

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

### бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Розробка перспективних освітлювальних приладів на основі світлодіодів

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТс-41  
спеціальнос  
ті 141

електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Шидлось П.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Лупенко А.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Коваль В.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач  
кафедри Коваль В.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Шелестовський Б.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	Гурик О. Я. к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., зав. кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання 23 січня 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	30.01.2024	
2	Аналітичний розділ	26.02.2024	
3	Проектно-конструкторський розділ	29.03.2024	
4	Розрахунковий розділ	22.04.2024	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	13.05.2024	
6	Висновки	31.05.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	07.06.2024	
8	Оформлення графічної частини	10.06.2024	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Шидлось П.А..

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Лупенко А.М.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. - Т. : ТНТУ, 2024.

Стор.61; рис.28 ; табл.5 ; джерел 12; додатків -.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Розробка перспективних освітлювальних приладів на основі світлодіодів».

Мета кваліфікаційної роботи є розробка перспективних освітлювальних пристроїв на основі світлодіодів, які матимуть мінімальний вплив на якість електричної енергії в електромережі.

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

За результатами проведеного інструментального дослідження впливу кількості світлодіодних світильників на якість електричної енергії встановлено, що в разі збільшення кількості встановлюваних СД світильників значення напруги третьої та п'ятої гармонік зменшуються, а значення струму третьої та п'ятої гармонік незначно, але збільшуються, що негативно позначається на якості електроенергії, особливо для протяжних освітлювальних мереж.

Детально розглянуто заходи щодо зниження впливу СД світильників на якість електричної енергії, на підставі проведеного аналізу визначено, що найперспективнішими є фільтрокомпенсуючі пристрої, за рахунок своєї простоти і можливості широкого використання..

*Ключові слова:* світлодіодний світильник, блок живлення, комп'ютерне моделювання.

# ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Світлодіодні лампи і способи отримання білого кольору	8
1.2 Конструкція світлодіодної лампи	12
1.3 Блоки живлення світлодіодних ламп	14
1.4 Висновки до розділу	19
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	20
2.1 Вплив світлодіодних світильників на якість електричної енергії	20
2.2 Вибір приладів для оцінки впливу світлодіодного світильника на якість електричної енергії	24
2.3 Проведення вимірювань впливу СД світильника на якість електричної енергії	25
2.4 Заходи щодо зниження впливу на якість електричної енергії світлодіодних світильників	33
2.5 Висновки до розділу	38
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	40
3.1 Розробка перспективної системи освітлення на базі СД світильника	40
3.2 Розрахунок параметрів ФКП	45
3.3 Висновки до розділу	52
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	53
4.1 Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання та електромереж	53

4.2 Дослідження стійкості роботи у надзвичайних ситуаціях підприємств електротехнічної та світлотехнічної галузі	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60

## ВСТУП

Актуальність роботи. Одним з найбільш поширених і ефективних заходів з підвищення енергоефективності є реконструкція системи освітлення, що складається з ламп розжарювання і газорозрядних ламп різних типів, в енергоефективну систему освітлення з LED-лампами. Це пов'язано з декількома факторами:

1. Стрімкий розвиток і доступність світлодіодних технологій для систем освітлення. У зв'язку з тим, що вартість світлодіодів знижується, а зростання тарифів на електроенергію не припиняється, термін окупності після впровадження систем освітлення на базі світлодіодних ламп зменшується. Це робить перехід на системи освітлення зі світлодіодними світильниками економічно доцільним.

2. Високий термін служби світлодіодів, від 45000 до 100000 годин при правильній експлуатації, дозволяє знизити витрати на обслуговування систем освітлення зі світлодіодними лампами.

Однак, незважаючи на безліч переваг, світлодіодні світильники мають ряд недоліків, основним з яких є чутливість до якості електричної енергії в мережі, що подається, так як світлодіодні світильники відносяться до напівпровідникових перетворювачів і мають нелінійну вольт-амперну характеристику/

Оскільки світлодіодні світильники мають нелінійну систему, вони створюють додаткове випромінювання вищих гармонік у електричну мережу, що в свою чергу призводить до погіршення якості електричної енергії в мережі системи освітлення. Високий рівень синусоїдальних спотворень при роботі перетворювальних електроустановок, асиметрія фазних струмів і напруг, відхилення напруг від номінальних значень впливають на режим роботи електроприймачів, в тому числі освітлювального обладнання.

В основному ці ефекти впливають тільки на термін служби освітлювального обладнання побічно, наприклад, через перегрів електронних елементів дроселів, драйверів, так як все це може привести до деградації світлодіодної конструкції і, як наслідок, до її передчасного виходу з ладу.

Таким чином, масове впровадження енергоефективних систем освітлення на основі світлодіодних ламп може суттєво вплинути на показники якості електричної

енергії для споживачів, зокрема, на несинусоїдальний струм та напругу, а головне, виходячи з сукупності в місцях, де переважає таке навантаження, нововстановлені енергоефективні системи освітлення можуть вийти з ладу в перші роки експлуатації через зниження якості електричної енергії. у зв'язку зі збільшенням частки споживачів з нелінійним обладнанням/

Такий підхід, в свою чергу, в разі масштабної реконструкції системи освітлення, може призвести до того, що підприємство може понести значні фінансові втрати через передчасний вихід з ладу знову встановленої системи енергоефективного освітлення на базі світлодіодних ламп. Включення попередньої оцінки впливу запропонованих до установки світлодіодних світильників на показники якості електричної енергії, з урахуванням можливих заходів щодо зниження досліджуваного впливу, дозволить виключити подібні негативні явища серед споживачів.

Мета роботи є розробка перспективних освітлювальних пристроїв на основі світлодіодів, які матимуть мінімальний вплив на якість електричної енергії в електромережі

Для досягнення поставленої мети в даній роботі необхідно було:

1. Проаналізувати існуючі системи освітлення на базі світлодіодних ламп;
2. Проаналізувати вплив існуючих енергоефективних систем освітлення на базі світлодіодних ламп на якість електричної енергії;
3. Вибрати спосіб зменшення гармонік світлодіодних світильників.
4. Розробити перспективну систему освітлення на базі СД-світильників для офісного об'єкта.



# 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Світлодіодні лампи і способи отримання білого кольору

Світлодіодні лампи є напівпровідниковими освітлювальними приладами, тобто напівпровідник випромінює світло, на відміну від люмінесцентних ламп, де подається електричний струм, а газ всередині трубки створює короткохвильове ультрафіолетове (УФ) світло. Ультрафіолет перетворюється у видиме світло за допомогою люмінофорного покриття всередині трубки. Світлодіоди - це діоди р-п-переходу, які випромінюють світло при подачі відповідної напруги.

Люмінесценція виникає при рекомбінації електронів і дірок в області р-п-переходу, тобто при контакті двох напівпровідників з різними типами провідності. Для більшості напівпровідникових діодів світіння є лише «побічним ефектом», що знижує ефективність. Для світлодіодів випромінювальна рекомбінація є фізичною основою їх роботи.

Для створення р-п переходу контактні шари напівпровідникового кристала легуються різними домішками: акцепторними домішками (р-область) з одного боку і донорними домішками (п-область) - з іншого (рис. 1.1).

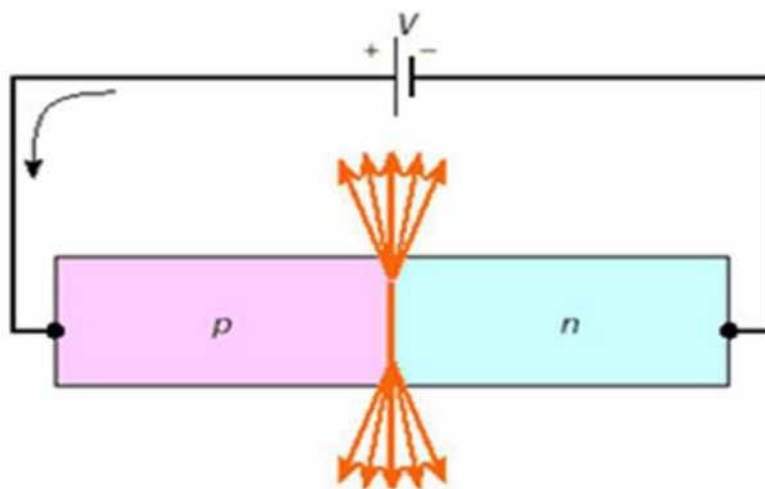


Рисунок 1.1 – Діаграма та енергетична діаграма р-п переходу

Колір світлодіодного випромінювання залежить від ширини забороненої зони, в якій електрони і дірки рекомбінують, тобто від матеріалу напівпровідника, і від легуючих домішок. Чим більш «синій» світлодіод (тобто чим коротше довжина хвилі максимуму його випромінювання), тим вище енергія квантів, а значить, і більше заборонена зона [1-5].

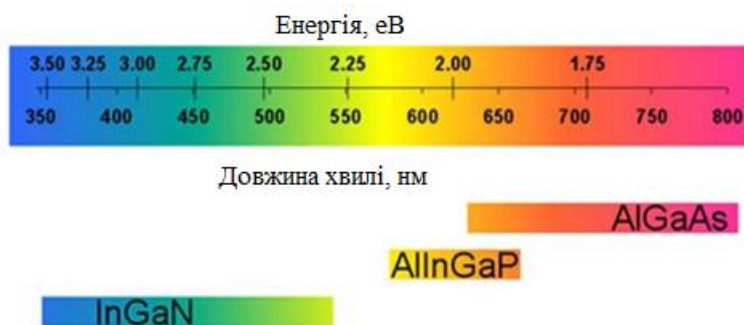


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення матеріалів видимого діапазону сучасних напівпровідникових випромінюючів

Форма спектрів СД залежить від багатьох факторів, таких як заборонена зона, розподіл електронних і діркових станів біля дна зони провідності, особливості квантових ямок і т.д. [5-10].

Світлодіод може складатися з декількох мікросхем з різними кольорами люмінесценції або однієї мікросхеми з декількома р-п переходами, що випромінюють в різних спектральних діапазонах. Також він може містити керуючу мікросхему, що дозволяє вибирати колір світіння і його інтенсивність.

«Світлодіод складається з напівпровідникового кристала на підкладці, пакета з контактними контактами та оптичної системи» [4]. Конструкція потужних світлодіодів серії схематично зображена на рисунку 1.2 як приклад.

Світловипромінюючий кристал закріплений на тепловідвідній підкладці (основі). При подачі постійної напруги на р-п перехід кристала через катод і анод в ньому утворюється випромінювання. Частина його не виходить з кристала, так як в ньому відбувається фотолюмінесценція, а інша, більша частина, виходить назовні через кришталік. Кристал, підкладка і внутрішні електроди заповнені прозорим полімером з максимально можливим

показником заломлення, який формує корпус світлодіода. Купол корпусу виконує роль лінзи або розсіювача, в залежності від необхідної кривої  $sbkb$  світла (КСС) СД.

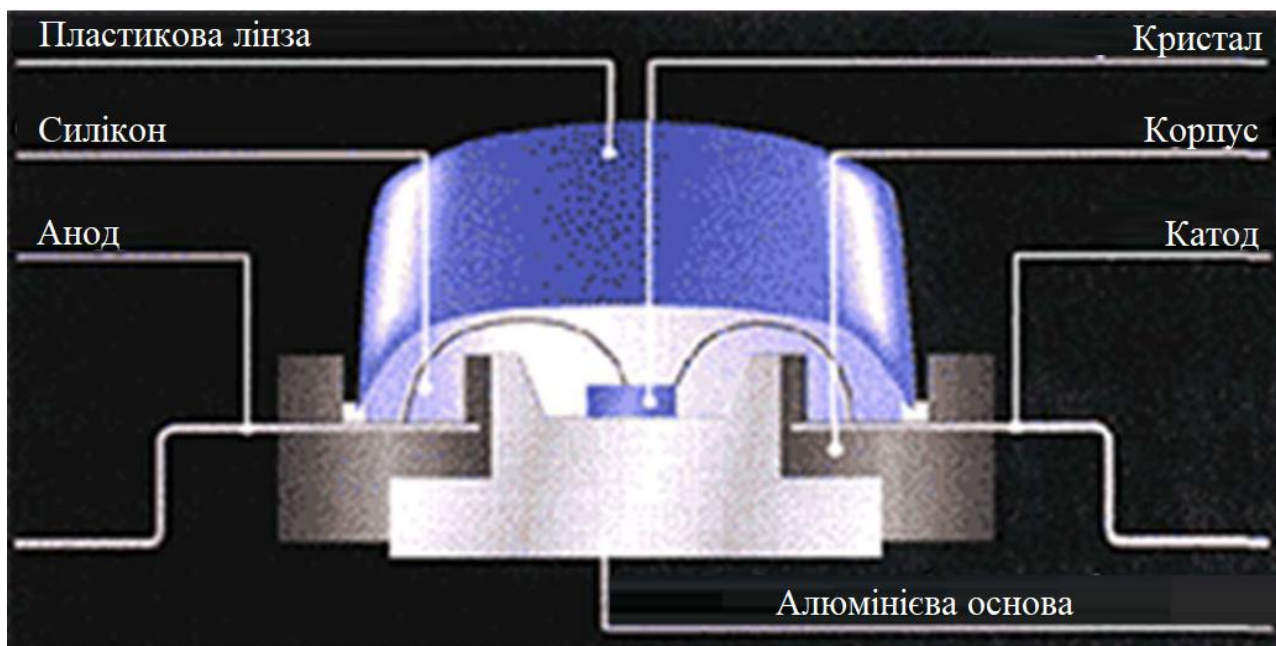


Рисунок 1.2 - Світлодіодна конструкція

Найважливіші сфери застосування світлодіодів пов'язані з їх використанням в установах і адміністративних будівлях в системі загального освітлення. Основою для цих застосувань є білі світлодіоди (білі світлодіоди). Існує 3 способи створення білих СД, кожен з них має свої переваги і недоліки (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 - Способи створення білих СД

Одним з них є змішування випромінювання трьох люмінофорів (червоного, зеленого і синього), що збуджуються ультрафіолетовим

світлодіодом. У цьому методі використовуються принципи, розроблені по відношенню до люмінесцентних ламп.

Другий метод - це змішування синього випромінювання СД з випромінюванням або жовто-зеленого люмінофора, або зеленого і червоного люмінофорів, збуджених цим синім випромінюванням. Цей метод є простим і на сьогоднішній день найбільш економічним» [5]. На рисунку 1.4 показаний спектр білого люмінофорного світлодіода, отриманого другим методом. Перший, яскраво виражений пік в синій області обумовлений випромінюванням кристала, другий, більш широкий - випромінюванням люмінофора.

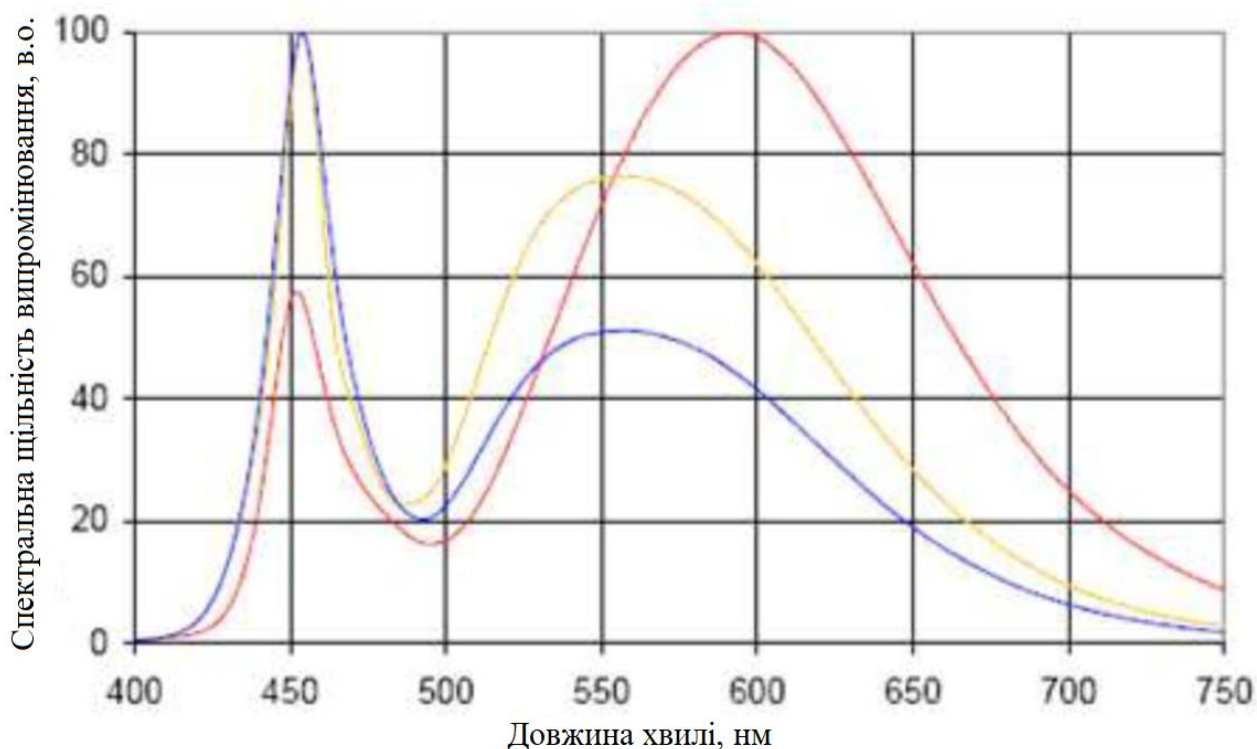


Рисунок 1.4 – Спектральна щільність випромінювання білих люмінофорів

Третій метод полягає в змішуванні СД-випромінювання трьох кольорів. Метод RGB дає можливість створити біле світло потрібного відтінку, щоб підкреслити підсвічені кольори. Однак для створення білого RGB потрібне відносно складне обладнання, оскільки в одному джерелі потрібно використовувати три світлодіоди. При цьому одержуване світло неприродно

передає пастельні тони, що основним наслідком низького індексу передачі кольору білого світла, отриманого методом RGB» [6].

При використанні ОП на основі білих світлодіодів потрібно звертати увагу на колірні характеристики, так як існує ряд факторів, що впливають на зміну цих характеристик.

Світлодіодні лампи мають багато переваг, таких як тривалий термін служби, відсутність токсичних компонентів і висока енергоефективність. Однак світлодіоди працюють за допомогою постійної напруги, тому для підключення джерела змінного струму до постійного струму потрібен електронний з'єднувальний пристрій.

## **1.2 Конструкція світлодіодної лампи**

Світлодіодна освітлювальна техніка є найскладнішою з освітлювальних технологій, а також може мати найскладніші проблеми інтеграції, пов'язані з системою електропостачання. Світлодіодне освітлення не може бути просто лампою. Це система освітлення, яка містить як електронну схему управління, призначену для доведення вхідної напруги до потрібного рівня, так і лампу, яка може складатися з одного або декількох світлодіодів для збільшення світлового потоку або для отримання білого кольору.

В одних випадках електронні схеми управління вбудовуються в світлодіодну лампу, а в інших випадках ланцюг управління є роздільною. З огляду на той факт, що світлодіодне освітлення - це більше, ніж просто лампа, термін «світлодіодна система освітлення» використовується в даній роботі для опису комбінації електронного драйвера і світлодіодної лампи.

На рисунку 1.5 а показана серія світлодіодних ламп. На рисунку 1.5 б) показаний приклад схеми світлодіодного драйвера 12 В, 12 Вт. На рисунку 1.6 показана фотографія світлодіодної лампи, яка містить вбудований 18

схема регулювання напруги, яка демонструє, що і драйвери, і лампи можуть бути складними. На цьому рисунку також показані три світлодіода, з'єднані послідовно, з яких складається лампа.



а)

б)

Рисунок 1.5 - Світлодіодні лампи і схема драйвера а) світлодіодні лампи; б) Схема СД-драйвера світильника

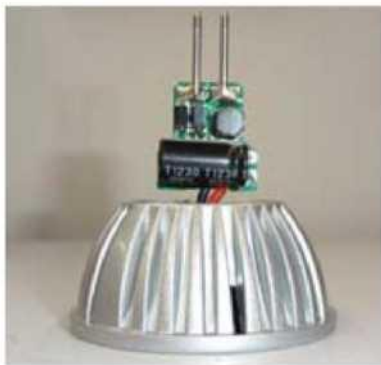


Рисунок 1.6 - Світлодіодна лампа

Для роботи будь-якого світлодіодного освітлення потрібна напруга змінного струму на напругу постійного струму. Як зазначалося вище, це перетворення зазвичай здійснюється електронною схемою. Як і у випадку з КЛЛ, компоненти в цих електронних схемах чутливі до величини напруги живлення. Занадто високий рівень напруги може призвести до скорочення терміну служби електроніки, пов'язаної з системою світлодіодного освітлення. Крім того, залежно від характеристик електронного драйвера, стаціонарні зміни напруги можуть призвести до зміни світловіддачі для деяких систем світлодіодного освітлення. Для тих систем, які сприйнятливі, підвищена напруга живлення призведе до збільшення світловіддачі і навпаки до зниження напруги живлення.

### 1.3 Блоки живлення світлодіодних ламп

Світлодіодні блоки живлення (БЖ) можна класифікувати за способом перетворення енергії на лінійні та імпульсні джерела живлення. "Лінійне ДЖ - це спеціалізована мікросхема, що забезпечує стабілізований вихідний струм, величина якого не залежить від напруги на ньому" [1]. Ці пристрої відрізняються простотою, невеликими розмірами і невисокою вартістю. Але, незважаючи на це, такі джерела не знаходять широкого застосування в системах освітлення через досить низький ККД. В основному вони використовуються тільки для живлення яскравих світлодіодів, наприклад, в екранах, табло, для підсвічування різних приладів» .

Імпульсні кола живлення частіше зустрічаються в освітлювальних приладах. Імпульсні схеми можуть бути виконані як з гальванічною розв'язкою, так і без неї. «Гальванічно розв'язувальні перетворювачі включають в себе зворотні і напівмостові резонансні перетворювачі. Перші використовуються в малопотужних пристроях, другі - в пристроях, що працюють на потужності понад 100 Вт» [3]. Дані джерела дуже прості в компонуванні і надають широкий спектр можливостей використання світлодіодного освітлення, так як дозволяють підключати світлодіодні світильники до мережі 220 В, що дає значні переваги в порівнянні зі світлодіодними світильниками з лінійним блоком живлення.

«Імпульсне ДЖ перетворює електричний змінний струм мережі в постійний струм певної величини, необхідної для нормальної роботи діодів» [10]. Простий імпульсний блок живлення, за допомогою якого можна отримати постійну напругу від змінної мережі, включає в себе мостовий випрямляч і ємнісний накопичувальний конденсатор (рис. 1.7).

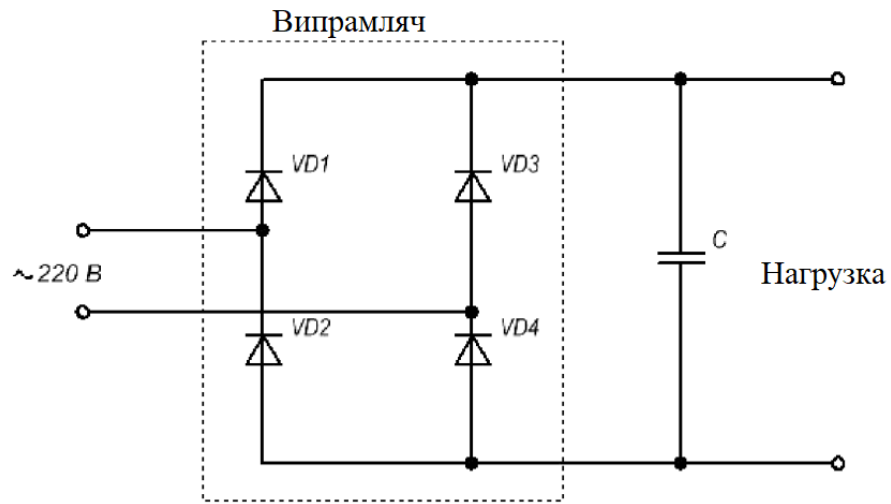
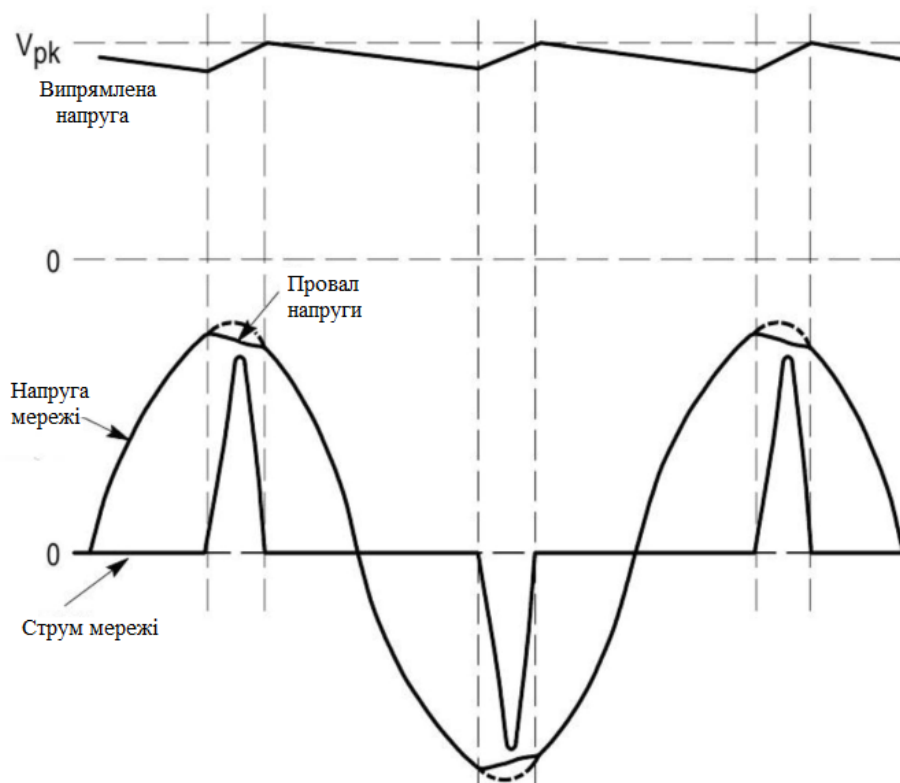


Рисунок 1.7 - Імпульсний блок живлення СД світильника

Таке ІДЖ споживає енергію з мережі тільки в ті моменти, коли напруга мережі близька до максимальної» [3]. «В інший час джерело не споживає енергію 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 додаткових перешкод, «забруднення» мережі, збільшення енергоспоживання та втрат енергії в електромережах. Такі джерела мають низький коефіцієнт потужності  $X$ , який не перевищує значення 0,5» [12].





## Рисунок 1.8 – Форма мережевого струму, напруги та випрямленої напруги

«Коефіцієнт потужності використовується для оцінки ефективності передачі електроенергії від мережевого джерела до навантаження» [8]. Він визначається як відношення активної потужності  $P_{ax}$  до повної  $S_{ax}$  і може приймати значення від нуля до одиниці.

Коефіцієнт потужності можна знайти за такою формулою:

$$\lambda = \frac{P_{ax}}{S_{ax}} \quad (1.1)$$

«Коефіцієнт потужності приймає єдине значення, коли активна потужність збігається з повною потужністю. Зазвичай значення одиниці характерно для чисто активного навантаження, в інших випадках коефіцієнт потужності менше одиниці. Перевищення повної потужності над активною можливе внаслідок активно-реактивного характеру навантаження, або внаслідок її нелінійності» [2]. Іншими словами, значення коефіцієнта потужності залежить від гармонійних і нелінійних спотворень, які створює джерело імпульсу в мережі. Чим вище ці спотворення, тим нижче значення коефіцієнта потужності.

«Гармонійні спотворення – це фазовий зсув між споживаним струмом і напругою мережі. Причиною фазового зсуву або відставання струму (напруги) від напруги (струму) є електричне навантаження, що працює з магнітним полем» [3]. Деякий час електричний струм і напруга мають протилежні знаки. А це призводить до того, що виникає негативна енергія, яка повертається назад в мережу. «Коли і струм, і напруга знову знаходяться в тій же полярності, та ж кількість енергії буде використана для створення магнітного поля. Ці коливання енергії електромагнітного поля в ланцюгах змінного струму і є реактивною потужністю» [9]. Така потужність не виконує корисної роботи, але тим не менше витрачається від джерела, тим самим збільшуючи сумарну споживану потужність, споживання електричної енергії.

«Щоб збільшити коефіцієнт потужності простого імпульсного блоку живлення, необхідно впровадити в нього спеціальний пристрій, який називається коректором коефіцієнта потужності (ККП). Цей пристрій дозволить наблизити фазу і форму споживаного струму до фази і форми напруги мережі. Потреба в цьому пристрої регламентується вимогами до електромагнітної сумісності» [10].

Тому імпульсні силові агрегати також можна класифікувати за наявністю та типом корекції коефіцієнта потужності. За типом корекції імпульсні джерела можуть бути з активними і пасивними касовими апаратами. Джерела з активними касовими апаратами можуть складатися з одного або декількох конвертерів.

Імпульсні ДЖ з активною корекцією може бути виконаний за схемою однокаскадного або багатоступінчастого перетворювача. В одноступінчастих пристроях один мікросхема отримує всі зворотні зв'язки, а інформацію про форму вхідної напруги, а також формує керуючий сигнал для ключового транзистора. Такі джерела мають істотний недолік: зміна параметрів навантаження, вхідної напруги, вплив різних дестабілізуючих факторів впливають на корекцію коефіцієнта потужності, тим самим знижуючи коефіцієнт потужності [1].

Двоступеневі розчини усуваються з цього недоліку (рисунок 1.9). У таких пристроях корекція коефіцієнта потужності виконується в окремому блоці, який отримує лише інформацію про форму вхідної напруги. Всі інші контури зворотного зв'язку приймаються іншим блоком, що не впливає на коефіцієнт потужності. Але варто зазначити, що такі рішення є більш дорогими та енергонеєфективними» [6].

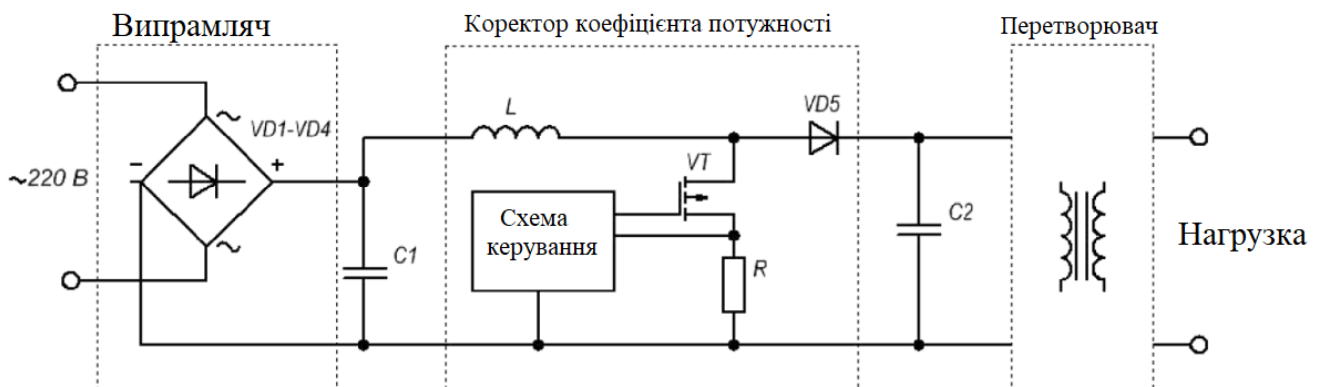


Рисунок 1.9 - Двокаскадна схема блоку живлення СД лампа

У деяких публікаціях [11] можна зустріти схеми, в яких функції каскаду з касовим апаратом і наступного перетворювача об'єднані в єдиному силовому ключі, як показано на рисунку 1.10.

«Тут підвищувальний перетворювач працює як коректор коефіцієнта потужності. Зворотний перетворювач працює як регулятор постійного струму для передачі енергії від конденсатора С3 до навантаження. Цей перетворювач регулює

вихідну напругу і струм до заданих значень" [11]. Недоліком такої схеми є наявність підвищених струмів і напруг на основних силових елементах схеми, а також високе значення пульсацій на виході.

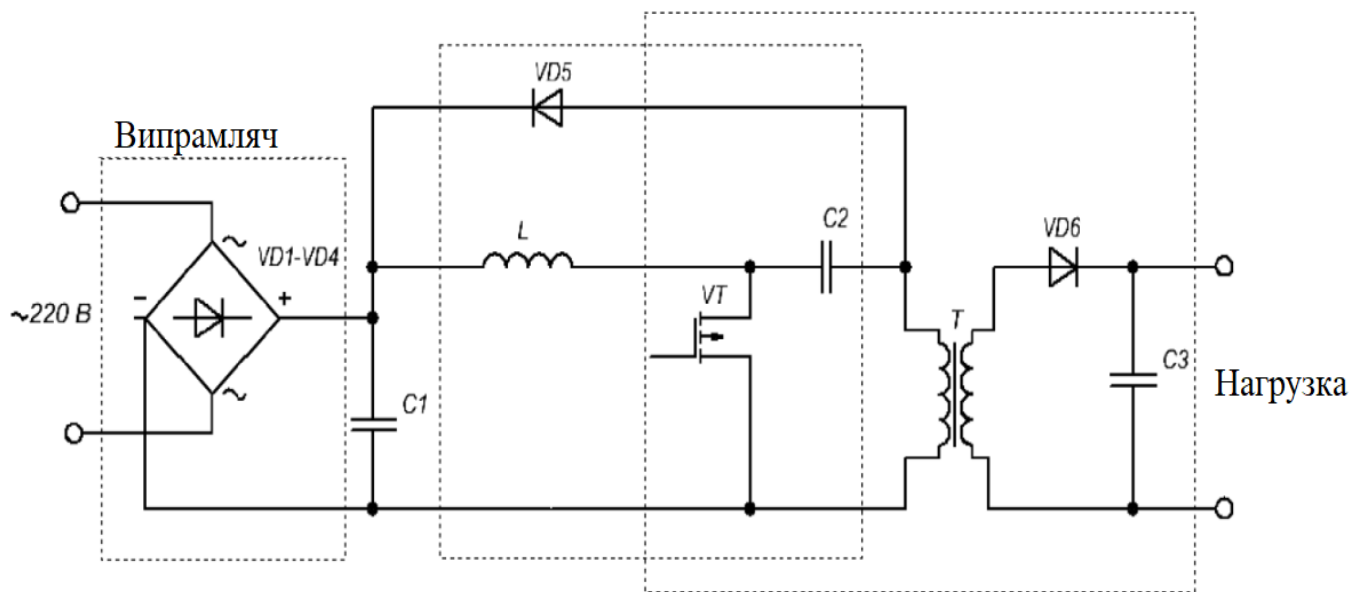


Рисунок 1.10 – Схема з декількома перетворювачами

Виходячи із зарубіжної та вітчизняної літератури, сучасні джерела мають коефіцієнт потужності в межах 0,95-0,99 [3].

Таким чином, світлодіодні світильники поведуться як нелінійні навантаження за рахунок пристрою електронного підключення, на відміну від звичайних ламп ЛЛ. Нелінійні навантаження створюють високочастотні гармоніки струму, які можуть призвести до низької якості електроенергії в розподільчій мережі. Гармоніки збільшують втрати потужності в кабелях і трансформаторах. Крім того, гармоніки можуть викликати мерехтіння, дисбаланс і насичення сердечника трансформатора і теплове старіння асинхронних двигунів [4]. Високочастотне випромінювання світлодіодних ламп в діапазоні 2..150 кГц також може спричинити проблеми зі зв'язком по лінії електропередачі. Гармоніки діодного випрамляча можна обмежити за допомогою касової схеми. Тому одержувані гармоніки сильно залежать від типу і якості електронного роз'ємного пристрою, що використовується зі світлодіодним підсвічуванням.

## **1.4 Висновки до розділу**

У першому розділі детально розглядається конструкція світлодіодних світильників і світлодіодних світильників. Розглянуто конструктивні рішення світлодіодної лампи для створення білого світлового потоку, а також використовувані джерела живлення.

Світлодіодні світильники поводяться як нелінійне навантаження за рахунок пристрою електронного підключення, на відміну від звичайних ламп, і генерують високочастотні гармоніки струму, які можуть призвести до погіршення якості електроенергії в розподільчій мережі. Щоб зменшити вплив гармоніки діодного випрямляча, необхідно використовувати схеми ККП. Тому одержувані гармоніки сильно залежать від типу і якості електронного пристрою, що використовується зі світлодіодним підсвічуванням.

## 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вплив світлодіодних світильників на якість електричної енергії

Світлодіодні лампи, виходячи зі своєї конструкції, належать до напівпровідникових перетворювачів електроенергії, що мають нелінійні вольтамперні характеристики (далі-ВАХ). Через свій принцип дії напівпровідникові перетворювачі електроенергії віддають у мережу живлення гармонійні складові струму та напруги.

Наявність такого навантаження призводить до спотворення форми кривої струму і напруги (рисунок 2.1), і наявності високого рівня гармонійних складових за струмом і напругою (рисунок 2.2).

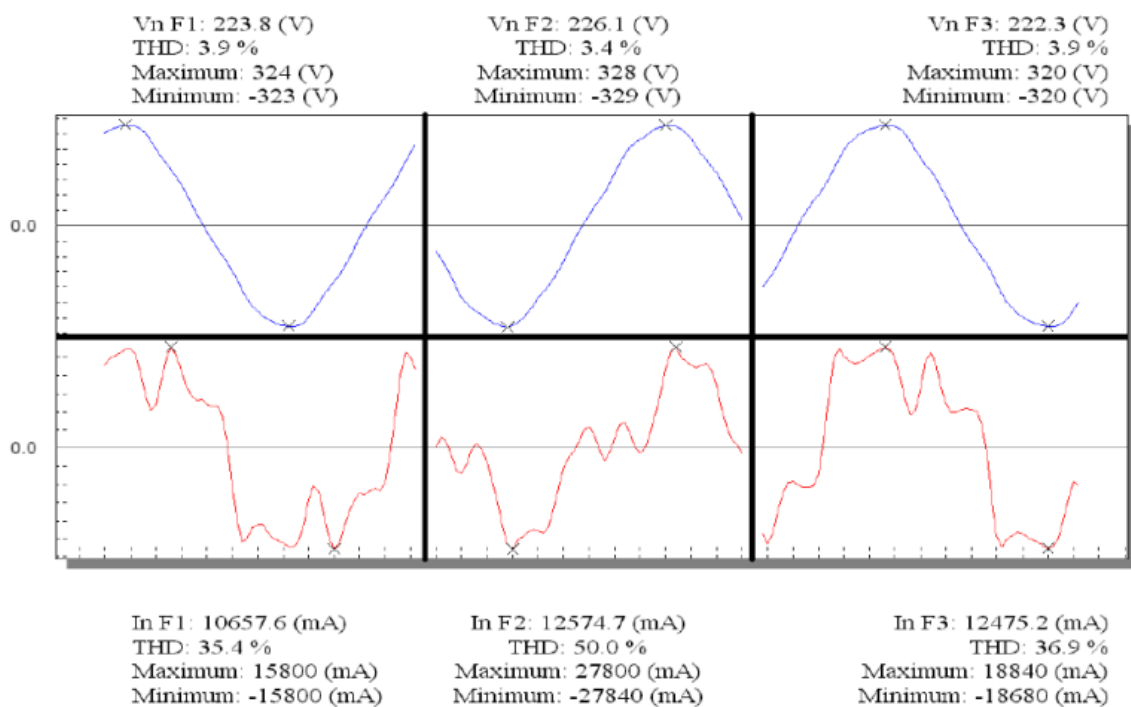


Рисунок 2.1 - Хвильова форма напруги та струму в мережі з напівпровідниковим перетворювачем електроенергії

Високий рівень спотворень синусоїдальності під час роботи перетворювальних електроустановок, несиметрія фазних струмів і напруг, відхилення напруг від номінальних значень і надають вплив на режим роботи електроприймачів, зокрема й на освітлювальне обладнання .

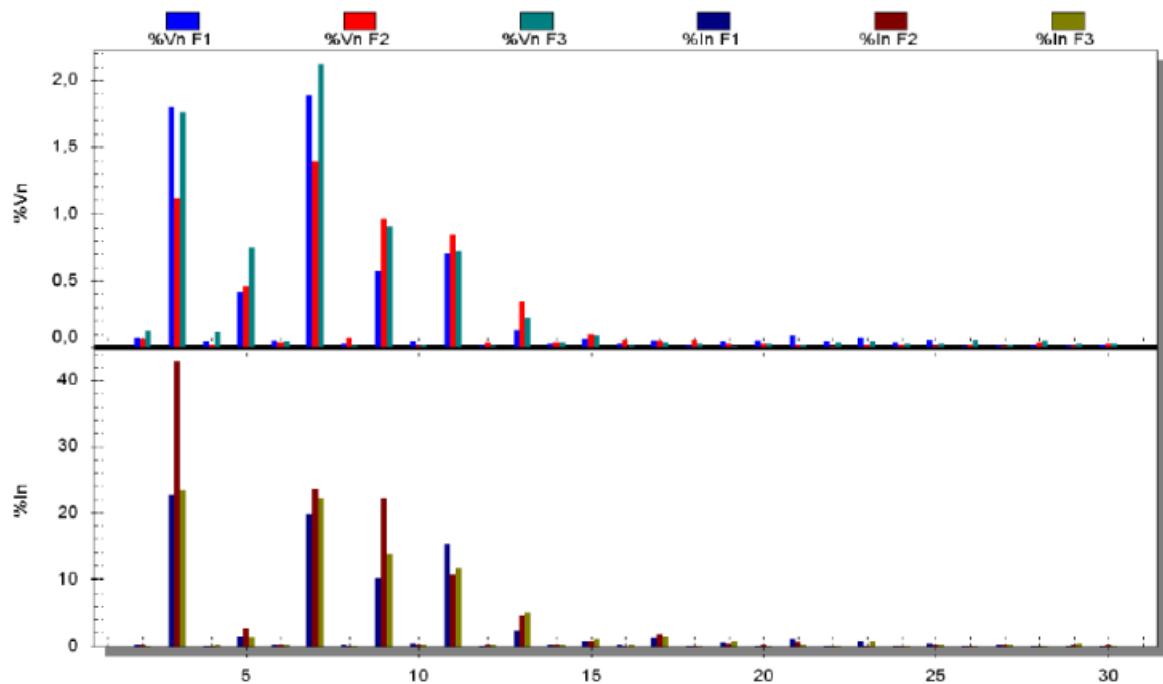


Рисунок 2.2 - Склад вищих гармонік у мережі з напівпровідниковим перетворювачем електроенергії

Стосовно освітлювального обладнання цей вплив може виражатися:

- у нагріванні та додаткових втратах у конденсаторах, магнітних частинах трансформаторів;
- спотворенні форми кривої напруги живлення;
- погіршення роботи електричних та електронних елементів;
- зниження термінів служби.

Здебільшого ці впливи позначаються тільки на термінах служб освітлювального обладнання опосередковано, наприклад, через перегрівання електронних елементів дроселів, драйверів, тому що все це може призводити до деградації структури світлодіода і, отже, до передчасного виходу його з ладу. Тому забезпечення тривалої роботи СД світильника, відповідно до заводського терміну служби - є актуальним завданням.

Таким чином, масове впровадження перспективних енергоефективних систем освітлення на базі світлодіодних ламп може істотно вплинути на показники якості електричної енергії у споживачів, особливо на несинусоїдальність струму і напруги, а найголовніше - зважаючи на сукупність у місцях переважання такого навантаження, новозбудовані енергоефективні системи освітлення можуть вийти з

ладу в перші роки експлуатації через зниження якості електричної енергії, у зв'язку зі збільшенням частки споживачів із нелінійною ВАХ".

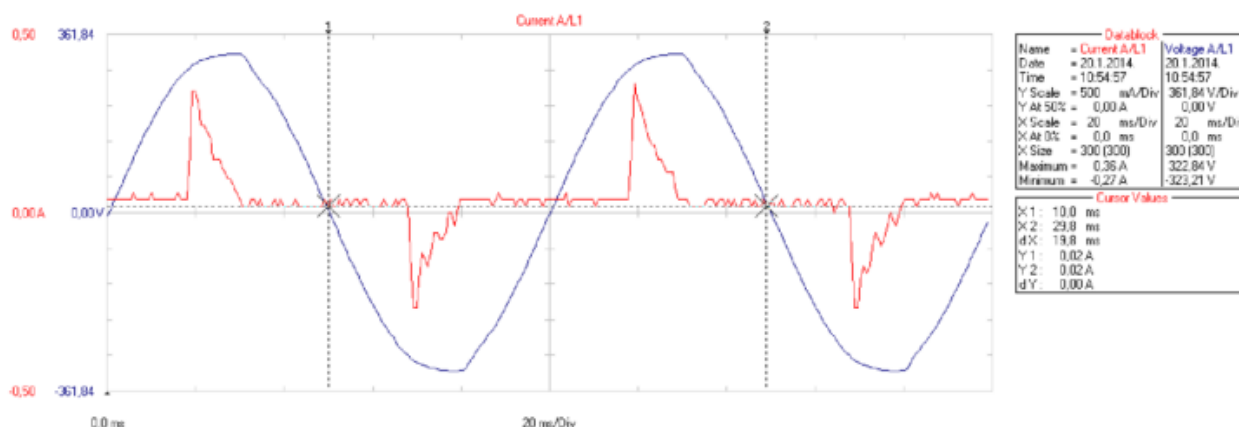


Рисунок 2.3 - Осцилограма струму споживання і напруги мережі СД світильника

З рис. 2.3 видно, що струм на перетворювачі СД світильника має несинусоїдальну функцію, тобто сильно спотворений. При цьому якщо несинусоїдальна функція відповідає умовам Дріхле, то ця функція може бути представлена гармонійним рядом Фур'є. Ряд Фур'є в тригонометричній формі має вигляд:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t)) \quad (2.1)$$

Де  $\omega_1 = (\frac{2\pi}{T})$  -кутова частота першої гармоніки.

Коефіцієнт  $a_n$  визначається за формулою:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_1 t) dt \quad (2.2)$$

Коефіцієнт  $b_n$  визначається за формулою:

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_1 t) dt \quad (2.3)$$

В формулі (2.1)  $\frac{a_0}{2}$  -прстійна складова , яка рівна середньому значенню функції  $f(t)$  за період ( $T$ ).

Після об'єднання в правій частині  $(a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t))$  формули (2.1) за умови для однакової частоти, вираз (2.1) набуде такого вигляду:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega_1 t + \psi_n) \quad (2.4)$$

$$\text{Де } A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \psi_n = \arctg(a_n / b_n)$$

Сукупність гармонійних складових несинусоїдальної періодичної функції називаю дискретним частотним спектром. Сукупність амплітуд гармонік утворює амплітудний спектр, а сукупність початкових фаз - фазовий спектр.

Якщо несинусоїдальна періодична функція виражається формулою (2.4), її діюче значення визначатиметься:

$$F = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{(n)} A_n^2} \quad (2.5)$$

Відповідно до ДСТУ 3466-96 "якість електричної енергії". Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення нелінійні спотворення є причиною відхилення форми споживаного струму від форми мережевої напруги і характеризуються коефіцієнтом спотворення  $K_{U(n)}$  (коефіцієнт несинусоїдальності), що дорівнює відношенню діючих значень вищих гармонік до діючого значення першої гармоніки. Для струму коефіцієнт спотворення визначатиметься за формулою:

$$k_I = \frac{\sqrt{\sum_{k \neq 1} I_k^2}}{I_1} \quad (2.6)$$

Для напруги визначається по формулі :

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{k \neq 1} U_k^2}}{U_1} \quad (2.7)$$

Де  $k$ -порядковий номер гармоніки,  $U_k$ -діюче значення  $n$ -ї гармоніки.

Другою характеристикою несинусоїдальності форми кривої є коефіцієнт  $n$ -ї гармонічної складової, яка знаходиться за формулою:

$$K_n = \frac{U_n}{U_1} 100\% \quad (2.8)$$



Коефіцієнт несинусоїдальності форми кривої струму  $K_{I(n)}$  і напруги  $K_{U(n)}$  знаходиться відношеннями:

$$K_{U(n)} = \frac{U_n}{U_1} 100 \quad (2.9)$$

$$K_{I(n)} = \frac{I_n}{I_1} 100 \quad (2.10)$$

Де  $U_{(n)}, I_{(n)}$  -діючі значення напруги і струму n-ї гармоніки ;  $U_1, I_1$  -діючі значення напруги і струму джерела живлення.

## **2.2 Вибір приладів для оцінки впливу світлодіодного світильника на якість електричної енергії**

Основним вимірювальним приладом під час проведення енергетичного обстеження, що дає змогу виміряти коефіцієнт спотворення синусоїдальності струму (сумарний коефіцієнт гармонійних складових струму), а також коефіцієнт n-ї гармонійної складової струму (n від 2 до 40) є вимірювачі показників якості електроенергії.

На сьогоднішній день існує доволі широка лінійка вимірювачів показників якості електричної енергії (далі - ВПЯЕ).

На ринку представлено ВПЯЕ, заграничні виробництва FLUKE 434, LINAX RQ1000.

Вибір ВПЯЕ в даній роботі розглядається виходячи з приладового парку наявний в організації, що спеціалізується на проведенні енергетичного обстеження. Тому як ВПЯЕ для проведення дослідження впливу кількості світлодіодних світильників було обрано FLUKE 434.

Комплектація цього вимірювального приладу являє собою таке:

1. Вимірювальний блок із вбудованою флеш-пам'яттю дає змогу зберігати інформацію вимірювань 120 днів;
2. Вимірювальні струмові кліщі, причому у двох виконаннях 1000/5 і 200/5;
3. Вимірювальні "крокодили", для вимірювання напруги.

#### 4. Блок живлення.

Необхідно зазначити, що цей вимірювальний прилад дає змогу проводити вимірювання показника якості електричної енергії в найширшому форматі та дуже часто застосовується під час проведення енергетичних обстежень промислових підприємств, організацій, адміністративних і побутових будівель.

Основними перевагами є можливість безперервного моніторингу показників якості електроенергії, широкий спектр проведених вимірювань, великий обсяг пам'яті, що дає змогу проводити вимірювання тривалого характеру. Основною FLUKE 434 перевагою порівняно з ВПЯЕ LINAX PQ1000 M(A) є високий ступінь автономності приладу за рахунок наявності акумуляторної батареї великої ємності. При цьому LINAX PQ1000 має стаціонарне виконання, яке вимагає наявності джерела живлення змінної напруги 230 В, що, своєю чергою, може призвести до порушення вимірювань у зв'язку зі зникненням напруги в живильній сіті вимірювального приладу LINAX PQ1000.

Оскільки FLUKE 43 дає змогу проводити вимірювання спотворення синусоїдальності струму, а також коефіцієнт n-ї гармонійної складової струму і широко використовується під час проведення енергетичних обстежень, то для вимірювання й оцінки впливу встановлюваної енергоефективної системи освітлення на показники якості електричної енергії як ВПЯЕ застосовували FLUKE 434.

### **2.3 Проведення вимірювань впливу СД світильника на якість електричної енергії**

Проведення інструментального дослідження впливу кількості світлодіодних світильників на якість електричної енергії здійснювалося в офісній будівлі.

Для вимірювань застосовували пристрій контролю параметрів якості електричної енергії FLUKE 434, що являє собою високоточний вимірювальний прилад, який відповідає всім сучасним вимогам.

Схему підключення наведено на рисунку 2.4. Схема підключення була виконана таким чином:

- струмові кліщі було під'єднано до живильної лінії системи освітлення,

що складається з 12 СД світильників;

- напругу заміряли за допомогою приєднаних вимірювальних щупів "крокодилів", під'єднаних у ЩО безпосередньо до жил живильного дроту;

Схему живлення системи освітлення було виконано таким чином, щоб була можливість змінювати кількість увімкнених світильників через індивідуальні вимикачі СД світильників.



Рисунок 2.4 - Схема підключення FLUKE 434 до мережі живлення СДсвітильників

За результатами проведених вимірювань отримали спектр кривих напруги і струму в мережі СД світильників. Отримані результати занесено в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Значення ВАХ встановлених СД світильників

№ п/п	Значення напруги	Величина струму
1	40	0,145
2	50	0,2
3	60	0,28
4	75	0,22
5	90	0,19
6	100	0,18
7	140	0,13
8	180	0,1

9	210	0,095
10	230	0,09

За таблицею 2.1 побудуємо графік.

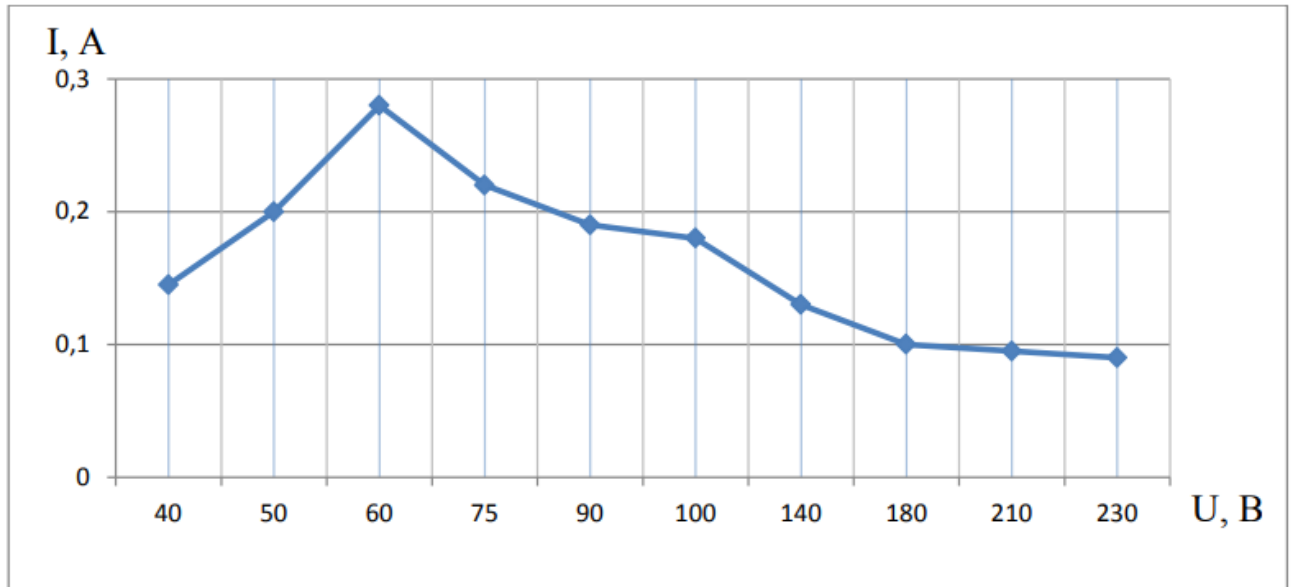


Рисунок 2.5 - ВАХ СД світильника

На підставі спектра кривих напруги і струму в мережі світильників гармонійні складові розкладемо в ряд Фур'є і зведемо в таблиці 2.2 - 2.3 та побудуємо відповідні графіки.

Таблиця 2.2 - Результати вимірювань діючих значень  $U_n$

Номер гармоніки	Діюче значення напруги, В	$n$
3	0,0004510	
5	0,0002150	
7	0,0000176	
9	0,0000452	
11	0,0000038	
13	0,0000000	
15	0,0000041	
17	0,0000007	
19	0,0000000	
21	0,0000031	

23	0,0000012
25	0,0000001
27	0,0000006
29	0,0000002
31	0,0000001
33	0,0000000
35	0,0000001
37	0,0000001
39	0,0000000
41	0,0000000
43	0,0000000
45	0,0000000
47	0,0000000
49	0,0000001

Графіки спектрального складу напруги та струму для одного світильника наведено на рисунках 2.6 і 2.7 відповідно.

Наведемо графіки спектрального аналізу на рисунку 2.6 і 2.7



Рисунок 2.6 - Спектральний склад гармонік за напругою в мережі живлення на одному світильнику

Таблиця 2.3 - Результати вимірювань діючих значень  $I_n$ 

Номер гармоніки	Діюче значення $n$ гармоніки струму, А
3	0,0052700
5	0,0029600
7	0,0001190
9	0,0015600
11	0,0000460
13	0,0000780
15	0,0003090
17	0,0000285
19	0,0000346
21	0,0004030
23	0,0007960
25	0,0003000
27	0,0001920
29	0,0009680
31	0,0004140
33	0,0004060
35	0,0000043
37	0,0003050
39	0,0002220
41	0,0000022
43	0,0000528
45	0,0000065
47	0,0001510



Рисунок 2.7 - Спектральний склад гармонік за струмом у мережі живлення на одному світильнику

На підставі отриманих графіків можна зробити висновок, що для встановлюваних світильників значення непарних гармонік у колі зменшуються відповідно до номера гармоніки, тобто значення переважають для третьої і п'ятої гармонік, а надалі зі збільшенням номера гармоніки значення їх, і як наслідок, різко знижуються.

На підставі отриманих даних проаналізуємо вплив кількості встановлюваних світильників на зміни третьої і п'ятої гармонік напруги і струму в мережі системи освітлення.

Результати наведемо в графічному вигляді на рисунках 2.8 - 2.11.



Рисунок 2.8 - Кількісний склад третьої гармоніки за напругою в живильній мережі залежно від кількості встановлюваних СД світильників

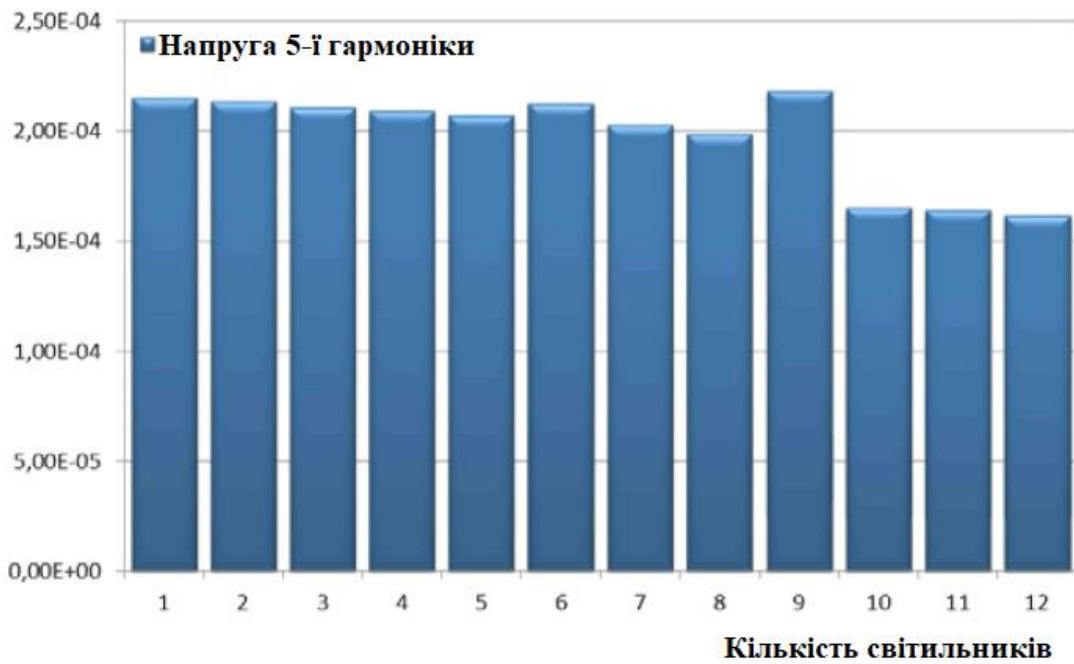


Рисунок 2.9 - Кількісний склад п'ятої гармоніки за напругою в мережі живлення залежно від кількості встановлюваних СД



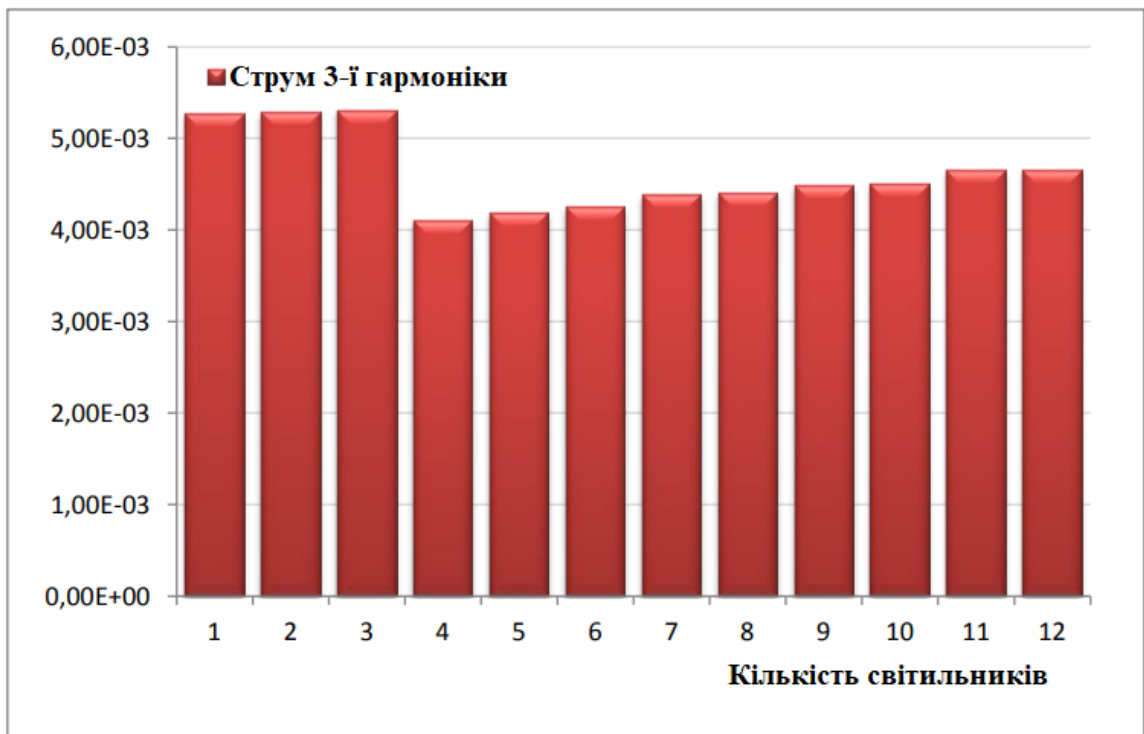


Рисунок 2.10 - Кількісний склад третьої гармоніки за струмом у живильній мережі залежно від кількості встановлюваних СД світильників

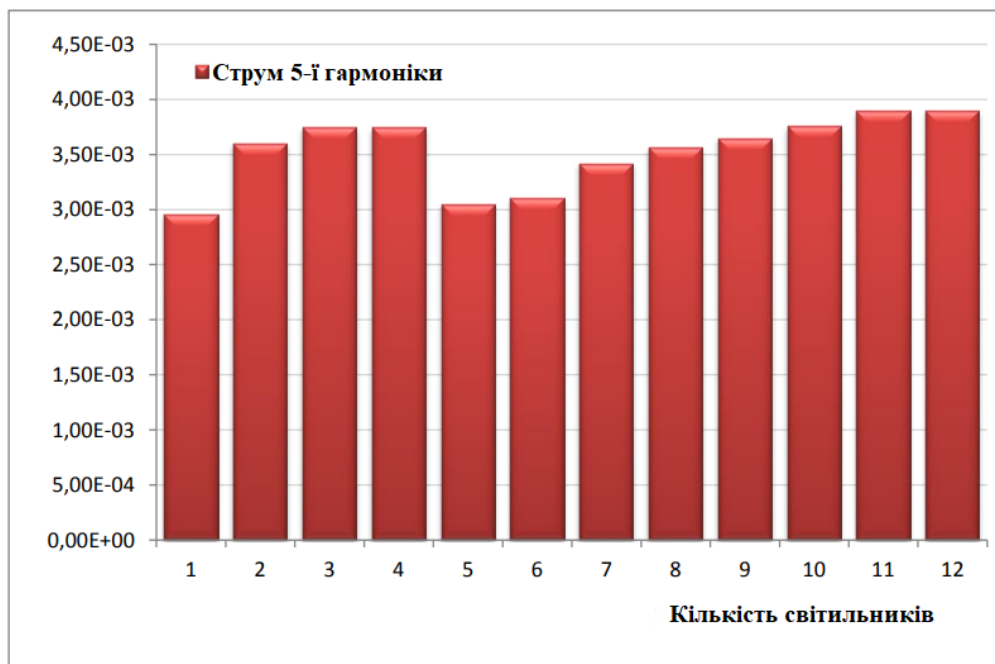


Рисунок 2.11 - Кількісний склад п'ятої гармоніки за струмом у живильній мережі залежно від кількості встановлюваних СД світильників

З аналізу результатів дослідів випливає, що під час збільшення кількості встановлюваних СД світильників значення напруги третьої і п'ятої гармонік зменшуються, а значення струму третьої і п'ятої гармонік незначно, але

збільшуються, що негативно позначається на якості електроенергії, особливо для протяжних освітлювальних мереж.

Високий рівень спотворень синусоїдальності за струмом впливає на режим роботи електроприймачів, зокрема й на освітлювальне обладнання.

Стосовно освітлювального обладнання цей вплив може виражатися:

- у нагріванні та додаткових втратах у конденсаторах, магнітних частинах трансформаторів;
- спотворенні форми кривої напруги живлення;
- погіршення роботи електричних та електронних елементів;
- зниження термінів служби.

Здебільшого ці впливи позначаються тільки на термінах служб освітлювального обладнання опосередковано, наприклад, через перегрівання електронних елементів дроселів, драйверів, тому що все це може призводити до деградації структури світлодіода, а отже, до передчасного виходу його з ладу.

Таким чином, масове впровадження енергоефективних систем освітлення на базі світлодіодних ламп, може істотно вплинути на показники якості електричної енергії у споживачів, особливо на несинусоїдальність струму і напруги, а найголовніше, виходячи із сукупності в місцях переважання такого навантаження, новозбудовані енергоефективні системи освітлення можуть вийти з ладу в перші роки експлуатації через зниження якості електричної енергії у зв'язку зі збільшенням частки споживачів з нелінійною ВАХ.

#### **2.4 Заходи щодо зниження впливу на якість електричної енергії світлодіодних світильників**

Основні заходи, спрямовані на зниження впливу напівпровідникових перетворювачів на якість електричної енергії в мережі живлення, можна класифікувати так:

- встановлення пристроїв придушення  $n$ -гармонік;
- під'єднання живильної лінії напівпровідникових перетворювачів на шини великої потужності
- використання перетворювачів з більш високим коефіцієнтом пульсації  $K$

Докладніше розглянемо ці заходи.

Встановлення пристроїв придушення гармонік ґрунтується на принципі створення високого опору для гармоніки певної частоти завдяки під'єднанню до мережі фільтро-компенсувального пристрою (дал-ФКП), що являє собою в примітивному варіанті під'єднану послідовно котушку індуктивності з мережею та паралельно під'єднаний конденсатор (рисунок 2.12).

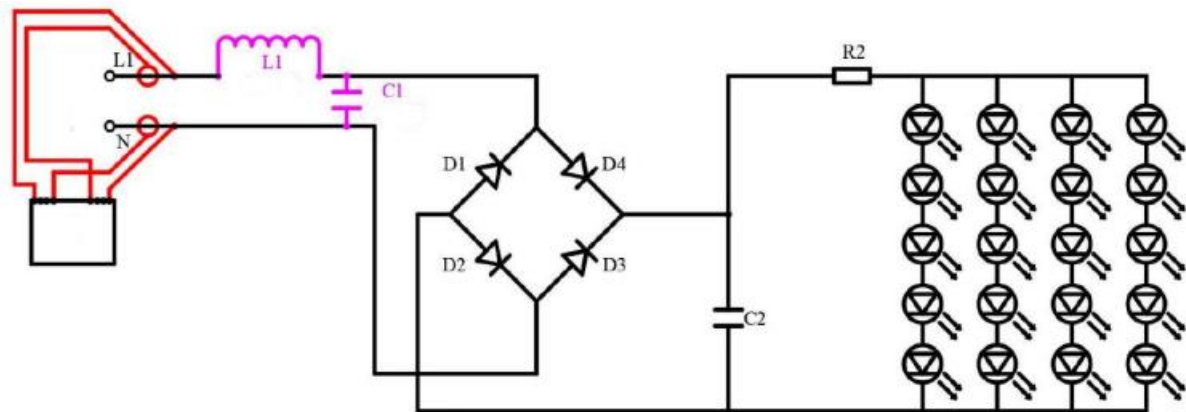


Рисунок 2.12 - Підключення фільтро-компенсувального пристрою до мережі

Основним елементом фільтро-компенсувального пристрою є котушка індуктивності, опір якої  $X_L$  пропорційно залежить від індуктивності самої котушки  $L_{ком}$  та від частоти  $f$  протікаючого струму  $X_L = 2\omega f L_{ком}$

Методика розрахунку параметрів фільтра вищих гармонік полягає в такому. Визначається мінімальна частота зрізу (фільтрації):

$$f_{пер} = \frac{U_{\phi}}{8I_{ПС}L_{ИКФ}}, \quad (2.11)$$

Де  $I_{ПС}$  -подвійне значення амплітуди пульсації струму , яке приймається 20% від двійчастого значення номінального струму ,

$U_{DC}$  -вхідна напруга на перетворювачі яка рівна фазовій напрузі  $U_{\phi}$  мережі,

$L_{ИКФ}$  -індуктивність котушки фільтра

Виходячи з необхідної частоти зрізу фільтро-компенсувального пристрою, визначатимуться параметри елементів фільтро-компенсувального пристрою.

Значення амплітуди пульсацій струму визначається за виразом

$$I_{\max AC} = \sqrt{2}I_{\text{ном}AC}, \quad (2.12)$$

Де  $I_{\text{ном}AC}$  - номінальне значення змінного струму яке описується виразом :

$$I_{\text{ном}AC} = \frac{P_{\text{сotv}}}{\sqrt{3}U_{\phi}}, \quad (2.13)$$

Для моделі значення, що визначаються за виразами, матимуть вигляд: Несуча частота визначається за базовою частотою мережі:

$$C_{\text{фнес}} = \frac{f_{\text{відх}}}{f_{\text{мер}}}, \quad (2.14)$$

Ємність фільтра яка потрібна для забезпечення частоти перерізу знаходиться за виразом :

$$C_{\text{фільтра}} = \frac{1}{(2\pi f_{\text{пер}})^2 L}. \quad (2.15)$$

Демпфуюча гілка необхідна для зниження або повного виключення можливих резонансних коливань, викликаних комбінацією  $L - C_{\text{фільтра}}$ . Індуктивність демпфуючої гілки визначається як:

$$L_{\text{демф}} = 5L_{VSC}, \quad (2.16)$$

Де  $L_{VSC}$  - індуктивність перетворювача напруги.

Демферний опір знаходиться по формулі:

$$R_{\text{демф}} = \sqrt{\frac{L_{\text{демф}}}{C_{\text{демф}}}}, \quad (2.17)$$

Де  $C_{\text{демф}}$  - ємність демферної гілки , знаходиться за формулою:

$$C_{\text{демф}} = \frac{C_{\text{фільтра}}}{2}. \quad (2.18)$$

Таким чином, підібравши параметри індуктивності та ємності ФКП можна знизити величину гармонійних складових, що віддаються в мережу, починаючи вже з третьої гармоніки, частота якої дорівнює  $f = 150$  Гц.

Вивчивши заграничний досвід, застосування фільтро-компенсуючого пристрою для придушення гармонік частотою вище 150 Гц у живильній мережі СД світильників є найперспективнішим напрямком, особливо в локально розподілених

мережах, тому що завдяки застосуванню фільтро-компенсувального пристрою знижується не тільки вплив гармонік на мережу, але також впливає на підвищення коефіцієнт потужності СД світильників, що позитивно впливає на мережу загалом, адже знижується споживання реактивної потужності  $Q_{CD}$  СД системи освітлення і, як наслідок, знижується величина перетікання реактивної потужності  $Q_{сет}$  у загальній мережі системи електропостачання. Це не чинить сильного впливу, коли кількість світильників є значно малою, але при істотній частці світлодіодного освітлення в структурі споживання промислового підприємства та установи, або в ізольованих енергосистемах, може надати належний ефект.

Наступний захід, це виділення живильної мережі енергоефективних систем освітлення на окрему систему шин (ВРП, ТП тощо). Основний підхід цього заходу полягає в розділенні системи електропостачання нелінійного навантаження (навантаження, що суттєво впливає на спотворення струму та напруги) та решти навантаження одне від одного за рахунок різних варіантів схем підключення до шин трансформаторної підстанції, ВРП тощо. Схеми під'єднання наведені на рисунках 2.13, 2.14.

Таке підключення не знижує впливу на якість електричної енергії в живильній мережі СД світильників, але знижує вплив на що живить мережу решти споживачів, за рахунок більш високого повного опору провідників решти споживачів.

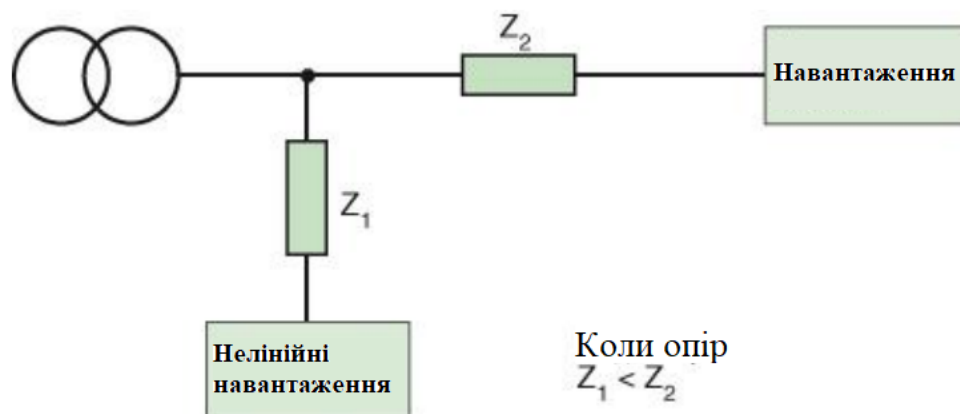


Рисунок 2.13 - Схема підключення СД світильників на шини ТП

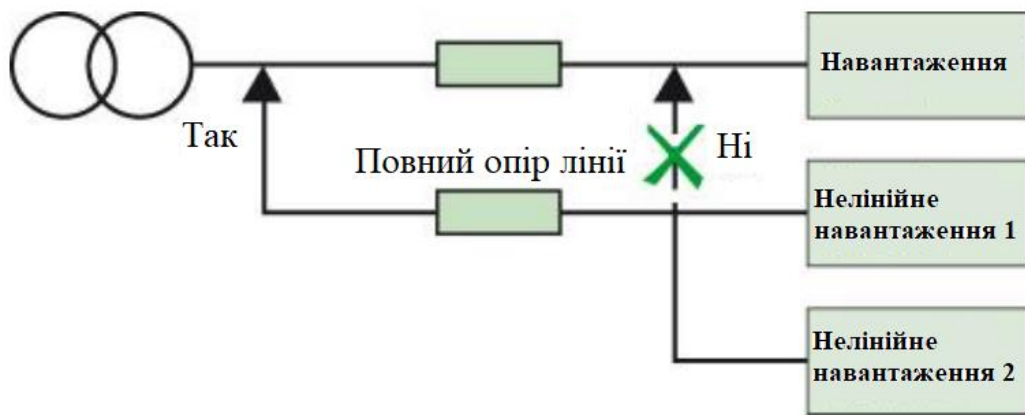


Рисунок 2.14 - Схема об'єднання нелінійних навантажень у групу

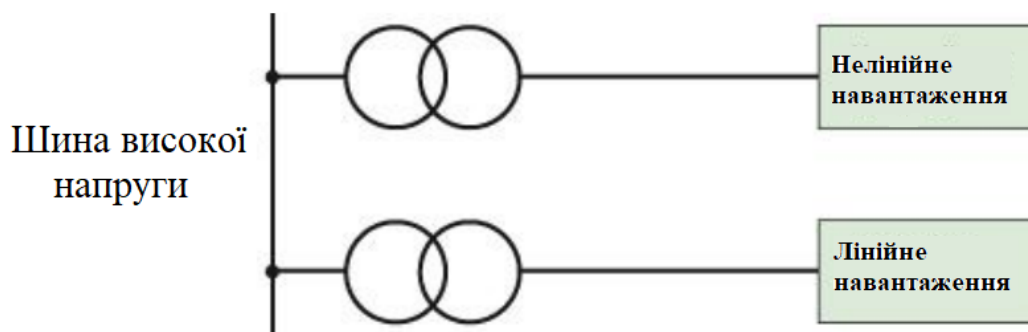


Рисунок 2.15 - Схема підключення різних типів навантаження на окремі трансформатори

На рисунку 2.15 представлено схему з поділом підключення нелінійного і лінійного навантажень на різні силові трансформатори в ТП підприємства. Цю схему можна застосувати для споживачів з нелінійною ВАХ великої потужності, і очевидно, що навряд чи її можна використати для під'єднання СД світильників до живильної мережі на промислових підприємствах, адміністративних і громадських установах, але її можна використати в протяжних мережах вуличного освітлення.

Водночас необхідно зазначити, що існують схеми групового регулювання (див. розділ 1.3), коли велику кількість СД світильників під'єднують через один блок живлення, однак така схема не може бути застосована.

Для протяжних мереж, оскільки вторинне коло у таких системах працює на постійній напрузі 12-24 В, у протяжних мережах постійного струму падіння

напруги на ділянці кола значно вища, ніж у мережах змінного струму, що вимагає збільшення перерізу живильних провідників у мережі постійного струму, тому для офісних установ з великою кількістю досить потужних СД світильників така схема не підходить для підключення і є недоцільною, як з економічного погляду, так і з практичного.

Далі розглянемо останній захід, це використання джерел живлення СД

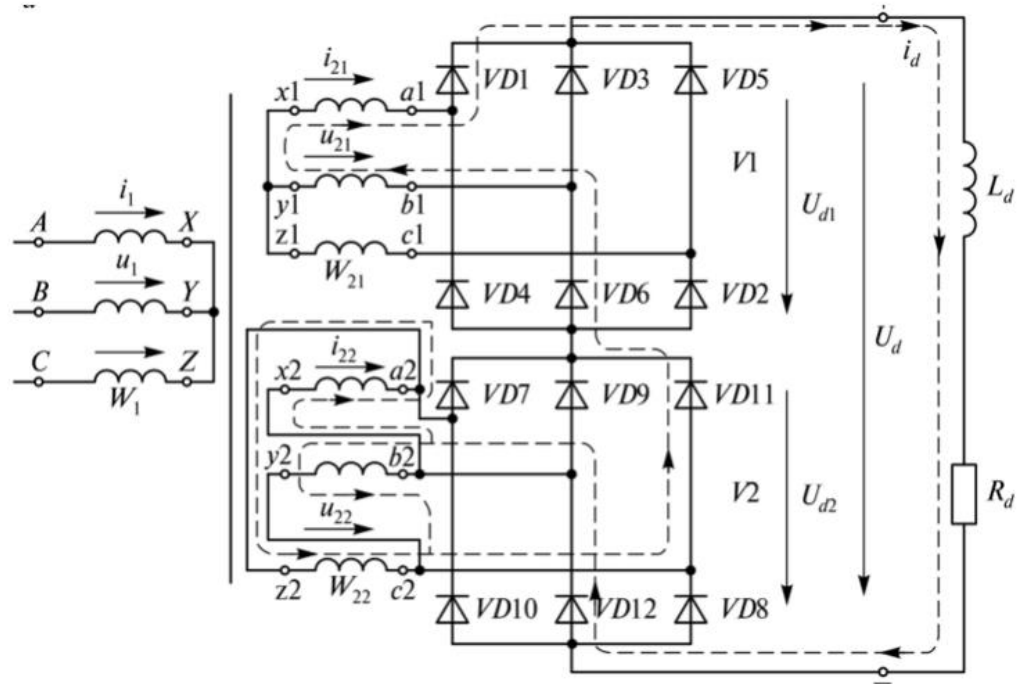


Рисунок 2.16 - Приклад схеми 12-діодного випрямляча.

світильників з більш високим ступенем випрямленого струму і напруги завдяки використанню 12-діодного випрямляча (рисунок 2.16).

Такі схеми випрямлячі використовують для отримання менших пульсацій випрямленої напруги, спектра вищих гармонік і, як наслідок, зниження несинусоїдальності в живильній мережі струму.

Особливість цієї схеми полягає в тому, що дванадцятипульсові схеми будуються на основі перетворювального трансформатора з двома вторинними обмотками, одна з яких з'єднується зіркою, а друга - трикутником. До кожної обмотки приєднується мостова випрямна схема.

Таку схему можна застосувати тільки для системи керування СД освітленням групового регулювання, і її не можна використати для протяжних мереж із СД світильниками.

На підставі розглянутих заходів можна зробити висновок, що найперспективнішою системою зниження впливу СД світильників на показники якості електричної енергії є фільтро-компенсувальний пристрій.

Оскільки встановлення фільтро-компенсувального пристрою є найбільш "гнучким" заходом за рахунок можливості використання для різних СД світильників з різними джерелами живлення.

## **2.5 Висновки до розділу**

Збільшення кількості СД світильників суттєво впливає на несинусоїдальність струму.

З аналізу результатів проведеного інструментального дослідження впливу кількості світлодіодних світильників на якість електричної енергії випливає, що в разі збільшення кількості встановлюваних СД

світильників значення напруги третьої та п'ятої гармонік зменшуються, а значення струму третьої та п'ятої гармонік незначно, але збільшуються, що негативно позначається на якості електроенергії, особливо для протяжних освітлювальних мереж.

З розглянутих заходів щодо зниження впливу СД світильників таких як:

- встановлення фільтрувальних пристроїв придушення гармонік;
- встановлення світлодіодних світильників із вищим ступенем випрямлення струму і напруги (12-діодного випрямляча);
- Підключення енергоефективних систем освітлення на окрему систему шин (ВРП, ТП тощо).

Найперспективнішими є фільтро-компенсувальні пристрої, за рахунок своєї простоти і можливості широкого використання.



### 3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Розробка перспективної системи освітлення на базі СД світильника

Фірми виробники такі як Osram, Philips, та інші, пропонують безліч СУО для освітлювальних установок з СД лампами. У системах з аналоговим управлінням команди ручного управління або сигнали від датчиків освітленості, присутності і часу подаються на керуючі входи драйвера у вигляді постійної напруги (в діапазоні 0-10 В), викликаючи відповідну зміну світлового потоку керованих СД ламп . Ручне керування, як правило, здійснюють дистанційно за допомогою пультів з інфрачервоними випромінювачами або за допомогою потенціометрів, які встановлюють поруч із вимикачами. Цей протокол керування передбачає під'єднання таких пристроїв:

- 1 Датчиків, що підтримують постійний рівень освітленості;
- 2 Датчиків руху;
- 3 Потенціометрів, що дають можливість ручного регулювання яскравості ІС;
- 4 Пристрої вимкнення через заданий проміжок часу після увімкнення;
- 5 Пульта дистанційного керування.

Але за всього різноманіття елементів, що сприяють економії ЕЕ, аналоговий інтерфейс має безліч недоліків:

1. У разі ввімкнення в ланцюг кількох датчиків, кожен фотоелемент керує освітленням в окремій зоні, водночас їхня робота не узгоджена між собою;
- 2 Відсутня можливість почасового ввімкнення і вимкнення;
- 3 Можливість програмування не більше 4 сцен освітлення;
- 4 Неможливість вимкнути 1-10 В модулі за допомогою інтерфейсу.
- 5 Необхідне використання спеціальних СД світильників з великою кількістю СД і внутрішнім груповим регулюванням увімкнення/вимкнення СД.

На відміну від аналогових систем, цифрове керування за стандартом DALI (Digital Addressable Lighting Interface) дає змогу здійснювати програмування освітлення в приміщенні та здійснювати адресне керування світильниками. Система цифрового керування освітленням за стандартом DALI також потребує

прокладання додаткової двопровідної керівної мережі. Використання СУО з датчиками освітленості, присутності та часу дає змогу економити до 70% електроенергії, що витрачається на освітлення.

Переваги цифрових інтерфейсів щодо аналогової системи 1-10 В:

- проста прокладка ліній управління (не треба формувати групи, не має значення полярність);
- можливість керування індивідуальними баластами (адресація індивідуального баласту) або групи баластів (адресація групи баластів);
- автоматичне й одночасне керування всіма СД світильниками, обраними в групу;
- відсутня необхідність комутувати силову напругу за допомогою зовнішнього реле (це зроблено внутрішніми електронними компонентами за допомогою PLC контролера).

Стандарт DALI є "відкритою системою", помірною за вартістю, що дає змогу будь-якому виробнику приладів пов'язувати димеровані апарати, вимикачі та датчики для об'єднання в локальну систему освітлення. Кожна мережа DALI може складатися з 64

поодиноких драйверів, під'єднаних до одного блоку керування

(контролеру). Контролер DALI або шлюз DALI може підключатися до інших інженерних пристроїв будівлі, завдяки системі стандартизації такого роду обладнання. Під час оснащення будівлі системами та обладнанням від різних виробників важливо, щоб технічні пристрої не "конфліктували" між собою, а були сумісними і представляли єдине ціле. Проблему сумісності вирішили через розроблення так званих "стандартів відкритих систем". Можливість обміну даними забезпечує мережеву сумісність систем і можливість інтеграції систем в єдиний комплекс.

Асортимент АСУО на сьогоднішній день великий, як з погляду галузей застосування (офіси, громадські будівлі, промисловість, житловий сектор і т.д.), так і за масштабом самих систем. Розглянемо детальніше АСУО, призначені для використання в адміністративних приміщеннях.

Наразі багато виробників випускають не готові АСУО, а "самонабірні" варіанти, що складаються з окремих елементів (контролерів, панелей керування,

димерів, датчиків тощо), пропонуючи користувачеві самостійно збирати необхідну систему на кшталт конструктора. Найчастіше такі варіанти відрізняються від готових систем більшою гнучкістю й універсальністю, оскільки окремі елементи зазвичай підтримують багато інтерфейсів керування. Зупинимося детальніше на механізмі використання природного освітлення, як факторі, що визначає найбільший внесок в економію ЕЕ. Крім того, дію цього чинника, на відміну, наприклад, від обліку присутності людей можна спрогнозувати.

Фотодатчик, який зазвичай встановлюється на стелі, "вимірює освітленість" на робочій поверхні, що складається з освітленості від природного світла й освітленості, створеної ОУ приміщення. В умовах мінливості природного світла сумарна освітленість на робочій поверхні може перевищити необхідну, заздалегідь встановлюваний рівень, у цьому разі АСКЗ знижує потік ОУ за одним із раніше перелічених алгоритмів доти, доки освітленість не досягне встановленого рівня.

У разі, коли сумарна освітленість значно (точне значення може задаватися користувачем) перевищує встановлений рівень, СД світильники в приміщенні можуть бути повністю вимкнені. З метою ще більшого зниження енергоспоживання ОУ, робота фотодатчика зазвичай координується з роботою датчика присутності.

Із розглянутих систем найоптимальнішою і найпростішою є система ІСУО. Ця багатофункціональна, автоматична система управління освітленням, яка задовольняє сьгоднішнім запитам енергоефективності, гнучка та легка у використанні для освітлення. Коли датчик освітленості об'єднаний з рештою датчиків присутності, потенціометром або стандартними вимикачами кнопки, ІСКЗ стають універсальною системою управління для внутрішнього освітлення.

Можливості цієї системи полягають у такому:

1. Ручний контроль. Інфрачервоне Дистанційне керування.
2. Звичайний легкий контроль. Вимикач вкл\викл і димер.
3. Багатофункціональний контроль. Перемикання сцен освітлення
4. Димування за допомогою панелі управління з перемикачами, пов'язаної з системою управління через інтерфейс.
5. Ручний контроль з економією енергії. Датчик руху з інфрачервоним

дистанційним керуванням.

6 Датчик освітленості, об'єднаний з інфрачервоним дистанційним керуванням. Освітлення автоматично регулюються, щоб підтримувати постійний рівень освітленості.

7 Датчик освітленості та датчик руху з дистанційним управлінням IR.

Освітлення автоматично регулюються, щоб підтримувати постійний рівень освітленості. Датчики руху реагують на присутність людей.

8 Автоматичне керування з економією енергії. Повністю автоматизоване керування з використання датчиків освітлення і присутності.

Використання в офісному приміщенні датчика освітленості допоможе заощадити ЕЕ. Найчастіше ЕЕ в цьому приміщенні витрачається неефективно - увімкнувши світло вранці, коли недостатньо природного світла (або за повної його відсутності взимку) СД світильники можуть продовжувати горіти впродовж усього дня. Працівники не звертають уваги на те, що світло в офісному приміщенні може витрачатися безглуздо. Увімкнувши вранці загальне освітлення за нестачі природного освітлення, всі світильники можуть продовжувати горіти весь день. Датчик освітленості допоможе керувати кількістю світла для підтримки нормованого рівня освітленості, а також вимкне загальне освітлення або частину СД світильників за достатньої кількості природного світла в усьому приміщенні.

Система дає змогу створювати різні сцени освітлення й автоматично їх змінювати шляхом програмування через комп'ютер. Так, за відсутності природного світла є потреба запрограмувати систему таким чином, щоб у середині приміщення на робочих столах, де наявне пересвітлення, освітленість було зменшено до оптимального значення. За рахунок цього також відбудуватиметься економія ЕЕ.

Економія ЕЕ в приміщеннях без природного світла вимагає до себе більшої уваги. Тут не вдасться домогтися її за рахунок природного світла. Як правило, в таких офісних кабінетах система освітлення працює протягом усього дня і на повну потужність.

Крім економії ЕЕ не менш важливим для СУО є вимоги надійності та розумних термінів окупності ОУ, тобто на вибір того чи іншого іншого типу СУО впливають початкові капіталовкладення, вартість електроенергії та експлуатаційні

витрати. Відповідно чим вища вартість ЕЕ і нижчі інші витрати, тим швидше окупиться установка з СУО. Якщо в ОУ СУО виконує всі чотири основні функції, то термін окупності залежатиме від площі приміщення, освітлюваної природним світлом. Відповідно чим вона більша, тим швидше.

Також необхідно зазначити, що термін окупності залежить і від нормальної роботи СД світильників, згідно із заявленими заводом виробником термінами роботи 30-50 тис. годин, тобто 12-20 років.

Такий тривалий термін служби СД світильників не можливий без забезпечення відповідно до ДСТУ 3466-96 відповідної якості електроенергії, з огляду на розглянуті питання в розділі 2 цієї роботи, в АСОУ необхідне встановлення ФКП пристрою (рисунок 3.1). ФКП необхідно підключати до фазного проводу між PLC-контролером, який керує режимом роботи СД світильника, і самим СД світильником. У разі групового керування СД світильниками можна використовувати PLC контролер із вбудованим ФКП.

Використання ФКП дасть змогу знизити величину гармонійних складових струму, що віддаються в мережу живлення, і в такий спосіб забезпечить необхідний коефіцієнт спотворення.

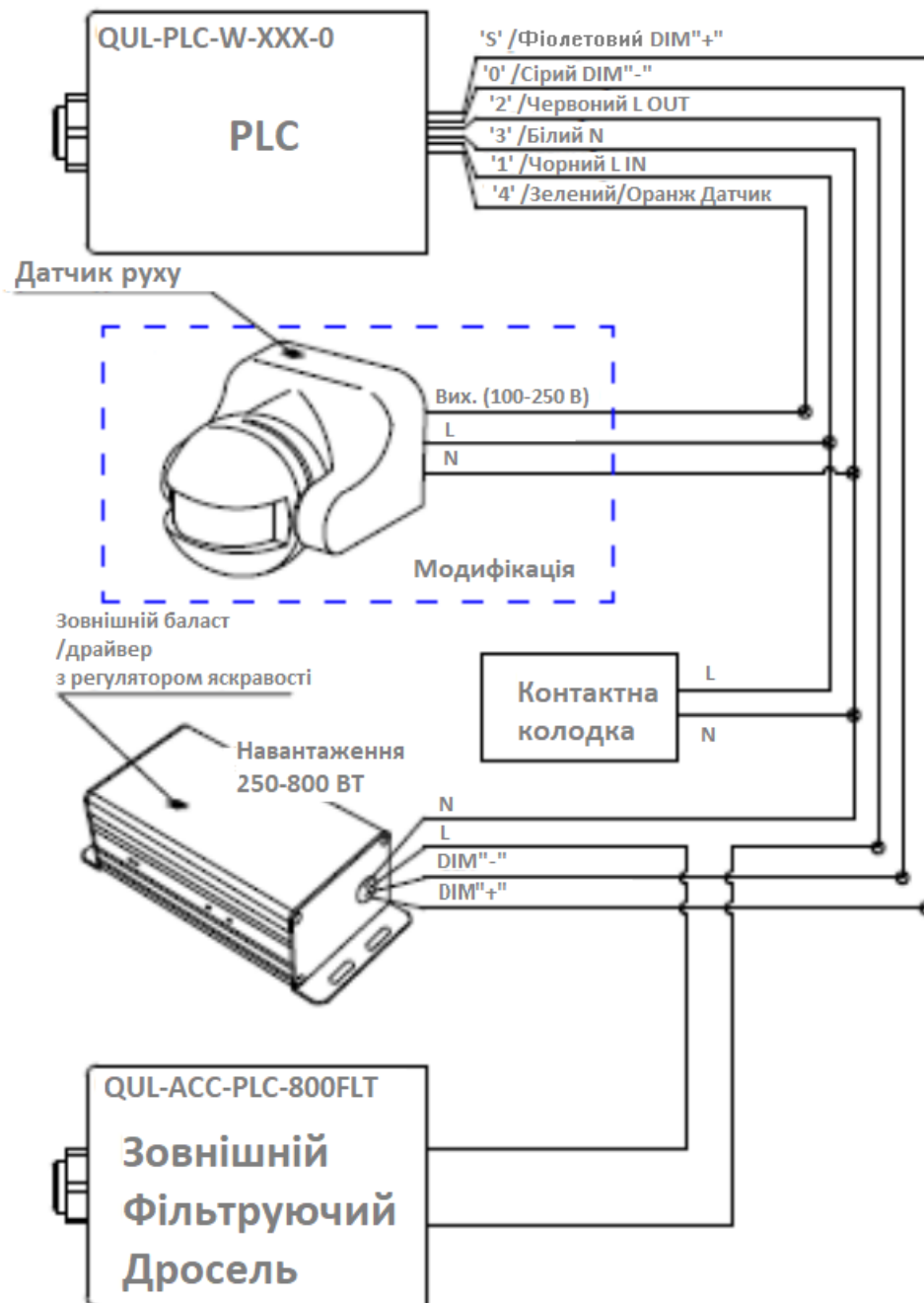


Рисунок 3.1 - Схема під'єднання ФКП в ланцюг живлення СДсвітильника

### 3.2 Розрахунок параметрів ФКП

На підставі методики, розглянутої в розділі 2.3 цієї роботи, проведемо розрахунок вибору параметрів ФКП.

За формулою 2.13 визначимо максимальний струм у мережі:

$$I_{номАС} = \frac{288}{\sqrt{3} * 230} = 0,74 А,$$

$$I_{max AC} = \sqrt{2} I_{номАС} = \sqrt{2} * 0,74 = 1,02 А$$

Значення пульсуючого струму  $I_{ПТ}$  :

$$I_{ПТ} = \frac{20}{100} * 1,02 = 0,2 A$$

Тоді частота вимкнення:

$$f_{відк} = \frac{U_{DC}}{8I_{ПТ}L_{ИКФ}} = \frac{230}{8 * 0,2 * 2,6 * 10^{-5}} = 5528 Гц$$

Несуча частота визначається за базовою частотою мережі:

$$C_{нес} = \frac{f_{відк}}{f_{мер}} = \frac{55280}{50} = 110,6$$

Для фільтра використовується частота зрізу 150 Гц.

Ємність фільтра, яка необхідна для забезпечення необхідної частоти зрізу, визначається за виразом (2.15):

$$C_{фільтра} = \frac{1}{(2\pi f_{пер})^2 L} = \frac{1}{(2\pi * 150)^2 * 10^{-6}} = 978 мкФ$$

Демпфуюча гілка необхідна для зниження або повного виключення можливих резонансних коливань, викликаних комбінацією  $L - C_{фільтра}$ . Індуктивність демпфуючої гілки визначимо за виразом (2.16):

$$L_{демф} = 5L_{VSC} = 5 * 2,6 * 10^{-5} = 1,3 * 10^{-4} Гн,$$

Ємність гілки, що демпфує, визначиться за виразом (2.17):

$$C_{демф} = \frac{C_{фільтра}}{2} = \frac{978}{2} = 487 мкФ,$$

Активний опір гілки, що демпфує:

$$R_{демф} = \sqrt{\frac{L_{демф}}{C_{демф}}} = \sqrt{\frac{1,3 * 10^{-4}}{487 * 10^{-6}}} = 0,56 мОм.$$

За результатами обраного ФКП вплив встановлених СД світильників на якість електричної енергії в живильній мережі істотно знижено (рисунок 3.2).

Таблиця 3.1 - Значення гармонійних складових кривих напруги та струму в живильній мережі системи освітлення

Номер гармоніки	Діюче значення $n$ гармоніки струму, А
3	0,0052700
5	0,0029600
7	0,0001190
9	0,0015600
11	0,0000460
13	0,0000780
15	0,0003090
17	0,0000285
19	0,0000346
21	0,0004030
23	0,0007960
25	0,0003000
27	0,0001920
29	0,0009680
31	0,0004140
33	0,0004060
35	0,0000043
37	0,0003050
39	0,0002220
41	0,0000022
43	0,0000528
45	0,0000065
47	0,0001510
49	0,0006850





Рисунок 3.2 - Спектральний склад гармонік за струмом у мережі живлення на одному світильнику після встановлення ФКП

Розрахунок енергоефективності перспективної системи освітлення на базі світлодіодних світильників зі встановленням ФКП.

Проведемо оцінку ефективності ІСУО на базі СД світильників зі встановленням ФКП.

Розрахунок ефективності ІСУО являє собою:

- Зіставлення розрахункових значень споживання електричної енергії наявної системи освітлення з розрахунковими значеннями пропонованої до встановлення ІСУО зі світлодіодними світильниками.

Як приклад розглянемо систему освітлення до встановлення СД світильників з ІСУО і встановленням ФКП в офісному приміщенні на об'єкті дослідження. До встановлення система освітлення була виконана світильниками в кількості 12 шт з лампами ЛЛ потужністю 16 Вт і світловим потоком  $\Phi_{\text{л}}$  3100 лм. Світильники забезпечують необхідний рівень освітленості робочої поверхні 300 лк, відповідно до ДБН В.2.5-28-2018. Система освітлення працює переважно в денний час. Річне число годин роботи системи освітлення  $T_{\text{Г}}$  становить 2500 годин.

Потужність системи освітлення визначається таким чином:

$$P_{\text{ПР.ОСВ}} = NP_{\text{СВ}} \quad (3.1)$$

$$Q_{OCB} = P_{OCB} \operatorname{tg} \varphi_{OCB} \quad (3.2)$$

де  $P_{CB}$  - встановлена потужність одного світильника кВт;  $N$  - кількість світильників.

У разі використання ламп розжарювання  $Q_{OCB}$  дорівнює нулю, оскільки  $\cos \varphi = 1$ . У разі використання розрядних ламп необхідно враховувати наявність/відсутність індивідуальної компенсації реактивної потужності  $\cos \varphi = 0,8 \div 0,95$ ;

Річне споживання електроенергії системою внутрішнього освітлення визначається за формулою:

$$W_{річ} = \sum P_{ПР.OCB} T_p K_I K_{ПРА} \quad (3.3)$$

де  $\sum P_{ПР}$  - сумарна встановлена потужність усіх світильників системи освітлення;  $T_p$  - кількість годин роботи на рік, приймаємо  $T_p = 2500$  год.;  $K_{ПРА}$  - коефіцієнт втрат у ПРА. Для електромагнітних ПРА  $K_{ПРА} = 1,22$ , для електронних  $K_{ПРА} = 1,05$ .

До реконструкції:

$$W_{річ.др} = 768 * 2500 * 0,8 * 1,05 = 1814,4 \text{ кВт} * \text{год} / \text{рік}.$$

Результати розрахунків занесемо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Зіставлення розрахункових значень споживання до і після реконструкції системи освітлення

Найменування параметра	Од. вим.	Існуюча система освітлення	Пропонована до встановлення ІСУО	Оцінка енергоефективності
<b>"Зона" А (від датчика освітленості та датчика присутності)</b>				
Тип ламп		ЛЛ	СД	
Одинична потужність світла.	Вт	64	32	$64/32=2$
Кількість	шт.	6	6	
Час роботи	год	2500	2000	500
Споживання е/е	кВт/год	907,0	345,6	$907-345,6=561$
Економія у фін. вираженні	грн. / рік			$561,6*15,579=3133,2$
<b>"Зона" В ( від датчика освітленості та датчика присутності )</b>				
Тип ламп		ЛЛ	СД	
Одинична потужність	Вт	64	32	$64/32=2$
Кількість	шт.	3	3	
Час роботи	год	2500	2000	500
Споживання е/е	кВт/год	453,6	172,8	$453,6-172,8=280,8$
Економія у фін. вираженні	грн./рік			$280,8*5,579=1566,6$
<b>"Зона" С ( від датчика освітленості та датчика присутності )</b>				
Тип ламп		ЛЛ	СД	
Одинична потужність	Вт	64	32	$64/32=2$
Кількість	шт.	3	3	
Час роботи	год	2500	2000	500
Споживання е/е	кВт/рік	453,6	172,8	$453,6-172,8=280,8$
Разом економія е/е	кВт/рік			$=561,6+280,8+280,8=1123,2$
<b>Разом у фін. Вираженні [В]</b>	грн. / рік			$=3133,2+1566,6+1566,6=6266,3$

Окупність	місяців (років)		55000/6266.3=8,7	
-----------	--------------------	--	------------------	--

Після реконструкції:

$$W_{\text{річ.пр}} = 0,384 * 2500 * 0,9 = 950,4 \text{ кВт} * \text{год} / \text{рік}$$

У випадку, якщо наявну систему освітлення розбивають на зони, у яких режим відрізняється один від одного завдяки різним датчикам управління ІСУО (датчики освітленості, датчики присутності), то розрахунок річного споживання електричної енергії системи освітлення після реконструкції визначають:

$$W_{\text{річ.пр}} = 0,192 * 2000 * 0,9 + 0,096 * 2000 * 0,9 + \\ + 0,096 * 2000 * 0,9 = 691,2 \text{ кВт} * \text{год} / \text{рік}.$$

Річна економія електроенергії становитиме після реконструкції з використанням ІСУО та встановленням ФКП:

$$\Delta W = W_{\text{річ.др}} - W_{\text{річ.пр}} \quad (3.5)$$

$$\Delta W = 1814,4 - 691,2 = 1123,2 \text{ кВт} * \text{год} / \text{рік},$$

Річна економія у фінансовому вираженні визначається:

$$B = \Delta W C_{\text{гр}} / \text{рік}, \quad (3.6)$$

де  $C$  - вартість електроенергії.

Простий термін окупності становитиме 8,7 років, що досить суттєво. Тому для досягнення фактичної окупності відповідно до розрахункового значення необхідна нормальна робота СД світильників, яку буде забезпечено завдяки встановленню ФКП.

Таким чином, використання систем інтелектуального управління освітлення може істотно знизити витрати на електроенергію за рахунок:

- впровадження системи з датчиками освітленості та присутності, що дає до 60 % економії [4].
- роздільне керування окремими світильниками або групами світильників за "зонами".
- встановлення ФКП знизить вплив СД світильників на якість електричної енергії та забезпечить нормальну роботу СД світильників на всьому терміні їх

експлуатації.

### **3.3 Висновки до розділу**

У третьому розділі детально розглянуто перспективні системи керування освітленням на базі світлодіодних світильників.

Обрано інтелектуальну систему керування освітленням в офісній будівлі.

Обрано параметри ФКП компенсації впливу СД світильників на показники якості електричної енергії. Проведено техніко-економічне обґрунтування обраної системи ІСУО СД світильників зі встановленням ФКП.

Визначено, що простий термін окупності ІУСО системи з СД світильниками становить близько 8,7 років, що суттєво. Тому необхідне обов'язкове встановлення ФКП для забезпечення нормальної роботи СД світильників, що забезпечить досягнення економічних розрахункових показників.

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання та 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 [13, с. 76].

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 вводів 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

потріскування 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 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;
- за кільцювання 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 газу, 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

У кваліфікаційній роботі детально розглянуто конструкцію світлодіодної лампи та світлодіодних світильників. Розглянуто конструктивні рішення світлодіодної лампи для створення білого світлового потоку, а також застосовувані джерела живлення.

Наочно розглянуто питання впливу конструктивних особливостей джерела живлення СД світильників на спотворення напруги і струму в мережі живлення, а збільшення кількості СД світильників суттєво впливає на несинусоїдальність струму.

За результатами проведеного інструментального дослідження впливу кількості світлодіодних світильників на якість електричної енергії встановлено, що в разі збільшення кількості встановлюваних СД світильників значення напруги третьої та п'ятої гармонік зменшуються, а значення струму третьої та п'ятої гармонік незначно, але збільшуються, що негативно позначається на якості електроенергії, особливо для протяжних освітлювальних мереж.

Детально розглянуто заходи щодо зниження впливу СД світильників на якість електричної енергії, на підставі проведеного аналізу визначено, що найперспективнішими є ФКП, за рахунок своєї простоти і можливості широкого використання.

У результаті обрано інтелектуальну систему керування освітленням на об'єкті дослідження. Обрано параметри ФКП компенсації впливу СД світильників на показники якості електричної енергії. Проведено техніко-економічне обґрунтування обраної системи ІСУО СД світильників зі встановленням ФКП.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Padhan S. K., Nahak C. Journal of Control Science and Engineering // Hindawi Publishing Corporation. Egypt, 2016. PP. 45-61.
2. Telkomnika Wang Y., Wang Yong, Li Shun-chu. Indonesian Journal of Electrical Engineering [// Institute of Advanced Engineering and Science. Indonesia, 2016. PP. 24-35.
3. Research provides insight into unexplained line outages // INMR. 2011. Vol. 19. № 4. P. 78-86.
4. Fujita H., Yamasaki T., Akagi H. A hybrid active filter for damping of harmonic resonance in industrial systems // IEEE transactions on power electronics. 2002. vol. 15. №2. 3.215-222.
5. Le Roux A.D., Mouton Hd.T., Akagi H. Digital control of an integrated series active filter and diode rectifier with voltage regulation // IEEE Transactions on industry applications. 2013. vol.39. №6. P.1814-1820.
6. 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>.
7. M. Tahan and T. Hu, "Multiple string LED driver with flexible and highperformance PWM dimming control," IEEE Trans. Power Electron., vol. 32, no. 12, pp. 9293-9306, Dec. 2017
8. 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>.
9. J. J. Chen, B. H. Huang, C. M. Kung, W. Y. Tai and Y. S. Hwang, "A new single-inductor quadratic buck converter using average-current-mode control without slope-compensation", ICIEA, pp. 1082 - 1087, Jun., 2010.

10. J. A. M. Saldana, R. L. Palomo, E. P. Hernandez, “Parameters selection criteria of proportional–integral controller for a quadratic buck converter”, IET Power Electronics, Vol. 7, No. 6, pp. 1527 - 1535, 2014.

11. 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.

12. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший ( бакалаврський ) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіджний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.