

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ПОТУЖНИХ СВІТЛОДІОДНИХ СВІТИЛЬНИКІВ**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕЕМ-61

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка

та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

_____ Данилів С. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Наконечний М. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Завідувач кафедри _____ Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Габрусев Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Даниліву Святославу Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технічних рішень для підвищення енергоефективності потужних світлодіодних світильників

Керівник роботи Наконечний Мирослав Степанович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «1» вересня 2020 року № 4/7-619

2. Термін подання студентом завершеної роботи грудень 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Електротехнічні та світлотехнічні параметри світлодіодів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Аналітичний розділ

2 Розрахунково-дослідницький розділ

3 Проектно-конструкторський розділ

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1.Розробка технічних рішень для підвищення енергоефективності потужних світлодіодних світильників

2 Вимірювання світлових характеристик світлодіода

3 До розрахунку схеми джерела живлення сд

4.Модель джерела живлення

5.Результати моделювання роботи джерела живлення світлодіодного світильника

6.Загальні висновки

РЕФЕРАТ

Данилів С. Р. Розробка технічних рішень для підвищення енергоефективності потужних світлодіодних світильників. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2020

Стор. - 71; рис. - 35; табл. - 4; плакатів - 6; джерел – 22.

У даній кваліфікаційній роботі проведено аналіз схем живлення світлодіодів та методів підвищення коефіцієнту їх потужності. Проаналізовано вплив величини струму та температури на світлотехнічні та енергетичні параметри світлодіодів.

Запропоновано експериментальні методики і проведені комплексні дослідження світлодіодів, в яких встановлено ступінь впливу температури р-п переходу та струму на світлотехнічні характеристики світлодіодів. На основі чого визначені режими живлення світлодіодів, для забезпечення кращих техніко-економічних показників. Розроблено математичну модель джерела живлення світлодіодів, та проаналізовано вплив різних параметрів схеми на його характеристики.

Ключові слова: світлодіод, температура, математична модель, коректор коефіцієнта потужності, коефіцієнт корисної дії, Matlab, Simulink.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Загальні характеристики потужних світлодіодів.....	8
1.2 Аналіз схем джерел живлення для світлодіодів	12
1.3 Аналіз методів підвищення коефіцієнта потужності	14
1.4 Аналіз впливу температури на світлотехнічні параметри світлодіода	16
1.5 Аналіз методів підвищення коефіцієнта корисної дії джерела живлення	19
1.6 Висновки до розділу.	20
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	21
2.1 Методика і результати вимірювань світлової віддачі світлодіода при живленні імпульсним струмом при різних температурах	21
2.2 Проблеми нагріву світлодіодів та шляхи їх вирішення	27
2.3 Проектування радіаторів з оптимальними масогабаритними параметрами.	28
2.3.1 Теплова модель ребристого радіатора.	29
2.3.2 Оптимізація масогабаритних параметрів радіаторів.....	32
2.4 Вибір схеми живлення світлодіодного модуля.....	35
2.5 Теоретичний аналіз процесів і попередній розрахунок схеми джерела живлення СД.....	36
2.6 Висновки до розділу	44
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	46
3.1 Розробка математичної моделі джерела живлення світлодіодів.....	46
3.2 Дослідження математичної моделі	49
3.3 Висновки до розділу	62
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1 Правила техніки безпеки при експлуатації світлотехнічного обладнання.....	63
4.2 Стійкість роботи об'єктів господарювання.....	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	69

ВСТУП

Тема енергоефективності та енергозбереження стала центральною в сучасній світлотехніці. Останнім часом більшість індустріально розвинених країн світу здійснюють заходи з енергозбереження за рахунок сфери освітлення. Процес масового впровадження енергозберігаючих світлотехнічних виробів отримав додатковий стимул для розвитку, в зв'язку з появою нових джерел світла - світлодіодів.

Світлодіоди володіють високою ефективністю, можливістю отримання широкого спектру кольорів, високим коефіцієнтом передачі кольору, екологічно безпечні, а також мають тривалий термін служби.

Для забезпечення тривалого терміну служби, високої надійності і стабільності характеристик світлодіодного світильника необхідно використовувати джерело живлення, що перетворює змінну напругу мережі в постійну. На сьогоднішній день відомо велика кількість різних схем живлення світлодіодних джерел світла. Одними з основних вимог до таких схем є високі енергетичні показники. До таких показників відносяться коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності.

У зв'язку з цим є **актуальним** дослідження роботи світлодіодного світлового приладу для виявлення причин що впливають на зниження його ККД, і встановлення режимів роботи, що забезпечують високу енергоефективність.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження режимів роботи світлодіодного світлового приладу і його компонентів та пошук шляхів підвищення енергоефективності.

Завдання дослідження:

1. Дослідити вплив температури р-п переходу світлодіодів на їх випромінювальні властивості.
2. Дослідити вплив величини струму світлодіода, на його енергоефективність.
3. Проаналізувати методи підвищення енергоефективності джерел живлення світлодіодів, та схем силової частини.

Об'єкт дослідження – процес формування основних параметрів енергоефективності світлодіодних джерел світла.

Предмет дослідження – електротехнічні та світлотехнічні характеристики світлодіодних світильників.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Запропоновано експериментальні методики і проведені дослідження світлодіодів, в яких встановлено ступінь впливу температури р-п переходу та струму на світлотехнічні характеристики світлодіодів. На основі чого визначені режими їх живлення, для забезпечення кращих техніко-економічних показників.
2. Розроблено модель джерела живлення світлодіодів, та проаналізовано вплив різних параметрів схеми на його характеристики.

Практичне значення отриманих результатів

Запропонований алгоритм розрахунку і математична модель можуть бути використані розробниками для проектування пристроїв живлення світлодіодів з високим коефіцієнтом потужності.

Апробація результатів магістерської роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020 (Тернопіль 2020 р.)

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Аналіз факторів що впливають на термін експлуатації світлодіодних світильників ». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листопада. 2020.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2017. – , Т 2, С. 105.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань
(22 найменування).

Загальний обсяг текстової частини: **71 сторінки, 4 таблиць, 35 рисунки.**

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальні характеристики потужних світлодіодів

Винахід транзисторів стало одним з найпрогресивніших відкриттів в науці. Подальший розвиток напівпровідникової електроніки і створення комп'ютерів у другій половині ХХ ст. призвів до кардинального стрибка в еволюції високо-технологічних виробництв.[1]

Особливі перспективи виникли в області фізики напівпровідників, яка вивчає люмінесценцію. Прогрес у цій сфері дозволив створити напівпровідникові джерела світла – світлодіоди (СД).

Ефективні світлодіоди для синьої і фіолетової частин спектру були створені в 90-і роки. Виготовлялися вони на основі напівпровідників з великою шириною забороненої зони: карбіду кремнію SiC, з'єднань групи $A_{II}B_{VI}$, нітридів групи $A_{III}B_V$. У світлодіодів на основі ZnSe ($A_{II}B_{VI}$) великий квантовий вихід, але вони мають нетривалий термін роботи, та великий електричний опір. У карбід-кремнієвих СД дуже малий ККД, так як SiC - непрямозонний напівпровідник. [2]

В останні роки було зроблено справжній прорив в розробці синіх і зелених світлодіодів. У приладах на основі нітриду галію і його твердих розчинів GaN, $In_xGa_{1-x}N$, $Al_xGa_{1-x}N$ зовнішній квантовий вихід збільшений до 9-16% [2]. Світлова віддача з різних матеріалів для всіх основних кольорів перевищила світловіддачу ламп розжарювання. Діоди стали приладами для оптоелектроніки, і світлотехніки. Принцип роботи світлодіодів базується на спонтанній інжекції електролюмінесценції.

При подачі напруги прямого зміщення концентрація неосновних носіїв біля межі p-n-переходу різко підвищується і стає значно вищою рівноважної. До інжекттованих неосновних носіїв підтягуються основні і їх концентрація біля межі

p-n-переходу стає вище рівноважної. Дифундуючи в напівпровідник, нерівноважні носії рекомбінують, проникаючи в середньому на відстань дифузійної довжини від шару об'ємного заряду p-n-переходу. Якщо при цьому істотна частка актів рекомбінації відбувається з випромінюванням світла, то, створивши умови для виходу цього випромінювання назовні, напівпровідниковий діод можна використовувати як джерело випромінювання. Такий діод називають світлодіодом. Особливо широке застосування в останні роки отримали джерела видимого світла. Людське око сприймає випромінювання в діапазоні від 0,45 до 0,7 мкм для енергій квантів від 1,8 до 2,8 еВ. Видиме випромінювання з довжиною хвилі менше 720 нм можна отримати лише від широкозонних напівпровідників з шириною забороненої зони E_g більше 1,72 еВ. Таким чином, для джерел видимого світла потрібні напівпровідники з шириною забороненої зони від 1,8 до 2,8 еВ або більше.

Найкращі параметри випромінювання мають світлодіоди на основі гетероструктур (або гетеропереходов). Гетеропереходом називається перехідний шар, що виникає на межі двох напівпровідників з різною шириною забороненої зони. Кожен з напівпровідників, що утворюють гетероперехід, може мати однаковий або різний тип електропровідності i , відповідно, кожна пара напівпровідників може утворювати чотири гетероструктури: p1 - n2, n1 - n2, n1 - p2, p1 - p2. Тут індекс 1 відноситься до напівпровідників з широкою забороненою зоною (широкозонний напівпровідник, а індекс 2 - до напівпровідника з вузькою зоною (вузькозонний напівпровідник). При утворенні гетеропереходу відбувається перерозподіл носіїв заряду, що призводить до появи контактної різниці потенціалів. Рівень Фермі для гетероструктури в рівноважному стані спільний. На рис. 1.1. показана енергетична діаграма гетероструктури GaAlAs - GaAs в стані рівноваги [4]. На межі переходу утворюється розрив енергії. Таким

чином, гетероструктура має різні потенційні бар'єри для інжектованих дірок і електронів.

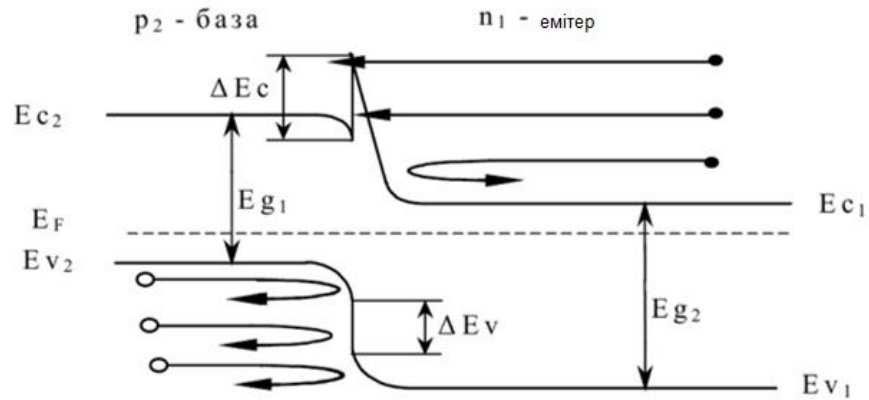


Рисунок 1.1 – Енергетична діаграма гетероструктури

Рух носіїв в рівноважному стані гетероструктури визначається носіями заряду тільки одного типу, для гетероструктури на рис. 1.1 - електронами. Тому при подачі прямої напруги має місце одностороння інжекція - тільки електронів з широкозонного шару - емітера до вузькозонного шару - бази. Зайнятість енергетичних станів в зоні провідності визначається розподілом енергії $f_n(E)$, в якому рівновага визначається тепловою енергією $k_B T$.

$$f_n(E) = \frac{1}{e^{(E_{fn} - E)/k_B T} + 1}, \quad (1.1)$$

для енергетичних станів, зайнятих дірками з рівнем E_{fp} :

$$f_p(E) = \frac{1}{e^{(E - E_{fp})/k_B T} + 1}. \quad (1.2)$$

Квазі-рівні Фермі обмежені прикладеною напругою:

$$E_{fn} - E_{fp} = eV_a \quad (1.3)$$

Вольт-амперна характеристика світлодіода визначається рівнянням Шоклі:

$$I = I_s \left(e^{\frac{eV_a}{k_B T}} - 1 \right) \quad (1.4)$$

де, I_s - струм насичення,

$$I_s = eA \left(\sqrt{\frac{D_p}{\tau_p} \frac{n_i^2}{N_D}} + \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n} \frac{n_i^2}{N_A}} \right). \quad (1.5)$$

де, A - площа перерізу діода;

D_p, D_n - коефіцієнти дифузії;

τ_p, τ_n - тривалість життя носіїв заряду.

У випадку прямого зміщення коли $V \gg k_B T$ тоді $\left(e^{\frac{eV_a}{k_B T}} - 1 \right) \rightarrow e^{\frac{eV_a}{k_B T}}$ і рівняння

1.5 можна переписати як:

$$I_s = eA \left(\sqrt{\frac{D_p}{\tau_p} N_A} + \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n} N_D} \right) e^{\frac{e(V_a - V_D)}{k_B T}} - 1, \quad (1.6)$$

де, V_D - дифузійна напруга. Коли прикладена напруга V_D стає більшою, ніж дифузійна напруга, різко зростає сила струму. На рисунку 1.2 показані вольт-амперні характеристики різних світлодіодів.

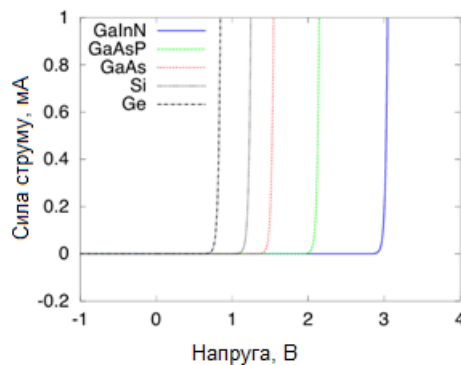


Рисунок 1.2 – Вольт-амперні характеристики світлодіодів

Експоненціальне збільшення струму при пороговій напрузі є причиною того, що більшість світлодіодних систем використовують джерела постійного струму. Якщо прикладена напруга сильно збільшується, це призводить до росту струму і як наслідок пошкодження світлодіода.

1.2 Аналіз схем джерел живлення для світлодіодів

Для забезпечення тривалого терміну служби, а також високої стабільності характеристик і надійності світлового приладу, світлодіоди необхідно живити постійним струмом певного значення. Від величини електричного струму, що протікає через освітлювальні прилади, і його пульсацій залежить яскравість світіння і комфортність освітлення. Будь-яке колювання електричного струму викличе пульсацію світлового потоку. Коефіцієнт пульсацій світлового потоку не повинен бути більше 10% -20% [6].

Прямий струм світлодіода можна регулювати двома способами. Перший спосіб полягає в тому, щоб по вольт амперній характеристиці світлодіода [7] (рис 1.2) визначити значення напруги, яке потрібно подати на світлодіод для того, щоб через нього проходив необхідний прямий струм. Зазвичай це досягається шляхом застосування джерела напруги і резистора. Однак даний метод має істотний недолік. Будь-які малі зміни прямого падіння напруги на світлодіодах приведуть до значної зміни струму. Оскільки напруга і струм зв'язані нелінійною залежністю.

Другий, більш кращий спосіб регулювання струму СД полягає в управлінні світлодіодами за допомогою джерела стабілізованого струму. Таке джерело усуває зміни струму при зміні прямої напруги, що призводить до стабілізації яскравості світлодіодів.

Джерела живлення світлодіодів можна класифікувати за способом перетворення енергії на лінійні і імпульсні. Лінійним джерелом керує спеціалізована мікросхема, яка забезпечує стабілізований струм на виході, величина якого не залежить від напруги на ній [8]. Дані пристрої відрізняються простотою, малими габаритами і низькою вартістю. Але незважаючи на це, такі джерела не знайшли широкого застосування в освітлювальних системах через досить низьку ефективність. Вони в основному використовуються тільки для живлення яскравих світлодіодів, наприклад, в екранах, табло, для підсвічування різних приладів [9].

Більшого поширення в освітлювальних приладах отримали імпульсні схеми живлення. Імпульсні схеми можуть бути виконані з гальванічною розв'язкою і без неї. До гальванічно ізольованим відносять зворотноходові і півмостові резонансні перетворювачі. Перші застосовуються в пристроях невисокої потужності, другі - в пристроях, що працюють на потужностях понад 100 Вт [10]. Гальванічно неізолювані перетворювачі в залежності від співвідношення вихідної напруги до вхідної бувають знижувальними, підвищувальними, підвищувально-знижувальними, зворотноходовими, півмостовими.

Імпульсне джерело живлення перетворює змінний електричний струм мережі в постійний певного, необхідного для нормальної роботи діодів, значення. Просте імпульсне джерело живлення, за допомогою якого можна отримати постійну напругу від змінної мережі, включає в себе мостовий випрямляч і ємнісний накопичувальний конденсатор. Таке джерело живлення споживає енергію від мережі тільки в ті моменти часу, коли мережева напруга має значення, близькі до максимального [3]. В інший час джерело не споживає потужність з мережі, а навантаження отримує енергію від вихідного накопичувального конденсатора. В результаті споживаний електричний струм

має несинусоїдальну форму з високим вмістом гармонік, що призводить до виникнення додаткових перешкод, «забруднення» мережі, збільшення енергоспоживання і втрат енергії в електромережах. Такі пристрої генерують гармонійні і нелінійні спотворення споживаного струму, що чинить негативний вплив на проводку електричної мережі та підключення до неї електричні прилади, через що виникає проблема їх електромагнітної сумісності. У цих пристроїв низький коефіцієнт потужності. Його значення зазвичай становить від 0,5 до 0,7.

Для підвищення коефіцієнта потужності простого імпульсного джерела живлення необхідно ввести в його конструкцію спеціальний пристрій, що називається коректором коефіцієнта потужності (ККП). Цей пристрій дозволить наблизити фазу і форму споживаного струму до фази і форми мережевої напруги.

Імпульсне джерело з активною корекцією може бути виконане за схемою однокаскадного або багатокаскадного перетворювача. У однокаскадних пристроях одна мікросхема вживає всіх зворотні зв'язки, а також інформацію про формі вхідної напруги, і формує керуючий сигнал для керуючого транзистора. У таких джерел є істотні недоліки: зміни параметрів навантаження, вхідної напруги, впливу різних дестабілізуючих факторів впливають на корекцію коефіцієнта потужності, тим самим коефіцієнт потужності знижується [15].

1.3 Аналіз методів підвищення коефіцієнта потужності

Як вже було сказано, корекція коефіцієнта потужності імпульсного джерела може бути досягнута з використанням або пасивної, або активної схеми. Пасивні схеми, як правило, містять комбінацію великих конденсаторів, котушки індуктивності та випрямлячів, які працюють на частоті змінного струму мережі.

Активні схеми являють собою імпульсний перетворювач, що працює на високій частоті. Оскільки активні схеми працюють на частоті, що набагато перевищує частоту мережі, вони менші, легші і більш ефективні, ніж пасивні схеми. Такі схеми дозволяють досягти значення коефіцієнта потужності в межах 0,97-0,99.

Однією зі схем управління є «струмовий коридор» або управління за середнім значенням струму. Функціональна схема даного способу управління представлена на рис 1.3.

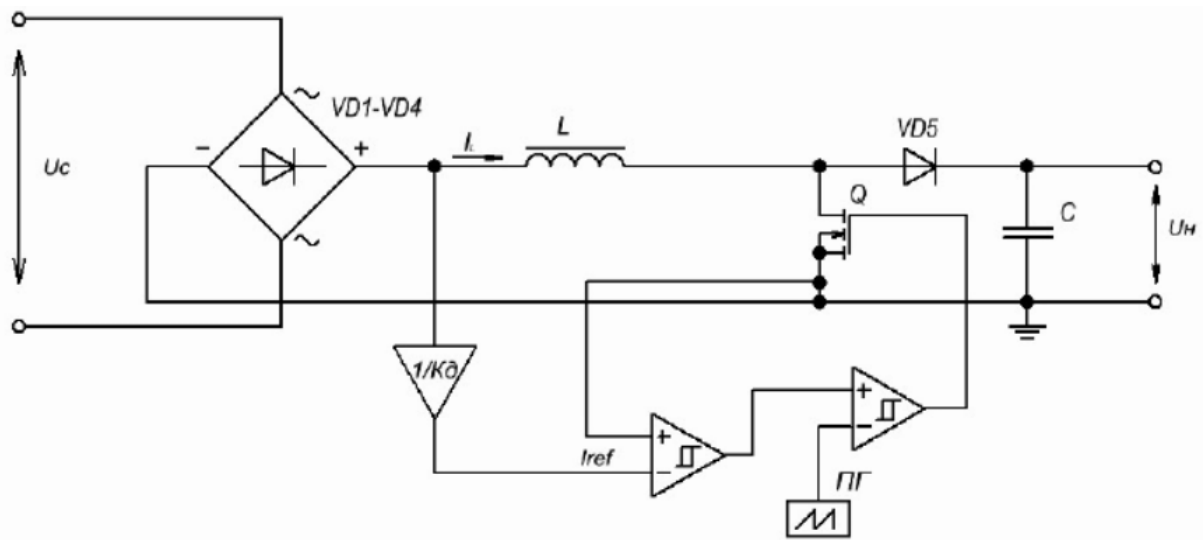


Рисунок 1.3 – Функціональна схема методу управління «струмовий коридор»

Метод «струмовий коридор» реалізує ковзний режим перемикання струму в дроселі близько заданого середнього значення електричного струму I_{ref} . Дана схема управляє ключем-транзистором за допомогою модуляції керуючих імпульсів. Необхідно, щоб робоча частота була високою для підтримки безперервного струму дроселя. В даній схемі струм дроселя порівнюється із заданим I_{ref} , який формується на основі випрямленої напруги джерела і заданого опорного максимального значення струму дроселя. Якщо струм дроселя

перевищить задане значення, то сигнал з виходу реле встановить тригер в нульовий стан. Ключ закриється. Коли струм дроселя впаде нижче заданого значення, тригер переведеться в одиничний стан. Дана схема характеризується «жорсткими» умовами закривання силового діода. Зате вона стійка до комутаційних перешкод.

1.4 Аналіз впливу температури на світлотехнічні параметри світлодіода

Коли світлодіод працює при постійній напрузі, за рахунок безвипромінювальної рекомбінації і поглинання фотонів в ньому виділяється тепло. Підвищена температура р-п переходу негативно позначається на терміні служби пристрою.

Різниця між найнижчою енергією в зоні провідності E_c та найвищою енергією у валентній зоні E_v називається енергією забороненої зони $E_g = E_c - E_v$. Ширина забороненої зони залежить від матеріалу та температури. Ця залежність була виявлена Варшні:

$$E_g(T) = E_g(T = 0K) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta}, \quad (1.7)$$

де $E_g(T = 0K)$, α та β - це константи, що залежать від типу матеріалу, які визначаються експериментально. Формула є суто емпіричною, але пропонує гарне наближення для енергії забороненої зони.

Температурна залежність прикладеної напруги виводиться з рівняння:

$$V_a(T) = \frac{k_B T}{e} \ln \frac{I}{I_s} + \frac{E_g(T)}{e}. \quad (1.8)$$

З рівняння (1.7) видно, що ширина забороненої зони зменшуватиметься із підвищенням температури, тоді як перший член у рівнянні (1.8) буде

збільшуватися із зростанням температури. Зміна енергії забороненої зони є домінуючим ефектом у рівнянні (1.8). Таким чином з підвищенням температури пряма напруга зменшується при постійному струмі.

При прямому зміщенні р-п переходу з ростом напруги, що значно перевищує порог, р-п перехід буде нагріватися під впливом безвипромінювальної рекомбінації та за рахунок омичного опору. Температура переходу підніметься і стабілізується в певній точці. Температура р-п переходу буде визначатися;

$$T_j = R_\theta P + T_s \quad (1.9)$$

де, R_θ - тепловий опір між р-п переходом і навколишнім середовищем;

$P = IV_a$ - електрична потужність;

T_s - температура навколишнього середовища

Відведення тепла відбувається через кристалотримач, з'єднання, друковану плату, ізолюючу теплопровідну прокладку або теплопровідну пасту, корпус-радіатор рис 1.4.

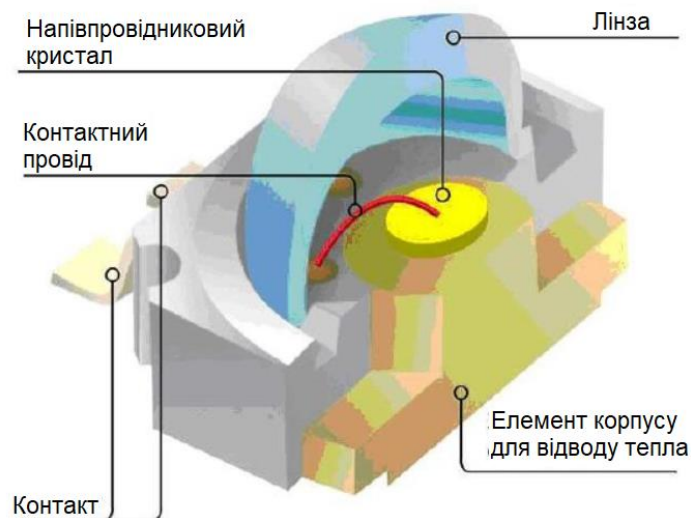


Рисунок 1.4 – SMD світлодіод

Залежність параметрів світлодіодів від температури навколишнього середовища - предмет вивчення багатьох наукових статей, в яких розглядаються електричні, енергетичні та колориметричні характеристики світлодіодів [11]. При збільшенні температури кристала різко знижується термін служби світлодіода, тому питання про охолодження світлодіодів є досить актуальним [12].

Велика кількість термічних опорів є основним недоліком конструкцій світлодіодних світильників [13]. Всі розробники світлових приладів намагаються в міру можливості мінімізувати всі ці опори [14].

Друкована плата виготовляється з матеріалу, що представляє комбінацію з пластини алюмінієвого сплаву з нанесеним на неї тонким шаром діелектрика (від 20 до 100 мкм) з теплопровідністю від (2 до 4 Вт / м · К) і мідної фольги [15].

Найбільш вузьким місцем є застосування ізоляційних прокладок або теплопровідних паст між корпусом-радіатором і друкованою платою, які необхідні для заповнення пустот, що виникають через нерівності поверхонь з'єднання.

Основна маса напівпровідникових світильників розробляється із застосуванням ребристих радіаторів, розрахунок яких проводиться за відомими законами конвективно-променевого теплообміну [16]. При всій своїй простоті і наочності такий підхід виправдовує себе тільки з точки зору інженерної практики. Суттєвим недоліком світлодіодних світильників є велика маса і площа радіатора. Для зменшення площі радіатора використовують примусові методи зниження температури світлодіодів.

1.5 Аналіз методів підвищення коефіцієнта корисної дії джерела живлення

Ще одним дуже важливим показником будь-якого імпульсного джерела живлення є коефіцієнт корисної дії (ККД). ККД - енергетичний показник електронного пристрою. Даний коефіцієнт визначається відношенням активної потужності P_d на виході пристрою до активної потужності на вході. Активна потужність на вході є сумою активної потужності на виході і втрат активної потужності всередині пристрою ΔP . Для ККД перетворювача можна записати наступне:

$$\eta = \frac{P_d}{P_d - \Delta P} \quad (1.10)$$

Втрати активної потужності всередині пристрою складаються з втрат на напівпровідникових елементах, фільтрах, системі управління. Втрати активної потужності в напівпровідниках складаються з втрат, що виникають при протіканні анодного струму через відкритий елемент ΔP_{np} , при протіканні зворотного струму через закритий елемент $\Delta P_{зв}$, втрат на перемикання, причиною яких є наявність кінцевого часу включення і виключення елемента, $\Delta P_{пер}$:

$$\Delta P = \Delta P_{np} + \Delta P_{зв} + \Delta P_{пер} \quad (1.11)$$

Для зниження втрат потрібно застосовувати більш сучасні і якісні комплектуючі: мікросхеми з невеликим споживаним електричного струму; більш швидкодіючі напівпровідникові ключі з найменшим внутрішнім опором, кращими частотно-часовими характеристиками і невеликою енергоємністю по входу; а також використовувати більш якісні моточні вироби і т.п. На втрати, які можуть з'явитися в колі зворотного зв'язку, безпосередньо впливає значення опорної напруги (напруги зворотного зв'язку). Використовуючи мікросхеми з мінімально можливим значенням опорної напруги, можна застосовувати більш

низьке значення опору датчика струму, розрахованого на меншу потужність, що в кінцевому підсумку скорочує повні втрати в пристрої, таким чином збільшуючи його ККД.

1.6 Висновки до розділу.

1. Аналіз фізичних процесів в напівпровідникових гетероструктурах показав, що їх енергетичні параметри в основному залежать від сили струму та температури.

2. Живлення світлодіодів потрібно забезпечувати стабілізованим струмом.

3. Для підвищення коефіцієнта потужності імпульсного джерела живлення необхідно ввести в його конструкцію коректор коефіцієнта потужності, що дозволить наблизити фазу і форму споживаного струму до фази і форми мережевої напруги.

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Equation Section 2

2.1 Методика і результати вимірювань світлової віддачі світлодіода при живленні імпульсним струмом при різних температурах

При проведенні вимірювань світлової віддачі світлодіода рис. 2.1, необхідно оцінити ступінь впливу температури його р-n переходу, і густину струму на світловий потік, при імпульсному живленні.

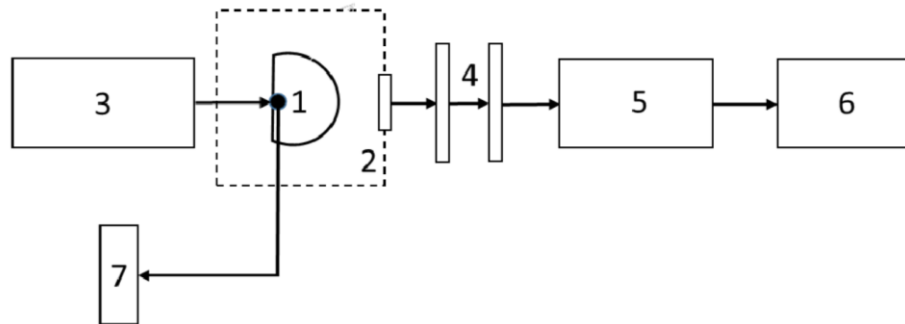


Рисунок 2.1 – Блок схема установки для вимірювання світлових характеристик світлодіода

Досліджуване джерело світла - світлодіод 1 знаходиться в термостаті з оптичним вікном 2. Від джерела живлення 3 на світлодіод подавалися поодинокі імпульси тривалістю 500 мкс. Випромінювання світлодіода 1 через оптичне вікно термостата 2 і через комплект нейтральних фільтрів 4 потрапляло на фотоелектронний помножувач (ФЕП) 5. Сигнал від ФЕП потрапляв в осцилограф 6, де видавалися значення інтенсивності випромінювання в вольтах. Вимірювання світлового потоку проводилися в діапазоні температур від кімнатної 27 °С до 160 °С з кроком в 10 °С. Температура регулювалася термостатом, а її значення фіксувалися цифровим термометром 7.

Крім температури регулювалася сила струму світлодіода від 200 мА до 1000 мА з кроком 100 мА. Оскільки джерело живлення 3 (генератор імпульсів Г5-54) не дозволяв отримати силу струму на світлодіоді вище 350 мА, то додатково використовувався підсилювач, який дозволяв отримувати струм до 1 А. При нагріванні світлодіода, значно знижується пряме падіння напруги на ньому, а відповідно, збільшується споживаний струм світлодіода відповідно до вольт-амперних характеристик. Зростання струму СД веде до ще більшого його нагрівання і т.д. В кінці цього "лавинного нагріву" світлодіод або перегорає або повністю деградує.

Для того щоб оцінити при якій тривалості імпульсу напруга буде зростати, була виміряна залежність світлового потоку світлодіода при тривалості імпульсу 10 мкс, 100 мкс, 500 мкс, 1 с.

При тривалості імпульсу 10 мкс, сигнал виходив з довгими фронтами, тому замість прямокутного імпульсу виходила "парабола". При тривалості імпульсу 10 мкс сигнал був спотворений. При тривалості імпульсу 500 мкс, сигнал мав короткі фронти < 1 мкс, також при такій тривалості імпульсу був відсутній ефект саморозігріву світлодіода рис. 2.2.

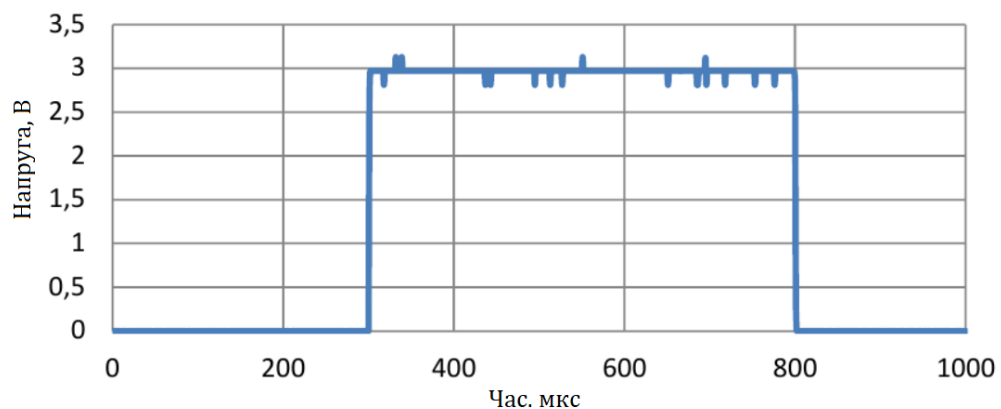


Рисунок 2.2 – Зміна напруги на світлодіоді від часу при температурі р-п переходу 85 °C, і струмі 350 мА

Аналізуючи отриману залежність, можна зробити висновок про незмінність температури р-п переходу під час імпульсу, оскільки напруга в імпульсі не змінюється, отже, і температура р-п переходу не змінюється. Залежність, представлена на рис. 2.2 зберігається для всіх діапазонів вимірюваних температур і струмів, при тривалості імпульсу 500 мкс. На рис. 2.3 представлена залежність напруги світлодіода від часу, звідки видно, що при збільшенні тривалості імпульсу до 1 с, напруга світлодіода падає, що говорить про явище саморозігріву р-п переходу.

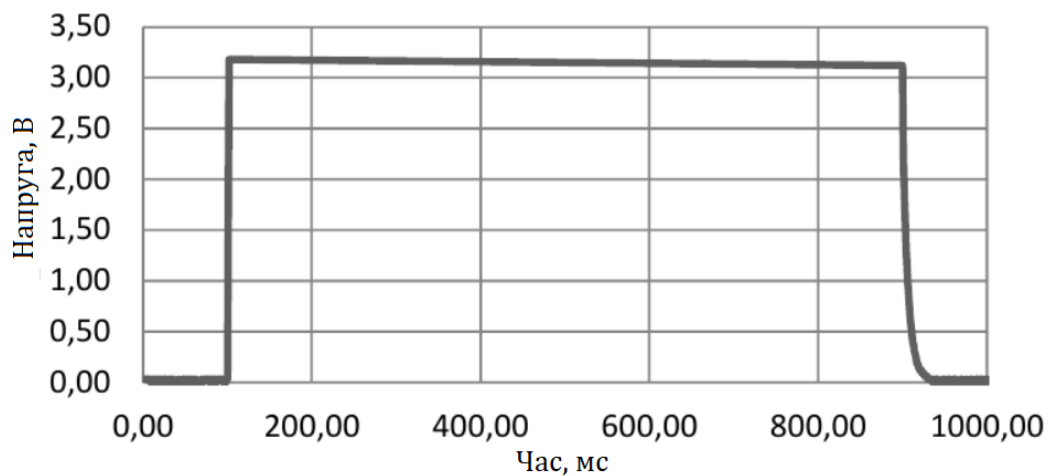


Рисунок 2.3 – Зміна напруги на світлодіоді від часу при температурі р-п переходу 85 °С, і струмі 700 мА

Тому була вибрана розрахункова тривалість імпульсу 500 мкс.

Для оцінки ступеня впливу температури р-п переходу на світловий потік світлодіода, були виміряні значення світлового потоку світлодіода в імпульсному режимі, при різних значеннях температур і струмів. На рис. 2.4 представлена залежність інтенсивності випромінювання світлодіода в імпульсному режимі, при різній температурі р-п переходу.

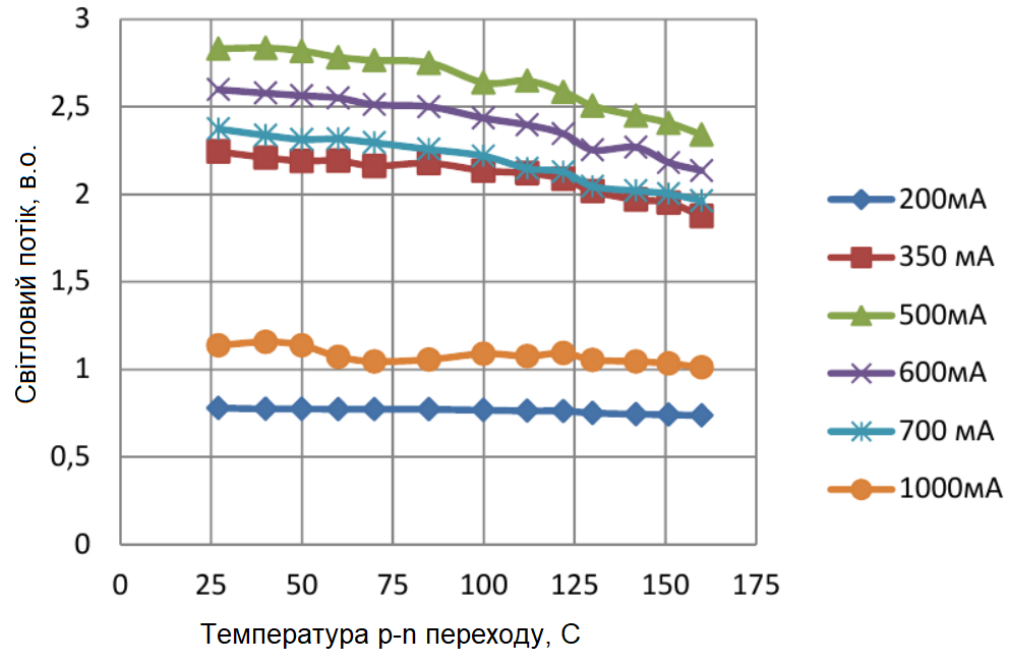


Рисунок 2.4 – Залежність світлового потоку від температури р-п переходу при струмах від 200 мА до 1000 мА

На рис. 2.5 представлена залежність світлового потоку СД при роботі в імпульсному режимі, від величини сили струму, при температурі р-п переходу 85°C.

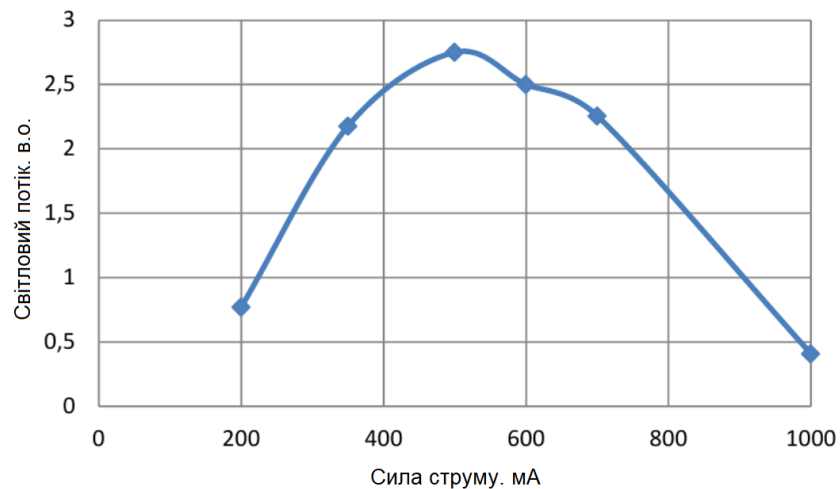


Рисунок 2.5 – Графік залежності світлового потоку від сили струму при температурі р-п переходу 85 °С.

У таблиці 2.1 представлені результати, зображені на рис. 2.4, і по ним розраховані, на скільки відсотків падає світловий потік для всіх струмів зі зміною температури р-n переходу.

Таблиця 2.1. Значення світлового потоку світлодіода при температурі р-n переходу 27 °С, 100 °С, 160 °С і струмах від 0,2 А до 1 А

I , мА	Φ_{27} , в.о.	Φ_{100} , в.о.	Φ_{160} , в.о.	Зниження світлового потіку при 100 °С (відносно 27 °С), %	Зниження світлового потіку при 160 °С (відносно 27 °С), %
200	0,78	0,76	0,74	2,56	5,12
350	2,24	2,13	1,87	4,91	16,5
500	2,83	2,63	2,34	7,06	17,3
600	2,6	2,43	2,13	6,53	18
700	2,37	2,21	1,96	6,75	17,3
1000	1,13	1,08	1,01	4,42	10,6

По таблиці 2.1 можна зробити наступний висновок, якщо в роботі світлодіода враховувати безпосередньо температуру р-n переходу, то її зростання від кімнатної 27 °С до робочої 100 °С, призводить до зниження світлового потоку в середньому на 6% для всіх вимірних струмів за винятком 200 мА, оскільки помічено, що при даному струмі з ростом температури відносний світловий потік змінюється несуттєво. При зростанні температури р-n переходу від кімнатної 27 °С до 160 °С, тобто коли світлодіод сильно перегрітий, значення світлового потоку знижуються в середньому на 17%. З цього випливає що, для отримання енергоефективного освітлювального приладу слід розробляти тепловідвід таким чином, щоб при експлуатації його в жаркому кліматі, температура р-n переходу не перевищувала значення 100 °С, оскільки тоді втрати мінімальні. Аналізуючи рис. 2.5 можна

зробити висновок про те, що при живленні імпульсним струмом світловий потік залежить в основному від сили струму світлодіода.

Для розрахунку споживаної світлодіодом потужності, використовуються значення напруги на світлодіоді, які також реєструються осцилографом при різних значеннях струму. Отримавши значення споживаної потужності світлодіода, можна обчислити світлову віддачу світлодіода в імпульсі.

На рис. 2.6 представлений графік залежності світлової віддачі від температури р-п переходу при його живленні імпульсним струмом.

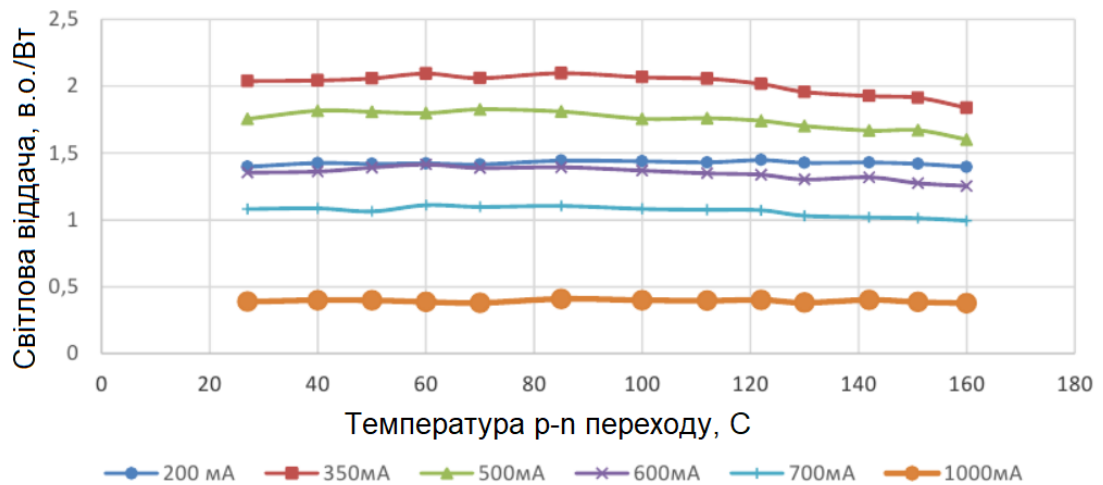


Рисунок 2.6 – Залежність світлової віддачі від температури р-п переходу при різних струмах

Аналізуючи залежність світлової віддачі світлодіода від температури р-п переходу, рис. 2.6, можна зробити висновок, що світлова віддача залежить виключно від сили струму світлодіода. Від 200 мА до 350 мА світлова віддача зростає, після 350 мА знижується. При струмі 200 мА значення світлової віддачі світлодіода практично збігається зі значеннями при струмі 600 мА, при цьому значення світлового потоку при струмі 600 мА в 3,25 рази вище, ніж при 200 мА.

2.2 Проблеми нагріву світлодіодів та шляхи їх вирішення

Температура переходу світлодіода грає важливу роль в проектуванні системи освітлення, тому що від неї залежать багато параметрів світлової віддачі. Це означає, що управління тепловими режимами повинна стати інтегральною частиною проектування системи освітлення на базі світлодіодів, що призводить до необхідності застосування різних технічних дисциплін в загальному процесі проектування. Відповідно в даний час стандартизація теплових показників має все більше значення як для виробників світлодіодів, так і для розробників систем освітлення. Крім того, на перший план виходить необхідність побудови комплексної моделі СД, тому що світловий вихід цих приладів залежить від таких параметрів як пряма напруга і струм, розсіювана потужність теплоти.

Розробнику системи на базі світлодіодів слід враховувати такі важливі характеристики як світловий потік і світлова віддача причому не лише початкові значення цих параметрів, але і їх величини після очікуваного терміну експлуатації системи. Проблема полягає в тому, що обидва ключові параметри не пов'язані лінійною залежністю з струмом і температурою. Отже, недостатньо вказувати в технічній документації дані про ці параметри лише при деякій допустимій температурі. З точки зору розробника, існуюча технічна документація має наступні недоліки:

- технічна документація не відображає експлуатацію приладу в реальних умовах, особливо це стосується робочої температури. Часто температура переходу специфікована при 25 °С, що є не зовсім коректно, тому що ефективність при максимальній номінальній потужності може бути знижена на 50%
- використання нестандартизованих одиниць вимірювань параметрів представляє труднощі навіть для досвідченого інженера;

- в деяких випадках на практиці використання виробником методу послідовного теплового опору не дозволяє отримати достовірні дані про теплові характеристики приладу.

2.3 Проектування радіаторів з оптимальними масогабаритними параметрами

Потужні напівпровідникові світлодіоди, які широко застосовуються в якості джерела випромінювання сучасних світлових приладів мають обмежену допустиму температуру р-n-переходів [17]. Зазвичай ці прилади дуже компактні і мають високий тепловий опір між корпусом приладу і навколишнім середовищем. Для забезпечення їх теплового режиму при значних рівнях потужності зазвичай використовують радіатори. Існує велика кількість радіаторів, що відрізняються типом ребрення (ребристі, штирові, дотові, гофровані) і формою основи (пластина, циліндр).

В [15] показано, що при оптимальному розподілі температури уздовж тепловідвідних елементів радіаторів можливе значне зменшення їх маси і габаритів. Можливість зменшення маси і об'єму ребристих радіаторів показана в [5, 6], однак оптимізація проводилася при заданій товщині ребер і, крім того, в використаних моделях не враховувався тривимірний характер температурного поля в основі радіатора. При розрахунку теплових режимів радіаторів використовувалися граничні умови 3-го роду і наближені значення для коефіцієнтів тепловіддачі.

Суттєве збільшення точності розрахунків можна отримати при використанні ресурсів інженерного проектування, що дозволяють моделювати розподіл температури в складних конструкціях пристроїв різного застосування. У поєднанні з алгоритмами оптимізації це відкриває шлях до розробки методів проектування радіаторів, які враховують будь-які конструктивні і технологічні обмеження.

2.3.1 Теплова модель ребристого радіатора

Побудова моделі радіатора в середовищі інженерного проектування поділяється на етапи:

- створення тривимірної моделі твердого тіла по заданих розмірах;
- завдання теплофізичних властивостей матеріалу радіатора і параметрів теплоносія;
- визначення меж області вирішення задачі, завдання початкових і граничних умов;
- побудова та оптимізація розрахункової сітки в межах області вирішення задачі.

При побудові моделі прийняті наступні припущення:

- не враховується шорсткість поверхні радіатора;
- розміри міжреберних ділянок, товщина і довжина всіх ребер однакові;
- в області контакту основи світлодіода і радіатора тепловий потік постійний;
- коефіцієнт теплопровідності матеріалу радіатора не залежить від температури.

Теплова модель ребристого радіатора, побудована з урахуванням прийнятих припущень, показана на рисунку 2.7. Моделювання проводилося в середовищі Siemens NX, модуль NX.

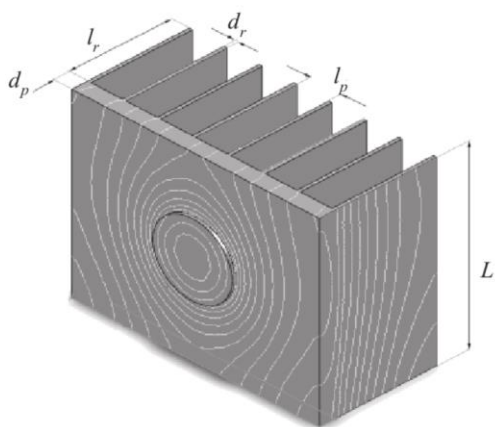


Рисунок 2.7 - Теплова модель ребристого радіатора: d_r, l_r - товщина і довжина ребра; l_p - відстань між ребрами; d_p - товщина підстави; L - ширина радіатора

Побудована модель дозволяла врахувати тривимірний характер температурного поля, що відображено на рисунку. Тут білими лініями показані ізотерми, чорними - область контакту світлодіода і підстави радіатора.

Для вирішення поставленої оптимізаційної задачі необхідна математична модель залежності теплового опору R_m радіатора від розмірів його елементів. Для її створення досліджувалася залежність між довжиною міжреберних ділянок і товщиною основи радіатора при заданих значеннях інших розмірів і величини теплового опору. Графік такої залежності показаний на рисунку 2.8, де заштрихована область відповідає параметрам, в якій забезпечується необхідний тепловий режим джерела світла.

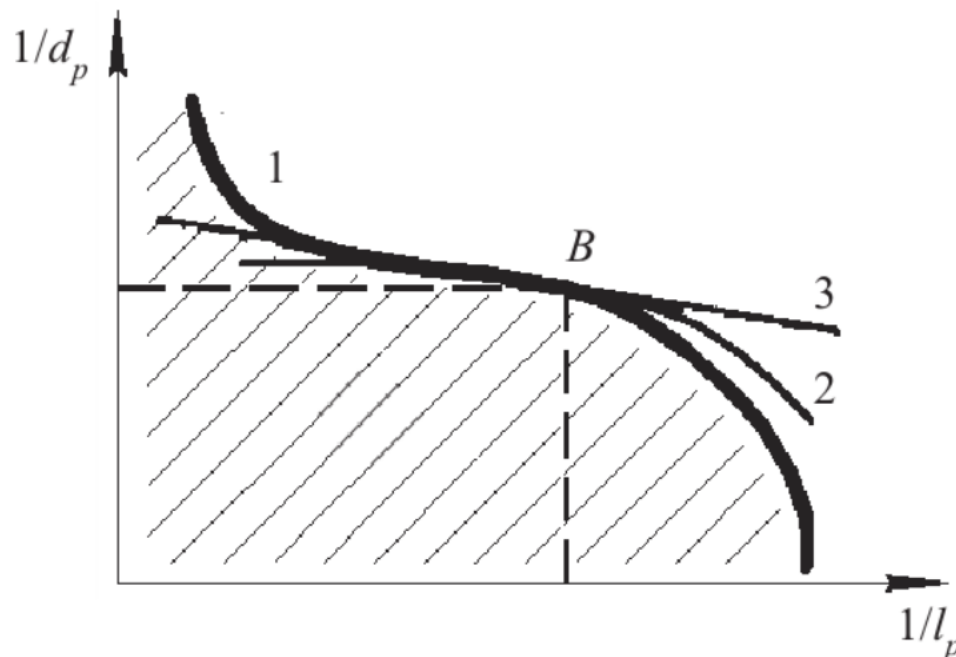


Рисунок 2.8 - Формування області в якій забезпечується необхідний тепловий режим джерела світла

Шукана математична модель при апроксимації границь області відповідності 1 еліпсоїдом 2 в граничній точці B має вигляд:

$$R_T = \sum_{i=1}^5 c_i x_i^2, \quad (2.1)$$

де c_i - коефіцієнти; $x_1 = 1/d_p$; $x_2 = 1/l_p$; $x_3 = 1/d_r$; $x_4 = 1/l_r$; $x_5 = 1/L$.

Коефіцієнти моделі c_i знаходилися з умови тотожності дотичних гіперплощин до гіперповерхні області працездатності та моделі (1). Рівняння дотичної гіперплощини до границь області працездатності (дотична 3 на рис. 2,8) може бути записано у вигляді

$$R_T = a_0 + \sum_{i=1}^5 a_i x_i, \quad (2.2)$$

де, $a_0 = R_{tb} - \sum_{i=1}^5 a_i x_{bi}$:

a_i - лінійні коефіцієнти розкладання функції R_T в ряд Тейлора, $a_i = \left. \frac{\partial R_T}{\partial x_i} \right|_{x_b}$;

x_{bi} - координати граничної точки області працездатності, $x_{bi} = \{x_{b1}, \dots, x_{bn}\}$;

R_{tb} - гранично-допустимий вхідний тепловий опір радіатора.

Коефіцієнти a_i знаходяться чисельним диференціюванням в процесі моделювання за допомогою засобів інженерного проектування. Порівняння виразів (2.1) і (2.2) дозволяє встановити зв'язок між коефіцієнтами a_i і c_i :

$$c_i = \frac{R_T}{R_T - a_0} \frac{a_i}{x_{bi}}. \quad (2.3)$$

Отримані співвідношення дозволяють однозначно встановити коефіцієнти еліпсоїдної моделі і можуть використовуватися при оптимізації розмірів елементів конструкцій радіатора з урахуванням стратегій оптимізації.

2.3.2 Оптимізація масогабаритних параметрів радіаторів

Оптимізацію масогабаритних параметрів ребристих радіаторів зазвичай проводять по стратегіях мінімізації маси (М-стратегія) і мінімізації об'єму (V-стратегія). М-стратегія може інтерпретуватися як стратегія мінімальної вартості, оскільки вона визначає витрати матеріалу. V-стратегію можна використовувати для оцінки якості тепловідводу, якщо вважати, що якість тепловідведення обернено пропорційна об'єму. Оптимальне співвідношення ціна/якість можна визначати, використовуючи масогабаритні показник у вигляді добутку маси радіатора на його об'єм (MV-стратегія).

Цільова функція М-стратегії оптимізації радіатора має вигляд

$$m = \rho L[(n-1)d_p l_p + n d_r l_r + n d_p d_r] \rightarrow \min,$$

де, ρ - густина матеріалу радіатора;

n - кількість ребер.

З урахуванням моделі (4.1) цільова функція набуває вигляду

$$m = \rho \frac{1}{x_5} \left(\frac{n-1}{x_1 x_2} + \frac{n}{x_3 x_4} + \frac{n}{x_1 x_3} \right) \rightarrow \max. \quad (2.4)$$

Оптимізаційна задача вирішуємо при обмеженні

$$R_T \leq R_{tb} \quad (2.5)$$

Розв'язок оптимізаційної задачі проводиться методом множників Лагранжа. Необхідність використання при цьому виразів (2.4) призводить до складної системи нелінійних рівнянь. Для спрощення процедури оптимізації використовується гіперболічна модель ваговій функції

$$G_a(x) = \sum_{i=1}^5 \frac{g_i}{x_i}. \quad (2.6)$$

Коефіцієнти g_i визначаються з умови паралельності дотичних гіперплощин до гіперповерхні (4) і (6).

$$b_i = \left. \frac{\partial m}{\partial x} \right|_{x=b}, \quad g_i = -b_i x_{bi}^2.$$

де b_i - лінійні коефіцієнти розкладання функції (4) в ряд Тейлора.

Допоміжна функція в методі множників Лагранжа для М-стратегії записується у вигляді:

$$L(\lambda) = \sum_{i=1}^5 \frac{g_i}{x_i} + \lambda \sum_{i=1}^5 c_i x_i^2. \quad (2.7)$$

Оптимальне значення параметрів досягається при

$$\frac{\partial L(\lambda)}{\partial x_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}$$

В результаті складаються рівняння виду

$$-\frac{g_i}{x_i^2} + 2\lambda c_i x_i = 0, \quad i = \overline{1, n} \quad (2.8)$$

Вирішення системи рівнянь (2.1) і (2.8) призводить до оптимальних при М-стратегії параметрів радіатора:

$$x_i = \sqrt[3]{\frac{g_i}{c_i}} \cdot \sqrt{\frac{R_{tb}}{\sum_{i=1}^5 \sqrt[3]{c_i \cdot g_i}}}, \quad i = \overline{1, n} \quad (2.9)$$

Цільова функція V-стратегії оптимізації радіатора має вигляд

$$V = L(l_r + d_p)(d_r n + l_p(n-1)) \rightarrow \min. \quad (2.10)$$

Використовуючи перетворення (2.6) - (2.8), можна також прийти до вираження (2.9). Це дозволяє використовувати в процедурах оптимізації маси і об'єму однакові оптимізаційні співвідношення. Відрізняються ці процедури тільки виразом для цільової функції.

Цільова функція MV-стратегії містить добуток маси і об'єму радіатора, що підвищує показники ступеня змінних. Це враховується в моделі ваговій функції.

$$G_a(x) = \sum_{i=1}^5 \frac{g_i}{x_i^2}, \quad (2.11)$$

де, $g_i = -0.5b_i x_{bi}^3$;

b_{bi} - лінійні коефіцієнти розкладання добутку функцій M і V в ряд Тейлора.

Тоді оптимальні розміри елементів конструкції радіатора в MV-стратегії встановлюються співвідношеннями

$$x_i = \sqrt[4]{\frac{g_i}{c_i} \cdot \frac{R_{tb}}{\sqrt[5]{\sum_{i=1}^5 \sqrt{c_i \cdot g_i}}}}, \quad i = \overline{1, n} \quad (2.12)$$

Розміри, визначені за допомогою співвідношень (2.9) і (2.12), залежать від положення граничної точки області працездатності. Тому оптимальні значення розмірів радіатора визначаються за наступним ітераційним алгоритмом.

1. Визначаються початкові розміри радіатора. Використовуються відомі процедури вибору та розрахунку радіаторів.
2. Визначаються параметри моделей (2.1), (2.2) і (2.6) або (2.11).
3. Визначаються оптимальні значення розмірів елементів конструкції радіаторів з використанням виразів (2.9) або (2.12).

4. Перевіряється умова $\frac{R_T^{(i)} - R_{tb}}{R_{tb}} \leq \varepsilon$,

де ε - задана похибка розрахунків. Якщо умова не виконується, то - перехід на крок 2. Інакше - кінець алгоритму.

Запропонований алгоритм дозволяє проектувати ребристі радіатори з однаковими розмірами однотипних елементів конструкції. такі радіатори використовуються для спрощення технологічного процесу їх виготовлення. При цьому розроблений алгоритм є універсальним в тому сенсі, що можуть бути зняті або введені обмеження на будь-які розміри елементів конструкції. При цьому змінюється тільки кількість змінних n . Алгоритм може використовуватися і при

проектуванні інших типів радіаторів, наприклад пластинчато-штиркових і радіаторів з циліндричними ребрами. Особливості цих радіаторів враховуються в виразах для вагових функцій.

2.4 Вибір схеми живлення світлодіодного модуля

В результаті дослідження необхідно визначити залежність енергетичних показників від різних параметрів схеми і підібрати такі значення елементів схеми, при яких досягаються максимальний ККД і коефіцієнта потужності. Щоб майбутнє джерело живлення для світлодіодів був конкурентним потрібно забезпечити коефіцієнт потужності не менше 0,99, а ККД - не менше 92%.

Навантаженням такого джерела є світлодіодний модуль. Світлодіодний модуль складається з двадцяти плат, з'єднаних послідовно, на кожній з яких розташовано сорок вісім світлодіодів XLamp XD16 виробника CREE. У кожній частині світлодіоди встановлені за схемою: шість паралельних групи по вісім послідовних діодів. Для нормального функціонування світлодіодного модуля вихідні характеристики світлодіодного джерела живлення: струм і потужність - повинні відповідати параметрам цього модуля, а саме: вихідний струм джерела повинен бути рівний струму модуля, а його максимальна вихідна потужність - більше потужності цього світлодіодного модуля. Максимальний струм, який можна пропустити через світлодіоди XLamp XD16 - 1,2 А. При струмі 0,5 А на світлодіоді падає напруга близько 2,88 В. Загальна напруга всього модуля складе 276,5 В, струм 3 А, а потужність - 830 Вт, тобто джерело живлення для даного світлодіодного модуля на виході повинен видавати струм 3 А, а його максимальна потужність повинна бути не менше 830 Вт. для надійної роботи пристрою його необхідно «не довантажувати», тому розраховане джерело живлення світлодіодів матиме максимальну потужність до 900 Вт.

Для забезпечення високого коефіцієнта потужності імпульсне джерело живлення має містити коректор коефіцієнта потужності. Як було сказано вище, схеми корекції бувають активними і пасивними. Пасивні схеми прості і дешеві, але вони не можуть дати високий коефіцієнт потужності, тому в запропонованому пристрої будемо використовувати схему з активною корекцією.

Найбільш популярною топологією для активного коректора коефіцієнта потужності є підвищувальний перетворювач, тому що його схема відносно проста і здатна забезпечити безперервний режим вхідного струму.[19]

Схема управління підвищувача, що регулює коефіцієнт потужності, буде складніше, ніж у звичайного перетворювача, якому необхідно лише підтримувати вихідну напругу на заданому рівні. Задачею коригуючого коефіцієнта потужності перетворювача є зменшення до нуля зсуву фази між споживаним струмом і напругою в мережі (максимальне зниження індуктивного і ємнісного складових навантаження джерела живлення) при збереженні синусоїдальної форми струму.

З розглянутих схем управління найбільший інтерес представляє схема управління по середньому струму. При такому управлінні мало виражені вищі гармоніки в джерелі і незначні пульсації на виході. Схема управління по середньому струмові стійка до комутаційних перешкод.

2.5 Теоретичний аналіз процесів і попередній розрахунок схеми джерела живлення СД

Детально розглянемо процеси, що відбуваються в підвищувальному перетворювачі (рис 2.9). При цьому будемо враховувати активний опір обмотки індуктивного елемента, опір ключа у відкритому стані, диференціальний опір діода в прямому включенні.

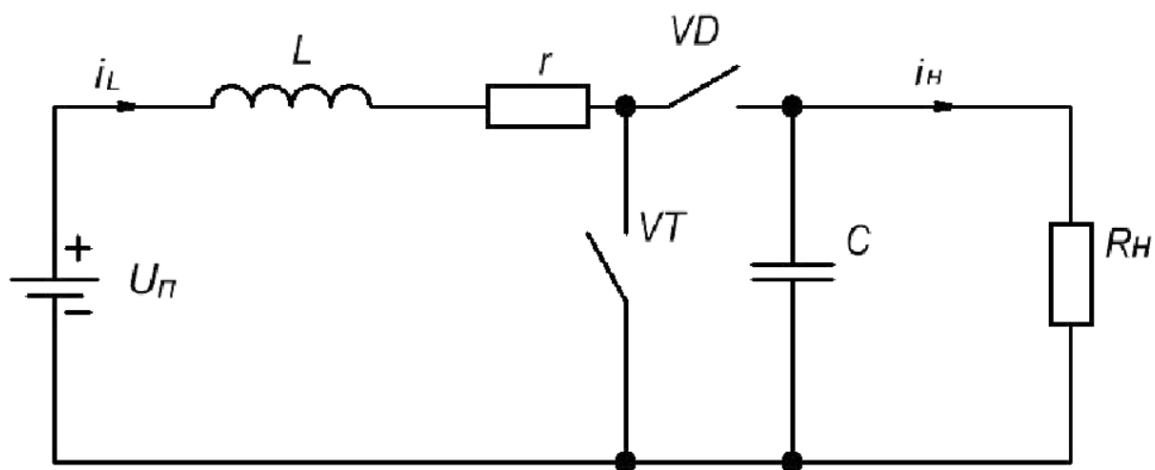


Рисунок 2.9 – Схема підвищуючого перетворювача

Нехтуючи різницю прямих опорів діода і транзистора і додавши їх до опору дроселя. Сума паразитних опорів на схемі позначено літерою r , а силовий транзистор і діод зображені у вигляді ключів. На рис 2.10 наведено діаграми, що відображають роботу підвищувального перетворювача.

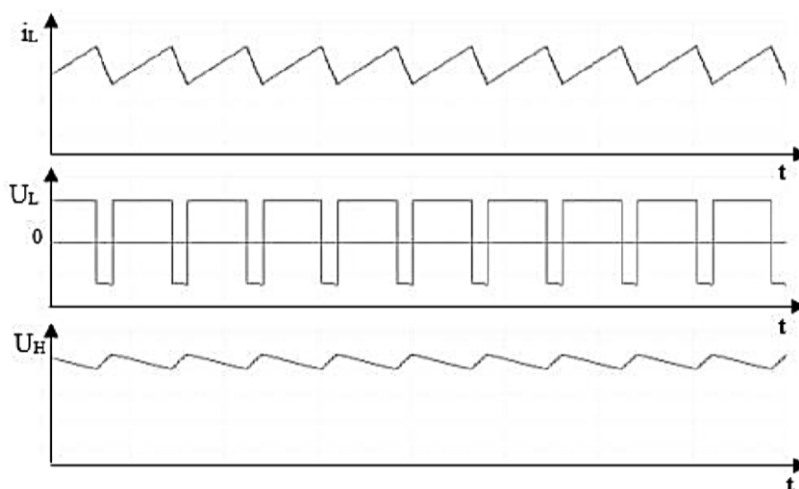


Рисунок 2.10 – Часові діаграми підвищуючого перетворювача

Після подачі напруги відкривається транзистор. Потенціал правого (рис 2.11) виводу дроселя близький до нуля, тому діод закритий, і струм від джерела в навантаження не надходить. Так як конденсатор не заряджений, струм буде протікати тільки в одному контурі. На даному етапі відбувається накопичення енергії в дроселі, що відбирається від джерела вхідної напруги. Цей процес супроводжується зростанням струму дроселя i_L .

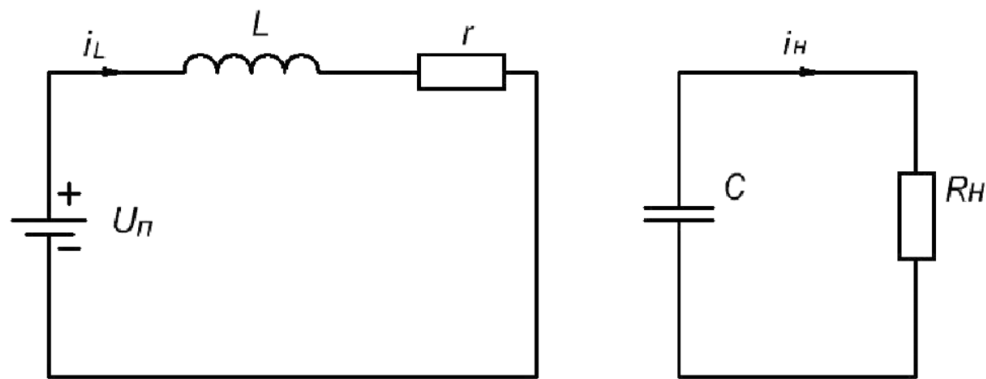


Рисунок 2.11 – Етап накопичення енергії в дроселі

Процеси, що відбуваються на даному етапі, можна описати наступним рівнянням:

$$L \frac{di_L(t)}{dt} = U_n(t) - i_L(t) \cdot r, \quad (2.13)$$

де L - індуктивність дроселя,

U_n - напруга живлення.

На даному етапі струм дроселя зростає до тих пір, поки його значення не перевищить опорне значення струму, яке формується системою управління. Як тільки струм дроселя перевищить опорне значення, транзистор вимикається, і струм i_L через відкритий діод почне заряджати конденсатор, а енергія, в дроселі, буде віддаватися в навантаження R_n (рис. 2.12)

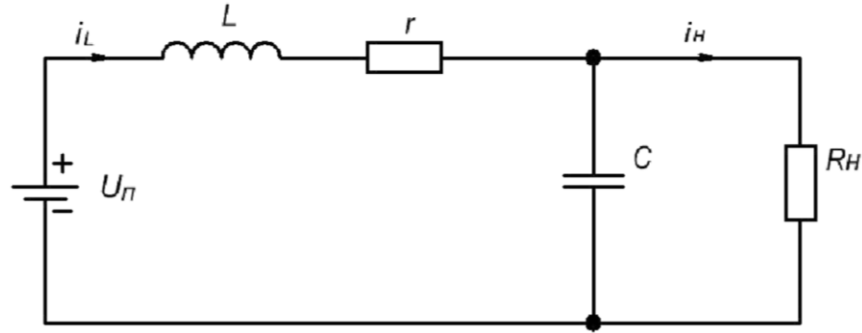


Рисунок 2.12 – Етап передачі енергії дроселя в навантаження

Для цього етапу запишемо наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} U_n(t) + L \frac{di_L(t)}{dt} &= U_n(t) + i_L(t) \cdot r, \\ C \frac{dU_n(t)}{dt} + \frac{dU_n(t)}{R_n} &= i_L(t), \end{aligned} \quad (2.14)$$

де C - ємність вихідного конденсатора,

U_n - вихідна напруга.

Відкривання ключа відбудеться лише при перетині струмом дроселя кривої заданого (опорного) струму. Коли транзистор відкриється знову, відбуватимуться електромагнітні процеси, що описуються наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} L \frac{di_L(t)}{dt} &= U_n(t) - i_L(t) \cdot r, \\ C \frac{dU_n(t)}{dt} &= \frac{U_n(t)}{R_n}. \end{aligned} \quad (2.15)$$

На даному етапі навантаження буде отримувати енергію від зарядженого конденсатора. Далі процеси повторюються.

Якщо позначити напівпровідникові елементи через комутаційні функції ψ_1 і ψ_2 (причому $\psi_1 + \psi_2 = 1$), то отримаємо такі рівняння:

$$L \frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t)r = U_n(t) - \psi_2 U_n(t),$$

$$C \frac{dU_n(t)}{dt} + \frac{U_n(t)}{R_n} = \psi_2 i_L(t).$$
(2.16)

Запишемо систему рівнянь для схеми в усталеному режимі (замінімо $\psi_2 = t_2 / T$ і всі похідні змінних прирівняємо до нуля):

$$i_L r = U_n - \frac{t_2}{T} U_n,$$

$$\frac{U_n}{R_n} = \frac{t_2}{T} i_L,$$
(2.17)

де, t_2 - час вимкненого стану транзистора.

Об'єднаємо рівняння системи, виразивши через $D = 1 - t_2 / T$, і отримаємо наступне:

$$U_n = U_n \frac{1 - D}{\frac{r}{R_n} + (1 - D)^2}.$$
(2.18)

Рівняння 2.18 - регулювальна характеристика перетворювача. На рис.2.13 представлено сімейство регулювальних характеристик.

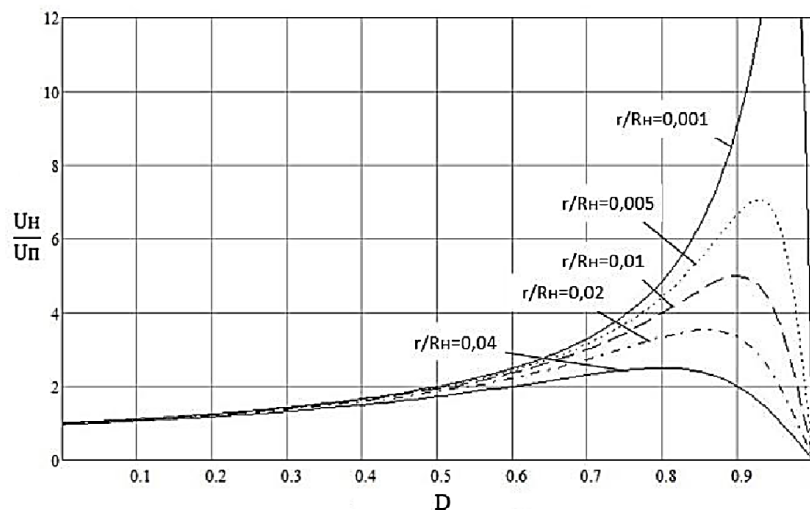


Рисунок 2.13 – Графіки регулювальних характеристик підвищувального перетворювача

Як видно з рисунку, при збільшенні часу включеного транзистора t_1 підвищується вихідна напруга щодо вхідної лише до певного значення D , потім регульовальна характеристика починає падати. Це пояснюється тим, що падіння напруги на паразитному опір не може бути скомпенсоване наростанням струму в індуктивності.

Об'єднаймо систему рівнянь (2.16), замінимо $\psi_2 = \frac{t_2}{T} = (1-D)$ і отримаємо наступне диференціальне рівняння:

$$LC \frac{d^2 U_n(t)}{dt} + \frac{L}{R_n} + rC \frac{dU_n(t)}{dt} + \frac{r}{R_n} + 1 - D^2 U_n(t) = 1 - DU_n(t). \quad (2.19)$$

Знайдемо корені характеристичного рівняння:

$$y^2 + \left(\frac{1}{R_n C} + \frac{r}{L} \right) y + \frac{1}{LC} \frac{r}{R_n} + 1 - D^2 = 0, \quad (2.20)$$

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2} \frac{1}{R_n C} + \frac{r}{L} \pm \sqrt{\frac{1}{4} \frac{1}{R_n C} + \frac{r^2}{L} - \frac{1}{LC} + \frac{r}{R_n} + 1 - D}. \quad (2.21)$$

Варто зазначити, що негативний доданок під коренем при реальних параметрах схеми буде значно перевищувати перший доданок, тому корені характеристичного рівняння завжди будуть комплексно-спряженими. Також можна помітити, що в дійсній частині коренів доданок на порядки більше доданка $1/R_n C$, тому останнім можна знехтувати. В результаті отримуємо наступне:

$$p_{1,2} \approx -\frac{1}{2} \frac{r}{L} \pm j \sqrt{\frac{1}{LC} \frac{r}{R_n} + 1 - D^2}. \quad (2.22)$$

Досліджувана схема являє собою коливальний контур з добротністю Q :

$$Q = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C} \frac{r}{R_n} + 1 - D^2}. \quad (2.23)$$

Добротність показує у скільки разів напруга на ємності при резонансі має бути більша, ніж напруга живлення, іншими словами, вона визначає відношення напруги на навантаженні до напруги живлення.

Об'єднаємо рівняння (2.19) і (2.14) і отримаємо рівняння для індуктивності дроселя:

$$L = \frac{(1-D)^2 r^2 C}{\left(\frac{r}{R_n} + 1 - D^2\right)^3}. \quad (2.24)$$

Значення ємності вихідного конденсатора можна розрахувати двома способами, ґрунтуючись або на необхідності підтримки вихідної напруги в фазі накопичення енергії в дроселі, коли навантаження відключена від мережі, або на заданому коефіцієнті пульсацій вихідної напруги по другій гармоніці. У першому випадку значення ємності знаходиться наступним чином:

$$C = \frac{2P_n \Delta t}{U_n^2 - U_{n \min}^2}, \quad (2.25)$$

де Δt - час, протягом якого необхідно підтримувати вихідну напругу на рівні не менше $U_{n \min}$ після відключення навантаження від мережі. Вважається, що протягом часу t значення потужності навантаження P_n не змінюється.

Значення вихідного конденсатора можна знайти через заданий коефіцієнт пульсацій:

$$C = \frac{P_{ex}}{2\pi f_{ex} U_n^2 K_n}, \quad (2.26)$$

де, f_n - вхідна частота коректора, або частота напруги живлення,

P_{ex} - активна вхідна споживана потужність.

Коефіцієнт пульсацій K_n - це відношення амплітуди другої гармоніки напруги на вихідному конденсаторі до вихідній напруги.

Тепер виконаємо попередній розрахунок схеми активного коректора коефіцієнта потужності, побудованого на основі підвищувального перетворювача. Джерелом постійної напруги джерелом для активного ККП є вихідна напруга випрямляча. Вхідною для випрямляча є напруга в електромережі. Діюче значення напруги 220 В.

Вважаючи мінімальний ККД рівним $\eta_{\min} = 0.92$, розрахуємо максимальну вхідну потужність:

$$P_{\text{ex max}} = \frac{P_n}{\eta_{\min}} = \frac{900}{0.92} = 978.26 \text{ (Вт)}. \quad (2.27)$$

Тепер знайдемо максимальне діюче значення струму мережі живлення, вважаючи, що $\cos \varphi = 1$:

$$I_{\text{ex max}} = \frac{P_{\text{ex max}} \cos \varphi}{U_c \lambda} = \frac{978.26}{220 \cdot 0.99} = 4.49 \text{ (А)}, \quad (2.28)$$

а також максимальне амплітудне значення струму мережі:

$$I_{\text{ex max}} = \sqrt{2} I_{\text{ex max}} = \sqrt{2} \cdot 4.49 = 6.35 \text{ (А)}. \quad (2.29)$$

Вважаючи, що струм за півперіод мережі синусоїдальний, знайдемо максимальне середнє значення вхідного струму:

$$I_{\text{ex.cp max}} = \frac{\pi}{2} I_{\text{ex.max}} = \frac{\pi}{2} 6.35 = 4.04 \text{ (А)}. \quad (2.30)$$

Пульсації вихідної напруги не повинні перевищувати 5 В, отже, коефіцієнт пульсацій K_n складе 1,67%. Розрахуємо значення ємності вихідного конденсатора за формулою (2.26), прийнявши $K_n = 0.0167$:

$$C = \frac{P_{\text{ex}}}{2\pi f_{\text{ex}} U_n^2 K_n} = \frac{978.26}{2\pi \cdot 50 \cdot 48400 \cdot 0.0167} = 2.07 \text{ (мФ)}. \quad (2.31)$$

Опір навантаження R_n становить 100 Ом. Сумарний опір r включає в себе паразитний опір транзистора і діода $r_{VD,VT}$ і паразитний опір дроселя r_L . Прийmemo значення $r = 0,4$ Ом. Значення індуктивності дроселя можна знайти за рівнянням

(2.24). Але спочатку визначимо значення коефіцієнта D . Згідно рис.2.22, якщо $U_n / U_{cp} = 1,5$, $r / R_n = 0,004$, тоді $D = 0.339$. Таким чином, індуктивність дроселя становитиме:

$$L = \frac{(1-D)^2 r^2 C}{\left(\frac{r}{R_n} + 1 - D^2\right)^3} = \frac{(1-0.339)^2 \cdot 0.4^2 \cdot 2.07 \cdot 10^3}{\left(\frac{0.4}{100} + 1 - 0.339^2\right)^3} = 1.69 \text{ (мГн)} \quad (2.32)$$

Виконаний розрахунок елементів схеми дозволяє перейти до дослідження математичної моделі пристрою, в результаті якого скоректуються елементи схеми для отримання найбільш кращих характеристик. Дослідження математичної моделі зручно проводити в програмному середовищі MATLAB.

2.6 Висновки до розділу

1. Дослідження р-п переходу світлодіода показали, що при нагріванні від 25 °С до 100 °С, інтенсивність випромінювання знижується на 6%, а при нагріванні від 25 °С до 160 °С на 17%, тобто зі збільшенням температури інтенсивність випромінювання змінюється нелінійно. Таким чином слід вважати температуру р-п переходу світлодіода до 100 °С оптимальною для досягнення найбільшої енергоефективності світлового приладу.

2. Ефективність випромінювання світлодіода залежить від сили струму, тому для отримання найбільш енергоефективного світлового приладу слід живити світлодіод струмом 350-700 мА, при більш високих струмах використання світлодіодів є нерациональним, з огляду на невелику енергоефективності.

3. Запропоновано теплову модель радіатора системи охолодження світлодіодного світильника та критерії мінімізації його масогабаритних показників. Показано, що запропоновані стратегії мінімізації дозволяють зменшити масу радіатора в 2,5 рази у порівнянні з готовими технічними рішеннями.

4. Для підвищення ККД джерела живлення світлодіодів необхідно зменшувати кількість перетворюючих елементів, а також використовувати швидкодіючі транзисторні ключі з мінімальним внутрішнім опором, мікросхеми з малим струмом споживання і мінімально можливим значенням опорної напруги.

РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розробка математичної моделі джерела живлення світлодіодів

У програмному середовищі MATLAB побудували схему перетворювача з активною корекцією коефіцієнта потужності. Всі вузли і елементи, які містить ця схема, реалізовані в MATLAB за допомогою структурно-функціональних і віртуальних блоків.

Дана схема включає в себе силову частину і систему керування. На вході схеми підключене джерело синусоїдальної напруги.

Силова частина складається з випрямного блоку і підвищуючого перетворювача рис.3.1.

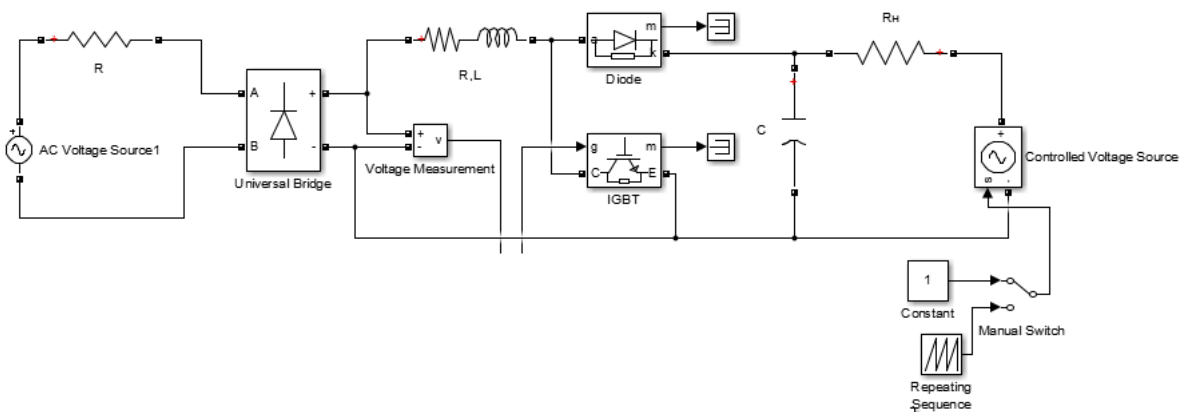


Рисунок 3.1 – Силова частина моделі

Випрямний блок являє собою діодний міст. Підвищуючий перетворювач складається з накопичувального дроселя, силового діода, конденсатора і ключа-транзистора. Даний перетворювач виконує функцію активної корекції коефіцієнта потужності.

Щоб відбувалася корекція, необхідно певним чином керувати ключем-транзистором. Керуючі імпульси формуються системою керування, яка містить

блок формування опорної кривої струму дроселя, блок вимірювання характеристик схеми, блок формування імпульсів керування ключем-транзистором і блок регулювання вихідного струму. Дана система керування реалізує алгоритм керування «струмовий коридор».

Блок формування опорної кривої струму I_d^* представлений на рис.3.2. Як видно з малюнка, вихідна напруга випрямляча ділиться на максимальне значення напруги мережі і перемножується на розраховане максимальне значення опорного струму I_{\max}^* . Далі отриманий сигнал множиться на коефіцієнт, що формується блоком регулювання вихідного струму.

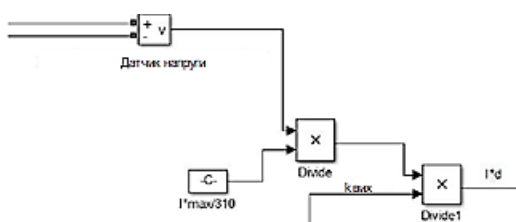


Рисунок 3.2 – Блок формування опорного струму дроселя

Для регулювання струму навантаження I_n в модель додано блок, який буде контролювати значення цього струму рис.3.3.

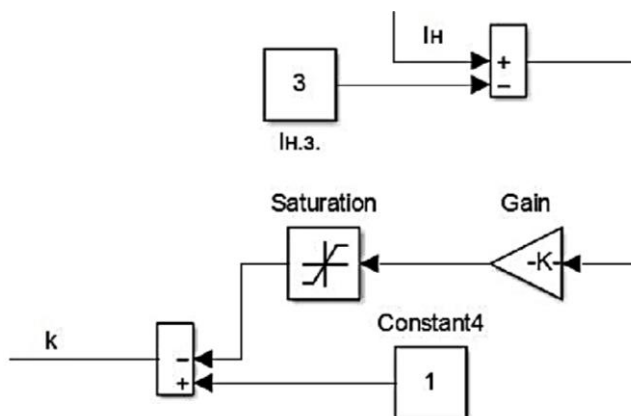


Рисунок 3.3 – Блок регулювання струму навантаження

Блок формування імпульсів керування ключем-транзистором включає в себе релейний регулятор, який відстежує різницю між опорним струмом і вимірним струмом дроселя I_L , і тригер, який в залежності від сигналу на вході формує сигнал логічної одиниці або нуля рис.3.4. Сформований тригером сигнал керує ключем-транзистором.

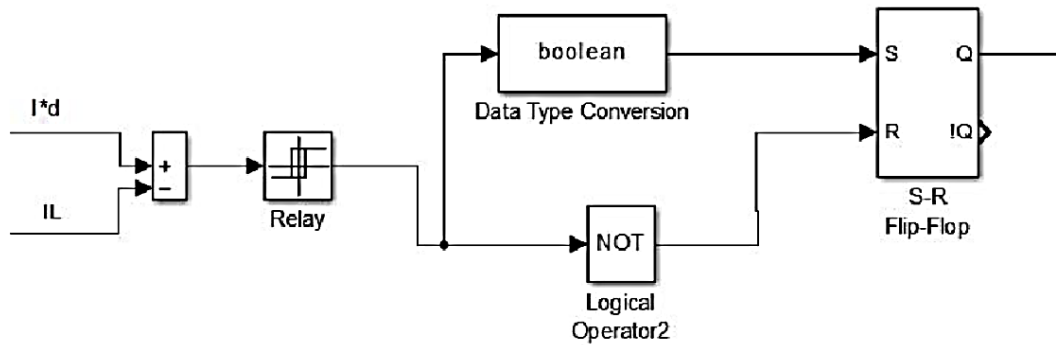


Рисунок 3.4 – Схема керування ключем-транзистором

У модель додали блок вимірювання коефіцієнта потужності і ККД, а також вхідних і вихідних характеристик пристрою, таких як струм дроселя I_L , вихідна напруга $U_{вих}$, струм навантаження I_H , вхідний струм I_{ex} і вхідна напруга U_{ex} рис.3.5.

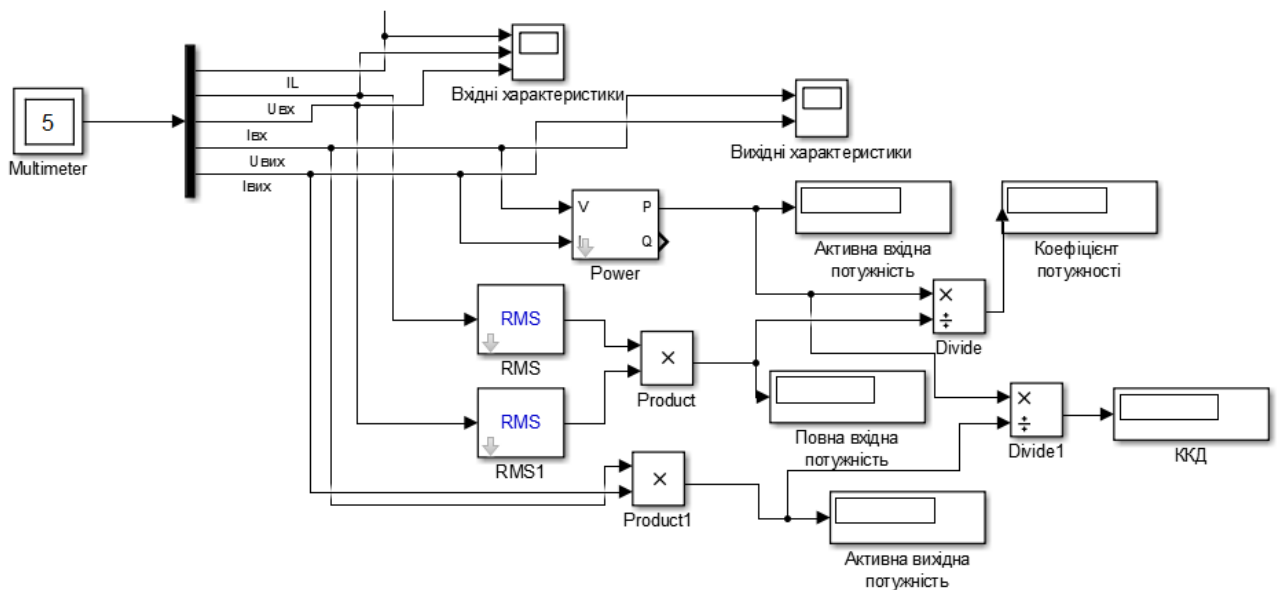


Рисунок 3.5 – Блок вимірювання

Дана віртуальна модель дає можливість досліджувати електромагнітні процеси, що відбуваються в імпульсному перетворювачі з ККМ, також вона дозволяє визначити вплив різних параметрів схеми на основні енергетичні показники пристрою.

3.2 Дослідження математичної моделі

Промодельовавши схему перетворювача з попередньо розрахованими параметрами, були отримані наступні характеристики схеми: ККД =90.59% і коефіцієнта потужності склав 0.9976.

Часова діаграма споживаного схемою струму представлена на рис.3.6 З цієї діаграми видно, що вхідний струм має форму, близьку до синусоїдальної. На рис.3.7 представлена діаграма напруги.

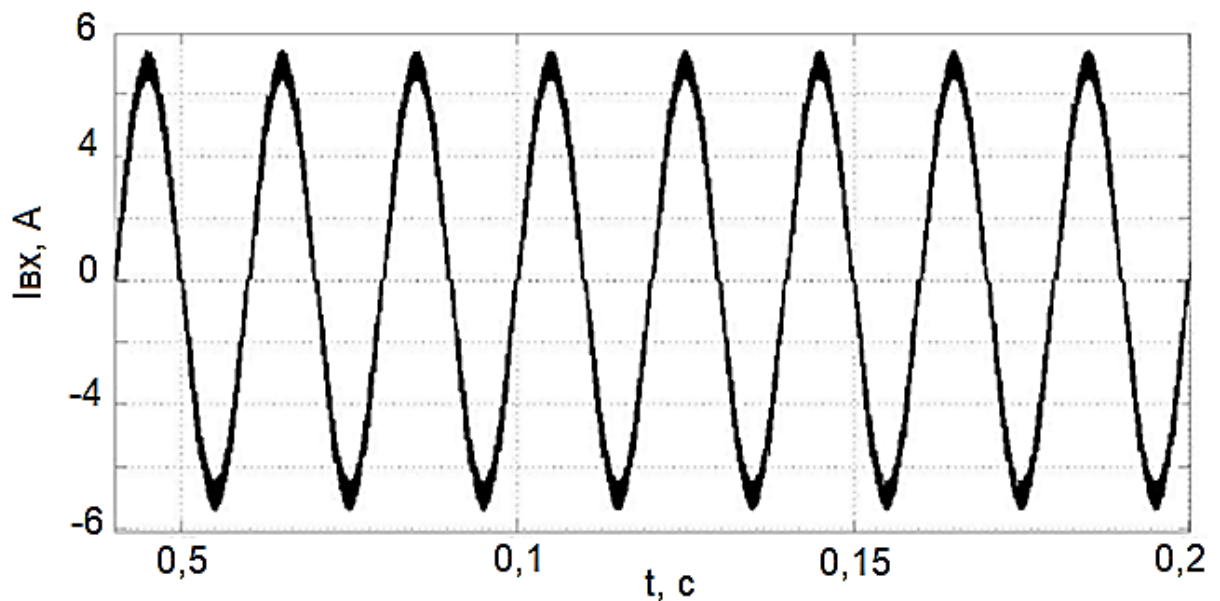


Рисунок 3.6 – Осцилограми вхідного струму

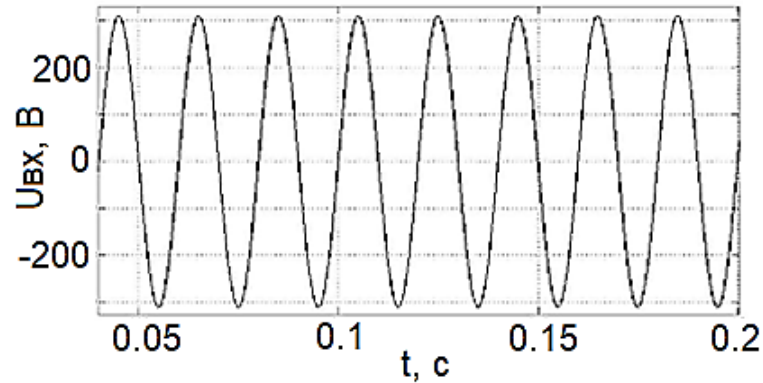


Рисунок 3.7 – Осцилограма вхідної напруги

Після порівняння графіків було відзначено, що фазовий зсув між вхідним струмом і напругою практично відсутній. На рис.3.8 представлений спектральний склад споживаного струму, звідки видно, що сумарний коефіцієнт гармонійних складових THD склав 6,83%. Коефіцієнт THD визначається відношенням середньоквадратичного значення суми всіх гармонійних складових до середньоквадратичного значення основної складової [26]. Даний коефіцієнт характеризує ступінь спотворення форми струму.

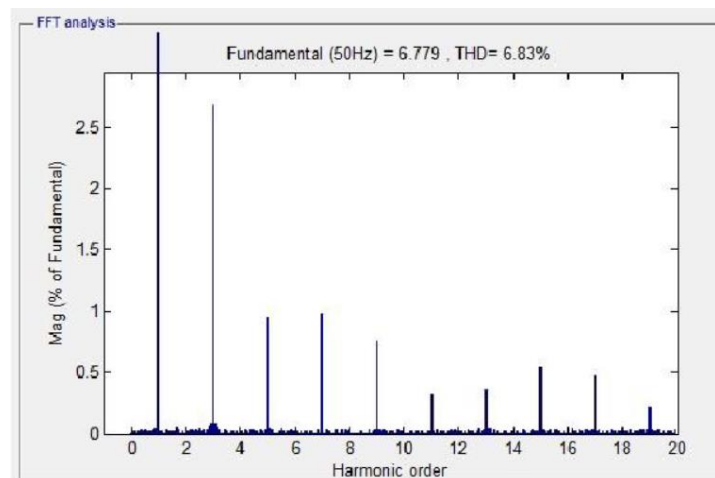
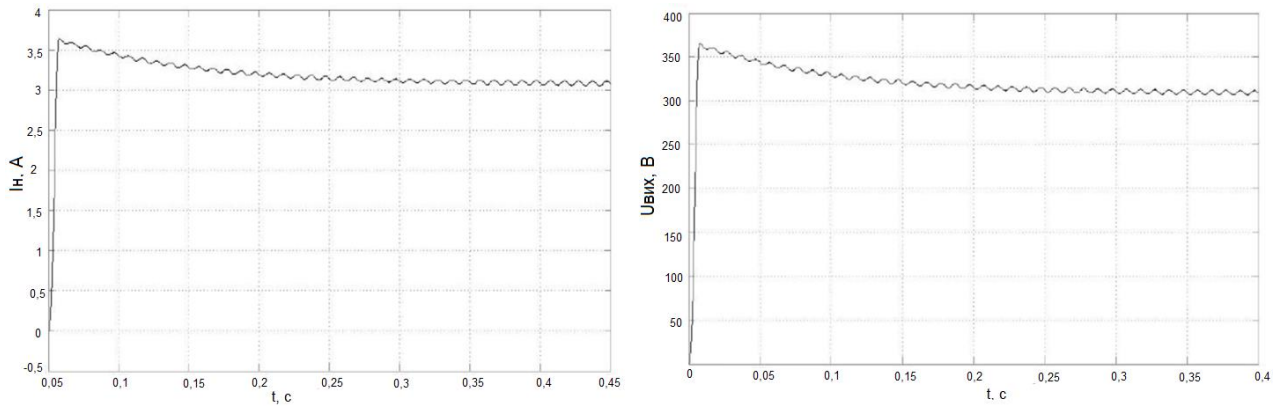


Рисунок 3.8 – Гармонічний склад вхідного струму

На рис.3.8 представлені часові діаграми вихідного струму і напруги.



а)

б)

Рисунок 3.8 – Осцилограма вихідного струму (а), та напруги (б)

Як видно з рисунка, середнє значення вихідного струму трохи більше заданого. Для отримання заданого значення середнього вихідного струму, необхідно скорегувати розраховане максимальне значення опорного струму.

Результати дослідження залежності середнього значення вихідного струму, а також коефіцієнта потужності і ККД від максимального значення опорного струму, занесли в таблицю 3.1.

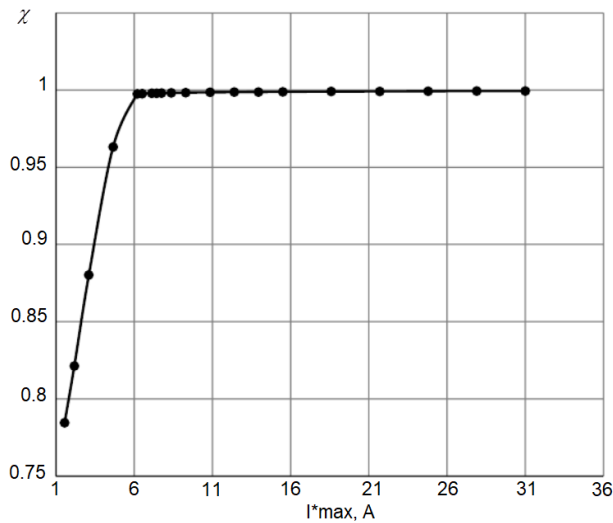
Таблиця 3.1 - Результати досліджень залежності енергетичних і вихідних параметрів від максимального значення опорного струму

Максимальне значення опорного струму I_{\max}^* , А	Коефіцієнт потужності χ .	ККД η	Середнє значення вихідного струму $I_{н.ср}$, А
1,55	0,7846	0,9009	2,888
2,17	0,8213	0,9013	2,8975
3,1	0,8813	0,9019	0,9165
4,65	0,9632	0,9028	0,9485
6,2	0,8876	0,9052	3,0485
6,51	0,9977	0,906	3,11225
7,13	0,998	0,9063	3,2365
7,44	0,998	0,9065	3,296

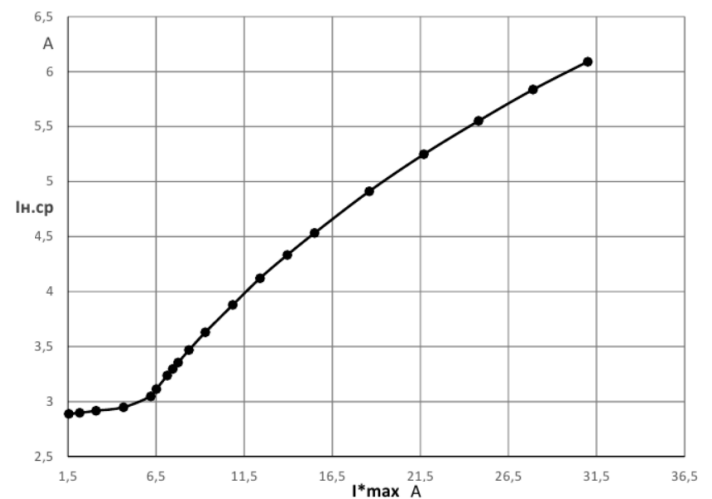
Продовження таблиці 2.1.

7,75	0,9981	0,9068	3,355
8,35	0,9982	0,9076	3,4685
9,3	0,9984	0,9080	3,631
10,85	0,9986	0,9089	3,8785
12,4	0,9987	0,9091	4,1215
13,98	0,9988	0,9089	4,3335
15,5	0,9989	0,9077	4,533
18,6	0,9991	0,9062	4,912
21,7	0,9991	0,9043	5,2485
24,8	0,9993	0,9019	5,5515
27,9	0,9994	0,8995	5,8365
31	0,9994	0,8969	6,091

На основі даної таблиці побудували графіки залежності коефіцієнта потужності, ККД і середнього значення вихідного струму від максимального значення опорного струму рис.3.9, рис. 3.10.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Залежності коефіцієнта потужності (а) та середнього значення струму (б) від максимального значення опорного струму

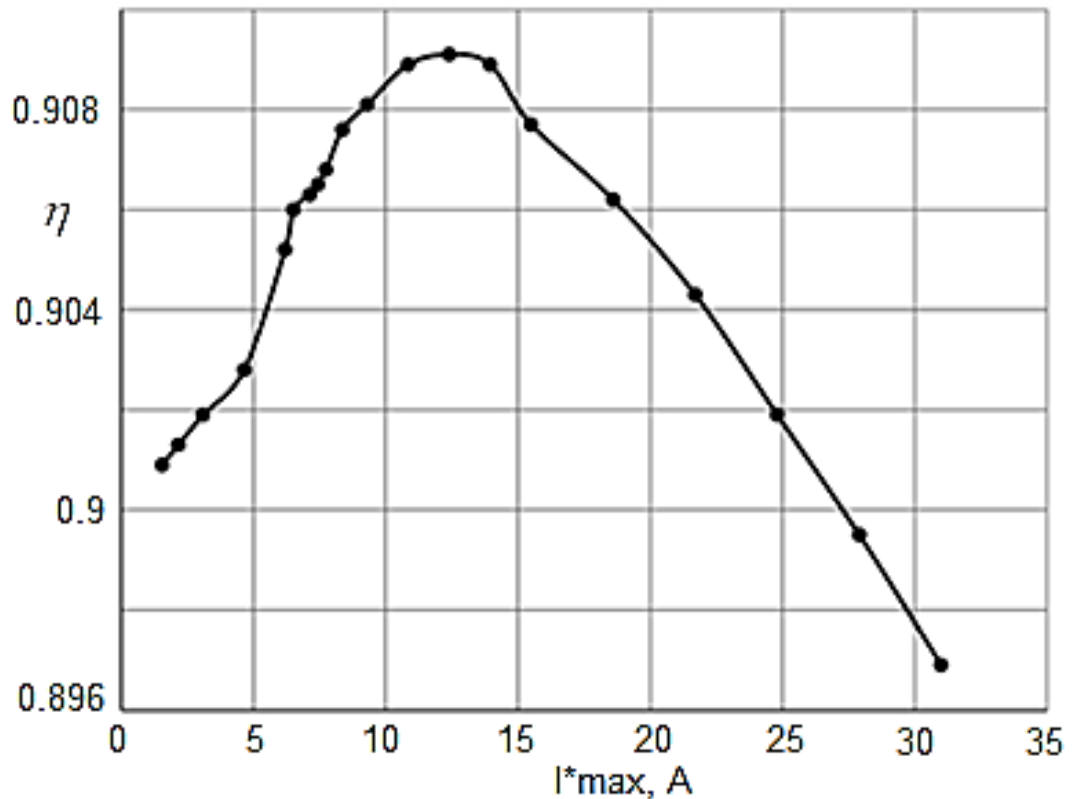


Рисунок 3.10 – Графік залежності ККД від максимального значення опорного струму

З результатів можна побачити, що середнє значення вихідного струму зростає зі збільшенням значення опорного струму, коефіцієнт потужності також зростає, поки опорний струм не досягне значення 6,5 А, а потім практично не змінюється. ККД спочатку підвищується, а потім, після значення опорного струму 12,4 А починає зменшуватися. Незважаючи на більш високі значення ККД при максимальному значенні опорного струму 12,4 А, ми не можемо розглядати даний діапазон, так як середнє значення вихідного струму починає перевищувати задане значення. Раніше було визначено, що вихідний струм повинен становити 3 А. Згідно таблиці 3.1 і рисунку 3.9б для подальшого дослідження скорегували значення максимального опорного струму до 6,2 А.

Тепер проведемо дослідження залежність коефіцієнта потужності і ККД від значення індуктивності дроселя.

Значення індуктивності міняли в діапазоні від 0.5 до 90 мГн. Отримані результати досліджень занесли в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати досліджень залежності енергетичних параметрів від значення індуктивності дроселя

Значення індуктивності дроселя L , мГн	Коефіцієнт потужності χ .	ККД η	Значення індуктивності дроселя L , мГн	Коефіцієнт потужності χ .	ККД η
0,5	0,9863	0,8652	4	0,9986	0,9163
1	0,9946	0,8921	5	0,999	0,9175
1,4	0,9968	0,9031	10	0,9993	0,9185
1,5	0,9971	0,9034	15	0,9994	0,9203
1,6	0,9974	0,9046	20	0,9994	0,9215
1,8	0,9979	0,9066	30	0,9999	0,9215
1,85	0,9979	0,9075	40	0,9985	0,9244
1,95	0,998	0,9079	50	0,9976	0,9264
2	0,9981	0,9079	60	0,9961	0,9269
2,5	0,9985	0,908	70	0,9937	0,9294
3	0,9986	0,9113	80	0,9905	0,9305
3,5	0,9986	0,9141	90	0,9865	0,9324

На основі даної таблиці побудували графіки залежності коефіцієнта потужності і ККД від значення індуктивності дроселя рис.3.10, рис.3.11.

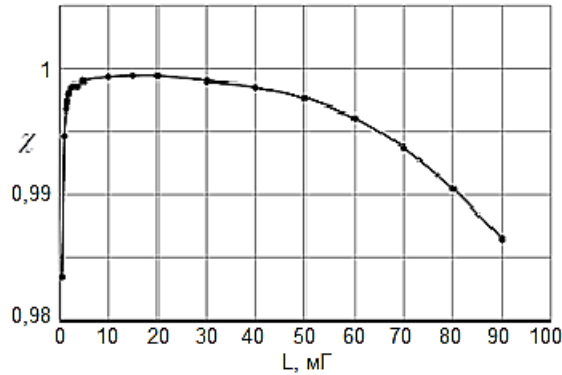


Рисунок 3.10 – Графік залежності коефіцієнта потужності від індуктивності дроселя

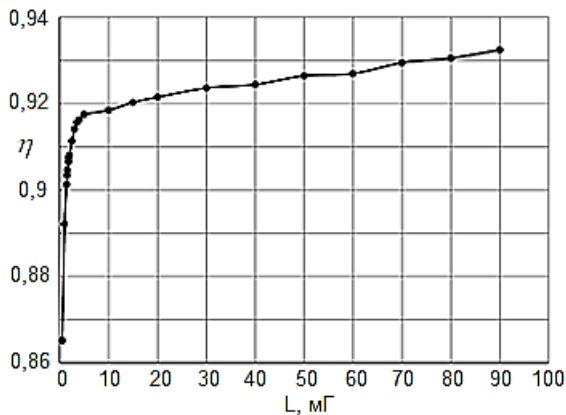


Рисунок 3.11 – Графік залежності ККД від індуктивності дроселя

Як видно з таблиці 3.4 і рисунка 3.11, ККД зі збільшенням індуктивності дроселя зростає. Криву залежності можна розділити на дві частини: до 5 мГн швидкість зміни енергетичної характеристики висока, потім її зростання стає більш плавним. Згідно рисунка 3.10 видно що, коефіцієнт потужності спочатку різко зростає, при значеннях індуктивності дроселя 10-20 мГн має максимальне значення, а потім досить плавно спадає. Як було сказано вище, джерело живлення повинен мати коефіцієнт потужності не менше 0,99. Ми отримуємо коефіцієнт потужності менш 0,99 при значеннях індуктивності 0,5 мГн і менше, а також при 90 мГн і більше. Отже найкращі значення енергоефективних параметрів досягаються при

індуктивності 70-80 мГн. Порівняємо вхідний струм при значенні індуктивності 20 мГн і 70 мГн.

На рис 3.12 представлена осцилограма вхідного струму при індуктивності 20 мГн, а на рис. 3.13 - осцилограма вхідного струму при значенні індуктивності 70 мГн.

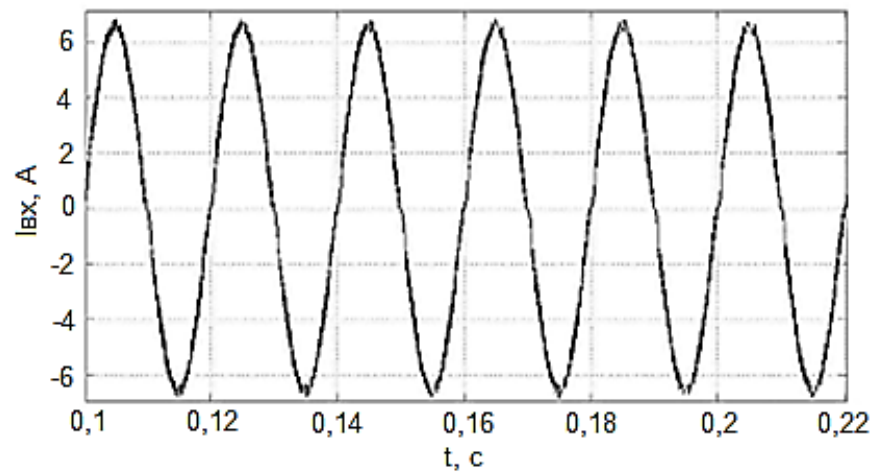


Рисунок 3.12 – Осцилограма вхідного струму при значенні індуктивності 20 мГн

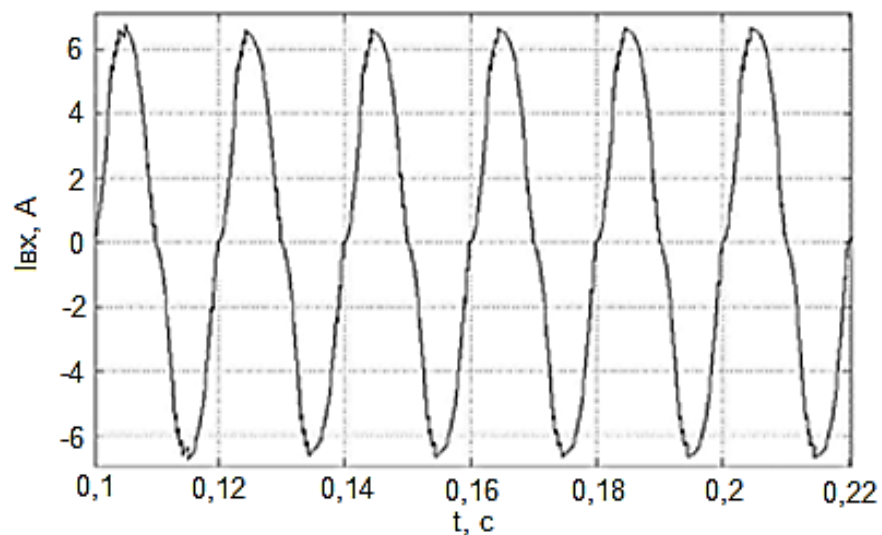
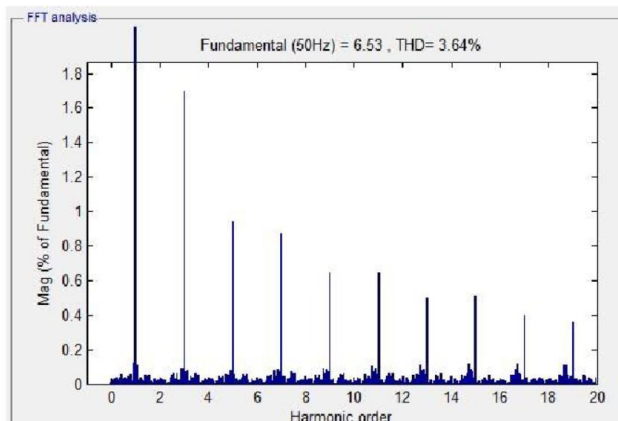
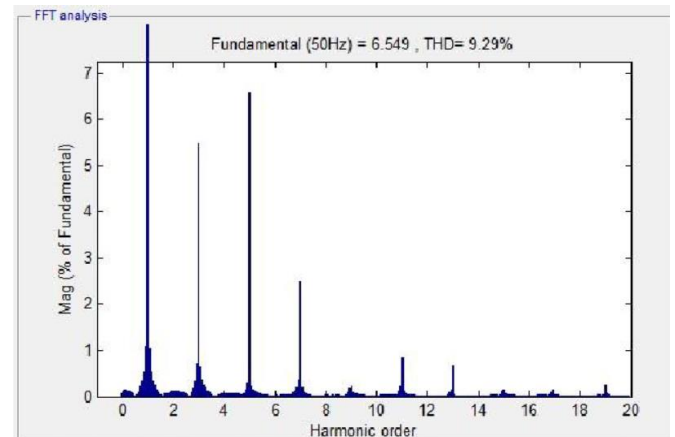


Рисунок 3.13 – Осцилограма вхідного струму при значенні індуктивності 70 мГн

Як видно з малюнків, при індуктивності 20 мГн форма вхідного струму виглядає більш близькою до синусоїдальної. Порівняли гармонійні спектри вхідних струмів при даних значеннях індуктивності рис. 3.14. При 20 мГн коефіцієнт THD склав 3,64%, при індуктивності 80 мГн коефіцієнт THD збільшився більше, ніж в 2,5 рази, його значення склало 9,29%. Скореговане значення індуктивності дроселя становить 20 мГн.



а)



б)

Рисунок 3.14 – Гармонічний спектр вхідного струму при індуктивності дроселя 20 мГн (а) та 70 мГн (б)

Тепер проведемо дослідження залежність енергетичних показників від ємності конденсатора. Результати дослідження зведено в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати досліджень залежності енергетичних параметрів від значення ємності конденсатора

Значення ємності конденсатора C , мФ	Коефіцієнт потужності χ .	ККД η	Значення ємності конденсатора C , мФ	Коефіцієнт потужності χ .	ККД η
0,1	0,9992	0,6967	6	0,9993	0,9185
0,5	0,9992	0,8641	6,5	0,9994	0,9197

Продовження таблиці 3.3

1	0,9994	0,9229	7	0,9994	0,9208
1,5	0,9993	0,922	7,5	0,9994	0,916
2	0,9993	0,9214	8	0,9992	0,9098
2,5	0,9993	0,9264	8,5	0,9994	0,9122
3	0,9992	0,9231	9	0,9994	0,9022
3,5	0,9993	0,9214	10	0,9991	0,8852
4	0,9993	0,9293	15	0,9994	0,8343
4,5	0,9993	0,9264	20	0,9987	0,7759
5	0,9993	0,9221	25	0,9932	0,7114
5,5	0,9993	0,9185	30	0,9887	0,6594

За результатами таблиці 3.3 побудували залежності коефіцієнта потужності і ККД від значення ємності рис.3.12, рис.3.13.

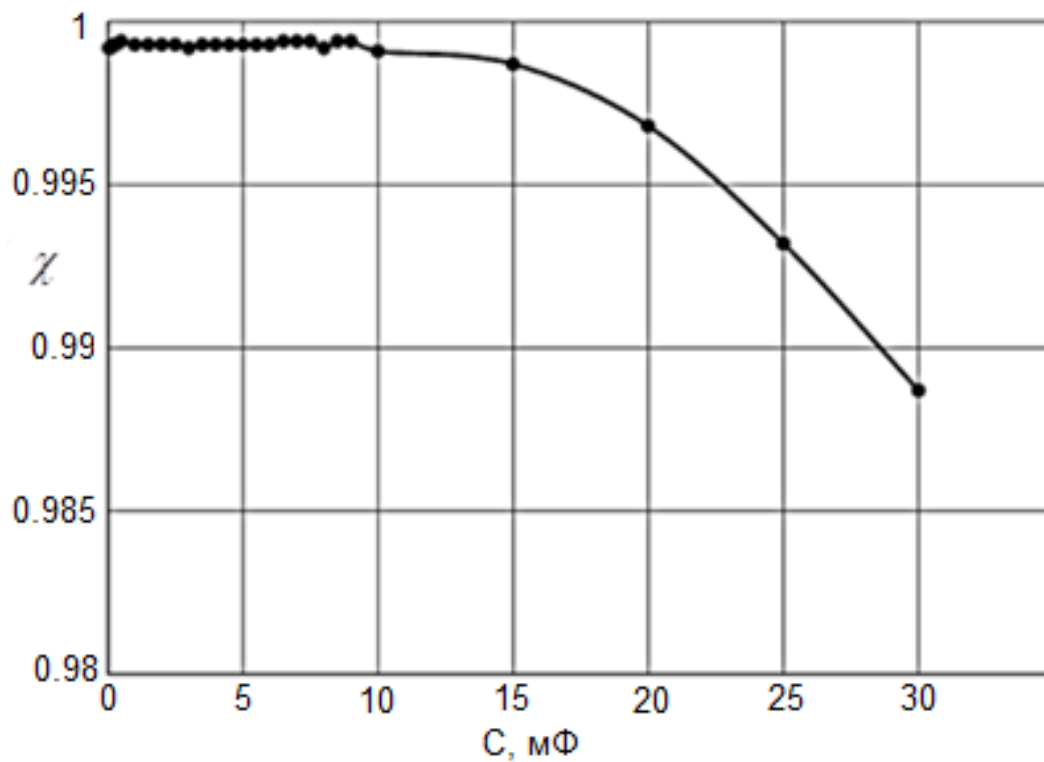


Рисунок 3.15 – Графік залежності коефіцієнта потужності від ємності конденсатора

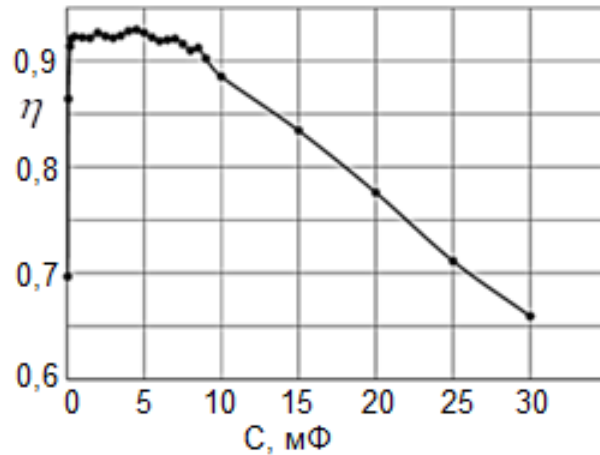


Рисунок 3.16 – Графік залежності ККД від ємності конденсатора

З рисунків можна зробити висновок, що ККД становить більше 0,92 при значеннях ємності від 0,5 до 5,5 мФ, а коефіцієнт потужності спочатку має високе значення, а зі збільшенням ємності починає зменшуватися. Скореговане значення ємності становить 4,5 мФ.

Таким чином, в ході досліджень схеми імпульсного джерела живлення з активною корекцією коефіцієнта потужності були скориговані значення максимального опорного струму, індуктивності дроселя і ємності вихідного конденсатора. В результаті коригувань збільшили коефіцієнт потужності до 0,9993, ККД практично до 93%. Осцилограма вхідного струму представлена на рис.3.17.

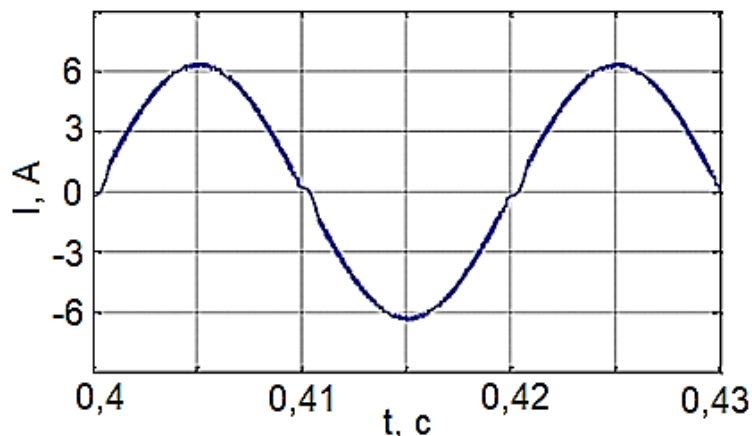


Рисунок 3.17 – Осцилограма вхідного струму

На рис.3.18 представлений гармонійний склад вхідного струму. Як з нього видно, що при корегуванні значення ємності коефіцієнт THD знизився до 3,64%.

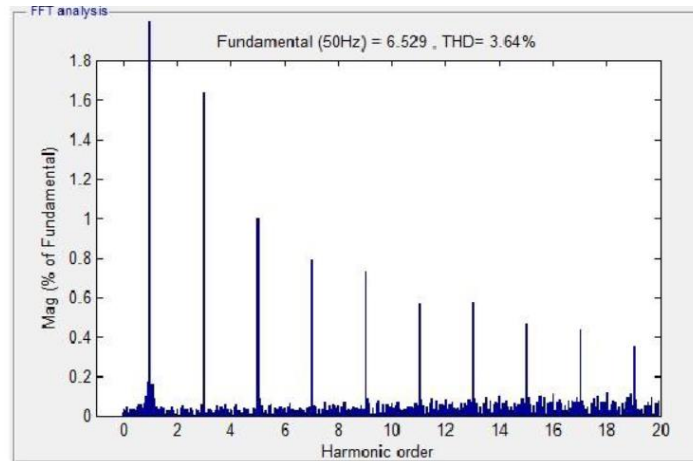


Рисунок 3.17 – Гармонійний спектр вхідного струму

На рис.3.18 представлена осцилограма вихідного струму.

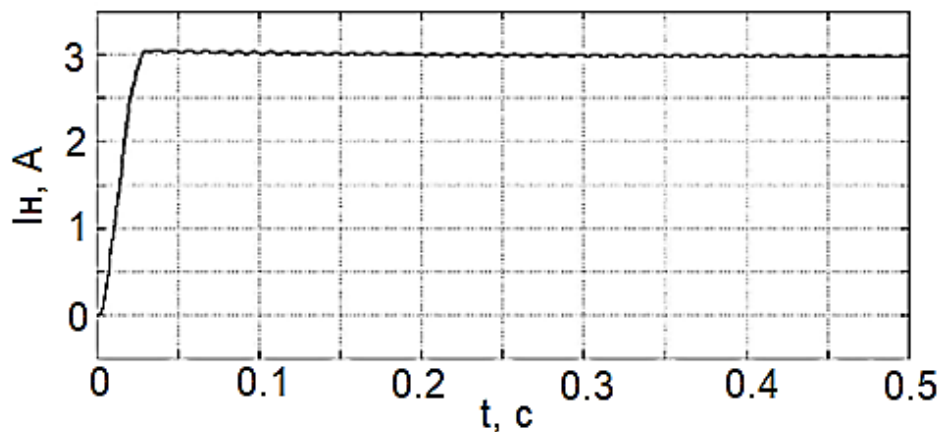


Рисунок 3.18 – Осцилограма вихідного струму

В процесі дослідження отримали графіки залежності коефіцієнта потужності і ККД від максимального значення опорного струму, індуктивності дроселя і ємності вихідного конденсатора.

Як видно з рис.3.9, коефіцієнт потужності зростає зі збільшенням максимального значення опорного струму. Зростаючу криву можна поділити на дві ділянки - на ділянці до 6 А швидкість збільшення коефіцієнта потужності більше, ніж на другій ділянці. Згідно рисунка 3.10, ККД зі збільшенням опорного струму спочатку зростає, потім після 14 А падає. Максимальне значення ККД, яке можна отримати в результаті даного дослідження, складає 90,91%. Але при зміні максимального опорного струму змінюється і середнє значення вихідного струму. Так як цей струм повинен приймати задане значення, то основне завдання даного дослідження зводиться до регулювання вихідного струму.

Дослідження залежності коефіцієнта потужності від індуктивності дроселя показало, що його значення зі збільшенням індуктивності до 5 мГн різко зростає, потім в районі 10-20 мГн він тримається в межах 0,9993-0,9994, після чого плавно спадає. Зростаючу криву залежності ККД від індуктивності також, як і криву залежності коефіцієнта потужності від максимального значення опорного струму, можна розділити на дві ділянки: на першій ділянці швидкість зростання ККД більша, ніж на другому. В результаті даного дослідження необхідно було скорегувати індуктивність до такого значення, при якому б схема мала найвищі енергетичні показники. Так як зі збільшенням індуктивності значення ККД зростало, то для отримання максимального ККД необхідно скорегувати індуктивність до верхньої межі дослідженого діапазону, а саме до 90 мГн. Але це коригування не дозволило б досягти максимального коефіцієнта потужності. Після порівняння вхідних струмів при 20 і 80 мГн було виявлено, що крива струму в другому випадку спотворюється, а коефіцієнт ТНД збільшується практично в два з половиною рази в порівнянні з першим випадком, коли індуктивність дроселя становила 20 мГн.

Регулювання значення вихідної ємності не дозволило добитися підвищення коефіцієнта потужності. Згідно рис. 3.15 в діапазоні 0.05-10 мФ значення коефіцієнта коливається в межах 0,9991-0,9994. Після 10 мФ коефіцієнт потужності

падає. Значного збільшення ККД в результаті даного дослідження також не вдалося досягти. Згідно рис. 3.16 в діапазоні 0,2 - 9 мФ його значення також коливається в районі 90-93%, при 10 мФ становить менше 90%.

3.3 Висновки до розділу.

Розроблена математична модель світлодіодного джерела живлення дозволяє розраховувати параметри джерела і отримувати різні характеристики і показники.

Використання математичної моделі значно полегшує вирішення завдання оптимізації параметрів джерела живлення.

В результаті коригування елементів схеми джерела живлення вдалося досягти ККД = 93% і коефіцієнт потужності до 0,9993.

4 ХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Правила техніки безпеки при експлуатації світлотехнічного обладнання.

Функціонування будь-якого підприємства неможливе без облаштування його електроустановками. До них належать електричне обладнання, апарати управління, пускорегулювання, контрольно-вимірювальні та освітлювальні прилади, електродвигуни, електропроводи, кабелі тощо. Щоб унеможливити виникнення пожежі, кожна складова систем електроустановок потребує уваги з позиції дотримання правил пожежної безпеки.

Застосування, монтаж, наладка та експлуатація електроустановок повинна відповідати вимогам чинних Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ), Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів (ПТБ), ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» та інших нормативних документів.

Власник підприємства зобов'язаний забезпечити обслуговування та технічну експлуатацію електроустановок. Особа, призначена відповідальною за їхній протипожежний стан (головний енергетик, енергетик, інженерно-технічний працівник відповідної кваліфікації), зобов'язана:

- організувати та проводити профілактичні огляди та планово-попереджувальні ремонти електрообладнання й електромереж, а також своєчасне усунення порушень, які можуть призвести до пожежі;
- забезпечувати правильність застосування електрообладнання, кабелів, електропроводок залежно від класу пожежо- та вибухонебезпечності зон і умов навколишнього середовища, а також справний стан апаратів захисту від коротких замикань, перевантажень та інших небезпечних режимів робіт;
- організувати навчання та інструктажі чергового персоналу з питань пожежної безпеки під час експлуатації електроустановок.

У разі неможливості технічного обслуговування електроустановок силами персоналу підприємства його власник повинен укласти договір на планове технічне обслуговування зі спеціалізованою організацією.

Загальні вимоги

1. Усе електрообладнання (корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників, розподільчих щитів, щитів управління, металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів тощо) підлягає зануленню або заземленню відповідно до вимог розділів Правил улаштування електроустановок (ПУЕ).

2. Електроприлади та апаратура повинні вмикатися в електромережу тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань та електророзеток заводського виготовлення.

3. Електричні машини, апарати, обладнання (апарати управління, пускорегулювання, контрольно-вимірювальні прилади, електродвигуни, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту повинні відповідати класу зони згідно з ПУЕ, мати апаратуру захисту від струмів короткого замикання та інших аварійних режимів.

4. Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із зазначенням на клеймі номінального струму вставки (клеймо ставиться заводом-виготовлювачем або електротехнічною лабораторією).

5. Несправності в електромережах та електроапаратурі, які можуть викликати іскріння, коротке замикання, понаднормовий нагрів горючої ізоляції кабелів і проводів, повинні негайно ліквідуватися черговим персоналом. Пошкоджену електромережу потрібно відключати до приведення її в пожежобезпечний стан.

6. Замір опору ізоляції електричних мереж та електроустановок має проводитися в особливо вологих і жарких приміщеннях, у зовнішніх установках, а також у приміщеннях з хімічно активним середовищем у повному обсязі не рідше

1 разу на рік, в інших випадках — 1 раз на 2 роки, якщо інші терміни не обумовлені правилами технічної експлуатації.

7. На електродвигуни, світильники, інші електричні машини, апарати та обладнання, встановлені у вибухонебезпечних або пожежонебезпечних зонах, повинні бути нанесені знаки, які вказують на ступінь їхнього захисту згідно з чинними стандартами.

4.2 Стійкість роботи об'єктів господарювання

Ефективність економіки держави залежить від того, наскільки окремі галузі господарства здатні стабільно працювати не тільки у звичайних умовах, а й в умовах НС мирного та воєнного часу. Значні руйнування, пожежі та втрати серед населення, викликані наслідками НС, можуть стати причиною різкого скорочення випуску промислової та сільськогосподарської продукції, а отже і зниження економічного потенціалу держави. Виникає потреба завчасного вживання заходів щодо забезпечення стійкої роботи промислових об'єктів на випадок виникнення НС.

Знання можливих НС, характерних для якихось місцевості та виробництва, дозволяє диференційовано і цілеспрямовано розробляти та здійснювати заходи, які можуть запобігти аваріям, катастрофам та стихійним лихам або пом'якшити їх наслідки.

Стійкість роботи об'єкта господарювання – це здатність його в умовах НС випускати продукцію у запланованому обсязі та визначеної номенклатури, а у разі слабких та середніх руйнувань або порушення матеріального постачання відновлювати виробництво власними силами у короткий термін.

На стійкість роботи промислового об'єкта впливають такі фактори:

– захищеність робітників та службовців від уражуючих факторів у НС;

- здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта (будівель, споруд, обладнання та комунально-енергетичних мереж) протистояти руйнівній дії уражаючих факторів аварій, катастроф, стихійного лиха та сучасної зброї;
- надійність постачання об'єкта електроенергією, водою, паливом, комплектуючими та сировиною;
- підготовленість об'єкта до проведення аварійно-рятувальних та відновлюваних робіт;
- оперативність управління виробництвом та здійсненням заходів ЦЗ у НС.

Підвищення стійкості об'єкта досягають проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних, організаційних заходів. До інженерно-технічних заходів належать роботи, що забезпечують стійкість виробничих будівель і споруд, обладнання та комунально-енергетичних систем.

Технологічні заходи забезпечують підвищення стійкості об'єкта спрощенням технологічного процесу виробництва кінцевої продукції та виключенням або обмеженням розвитку аварій.

Організаційні заходи передбачають розробку ефективних дій керівного складу, служб та формувань ЦЗ, спрямованих на захист виробничого персоналу, проведення рятувальних та інших невідкладних робіт та відновлення виробництва.

Норми проектування інженерно-технічних заходів цивільного захисту. Заходи щодо підвищення стійкості об'єктів господарювання здійснюють відповідно до вимог Норм проектування інженерно-технічних заходів, які починають діяти після прийняття постанови урядом. Вимоги норм призначені для того, щоб в умовах НС:

- забезпечити захист населення та знизити масштаби руйнувань (пожеж, затоплень, заражень);
- підвищити стійкість роботи об'єктів господарювання і галузей економіки;
- створити умови для успішного проведення робіт з ліквідації наслідків НС.

Вимоги норм проектування реалізують під час проектування та забудови міст, будівництва нових промислових підприємств, об'єктів енергетики, транспортних систем, систем водо- та газопостачання, а також під час їх реконструкції.

Головним документом, відповідно до якого слід планувати та здійснювати інженерно-технічні заходи цивільного захисту (ІТЗ ЦЗ) є «Будівельні норми і правила» (БН і П 2.00.05-90), а також «Загальні вимоги до розвитку і розміщення потенційно небезпечних виробництв з урахуванням ризику надзвичайних ситуацій техногенного походження» (Київ, НАН України, 1995). Запровадження норм проектування ІТЗ ЦЗ здійснюється диференційовано з урахуванням ролі і важливості міст і об'єктів економіки. Для цього міста поділяють на групи, а об'єкти – на категорії за такою класифікацією: міста: «Особливої групи», I, II та III груп; об'єкти господарювання: «Особливої важливості», I та II категорій. Об'єкти атомної енергетики виділяють в окрему групу.

Для «категорійних» міст і об'єктів з метою реалізації ІТЗ встановлено дві зони: можливих слабких руйнувань, де очікується (за прогнозом) надмірний тиск у фронті повітряної УХ $P_{\phi} = 10\text{--}30$ кПа; можливих сильних руйнувань, у межах якої очікується $P_{\phi} = 30$ кПа.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз фізичних процесів в напівпровідникових гетероструктурах показав, що їх енергетичні параметри в основному залежать від сили струму та температури.

2. Дослідження р-п переходу світлодіода показали, що при нагріванні від 25 °С до 100 °С, інтенсивність випромінювання знижується на 6%, а при нагріванні від 25 °С до 160 °С на 17%, тобто зі збільшенням температури інтенсивність випромінювання змінюється нелінійно. Таким чином слід вважати температуру р-п переходу світлодіода до 100 °С оптимальною для досягнення найбільшої енергоефективності світлового приладу.

3. Ефективність випромінювання світлодіода залежить від сили струму, тому для отримання найбільш енергоефективного світлового приладу слід живити його струмом 350-700 мА, при більш високих струмах використання світлодіодів є нерациональним, з огляду на невелику енергоефективність.

4. Розроблена математична модель джерела живлення світлодіодів дозволяє розраховувати його параметри, що значно полегшує завдання оптимізації. В результаті коригування елементів схеми джерела живлення вдалося досягнути ККД = 93% і коефіцієнт потужності 0,99.

5. Розроблено і запропоновано заходи щодо охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при роботі з світлотехнічним обладнанням.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ноэль Лотар / Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 3. – С. 13
 2. Выбор оптимального режима работы светодиодных излучателей / Т.А. Барбасова, Е.В. Вставская, В.И. Константинов, В.О. Волков // Вестник ЮУрГУ. – 2010. – №2. – С. 48-51
 3. Особенность эксплуатации светодиода / В. Константинов, Е. Вставкая, А. Вставский, М. Пожидай // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – №5. – С. 56-57.
 4. Приказчик С.П. Исследование светотехнических параметров светодиодов // Светотехника. – 2008. – №4. – С. 24-30.
 5. Вайман Д.А., Данилов В.С. Исследование способов эффективного отвода тепла в светодиодах поверхностного монтажа // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2013. – №4. – С. 72-81.
 6. Луценко Е.В. Температура перегрева активной области коммерческих светодиодов // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 2. – С. 26–29.
 7. K.C. Yung, H. Liem, H.S. Choy, Heat transfer analysis of a high-brightness LED array on PCB under different placement configurations, International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 53, April 2014, Pages 79–86.
 8. Asiri Jayawardena, Yi-wei Liu, Nadarajah Narendran, Analysis of three different junction temperature estimation methods for AC LEDs, Solid-State Electronics, volume 86 (2013) Pages 11–16.
 9. Young-Pil Kim, Young-Shin Kim, Seok-Cheol Ko, Thermal characteristics and fabrication of silicon sub-mount based LED package, Microelectronics Reliability, volume 56 (2016) pages 53–60.
- Социн Н.П. Современные фотолуминофоры для эффективных приборов

твердотельного освещения: тезисы докладов 7 всероссийской конференции / Нитриды галлия, индия и алюминия: структуры и приборы / СПб.:2010. С.80.

10. Полищук А. Обеспечение теплового режима мощных светодиодных ламп при разработке светотехнических устройств/ А. Полищук // Современная электроника. – 2006. – №3.– С. 42-45.

Alim, A. A Proficient AC/DC Converter with Power Factor Correction / A. Alim, S. Islam // American Journal of Engineering Research (AJER). 2016. С. 233-238

11. Todd, P. C. UC3854 controlled power factor correction circuit design: application note / P. C. Todd // Unitrode Corporation. С.269-289

Котов, В. Обзор интегральных микросхем светодиодных драйверов / В. Котов, Е. Цевелюк // Современная электроника. 2014. №8. с. 32-37.

12. Миронов, С. Интегральные драйверы для светодиодного освещения. Часть I:AC/DC-драйверы / С. Миронов // Новости электроники. 2010. №10

Белов, Г.А. Моделирование корректора коэффициента мощности с упрощенной двухконтурной системой управления / Г.А. Белов, А.В. Серебрянников // Практическая силовая электроника. 2010. №3. С.17-23.

13. Семенов, Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б.Ю. Семенов М.: СОЛОН-Пресс. 2005.

14. Рама Редди, С. Основы силовой электроники: учеб. для политехн. курсов / Редди С. Рама; пер. с англ. В.В. Масалова М. : Техносфера. 2006. 287 с.

15. Lima, N.T. Closed loop simulation and hardware implementatuin of a LED driving circuit from AC source with leakage energy recycling / N.T. Lima, V.S. Renuka // Journal of Engineering Research and Applications. 2015. с.156-165.

16. Васильев, А. Анализ современных методов и технических средств коррекции коэффициента мощности у импульсных устройств / А. Васильев, В. Худяков, В. Хабuzов // Силовая электроника. 2004. №2. С. 72-77.

17. Тагворян, Э.Т. Микросхемы для современных импульсных источников питания / Э.Т. Тагворян, М.М. Степанов // Справочник. 2-е издание. М.:Додэка.

2000. 288 с. Герман-Галкин, С.Г. Школа MATLAB. Урок 14. Анализ, расчет и исследование корректора коэффициента мощности / С.Г. Герман-Галкин // Силовая электроника. 2011. №4. С. 90-96

18. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. / Г.С. Зиновьев. Новосибирск: НГТУ. 2003. 664с.

19. Белов, Г.А. Моделирование корректора коэффициента мощности с упрощенной двухконтурной системой управления / Г.А. Белов, А.В. Серебрянников // Практическая силовая электроника. 2010. №3. с. 17-23.

20. Позднов, М.В. Основы преобразовательной техники: Методические указания по проведению курсового проектирования/ М.В.Позднов. Тольятти: ТГУ. 2012. 32с.

21. Мелешин, В.И. Транзисторная преобразовательная техника / В.И. Мелешин. – М: Техносфера. 2006. 632 с..

22. Белов, Г.А. Расчет корректора коэффициента мощности с упрощенной двухконтурной системой управления / Г.А. Белов, А.В. Серебрянников // Практическая силовая электроника. 2010. №3. с. 24-30.