема керування працює зазвичай у порожнині радіатора, що розсіює тепло від світлодіодів, то вона піддається додатковому нагріванню з боку радіатора. Це ще більше погіршує ситуацію з довговічністю та напрацюванням годин на відказ.

4.2 Розрахунок системи імпульсного живлення на основі широтно-імпульсної модуляції

З урахуванням специфіки роботи імпульсних джерел живлення з ШІМ, розроблено розрахунок режиму роботи ІМС LM3445, а також ряду її зовнішніх навісних компонентів.

В якості початкових даних для розрахунку світлодіодної лампи, вибирається наступне:

- 1 Діапазон напруги живлення : 90 - 250 В(змінне);

2 Число послідовно включених світлодіодів : 7;

3 Пряме падіння напруги на одному світлодіоді: 3,6 В;

4 Повне падіння напруги на світлодіодах: $U_{CD}=7 \times 3,6=25,2$ В;

Початковий режим роботи ІМС LM3445 :

1 Номінальна частота роботи ШІМ : $f_{ШИМ}=250$ кГц;

2 Номінальний робочий струм світлодіодів : $I_{CD}=350$ мА;

3 Зміна струму світлодіодів при зміні напруги живлення(зазвичай від 15 % до 30 % відносно I_{CD}) : $\Delta i=0,3 \times 350=105$ мА;

4 Число каскадів коректора фази $N_{к.ф.}$ (1, 2 або 3) : виберемо $N_{к.ф.}=2$;

5 Мінімальне значення ККД : 80 %.

Коефіцієнт заповнення імпульсного вихідного сигналу ШІМ :

$$K_3 = \frac{U_{CD}}{U_{вих}} = \frac{t_{вк}}{t_{вк} + t_{вук}} = t_{вк} \cdot f_{ШИМ}, \quad (4.1)$$

де U_{CD} - повне падіння напруги на світлодіодах(25,2 В);

$U_{вих}$ - напруга живлення світлодіодів(сформоване АС – DC перетворювачем);

$t_{вк}$ - час включеного стану транзистора VT3;

$t_{вук}$ - час вимкненого стану транзистора VT3;

$f_{ШИМ}$ - частота ШІМ.

З урахуванням ККД, коефіцієнт заповнення можна виразити таким чином:

$$K_3 = \frac{U_{CD}}{U_{вих}} \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (4.2)$$

де η - ККД.

Мінімальна напруга $U_{вих}$ з урахуванням робочого діапазону і пасивного коректора фази, можна розрахувати за допомогою формули 4.3:

$$U_{вих.min} = \frac{U_{м.min} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\varphi)}{N_{к.ф}}, \quad (4.3)$$

де $U_{м.min}$ - мінімальне значення напруги живлення мережі(90 В);

φ фаза, що відповідає максимальному значенню напруги живлячої мережі;

$N_{к.ф}$ - число каскадів пасивного коректора фази(у нашому випадку 2).

Підставляючи відомі значення в формулу 4.3, отримаємо:

$$U_{вих.min} = \frac{90 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(250)}{2} = 59,643 \approx 60B, \quad (4.4)$$

Максимальна напруга U_{ex} , що відповідає максимальній робочій напрузі на стоці транзистора VT3, обчислюється таким чином:

$$U_{вих.max} = U_{VT.max} = U_{м.max} \cdot \sqrt{2}, \quad (4.5)$$

де $U_{м.max}$ - максимальне значення напруги живлення мережі(250 В).

Підставляючи відомі значення в формулу 4.5, отримаємо:

$$U_{вих.max} = U_{VT.max} = 250 \cdot \sqrt{2} = 352,5 \approx 352B, \quad (4.6)$$

Частота ШІМ - величина обернена періоду імпульсного сигналу :

$$f_{ШИМ} = \frac{1}{t_{вк} + t_{вих}}, \quad (4.7)$$

З врахуванням формули 4.1 для заповнення сигналу ШІМ, виразимо частоту ШІМ :

$$f_{ШИМ} = \frac{K_3}{t_{вк}} \text{ або } f_{ШИМ} = \frac{1-K_3}{t_{вих}}, \quad (4.8)$$

Виражаючи із формули 4.2 відношення $U_{СД}/U_{вих}$ і підставляючи його в формулу 4.8, отримаємо:

$$f_{ШИМ} = \frac{1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{СД}}{U_{вих}}}{t_{вих}}, \quad (4.9)$$

Із формули 4.9 легко виразити час вимкненого стану транзистора VT3 при номінальному значенні напруги $U_{вих}$:

$$t_{вих} = \frac{1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{СД}}{U_{вих}}}{f_{ШИМ}}, \quad (4.10)$$

Підставляючи відомі значення у формулу 4.10, отримаємо:

$$t_{вих} = \frac{1 - \frac{1}{0,8} \cdot \frac{25,2}{220 \cdot \sqrt{2}}}{250 \text{кГц}} = 0,0036 \text{мс} = 3,6 \text{мкс}, \quad (4.11)$$

На основі формул 4.2, 4.8 отримаємо формулу 4.12 для розрахунку часу включеного стану транзистора VT3(мінімальна тривалість імпульсу ШІМ) :

$$t_{вк} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{CD}}{f_{ШИМ}}, \quad (4.12)$$

Підставляючи у формулу 4.12 числові значення, отримаємо:

$$t_{вк} = \frac{1}{0,8} \cdot \frac{25,2}{220 \cdot \sqrt{2}} = 0,0004 мс = 0,4 мкс, \quad (4.13)$$

Мінімальна тривалість імпульсу $t_{вк.min}$ обчислюється підстановкою у формулу 4.12 максимального значення випрямленої напруги живлення $U_{вих.max}$. Проводячи обчислення, аналогічні формулі 4.13, отримаємо $t_{вк.min} = 0,25 мкс$, що не виходить за межі лінійної роботи ШІМ ІМС LM3445 ($t_{вк.min} = 0,25 мкс$).

Для розрахунку параметрів дроселя L1, скористаємося відомими співвідношеннями, що зв'язують струм і напругу на індуктивності. У наближенні лінійної зміни струму дроселя L1 напруга на світлодіодах при закритому транзисторі VT3 буде у виді:

$$U_{CD} = L1 \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}, \quad (4.14)$$

де Δi - зміна струму дроселя.

При закритому транзисторі VT3, можна прийняти $\Delta t \approx t_{вк}$. Тоді отримаємо формулу 4.15:

$$L1 = t_{вук} \cdot \frac{U_{CD}}{\Delta i}, \quad (4.15)$$

Підставляючи у формулу 4.15 співвідношення(формула 4.10) для $t_{вук}$, отримаємо співвідношення для індуктивності дроселя L1 :

$$L1 = \frac{U_{CD} \cdot (1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{CD}}{U_{вих}})}{f_{ШИМ} \cdot \Delta i}, \quad (4.16)$$

Підставляючи у формулу 4.16 значення відомих і розрахованих раніше даних, отримаємо $L1 \approx 860$ мкГ.

Якщо вибрати струм колектора транзистора VT2 не більше $I_c=50$ мкА, то може бути обчислена величина резистора R6 : $R6 = U_{CD} / U_{вих} = 25,2 / 0,05 = 504$ кОм. Виберемо R6=560 кОм.

Каскад на транзисторі VT2 виконує функцію захисту ІМС і потужного транзистора у разі короткого замикання ланцюга світлодіодів. Для завдання часу включення захисту ІМС (виключення ІМС), необхідно розрахувати величину конденсатора C9 слід зазначити, що час виключення ІМС повинен перевищувати час $t_{вук}$. Величина конденсатора C9 може бути розрахована із співвідношення:

$$C9 = \frac{t_{вук} \cdot U_{CD}}{U_{вн.R} \cdot R6}, \quad (4.17)$$

де $U_{вн.R}$ - внутрішня опорна напруга ІМС LM3445, рівне $U_{вн.R}=1,276$ В.

Підставляючи у формулу 4.17 значення усіх змінних, отримаємо C9=127 пФ, або округлюючи, виберемо C9=120 пФ.

Для забезпечення необхідного значення коефіцієнта потужності, в пристроях живлення є присутнім пасивний коректор фази(елементи C5, C6,

VD2, VD3, VD4). Помітимо, що високі значення коефіцієнта потужності в пристроях живлення цієї світлодіодної лампи не потрібно, оскільки споживана потужність лампи не перевищує 9 Вт (коефіцієнт потужності більше 0,8 вимагається, як правило, в облаштуваннях світлодіодного освітлення, потужністю більше 25 Вт). Але, проте, в цій схемі пристрій живлення коректор фази є присутнім і забезпечує коефіцієнт потужності 0,87.

4.3 Математична модель контура регулювання струму з ШІМ

В даному розділі приведений аналіз контура регулювання струму з врахуванням імпульсного характеру керування, виконаний з використанням елементарного математичного апарату.

З точки зору строгого обмеження струму переважачим виявляється безінерційний (пропорційний) регулятор струму. Підтримка ж постійного струму при зміні напруги на навантаженні вимагає інтегрального регулятора. Вирішити це питання вдається за рахунок позитивного зворотнього зв'язку по напрузі, що практично усуває залежність струму від вихідної напруги U_n . При крутизні напруги розгортки широко-імпульсного модулятора, пропорційної напрузі живлення E , коефіцієнт посилення широко-імпульсного регулятора не залежить від E , що унеможливує самозбудження контура під дією позитивного зворотнього зв'язку з напругою у разі збільшення E .

Як приклад розглянемо контур регулювання струму понижаючого перетворювача напруги постійного струму, представлений на рис. 3.1. Широтно-імпульсний перетворювач складається з потужного польового транзистора VT, зворотного діода VD, згладжуючого фільтру, що містить дросель D_r і конденсатор C, широтно-імпульсного модулятора ШІМ з напругою розгортки, отримаємо інтегруванням напруги живлення E , і драйвера Д. Пропорційний регулятор струму виконаний на операційному підсилювачі ОП. Задаюча напруга $U_{зд}$ на вхід підпорядкованого регулятора

струму подається з виходу регулятора напруги перетворювача, з датчика струму ДС знімається напруга зворотного зв'язку по струму.

$$U_{зв.з} = R_{ш} \cdot I, \quad (4.18)$$

де $R_{ш}$ - крутизна ДС, що має розмірність опору.

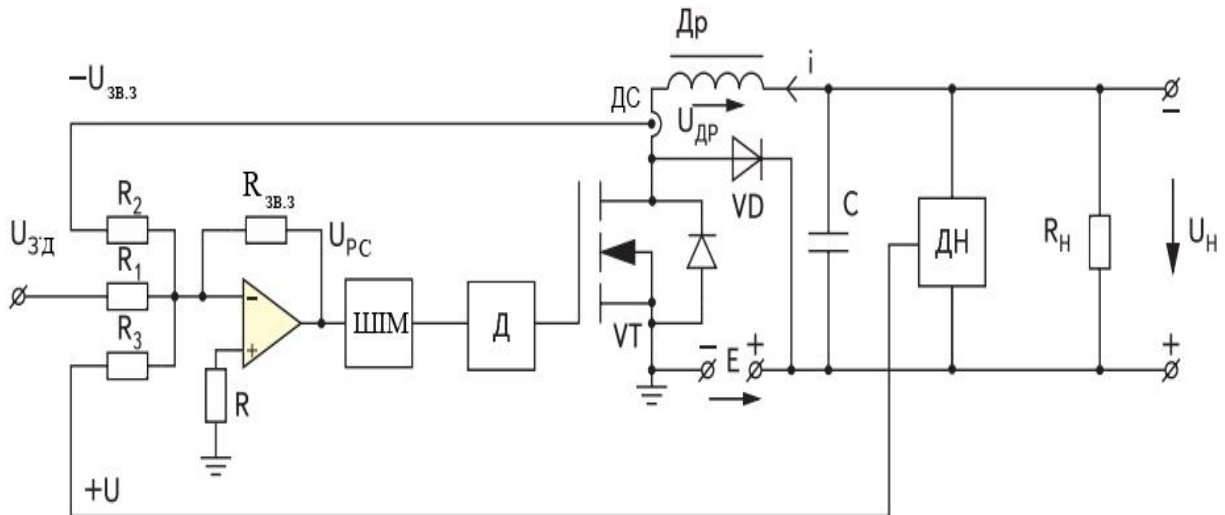


Рисунок 3.1 – Контур регулювання струму понижаючого перетворювача напруги постійного струму з ШПМ

З датчика напруги ДН знімається сигнал позитивного зворотного зв'язку по напрузі навантаження.

$$U_{+} = kU_{н} \quad (4.19)$$

де k - крутизна ДН.

При описі процесів в контурі регулювання струму вважатимемо, що він працює в режимі безперервного струму.

Вхідну напругу $U_{зд}$ і напруга на навантаженні $U_{н}$ приймемо постійними, оскільки струм змінюється набагато швидше за напругу. Причина цього в малій індуктивності дроселя, необхідній для отримання досить малих

пульсацій струму, внаслідок високої частоти комутації. Транзистор VT і зворотний діод VD вважатимемо ідеальним.

При цих допущеннях струм дроселя Др $i(t)$ в n -ом періоді комутації $nT < t < nT + \tau_n$ лінійно зростає під дією різниці напруги живлення E і напруга на навантаженні U_H , прикладеної до дроселя Др:

$$i(t) = i(nT) + \frac{1}{L} \int_{nT}^t (E - U_H) dt = i_n + \frac{E - U_H}{L} (t - nT), \quad (4.20)$$

де $i_n = i(nT)$ - значення струму на початку n -го періоду комутації;

L - індуктивність дроселя Др.

У момент закриття транзистора VT струм набуває значення:

$$i(nT + \tau_n) = i_n + \frac{E - U_H}{L} \tau_n, \quad (4.21)$$

І до кінця періоду, тобто впродовж часу $nT + \tau_n < t < (n+1)T$, лінійно зменшується під дією напруги U_H , прикладеного до дроселя Др через зворотний діод VD :

$$i(t) = i_n + \frac{E - U_H}{L} \tau_n - \frac{U_H}{L} (t - nT - \tau_n), \quad (4.22)$$

У кінці n -ого і початку $n+1$ -го періоду комутації струм набуває значення:

$$i_{n+1} = i(nT + T) = i_n + \frac{E - U_H}{L} \tau_n - \frac{U_H}{L} (T - \tau_n) = i_n + \frac{E}{L} \tau_n - \frac{U_H}{L} \tau_n, \quad (4.23)$$

Тривалість підключення джерела живлення E до навантаження (через дросель Др) τ_n визначається моментом рівності величин вихідної напруги регулятора струму U_{pc} і пилкоподібної напруги розгортки ШІМ:

$$U_{pc}(nT + \tau_n) + \alpha \cdot \tau_n = 0, \quad (4.24)$$

де α - крутизна напруги розгортки.

Вихідна напруга регулятора струму складає:

$$\begin{aligned} U_{pc} &= -\frac{R_{3\phi.3}}{R_1} U_{3\phi.3} + \frac{R_{3\phi.3}}{R_2} R_{\omega} i - \frac{R_{3\phi.3}}{R_3} k U_H = \\ &= -K_{pc} \left[U_{3\phi.3} - K_i R_{\omega} i + K_+ k U_H \right], \end{aligned} \quad (4.25)$$

$$\text{де } K_{pc} = -\frac{R_{3\phi.3}}{R_1};$$

$$K_i = \frac{R_1}{R_2};$$

$$K_+ = \frac{R_1}{R_3}.$$

У момент закриття VT $t = nT + \tau_n$ з врахуванням формули 4.21 має значення:

$$U_{pc}(nT + \tau_n) = K_{pc} \left[U_{3\phi.3} - K_i R_{\omega} \left(i_n + \frac{E - U_H}{L} \tau_n \right) + K_+ k U_H \right], \quad (4.26)$$

Підстановка $U_{pc}(nT + \tau_n)$ у формулу 4.24 дає нам формулу 4.27:

$$\tau_n = \frac{K_{pc} \left[U_{3\phi.3} - K_i R_{\omega} i + K_+ k U_H \right]}{\alpha + K_i R_{\omega} K_{pc} \frac{E - U_H}{L}}, \quad (4.27)$$

Таким чином, підставивши значення τ_n у формулу 4.23, отримуємо рівняння, яке зв'язує значення струму в моменти, що відповідають початку сусідніх періодів комутації (n+1-го і n-го). Це рівняння називається різницеvim і має вид:

$$i_{n+1} = \lambda i_n + I, \quad (4.28)$$

де
$$\lambda = \frac{K_i R_{\omega} K_{pc}}{\frac{\lambda L}{E} + K_i R_{\omega} K_{pc} (1 - \frac{U_H}{E})}; \quad (4.29)$$

$$I = \frac{(U_{зв.з} + K_+ k U_H) K_{pc}}{\frac{\lambda L}{E} + K_i R_{\omega} K_{pc} (1 - \frac{U_H}{E})} - \frac{U_H T}{L}. \quad (4.30)$$

Оскільки згори величина τ_n обмежена граничним значенням то

$$\tau_n < \tau_{\max}, \tau_{\max} < T, \quad (4.31)$$

Формула 4.27 справедлива при умові що:

$$\begin{aligned} (U_{зв.з} + K_+ + k U_H - K_i R_{\omega} i_n) K_{pc} &\leq \\ &\leq [\alpha + K_i R_{\omega} K_{pc} (E - U_H) / L] \tau_{\max}, \end{aligned} \quad (4.32)$$

Або

$$\begin{aligned} i_n &\geq ([U_{зв.з} + K_+ + k U_H] K_{pc} - [\alpha + K_i R_{\omega} K_{pc} (E - U_H) / L] \tau_{\max}) / \\ &/ K_i R_{\omega} K_{pc} = I_{\min} \end{aligned}, \quad (4.33)$$

При $i_n < I_{\min}$, τ_n набуває граничного значення $\tau_n = \tau_{\max}$, а різницеве рівняння контура згідно формули 4.21 має вигляд:

$$i_{n+1} = i_n + \frac{E}{L} \tau_{\max} - \frac{U_H}{L} T = i_n + \frac{E}{L} (\tau_{\max} - \frac{U_H}{L} T), \quad (4.34)$$

Природне обмеження величини τ_n знизу ($\tau_n > 0$) призводить до того, що за умови $\tau_n = 0$.

$$i_n > \frac{(U_{pc} + K_+ + kU_H)}{K_i R_H} = I_{\max}, \quad (4.35)$$

Згідно з формулою 4.23 отримуємо різницеве рівняння контура у виді:

$$i_{n+1} = i_n - \frac{U_H}{L} T, \quad (4.36)$$

4.4 Висновки до розділу

Виходячи з рівняння контура регулювання струму дозволяє легко вчислити значення струму $i(nT)$ при $n = 0, 1, 2, \dots$, що відповідають початкам послідовних періодів комутації (чи кінцям попередніх періодів). Для цього досить задати початкове значення струму - значення струму на початку нульового періоду $i(0)$ - і послідовним обчисленням за формулами 2.11, 2.17, 2.19 визначити усі подальші значення $i(nT)$, $n = 1, 2, 3, \dots$. Характер зміни струму усередині n -го періоду комутації визначається формулами 2.3, 2.5.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Особливості будови та експлуатації імпульсного блоку живлення для світлодіодних ламп

Електричній лампочці як освітлювальному приладу вже дещо більше 100 років. За цей час її конструкція і принцип дії багаторазово мінялися, і лише призначення залишалося тим самим. В середині ХХ століття лампу розжарення потіснила люмінесцентна лампа, що має більшу ефективність і довговічність. А на початку ХХІ ст. з'явилася так звана світлодіодна лампа. Необхідно відмітити, що під цією назвою насправді ховається досить складна система, що складається з декількох елементів, серед яких основними є : блок живлення, світлодіодна матриця, система охолодження і оптична система.

Типова схема блоку живлення світлодіодної лампи показана на рис. 5.1.

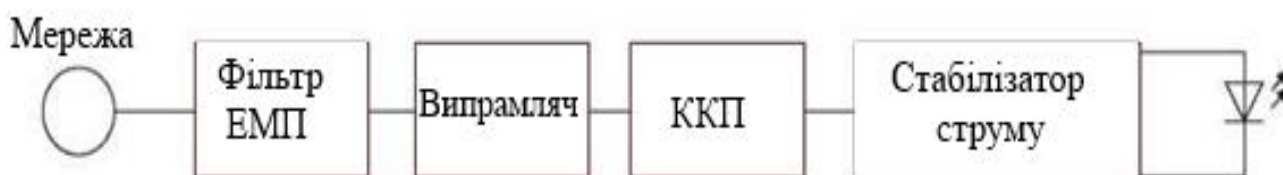


Рисунок 5.1 – Блок-схема імпульсного блоку живлення світлодіодної лампи

Мережева змінна напруга проходить через фільтр електромагнітних перешкод(ЕМП) на випрямляч. Потім випрямлена напруга проходить через ступінь корекції коефіцієнта потужності(ККП) і живить, власне, імпульсний стабілізатор струму, до виходу якого підключені світлодіоди.

5.2 Фільтр електромагнітних перешкод

Вхідний перешкодоподавляючий фільтр володіє властивістю двонаправленого перешкодо подавленням, тобто запобігає проникненню

високочастотних імпульсних перешкод як з мережі у блок живлення, так і навпаки - з блоку живлення в мережу. Перешкоди в мережі з'являються, наприклад, при підключенні до неї потужних навантажень. Перешкоди у блоці живлення обумовлені, передусім, імпульсним режимом роботи транзистора, резонансом в силових ланцюгах блоку в моменти комутації і роботою випрамляча. Електромагнітні перешкоди, створюючись імпульсним блоком живлення, поділяються на два типи: симетрична(перешкода вимірюється між двома полюсами шин живлення) і синфазна(напруга між кожним дротом живлення і землею).

Для пригнічення симетричної перешкоди застосовується фільтр із здвоєним дроселем і двома конденсаторами, що шунтують шини живлення рис. 5.2.

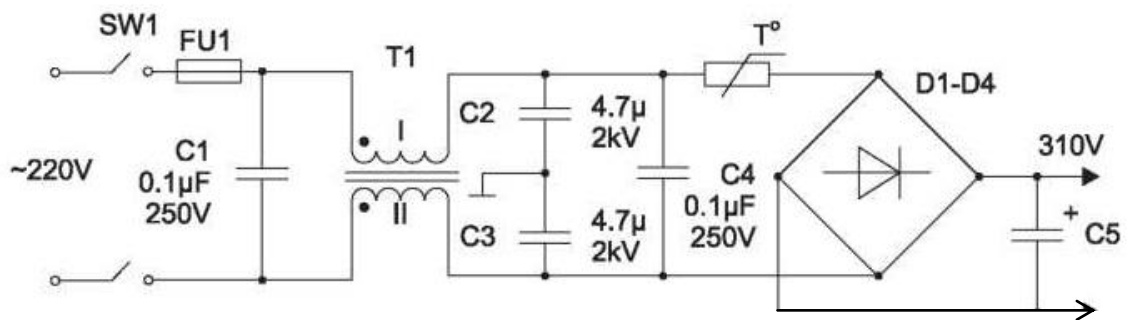


Рисунок 5.2 - Схема фільтру для пригнічення симетричної перешкоди

Конденсатор $C1$ є дуже великим опором для живлячого струму мережевої частоти (50 Гц), і тому цей струм через конденсатор $C1$ не відгалужується. Для імпульсного високочастотного струму перешкоди цей конденсатор має дуже малий опір, і тому велика частина струму перешкоди замикається через нього. Проте, як показує практика, це не завжди досить. Тому далі включається двох обмотковий дросель $T1$ (нейтралізуючий трансформатор), обмотки якого мають однакове число витків і намотані на одному сердечнику спільно. З цього виходить, що корисний струм системної частоти, що протікає по обмоткам I і II в протилежних напрямках, буде створювати в сердечнику $T1$ два рівних зустрічно-спрямованих магнітних

поток, взаємно компенсуючих один одного. Тому незалежно від величини споживаного від мережі струму сердечник Т1 не намагнічуватиметься, тобто індуктивність обох обмоток буде максимальна. Основне призначення конденсатора С4 - фільтрація перешкод, що створюються діодним мостом. Річ у тому, що процес відновлення зворотнього опору діодів при перемиканні не є миттєвим, і при зміні полярності прикладеної напруги через діоди протікають імпульсні зворотні струми, обумовленні розсмоктуванням надмірних носіїв. Ці імпульсні струми і є перешкодами, генерованими мережевим випрямлячем. Конденсатор С4, включений в діагональ діодного моста, замикає через себе струми цих імпульсних перешкод, перешкоджаючи їх проникненню в живлячу мережу і навантаження блоку живлення. Також, якщо є дріт заземлення, то конденсатори С2 і С3 дозволяють подавити синфазну перешкоду.

5.3 Випрямляч змінної напруги

Випрямляч виконується за схемою діодного моста. Якщо замість звичайних установити в міст так звані "швидкі діоди" , то рівень перешкод, що створюються випрямлячем, значно зменшиться. Також при розробці лампи слід врахувати, що діоди випрямляча випробовують значне навантаження імпульсним струмом заряду конденсатора С5 при включенні. Наприклад, діодний міст ОБ107(номінальний струм 1 А) витримує імпульс струму з амплітудою, в 50 разів що перевищує номінальний струм в одному циклі або півхвилі мережевої напруги. Залежність кількості можливих циклів від амплітуди імпульсу струму показана на рис.5.3.

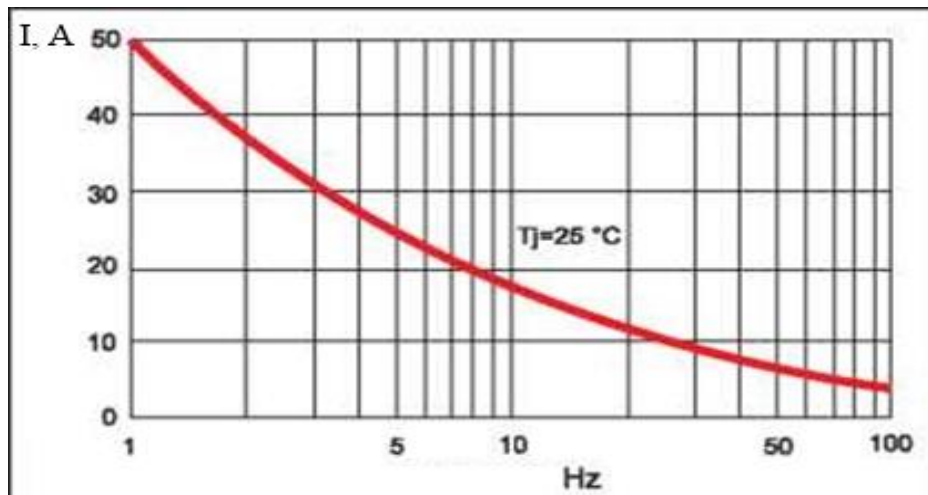


Рисунок 5.3 – Залежність кількості можливих циклів від амплітуди імпульсу струму

Тому в ланцюг заряду С5 необхідно включити термістор. Цей елемент має опір близько декількох Ом під час заряду конденсатора і, отже, обмежує імпульсний струм через діодний міст. З іншого боку, через одну-дві секунди струм, що проходить через термістор, розігріває його і призводить до зниження опору. Таким чином, в штатному режимі опір термістора прагне до нуля. Графік струму в ланцюзі "діодний міст - конденсатор" з термістором(пунктир) і без термістора(суцільна лінія) показаний на рис. 5.4.

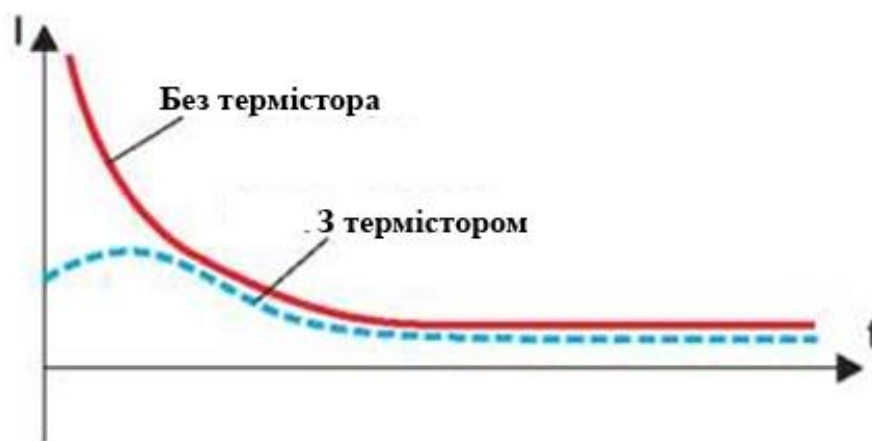


Рисунок 5.4 – Графік струму в ланцюзі "діодний міст - конденсатор" з термістором(пунктир) і без термістора(суцільна лінія)

Розрахунок опору термістора виконується таким чином. По-перше, по закону Ома вибирається мінімальний опір при температурі 25 °С.

$$R = 1,414 \cdot U_{\text{ВХ}} / I_{\text{max}}, \quad (5.1)$$

де $U_{\text{ВХ}}$ - вхідна змінна напруга;

I_{max} - максимальний допустимий струм діодного моста в одному циклі.

Потім визначається максимальна енергія, яку повинен поглинути термістор у момент включення :

$$E = C \cdot U^2 / 2, \quad (5.2)$$

де C - ємність вхідного конденсатора;

U - випрямлена напруга ($1,414 \cdot U_{\text{ВХ}}$).

Потім визначається струм, який потече через термістор в штатному режимі.

Вказаних параметрів цілком вистачає, щоб правильно вибрати термістор по каталогах виробника.

Ще одним важливим параметром, який варто брати до уваги, є термін життя електролітичного конденсатора. Як правило, конденсатори забезпечуються інформацією при максимальній робочій температурі. Термін життя або, іншими словами, термін, за який місткість конденсатора знизиться в два рази, при цій температурі коливається від 2 до 7 тис. год. У порівнянні зі світлодіодами, які мають термін життя 50-100 тис. ч, це дуже мало. Проте виробники конденсаторів стверджують, що зі зниженням температури на кожні 10 градусів відносно максимальної, то їх термін життя збільшується в два рази. Тому вхідну ємність необхідно вибирати з обліком навколишньої температури конденсаторів.

5.4 Коректор коефіцієнта потужності

Іншим важливим електричним параметром всіх блоків живлення, який потрібно забезпечити, являється коефіцієнт потужності. Існують два типи ЕСК з пасивним коректором коефіцієнта потужності та активним. Основною перевагою ЕСК з пасивним коректором коефіцієнта потужності є її простота реалізації, але значення коефіцієнта потужності, якого можна досягнути при цьому, не більше 0,85. Більш прогресивною являється з активним коректором коефіцієнта потужності. Вона може забезпечити коефіцієнт потужності до 0,99, але є більш складною у виконанні. Діаграми вхідного струму, напруги та схемні рішення приведені на рис. 5.5.

З отриманих рисунків видно, що струм на вході ЕСК без коректора коефіцієнта потужності зовсім не описує форму вхідної напруги і містить вузькі піки. Форма струму ЕСК з пасивним коректором коефіцієнта потужності близька до форми напруги, але при цьому видно високі стрибки струму. Найкраще вхідну напругу повторює вхідний струм ЕСК з активним коректором коефіцієнта потужності, що і забезпечує високий коефіцієнт потужності.

Високий коефіцієнт потужності дає змогу забезпечити низький рівень емісії струмових гармонік. Максимальне нормоване амплітудне значення кожної гармоніки обмежено на території України нормативним документом ДСТУ ІЕС61000-3-2:2004[13]. Відповідно освітлювальні прилади, які працюють в загальній мережі 220В повинні забезпечувати рівень гармонік нижче ніж зазначені в ДСТУ. Розглянемо гістограми гармонік для різних типів блоків живлення (рис. 5.6).

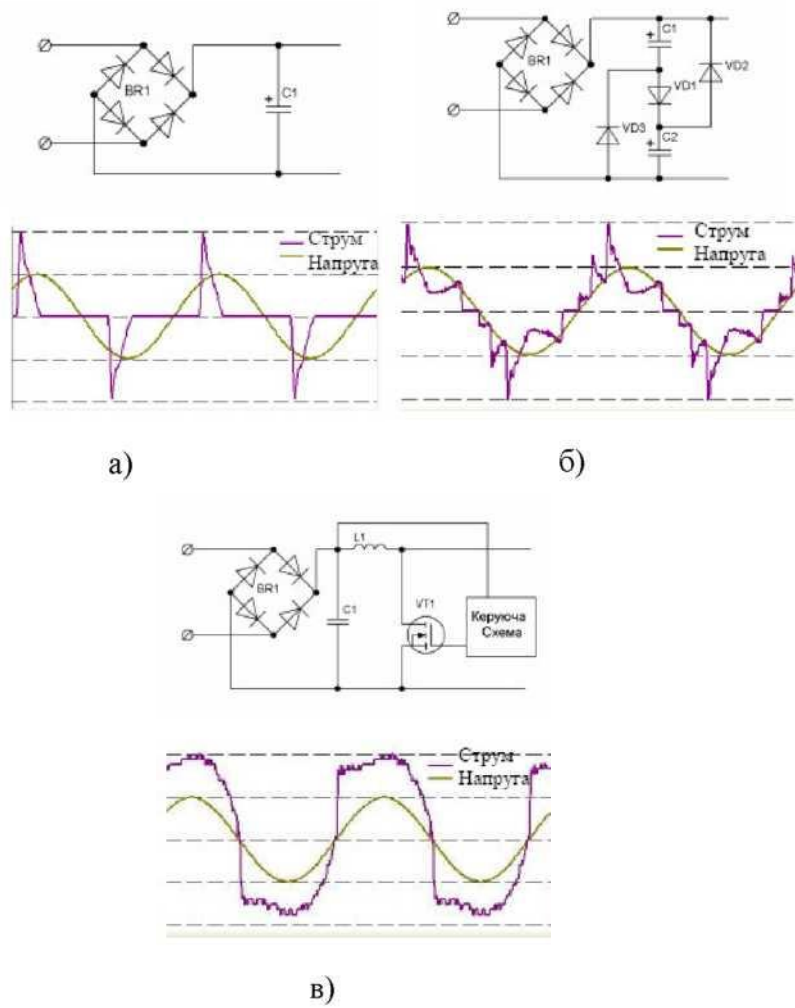
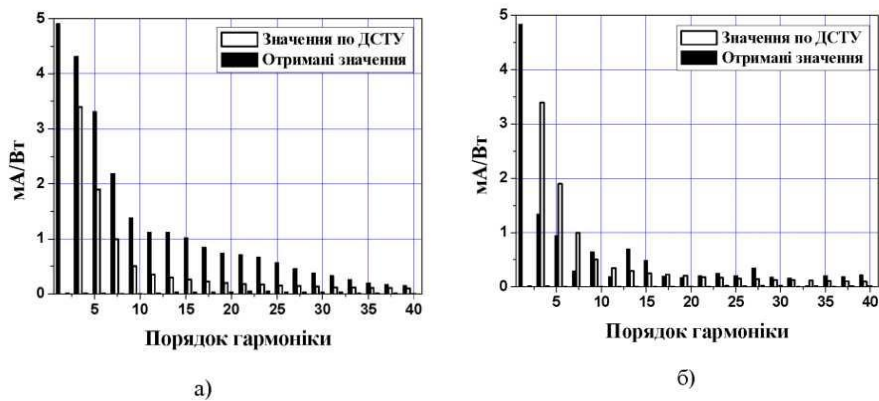


Рисунок 5.5 – Епюри вхідної напруги та струму ЕСК а) без коректора коефіцієнта потужності; б) з пасивним коректором коефіцієнта потужності; в) з активним коректором коефіцієнта потужності та їх схемні реалізації





в)

Рисунок 5.6 – Величина струмових гармонік схеми керування: а) без коректора коефіцієнта потужності; б) з пасивним коректором коефіцієнта потужності; в) з активним коректором коефіцієнта потужності та їх порівняння з ДСТУ

В ЕСК без коректора коефіцієнта потужності амплітудні значення всіх гармонік перевищують допустимі значення, а з пасивним коректором частково перевищують, тому дані ЕСК не відповідають нормам. Єдина ЕСК, яка відповідає цим нормам є ЕСК з активним коректором коефіцієнта потужності, оскільки всі отримані значення гармонік нижчі допустимих.

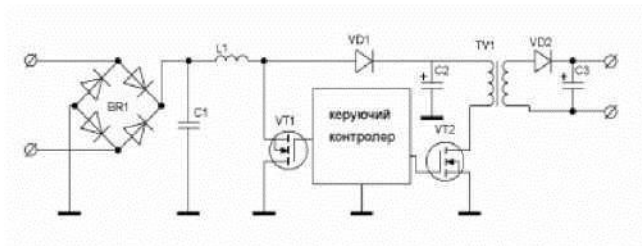
Електронні схеми керування з активним коректором коефіцієнта потужності в свою чергу поділяються на три типи, які приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Типи ЕСК з активними коректорами коефіцієнта потужності

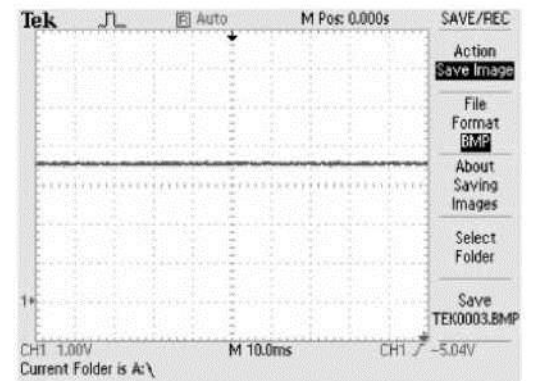
| Тип схеми | Переваги | Недоліки |
|---|--|---|
| Двокаскадні ЕСК (коректор коефіцієнта потужності та | <ul style="list-style-type: none"> ■ Працюють в широкому діапазоні вхідних напруг | <ul style="list-style-type: none"> ■ Висока вартість ■ Великі |

Продовження таблиці 5.1

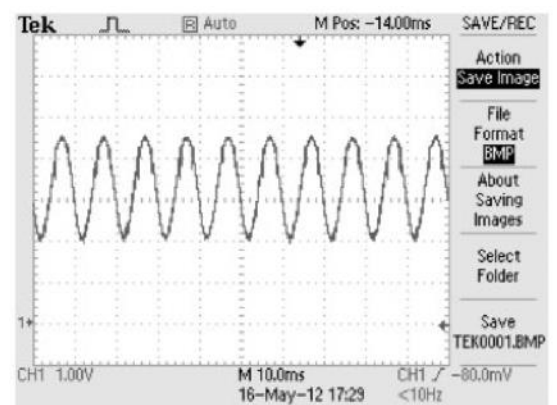
| | | | |
|--|---|--|---|
| | Однокаскадні ЕСК з суміщеним коректором коефіцієнта потужності | <ul style="list-style-type: none"> ■ Невисока вартість ■ Невеликі габарити, що дає можливість використання у | <ul style="list-style-type: none"> ■ Високий рівень НЧ пульсацій, що залежить від вихідного конденсатора ■ Високі |
| | Однокаскадні ЕСК з суміщеним коректором коефіцієнта потужності та додатковим активним | <ul style="list-style-type: none"> ■ Низький рівень НЧ пульсацій ■ Нижча вартість відносно | <ul style="list-style-type: none"> ■ Низький рівень коефіцієнту корисної дії ■ Більші |



а)



б)



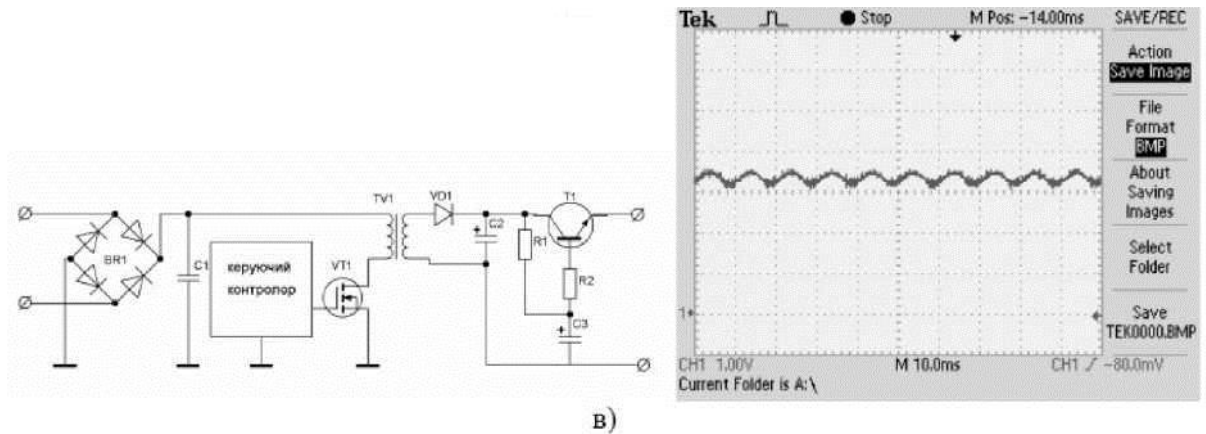


Рисунок 5.7 – Осцилограми струму, що протікає через світлодіоди для двокаскадної (а), однокаскадної (б) та однокаскадної з активним фільтром на виході ЕСК (в) та їх схемні реалізації

З трьох типів ЕСК з активним коректором коефіцієнта потужності тільки однокаскадні ЕСК можуть використовуватися в лампах з цоколем E27. Використання двокаскадних ЕСК недоцільне при потужності ламп менше 30Вт, оскільки це обумовлює високі втрати. Також з осцилограм видно, що недоліком однокаскадних ЕСК є пульсації вихідного струму, які можна зменшувати за рахунок використання вихідного конденсатора з великою ємністю.

5.5 Стабілізатор струму

Яскравість світлодіода сильно залежить від струму, який через нього протікає. Струм же, у свою чергу, визначається багатьма параметрами, найважливішими з яких являються живляча напруга і температура р-п-переходу світлодіода. Тому перша і основна функція блоку живлення світлодіодної лампи - забезпечення стабільного струму, незалежно від зміни зовнішніх параметрів. При створюванні лампи зазвичай вибирають метод імпульсної стабілізації, оскільки він забезпечує достатню точність і високу ефективність(близько 90%). Розглянемо схему стабілізатора струму на прикладі мікросхеми НУ9910(чи НУ9961) зображену на рисунку 5.8. В

принципі, усе нижченаведене відноситься до великої кількості подібних мікросхем. НУ9910 вибрана із-за наочності, граничної простоти і доступності.

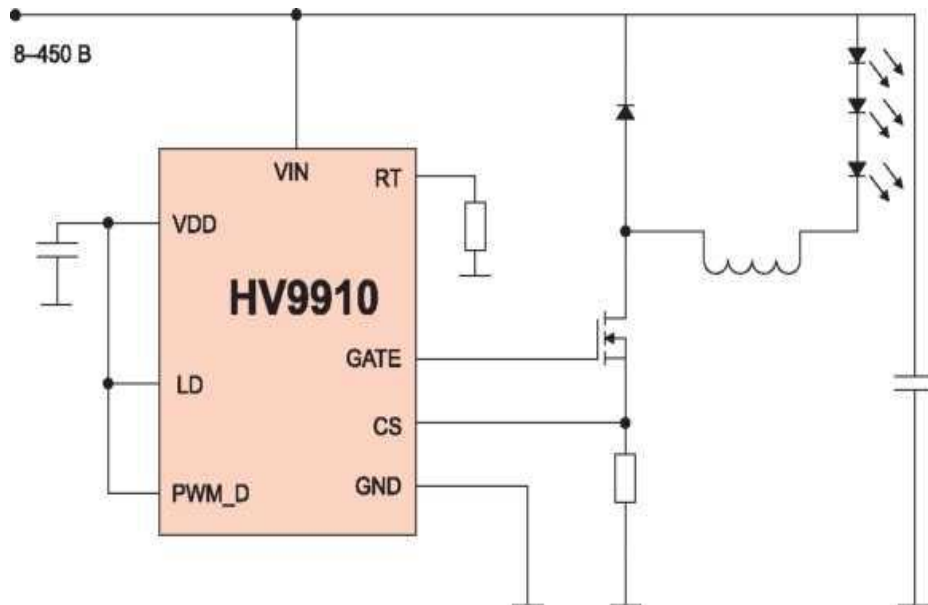


Рисунок 5.8 – Схема стабілізатора струму на прикладі мікросхеми HV991

НУ9910 - це драйвер світлодіодів з широтно-імпульсною модуляцією. У перший момент часу відкривається силовий транзистор, і струм в ланцюзі світлодіодів лінійно наростає. Як тільки напруга, викликана протіканням цього струму через резистор-датчик струму в ланцюзі витoku транзистора, досягне порогового значення, мікросхема закриє транзистор, і струм у світлодіодах почне лінійно зменшуватися. Діаграма роботи драйвера показана на рис. 5.9.

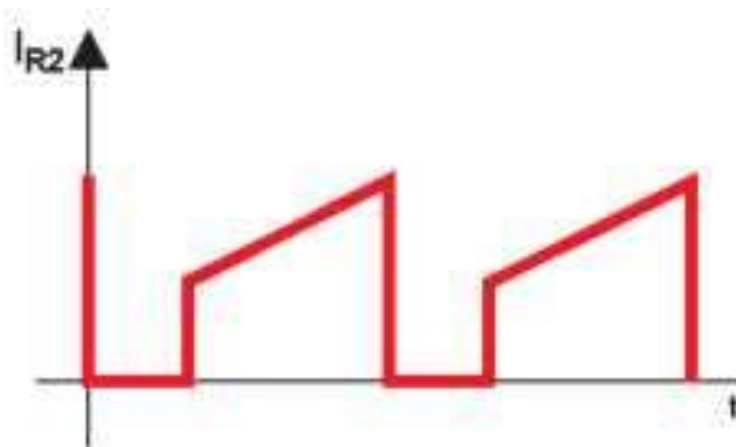


Рисунок 5.9 – Діаграма роботи драйвера

Існує два методи управління : з постійною частотою f , і з постійним T_z , тобто, з постійним часом, впродовж якого транзистор закритий. Розглянемо їх особливості. Режим з постійною частотою обмежує вихідну напругу до величини, складаючи 50% від того, що живить. Режим з постійним T_z , дозволяє отримувати вихідну напругу до 80% від того, що живить, проте в даному випадку пульсації вихідного струму ростуть пропорційно вихідній напрузі. Отже, керованість по струму падає. Таким чином, існують межі максимального струму для обох режимів.

Проте слід мати на увазі, що ефективність драйвера тим більше, чим більше його вихідна потужність. Тому слід знаходити баланс між значеннями вихідного струму і напруги.

Методи розрахунку номіналів основних елементів цієї схеми детально описані в документації на сайті виробника, тому не зупинятимемося на них детально. Попри те, що ця схема має багато переваг, серед яких стабільність, доступність і простота, проте необхідно вказати на деякі нюанси проектування ламп на основі HV9910 або будь-якого іншого подібного драйвера.

По-перше, слід звернути увагу на максимально розсіювану корпусом мікросхеми потужність. Корпус SO8 розсіює 650 мВт, SO16 - 1000 мВт. Практично половина сили витрачається на управління затвором польового транзистора. Причому визначається ця потужність живлячою напругою, частотою комутації і зарядом затвора польового транзистора згідно з формули 5.3 :

$$P=U_{ВХ}(I_{МІК}+Q_3 \cdot F_{КОМ}) \quad (5.3)$$

де $U_{ВХ}$ - вхідна напруга;

Q_3 - заряд затвора;

$F_{КОМ}$ - частота комутації;

$I_{\text{мік}}$ - струм, споживаний логікою мікросхеми.

Таким чином, для частот до 100 кГц верхній границі заряду затвора являється значення 25 нКл, для частот більше 100 кГц - 15 нКл. . У деяких випадках можна понизити споживану мікросхемою потужність, поставивши в ланцюг її живлення стабілітрон з напругою стабілізації 100 В. Потужність стабілітрона розраховується по формулі 5.4 :

$$P=U_{\text{СТ}}(I_{\text{мік}}+Q_3 \cdot F_{\text{КОМ}}), \quad (5.4)$$

де $U_{\text{СТ}}$ - напруга стабілізації.

Цей стабілітрон потрібний у разі, коли мікросхема HV9910 включається після ступеня активної корекції коефіцієнта потужності з вихідною напругою 400-420 В. При цьому слід врахувати, що на конденсаторі в ланцюзі живлення буде залишатися висока напруга, оскільки мікросхема припиняє роботу, коли напруга впаде нижче напруги пробою стабілітрона. Тому необхідно шунтувати конденсатор опором близько 1 МОм.

По-друге, окрім обмежень вхідної напруги, викликаних максимальною можливістю розсіюванню потужністю, існує також мінімальна можлива вихідна напруга, при якій все ще відбувається адекватне регулювання струму. Його залежність від вхідної напруги і вибраного значення T_3 визначається формулою 5.5 :

$$U_{\text{вих}}=U_{\text{вх}} \cdot K_3, \quad (5.5)$$

де $K_3=1, \text{мкс}/(1, \text{мкс} \cdot T_3)$.

Недотримання цієї умови приведе до неконтрольованого підвищення струму через світлодіоди і виходу їх з ладу.

По-третє, показана на рис. 5.8 схема генерує електромагнітні перешкоди в радіомовному і телевізійному діапазонах. Щоб значно понизити рівень ВЧ -

перешкод, потрібно встановити шунтуючі конденсатори невеликої ємкості. Ємкість вибирається в межах 1-10 нФ. Схема включення стабілітрону в ланцюг живлення мікросхеми і розташування блокувальних конденсаторів показана на рис. 5.10.

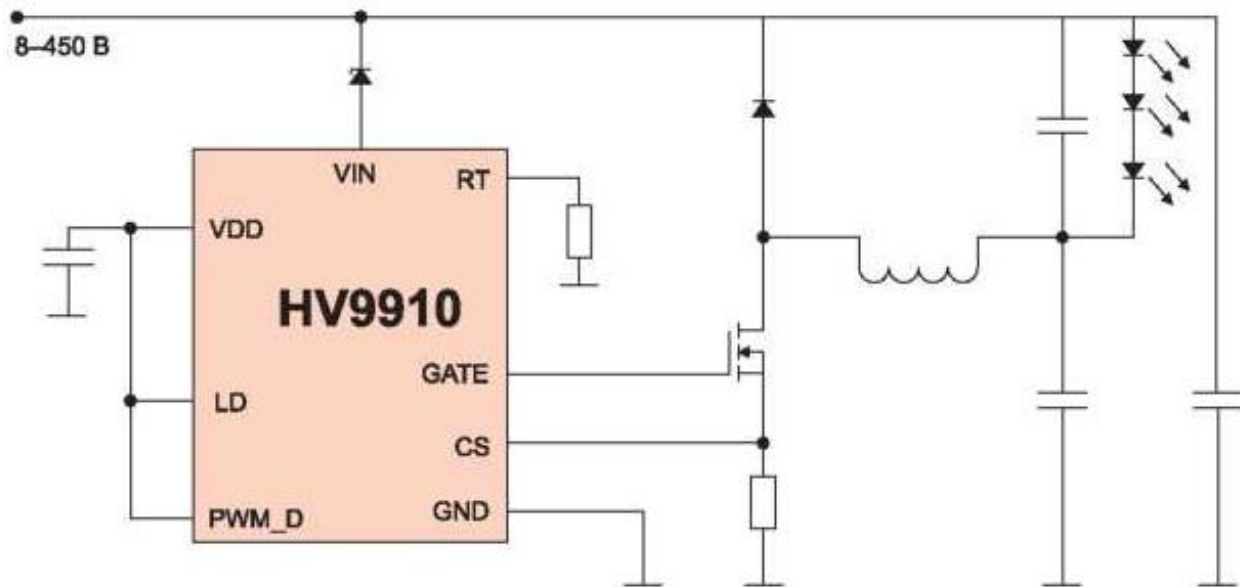


Рисунок 5.10 – Схема включення стабілітрону в ланцюг живлення мікросхеми і конденсаторів

Також, у разі використання ККП, з'являється можливість застосувати модуляцію робочої частоти імпульсного перетворення, використовуючи пульсації того, що живить напруга, згідно з схемою на рис. 5.11. Таким чином можна розподілити потужність перешкод створюваних перетворювачем по усьому спектру радіочастот. Модульована напруга знімається безпосередньо з діодного моста.

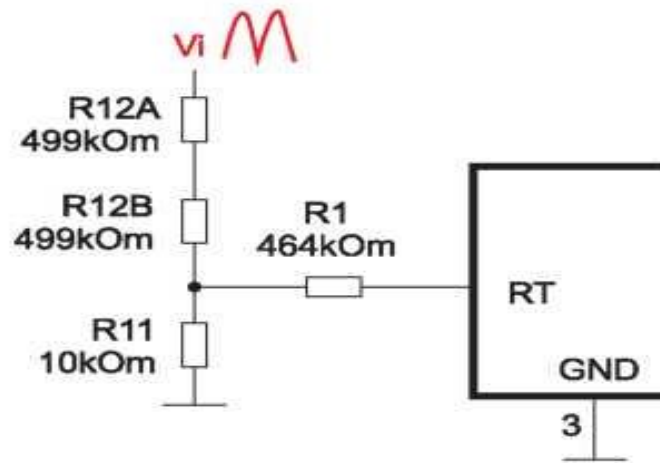


Рисунок 5.11 – Схема з модуляцією для зниження рівня перешкод на телебаченні і в мовних діапазонах

Ефективність даної схеми тим більше, чим менше часу відновлення діода, опору відкритого каналу транзистора, а також опору постійному струму у індуктивності.

6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Загроза зміни клімату і поступове зменшення запасів нафти і газу вимагають термінової зміни відношення до споживання енергії. Насправді є просте рішення — економити ресурси за рахунок ефективнішого використання енергії. Зараз приблизно 20% загального запасу енергії нашої планети витрачається на освітлення, і проблема заощадження електроенергії виявляється однією з основних проблем, що робить вплив як на політику, так і на навколишнє середовище. У зв'язку з постійним зростанням вартості електроенергії і посилюванням вимог екології по викиду в атмосферу шкідливих газів, в світі широкого розгорнена пропаганда енергозбереження

В цьому відношенні необхідно відзначити законодавчі та урядові рішення про заборону виробництва і продажу ламп розжарювання:

- Великобританія - в 2009 році;
- Китай - до 2010 року;
- Євросоюз - до 2009 року;
- Канада - з 2012 року;
- США і Японія - до 2010 року;
- Росія - до 2014 року;
- Австралія - з 2009 року.

Вперше з часів винаходу лампочки, яка була винайдена ще 136 років тому (Лампа Едісона, запатентована ще в 1881 році, – найбільше по своїй простоті і геніальності винахід: спіраль з термостійкого матеріалу, що поміщена у вакуумовану колбу і розігрівається електричним струмом, зіграла величезну роль в історії людства), зараз людство відкрило більш дешевий і ефективніший спосіб освітлення - світлодіодний.

Вже зараз існують масово вироблювані зразки, здатні повністю замінити лампочки розжарювання по яскравості, а ось електроенергії вони при цьому споживають невимірно менше. Витіснення застарілих джерел освітлення - справа часу.

І хоча лампочки Ілліча ще міцно тримаються в своїх патронах, перспективи глобального ринку освітлення на найближчі десятиліття є видимим як цілковита заміна традиційного освітлення на світлодіодне світло (led light) в масштабах всієї планети.

В Україні на освітлення припадає близько 16% всієї вироблюваної електроенергії. Можна виділити 3 основні сектори споживачів електроенергії: промисловий сектор, комерційний (суспільний) сектор і житловий сектор табл. 6.1. Так виглядають потреби кожного з секторів в освітленні:

Таблиця 6.1 – Споживання електроенергії на освітлення

| Сектор | Частка освітлення в споживаній сектором електроенергії % | Щорічне збільшення споживання електроенергії на освітлення, % |
|-------------|--|---|
| Промисловий | 6,3 | 0,9 |
| Комерційний | 28,6 | 0,1 |
| Житловий | 11,4 | 1,5 |

Збільшення світлової ефективності існуючих ресурсів освітлення дозволить проводити необхідну кількість світла, зменшуючи при цьому потребу в електроенергії.

Історія СД сягає середини 50-х років, коли було відкрито інфрачервоне випромінювання напівпровідників. Однак, тоді ще було далеко до їх використання в якості освітлювальних приладів - занадто мала яскравість. В 1993 році професор Накамура (Shuji Nakamura) представив світу перший яскравий світлодіод, базований на нітриді галію. Дуже скоро після цього вченому вдалося створити зелений та білий світло діод рис. 6.1. В 2001 році через суд професор Накамура отримав від компанії, в якій працював, 7 мільйонів доларів, як винагороду за використання свого винаходу. А в 2006 році - “Премію тисячоліття” від Національного технологічного агентства Фінляндії.

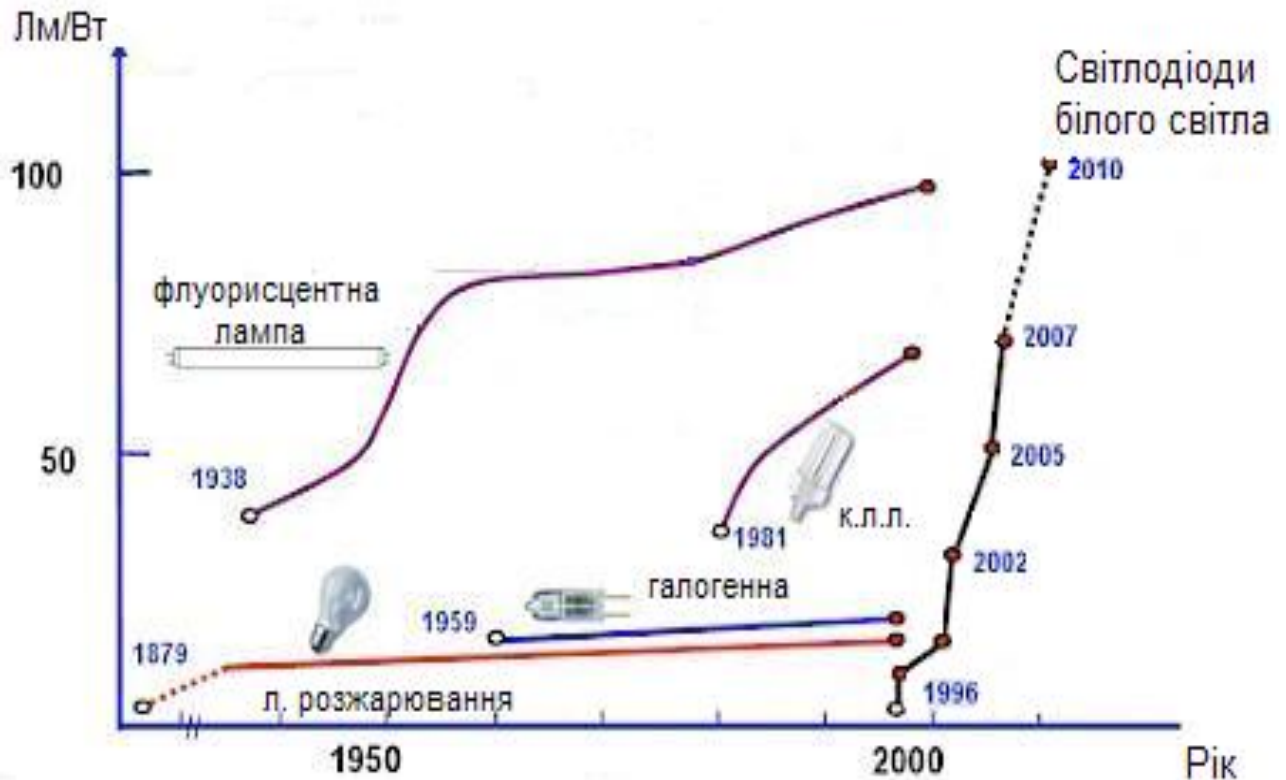


Рисунок 6.1 – Розвиток ефективності різних джерел світла від минулого до сьогодення

Світлодіод (англ. LED - light-emitting diode) — напівпровідниковий пристрій, що випромінює некогерентне світло, при пропусканні через нього електричного струму. Випромінюване світло традиційних світлодіодів лежить у вузькій ділянці спектру, а його колір залежить від хімічного складу використаного у світлодіоді напівпровідника. Сучасні СД можуть випромінювати світло від інфрачервоної ділянки спектру до близької до ультрафіолету. Існують методи розширення смуги випромінювання і створення білих світлодіодів. На відміну від ламп розжарювання, які випромінюють світловий потік широкого спектру, рівномірно у всіх напрямках, звичайні СД випромінюють світло певної довжини хвилі і в певному напрямі. Світлодіоди були удосконалені до лазерних діодів, - які працюють на тому ж принципі, але можуть напрямлено випромінювати когерентне світло.

Принцип дії. Як і в нормальному напівпровідниковому діоді, в світлодіоді є p-n перехід. При пропусканні електричного струму в прямому напрямку, носії заряду — електрони і дірки, рекомбінують, з випромінюванням фотонів.

Не всі напівпровідникові матеріали ефективно випускають світло, при рекомбінації. Гарними випромінювачами є, як правило, прямозонні напівпровідники типу $A^{III}B^V$ (наприклад, GaAs або InP) і $A^{II}B^{VI}$ (наприклад, ZnSe або CdTe). Варіюючи склад напівпровідників, можна створювати світлодіоди різних довжин хвиль, - від ультрафіолету (GaN) до середнього інфрачервоного діапазону (PbS).

Діоди зроблені з непрямозонних напівпровідників (наприклад, кремнієвий Si або германієвий Ge діоди, а також сплави SiGe, SiC), світло практично не випромінюють. Втім, у зв'язку з розвиненістю кремнієвої технології, роботи зі створення світлодіодів на основі кремнію активно ведуться.

Ефективність світлодіодів найбільше проявляється там, де потрібно генерувати потужні кольорові світлові потоки (світлові сигнали). Світло від лампи розжарювання доводиться пропускати через спеціальні оптичні фільтри, що виділяють певну частину спектру (червону, синю, зелену). 90% енергії світлового потоку, від лампи розжарювання, втрачається, при проходженні світла через світлофільтр. Усі ж 100% випромінювання світлодіода є забарвленим світлом і в застосуванні світлофільтра немає потреби. Більше того, близько 80-90% споживаної потужності лампи розжарювання, витрачається на її нагрів, - для досягнення потрібної колірної температури (шкала Кельвіна), на яку вони спроектовані.

СД лампи споживають від 3% до 60% потужності, необхідної для звичайних ламп розжарювання, аналогічної яскравості. Удароміцна конструкція твердотілих випромінювачів (світлодіодів), дозволяє використовувати СД лампи при підвищених вібраціях. СД не бояться частих

вмикань і вимикань. Термін служби СД лампи — більше 100 000 годин (більше 11 років).

Використовуючи СД можна одержати світло з високою насиченістю кольору. СД застосовують у індикаційній техніці, при побудові світлодіодних джерел світла (інформаційні табло, світлофори, ліхтарики, гірлянди тощо).

СД освітлення економне за рахунок звуженого направлення потоку світла (не в 360 град, а лише в 90, 60, 45, 30 і т.д.) та більшого ККД в перетворенні електроенергії в енергію світла (не нагріваються!).

Ще однією перевагою світильників з використанням світлодіодів: вони працюють від низької напруги і, відповідно, споживають порівняно із звичайними джерелами світла, незначну потужність, - вони практично усю енергію перетворюють в світло. СД не перегорають. Діодні лампи розраховані (принаймні так стверджують виробники) на 50-100 тис. годин безперервної роботи! В той час, як для люмінесцентних 10 000 - 13 000, а звичайних ламп розжарювання - 750-1000 годин.

Світлодіодні світильники можуть мати різні режими роботи: постійне освітлення та динамічне або лише постійне. Колір світла діодних ламп залежить від напівпровідника, який використовується та домішок.

Світлодіодні лампи не містять парів ртуті й не піддаються механічними пошкодженням у тій мірі, як звичайні та люмінесцентні лампи. Нагадаю, що не варто лякатися ртуті, яка міститься в люмінесцентних лампах: тих максимум 4 міліграми ледь вистачить, аби покрити кульку звичайної ручки. В звичних для нас термометрах ртуті міститься до 500 міліграм! Та навіть вони є далеко не основним джерелом ртуті в навколишньому природному середовищі. Набагато більший внесок роблять електростанції, які використовують вугілля.

Особливістю й великою перевагою світлодіодів є широта їх застосування: окрім освітлення світлодіоди можуть бути використані для очищення питної води (ультрафіолетові світлодіоди), збереження цифрових

даних, в інформаційних табло та моніторах, світлофорах, гірляндах, ландшафтному дизайні, в принтерах й багато чого іншого.

Найбільш перспективні області застосування світильників на світлодіодах в освітленні, це об'єкти житлово-комунального господарства.

З об'єктів житлово-комунального господарства перспективними з погляду використання світильників з СД в даний час можуть бути ті, в яких нормативними документами, що діють, встановлені порівняно низькі рівні освітленості за відсутності вимог до якості перенесення кольорів або невисокому рівні цих вимог. До таких об'єктів можна віднести:

- 1- сходові клітки (майданчики, прольоти, марші);
- 2- ліфти;
- 3- номерні знаки будинків і покажчики назв вулиць;
- 4- освітлення технічних поверхів, підвалів, горищ, колясок, кубових, комор, машинних приміщень ліфтів, насосних, теплових пунктів, електрощитових, вентиляційних і сміття збірних камер, що рекомендується виконувати лампами розжарювання.

Мале тепловиділення і низька живляча напруга гарантує високий рівень безпеки.

Економічність - світлодіодні світильники споживають в 10 разів менше енергії, ніж світильники на основі ламп розжарювання з аналогічною яскравістю;

Надійність - світлодіоди працюють в будь-яких погодних умовах при температурі від -60°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Володіють високою стійкістю до вібрації і механічних дій;

Компактність - завдяки малим розмірам СД з'явилася можливість створювати самі різні світлові рішення і нестандартні освітлювальні прилади;

Спрямованість випромінювання - використання різних оптичних аксесуарів (лінзи, коліматори, рефлектора) дозволяють регулювати спрямованість свічення.

Додаткові переваги:

- відсутність скляної колби (визначає дуже високу механічну міцність і надійність);
- відсутність розігрівання або високої пускової напруги при включенні;
- мала інерційність включення/виключення (реакція < 100 нс);
- не потрібний перетворювач постійного / змінного струму;
- абсолютний контроль (регулювання яскравості і кольору в повному динамічному діапазоні);
- повний спектр випромінюваного світла (або, якщо потрібний, спеціалізований спектр);
- вбудований світлорозподіл;
- висока механічна міцність і вібростійка;
- менший сліпучий ефект, повна відсутність мерехтіння;
- компактність і зручність в установці;
- простота в монтажі і експлуатації.

Велика економія споживаної електроенергії і високий ККД, звідси швидка окупність, за рахунок економії електроенергії і мінімальних втрат на експлуатацію.

Новий або вдосконалений технологічний процес, що характеризується вищим коефіцієнтом корисного використання ТЕР.

Нові СД підвищеної яскравості відкривають ринок по заміні існуючих ламп розжарювання і люмінесцентного освітлення СД аналогами в найрізноманітніших застосуваннях. Остаточний успіх надяскравих світлодіодів наступить з переходом від технологій, що впливають на ринок, до впливу фактичних застосувань на ринок.

Використання надяскравих світлодіодів як джерел світла знаходить все більше застосування на практиці завдяки ряду незаперечних переваг.

По світловидатності на одиницю споживаної енергії (100 Лм./Вт.) СД давно обігнали лампи розжарювання (10 Лм./Вт.) і стрімко наздоганяють люмінесцентні і газорозрядні лампи ($70-100$ Лм./Вт.) табл. 6.2. Теоретично

СД можуть видати до 200 Лм./Вт. І таким чином стати найекономічнішими джерелами світла.

Таблиця 6.2 – Порівняльна характеристика СД з лампою розжарення

| Порівняльна характеристика | | |
|----------------------------|---|---|
| Фактор |  <p>Світильник з лампою розжарювання</p> |  <p>Світлодіодний світильник</p> |
| Освітлення | 750 Люмен | 750 Люмен |
| Потужність споживання | 75 Вт | 4 Вт |
| Вартість виробу в цілому | Світильник: від 40 до 100грн.; Лампа розжарювання: 3,5 грн. | Світильник : 250 грн. |
| Термін експлуатації | 1 000 год. | 100 000 год. |

Загальна економія при заміні світильників з лампами розжарювання на СД складається з суми двох чинників:

1. економія електроенергії;
2. експлуатаційні витрати.

1- Економія електроенергії дорівнює різниці між споживанням світильника з лампою розжарювання і світлодіодного світильника за одну годину за умови, що світлотехнічні параметри однакові або кращі:

$$E(ел) = W(л) - W(с), \quad (6.1)$$

де $W(л)$ лампи розжарювання встановленої у світильник $75Вт$;
 $W(с)$ світлодіодного світильника $4Вт$.

Вартість заощадженій електроенергії за одну годину

$$0,071кВт/година \cdot 0,28грн. = 0,019888грн. \quad (6.2)$$

2 – Економія експлуатаційних витрат це різниці між витратами на експлуатацію світильника з лампою розжарювання і світлодіодного світильника при максимальному терміні (100тис.год.) служби у розрахунку на годину (Ев).

$$Eв = Eл - E. \quad (6.3)$$

Витрати на експлуатацію світильника з лампою розжарювання (Елр) складає:

$$Eлр = Зл + Вл. \quad (6.4)$$

де $Зл$ - заміна лампи розжарювання (нормо година електрика 3 розряду = $3.9грн.$);

$Вл$ - вартість лампи розжарювання $=1.5гр.$

$$Eл = (1год. \cdot 3,9грн). + 3,5грн. = 7,4грн. \quad (6.5)$$

Тепер розрахуємо експлуатаційні витрати лампи розжарювання переведені до витрат на експлуатацію світлодіодів(Ел).

$$Eл = Tс/Тл \cdot Eлр. \quad (6.6)$$

Термін експлуатації лампи розжарювання (T_l) 1 тис. годин

Термін експлуатації світлодіодів (T_c) 100 тис. годин

Вартість експлуатаційних витрат ламп розжарювання при 100 тис. годин експлуатації:

$$(100\text{тис.}/1\text{тис.}) \cdot 7,4\text{грн} = 740\text{грн.} \quad (6.7)$$

а з урахуванням вартості світильника для ламп розжарювання, складатиме :

$$740\text{ грн.} + (\text{від } 40\text{ грн. до } 100\text{грн.}) = 780\text{ грн.} \quad (6.8)$$

Витрати на експлуатацію світлодіодного світильника (E_c) складається з двох чинників це термін виконання ремонтних робіт та вартість комплектуючих:

$$E_c = P_c + B_k, \quad (6.9)$$

де P_c – ремонт світлодіодного світильника;

B_k – Розрахункова вартість комплектуючих – це 5% від вартості виробу і дорівнює $250\text{ грн.}/100 \cdot 5 = 12,5\text{ грн.}$

Згідно нормативу коефіцієнт ризику замовника 10%. Термін гарантійної наробітки світлодіодів 100 тис. годин, тоді розрахунковий ремонт треба проводити кожних $100000\text{год.}/100 \cdot 10 = 10000\text{ год.}$, при нормо година радіомеханіка 4 розряду = 3.9 грн. і терміну виконання робіт 2 години дорівнює $3.9\text{ грн.} \cdot 2\text{год.} = 7.8\text{ грн.}$

Витрати на один ремонт світлодіодного світильника

$$7,8\text{ грн.}(\text{вартість робіт}) + 12,5\text{ грн.}(\text{ вартість комплектуючих}) = 20,3\text{ грн.}, \quad (6.10)$$

Вартість експлуатаційних витрат світлодіодів при 100тис. годин експлуатації (E_c).

$20,3 \text{ грн.} \cdot 10 = 203 \text{ грн.}$, а з урахуванням вартості світлодіодного світильника, складатиме : $203 \text{ грн.} + 250 \text{ грн.} = 453 \text{ грн.}$

Тепер можна вирахувати економію експлуатаційних витрат при 100 тис.год. роботи світильників:

$$E_v = E_l - E_c = 780 \text{ грн.} - 453 \text{ грн.} = 327 \text{ грн.} \quad (6.11)$$

А економія експлуатаційних витрат за одну годину експлуатації становитиме:

$$327 \text{ грн.} / 100000 \text{ год.} = 0,00327 \text{ грн.} \text{ (Кев)}. \quad (6.12)$$

Загальна економія при заміні світильників з лампами розжарювання на світлодіодні за годину, назвемо його коефіцієнт економії (Ke) за допомоги якого можна розрахувати економію для любого терміну часу.

$$0,01988 \text{ грн.} \text{ (Кее)} + 0,00327 \text{ грн.} \text{ (Кев)} = 0,02315 \text{ грн.} \quad (6.13)$$

СД світильник розроблений для під'їзного освітлення має інтегрований фотоавтомат, що згідно «Методики розрахунку економії електроенергії в освітлювальних установках приміщень, що діють, при проведенні енергетичного аудиту», де K - коефіцієнт ефективності автоматизації управління освітленням і якщо застосовано «Зонне управління освітленням (включення і відключення освітлення дискретне, залежно від зонного розподілу природної освітленості)» - значення $K = 1,25$.

Можемо розрахувати загальну економію при заміні світильників з лампами розжарювання на світлодіодні за рік:

$$E_p = Чд \cdot C \cdot Ke \cdot K, \quad (6.14)$$

де E_p - загальну економію за рік;
 $Чд$ - кількість годин роботи за добу (середній світовий день 12 годин);
 C - кількість днів роботи за рік (365днів).

$$12год. \cdot 365днів \cdot 0,02315грн. \cdot 1,25 = 126,75грн. \quad (6.15)$$

Економія електроенергії за рік буде складати: $E_e/рік$

$$12год. \cdot 365днів \cdot 0,071кВт/година \cdot 1,25 = 338,7кВт. \quad (6.16)$$

Останніми роками ми стаємо свідками стрімкого розвитку оптоелектроніки. Судячи з усього, вже найближчим часом світлодіоди в освітленні здатні зробити решту всіх джерел світла лише надбанням історії, оскільки по-перше світлодіоди споживають на багато менше електричної енергії, по-друге - практично не нагріваються, що робить їх абсолютно безпечними у використанні. Окрім цього вони дуже мініатюрні (збувається мрія всіх світло дизайнерів). Такий недолік, як невеликий світловий потік, судячи по вищевикладеній інформації йде в минуле. Якщо ж виробникам світлодіодів вдасться з часом зменшити їх вартість, то за прогнозами вже в самий найближчий час все освітлення навколо буде світлодіодним.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1. Охорона праці

7.1.1 Заходи безпеки при обслуговуванні електроустановок

При дослідженні систем живлення електроустановки трансформаторних підстанцій оглядаються без зняття з них напруги, на віддалі від струмоведучих частин. Дефекти виявляються візуально – оглядом і на слух. Право одноособового огляду електроустановки має черговий із кваліфікаційною групою не нижче III або адміністративно-технічний працівник, що має V групу в установках напругою вище 1000 В і IV групу в електроустановках напругою нижче 1000 В.

При оглядах діючих електроустановок не можна проходити за огороження, знімати їх і входити в камери розподільних пристроїв, що не мають бар'єрів. При необхідності дозволяється працівникові з кваліфікаційною групою не нижче IV увійти за огороження, але за умови, що струмоведучі частини недоступні, тобто нижні фланці ізоляторів знаходяться від сталі на відстані більше 2 м, а необгороджені струмоведучі частини - на відстані більше 2,75 м при напрузі 35 кВ і 3,5 м при напрузі 110 кВ.

При менших відстанях входити за огороження можна тільки в присутності другої особи, що має кваліфікаційну групу не нижче III, і за умови, що струмоведучі частини знаходяться на відстані зазначеному в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Допустимі відстані від місця проведення робіт до струмоведучих частин у залежності від їх напруги

| Номінальна напруга електроустановки, кВ | Допустима відстань, м |
|---|-----------------------|
| до 15 | 0,7 |
| від 15 до 35 | 1,0 |
| від 35 до 110 | 1,5 |
| 154 | 2 |

| | |
|-----------|-----|
| 220 | 2,5 |
| 330 | 3,5 |
| 400 і 500 | 4,5 |

Вимкнення і зміни в електричних схемах РЕМ здійснюються тільки за розпорядженням або з відома чергового персоналу, у керуванні або підпорядкуванні якого знаходиться устаткування. При пожежах, нещасних випадках або при стихійних лихах негайно потрібно вимикати електроустаткування без узгодження, з послідуочим записом у оперативному журналі.

Розпорядження вважається виконаним після того, як черговий повідомить особисто або телефоном черговому диспетчерові енергосистеми мереженого району, черговому інженерові, тобто особі, що дала розпорядження. Керуватися показами приладів та повідомленнями осіб не оперативного персоналу про виконання розпорядження не можна.

Особа, що віддає розпорядження про переключення, обов'язково перевіряє послідовність операцій за оперативною схемою. Черговий, який отримав розпорядження, зобов'язаний повторити його і записати в оперативний журнал.

За оперативною схемою або макетові цей черговий намічає порядок операції. Якщо переключення виконують дві особи, то перша особа є старшою, роз'ясняє другій (виконавцю) завдання і послідовність його виконання.

В електроустановках напругою вище 1000 В, не обладнаних повністю блокованими від неправильних операцій роз'єднувачів, складні переключення проводяться за бланками. В бланку переключень виконується запис усіх операцій про увімкнення і вимкнення електрообладнання точно у тій послідовності, у якій ці операції повинні виконуватись.

Прості переключення на одному електричному приєднанні і переключення в електроустановках повністю обладнаних блокуванням роз'єднувачів від неправильної операції, можуть виконуватись без бланків.

Бланки переключень заповнює і підписує черговий який є безпосереднім виконавцем. Старший черговий контролюючий виконання операцій, перевіряє бланк і також його підписує. Старший черговий зачитує зміст операції виконавець повторює прочитане і приступає до виконання. Старший контролює дії виконавця і відразу відзначає в бланку виконання операції. При сумніві в правильності операцій робота припиняється до в'яснення правильного порядку переключень. Якщо черговий робить переключення одноосібно, то він зачитує послідовність операцій вказаних у бланку телефоном старшому черговому який віддав розпорядження. Цей черговий є контролюючою особою.

Дозвіл на переключення виконавець зобов'язаний одержати телефоном безпосередньо перед їх виконанням. Приєднання вмикають або вимикають з допомогою вимикачів.

Якщо роз'єднувач має ручний привід, то операції з ним виконують в діелектричних рукавицях з ізолюваною основою. Вимикати і вмикати потрібно швидко, рішуче і до упора. Увімкнення і вимкнення роз'єднувачів виконується, як правило без навантаження. Роз'єднувачами допускається розмикати струми замикання на землю і зарядні струми повітряних і кабельних ліній не вище наведених в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Залежність струму замикання на землю і зарядного струму від напруги

| Напруга, kV | Струм замикання на землю, A | Зарядний струм на фазу, A |
|---------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 3 – 6 | 7,5 | 2,5 |
| 10 – 20 | 3,0 | 1,0 |
| 35 | 1,5 | 0,5 |

Дозволяється вимикати навантажувальний струм лінії до $I \leq 15 A$ при напрузі $U \leq 10 kV$.

Роз'єднувачі необхідно вмикати ривком. Якщо при цьому виникає дуга, то ножі необхідно довести до кінця. У протилежному випадку зворотний хід ножа викличе виникнення дуги й нещасний випадок. Вимикати роз'єднувачі треба, навпаки, повільно, особливо в початковий момент. Якщо з'явиться дуга при відході ножів від губок, то роз'єднувач необхідно увімкнути назад.

Роз'єднувачі відключають (включають) у діелектричних рукавицях. Роз'єднувачі з пофазним керуванням і з вертикальним розташуванням – у діелектричних рукавицях, з використанням ізолюючих штанг і стоячи на ізолюючій підставці. Старшим може бути черговий, що має не меншу ніж IV кваліфікаційну групу. Прості перемикання на одному електричному приєднанні дозволяється виконувати оперативному персоналу, що має не нижче ніж IV кваліфікаційну групу, одноосібно.

Перевіряти відсутність напруги, накладати й знімати переносні заземлення дозволяється не менш ніж двом виконавцям.

В установках напругою до 1000 В апаратуру перемикає один працівник, що має III кваліфікаційну групу, якщо він черговий, IV кваліфікаційну групу, якщо він не є черговим.

Персонал, що виконує перемикання, повинен твердо знати, що у випадку зникнення напруги воно може бути подане знову без попередження як в умовах нормальної експлуатації, так і при аваріях.

7.1.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

При дослідженні систем живлення було виявлено що кабель, прокладений в землі чи в трубах відкрито, може при пошкодженні стати причиною пожежі.

Пожежа може виникнути внаслідок загоряння гарячих матеріалів, що знаходяться в кабельній споруді, при електричному розряді кабелю чи в момент випробувань, чи при ремонтних роботах із – за недотримання заходів пожежної безпеки.

В електричних мережах необхідно виконувати наступні вимоги

пожежної безпеки при гасінні електроустановок:

1) допускається гасіння пожежі водяними потоками на невимкнених електроустановках напругою до 10 кВ, відкритих тільки для огляду електрика. При цьому опору заземляють, а електрик – працює в діелектричних ботах та рукавицях. Не допускається гасіння пожеж ручними засобами ;

2) забороняється гасіння пожежі усіма видами пін з допомогою ручних засобів в електроустановках під напругою, так як піна і розчини піноутворювачів мають велику електропровідність. Тільки в окремих випадках при спеціальному закріпленні піногенераторів і надійному їх заземленні, а також заземленні насосів пожежних машин, дозволяється гасити пожежу повітряно – механічною піною в електроустановках напругою до 10 кВ, які знаходяться під напругою;

3) при пожежі трансформатор вимикається з обох сторін, після чого одразу ж приступають до його гасіння будь – якими засобами (повітряно – механічною піною, розпиленою водою, вогнегасниками). При гасінні пожежі в трансформаторах, які встановлені в приміщеннях , необхідно прийняти заходи щодо попередження розповсюдження пожежі через вентиляційні та інші канали. Вентиляція в приміщенні в цей період може умикатись тільки з вказівки пожежного підрозділу;

4) при загорянні кабелів необхідно при наявності стаціонарної системи пожежегасіння (повітряно – механічною піною, розпиленою водою) включити її в роботу. При гасінні горючих кабелів напругою вище 1000 В у кабельному тунелі, пожежник який працює з пожежним стволом, повинен направляти потоки води через дверний люк, не заходячи при цьому в відсік з горючими кабелями. Одночасно з гасінням пожежі кабелів потрібно прийняти заходи з швидкого зняття з них напруги;

5) щити управління станцій чи підстанцій напругою до 0,4 кВ являються найбільш важливою частиною електроустановок, тому найбільшу увагу при гасінні пожежі приділяється збереженню на них встановленої апаратури;

б) при загорянні кабелів, проводів і апаратів на панелях щитів управління оперативний персонал повинен зняти напругу з панелей, не допускаючи переходу вогню на сусідні панелі. В цьому випадку застосовують вуглекислотні вогнегасники чи брометиллові, а також порошкові вогнегасники.

В розподільчих пунктах (РП) пожежі вкрай рідкісні із – за відсутності горючих матеріалів. Вибух та загоряння масла в бакових масляних вимикачах, встановлених в окремих камерах, не спричинять пошкоджень обладнання всього РП.

В трансформаторних підстанціях (ТП), де встановлені маслонаповнені трансформатори, при витіканні масла і виникненні внаслідок цього короткого замикання всередині трансформатора може виникнути пожежа.

При виявленні пожежі в РП чи ТП чергова бригада в першу чергу проводить всебічне вимкнення горючого обладнання від мережі та приступає до гасіння пожежі, застосовуючи порошковий вогнегасник чи пісок. В випадку необхідності чергова бригада викликає місцеву пожежну команду.

7.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

7.2.1 Захист електротехнічних систем та електронної апаратури від пошкоджень, які викликані електромагнітним імпульсом ядерного вибуху

Для того, щоб зрозуміти всю складність проблем загрози ЕМІ і заходів щодо захисту від неї, необхідно коротко розглянути історію вивчення цього фізичного явища і сучасний стан знань у цій області.

Те, що ядерний вибух буде обов'язково супроводжуватися електромагнітним випромінюванням, був ясно фізикам-теоретикам ще до першого випробування ядерного пристрою в 1945 році. Під час проводилися в кінці 50-х - початку 60-х років ядерних вибухів в атмосфері і космічному просторі наявність ЕМІ було зафіксовано експериментально. Однак кількісні характеристики імпульсу вимірювалися в недостатній мірі, по-перше, тому що була відсутня контрольна-вимірювальна апаратура, здатна реєструвати надзвичайно потужне електромагнітне випромінювання, що існує надзвичайно

короткий час (мільйонні частки секунду), по-друге, тому що в ті роки в радіоелектронної апаратури використовувалися виключно електровакуумні прилади, які мало схильні до впливу ЕМІ, що знижувало інтерес до його вивчення.

Створення напівпровідникових приладів, а потім і інтегральних схем, особливо пристроїв цифрової техніки на їх основі, і широке впровадження засобів в радіоелектронну військову апаратуру примусили військових фахівців з іншого оцінити загрозу ЕМІ. З 1970 року питання захисту зброї і військової техніки від ЕМІ стали розглядатися міністерством оборони США як що мають вищу пріоритетність.

Механізм генерації ЕМІ полягає в наступному. При ядерному вибуху виникають гамма і рентгенівське випромінювання і утвориться потік нейтронів. Гамма-випромінювання, взаємодіючи з молекулами атмосферних газів, вибиває з них так звані комптонівські електрони. Якщо вибух здійснюється на висоті 20-40 км., То ці електрони захоплюються магнітним полем Землі і, обертаючись відносно силових ліній цього поля створюють струми, що генерують ЕМІ. При цьому поля ЕМІ когерентно підсумовуються у напрямі до земної поверхні, тобто магнітне поле Землі виконує роль, подібну фазованою антеною ґрат. В результаті цього різко збільшується напруженість поля, а отже, і амплітуда ЕМІ в районах південніше і на північ від епіцентру вибуху. Тривалість даного процесу з моменту вибуху від 1 - 3 до 100 *нс*.

На наступній стадії, що триває приблизно від 1 *мкс* до 1 *з*, ЕМІ створюється комптонівськими електронами, вибитими з молекул багато разів відображеним гамма-випромінюванням і за рахунок непружного зіткнення цих електронів з потоком що випускаються при вибуху нейтронів. Інтенсивність ЕМІ при цьому виявляється приблизно на три порядки нижче, ніж на першій стадії.

На кінцевій стадії, що займає період часу після вибуху від 1 *з* до декількох хвилин, ЕМІ генерується магнітогідродинамічним ефектом, породжуваним збуреннями магнітного поля Землі струмопровідних вогняною

кулею вибуху. Інтенсивність ЕМІ на цій стадії вельми мала і становить декілька десятків вольт на кілометр.

Найбільшу небезпеку для радіоелектронних засобів представляє перша стадія генерування ЕМІ, на якій відповідно до закону електромагнітної індукції через надзвичайно швидкого наростання амплітуди імпульсу (максимум досягається на 3 - 5 *нс* після вибуху) наведеної напруга може досягати десятків кіловольт на метр на рівні земної поверхні, плавно знижуючись в міру віддалення від епіцентру вибуху.

Амплітуда напруги, що наводяться ЕМІ в провідниках, пропорційна довжині провідника, що перебуває в його полі, і залежить від його орієнтації щодо вектора напруженості електричного поля.

Так, напруженість поля ЕМІ в високовольтних лініях електропередачі може досягати 50 *кВ/м*, що призведе до появи в них струмів силою до 12 *тис.А*. ЕМІ генеруються і при інших видах ядерних вибухів - повітряному і наземному. Теоретично встановлено, що в цих випадках його інтенсивність залежить від ступеня асиметричності просторових параметрів вибуху. Тому повітряний вибух з точки зору генерації ЕМІ найменш ефективний. ЕМІ наземного вибуху буде мати високу інтенсивність, проте вона швидко зменшується в міру віддалення від епіцентру.

Ідеальною захистом від ЕМВ стало б повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевий екран.

Разом з тим ясно, що практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричну зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітрязабірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, які розміщуються по периметру дверей і люків.

Більш складною технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням цієї проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку

до практично не схильним до дії ЕМІ волоконно-оптичних. Однак заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можливо тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час засобів захисту кабельних вводів найбільш широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металлоокисні варистори і високошвидкісні зенеревські діоди.

Все це має як переваги, так і недоліки. Так, ємнісних-індуктивні фільтри досить ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, а волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники мають значну інерційністю і в основному придатні для захисту від перевантажень, що виникають під впливом напруг і струмів, що наводяться в обшивці літака, кожусі апаратури .

Металлоокисні варистори, являють собою напівпровідникові прилади, різко підвищують свою провідність при високій напрузі.

Однак, при застосуванні цих приладів як засоби захисту від ЕМІ слід враховувати їх недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при неодноразовому дії навантажень. Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеревських діодів, дія яких заснована на різкому лавиноподібною зміні опору від відносно високого значення практично до нуля при перевищенні прикладеної до них напруги певної порогової величини. Крім того на відміну від варисторів характеристики зенеревських діодів після багаторазових впливів високих напруг і перемикаць режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних вводів є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і встановлення вбудованих зенеревських діодів. Подібне рішення сприяє отриманню дуже малих значень ємності та індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, які мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеженою масо-габаритних характеристик пристрою захисту. Складність вирішення завдання захисту від

ЕМІ і висока вартість розроблених для цих цілей коштів і методів змушують піти на перших парах по шляху їх вибіркового застосування в особливо важливих системах зброї і військової техніки. Першими цілеспрямованими роботами в цьому напрямку були програми захисту від ЕМІ стратегічної зброї. Такий самий шлях обраний і для захисту мають велику протяжність систем управління та зв'язку. Проте основним методом вирішення даної проблеми зарубіжні фахівці вважають створений так званих розподілених мереж зв'язку (типу "Гвен"), перші елементи яких вже розгорнуто на континентальній частині США.

Сучасний стан проблеми ЕМІ можна оцінити таким чином. Досить добре досліджені теоретично і підтверджено експериментально механізми генерації ЕМІ і параметри його вражаючої дії. Розроблено стандарти захищеності апаратури і відомі ефективні засоби захисту. Однак для досягнення достатньої впевненості в надійності захисту систем і засобів від ЕМІ необхідно провести випробування за допомогою імітатора. Що стосується повномасштабних випробувань систем зв'язку та управління, то це завдання навряд чи буде вирішена в доступному для огляду майбутньому.

Потужний ЕМІ можна створити не тільки в результаті ядерного вибуху.

Сучасні досягнення в області неядерних генераторів ЕМІ дозволяють зробити їх достатньо компактними для використання з звичайними і високоточними засобами доставки.

В даний час у деяких західних країнах ведуться роботи по генерації імпульсів електромагнітного випромінювання магнітодинамічними пристроями, а також високовольтними розрядами. Тому питання захищеності від впливу ЕМІ будуть залишатися в центрі уваги фахівців при будь-якому результаті переговорів про ядерне роззброєння.

7.2.2 Дія електричного струму на людину. Перша допомога при електротравмах

Електричні прилади, установки, обладнання, з якими людина має справу, становлять для неї велику небезпеку, яка посилюється тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити наявність електричної напруги, як,

наприклад, теплову, світлову чи механічну енергію. Тому захисна реакція організму виявляється тільки після безпосереднього потрапляння під дію електричного струму. Другою особливістю дії електричного на організм людини є те, що струм, проходячи через людину, діє не тільки в місцях контактів і на шляху протікання через організм, а й викликає рефлекторні порушення нормальної діяльності окремих органів (серцево-судинної системи, системи дихання). Третя особливість – це можливість одержання електротравм без безпосереднього контакту із струмопровідними частинами – при переміщенні по землі поблизу ушкодженої електроустановки (у випадку замикання на землю), ураження через електричну дугу.

Особливості впливу електричного струму на організм людини.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, зумовлює перетворення поглинутої організмом електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну, механічну і біологічну дію.

Найбільш складною є біологічна дія, яка притаманна тільки живим організмам. Термічний і електролітичний вплив властиві будь-яким провідникам.

Термічний вплив електричного струму характеризується нагріванням тканин аж до опіків.

Статистика свідчить, що більше половини всіх електротравм становлять опіки. Вони важко піддаються лікуванню, тому що глибоко проникають у тканини організму. В електроустановках напругою до 1 кВ найчастіше спостерігаються опіки контактного виду при дотиканні тіла до струмопровідних частин.

Опіки можливі при проходженні через тіло людини струму більше 1А. Тільки при великому струмі тканини, які уражаються, нагріваються до температури 60-700С і вище, при якій згортається білок і з'являються опіки.

Майже у всіх випадках включення людини в електричний ланцюг на її тілі і в місцях дотикання спостерігаються “електричні знаки” сіро-жовтого кольору круглої або овальної форми.

При опіках від впливу електричної дуги можлива металізація шкіри частками металу дугової плазми. Уражена ділянка шкіри стає твердою, набуває кольору солей металу, які потрапили в шкіру.

Електролітична дія струму виявляється у розкладанні органічної рідини, в тому числі крові, яка є електролітом, та в порушенні її фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється через подразнення і збудження живих тканин організму, а також порушення внутрішніх біологічних процесів. Механічна дія струму призводить до розриву тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з тканинної рідини і крові.

Внаслідок дії електричного струму або електричної дуги виникає електротравма. Електротравми умовно поділяють на загальні і місцеві. До місцевих травм належать опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, механічні пошкодження, а також електрофтальмія (запалення очей внаслідок впливу ультрафіолетових променів електричної дуги).

Загальні електротравми називають також електричними ударами. Вони є найбільш небезпечним видом електротравм. При електричних ударах виникає збудження живих тканин, судомне скорочення м'язів, параліч м'язів опорно-рухового апарату, м'язів грудної клітки (дихальних), м'язів шлуночків серця.

Розрізняють три ступені впливу струму при проходженні через організм людини (змінний струм):

відчутний струм – початок болісних відчуттів (до 0-1,5 мА);

невідпускний струм – судоми і біль, важке дихання (10-15 мА);

фібриляційний струм – фібриляція серця при тривалості діє струму 2-3с, параліч дихання (90-100 мА).

Змінний струм небезпечніший за постійний. При струмі 20-25 мА пальці судомно стискають узятий в руку предмет, який опинився під напругою, в м'язи передпліччя паралізуються і людина не може звільнитися від дії струму. У багатьох паралізуються голосові зв'язки: вони не можуть покликати на допомогу.

Має значення струму через тіло і особливо місця входу і виходу струму. Із можливих шляхів проходження струму через тіло людини найбільш небезпечним є той, при якому вражається головний мозок (голова-руки, голова-ноги), серце і легені (руки-ноги). Але відомі випадки смертельних уражень електричним струмом, коли струм зовсім не проходив через серце, легені, а йшов, наприклад, через палець або через дві точки на гомілці. Це пояснюється існуванням на тілі людини особливо уразливих точок, які використовують при лікуванні голкотерапією.

Перед включенням електроприладу необхідно візуально перевірити електрошнур на наявність механічних порушень. Електроприлади повинні бути надійно заземлені згідно з правилами улаштування приладу. Забороняється працювати з електроприладами вологими руками. Не залишати електроприлад без нагляду на довгий час, після закінчення роботи перевірити, чи всі прилади вимкнені. При виявленні або виникненні несправності в електроприладі негайно викликати електрика, що обслуговує прилад. Категорично заборонено виконувати будь-які ремонтні роботи самостійно.

Рятування життя людини, ураженої струмом, у багатьох випадках залежить від швидкості і правильності дій осіб, що здійснюють допомогу. Передусім потрібно якнайшвидше звільнити потерпілого від дії електричного струму. Якщо неможливо відключити електричне обладнання від мережі, потрібно відразу приступити до звільнення потерпілого від струмопровідних частин, не доторкаючись при цьому до потерпілого.

Заходи долікарської допомоги після звільнення потерпілого залежать від його стану, її потрібно надавати негайно, по можливості на місці події, одночасно викликавши медичну допомогу. Якщо потерпілий не знепритомнів, потрібно забезпечити йому на деякий час спокій, не дозволяючи рухатись до прибуття лікаря. Якщо потерпілий дихає рідко і судорожно, але прослуховується пульс, потрібно негайно зробити йому штучне дихання. При відсутності дихання, розширення зіниць і посиніння шкіри потрібно робити штучне дихання і непрямий масаж серця.

Надавати допомогу необхідно до прибуття лікаря, оскільки є багато випадків, коли штучне дихання і масаж серця повертали потерпілих до життя.

Для профілактики електротравми на виробництві велике значення мають заходи з техніки безпеки. Вони діляться на технічні й медичні. Першими передбачено усунення умов, які сприяють ураженню електричним струмом (дотримання правил техніки безпеки, належний догляд за електрообладнанням, інструментами, спецодягом, інструктаж); другі — полягають у виявленні сприятливих для виникнення електротравм моментів. Зниження швидкості психічних реакцій, уваги, повторні електротравми у одного й того самого робітника змушують думати про його непридатність до роботи з електроприладами. Тимчасово непрацездатними треба вважати людей з опіками, саднами на руках. Категорично заборонено працювати з електроприладами людям у нетверезому стані.

Електрообладнання, являє собою потенційну небезпеку. Багато нещасних випадків відбувається при обслуговуванні найбільш поширеного електрообладнання, розрахованого на напругу 127—380 В.

Розглянемо вплив електричного струму на організм людини.

Проходячи крізь тіло людини, електричний струм чинить на нього складний вплив:

- термічний — нагрівання тканини живого організму;
- біологічний— подразнення і збудження нервових волокон та інших тканин організму;
- електролітичний — розпад крові і плазми.

Будь-яка з цих дій може призвести до електричної травми, тобто до пошкодження організму дією електричного струму. Розрізняють місцеві електротравми та електричні удари. До місцевих електротравм відносять електроопіки — результат теплової дії електричного струму в місці контакту; механічні пошкодження — розриви шкіри, вивихи, переломи кісток. Електричний удар є дуже серйозним ураженням організму людини, що викликає збудження живих тканин тіла електричним струмом і

супроводжується судорожним скороченням м'язів. Залежно від наслідків електричні удари розподіляють на чотири ступені:

- 1 — судорожне скорочення м'язів без непритомності;
- 2 — судорожне скорочення м'язів з непритомністю, але із збереженим диханням і роботою серця;
- 3 — непритомність та порушення серцевої діяльності або дихання;
- 4 — стан клінічної смерті.

Тяжкість ураження електричним струмом залежить від цілого ряду чинників: значення сили струму; електричного опору тіла людини і тривалості протікання через нього струму; роду і частоти струму (змінний, постійний); індивідуальних особливостей людини та умов оточуючого середовища. Основним фактором, що зумовлює ступінь ураження людини, є сила струму. Поріг відчуття струму залежить від стану нервової системи та фізичного розвитку людини. Для жінок порогове значення струму в 0,5 раза нижче, ніж для чоловіків.

Людина починає відчувати змінний струм промислової частоти (50 Гц) приблизно з 1 мА (пороговий відчутний струм). При струмі 10... 15 мА виникає судорожне скорочення м'язів, яке весь час підсилюється, і людина не може звільнитися від контакту зі струмопровідною частиною (пороговий невідпускаючий струм). При 50 мА порушується дихання, а струм 100 мА призводить до фібриляції серцевих м'язів (табл. 14). Найнебезпечнішою є частота струму для людини — 50 Гц. Найнебезпечнішим є шлях струму: рука — ноги, рука — рука, особливо при проходженні струму через мозок, серце, легені.

Опір тіла людини залежить від стану нервової системи людини, її фізичного розвитку. З віком різко знижується опір організму людини та ймовірнішим стає ураження найважливіших органів: легенів, серця, головного мозку. Найбільш небезпечним є змінний струм частотою 20 — 1000 Гц. Змінний струм небезпечніший постійного, але це характерно для напруги до 250 — 300 В. При більших напругах небезпечним стає постійний струм. Деякі захворювання людини (хвороби шкіри, серцево-судинної системи, нервові

хвороби) роблять її сприятливішою до електричного струму. Тому до обслуговування електричного обладнання допускаються особи, що пройшли спеціальний медичний огляд. На важкість ураження електрострумом впливає стан виробничого середовища. Наприклад, підвищена вологість приміщення збільшує небезпеку ураження.

Аналіз нещасних випадків, пов'язаних з дією електричного струму, дозволяє виявити їх основні причини, які можна об'єднати у такі групи:

— випадкове доторкання до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;

— несправність захисних засобів, якими потерпілий доторкається до струмопровідних частин;

— поява напруги на металевих частинах електрообладнання (огорожах, карнизах, кожухах) у результаті пошкодження ізоляції струмопровідних частин електрообладнання, замикання фази на землю і т. ін.;

— поява напруги на відключених частинах електрообладнання в результаті помилкового включення обладнання, замикання струмопровідних частин, розряд блискавки та ін.;

— виникнення крокової напруги на поверхні землі або підлоги, на якій стоїть людина, в результаті замикання проводу на землю, несправності заземлення.

Надання першої медичної допомоги при ураженні електричним струмом

Лікування пошкоджень при електротравмі передбачає: надання потерпілому першої допомоги і місцеву та загальну терапію.

Головним у поданні першої допомоги є відключення потерпілого від джерела струму. Іноді це становить значні труднощі через судомне скорочення м'язів потерпілого. З цією метою треба вимкнути рубильник, викрутити запобіжник, сокирою або лопатою з дерев'яною ручкою перерубати дрот тощо. Якщо це зробити неможливо, треба відтягнути дрот від потерпілого або потерпілого від дроту палицею, шнуром. При цьому треба поводитися дуже обережно: відтягувати дрот від потерпілого сухою гілкою або шнуром; не можна перерізувати два дроти разом, аби не було короткого замикання. До

речі, не можна перерізувати дроти в приміщенні, де є легкозаймисті речовини, бо може бути вибух. Звільнити потерпілого від джерела струму не можна голими руками, треба користуватися гумовими рукавичками. Потрібна ізоляція не лише від джерела струму, але й від землі. З цією метою взувають гумові галоші або стають на ізолюючий матеріал (гумовий килимок, скло, суха дошка, товстий шар тканини, паперу, картону). Треба пам'ятати, що тіло потерпілого теж проводить електричний струм, а тому брати його треба за одяг, який відстає від тіла і є сухим.

Якщо сталося ураження струмом високої напруги (дріт від високовольтної лінії), можна використати спосіб аземлення (з'єднати дротом струмопровідні частини із землею). Це дає можливість ліквідувати або значно зменшити силу струму в ланцюгу. Коли хворий не знепритомнів, проводять лікування з приводу запаморочення, колапсу чи шоку за загальноприйнятими правилами. Якщо ж він непритомний, потрібні термінові реанімаційні заходи: у разі зупинки серця — непрямий масаж серця, дихання — штучну вентиляцію легень за методом рот до рота або рот до носа. Штучну вентиляцію легень і масаж серця продовжують і під час транспортування потерпілого в стаціонар до відновлення самостійного дихання. Коли допомога надається лікарем "Швидкої допомоги", проводять штучну вентиляцію легень за допомогою ручних апаратів, вводять підшкірно 1 мл 1 % розчину лобеліну, 1 мл цититону. Якщо протягом 30 хв самостійне дихання не відновиться, вдаються до інтубації трахеї і продовжують штучну вентиляцію з відсмоктуванням вмісту з трахеобронхіального дерева.

Потерпілому слід забезпечити спокій, покласти його в ліжку. Не можна дозволяти йому стояти, а тим паче продовжувати роботу.

За відсутності ефекту від непрямого масажу серця показаний прямий масаж з розкриттям грудної клітки. Наявність фібриляції шлуночків, що визначається на електрокардіограмі, свідчить про доцільність електричної дефібриляції. Одночасно проводять штучну вентиляцію легень. Підготовка до дефібриляції серця не вимагає зупинки непрямого чи прямого масажу серця і штучної вентиляції легень. Під ліву лопатку хворого підкладають один

електрод від дефібрилятора, другий беруть за ізольовану ручку і, тримаючи його в руці, очікують, доки конденсатор зарядиться (4000—4500 V). Після цього рівномірно і щільно прикладають електрод до ділянки серця. Припиняючи на хвилину масаж серця і штучну вентиляцію легень, проводять дефібриляцію. Ефект її виявляється в появі самостійного пульсу безпосередньо після розряду або після продовження масажу.

Паралельно із описаними вище реанімаційними заходами проводять оксигенотерапію, внутрішньовенне введення глюкози з вітамінами й інсуліном, вводять серцеві препарати, поляризуючу суміш, коронаролітичні, антиаритмічні засоби (феноптин, лідокаїн), 10 мл 10 % розчину кальцію хлориду, внутрішньовенне і внутрішньоартеріально переливають кров.

Оживлення потерпілого треба продовжувати до появи самостійного дихання і відновлення роботи серця.

Місцеві пошкодження не вимагають спеціального лікування. Воно повинно бути консервативним. Це пояснюється крихкістю судин біля ділянки пошкодження і підвищеною їх ламкістю, нечіткістю меж змертвої тканини, малою схильністю ран до нагноєння і сприятливим перебігом процесу загоєння. Пошкоджену ділянку обробляють 70 % етиловим спиртом і закривають стерильною пов'язкою. Вона загоюється під струпом. Якщо ураження великі і глибокі, супроводжуються зугленням тканин, після появи демаркаційної лінії проводять некректомію чи ампутацію.

8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Актуальність охорони навколишнього середовища

На сучасному етапі розвитку людства проблема взаємодії енергетики і довкілля набуває нових ознак, впливаючи на величезні території, більшість річок і озер, на атмосферу й гідросферу Землі. Ще більші масштаби розвитку енергопостачання й енергоспоживання в недалекому майбутньому зумовлюють подальше інтенсивне зростання їхніх різноманітних дій на всі компоненти природного довкілля в глобальному масштабі.

Особливо загострилися проблеми, пов'язані з негативним впливом енергетики на стан навколишнього середовища. Викиди від роботи цієї галузі становлять 30% всіх твердих часток що надходять в атмосферу внаслідок господарської діяльності людини. За цим показником електростанції зрівнялися з підприємствами металургії і випереджають всі інші галузі промисловості. Крім того, енергетика дає до 63% сірчаного ангідриду і понад 53% оксидів озону, що надходять у повітря від стаціонарних джерел забруднення. вони є основним джерелом кислотних дощів в Україні. Рослини та океан вже не встигають поглинути всю кількість вуглекислоти, яка утворюється внаслідок спалювання органічного палива.

Все це створює небезпеку голоду, хвороб, масових міграцій населення із зон екологічного лиха. Таким чином, ситуація, що склалася на межі тисячоліть, може розглядатися як гранично конфліктна з природним довкіллям. Тому екологічні аспекти енергетики й енергетичні аспекти екології, принципи взаємозалежності й гармонії людини і природи, мають ураховуватися на всіх етапах науково-технічного прогресу. Звідси й прямий зв'язок екології з господарською діяльністю людини, особливо з такими масштабними виробництвами, як енергетика, паливо-видобувні комплекси, транспорт, сільське господарство тощо. Проблема взаємодії енергетики і

довкілля є досить різноманітна, перебуває в авангарді науково-технічної думки і потребує надзвичайної уваги.

8.2 Проблеми енергозбереження в Україні

Енергетика і паливно-енергетичний комплекс, що реалізує її призначення, є підґрунтям існування і розвитку цивілізації. Концентруючи величезні матеріальні ресурси, переробляючи колосальні паливно-енергетичні ресурси, активно втручаючись у гідро - й атмосферне середовище, енергетика спроможна змінити і вже змінює природне його становище.

Нині перед людством особливо гостро стоять три головні взаємозв'язані проблеми: забезпечення харчами, енергією та екологічна безпека. Актуальні вони як для Європи, так і для України зокрема. У розв'язанні цих проблем особливе місце належить енергетиці, від рівня розвитку котрої неабияк залежить доля економіки, а отже, занепад або процвітання суспільства і, з другого боку, – стан довкілля.

Кожен виток вгору по спіралі історичного розвитку супроводжується вищим рівнем споживання енергії, загостренням екологічних проблем. Отже, надзвичайно важливим завданням фахівців і відповідних закладів є вивчення умов утворення шкідливих викидів у процесі виробництва теплової та електричної енергії, їх впливу на довкілля, розробка методів і пристроїв їх нейтралізації. Актуальність цих проблем визначається як недосконаліми енерготехнологіями, так і високим темпом використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР).

Неефективне використання енергетичних ресурсів, споживання та експорт легкодоступної нафти, неекономне використання електроенергії підприємствами чи домогосподарствами змушують серйозно замислитись над проблемою енергозбереження у країні.

Енергетичний сектор економіки України потребує особливої уваги як з боку держави, так й індивідів. Важливим є використання альтернативних джерел енергії, пошук нових шляхів, способів постачання її державі.

Закони України «Про енергозбереження», «Про енергетику» та «Про енергопостачання», законодавчі акти Верховної ради України, хоча і порушують проблему енергетики, проте на практиці особливих позитивних зрушень не виявляють.

Рівень розвитку енергетики має визначальний вплив на стан економіки в країні в цілому. Основним завданням паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) є забезпечення економіки та соціальної сфери життя різними видами палива. Головною проблемою є те, що він був у всій час невід'ємною складовою економічного сектору Радянського союзу. Тому навіть незважаючи на кризові явища, які виникають на сучасному етапі, потрібна докорінна його перебудова. Паливно-енергетичний комплекс держави є надзвичайно енергозатратним, адже більша половина тепла втрачається при транспортуванні. Україна на сьогоднішній день є першою країною у світі за показником споживання енергоносіїв на одиницю продукції. За статистичними даними Україна кожного року споживає енергоносіїв на суму 12 млрд. доларів. Протягом наступних років темпи споживання інтенсивно зростають.

Для того, щоб вирішити питання енергозбереження, необхідно:

- по-перше, прийняти такий законодавчий акт як закон України «Про енергоефективність», тобто дещо коректувати закон «Про енергозбереження»;
- по-друге, необхідно внести зміни до закону «Про оподаткування прибутку підприємств»;

У сучасних умовах держава має унікальне географічне та геополітичне значення та виступає транспортером паливно-енергетичних ресурсів.

Перші кроки до зміни та модернізації були зроблені з прийняттям «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року». Ця подія мала позитивне значення у регулюванні енергетики України, адже до її прийняття

не було чіткого плану щодо розвитку та функціонування енергетичної галузі. У ній розкрито багато цілей та завдань, напрямків проведення «перебудови».

Окремим розділом виділяють «Пріоритетні напрями та обсяги енергозбереження, потенціал розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії». Згідно з ним фактор енергозбереження є одним із визначальних для енергетичної стратегії України. Від його рівня залежить ефективне функціонування національної економіки.

Відповідно до прийнятої стратегії на даний час основним фактором зниження енергоємності продукції (послуг) в усіх галузях економіки є формування ефективно діючої системи державного управління сферою енергозбереження. Це дозволить, в першу чергу, удосконалити структуру кінцевого споживання енергоресурсів, зокрема, за рахунок подальшого розширення та поглиблення електрифікації в усіх сферах економіки шляхом заміщення дефіцитних видів палива з одночасним підвищенням ефективності виробництва .

8.3 Аналіз сучасних систем освітлення

Проблема економії енергетичних ресурсів на сучасному етапі є надзвичайно актуальною. Відомо, що сьогодні значно вигідніше знижувати споживання електроенергії (ЕЕ) на освітлення за рахунок сучасних технологій, ніж створювати нові додаткові генеруючі потужності для забезпечення зростаючих потреб в світловій енергії. На створення 1 кВт нових генеруючих потужностей витрачається від 1000 до 3000 доларів США, а на економію 1 кВт потужності в системах освітлення достатньо 200-300 доларів США . Тому у багатьох країнах були сформовані спеціальні програми економії електроенергії на освітлення. Загальним для всіх програм методом зниження енергоспоживання (на 30-50% за 5-7 років), є широке впровадження сучасних засобів освітлення. Як магістральний шлях зниження споживання електроенергії (і перш за все в житловому секторі) в більшості країн

розглядалась заміна ламп розжарювання (ЛР) на компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) і світлодіодні лампи (СД).

У всьому світі сьогодні стрімко розширюється сфера застосування світлодіодної освітлювальної техніки. В багатьох містах світу успішно працюють системи не лише архітектурно-декоративного, а й утилітарного світлодіодного зовнішнього освітлення. Перші кроки в цьому напрямку здійснюються і в нашій країні. Провідні виробники світлотехнічної продукції пропонують досить широкий спектр якісного світлодіодного обладнання для освітлення вулиць і площ, доріг і великих територій. Свої новинки в цій галузі на семінарі презентувала, зокрема, компанія Philips. Та ціна такого обладнання сьогодні ще досить висока.

Разом з тим на вітчизняному ринку є світлодіодне обладнання, дешевше за обладнання знаних світових виробників, та його показники не відповідають заявленим в каталогах, що знижує якість освітлення. Така ситуація є наслідком відсутності стандартів та сертифікатів на користь високоякісних рішень.

На жаль, незважаючи на великі технічні можливості та перспективи щодо енергоекономії, в сучасній економічній ситуації в Україні масштабний перехід на світлодіодне утилітарне вуличне освітлення - це перспектива навіть не завтрашнього дня.

Та вже сьогодні є можливість набагато зменшити витрати електроенергії на вуличне освітлення. Вітчизняні виробники пропонують обладнання для освітлення вулиць, доріг, міжквартальних територій, що дозволяє знизити енергоспоживання на 45 % порівняно з існуючим, не погіршуючи, а навіть поліпшуючи, кількісні та якісні показники освітлення. А коштує таке обладнання майже на порядок дешевше, ніж світлодіодне (йдеться про якісне обладнання).

В зв'язку з тим, що більшість сучасних типів енергоекономічних ламп містять в собі токсичні речовини, проблема енергозбереження має розглядатись тільки в контексті з підвищенням екологічної безпеки. Тому не менш актуальним є і проблема зменшення викидів в навколишнє середовище

токсичних речовин як при виробництві джерел світла, так і в процесі експлуатації та утилізації ламп.

Важливим напрямком економії електроенергії в зовнішньому освітленні є застосування систем управління і моніторингу зовнішнього освітлення. Сьогодні, коли у великих містах працюють десятки тисяч світлоточок (наприклад, в Києві їх 113 тис.), автоматичне управління роботою такої складної та великої системи, постійний контроль стану обладнання та своєчасне усунення всіх пошкоджень дозволяє економити не лише матеріальні, а й трудові ресурси.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

1. Проведено аналіз сучасного стану розвитку напівпровідникових джерел світла. Визначено характеристики світлодіодів. Охарактеризовано вплив режиму роботи на експлуатаційні характеристики напівпровідникових джерел світла.

2. Проаналізовано методи регулювання світлового потоку напівпровідникових джерел світла. Аналізом публікацій встановлено, що найбільш енергоефективним є живлення напівпровідникових джерел світла імпульсами прямокутної форми.

3. Наведено основні характеристики імпульсного живлення та їх вплив на світловий потік світлодіодів середньої та високої потужності. Встановлено, що для малопотужних вивідних напівпровідникових джерел світла, які використовуються для створення декоративного світлового ефекту або як інструмент дисплейного та рекламного освітлення, необхідним є проведення досліджень при імпульсних режимах їх живлення.

4. Розроблено методику та змонтовано установку для вимірювання кінетики післясвічення білого червоного та синього світло діодів. Встановлено, що затухання світлового імпульсу описується експоненціальною залежністю і має для білого світло діода дві складові – швидко та повільну. Для смуги 450 нм $\tau_1=0,15$ мкс, а $\tau_2=2,3$ мкс. Для смуги 560 нм $\tau_1=0,15$ мкс, а $\tau_2=2,3$ мкс. Затухання світлового потоку для синього світло діода також описується експонентою і має одну складову з $\tau=1,4$ мкс, а для червоного $\tau=2,2$ мкс.

5. На основі проведених досліджень кінетики після свічення трьох типів світлодіодів – білого, синього та червоного встановлено, що максимальною частотою імпульсної напруги живлення є 400 кГц з різним ступенем заповнення імпульсів.

6. Розроблено методику та змонтовано установку для вимірювання енергетичних характеристик напівпровідникових джерел світла як при постійному, так і імпульсному живленні.

7. На основі осцилограм напруг, струмів та фотострумів, отриманих при частоті слідування імпульсів 100 кГц проведено розрахунок світлової віддачі малопотужних напівпровідникових джерел світла білого, синього, червоного та зеленого кольорів свічення. На основі даного розрахунку встановлено, що залежності світлової віддачі від коефіцієнта заповнення імпульсу мають максимуми в тих випадках, коли амплітуди імпульсів напруги дорівнюють робочим значенням або є більшими. Встановлено параметри імпульсних джерел живлення, при яких світлова віддача є максимальною.

8. Отримано залежності світлових потоків СД від коефіцієнта заповнення імпульсів. Розраховано значення коефіцієнта заповнення імпульсів при різних значеннях напруги імпульсного живлення, для яких світловий потік СД дорівнює номінальному. Встановлено, що зі збільшенням амплітуди імпульсів напруги D зменшується, що дозволяє обрати такий режим живлення з широтно-імпульсною модуляцією, при якому буде максимальна світлова віддача СД.

9. Запропонована електрична схема імпульсного блоку живлення світлодіодної лампи на основі ІМС LM3445, виконаного згідно з схемотехнікою понижаючого перетворювача з гальванічною та без гальванічної ізоляції навантаження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1.Справочная книга по светотехнике. Под ред Ю.Б.Айзенберга. - М.:Знак, 2006.- 951с.
- 2.Давиденко В. А.,Новый подход к внедрению современных технологий в системах уличного освещения. // Світлолюкс. - 2010. - №2. - С. 26-28.
- 3.А. Берг, П. Дин Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича – М.: Москва, 1973. – 98с.
- 4.Бегеманн Т. Светоизлучающие диоды - тенденции развития и влияние на освещение. // Светотехника. -2001. -№5.-С. 10-14.
- 5.Полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы : Учеб. пособие / Б. С. Колосницын, П. П. Стешенко, В. В. Шульгов. – Мн. : Амалфея, 2001. – 272 с.
- 6.Хартман П. Технология изготовления белых светодиодов. // Светотехника. - 2008. - А122. - С. 39- 42.
- 7.Овечкин Ю. А. Полупроводниковые приборы : Учебник для техникумов. – 2 - е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. щкола, – 1979. – 279 с.
- 8.Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника : Справочное руководство. Пер. с нем. – М. : Мир, 1982 – 512 с.
- 9.Лишик С.И и др. Проблемы применения светодиодов в осветительных и светосигнальных установках. // Светотехника. - 2008. -№ 4.- С. 22 - 26.
- 10.Бадгутдинов М.Л. и др. Мощные светодиоды белого свечения для освещения. // Светотехника. - 2006. - № 3. - С. 36- 40.
- 11.Полупроводниковые приборы : Транзисторы. Справочник / В. Л. Аронов, А. В. Баюков, А. А. Зайцев и др. Под. общ. ред. Н. Н. Горюнова. – 2 - е изд., перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 904 с.

12. Банников В. Светорегулятор со ступенчатым регулированием. // Радио. – 1998. – № 9. – С. 42 – 43.
13. Новый емкостной светорегулятор DIMMO // Светотехника. – 1998. – № 5. – С. 38 – 39.
14. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
15. Полупроводниковые приборы Справочник / В. И. Галкин, А. Л. Булычев, В. А. Прохоренко – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Беларусь, 1987. – 285 с.
16. Аксенов А. И., Нефедов А. В. Отечественные полупроводниковые приборы / 6-е изд., доп. и испр. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 592 с.
17. Тациян В. В. Полупроводниковые переключающие приборы. – М.: Энергия, 1967. – 72 с.
18. В. І. Осінський, В. О. Завалішин, О. І. Радкевич, Ю. П. Троценко, В. П. Грунянська. Можливості мікропроцесорного керування, що виходить з критичного аналізу існуючих люмінофорних та RGB джерел світла. // Електроніка і зв'язь. ч 1 – 2008. С. 85 – 86
19. Кунгс Я.А., Автоматизация управления электрическим освещением . – М.: Энергоатомиздат, 1989.- 108с
20. Кунгс Я.А., Твардовский П.М., Автоматизация управления и регулирование напряжения в осветительных установках. – М.: Энергия, 1979.- 128с
21. Афанасьева Е.И., Скобелев В.М., Источники света и пускорегулирующая аппаратура. – М.: Энергоатомиздат, 1986.- 271с
22. Кожушко Г.М., Енергоекономічні джерела світла. – Світло, 2005, №4, с.30-33
23. Патрик Хантер. Улучшение характеристик импульсных источников питания путем коррекции коэффициента мощности. – Электроника, 1992, №11-12, с.60-67.