

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

**РОЗРОБКА СВІТЛОДІОДНОГО ДРАЙВЕРА ДЛЯ
ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ З КОРЕКЦІЄЮ КОЕФІЦІЄНТА
ПОТУЖНОСТІ**

Виконав(ла): студент 6 курсу, групи ЕТм
спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Смолюк Р.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Філюк Я.О.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) Мовчан Л.Т.
(прізвище та ініціали)

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

Рецензент (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль 2023

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

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«13» листопад 2023 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 Смосюку Руслану Володимировичу
(Прізвище, Ім'я, По Батькові)

1. Тема роботи Розробка світлодіодного драйвера для вуличного освітлення з корекцією коефіцієнта потужності

Керівник роботи Філюк Ярослав Олександрович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «10» листопада 2023 року № 4/7-1040

2. Термін подання студентом завершеної роботи грудень 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Провести аналіз різних компонентів та схем, що використовуються в однокаскадному резонансному перетворювачі. Виконати моделювання світлодіодного драйвера з корекцією коефіцієнта потужності. Провести натурні дослідження світлодіодний драйвер для вуличного освітлення з корекцією коефіцієнта потужності

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (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)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці. Безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 13 листопада 2023 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	14.11.2023	
2	Аналітичний розділ	18.11.2023	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	22.11.2023	
4	Проектно-конструкторський розділ	25.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	29.11.2023	
6	Висновки	01.12.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	06.12.2023	
8	Оформлення графічної частини	12.12.2023	

Студент

(підпис)

Смосяк Р.В

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Філюк Я.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Смосюк Р.В Розробка світлодіодного драйвера для вуличного освітлення з корекцією коефіцієнта потужності.

Стор.62; рис.36; табл.1; креслень - ; джерел -17; додатків - 0.

Метою кваліфікаційної роботи було розробка та моделювання драйвера для вуличного освітлення з корекцією коефіцієнта потужності.

У першому розділі дається огляд літератури та теоретичної бази теми. Це також пояснює деякі концепції розуміння проблеми та деякі очікувані результати.

В другому розділі було запропоновано драйвер для живлення світлодіодного модуля вуличного освітлення з світлодіодом, який включає у собі півмостовий перетворювач змінного струму з ККП із резонансним напівмостовим перетворювачем постійного струму LLC із одноступінчастим перетворювачем потужності. Продемонстрована принцип роботи послідовного резонансного перетворювача LLC з повним описом його режимів роботи.

У третьому розділі було представлено та змодельовано однокаскадний інтегрований світлодіодний драйвер потужністю 36 Вт з входною напругою 210 В змінного струму; драйвер базується на підсилювальному перетворювачі з граничною провідністю та напівмостового резонансного перетворювача. Підсилювальний перетворювач працює в режимі граничної провідності для реалізації корекції коефіцієнта потужності

Ключові слова: драйвер, послідовний резонансний перетворювач, світлодіод.

ЗМІСТ

Реферат	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1. Аналіз світлодіодних драйверів з корекцією коефіцієнта потужності	8
1.2 Коефіцієнт потужності у драйверах	12
1.3.Корекція коефіцієнта потужності	13
1.4 Багаторівневі схеми перетворювачі напруги з комутацією світлодіодів	13
1.5. Висновок до розділу	16
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	17
2.1. Резонансний перетворювач з одиночним каскадом	17
2.2 Проектування та розрахунки підвищувального перетворювача з коректором коефіцієнта потужності	20
2.3 Резонансний LLC перетворювач	22
2.3.1 Коефіцієнт підсилення резонансного перетворювача LLC:	23
2.3.2. Конструкція високочастотного трансформатора	24
2.4. Режими роботи схеми драйвера світлодіодного вуличного освітлення	27
2.5 Розробка схеми драйвера вуличного світлодіодного освітлення	34
2.6 Висновки до розділу	37
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	38
3.1. Моделювання та результат дослідження схеми живлення світлодіодного драйвера	38
3.2. Експериментальна установка та результати дослідження схеми живлення світлодіодного драйвера	45
3.3 Висновки до розділу	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54

4.1 Охорона праці	54
4.1.1. Техніка безпеки при експлуатації електромереж	54
4.2. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	56
4.2 Дослідження стійкості роботи у надзвичайних ситуаціях підприємств електротехнічної та світлотехнічної галузі	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61

ВСТУП

Актуальність теми роботи. З плином часу світлодіодні лампи стали більш досконалим джерелом освітлення порівняно з лампами розжарювання та люмінесцентними лампами завдяки більш ефективній та якісній передачі кольору. Навіть на сьогоднішній день світлодіоди є найефективнішим джерелом світла. Відтоді, як Томас Едісон виготовив першу лампу розжарювання у 1879 році, електричне освітлення стало важливою технологією. Як наступне покоління джерел світла, світлодіоди перебувають у центрі уваги дослідників, оскільки зростає занепокоєння щодо збереження навколишнього середовища та енергозбереження. Високояскраві білі світлодіоди останнім часом привертають увагу споживачів у промисловому застосуванні, зокрема, у вуличному освітленні. Вуличне освітлення підвищує рівень безпеки в приватних будинках, комунальних підприємствах та містах. Світлодіоди не є повністю резистивним навантаженням, як лампи розжарювання, і тому повинні справлятися з корекцією коефіцієнта потужності та загальними гармонійними спотвореннями. Світлодіоди не мають трубок або ниток, що робить їх неймовірно довговічними і здатними працювати з драйвером протягом тривалого часу. Для живлення світлодіодних систем вуличного освітлення від вхідної напруги змінного струму необхідно використовувати АС-DC перетворювач. Тому розробка світлодіодних драйверів має вирішальне значення для створення системи з високою енергоефективністю та чудовими показниками коректора потужності і коефіцієнта гармонік. Світлодіодні драйвери з імпульсним режимом дуже поширені завдяки своїй здатності перетворювати енергію на високих частотах завдяки архітектурі імпульсного типу.

Звичайні імпульсні драйвери світлодіодів мають такі проблеми, як погана робота з гармонічними спотвореннями, мерехтіння, корекція коефіцієнта потужності, високі втрати при перемиканні, великі розміри і висока вартість. Тому актуальним є створення нових схем, що забезпечуть низьку вартість,

високий коефіцієнт потужності, високий ККД та зниження сумарних гармонійних спотворень вхідного струму

Мета і завдання роботи: є розробка та моделювання драйвера для вуличного освітлення з корекцією коефіцієнта потужності.

Досягнення мети визначається вирішенням наступних завдань:

1. Розробити одиночний світлодіодний драйвер для вуличного освітлення з корекцією коефіцієнта потужності.

2. Виконати моделювання для світлодіодного модуля вуличного освітлення потужністю 36 Вт за допомогою PSIM і перевірити те саме в апаратному забезпеченні

Об'єкт дослідження: Світлодіодний драйвер з підвищеним коефіцієнтом потужності для світлодіодних джерел світла

Предмет дослідження: Техніко-енергетичні характеристики основних показників якості світлодіодного драйвера.

Наукова новизна отриманих результатів:

Математична модель напівпровідникового перетворювача з півмостовим режимом LLC резонансного перетворювача, що дозволяє збільшити значення коефіцієнта потужності пристрою.

Практична цінність результатів дослідження полягає в розробці та створенні драйвер для живлення світлодіодного модуля вуличного освітлення, який включає у собі півмостовий перетворювач змінного струму з коректором коефіцієнта потужності та резонансним напівмостовим перетворювачем постійного струму LLC.

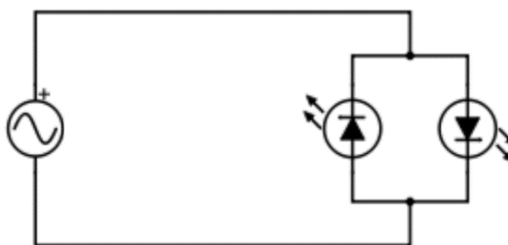
Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи і її результати доповідалися на XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2023 р.)

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань.

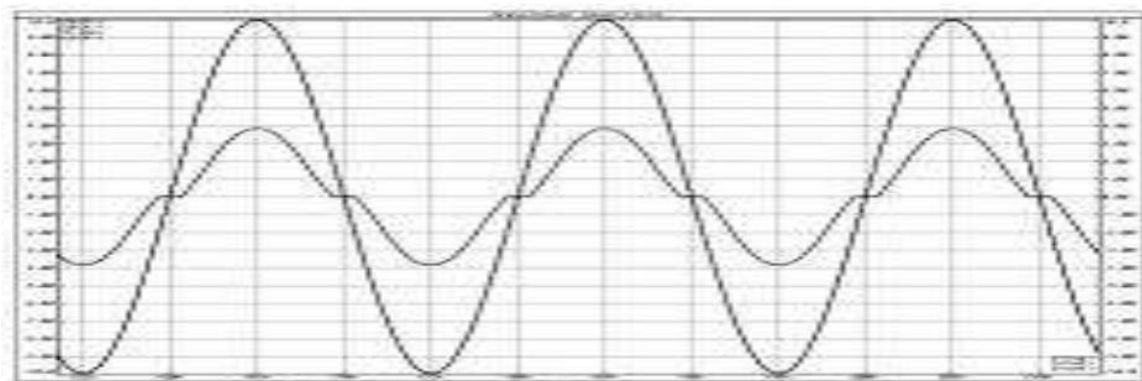
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз світлодіодних драйверів з корекцією коефіцієнта потужності

Світлодіоди (LED) наразі мають високе значення загальної яскравості. Завдяки відшкодуванню енергії, екологічності, довговічності, роздільній здатності пульсації, високій барвистості та швидкому відгуку. Світлодіоди широко використовуються для світлофорів, освітлення транспортних засобів, спалахів тощо. Світлодіоди розглядаються як джерело освітлення наступного покоління, але перевагами світлодіодів є ефективність, теплові засоби та вартість. Світлодіод форсується постійною напругою. Таким чином, необхідно змінити джерело змінного струму на постійну напругу для світлодіодів. Нещодавно джерело змінного струму саме переконливий світлодіод запропоновано на рисунку 1 (а). Недоліком світлодіодів змінного струму є напруга передачі світлодіодів. Кут провідності викликає зміну гармоній струму та найменший коефіцієнт потужності, як показано на рисунку 1 (b)



(a)



(b)

Рисунок 1.1 Еквівалент схема світлодіода змінного струму (а) та корельованої форми сигналу (б)

Світлодіоди мають такі переваги, як невеликі розміри, довший термін служби, нижча вартість зберігання, чудова міцність проти пошкоджень і відсутність ртуті, а тому менш шкідливі для навколишнього середовища, ніж звичайні джерела освітлення. Підключення вуличних ліхтарів тісно пов'язане з розвитком однієї зони чи ділянки, і вони означають економічний успіх міста. Для вуличного освітлення використовуються звичайні джерела освітлення високої потужності – помірковано-розрядні лампи, такі як натрієві лампи щільності та ртутні лампи високої щільності. Останнім часом світлодіоди часто використовуються як нова основа для вуличного освітлення завдяки їхнім вражаючим характеристикам гідного індексу передачі кольору, здатності перетворювати енергію, не містять ртуті, швидко вмикаються та вимикаються, що вони не потребують надмірної напруги для початку лампу вгору та додаткову високу початкову напругу в класі гарячого воскресіння, і що вони пропонують тривалий період у порівнянні зі своїми звичайними еквівалентами. Світлодіоди високої яскравості — це нова ера джерел світла, які були предметом досліджень останніми роками через їх високу ефективність понад 100 лм/Вт і тривалий термін служби в порівнянні зі звичайними флуоресцентними газорозрядними лампами високої інтенсивності. Світлодіод складається з мікросхеми напівпровідникового матеріалу, обробленого для створення перетину PN. У точці, коли PN-перехід перебуває під умовою нахилу, електронний розряд живе як фотон, коли він проходить через отвір. Світло не яскраве, але в більшості світлодіодів воно монохроматичне, що відбувається на одній довжині хвилі. Вихід світлодіода може варіюватися від червоного (при довжині хвилі 700 нм) до синьо-фіолетового (приблизно 400 нм). Світлодіоди використовуються в пультах дистанційного керування, оптопарах, автомобільному освітленні та підсвічуванні РК-панелей. Існуюча структура вуличного освітлення використовує натрієві та люмінесцентні лампи. Кероване освітлення інноваційно прогресувало як інноваційне освітлення

позитивної сфери, щоб замінити нинішню життєву силу марнотратним променистим і флуоресцентним світлом. Крім того, він замінює лампу з парами натрію, яка використовується як частина конструкції дорожнього освітлення. Світлодіодні гаджети, як правило, мають довший термін служби, як правило, 80 000 годин, однак термін служби світлодіодного драйвера короткий. Так як термін служби електролітичних конденсаторів менш контрастний і відрізняється деталями. Відмінні топології перетворювача потужності, які використовуються як частина драйверної схеми світлодіодів, були розроблені з використанням багатоступеневої роботи. Але багатовікова робота вимагає більшої кількості компонентів, яка прямо пропорційна більшій кількості втрат, присутніх у схемі драйвера.

Збільшення попиту та використання електронного обладнання, розширення використання електронної термінології останнім часом призвело до збільшення потреби гарантувати, що параметр струму лінії, пов'язаний із мережею змінного струму, обмежений відповідно до заданих норм [1]. Ця потреба зазвичай задовольняється шляхом консолідації деяких типів схем ККП для формування струмів уздовж цих ліній, оскільки вони мають синусоїдальний характер і знаходяться в стадії з напругами [2].

Існують різні відповіді, як зробити лінійний струм майже синусоїдальним. Проект також керує процедурою керування перетворювачем при настроюванні компонентів ККП для SMPS [3]. Швидке вдосконалення обладнання, використання електронної структури, яка була розширена до широкого спектру застосувань, які включають приватні, механічні та авіаційні та провідні структури [4]. Значна частина електричних та електронних пристроїв, таких як портативні ПК, настільні комп'ютери, використовують джерело постійного струму. Окреслення джерел живлення постійного струму для таких застосувань є значною мірою.

Перетворювач або випрямляч змінного струму в постійний — це гаджет, який перетворює змінний струм на постійний. Це перетворення виконується за допомогою кількох джерел, наприклад, діодів, тиристорів, МОП-транзисторів і так далі. Перетворювач змінного струму в постійний, що складається з діода з

величезним каналним конденсатором, однак скромний і потужний [5]. Через незвичайну поведінку зміни струмів вони мають тенденцію витягувати дуже неформлені стрибки струму щодо напруги в мережі [6]. Таким чином, весь елемент живлення виявляється надзвичайно поганим, крім того, створює широкий діапазон гармонійних сигналів, які можуть втручатися в різні типи обладнання [7].

Низька потужність компонента призводить до поганої провідності напрямку напруги, розширеного струму та втрат, що вимагає обладнання джерела живлення, наприклад, розподільчі пристрої та трансформатори також мають більш високі номінальні значення потужності.

Компонент низької потужності призводить до поганої провідності напряму напруги, розширеного струму та втрат, що потребує додаткового апаратного забезпечення, наприклад, розподільні пристрої та трансформатори також мають вищі номінальні значення потужності [8]. Крім того, комунальні послуги стягуватимуть вищу вартість з промислових і комерційних клієнтів, які мають низький PF. Через це загальна ефективність системи погіршується.

Для подолання таких проблем із якістю електроенергії використовуються різні типи методів ККП [9], серед яких варіант підвищувального перетворювача використовується більше в різних програмах змінного струму в постійний і постійного струму для корекції коефіцієнта потужності.

Фактично, сучасні джерела живлення змінного струму в постійний з ККП майже виключно реалізуються з підвищуючим перетворювачем. Низький коефіцієнт потужності і високий пульсуючий струм від мережі змінного струму є основними недоліками діодного випрямляча. Таким чином, коефіцієнт потужності SMPS дуже поганий. Пасивний фільтр часто використовується для покращення якості електроенергії через його просту конфігурацію схеми, але основні пасивні елементи, фіксовані характеристики компенсації, послідовні та паралельні резонанси є основними недоліками цієї схеми.

Кілька варіантів схем і стратегій керування створено для зменшення гармонік струму та напруги в схемах ККП, а також покращення коефіцієнта потужності майже до одиниці.

1.2 Коефіцієнт потужності у драйверах

Коефіцієнт потужності – це вимірювана величина, яка показує, наскільки ефективно джерело передає електроенергію до мережі навантаження.

Коефіцієнт потужності завжди вимірюється між 0 і 1. Умова коефіцієнта потужності одиниця відбувається лише для навантаження, яке підпорядковується закону Ома, це ідеальний випадок, напруга та струм, форма хвилі має однакову форму, також має однаковий гармонічний спектр і знаходиться в фазі. Струм і напруга можуть бути мінімізовані для середнього значення при максимальному коефіцієнті потужності.

У неідеальному випадку форма сигналу напруги не має жодних спотворень, оскільки навантаження також є нелінійним, коефіцієнт потужності є продуктом фазового зсуву основної складової струму, також відомого як коефіцієнт зміщення, з гармоніками струму, відомими як спотворення. В електричній мережі коефіцієнт потужності визначається як відношення активної потужності до повної потужності:

$$pf = \frac{P}{S} \quad 1.1$$

Для чисто синусоїдальної напруги та струму ідеальне визначення застосовується як:

$$pf = \cos\theta \quad 1.2$$

де $\cos \theta$ – коефіцієнт зсуву напруги та струму.

Переваги високого коефіцієнта потужності:

Зменшується спотворення форми сигналу напруги

Буде доступна тільки активна потужність, реактивна потужність незначна

Середнє квадратичне значення струму мало- Збільшується кількість навантажень, які можна жити з одного джерела

1.3.Корекція коефіцієнта потужності

Корекція коефіцієнта потужності — це метод протидії небажаним ефектам електричних навантажень, які виробляють коефіцієнт потужності менше 1. Коли коефіцієнт потужності електричного навантаження менше 1, уявна потужність перевищує реальну потужність, що надходить до навантаження. Для роботи потрібна лише реальна потужність, але повна потужність визначає кількість потужності, що протікає через навантаження, поєднуючи активні та реактивні компоненти. Визначення корекції коефіцієнта потужності полягає в тому, щоб зменшити викривлення у формі сигналу вхідного струму, щоб зробити його у фазі з напругою. Багато дослідницьких робіт з ККП для нелінійного навантаження пов'язані з падінням гармонічного вмісту лінійного струму. Існує кілька методів досягнення ККП, але в залежності від того, які активні перемикачі використовуються чи ні, їх класифікують як «пасивні» або «активні».

Тільки пасивні елементи використовуються з випрямлячами в пасивному ККП, ця техніка покращує форму струму в лінії, але вихідна напруга не керована.

В активному ККП перемикачі живлення використовуються для поєднання з реактивними елементами, щоб підвищити ефективність формування лінійного струму для отримання керованої вихідної напруги. Частота перемикання далі поділяється на два класи, такі як «низькочастотний» активний ККП, на гармоніках нижчого порядку відбувається перемикання, яке координується з вихідною напругою. При «високочастотному» активному ККП частота перемикань вище ніж частота лінії

1.4 Багаторівневі схеми перетворювачі напруги з комутацією світлодіодів

У роботах[10, 13] авторами пропонується лінійний перетворювач для світлодіодного освітлення з багаторівневою схемою, що шунтує.

Запропонована схема наведена рисунку 1.2.

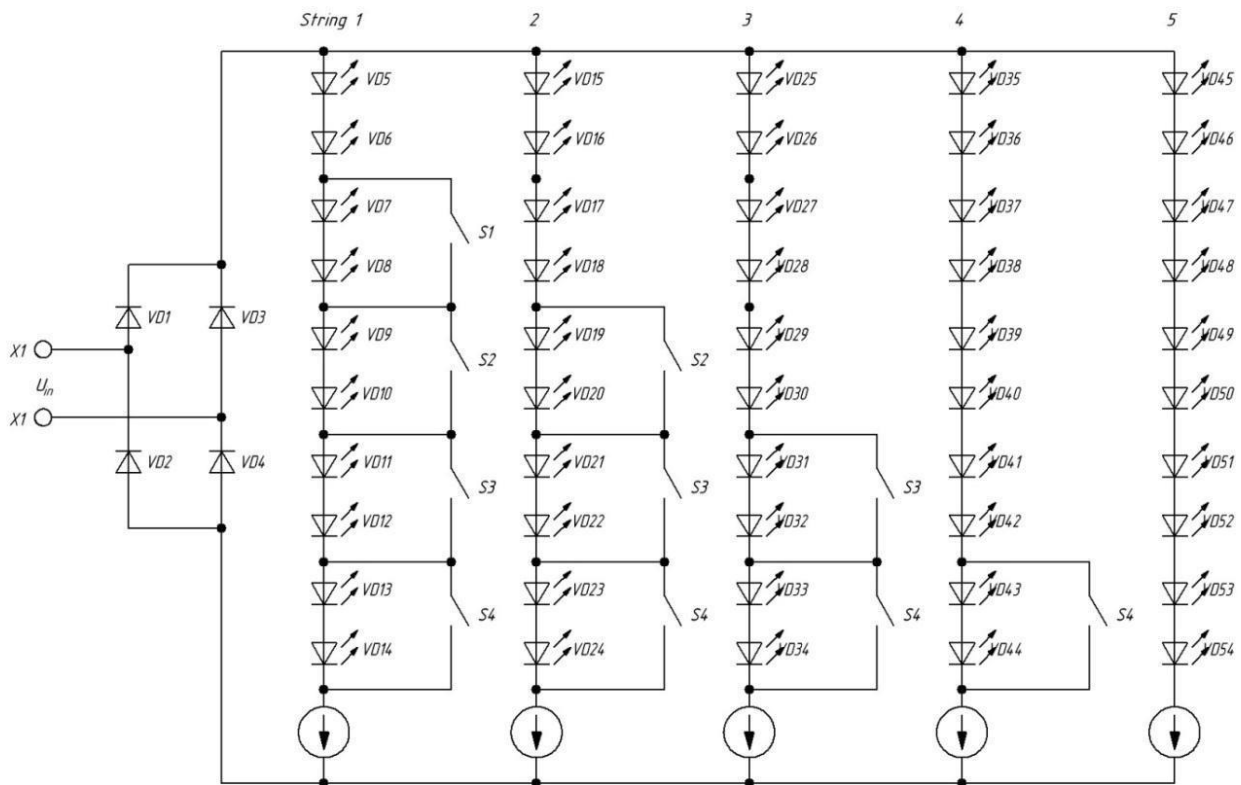


Рисунок 1.2 – Еквівалентна принципова схема світлодіодного лінійного перетворювача з багаторівневою схемою шунтування

Ключі, зображені на рисунку 1.2 ($S_1 \sim S_4$), використовуються струмові шунтуючі схеми, що складаються з польового МОП транзистора, двоспрямованого стабілітрона, діода та одного резистора (пунктирна лінія на рисунку 1.3).

На рисунку 1.3 представлено принципову схему першого рядка рішення, зображеного рисунку 1.2.

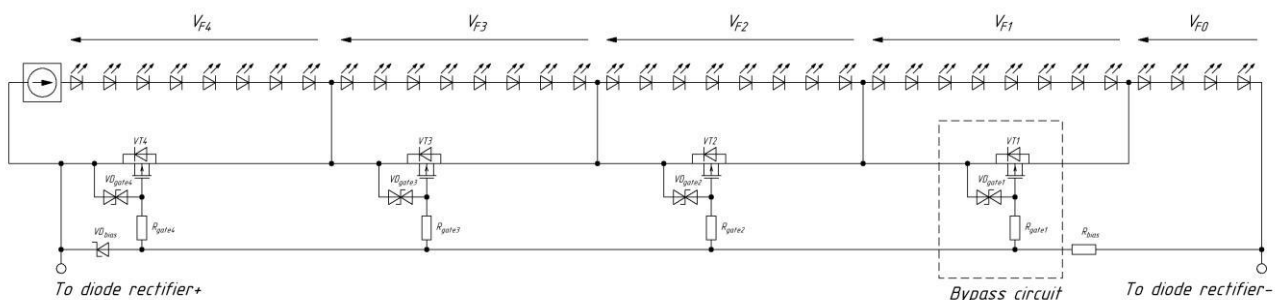


Рисунок 1.3 – Принципова схема першого рядка лінійного перетворювача з схемою шунтування

Струмові шунтувальні перемикачі $S_1 \sim S_4$ підключені паралельно колові світлодіодів. Кількість необхідних перемикачів відрізняється в кожному з кіл, оскільки це залежить від напруги та струму світлодіодного рядка.

Випрямлена вхідна напруга подається на світлодіодні кола через діодний міст $VD_1 \sim VD_4$ (Рисунок 1.2). Напруга вимкненого стану перемикачів обмежується прямою напругою паралельно підключених світлодіодів.

У випадку, коли вхідна напруга $U_{вх}(t)$ збільшується від нульового значення, усі перемикачі включені. Потім перемикачі $S_1 \sim S_4$, відповідно, вимикаються, тому що піддаються впливу вхідної напруги[8].

У результаті споживаний струм збільшується пропорційно до вхідної напруги (рисунок 1.4).

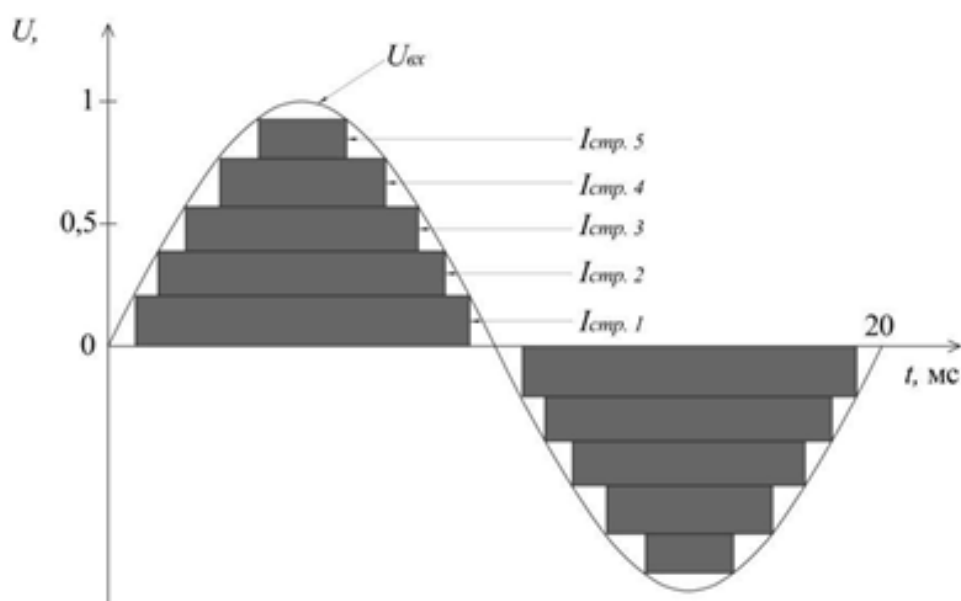


Рисунок 1.4 – Форма споживаного струму та вхідної напруги лінійного перетворювача з використанням багаторівневої шунтуючої схеми

Лінійний перетворювач з багаторівневою схемою, що шунтує, забезпечує високий коефіцієнт потужності, значення якого досягає 0,95.

Світловий потік змінюється пропорційно струму i , отже, згідно з рисунком 1.4, коефіцієнт пульсацій (КП) досягає 100 %, що неприпустимо при розробці джерел світла з метою освітлення.

Разом з тим, спосіб комутації світловипромінюючих діодів синхронно з миттєвим значенням напруги електричної мережі є перспективним, слід удосконалити його, забезпечивши менше значення пульсації світлового потоку.

Звичайний ізольований драйвер для живлення світлодіодного модуля вуличного освітлення — це двоступенева схема, яка складається з перетворювача постійного струму з корекцією коефіцієнта потужності (ККП) і напівмостового резонансного перетворювача постійного струму LLC для живлення світлодіодного модуля вуличного освітлення. Ці звичайні світлодіодні драйвери підходять для роботи в широкому діапазоні вхідної напруги в мережі. Однак у цих звичайних драйверах потрібна більша кількість перемикачів живлення та компонентів, а ефективність схеми менша через двоступеневе перетворення живлення.

1.5. Висновок до розділу

У цьому розділі проведено аналітичний огляд існуючих світлодіодних драйверів з корекцією коефіцієнта потужності. Проведено огляд активних коректорів коефіцієнта потужності, що застосовуються в електротехніці та світлотехніці. Виявлено тенденції в галузі розвитку існуючих та розробки нових перетворювачів з підвищеним коефіцієнтом потужності для світлодіодного освітлення.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Резонансний перетворювач з одиночним каскадом

У цьому розділі розглядаються різні компоненти та схеми, що використовуються в однокаскадному резонансному перетворювачі LLC. Він поєднує в собі напівмостовий випрямляч змінного та постійного струму, модифікований безмостовий перетворювач PFC, напівмостовий резонансний перетворювач постійного та постійного струму LLC у одиночний каскад перетворення потужності. Блок-схема 2.1 показує потік потужності через схему драйвера світлодіода.



Рисунок 2.1 - Резонансний перетворювач LLC з одиночним каскадом

Випрямляч — це електронний пристрій, який перетворює змінний струм (який періодично змінює напрямок) на постійний (який тече в одному напрямку). Властивість односпрямованості діода знаходить велике застосування в випрямлячах. На рисунку 2.2 зображено мостовий випрямляч.

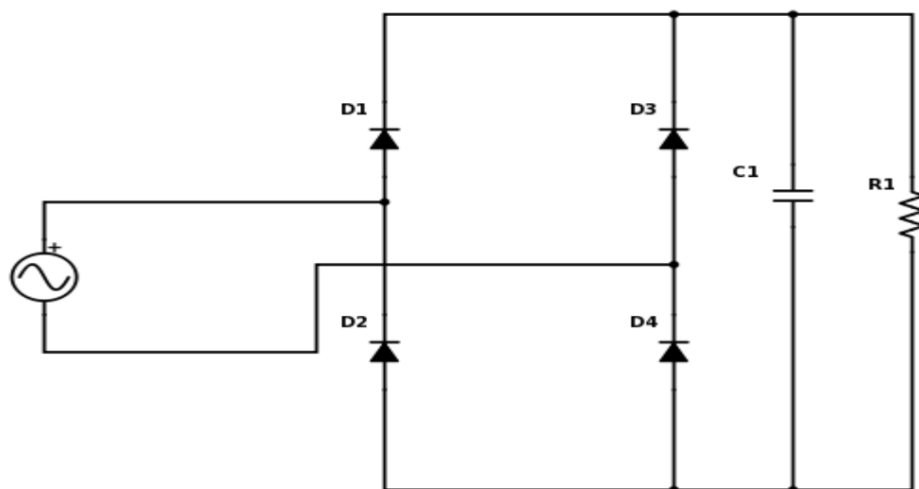


Рисунок 2.2 - Мостовий випрямляч

На рисунку 2.3 показано вхідну напругу повномостового випрямляча, яка є мережевою напругою змінного струму в синусоїдальній формі. На рисунку 2.4 показаний вихід повномостового випрямляча, який показує, що негативний напівперіод вхідної напруги перевернутий на позитивну сторону.

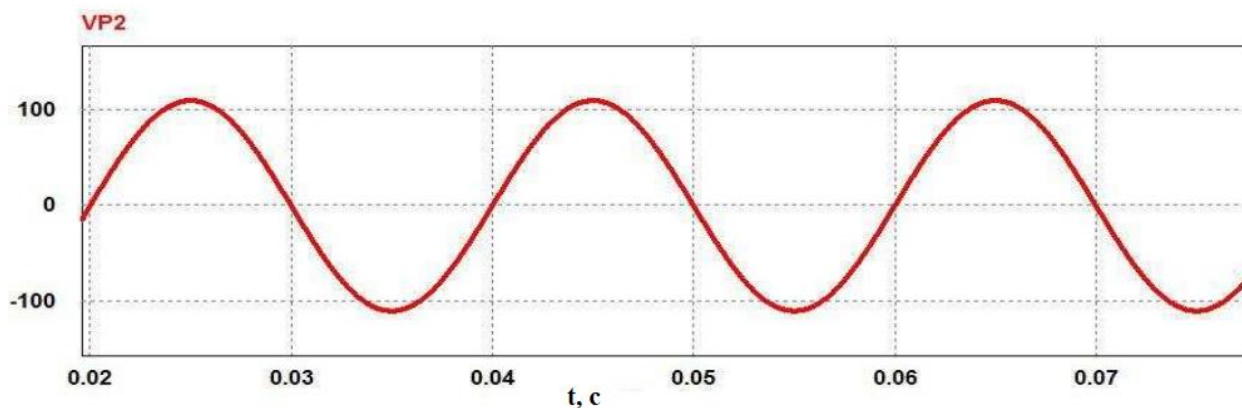


Рисунок 2.3 - Форма хвилі напруги змінного струму

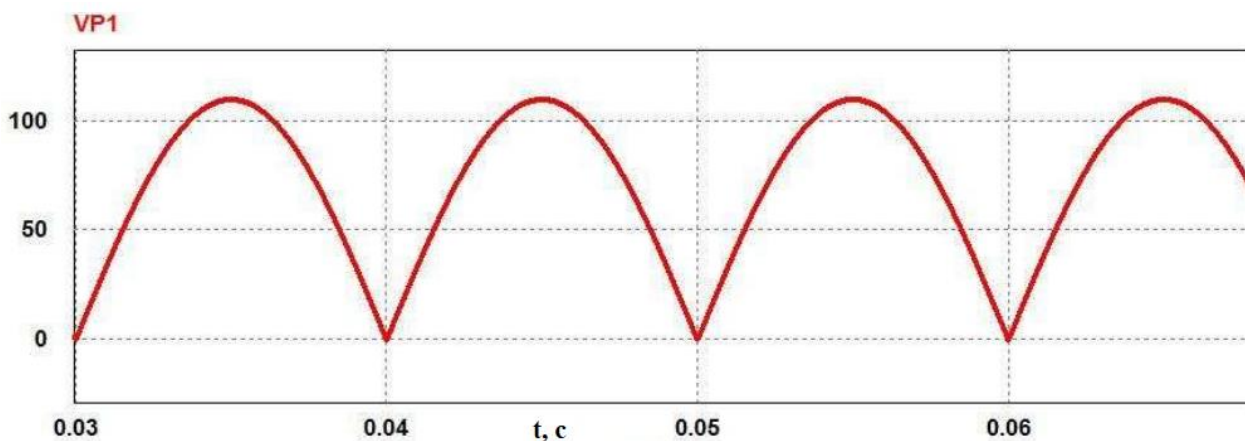


Рисунок 2.4 - Форма вихідної напруги випрямляча

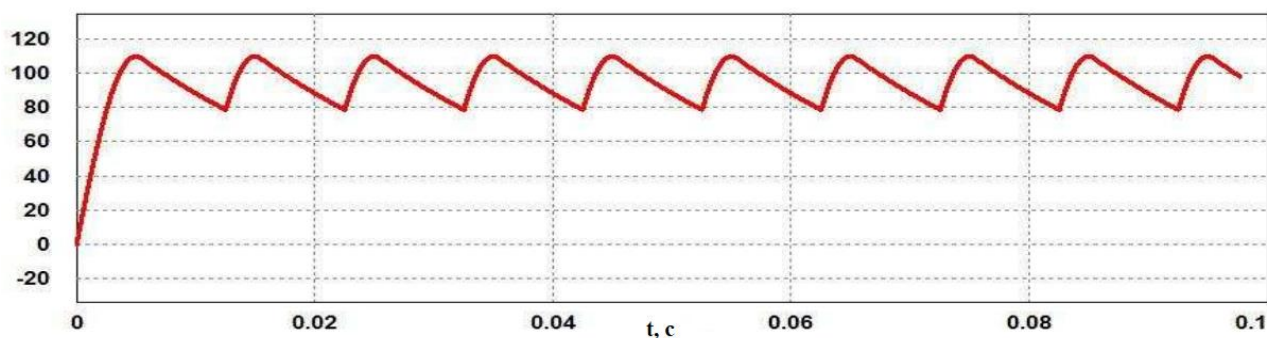


Рисунок 2.5 – Графік випрямленої, відфільтрованої вихідної напруги випрямляча мостового випрямляча

На рисунку 2.5 показано випрямлену відфільтровану вихідну напругу мостового випрямляча

Середній струм навантаження випрямляча становитиме:

$$I_{avg} = \frac{2I_m}{\pi} \quad (2.1)$$

Постійна напруга, що розвивається на опорі навантаження:

$$V_{dc} = \frac{2I_m}{\pi} \times R \quad (2.2)$$

Де R = опір навантаження.

Пропонований перетворювач також відомий як підвищувальний випрямляч. Оскільки підвищувальний перетворювач вважається ізольованою схемою каскаду, його також називають діапазоном підвищення потужності. Підвищувальні перетворювачі зручно використовувати, оскільки вихідна напруга завжди більша за вхідну, а також полярність однакова, тому не ізольована від вхідної сторони. Існує велика варіація вхідних вихідних струмів підвищувального перетворювача. На рисунку 2.6 показано підвищувальний перетворювач з корекції коефіцієнта потужності.

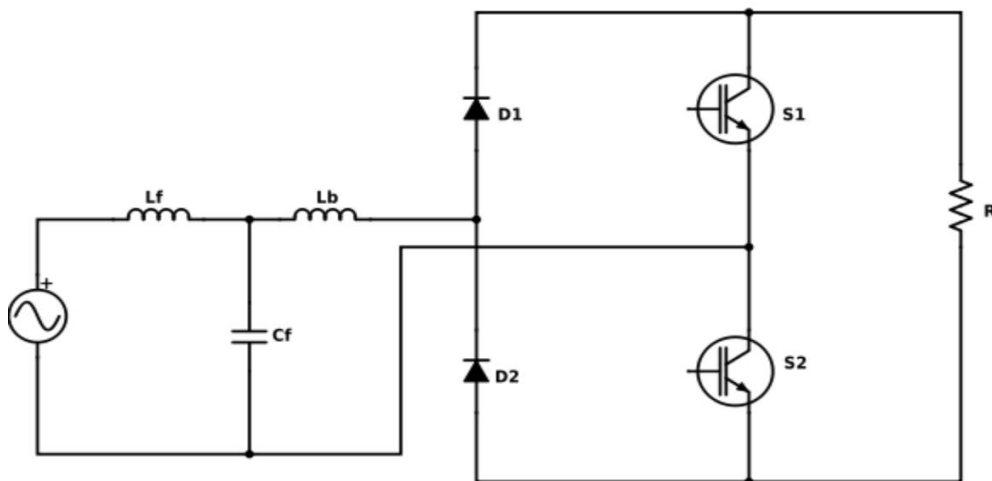


Рисунок 2.6. Підвищувальний перетворювач з корекцією коефіцієнта потужності

У запропонованій схемі для покращення коефіцієнта потужності використовується метод активної корекції коефіцієнта потужності.

2.2 Проектування та розрахунки підвищувального перетворювача з коректором коефіцієнта потужності

Нижче наведено різні параметри, пов'язані з підвищувачим перетворювачем.

$$\text{Вхідна потужність} = P_{\text{вх}} = \text{Вхідна потужність} P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (2.3)$$

$$\text{Середньоквадратичний вхідний струм} \frac{P_{in}}{V_{rms}} \quad (2.4)$$

Відповідно пульсації струму становитимуть 20% від максимуму струму індуктора.

$$\text{Максимальний вхідний струм} I_{in} = \sqrt{2} \times I_{in}(rms) \quad (2.5)$$

$$\text{Максимальна вихідна потужність} I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} \quad (2.6)$$

$$I_{in}(avg) = \frac{2 \times I_{in}(\max)}{\pi} \quad (2.7)$$

$$\text{Робочий цикл} D = \frac{V_{out}(\max) - V_{in}(\max)}{V_{out}(\max)} \times 100 \quad (2.8)$$

$$\text{Індуктивність} L = \frac{V_{in}(\min) \times D}{f_{sw} \times \Delta i} \quad (2.9)$$

$$\text{Ємність} C = \frac{I_{out}(\max) \times D}{f_{sw} \times \Delta V_{out}} \quad (2.10)$$

ΔV_{out} = Пульсації вихідної напруги

Δi = пульсації струму індуктора

Покращення коефіцієнта потужності підвищувального перетворювача PFC досягається шляхом моделювання за допомогою програмного забезпечення PSIM. Вхідна напруга 110 В змінного струму, а вихідна напруга 200 В постійного струму.

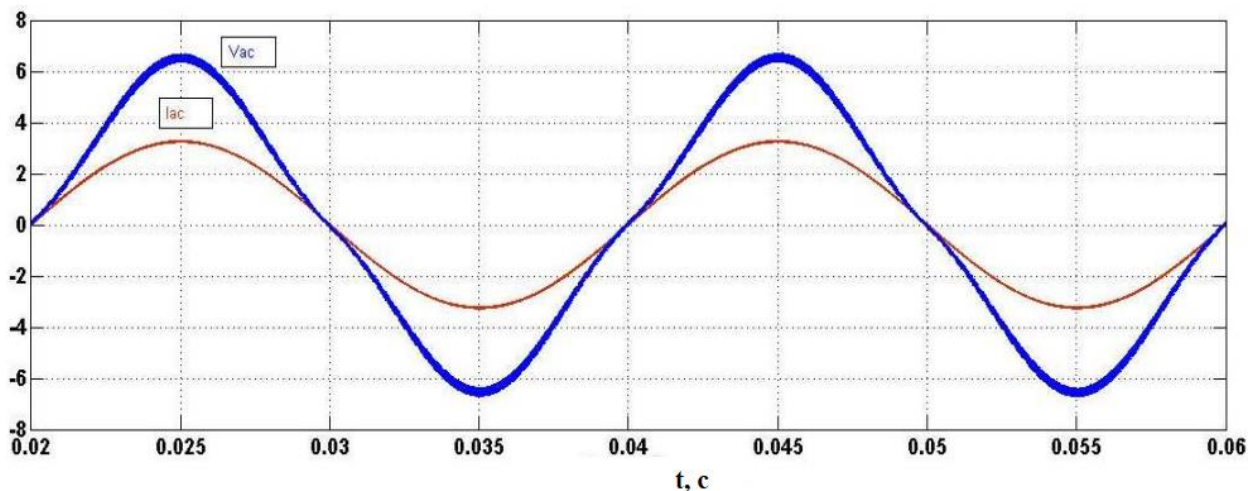


Рисунок 2.6 - Вхідну напругу та струм мережі АС, що подається на вхід перетворювача ККП (При зменшенні вхідної напруги в 37 разів)

На рис. 2.6 показано вхідну напругу та струм мережі АС, що подається на вхід перетворювача ККП, - 110 В при струмі 1,5 А. При зменшенні вхідної напруги в 37 разів.

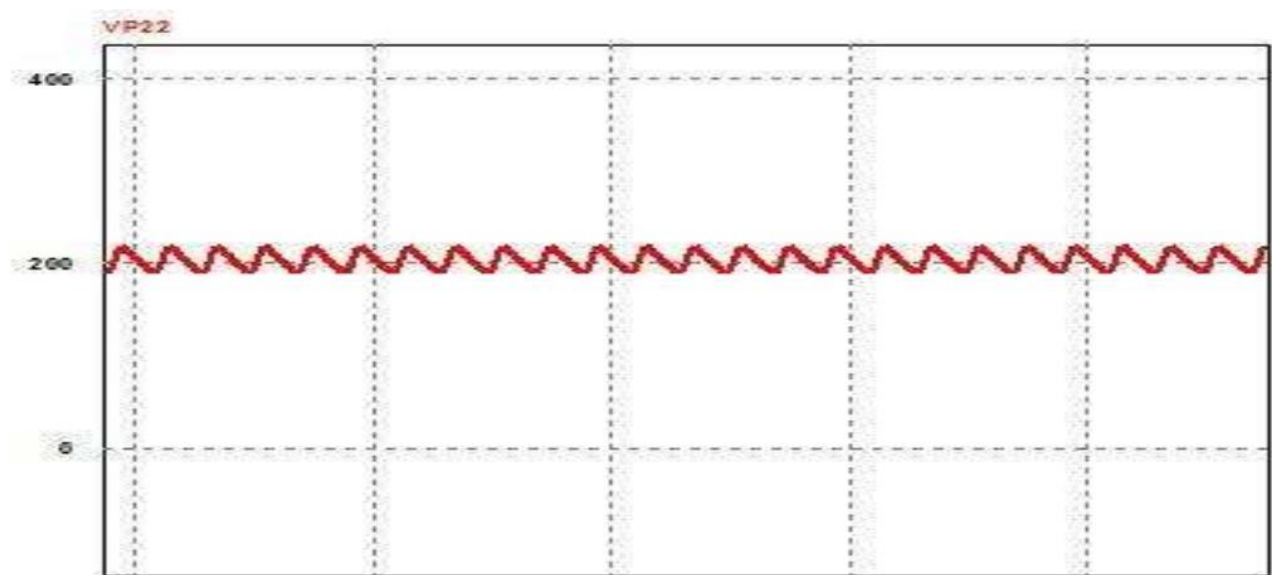


Рисунок 2.7 Вихідна напруга підвищувального перетворювача з ККП

На рисунку 2.7 показано вихідну напругу підвищувального перетворювача з ККП, яка є підвищуючою напругою 200 В, оскільки вхідна напруга становить 110 В змінного струму. Пульсації присутні через дуже мале значення підвищувального індуктора.

2.3 Резонансний LLC перетворювач

Резонансний перетворювач LLC дозволяє перемикати основні перемикачі з нульовою напругою, що значно знижує втрати на перемикання та підвищує ефективність. Резонансні напівмостові перетворювачі LLC широко використовуються в побутовій електроніці, наприклад для живлення дисплейної панелі РК-телевізора. Проте принципи роботи резонансного напівмостового перетворювача LLC далекі від ідеальних. На рисунку 2.8 показано резонансний перетворювач LLC.

Підсилення мережі LLC є частотно-модульованим. Перетворювач може працювати в трьох режимах залежно від вхідної напруги та умов струму навантаження.

При роботі на резонансній частоті $f_c = f_r$

Робота вище резонансної частоти $f_c > f_r$

Робота нижче резонансної частоти, $f_c < f_r$

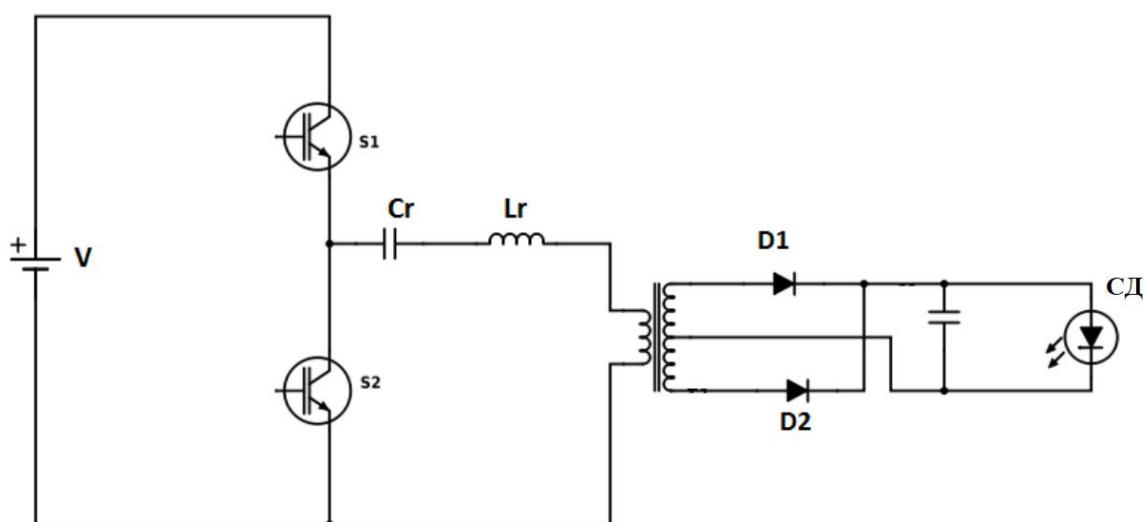


Рисунок 2.8 Резонансний перетворювач LLC

На резонансній частоті ($f_c = f_r$): кожен цикл 50% забезпечує роботу на повній потужності, тоді як резонансний напівперіод завершується під час напівперіоду перемикання. В кінці струму півперіоду через резонансний індуктор I_{Lr} досягає струму намагнічування I_{Lm} при якому струм випрямляча досягає нуля. Коефіцієнт підсилення резонансу дорівнює одиниці при

найкращій ефективності та оптимальному режимі роботи, тому для роботи перетворювача при номінальній входній та вихідній напрузі коефіцієнт трансформації повинен бути розрахований наступним чином

Вище резонансної частоти ($f_c > f_r$): Кожен 50-відсотковий цикл становить частину потужності, що припадає на резонансну частоту, але вона змінюється, оскільки резонансний напівцикл не завершується, оскільки цикл перемикавання переривається. Тому втрати на відключення на первинній стороні МОП-транзисторів збільшуються, а на вторинних випрямлячах відбувається жорстка комутація. Тому перетворювач працює при вищій входній напрузі, щоб забезпечити роботу в понижаючому режимі.

Нижче резонансної частоти ($f_c < f_r$): кожен 50%-ний цикл включає частину потужності, що подається на резонансну частоту, струм через резонансний індуктор I_{Lr} досягає намагнічування, операція вільного ходу здійснюється в кінці 50%-ного циклу перемикавання, тому втрати провідності через протікання енергії на первинній стороні збільшуються. У цьому випадку перетворювач працює при низькій напрузі, коли потрібне посилення. Різні компоненти резонансного перетворювача LLC розроблені з використанням наступних кроків:

2.3.1 Коефіцієнт підсилення резонансного перетворювача LLC:

Підсилення перетворювача = підсилення комутаційного моста × підсилення резонансу × коефіцієнт витків трансформатора

Коефіцієнт перемикавання напівмостового резонансного перетворювача LLC становить 0,5

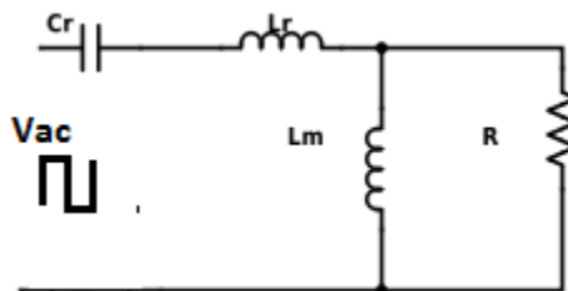


Рисунок 2.9 - Еквівалентний резонансний контур

Резонансний LLC можна отримати шляхом аналізу еквівалентного резонансного контуру, показаного на рисунку 2.9 резонансний коефіцієнт посилення - це величина передатної функції.

$$K(q, m, fx) = \left| \frac{V_{oac}(s)}{V_{inac}(s)} \right| = \frac{fx^2(m-1)}{\sqrt{(m(fx^2-1))^2 + fx^2(fx^2-1)^2 \times (m-1)^2 \times Q^2}} \quad (2.11)$$

F_x = нормована частота перемикавання

F_r = резонансна частота

M = відношення загальної первинної індуктивності до резонансної індуктивності

2.3.2. Конструкція високочастотного трансформатора

Етапи розробки високочастотного трансформатора такі

Крок 1. Розрахувати площу серцевини та площу отвору серцевини

$$A_c \cdot A_w = \frac{VI}{2 \times K \times B_m \times F_s \times J} \quad (2.12)$$

З отриманих значень A_c і A_w вибираємо сердечник, що підходить для трансформатора

Крок 2. Розрахувати кількість витків первинної та вторинної обмоток

$$N_p = \frac{V_1}{4 \times B_m \times A_c \times F_s} \quad (2.13)$$

$$N_s = \frac{V_2}{4 \times B_m \times A_c \times F_s} \quad (2.14)$$

Крок 3. Розрахувати розмір первинного та вторинного провідника

$$a_1 = \frac{I_1}{J} \quad (2.15)$$

$$a_2 = \frac{I_2}{J} \quad (2.16)$$

Крок 4. Розрахувати первинну та вторинну індуктивності

$$(S) = \frac{l_e}{\mu_0 \mu_r A_c} \quad (2.17)$$

Де l_e = ефективна довжина сердечника

μ_0 - абсолютна діелектрична проникність

μ_r - відносна проникність

A_c - ефективна основна площа

Первинна індуктивність $(L_p) = \frac{Np}{S^2}$

Вторинна індуктивність $(L_s) = \frac{Ns}{S^2}$

Взаємна індуктивність $(L_m) = K\sqrt{L_p L_s}$

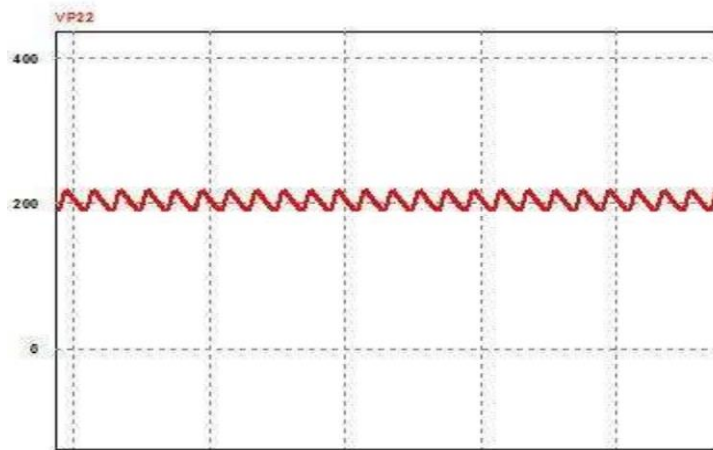


Рисунок 2.10 - Вихідна напруга перетворювача з ККП і вхідна напруга резонансного перетворювача LLC

На рисунках 2.10 та 2.11 показані вихідна напруга та струм перетворювача з ККП, який живиться від мостового випрямляча напругою мережі змінного струму, що фільтрується конденсатором лінії постійного струму та є входом для резонансного перетворювача LLC.

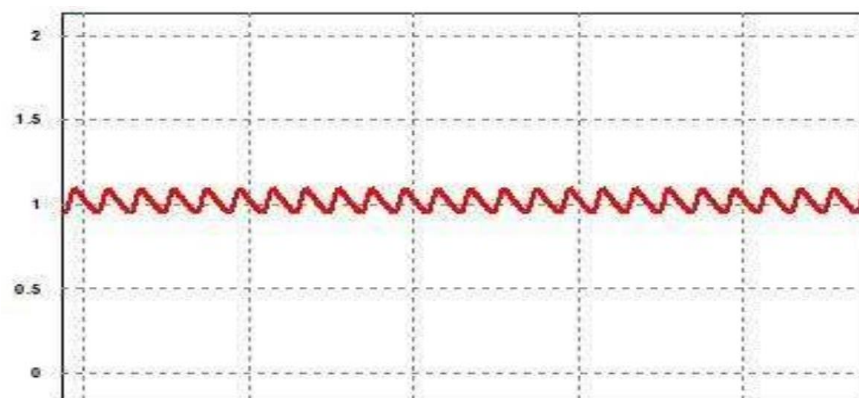


Рисунок 2.11 - Вихідний струм перетворювача з ККП і вхідний струм резонансного перетворювача LLC

Пульсації струму викликані низьким значенням підвищувального дроселя..

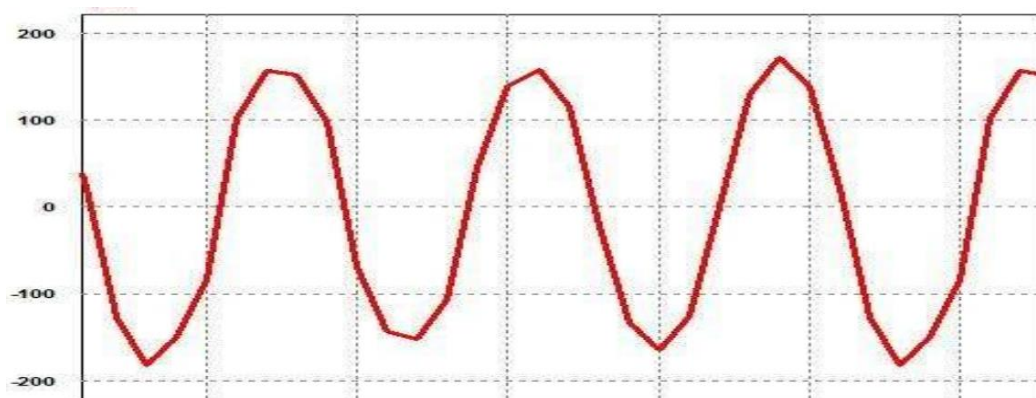


Рисунок 2.12 - Вихідна напруга резонансного кола та вхідна напруга трансформатора

На рис. 2.12 показаний вихід напівмостового інвертора, що являє собою квадратну хвилю. За допомогою резонансного кола квадратна хвиля може бути перетворена на синусоїдальну. Аналогічно струм також матиме синусоїдальну форму, як показано на рис. 2.13.

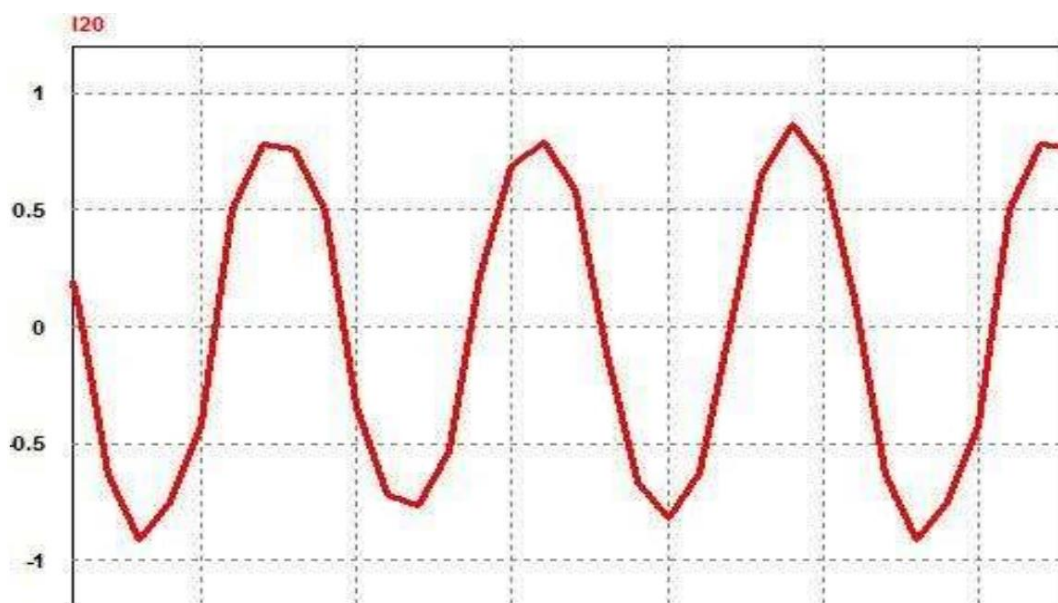


Рисунок 2.13 - Вихідний струм резонансного кола та вхідний струм трансформатора

Пропонований драйвер для живлення світлодіодного модуля вуличного освітлення з номінальним світлодіодом подано на малюнку 2.14. Він об'єднує

модифікований безмостовий перетворювач змінного струму ККП з напівмостовим резонансним перетворювачем постійного струму в одноступінчастий перетворювач потужності. Одноступінчастий драйвер складається з індуктора фільтра L_f , конденсатор фільтра C_f індуктор L_b , два діоди D_1 і D_2 , два вимикачі живлення S_1 і S_2 , з'єднаний постійним струмом конденсатор C_B , резонансний конденсатор C_r , індуктор L_r , трансформатор з центральним відводом T_1 з двома вихідними обмотками, двома діодами D_3 і D_4 і конденсатор C_o разом із світлодіодним модулем вуличного освітлення.

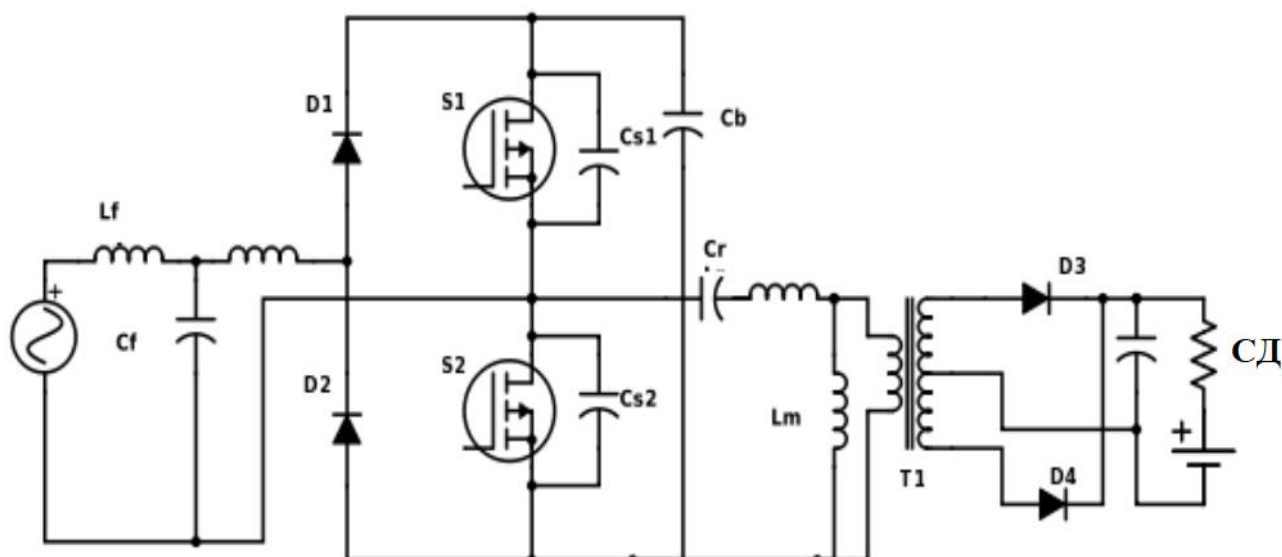


Рисунок 2.14. Одиночний драйвер для для вуличних світильників з світлодіодним освітленням.

2.4. Режими роботи схеми драйвера світлодіодного вуличного освітлення

Щоб проаналізувати запропоновану схему драйвера світлодіодного вуличного освітлення з одиночним каскадом, необхідно зробити деякі припущення, перелічені нижче:

Власні конденсатори перемикачів S_1 і S_2 розглядається, і обидва перемикачі працюють безкоштовно.

При аналізі схеми LC-фільтр не враховується еквівалентний опір і падіння напруги прямої провідності вихідного випрямляча ігноруються D_3 і D_4

Підвищувальний індуктор L_b працює в режимі переривчастої провідності. Напруга на кожному вимикачі розглядається як постійна, оскільки частота перемикання вимикачів набагато вища за напругу змінного струму в мережі.

Схема драйвера світлодіода з одиночним каскадом аналізується в режимах роботи для позитивного напівперіоду мережі змінного струму, оскільки аналіз для негативного напівперіоду аналогічний.

Вхідна мережева напруга змінного струму задається як

$$V_{ac}(t) = \sqrt{2}V_{ac-rms} \cdot \sin 2\pi f_{ac} \cdot t \quad (2.18)$$

де V_{ac-rms} - середнє квадратичне значення вхідної змінної напруги

f_{ac} - частота мережі змінного струму (50 Гц)

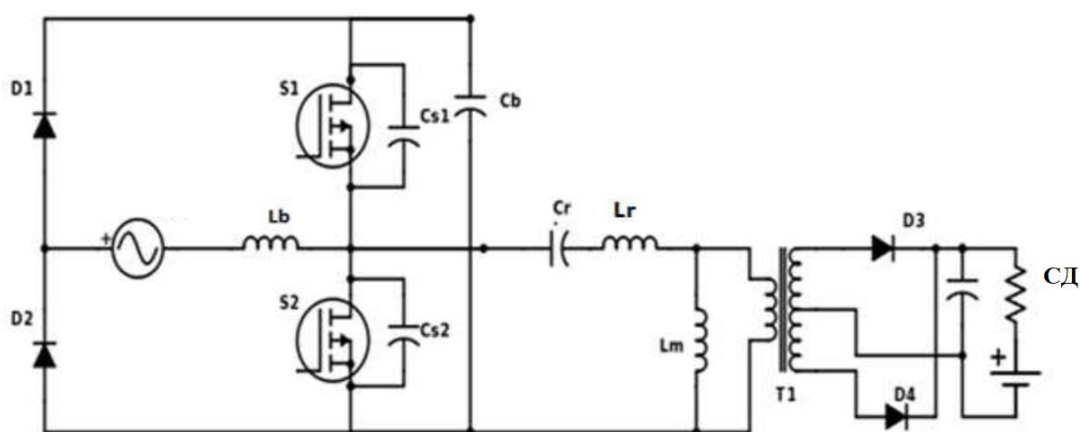


Рисунок 2.15 - Спрощена схема для світлодіодного драйвера під час аналізу режимів роботи

Режим 1 ($t_0 \leq t \leq t_3$) Коли перемикач S_1 увімкнено з перемиканням нульової напруги, підвищувальний індуктор L_b заряджається через мережу через D_1

Струм через індуктор зростає лінійно.

$$i_{Lb}(t) = \frac{V_{ac}(t)}{L_b} T \quad (2.19)$$

Індуктори „ L_M » і « L_r » забезпечує енергією « C_r », „ C_b » і до вихідного конденсатора « C_o » через діод D_3 і до світлодіодного модуля.

У цей момент струм індуктора стає рівним нулю при t_1 . Конденсатор постійного струму (C_b) буде забезпечувати енергією „ C_r » і « L_r » крізь корпусний

діод перемикача S_1 і індуктивність намагнічування трансформатора « L_M » забезпечить енергією вихідний конденсатор через діод D_3 .

У момент t_2 , струм через котушку i_{L_M} збільшується до нуля. При струмі через діод D_3 зводить до нуля, режим 1 закінчується. На рисунку 2.16 показана еквівалентна схема режиму роботи 1.

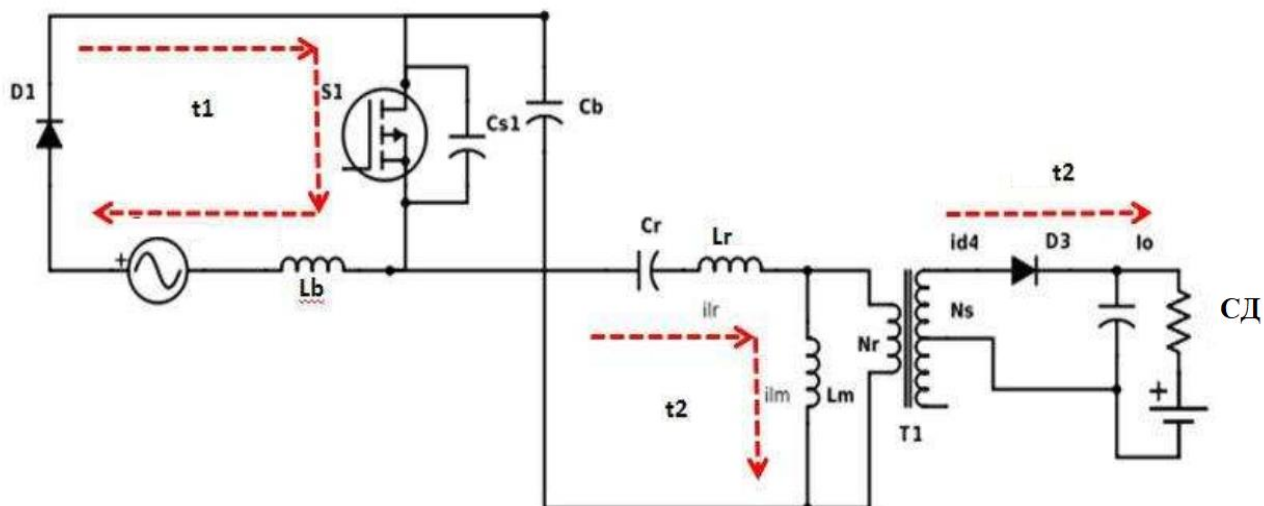


Рисунок 2.16 - Еквівалентна схема режиму роботи 1

Режим 2 ($t_3 \leq t \leq t_4$). На t_3 підвищувальний індуктор L_b продовжує зарядку до максимального значення через діод D_1 .

$$i_{Lb_{pk}}(t) = \frac{V_{ac}(t)}{L_b} T_s D \quad (2.20)$$

Де T_s = період перемикання

D = робочий цикл перемикача

Конденсатор кола постійного струму забезпечить енергією „ C_r “, „ L_r “ і « L_M » за допомогою перемикача S_1 . Вихідний конденсатор C_o буде доставляти енергію до модуля світлодіодного вуличного освітлення. Коли струм через індуктор намагнічування (i_{L_M}) і резонансний індуктор (i_{L_r}) будуть рівні, тоді режиму 2 закінчиться.

На рисунку 2.17 показана еквівалентна схема режиму роботи 2

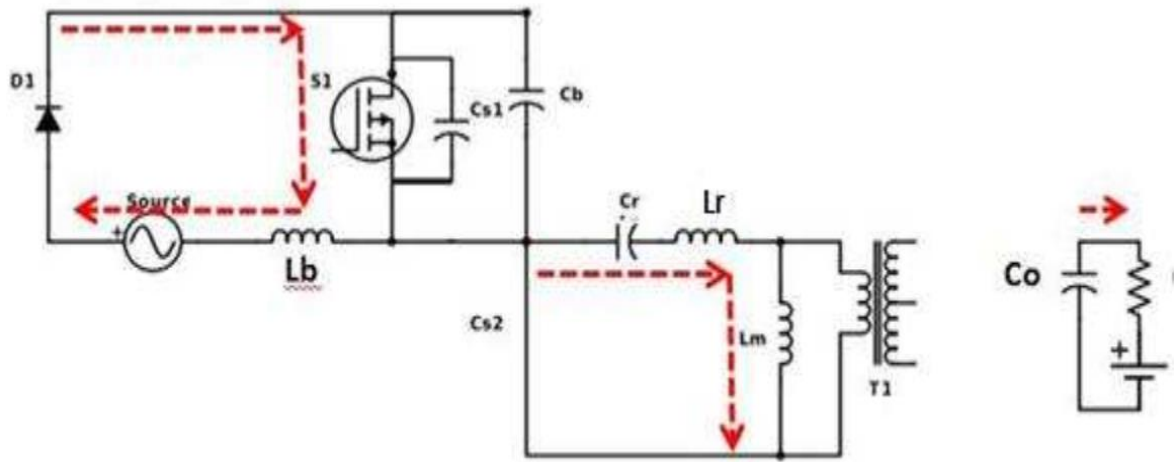


Рисунок 2.17 - Еквівалентна схема режиму роботи 2

Режим 3 ($t_4 \leq t \leq t_5$). У цьому режимі мережева напруга змінного струму V_{ac} і підвищувальний індуктор L_b забезпечить енергією конденсатор кола постійного струму через діод D_1 . Струм підвищувального індуктора i_{L_b} лінійно зменшується при t_4 . Конденсатор кола постійного струму та власний конденсатор перемикача 2 забезпечуватимуть енергією « C_r », « L_r » і « L_m ». Вихідний конденсатор « C_o » продовжить забезпечувати енергією світлодіодний модуль вуличного освітлення. Коли власна напруга конденсатора на перемикачі 2 зменшується до нуля при t_5 , тоді режим 3 закінчується.

На рисунку 2.18 показана еквівалентна схема режиму роботи 3

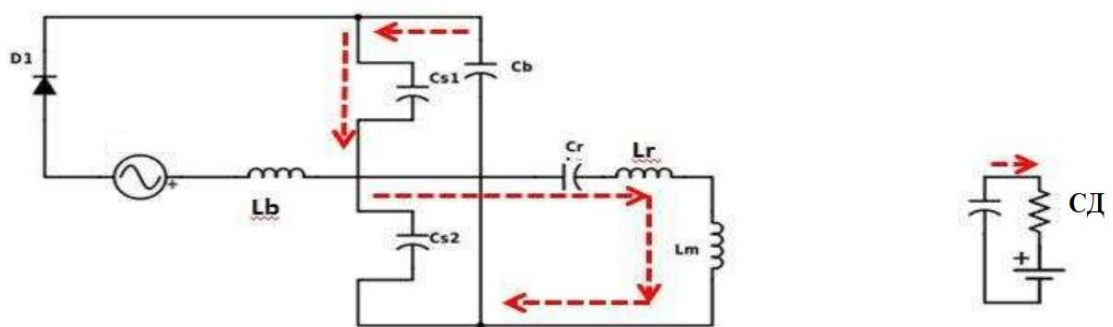


Рисунок 2.18 - Еквівалентна схема режиму роботи 3

Режим 4 ($t_5 \leq t \leq t_6$). У момент t_5 , підвищувальний індуктор L_b подає енергію через корпусний діод перемикача на конденсатор кола постійного струму. Підвищувальний індуктор i_{L_b} лінійно зменшується, а струм індуктора визначається як:

$$i_{L_b} = \frac{V_{ac}(t)}{L_b} DT_s - \frac{V_{dc} - V_{ac}(t)}{L_b} t \quad (2.21)$$

Індуктор намагнічування L_m подає енергію через корпусний діод перемикача до резонансного конденсатора « C_r » і « L_r » і до вихідного конденсатора „ C_o “ разом зі світлодіодним модулем вуличного освітлення через діод D_4 . Коли перемикач 2 увімкнеться, режим 4 завершується. На рисунку 2.19 показана еквівалентна схема режиму роботи 4

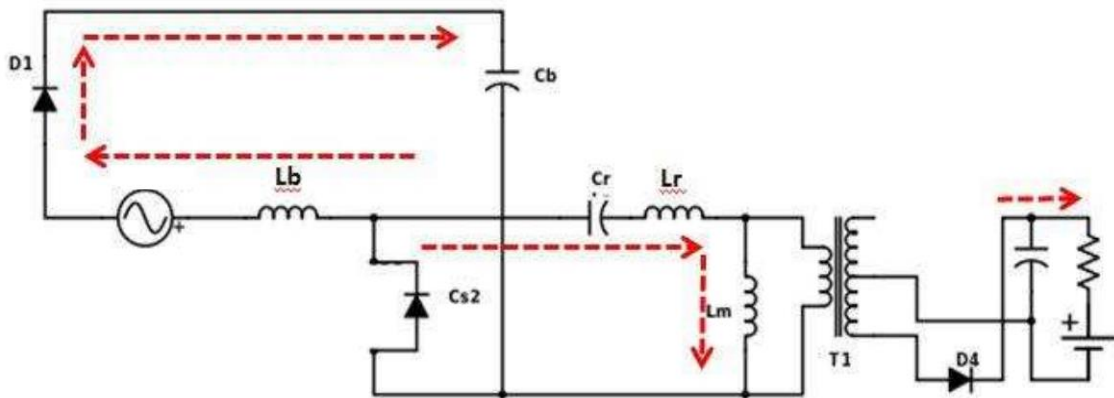


Рисунок 2.19 - Еквівалентна схема режиму роботи 4

Режим 5 ($t_6 \leq t \leq t_7$). Коли перемикач S_2 увімкнено, підвищувальний індуктор « L_b » продовжує надавати енергії до конденсаторног кола постійного струму через корпусний діод перемикача, отже i_{L_b} зменшується лінійно

Резонансний індуктор « L_r » забезпечить резонансну кришку енергієюацитор « C_r » через перемикач S_2 і індуктор намагнічування « L_m », забезпечує енергією на виході конденсатора C_o . Коли i_{L_b} зводиться до нуля, режим 5 закінчується. На рисунку 2.20 показана еквівалентна схема режиму роботи 5

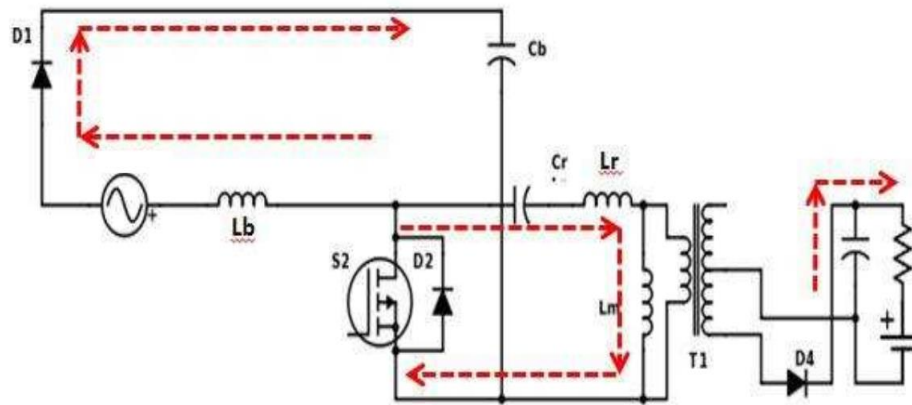


Рисунок 2.20 - Еквівалентна схема режиму роботи 5

Режим 6 ($t_7 \leq t \leq t_8$). У момент t_7 струм підвищуючого індуктора i_{Lb} дорівнює нулю. Резонансний індуктор « L_r » продовжує надавати енергію резонансному конденсаторові « C_r » через перемикач S_2 і індуктор намагнічування « L_m » забезпечує енергією вихідний конденсатор разом із світлодіодним модулем вуличного освітлення. Коли i_{Lb} зменшується до нуля режим 6 закінчується. На рисунку 2.18 показана еквівалентна схема режиму роботи 6

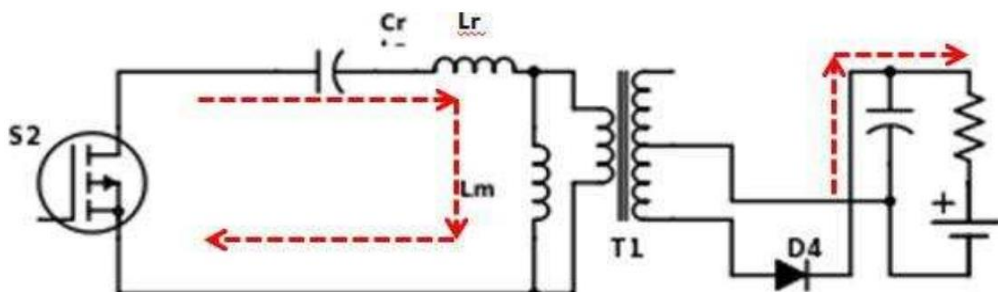


Рисунок 2.18 - Еквівалентна схема режиму роботи 6

Режим 7 ($t_8 \leq t \leq t_9$). Струм індуктора « i_{Lr} » продовжує доставляти енергію до « C_r », « L_m » через перемикач S_2 . Вихідний конденсатор забезпечує енергією світлодіодний модуль вуличного освітлення. Коли « i_{d4} » зменшується до нуля, режим 7 закінчується. На рисунку 2.21 показана еквівалентна схема режиму роботи 7

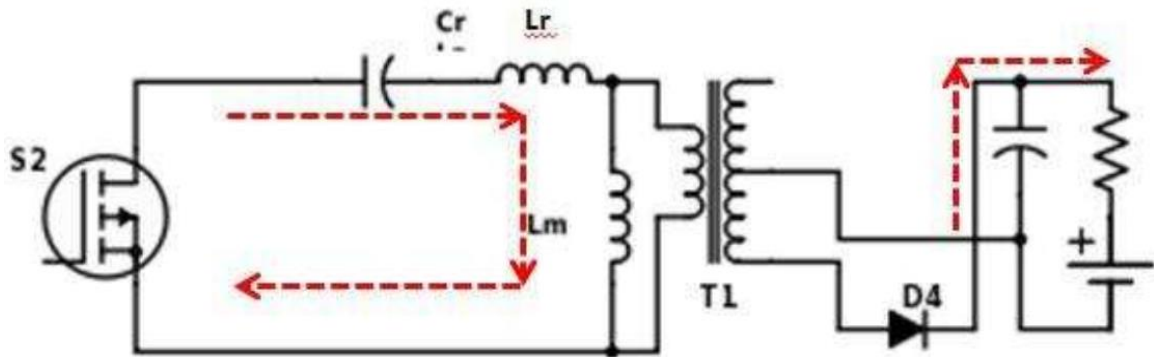


Рисунок 2.21 - Еквівалентна схема режиму роботи 7

Режим 8 ($t_9 \leq t \leq t_{10}$) При t_9 , резонансний конденсатор C_r подає енергію на резонансні індуктори L_r і L_m через перемикач 2, а вихідний конденсатор подає енергію на світлодіодний модуль вуличного освітлення. Коли S_2 вимикається, режим 8 закінчується. На рисунку 2.22 показана еквівалентна схема режиму роботи 8

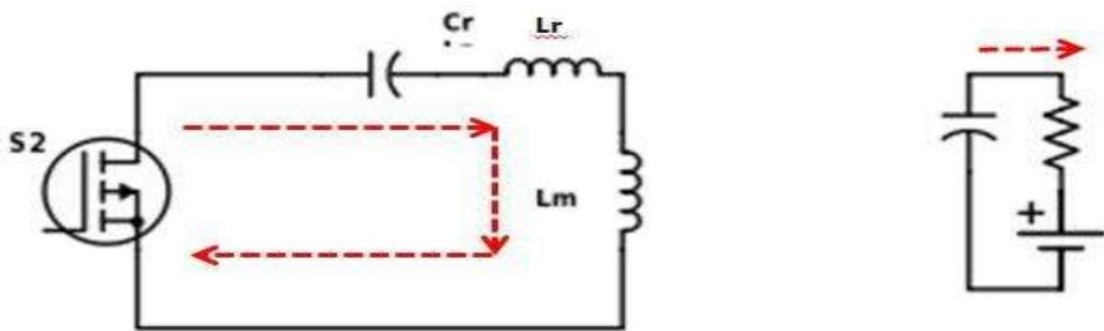


Рисунок 2.22 - Еквівалентна схема режиму роботи 8

Режим 9 ($t \leq t$). Власна ємність перемикача та резонансного конденсатора забезпечує енергію для « L_r », « L_m », « C_{s2} », « C_b », і L_b . Вихідний конденсатор C_o забезпечує енергією світлодіодний модуль вуличного освітлення. Коли власна напруга конденсатора зменшується до нуля, режим 9 закінчується. На рисунку 2.23 показана еквівалентна схема режиму роботи 9

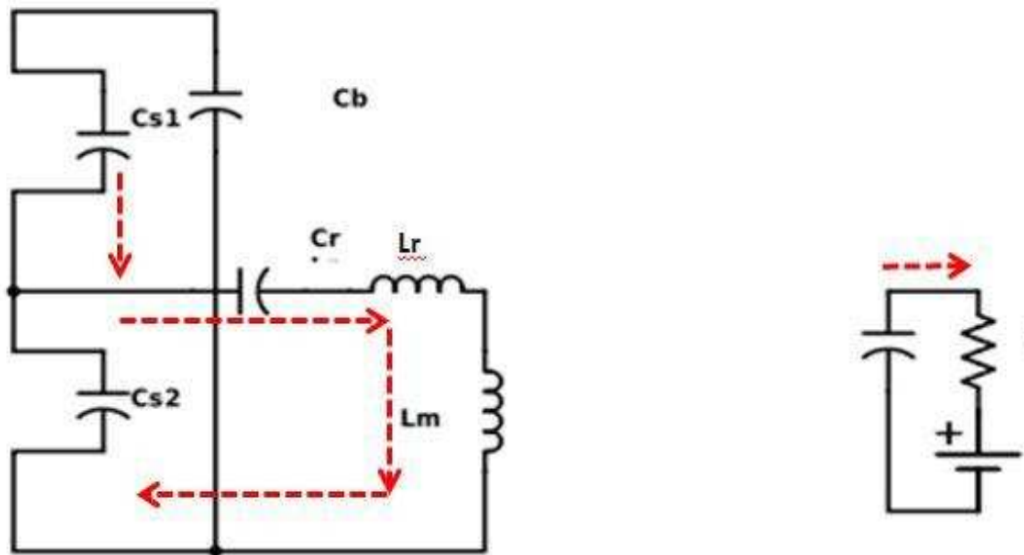


Рисунок 2.23 - Еквівалентна схема режиму роботи 9

Режими роботи від 1 до 9 призначені для позитивного напівперіоду напруги мережі змінного струму, тоді як режими 10-18 відбуваються в негативному півперіоді, який подібний до позитивного напівперіоду.

2.5 Розробка схеми драйвера вуличного світлодіодного освітлення

У цьому розділі представлено процедуру проектування схеми драйвера світлодіодів із одиночним каскадом для модуля вуличного освітлення з номінальною потужністю 36 Вт і вихідною напругою 51 В, та струмом 0,7 А.

Технічні характеристики конструкції перераховані таким чином:

Вхідна мережева напруга (середньоквадратичне значення): $V_{ac} = 210$ В ($V_{ac_{мін}}$) - 230В ($V_{ac_{макс}}$) вхідна частота лінії $f_{ac} = 50$ Гц, номінальна потужність світлодіодного модуля вуличного освітлення $P_o = 36$ Вт. Номінальна напруга світлодіодного модуля вуличного освітлення $V_o = 51$ В. Номінальний струм світлодіодного модуля вуличного освітлення $I_o = 0,7$ А. Розрахункова ефективність $> 90\%$

Конструкція підвищувального індуктора

$$iLb_{pk}(t) = iac_{pk}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{ac_max} \sin(2\pi fact)}{Lb} TSD \quad (2.22)$$

де V_{ac_max} = максимальне середньоквадратичне значення вхідної напруги.

$i_{ac}(t)$ = вхідний струм.

При кожному імпульсі перемикання вхідний струм дорівнює середньому значенню струму індуктора і визначається як

$$\begin{aligned} i_{ac}(t) &= \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} i_{Lb_{pk}}(t) \cdot dt \\ &= \frac{\sqrt{2}V_{ac_max} \sin(2\pi f_{act}) D^2 T_s V_{dc_max}}{2L_b(V_{dc} - \sqrt{2}V_{ac_max})} \end{aligned} \quad (2.23)$$

де V_{dc_max} - максимальна напруга DC_ шини напруги.

Середня потужність отримується як, l

$$P_{in} = \frac{1}{T_{ac}} \int_0^{T_{ac}} V_{ac}(t) i_{ac}(t) dt = \frac{V_{ac_max}^2 D^2 T_s V_{dc_max}}{2L_b(V_{dc} - \sqrt{2}V_{ac_max})} \quad (2.24)$$

Номінальна вихідна потужність P_o схеми драйвера пов'язана з вхідною потужністю P_b і визначається:

$$P_o = \eta P_{in} = \frac{\eta V_{ac_max}^2 D^2 T_s V_{dc_max}}{2L_b(V_{dc} - \sqrt{2}V_{ac_max})} \quad (2.25)$$

η - оцінка ефективності схеми світлодіодного драйвера При перестановці

$$L_b = \frac{\eta v_{ac_max}^2 D^2 V_{dc_max}}{2P_{ofs}(V_{dc} - \sqrt{2}V_{ac_max})} \quad (2.26)$$

Мінімальної напруги шини постійного струму V_{dc} .

Мінімальна постійна напруга V_{dc_min} відносно мінімальної вхідної напруги V_{ac_min} визначається як:

$$V_{dc_min} = \frac{2\sqrt{2}L_b P_o V_{ac_min}}{2L_b P_o - \eta T_s D^2 v_{ac_min}^2} \quad (2.27)$$

Коефіцієнта витків трансформатора:

$$\eta = \frac{n_p}{n_s} \geq \frac{V_{dc_max}}{V_o + V_f} \quad (2.28)$$

Максимальне та мінімальне підсилення напруги резонансного перетворювача LLC

$$Q = \frac{\sqrt{L_r}}{R} \quad (2.29)$$

де Q = коефіцієнт якості

L_r = резонансний індуктор

C_r = резонансний конденсатор

R = еквівалентний опір

Основна резонансна частота

$$\omega_{r1} = 2\pi f_{r1} = \frac{1}{\sqrt{L_r \cdot C_r}} \quad (2.30)$$

Вторинна резонансна частота

$$\omega_{r2} = 2\pi f_{r2} = \frac{1}{\sqrt{(L_m + L_r)C_r}} \quad (2.31)$$

Коефіцієнт індуктивності A визначається як

$$A = \frac{L_m}{L_r} \quad (2.32)$$

Використовуючи метод фундаментального наближення, посилення напруги резонансного перетворювача LLC визначається як:

$$K(q, m, fx) = \left| \frac{V_{oac}(s)}{V_{inac}(s)} \right| = \frac{fx^2(m-1)}{\sqrt{(m(fx^2-1))^2 + fx^2(fx^2-1)^2 \times (m-1)^2 \times Q^2}} \quad (2.33)$$

При виборі частоти перемикання, що дорівнює резонансній частоті, мінімальне підсилення напруги M_{v_min} відбувається при максимальній напрузі DC-BUS.

$$M_{v_min} = |Mv(\omega_s)| = 1$$

З іншого боку, максимальне підсилення напруги M_{v_max} , що відбувається при мінімальній напрузі V шини постійного струму V_{dc_min} визначається як

$$M_{v_max} = \frac{V_{dc_max} \cdot M_{v_min}}{V_{dc_min}} \quad (2.34)$$

Резонансний індуктор можна розрахувати за допомогою

$$L_r = \frac{QR}{2\pi f_{r1}} \quad (2.35)$$

Резонансний конденсатор C_r можна отримати

$$C_r = \frac{1}{(2\pi f_{r1})^2 L_r} \quad (3.22)$$

2.6 Висновки до розділу

Запропонований драйвер для живлення світлодіодного модуля вуличного освітлення з світлодіодом, який включає у собі півмостовий перетворювач змінного струму з ККП із резонансним напівмостовим перетворювачем постійного струму LLC із одноступіньчастим перетворювачем потужності. Одноступеневий перетворювач складається з з LC фільтра, індуктора L_b , двох діодів D_1 і D_2 , двох силових перемикачів S_1 і S_2 , конденсатора постійного струму C_B , резонансного конденсатора C_r , резонансного індуктора L_r , трансформатора T_1 , двох діодів D_3 та D_4 та конденсатора C_o , а також світлодіодного модуля вуличного освітлення. Продемонстрована принцип роботи послідовного резонансного перетворювача LLC з повним описом його режимів роботи.

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Моделювання та результат дослідження схеми живлення світлодіодного драйвера

Щоб співвіднести принцип роботи перетворювачів у вигляді режимів роботи з фактичною поведінкою перетворювачів, необхідно запуснути схему живлення перетворювача в будь-якому програмному забезпеченні силової електроніки через simulink. Таким чином, моделювання схеми драйвера світлодіодів виконується в програмному забезпеченні PSIM, і отримані таким чином результати порівнюються з розрахунковими значеннями перетворювачів щодо принципу роботи та режимів роботи.

Базуючись на специфікації та розрахунковому рівнянні, описаних у розділі 2, розраховані параметри наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 Розраховані параметри

S.No	Параметри	Значення
1.	Вхідна напруга	210 В
2.	Вхідний струм	150 мА
3.	Робочий цикл	45%
4.	Частота перемикавання	120 кГц
5.	Вихідне навантаження	74 Ом
6.	Індуктор L_b , поточний i_{Lb}	1 мГн, 400 мА
7.	Діод прямого струму, блокуюча напруга	8 А, 600 В
8.	Індуктор L_r , поточний i_{Lr}	274 мкГн, 300 мА
9.	Конденсатор C_b , номінальна напруга V_{cb}	220 мкФ, 1000В
10.	Конденсатор C_r , номінальна напруга	0,6 нФ, 800 В
11.	Взаємна індуктивність трансформатора L_m	5 мГн, 200 мА
12.	Кількість витків (первинна)	164
13.	Кількість обертів (вторинний 1)	30
14.	Кількість обертів (вторинний 2)	30
15.	Конденсатор C_o , напруга $V_{співробітництво}$	474 мкФ, 63 В

Базуючись на наведених вище розрахункових значеннях, моделювання світлодіодного драйвера виконується шляхом подачі вхідної напруги змінного струму 210 В із шпаруватістю 45%. Моделювання виконується в PSIM, для різних параметрів, таких як вихідна напруга та вихідний струм, струм індуктивності, напруга конденсатора, напруга перемикання та форма сигналу діода. Схема живлення світлодіодного драйвера показана на рисунку 3.1.

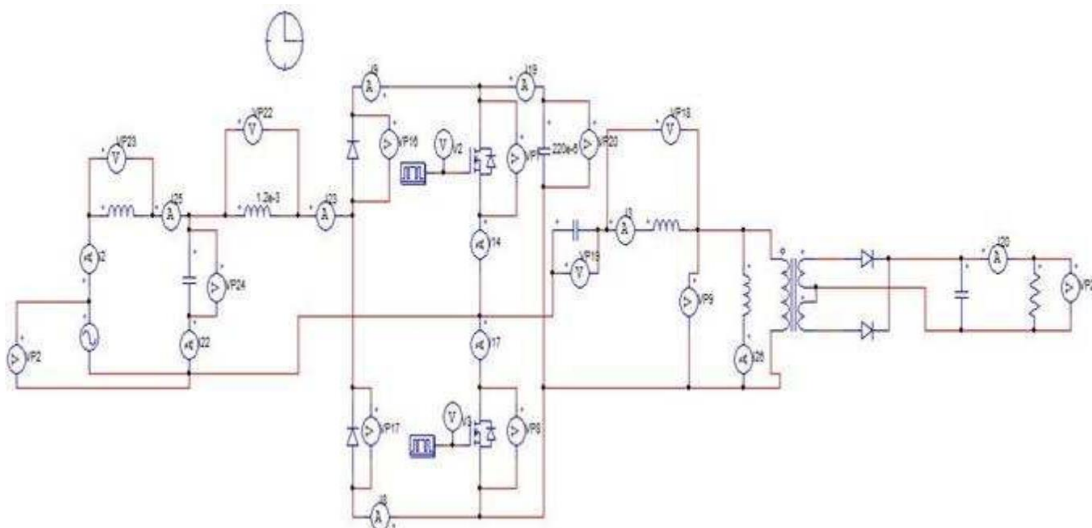


Рисунок 3.1 – Модель в програмному середовищі PSIM схеми живлення світлодіодного драйвера

Оскільки вхідна напруга є мережевою напругою змінного струму, форма сигналу матиме синусоїдальний характер, як показано на рисунку 3.2, подібним чином форма сигналу струму також буде синусоїдальною.

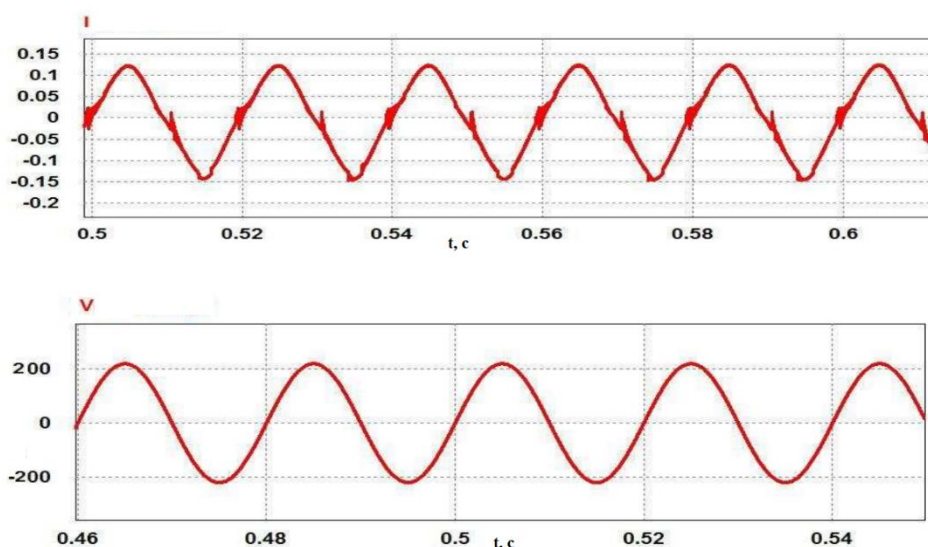


Рисунок 3.2 - Вхідна напруга та струм мережі

Індуктор L_b - це підвищуючий індуктор, який підвищує напругу з 210 до 310 В. Форма струму цього індуктора наведена на рисунку 3.3.

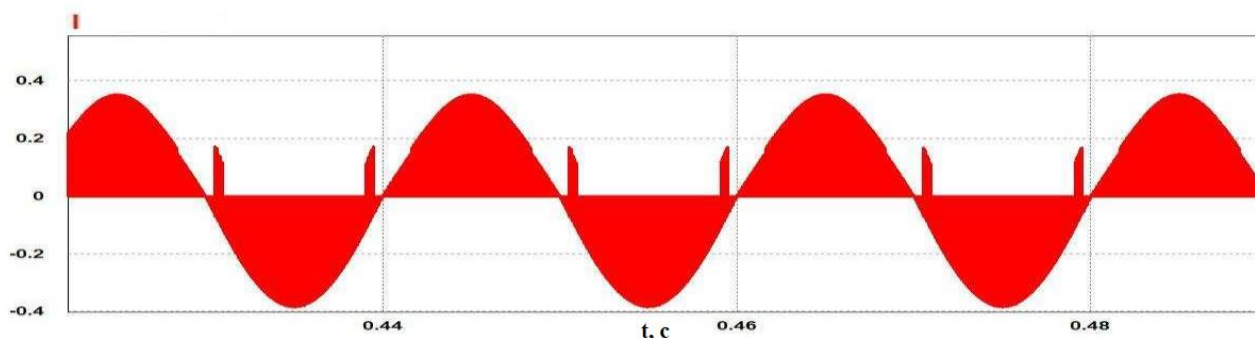


Рисунок 3.3 Струм підвищувального індуктора

Індуктор L_b працює в режимі переривчастої провідності (РПП), і оскільки вхідний сигнал змінного струму негативний він також буде присутній.

Мостовий випрямляч використовується для перетворення змінного струму на постійний, тому на діоді буде напруга, так як на вході висока напруга. Напруга на обох діодах показано на рисунку 3.4.

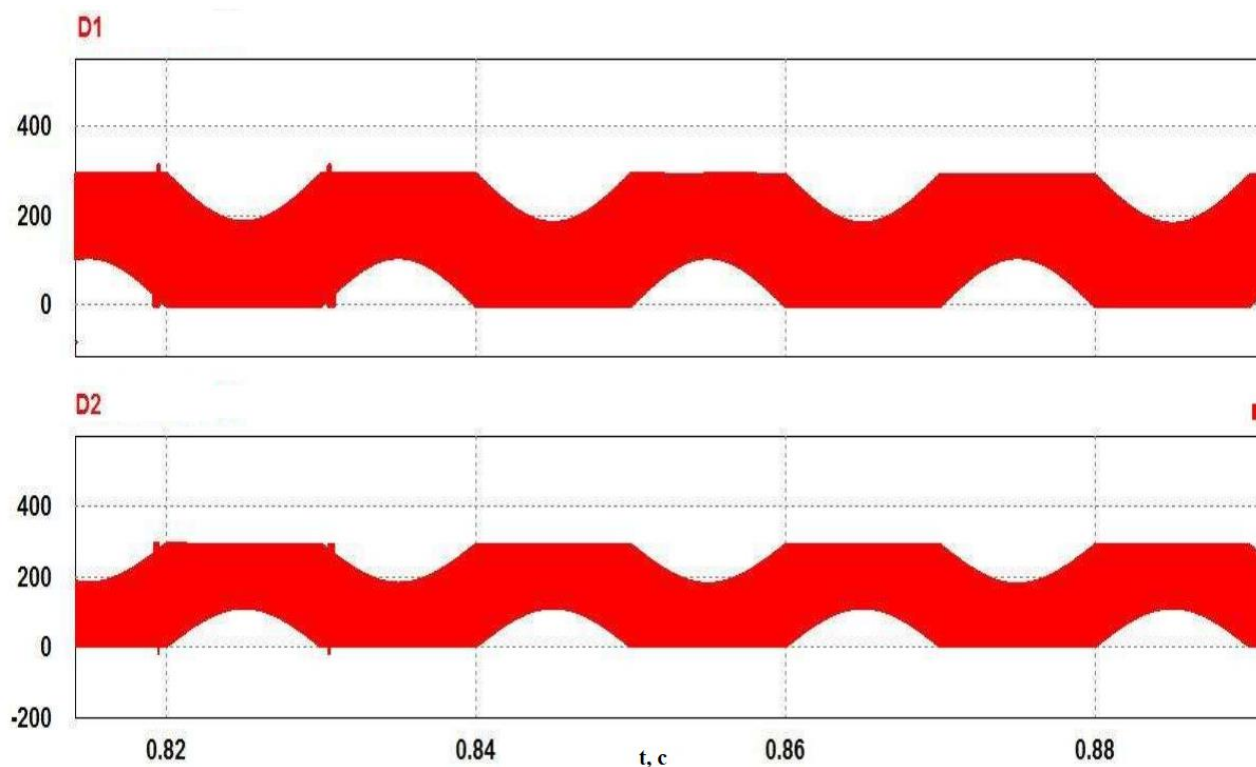


Рисунок 3.4 - Напруга на D_1 і D_2

Головне завдання модифікованого безмостового перетворювача з коректором коефіцієнта потужності полягає в підвищенні вхідної напруги та підтримці коефіцієнта потужності мережевої напруги змінного струму. Вхідна напруга становить 210 В, вона підвищується до 310 В за допомогою підвищувального перетворювача.

Підвищувальний індуктор L_b працює в режимі припинення провідності. Звідси L_b не заряджається повністю. На рисунку 3.5 показано вихідні дані модифікованого перетворювача з коефіцієнта потужності.

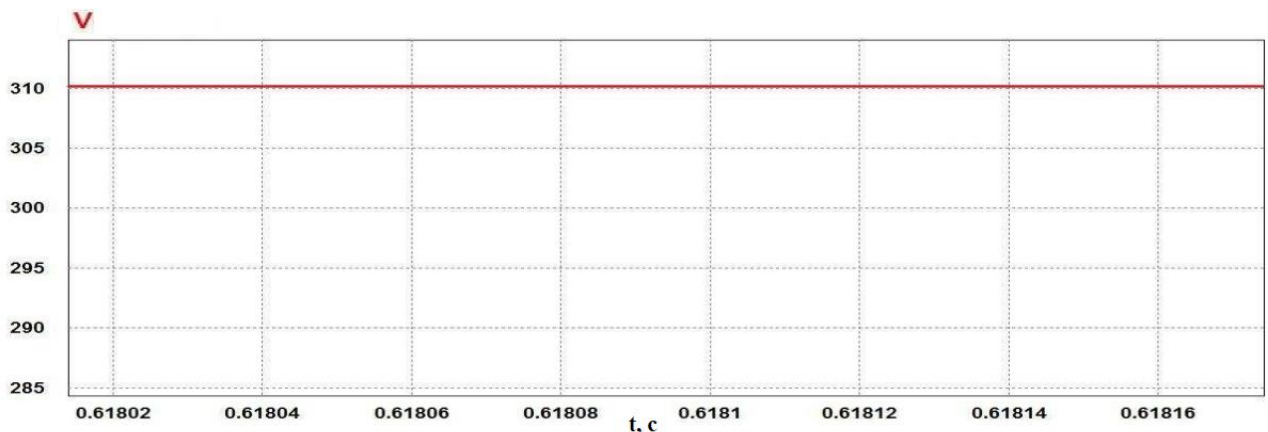


Рисунок 3.5 – Графік напруги на підвищувальному перетворювачі з коректором коефіцієнта потужності

На рисунку 3.6 показано напругу на перемикачі в увімкненому та вимкненому стані:

$I_D =$ Струм стоку = 260 мА, $V_{DS} =$ Напруга стоку-джерела = 0 В при увімкненому стані

$I_D =$ Струм стоку = 0 А, $V_{DS} =$ Напруга стоку-джерела = 310 В при вимкненому стані

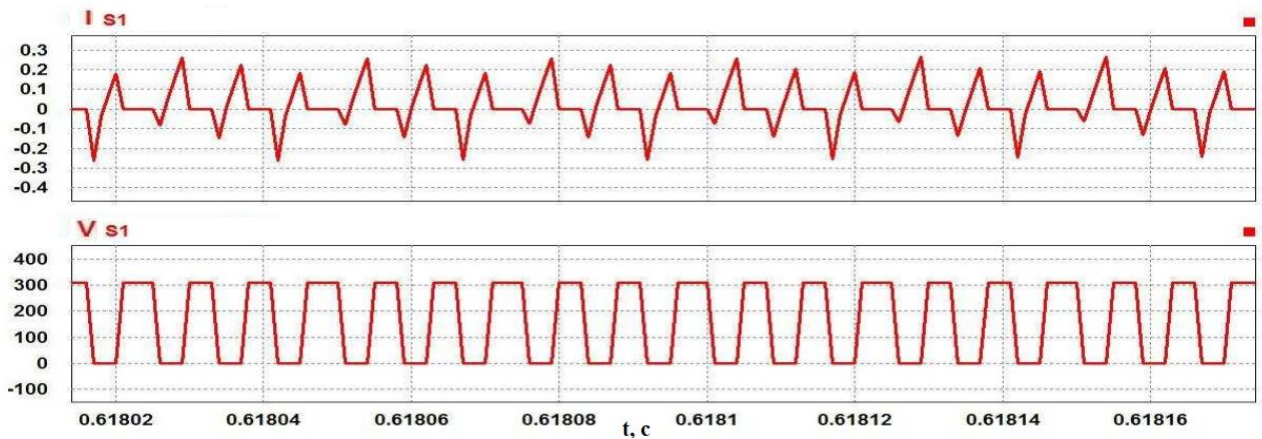


Рисунок 3.6 - Напряга на перемикачі S_1

Як обговорювалося раніше, резонансний перетворювач має багато переваг, наприклад, м'яке перемикання, перемикання нульового струму зменшує втрати провідності тощо. Резонансна частота резонансного перетворювача LLC дорівнює частоті перемикання перетворювача, тобто 120 кГц.

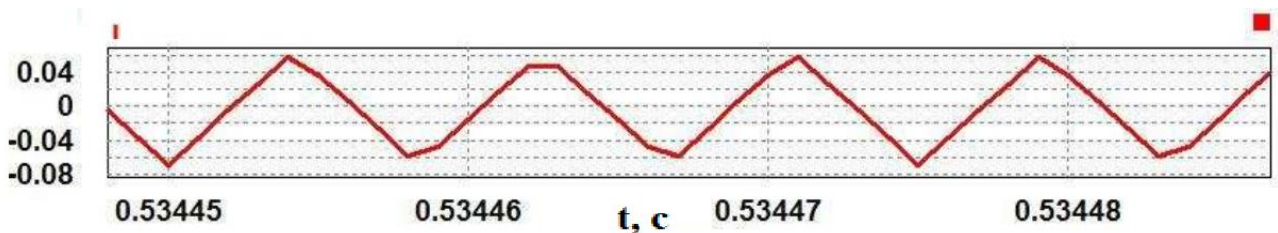


Рисунок 3.7 - Форма струму резонансного кола

На рисунку 3.7 показані форма струму резонансного кола, який буде входом для високочастотного трансформатора. Струм через резонансний індуктор i_{Lr} і напруга на резонансному конденсаторі V_{Cr} показано на рисунку 3.8

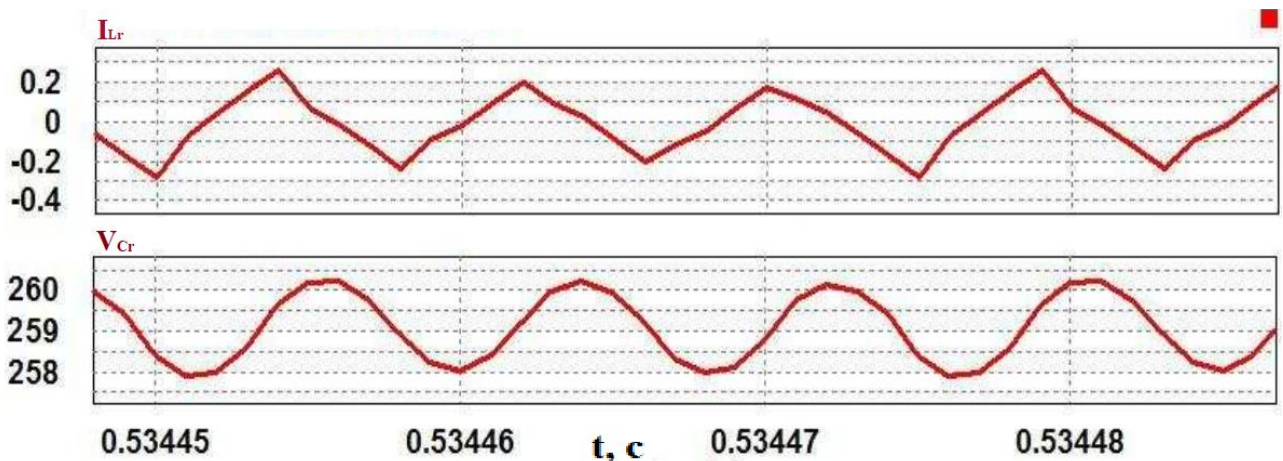


Рисунок 3.8 - Струм через резонансний індуктор i_{Lr} і напруга на резонансному конденсаторі V_{Cr}

Трансформатор зазвичай використовується для підвищення або зниження напруги. У цьому світлодіодному драйвері використовується високочастотний трансформатор, який буде меншим за розміром, але працюватиме так само. Первинна індуктивність, вторинна індуктивність, кількість витків, значення взаємної індуктивності були показані раніше.

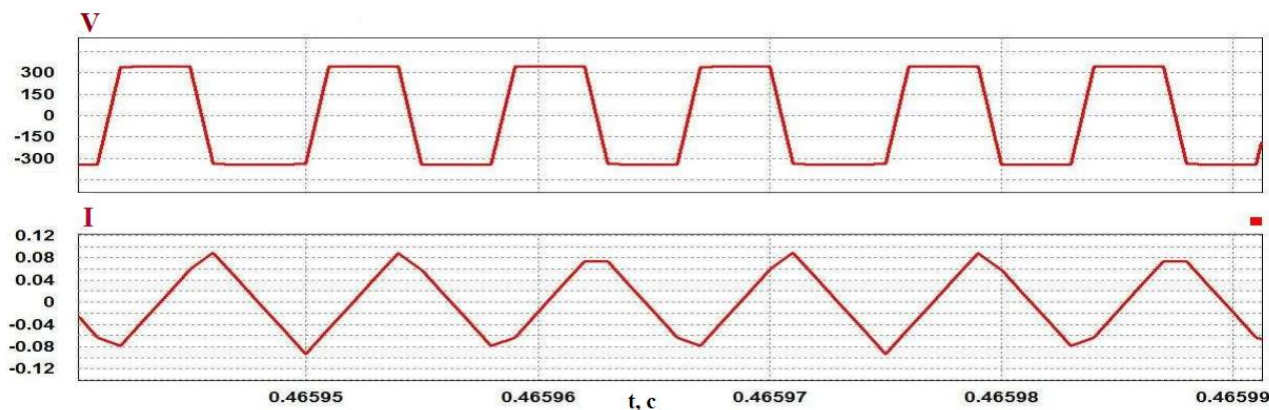


Рисунок 3.9 - Вхідна напруга і струм трансформатора

На рисунку 3.9 показано вхідну напругу та струм трансформатора, а на рисунку 3.10 – вихідну напругу та струм трансформатора.

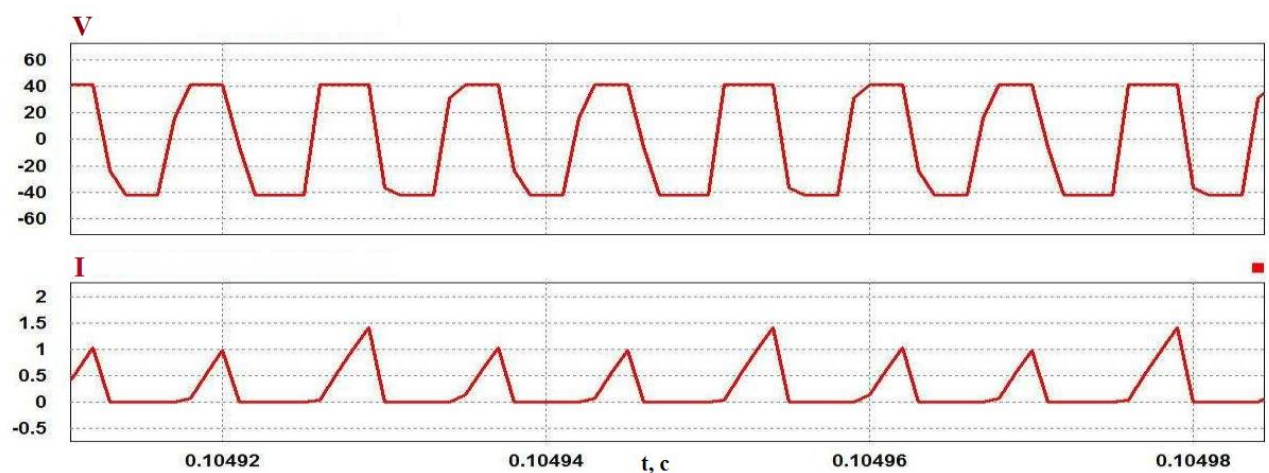


Рисунок 3.10 - Вихідна напруга та струм трансформатора

Номінальна потужність світлодіодного вуличного світильника становить 36 Вт з напругою 51 В і струмом 700 мА. Схема живлення світлодіодного драйвера моделюється, і результат показаний нижче на рисунку 3.11.

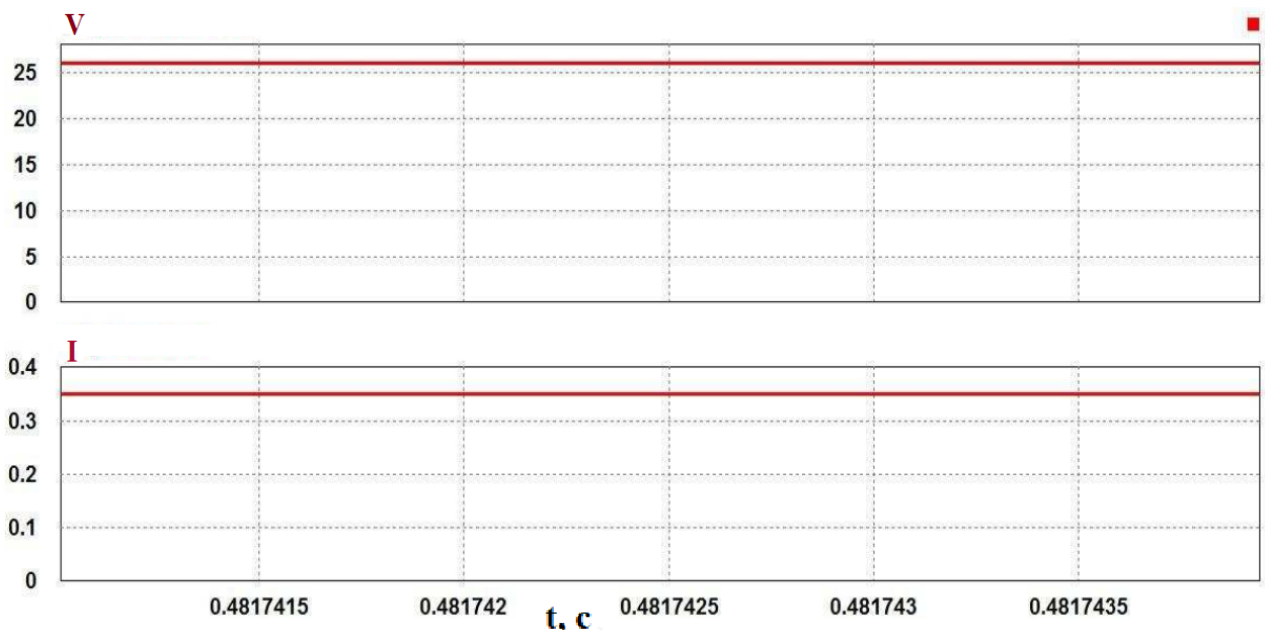


Рисунок 3.11 - Вихідна напруга 26 В, вихідний струм 350 мА світлодіодного драйвера та коефіцієнт потужності при моделюванні становить 0,92

На рисунку 4.11 показано вихідну напругу та струм драйвера при вхідній напрузі 210 В змінного струму. Вихідна напруга 26 В, вихідний струм 350 мА. Коефіцієнт потужності при моделюванні становить 0,92.

Драйвера для світлодіодного вуличного освітлення було змодельовано в PSIM, і за результатами моделювання можна легко зрозуміти робочі операції та реакцію схеми драйвера як теоретично, так і практично. З моделювання можна спостерігати деякі значущі параметри, такі як вихідна напруга, вихідний струм, максимальний струм індуктора, напруга в провідному перемикачі та ефективність кола живлення.

У наступній таблиці 3.2 показано надійність і продуктивність схеми драйвера світлодіодів із одиночним каскадом для $V = 210$ В змінного струму та $D = 45\%$

Таблиця 3.2 Параметри за результатами моделювання

S.No	Параметри	Схема драйвера світлодіодів
1.	Вихідна напруга	24 В
2.	Вихідний струм	350 мА
3.	Вихідна потужність	8,4 Вт
4.	Вхідний струм	70 мА
5.	Стрес через перемикач	$I_D=280$ мА, $V_{DS}=310$ В
6.	Індуктор L_b поточний	320 мА
7.	Індуктор L_r поточний	275 мА
8.	Конденсатор C_b Напруга	310В
9.	Конденсатор C_r Напруга	260 В
10.	Ефективність	99%

Таблиця 3.2 чітко вказує, що схема драйвера світлодіодів є найбільш ефективною схемою драйвера з ефективністю 99% при моделюванні з меншими втратами провідності.

3.2. Експериментальна установка та результати дослідження схеми живлення світлодіодного драйвера

Після отримання суттєвих результатів моделювання, схему живлення світлодіодного драйвера для вуличного освітлення було експериментально випробувано як прототип апаратного забезпечення. У цьому проекті схема перевіряється при напрузі мережі змінного струму 210 В з частотою 50 Гц і 45% робочим циклом, який використовується для ввімкнення IGBT.

Набір PIC використовується для генерації сигналів перемикачання для перетворювача. Але ці сигнали мають величину напруги від 3В до 5В. Сигнали з такою низькою величиною напруги не вмикають перемикачі, тобто IGBT у

перетворювачі, тому потрібно мати схему, яка збереже робочий цикл, а частота залишиться незмінною, але збільшить величину напруги. Зазвичай схема драйвера використовується для передачі сигналів комутаторам із комплекту РС. Схема драйвера збільшить величину напруги сигналів з 10 В до 15 В. Цього рівня напруги достатньо, щоб активувати IGBT, і він почне проводити. На рисунку 3.12 показана принципова схема tlp 350

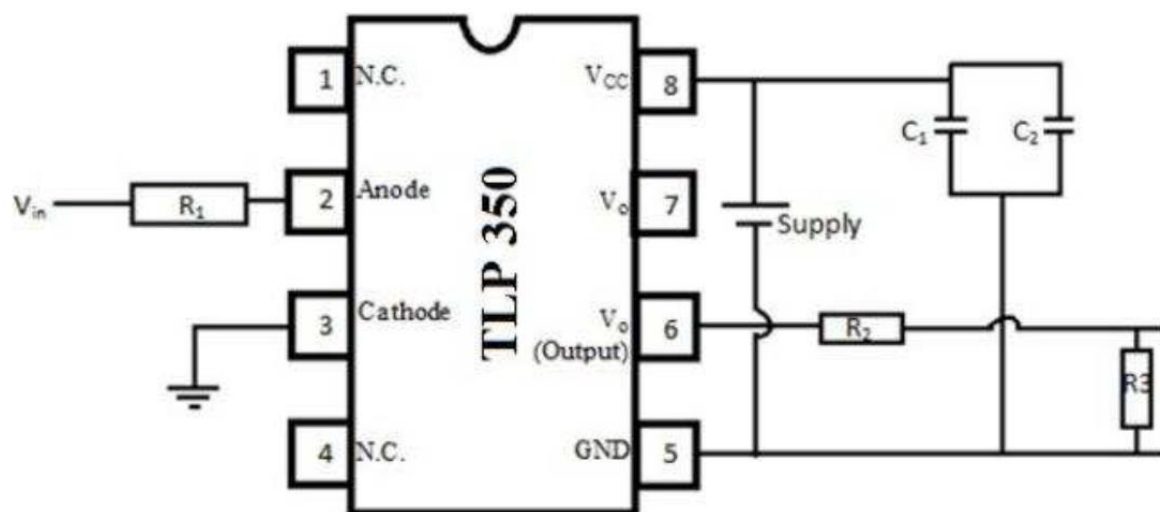


Рисунок 3.12 Схема драйвера з TLP 350

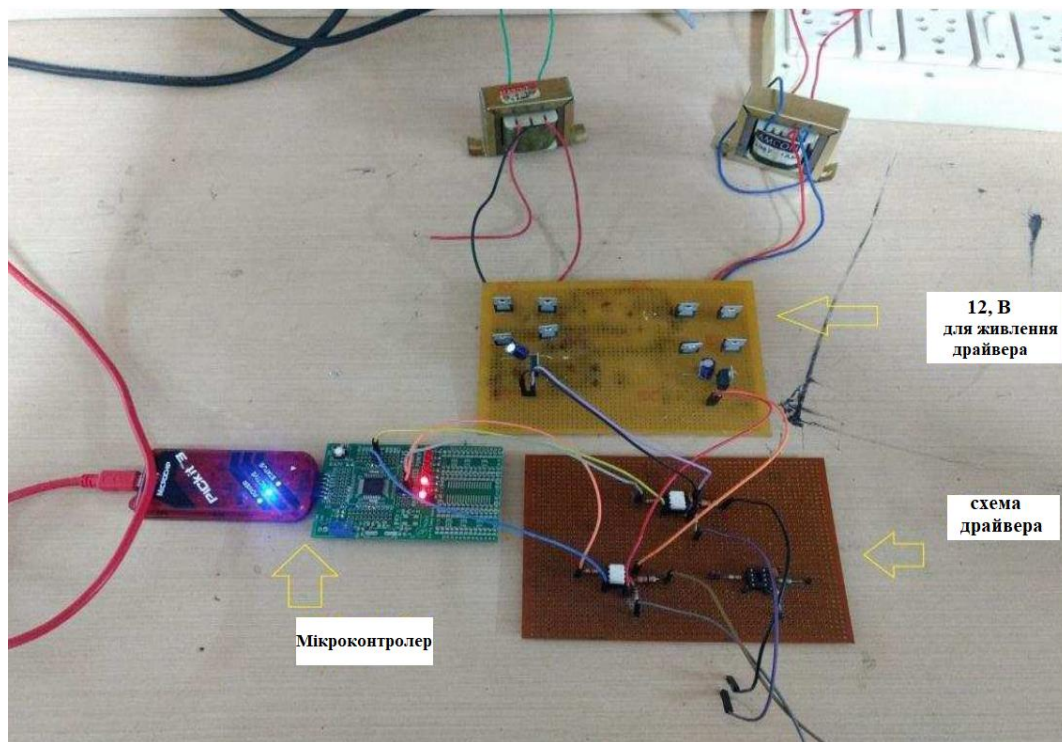


Рисунок 3.13 Схема для налаштування імпульсів затвора

Для виготовлення драйвера схеми перетворювача використовується мікросхема TLP 350, яка легко доступна за низькою ціною. Для встановлення TLP 350 на плату драйвера потрібна одна 8-контактна база IC

Щоб забезпечити ізоляцію, ми використали понижуючий трансформатор 12-0-12 В з повним мостовим випрямлячем для керування мікросхемою. Ізоляція потрібна для захисту схеми драйвера затвора від зворотнього струму.

На рисунку 3.14 показано, що обидва імпульси є комплементарними один одному, що означає, що коли один перемикач увімкнено, інший перемикач вимкнено, між цими імпульсами затвора повинна бути певна затримка, інакше може статися коротке замикання.

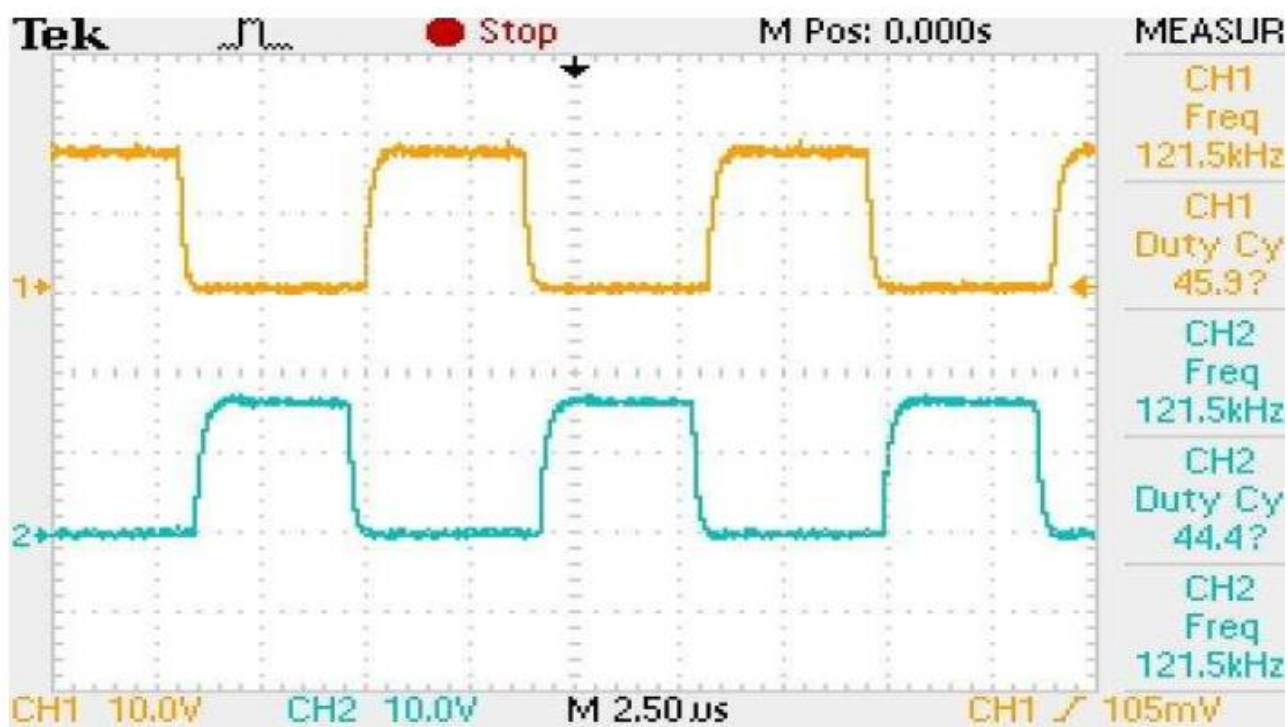


Рисунок 3.14 - Генеровані імпульси затвора за допомогою TLP 350

На рисунку 3.15 повна експериментальна установка для дослідження схеми живлення світлодіодного драйвера. Вона складається з 4-х каналного осцилографа, навантаження, датчика струму, автотрансформатора (ЛАТР) і самої схеми драйвера. Принципи роботи установки наступний: подаючи вхідне живлення $V_b = 210$ В, перетворювач навантажувався реостатом 74 Ом, і записувалися різні параметри, такі як вихідна напруга, вихідний струм, вхідна

напруга та вхідний струм, а також фіксуються форми сигналу, наприклад напруга перемикача, струм індуктора.

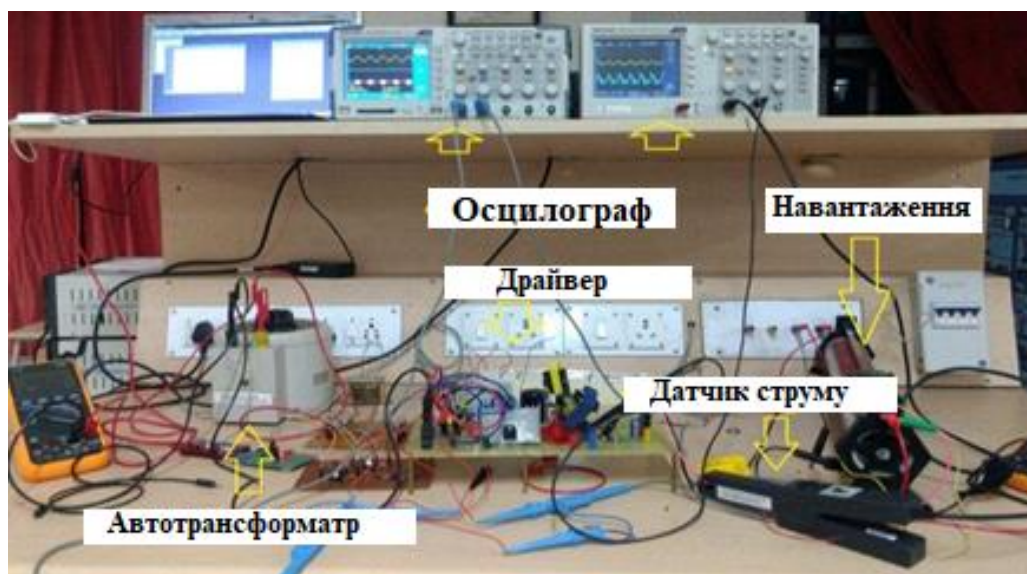


Рисунок 3.15 - Повна експериментальна установка для дослідження схеми живлення світлодіодного драйвера

Сигнали різних компонентів, що використовуються в колі живлення, фіксуються за допомогою 4-канального DSO та 2-канального DSO із заповненням 50% і частотою перемикання 120 кГц. На рисунок 3.16 представлено осцилограми вхідної та вихідної напруги та струму

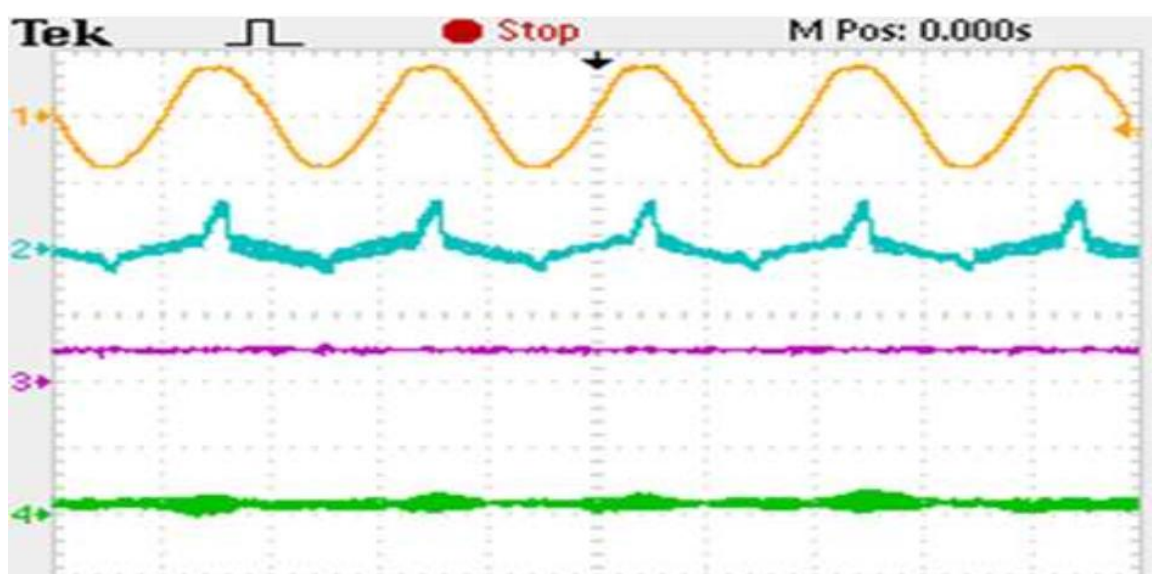


Рисунок 3.16 – Осцилограми вхідної та вихідної напруги та струму

На рисунку 3.17 показані форми вхідної напруги, вхідного струму, вихідної напруги та струму відповідно при моделюванні. Можна помітити, що експериментальний результат дуже схожий на результат моделювання.

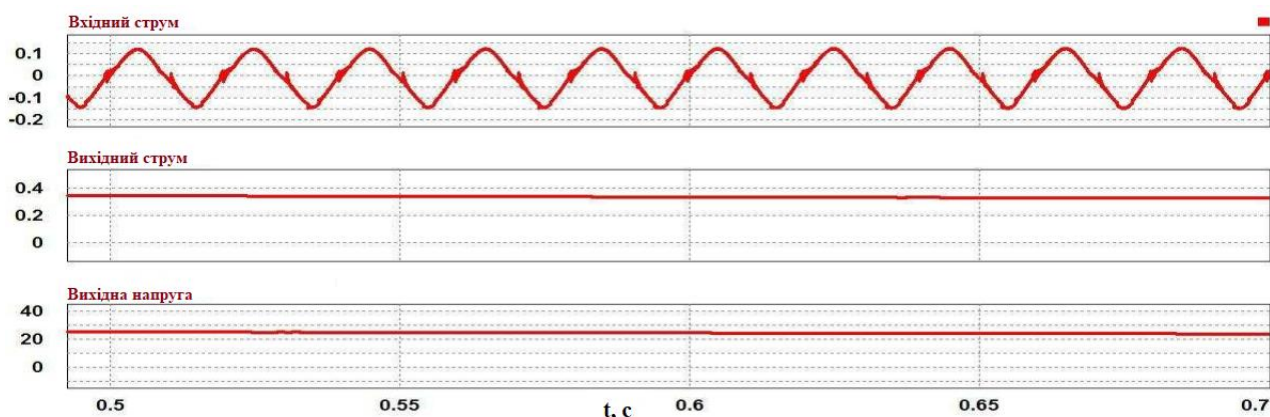


Рисунок 3.17 - Вхідний і вихідний струм при моделюванні

Як показано на рисунку 3.18, перетворювач з коректором коефіцієнта потужності використовується для підвищення вхідної напруги від 210 В до 310 В, що можливо завдяки індуктивності L_b який працює в режимі переривчастої провідності.



Рисунок 3.18 - Форма вихідної напруги перетворювача з коректором коефіцієнта потужності і струм на індуктивності i_{LB}

В ідеалі, коли перемикач проводить (замкнутий), струм стоку i_D повинен бути максимальним, а напруга сток-витік V_{DS} має бути нульовою. Напруга на перемикачі показано на рисунку 3.19.

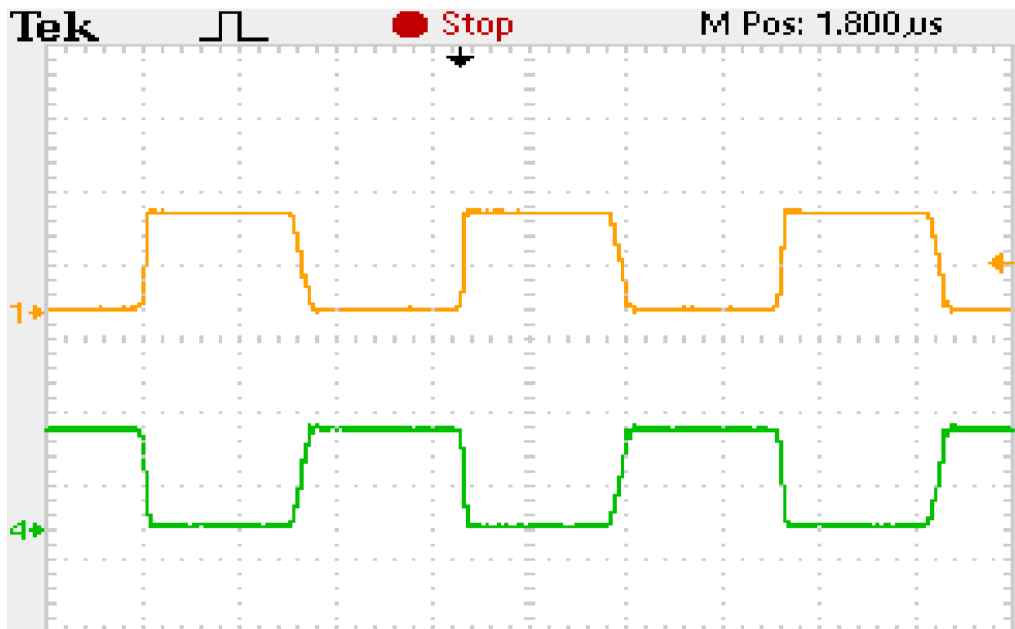


Рисунок 3.19 – Осцилограми напруги на двох перемикачах

У схемі драйвера світлодіодів з одиночним каскадом високочастотний понижуючий трансформатор який працює при (120 кГц) використовується для зниження напруги. На рисунок 3.20 представлено осцилограми вхідної та вихідної напруга трансформатора



Рисунок 3.20 - Осцилограми вхідної та вихідної напруга трансформатора

З рисунка 3.20 видно, що вхідна напруга $V_{\text{rms}} = 241$ знижується до $V_{\text{rms}} = 30,5$ В, яке далі випрямляється за допомогою повного мостового випрямляча в постійну напругу.

На рисунку 3.21 показаний резонансний струм через L_R , середнє значення негативне, що означає, що струмовий щуп був підключений в протилежному

напрямку. Перемикання при нульовій напрузі визначається як те, що перемикач починає проводити напругу через перемикач при нульовій напрузі.

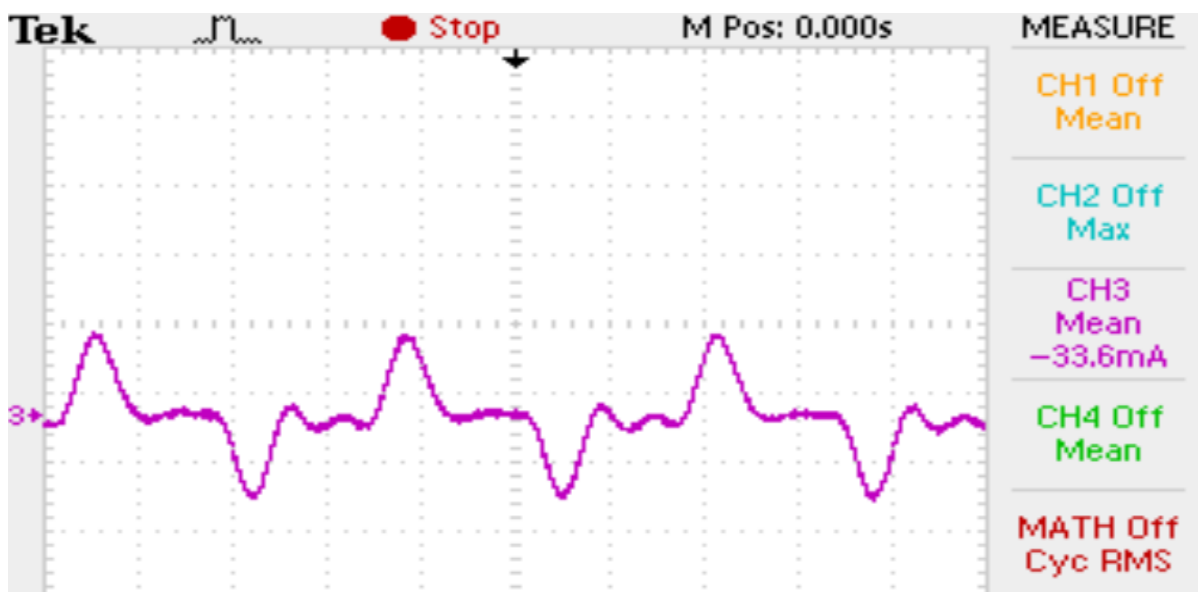


Рисунок 3.21 - Струм через резонансну індуктивність

Перемикання нульової напруги визначається тоді коли комутатор починає проводити напругу через себе у нульовому стані рисунок 3.22.

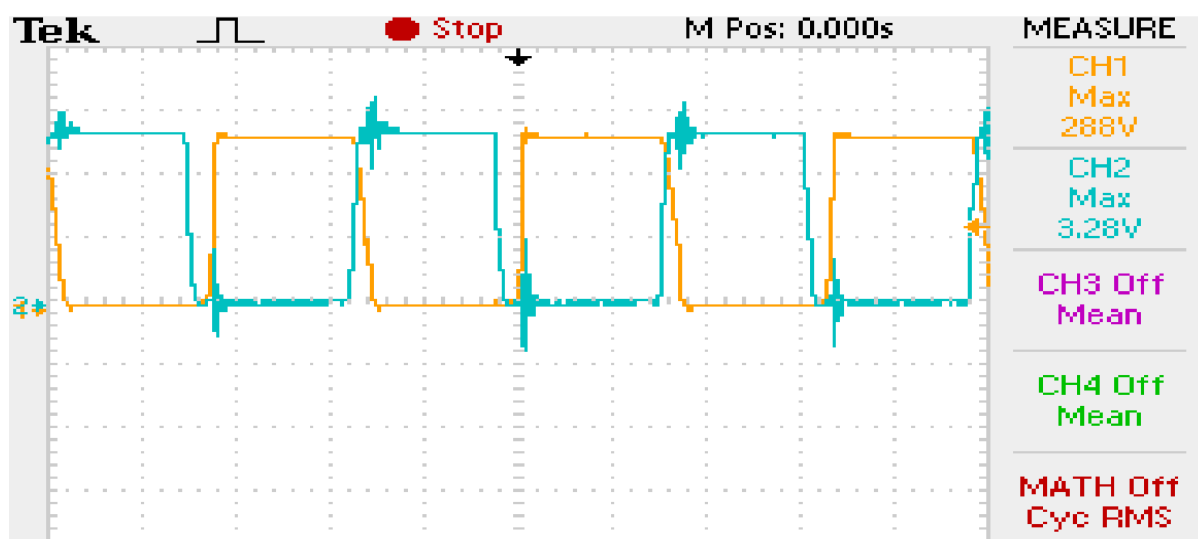


Рисунок 3.22 - Осцилограми перемикання при досягнення нульової напруги

На рисунку 3.22 показано, що коли напруга на перемикачі дорівнює нулю, перемикач проводить. Оскільки на вхід подається напруга мережі змінного струму, коефіцієнт потужності відіграє важливу роль, інакше

ефективність схеми драйвера світлодіода буде дуже низькою, отже, нам потрібно підтримувати коефіцієнт потужності ближче до 1. Як видно з симуляції, коефіцієнт потужності становить 0,93, а коефіцієнт гармонік мінімізовано шляхом додавання вхідного LC-фільтра на вході.

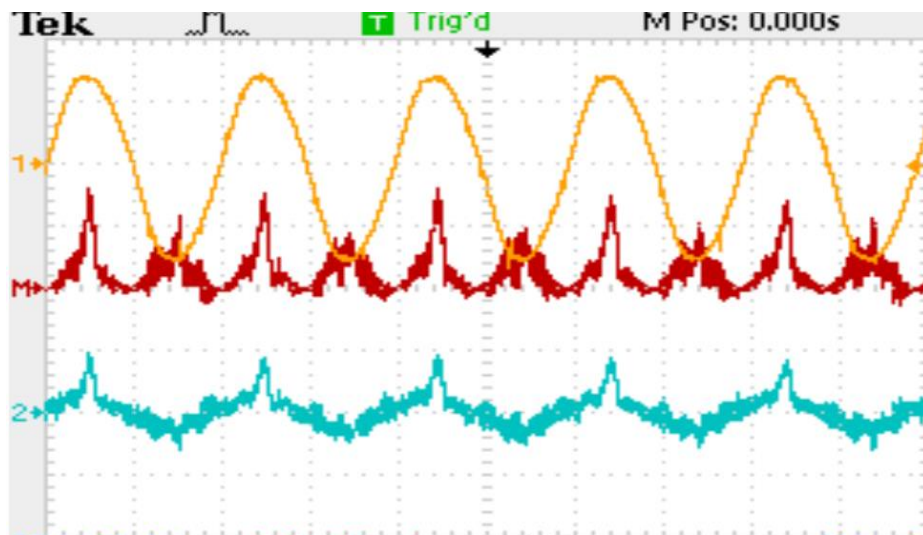


Рисунок 3.23 - Форма сигналу коефіцієнта потужності при 110 В

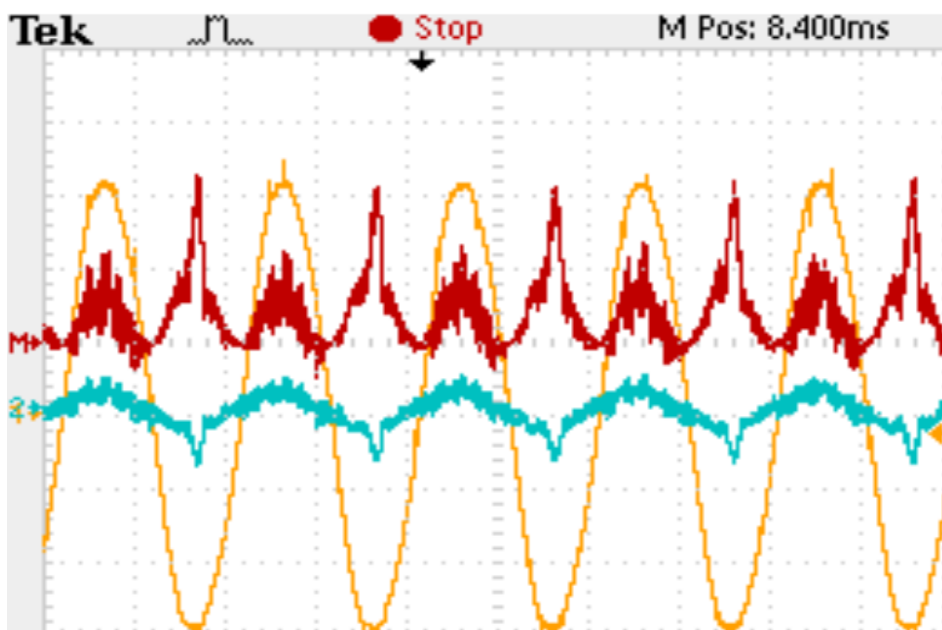


Рисунок 3.24 - Форма сигналу коефіцієнта потужності при 210 В

З рисунків 3.23 і 3.24 видно, що зі збільшенням вхідної напруги коефіцієнт потужності також покращується з 0,813 до 0,84. Рівень коефіцієнта гармонік при 210 В показано на рисунку 3.25.

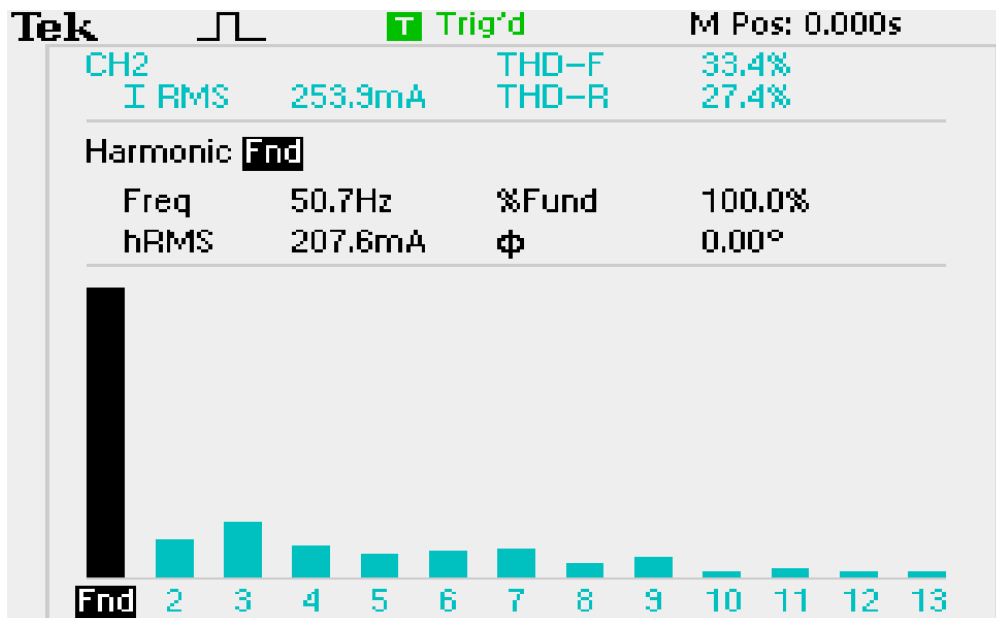


Рисунок 3.25 - Рівень коефіцієнта гармонік при 210 В

На рисунку 3.25 показано, що основний коефіцієнт гармонік становить 33,4%, тоді як загальний коефіцієнт гармонік схеми дорівнює 27,4%, що означає, що завдяки вхідному фільтру загальний коефіцієнт гармонік вхідного струму зменшується.

У цьому розділі розглянуто експериментальне налаштування однокаскадного світлодіодного драйвера для вуличного освітлення з корекцією коефіцієнта потужності. В результаті апаратних розрахунків показано, що схема драйвера світлодіода має більшу ефективність з меншими втратами провідності.

3.3 Висновки до розділу

Представлено та змодельовано однокаскадний інтегрований світлодіодний драйвер потужністю 36 Вт з вхідною напругою 210 В змінного струму; драйвер базується на підсилювальному перетворювачі з граничною провідністю та напівмостового резонансного перетворювача. Підсилювальний перетворювач працює в режимі граничної провідності для реалізації корекції коефіцієнта потужності. Крім того, втрати на комутацію значно зменшуються завдяки м'якій характеристиці перемикачання напівмостового резонансного перетворювача LLC, що підтверджено результатами моделювання..

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

4.1.1. Техніка безпеки при експлуатації електромереж

До обслуговування електрообладнання допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань, що заважають виконанню робіт, що отримали вступний і первинний інструктажі на робочому місці, виробниче навчання, перевірку знань.

Електромонтер повинен знати схему електропостачання об'єктів виробництва, повинен мати навички прийомів технічних методів обслуговування електроустановок. Він забезпечується усіма засобами індивідуального захисту та спецодягом. Інструменти і засоби захисту повинні бути випробувані, справні та використовуються за призначенням.

При експлуатації діючих електроустановок застосовують електрозахисті засоби та запобіжні пристосування. Ручне включення і відключення устаткування напругою понад 1000 В необхідно виконувати в діелектричних рукавичках, колошах або на килимку. Відключення виконують таким чином: відключають роз'єднувачі, знімають плавкі вставки запобіжників, від'єднують привод мережі. Після вивішування плаката перевіряють відсутність напруги на відключеній ділянці мережі. В оперативному журналі роблять запис про відключення. Включення проводять тільки після відмітки в журналі про закінчення робіт із зазначенням відповідальної особи.

Безпека виконання забезпечується також організаційними заходами. До них відноситься оформлення роботи нарядів, оформлення допуску до роботи, нагляд під час виконання роботи.

Наряд є письмовим дозволом на роботу в електроустановках, що визначає місце, час, початок і закінчення робіт; умови безпечного його проведення, склад бригади та осіб, відповідальних за безпеку. Без наряду по усному чи письмовому розпорядженню, але з обов'язковим записом в журналі можуть виконуватися такі роботи, як прибирання приміщень до огороження електрообладнання, чистка кожухів, доливка масла в підшипники, догляд за

колекторами, контактними кільцями, щітками, заміна запобіжників. При роботі з електроустановками напругою до 1000 В без зняття напруги необхідно: захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмовідні частини, що знаходяться під напругою, до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричних калошах або стоячи на ізолюючій підставці, або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент з ізолюючими рукоятками (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стрижень), за відсутності такого інструменту користуватися діелектричними рукавичками.

При виконанні робіт без зняття напруги на струмовідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукоятки до обмежувального кільця; розташовувати ізолюючі частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмоведучими частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

При виявленні порушення лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними має бути негайно припинене.

Щозмінні огляди електрообладнання та мереж повинен проводити черговий електрик. При огляді слід звертати увагу на наступне: відсутність змін стану електрообладнання при його функціонуванні; ступінь корозії, фарбування труб, кріпильних елементів; справність введів проводів та кабелів в електроустановку; справність заземлюючих пристроїв; наявність попереджувальних плакатів та знаків маркування на вибухонебезпечному електрообладнанні; наявність всіх передбачених конструкцією болтів, що кріплять елементи оболонки (вони повинні бути добре затягнуті); потрапляння на електрообладнання бризок, крапель і пилу.

При виявленні ненормальної роботи силового трансформатора черговий електрик повинен вивести його з роботи з обов'язковим дотриманням усіх заходів особистої безпеки, використовуючи необхідні засоби індивідуального захисту. Таке відключення проводиться при: сильному

нерівномірному шумі і потрiскування всередині трансформатора; ненормальному і постійно зростаючому нагріванні трансформатора при номінальному навантаженні і роботі пристроїв охолодження; викид масла з розширювача або розриві діафрагми вихлопної труби; течі масла з пониженням його рівня нижче мінімально допустимого.

При цьому робиться запис в оперативному журналі і повідомляється відповідальному за електрогосподарство.

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів вимагають проводити регулярні огляди та ремонт електромереж, а також вимірювання опору та ізоляції.

4.2. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.2 Дослідження стійкості роботи у надзвичайних ситуаціях підприємств електротехнічної та світлотехнічної галузі

Під стійкістю роботи об'єктів електротехнічної і світлотехнічної галузі розуміють його спроможність в умовах надзвичайної ситуації випускати продукцію в запланованому обсязі та номенклатурі, а при отриманні середніх руйнувань або порушенні зв'язків з кооперації та поставок відновлювати виробництво у мінімальні терміни.

Під стійкістю роботи об'єктів, які безпосередньо не виробляють матеріальні цінності розуміють їх спроможність виконувати свої функції в умовах НС.

На стійкість роботи об'єктів електротехнічної та світлотехнічної галузі в умовах НС впливають наступні фактори:

- надійність захисту робітників та службовців;
- спроможність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти у визначеному ступеню уражаючих факторів стихійного лиха, аварій, катастроф та сучасних видів зброї;

- захищеність об'єкта від вторинних уражаючих факторів (пожеж, вибухів, зараження отруйними речовинами);
- надійність системи забезпечення об'єкта всім необхідним для виробництва (сировиною, паливом, комплектуючими вузлами і деталями, електроенергією, водою, газом та іншим);
- стійкість та безперервність керування виробництвом та ЦО;
- підготовленість об'єкта до ведення РіНР та робіт щодо порушеного виробництва.

Захист робітників та службовців досягається чотирма основними способами:

- укриття людей в захисних спорудах;
- проведення евакозаходів;
- радіаційно-хімічний захист;
- медичний і біологічний захист.

Надійно захистити виробничий персонал об'єкта можливо лише при комплексному використанні усіх основних способів захисту.

Захист виробничих фондів полягає у підвищенні протидії будинків, споруд і конструкції об'єкта до уражаючих факторів та захисті технологічного обладнання, верстатів, систем і комунікацій та інших засобів, що формують основу виробничого процесу.

Створення надійних систем електро-, водо- та теплозабезпечення об'єктів:

- а) підвищення стійкості електрозабезпечення:
 - розподіл схеми електромереж на незалежно працюючі частини;
 - закілювання електромереж та підключення їх до декількох джерел енергозабезпечення;
 - створення резерву дизельних електростанцій;
- б) підвищення стійкості систем водопостачання:
 - водопостачання від двох незалежних джерел, одне з яких підземне;
 - захист вододжерел та резервуарів чистої води;
 - створення обвідних (байпасних) ліній навколо водонапірних веж;

в) підвищення стійкості систем газо, тепло- та паливо- забезпечення:

- розподільні газопроводи робити підземними та передбачати їх кільцювання;

- газорозподільні станції та опорні пункти обвідних газопроводів передбачати в підземному варіанті;

- встановлювати в основних вузлових точках систем автоматичні вимикаючі пристрої, які спрацьовують при аваріях.

Підвищення протипожежної стійкості:

- максимальне скорочення запасів палива та вибухонебезпечних речовин;

- проведення профілактичних протипожежних заходів;

- підготовка сил і засобів пожежогасіння.

Створення стійкості системи матеріально-технічного постачання. На об'єктах електротехнічної і світлотехнічної галузі створюють запаси сировини, палива, комплектуючих вузлів і деталей, обладнання, які дозволяють продовжувати роботу на випадок дезорганізації постачання.

Створення стійкості системи керування:

- підготовка ПУ (захищених);

- забезпечення ПУ засобами зв'язку;

- використання автоматизованої системи керування. Підготовка до прискореного (негайного) відновлення порушеного виробництва;

- розробка необхідної технічної та технологічної документації;

- створення запасів матеріальних засобів для встановлення робіт;

- розробка розрахунків сил і засобів для відновлюючих робіт;

- визначення вірогідної черговості робіт по відновленню виробництва з урахуванням наявних ресурсів та місцевих умов.

Крім того, на стійкість роботи підприємств електротехнічної та світлотехнічної галузі буде впливати наявність підготовленої робочої сили.

Підвищення надійності та оперативності керування виробництвом:

- створення на об'єкті стійкої системи зв'язку;

- висока підготовка керівного складу;

– своєчасне прийняття вірних рішень та постановка завдань підлеглим у відповідності до обстановки, що склалася.

Підвищення стійкості роботи об'єкта електротехнічної та світлотехнічної галузі досягається завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних та організаційних заходів, які спрямовані на максимальне зниження дії уражаючих факторів і створення умов для ліквідації наслідків НС.

Інженерно-технічні заходи – це комплекс робіт, що забезпечують підвищення стійкості виробничих будинків і споруд, обладнання, комунально-енергетичних, систем.

Технологічні заходи забезпечують підвищення стійкості роботи об'єкті шляхом зміни технологічного процесу, що сприяє спрощенню виробництва продукції та усуває можливість виникнення вторинних уражаючих факторів.

Організаційні заходи передбачають розробку і планування дій керівного командно-начальницького складу штабу, служб і формування ЦО при захисті робітників і службовців, проведенні РіНР, відновленні виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

З проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

Запропонований драйвер для живлення світлодіодного модуля вуличного освітлення з світлодіодом, який включає у собі півмостовий перетворювач змінного струму з ККП із резонансним напівмостовим перетворювачем постійного струму LLC із одноступіньчастим перетворювачем потужності. Одноступеневий перетворювач складається з LC фільтра, котушки L_b , двох діодів D_1 і D_2 , двох силових перемикачів S_1 і S_2 , конденсатора постійного струму C_B , резонансного конденсатора C_r , резонансної котушки L_r , трансформатора T_1 , двох діодів D_3 та D_4 та конденсатора C_o , а також світлодіодного модуля вуличного освітлення. Продемонстрована принцип роботи послідовного резонансного перетворювача LLC з повним описом його режимів роботи. Також зменшено розмір конденсатора шини постійного струму, що дозволяє використовувати плівковий конденсатор у практичних застосуваннях.

Представлено та змодельовано однокаскадний інтегрований світлодіодний драйвер потужністю 36 Вт з вхідною напругою 210 В змінного струму; драйвер базується на підсилювальному перетворювачі з граничною провідністю та напівмостового резонансного перетворювача. Підсилювальний перетворювач працює в режимі граничної провідності для реалізації корекції коефіцієнта потужності. Показано, що зі збільшенням вхідної напруги з 110 В до 220 В коефіцієнт потужності також покращується з 0,813 до 0,84. Досліджено, що основний коефіцієнт гармонік становить 33,4%, тоді як загальний коефіцієнт гармонік схеми дорівнює 27,4%, це означає, що завдяки вхідному фільтру загальний коефіцієнт гармонік вхідного струму зменшується. Крім того, втрати на комутацію значно зменшуються завдяки м'якій характеристиці перемикачання напівмостового резонансного перетворювача LLC, що підтверджено результатами моделювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. C. K. Tse, "Circuit theory of power factor correction in switching converters," *Int. J. Circuit Theory Appl.*, vol. 31, no. 2, pp. 157–198, Mar./Apr. 2003
2. Андрійчук, В. А.; Філюк, Я. О. Акумуляючі пристрої для систем автономного живлення світлотехнічних установок. *Технічна електродинаміка*, 2017.
3. O. Dranga, C. K. Tse, and H. C. H. Iu, "Bifurcation behavior of a power factor correction boost converter," *Int. J. Bifurcation Chaos Appl. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 10, pp. 3107–3144, 2003.
4. M. Orabi and T. Ninomiya, "Nonlinear dynamics and stability analysis of boost power factor correction converter," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 50, no. 6, pp. 1116–1125, Oct. 2003.
5. Andriychuk, V. A.; Filiuk, Y. O. Система автономного живлення зовнішнього освітлення. *Lighting Engineering & Power Engineering*, 2017, 1: 17-22.
6. S. C. Wong, C. K. Tse, and K. C. Tam, "Intermittent chaotic operation in switching power converter," *Int. J. Bifurcation Chaos*, vol. 14, no. 8, pp. 2971–2978, 2004..
7. H. C. H. Iu, Y. F. Zhou, and C. K. Tse, "Fast scale instability in a PFC Boost converter under average current-mode control," *Int. J. Circuit Theory Appl.*, vol. 31, no. 6, pp. 611–624, Nov./Dec. 2003
8. Hui S.Y.R et al, "A novel passive offline LED driver with long lifetime", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 10, pp. 2665-2672, 2010Cornell Dubilier. Aluminum electrolytic capacitor application guide. Accessed 6th Sept, 2011..
9. Hwu, K. I. Y., Yau, T. and Lee, L. L. "Powering LED using high-efficiency SR flyback converter", *IEEE Trans Ind. Appl.*, vol. 47, no. 1, pp. 376–386, Jan./Feb. 2011.
10. Arias, M. et al, "High efficiency LED driver without electrolytic capacitor for street lighting", *IEEE Trans Ind. Appl.*, vol. 49, no. 1, pp. 127–137, Jan./Feb. 2013.

11. Cheng, C.A. et al, “A single-stage LED driver for street-lighting applications with interleaving PFC feature,” in Proc. IEEE Int. Symp. Next-Generation Electron., 2013, pp. 150–152.
12. Андрійчук В.А. Дослідження світлодіодних джерел світла у випадку імпульсного живлення / Андрійчук В.А., Наконечний М.С., Осадца Я.М., Філюк Я.О. // Технічна електродинаміка, 2021. – №1. – Стор. 68-72. <https://doi.org/10.15407/techned2021.01.068>.
13. Kinetics of narrow-spectrum LED glow under pulsed power / Volodymir Andriichuk, Myroslav Nakonechnyi, Yaroslav Filiuk // Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics, 2023. — Vol 26, P. 230-235. DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo26.02.230>.
14. Дослідження кінетики свічення світлодіодних джерел світла / Андрійчук, В. А., Наконечний, М. С., і Філюк, Я. О, Костик Л. М., Осадца, Я. М. // Вісник Хмельницького національного університету: 2023. — Том 1. — №5. —С.
15. Навчальний посібник «ТЕХНОЕКОЛОГІЯ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА. ЧАСТИНА «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с. Отримано з <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39424>