

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

Кафедра електронних приладів та пристроїв

«На правах рукопису» УДК 535.2, 535.8

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

Л.Д. Писаренко  
2018 р.

“ ”

**Магістерська дисертація**  
зі спеціальності 171 –Електроніка  
Спеціалізація «Електронні прилади та пристрої»

на тему: «Світлодіодні освітлювальні панелі»

**Виконав:**

Студент 2 курсу, гр. ДЕЗ-71мп Дем'яненко Святослав Ігорович

**Науковий керівник:**

Професор, доктор технічних наук Кузьмичев Анатолій Іванович

**Консультант:**

\_\_\_\_\_  
Доцент, канд. техн. наук., с.н.с.

**Чадюк В.О.**

**Рецензент:**

\_\_\_\_\_  
Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2018

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Електроніки

Кафедра Електронні прилади та пристрої

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) – **171 – Електроніка (Електронні прилади та пристрої)**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

Л.Д. Писаренко

«    »

2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Дем'яненка Святослава Ігоровича**

**1. Тема дисертації «Світлодіодні освітлювальні панелі»** науковий керівник дисертації Кузмічов Анатолій Іванович, професор д.т.н. затвержені наказом по університету від «07» 11 2018 р. № 4115-с.

**2. Строк подання студентом дисертації:** «    » 2018 р.

**2. Об'єкт дослідження:** системи освітлення для офісних приміщень.

**3. Предмет дослідження:** аналітичний огляд існуючих освітлювальних приладів, принципів побудови та функціонування , розробка алгоритмів та вибір елементної бази для реалізації принципової схеми світлодіодної панелі.

Розроблений перетворювач повинен відповідати наступним вимогам: синхронізація частоти здійснюється на вході для отримання сигналу та на виході відповідно до характеристик монітора.

**4. Перелік завдань, які потрібно виконати:** огляд науково-технічної літератури по реалізації перетворення та покращення зображення, цифрова обробка зображень; розробка алгоритму функціонування пристрою; розробка структурної, функціональної та принципової схеми та друкованої плати приладу;

**5. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:**  
структурна схема системи живлення, електрична принципова схема.

**6. Дата видачі завдання:** 01.02.2018 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд науково-технічної літератури по автоматизованих системах вентиляції	10.02. 2018	
2.	Розробка алгоритму функціонування, функціональної схеми та вибір компонентів	28.02.2018	
3.	Розробка структурної системи керування вентиляційною камерою; розробка електричної принципової схеми та друкованої плати	15.03.2018	
4.	Оформлення пояснювальної записки та плакатів. Підготовка доповіді.	05.10.2018	

Студент гр. ДЕ-71мп

С.І Дем'яненко

Науковий керівник дисертації

А.І. Кузьмичев

## **РЕФЕРАТ**

**Світлодіодна освітлювальна панель /** Магістерська дисертація зі спеціальності **171– Електроніка** спеціалізації **«Електронні прилади та пристрої»**. Дем'яненко Святослав ігорович. НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Факультет електроніки, кафедра електронних приладів та пристроїв. Група ДЕ-71мп: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. – 79 с., 42 іл., табл.14.

### **Мета магістерської дисертації**

Мета магістерської дисертації полягає у дослідженні можливості реалізації більш енергоефективних освітлювальних приладів, робота якої полягає у вдосконаленні елемента живлення.

### **Задачі магістерської дисертації:**

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі основні завдання:

- 6.** Аналіз і класифікація існуючих рішень з систем освітлення.
- 7.** Вивчення сучасних методів та алгоритмів виготовлення елементів живлення для світлодіодних панелей.
- 8.** Визначення необхідних оптимальних освітленості офісних приміщень.
- 9.** Розробка структурної та функціональної схем елемента живлення.
- 10.** Оцінка перспективності представленого пристрою за допомогою підготування стартап пропозиції.

**Об'єктом дослідження** є схеми живлення для світлодіодних освітлювальних приладів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у створенні системи в якій можливе як автоматизоване так і ручне керування параметрами повітря, а також передача даних про стан мікроклімату складського приміщення через мережу інтернет.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Розроблена в даній роботі система та алгоритми її роботи знайдуть застосування в складських приміщеннях для вимушеного автоматизованого керування параметрами мікроклімату в цілях оптимізації процесу зберігання плодоовочевої продукції.

**Короткий зміст роботи:** Завданням дисертації є розробка більш енерго ефективних видів освітлення.

В роботі здійснено аналітичний огляд існуючих систем освітлення, розглянуто принципи побудови та функціонування систем живлення для світлодіодних ламп, розроблено алгоритм роботи та здійснено вибір елементної бази для реалізації зниження енергозбереження освітлювальних приладів.

## **A B S T R A C T**

**Automated ventilation control system** / Master's dissertation in specialty **171- Electronics** specialization "**Electronic devices**". **Kleban Yaroslav Volodymyrovych**. NTUU "KPI named after Igor Sikorsky". Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Devices. DE-71mp group: NTUU "KPI named after Igor Sikorsky", 2018. - 79 pages., 42 illustrations, 14 tables.

### **The purpose of the master's dissertation**

The purpose of the master's dissertation is to study the possibility of implementing an automated control system for microclimate parameters, whose work is to track the current state of the warehouse in terms of its microclimatic parameters, the choice of the required mode of operation, as well as the management of microclimatic indicators in real time.

### **Tasks of the master's dissertation:**

To achieve this goal the following main tasks are solved:

**11.** Analysis and classification of existing solutions for automated ventilation systems.

**12.** Study of modern methods and algorithms for control of ventilation chambers in warehouses.

**13.** Determination of the necessary optimal storage conditions for major varieties of agricultural produce.

**14.** Development of structural and functional schemes of the ventilation control device.

**15.** Development of the algorithm of the device and the electric principle circuit based on the structural and functional schemes of the device.

**16.** Estimation of the perspective of the presented device with the help of preparation of the startup of the proposal.

**The object of research** is the principles of providing control of the basic parameters of air (temperature, humidity, saturation level of CO<sub>2</sub>) with the help of automated control systems.

**The subject of research** is an automated ventilation control system in warehouses.

**The scientific novelty** of the results obtained is to create a system in which both automated and manual control of air parameters is possible, as well as the transfer of data on the state of the microclimate of the warehouse through the Internet.

**The practical importance of the results**

The system and algorithms of its work, developed in this work, will be used in warehouses for the forced automated control of microclimate parameters in order to optimize the process of storing fruit and vegetable products.

**Results approbation**

V International Conference "Informatics, Management and Artificial Intelligence (IUI-2018)", Kharkiv, 2018

Вступ.....	8
1. Теоретичний розділ .....	10
1.1. Обґрунтування актуальності завдання і необхідності її розв’язання .....	10
1.2. Загальні відомості про світлодіоди.....	12
1.3. Особливості світлодіодних ламп з випромінювачами стрічкової структури .....	17
1.4. Огляд схем джерел живлення для світлодіодних пристроїв .....	20
2. Розробка джерела живлення.....	25
2.1. Розробка структурної схеми.....	25
2.1.1. Розробка випрямляча електричної енергії .....	26
2.1.2. Розробка фільтра .....	27
2.1.3. Розробка стабілізатора струму .....	28
2.2. Розробка принципіальної схеми драйвера .....	31
2.2.1. Визначення параметрів джерела живлення .....	31
2.2.2. Розрахунок випрямляча .....	31
2.2.3. Розрахунок фільтра .....	32
2.2.4. Розрахунок стабілізатора струму .....	32
3. Експериментальний дослід.....	34
4. Розробка стартап проекту .....	36



## Вступ

Проблема високого енергоспоживання стає все більш актуальною. Тільки на освітлення йде близько 30-35% усієї вироблюваної електроенергії, а в масштабах великих міст ця величина в півтора-два рази більше. [1]

Світлодіодне освітлення - одне з перспективних напрямків технологій штучного освітлення, засноване на використанні світлодіодів в якості джерела світла.

Протягом останніх десятиліть технічний прогрес в області розробки і виготовлення світлодіодів йде з великою швидкістю. [2] Сучасні світлодіоди відрізняються мініатюрністю, міцністю, надійністю, хорошими оптичними характеристиками і високим квантовим виходом випромінювання. На відміну від багатьох інших джерел світла світлодіоди можуть перетворювати електричну енергію в світлову з коефіцієнтом корисної дії близьким до одиниці.

Перехід на більш економічні світлодіодні світильники дозволяє знизити енергоспоживання в 10 разів, у порівнянні з лампами розжарювання, і в 2 рази в порівнянні з люмінесцентними лампами.

Прогрес у розвитку світлодіодів знаходиться в самому розквіті. Безперервне вдосконалення технології сприяє цьому. Тому очікується, що роль світлодіодів буде тільки зростати і в майбутньому вони стануть основними джерелами світла.

Тим не менш, у даний час одним з найбільш поширених джерел світла як і раніше залишається класична лампа розжарювання.

Об'єднати переваги класичних ламп розжарювання і світлодіодних випромінювачів дозволяють джерела світла, виконані за технологією Filament LED.

За зовнішнім виглядом і характеристиками випромінювання вони настільки близькі до класичних електроламп, що їх з повним правом можна назвати світлодіодними лампами розжарювання. [3] Найголовніша відмінність освітлювальних пристроїв LED Filament від класичних світлодіодних ламп - це діаграма світлового потоку, практично повністю аналогічна діаграмі лампи розжарювання. Тобто світлодіодні випромінювачі світять практично рівномірно на всі боки, так само як і звичайні. При цьому ефективність освітлювальних пристроїв LED Filament трохи вище, а коефіцієнт пульсацій становить менше 0,5% - тобто приблизно дорівнює нулю.

Для нормального функціонування такого джерела світла, його необхідно забезпечити стабілізатором струму, який відповідає необхідним параметрам і вимогам. Стабілізатор підтримує значення заданого струму через світлодіод незалежно від величини вхідної

напруги і багато в чому визначає функціональні, світлотехнічні показники і надійність освітлювального пристрою в цілому.

Темою даного проекту є розробка джерела живлення для світлодіодної лампи з випромінювачами стрічкової структури.

Для проектування джерела живлення необхідно досліджувати процеси в силовому перетворювачі, а також провести дослідження і пошук по вже існуючих джерел живлення.

## **1. Теоретичний розділ**

### **1.1. Обґрунтування актуальності завдання і необхідності її розв'язання**

Останні досягнення в області світлодіодної технології зробили освітлювальні прилади на світлодіодах життєздатним, привабливим і кращим рішенням для повсякденного освітлення в різних сферах діяльності людини. [4]

Енергоефективність світлових приладів з білими світлодіодами порівнюється, а в деяких випадках навіть перевершує енергоефективність компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ). За світловим потоком і якості світла світлодіоди також не поступаються багатьом традиційним джерелам світла. Високі показники енергоефективності, світлового потоку і якості світла роблять світлодіодні освітлювальні прилади вельми привабливими для користувачів.

Правильно сконструйовані світлодіодні пристрої освітлення забезпечують високу однорідність освітлення, а також зберігають високий світловий потік протягом не менше 50000 годин роботи, що дає їм серйозну перевагу у випадках, коли заміна ламп або освітлювальної арматури утруднена або неможлива.

Світлодіодні системи освітлення є рентабельним рішенням, оскільки вкладення окупаються. Спочатку витрати на світлодіодне освітлення можуть перевищувати витрати на традиційні системи, однак скорочення загальної кількості робіт і витрат на обслуговування, електроенергію і заміну освітлювальних приладів знижує загальну вартість володіння. Період окупності світлодіодних систем освітлення зазвичай не перевищує трьох років, а в деяких випадках може дорівнювати одному році. З плином часу перші і сукупні витрати на світлодіодні системи будуть тільки знижуватися.

Збільшується кількість законів, ініціатив і стандартів, спрямованих на підвищення енергоефективності та зниження шкідливого впливу систем освітлення на навколишнє середовище, стимулюють використання світлодіодів як при установці нових, так і при модернізації існуючих систем освітлення.

Використання світлодіодів в якості альтернативи традиційним джерелам світла обумовлено рядом переваг світлодіодних систем:

- Світлодіоди володіють більшою енергоефективністю, ніж лампи розжарювання і галогенні лампи, і порівнянної з компактними люмінесцентними лампами.
- Світлодіодні джерела світла випромінюють направлене світло тільки в потрібному напрямку, що дозволяє краще управляти світлом і застосовувати більш ефективну оптику.
- Якість світла, отриманого за допомогою білих світлодіодів можна порівняти з люмінесцентними лампами. Світлодіоди дозволяють забезпечити сталість кольору і колірну температуру.
- Світлодіоди відрізняються значно більшою, в порівнянні з іншими джерелами світла, терміном служби, що дозволяє зменшити витрати на заміну і обслуговування. Наприклад, галогенні лампи підлягають заміні до 20 разів частіше світлодіодних.
- Можливість використання світлодіодів після значного зменшення світлового потоку.
- З моменту появи світлодіодів щорічно ефективність за параметрами світлового потоку збільшується на 35%, а вартість знижується в середньому на 20%. Тобто, відбувається подвоєння загальної ефективності світлодіодів кожні 1,5 ... 2 роки.
- Світлодіоди не випромінюють інфрачервоного випромінювання, що дозволяє розміщувати їх там, де вимоги безпеки не допускають установку інших систем освітлення.
- Світлодіоди, на відміну від люмінесцентних ламп, не випромінюють ультрафіолетових променів, що негативно впливають на фарби, що робить можливим їх установку в музеях, вітринах магазинів, художніх галереях.
- Світлодіоди виділяють тепло, але випромінюється світло є холодним, що при правильному тепловідводі дозволяє захистити користувачів від зайвого теплового впливу.
- Світлодіодні пристрої освітлення працездатні при низьких температурах і впливі вібрацій. Це важливо там, де не можна використовувати і проводити обслуговування ламп іншого типу.
- LRGB-світильники і прилади з налаштованим білим світлом мають різні колірні температури і відтворюють величезну кількість кольорів без застосування світлофільтрів.
- Досягти найбільшої ефективності і гнучкості дозволяє використання цифрових контролерів, які здійснюють управління світлодіодними системами.
- Пристрої освітлення, виконані на основі світлодіодів, є безінерційні, тобто вони не вимагають часу для прогріву і відключення, отже не надається шкідливий вплив циклічної подачі живлення.
- Світлодіоди, на відміну, наприклад, від люмінесцентних ламп, не містять ртуть і не вимагають спеціальних умов утилізації, вони екологічно безпечні.
- Багато світлодіодних освітлювальних приладів не тільки відповідають вимогам стандартів з енергоефективності та екологічності, а й часто перевершують їх. В даний час

проходить розробка стандартів проведення випробувань та вимірювання параметрів, які забезпечать базу для порівняння характеристик різних світлодіодних освітлювальних приладів як між собою, так і з традиційними джерелами світла.

Для того щоб світлодіодне освітлення увійшло до переліку традиційних джерел світла потрібно вирішити ряд завдань, таких як: вибір світлодіодів, вибір конструкції світильника, оптичної системи, вибір або розробка джерела живлення (драйвера).

## 1.2. Загальні відомості про світлодіоди

Світлодіод (скорочено СІД - світловипромінювальних діод, в англійському варіанті LED - light emitting diods) - твердотільний напівпровідниковий прилад, який є джерелом світла. Має електронно-дірковий р-n перехід або контакт метал-напівпровідник, який, при протіканні через нього електричного струму, генерує оптичне (видиме, УФ, ІЧ) випромінювання. [5]

Світлодіод є напівпровідниковий р-n-перехід (електронно-дірковий перехід). В процесі легування, матеріал n-типу збагачується негативними носіями заряду, а матеріал р-типу - позитивними носіями заряду. Атоми в матеріалі n-типу набувають додаткові електрони, а атоми в матеріалі р-типу набувають дірки - місця на зовнішніх електронних орбітах атомів, в яких відсутні електрони. [4]

При додатку до діода електричного поля електрони і дірки в матеріалах р- і n-типу спрямовуються до р-n-переходу. Коли носії заряду підходять до р-n-переходу, електрони інjektуються в матеріал р-типу. При подачі негативної напруги з боку матеріалу n-типу через діод протікає електричний струм в напрямку від матеріалу n-типу в матеріал р-типу. Це називається прямим зміщенням.

Коли надлишкові електрони переходять з матеріалу n-типу в матеріал р-типу і рекомбінують з дірками, відбувається виділення енергії у вигляді фотонів, елементарних частинок (квантів) електромагнітного випромінювання. Всі діоди випускають фотони, але не всі діоди випускають видиме світло. Матеріал, з якого виготовляється світлодіод, вибирається таким чином, щоб довжина хвилі випромінюючих фотонів перебувала в межах видимої області спектра випромінювання. Різні матеріали випускають фотони з різними довжинами хвиль, що відповідає різним кольорам випромінюючого світла.

Пучок видимого світла, що випускається світлодіодом, є холодним, але так як в світлодіодах є втрати, то на р-n-переході генерується тепло, іноді досить велике, тому обмеження температури р-n-переходу за допомогою правильно сконструйованого тепловідведення та інших методів контролю температури є дуже важливим для забезпечення

нормальної роботи світлодіода, оптимізації його світлового потоку і підвищення терміну служби.

#### *Типи світлодіодів.*

Світлодіоди діляться на дві групи: індикаторні та освітлювальні.

Індикаторні світлодіоди, як правило, недорогі джерела світла малої потужності, які використовуються в якості світлових індикаторів в різних приладах, а також для підсвічування дисплеїв, приладових панелей.

Освітлювальні світлодіоди, в свою чергу, поділяються на світлодіоди поверхневого монтажу (SMD), високої яскравості (НВ) і високої потужності (НР) - це більш потужні пристрої, що забезпечують необхідний рівень освітленості і світлового потоку.

На рис. 1 представлені базові конструктивні елементи освітлювальних світлодіодів.

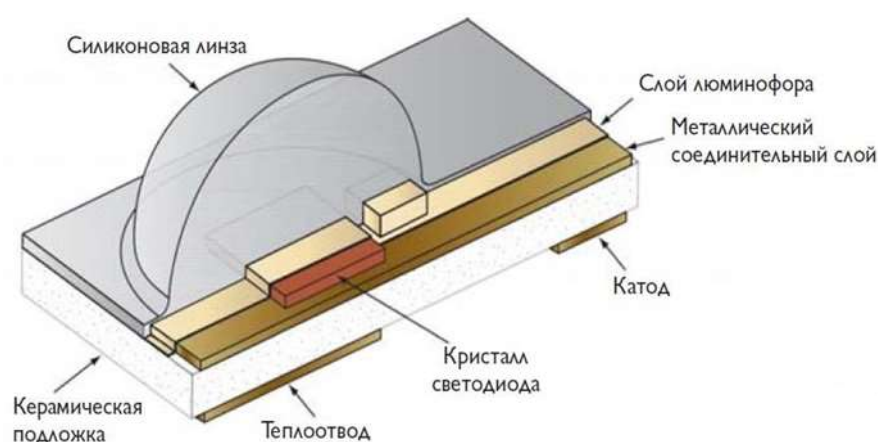


Рис. 1. Конструкція освітлювального світлодіода

Основними елементами є напівпровідниковий чіп (або кристал), підкладка, на яку він встановлюється, контакти для електричного підключення, з'єднувальні провідники для під'єднання контактів до кристалу, тепловідвід, лінза і корпус.

Для забезпечення відводу зайвого тепла, корпус освітлювальних світлодіодів безпосередньо припаюється до поверхні. Хороший тепловідвід необхідний для нормального температурного режиму і роботи світлодіода.

#### *Отримання білого світла за допомогою світлодіодів.*

Існує два способи отримання білого світла за допомогою світлодіодів:

- Згідно колірної моделі RGB (Red, Green, Blue), білий колір виходить за допомогою пропорційного змішування червоного, зеленого і синього кольорів. При використанні методу RGB біле світло виходить при об'єднанні випромінювання червоного, зеленого і синього світлодіодів.

- Люмінофорна технологія отримання білого світла передбачає використання одного світлодіода короткохвильового випромінювання, наприклад, синього або ультрафіолетового,

в комбінації з жовтим люмінофорним покриттям. Фотони синього або ультрафіолетового випромінювання, що генеруються світлодіодом, або проходять через шар люмінофора без зміни, або перетворюються в ньому на фотони жовтого світла. Комбінація фотонів синього і жовтого кольору створює біле світло.

Метод RGB дає можливість створювати біле світло точного відтінку, який має здатність підкреслювати освітлювані кольори. Однак для створення білого кольору RGB потрібно порівняно складне обладнання, так як в одному джерелі необхідно використовувати відразу три світлодіоди. При цьому отримуване світло неприродно передає пастельні тони, що є основним наслідком низького індексу передачі кольору білого світла, отриманого за допомогою даного методу.

Білі люмінофорні світлодіоди забезпечують кращу передачу кольору, ніж білі RGB-світлодіоди, в більшості випадків в порівнянні з люмінесцентними джерелами світла. Від білих RGB-джерел світла вони також відрізняються високою енергоефективністю. Саме висока енергоефективність і хороша передача кольору роблять люмінофорні технології кращим способом отримання білого світла.

#### *Вольт - амперна характеристика світлодіода.*

Роботу світлодіода наочно описує вольт - амперна характеристика (ВАХ), тобто залежність струму що проходить через діод від прикладеної до нього напруги (рисунок 2). При прикладенні зворотної (замикаючої) напруги будь-який діод струм не проводить. На відміну від випрямних діодів, світлодіоди не допускають великих значень зворотних напруг.

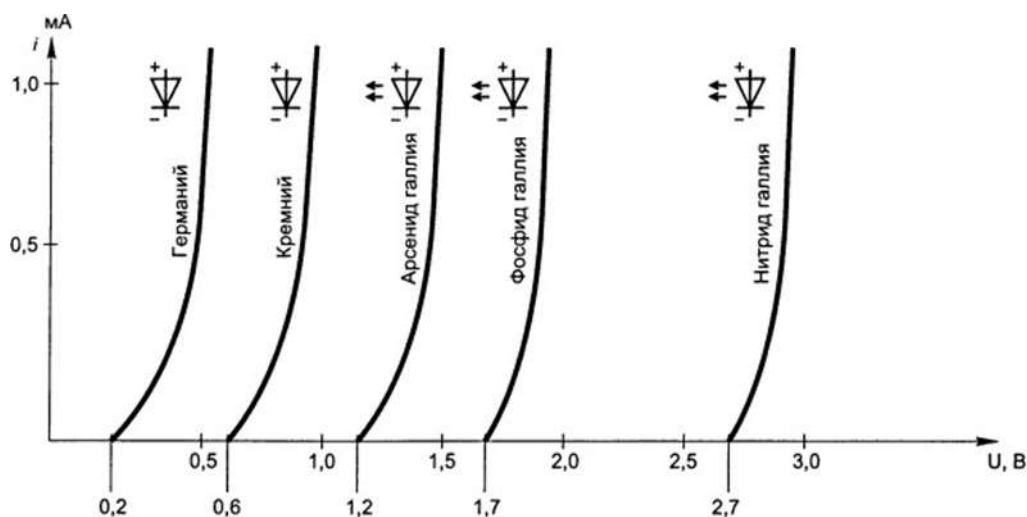


Рис. 2. ВАХ світлодіода

Пряма гілка ВАХ світлодіодів відрізняється від ВАХ звичайних діодів тільки значенням напруги відкриття і падінням напруги в відкритому стані. Якщо германієві діоди відкриваються при напрузі від 0,1 до 0,2 В, кремнієві - від 0,6 до 0,7 В, то напруга відкриття світлодіодів лежить в діапазоні від 1,2 до 2,9 В. Після відкриття напруга на

світлодіодах трохи росте зі збільшенням струму, стабілізуючись на визначеному рівні вже при струмі порядку 1мА. Це означає, що світлодіод в практичних схемах може працювати тільки як струмовий прилад. З рис. 2 добре видно, що різниця між напругою запалювання світлодіода і неконтрольованим збільшенням струму через нього становить лише 0,3 В.

#### Схеми включення світлодіодів.

Так як у світлодіодів вольт - амперна характеристика є не лінійною (рис. 2) то, при досягненні певного значення напруги, струм через світлодіод різко зростає, в зв'язку з чим необхідно обмежити струм до певного значення. Простим способом обмежити струм є баластний резистор.

Включення світлодіодів в схемі буває паралельним, послідовним і змішаним. [5]

При послідовному включенні (рис. 3), протікаючим через світлодіоди струм  $I$  буде дорівнювати:

$$I = \frac{U_{жив} - (U_{VD1} + U_{VD2} + U_{VD3})}{R},$$

де:  $U_{жив}$  – напруга живлення, В;

$U_{VD1}, U_{VD2}, U_{VD3}$  – значення напруги на світлодіодах, В;

$R$  – баластний резистор, Ом.

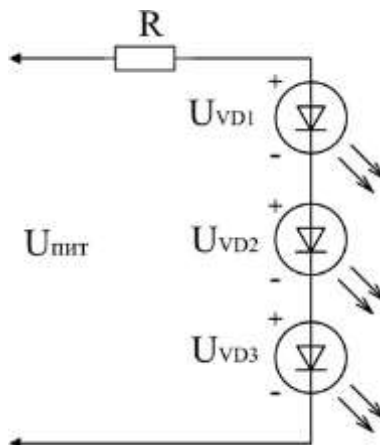


Рис. 3 Варіант з послідовним підключенням світлодіодів

Послідовне включення світлодіодів дозволяє збільшити потужність випромінювання. До недоліків відноситься збільшення напруги живлення зі збільшенням числа світлодіодів, так як необхідно дотримуватися умова:  $U_{жив} > U_{VD1} + U_{VD2} + U_{VD3}$ .

Також недоліком є низька надійність системи, оскільки в разі, якщо один з світлодіодів виходить з ладу, перестають працювати всі інші.

У схемі з паралельним включенням світлодіодів (рис. 4) струм задається окремим баластним резистором. Сумарний струм, споживаний з джерела живлення дорівнює:

$$I = \frac{U_{\text{жив}} - U_{VD1}}{R_1} + \frac{U_{\text{жив}} - U_{VD2}}{R_2} + \frac{U_{\text{жив}} - U_{VD3}}{R_3}.$$

Перевагою паралельного включення є висока надійність, тобто, поломка одного з випромінювачів не позначається на працездатності освітлювального пристрою в цілому. Недоліками даної схеми включення є підвищене енергоспоживання і збільшення втрат на баластних резисторах.

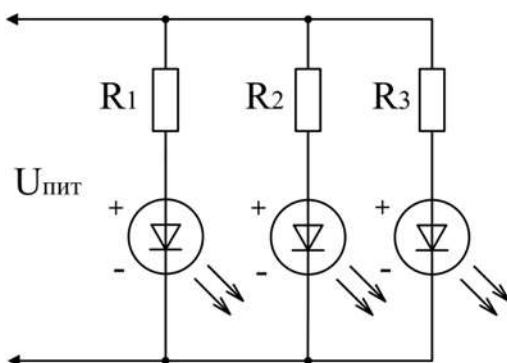


Рис. 4 Варіант з паралельним підключенням світлодіодів

Найбільш ефективно є змішане послідовно - паралельне включення (рис. 5). У цьому випадку число послідовних випромінювачів обмежено живлячою напругою, а кількість паралельних з'єднань приймається виходячи із заданої потужності.

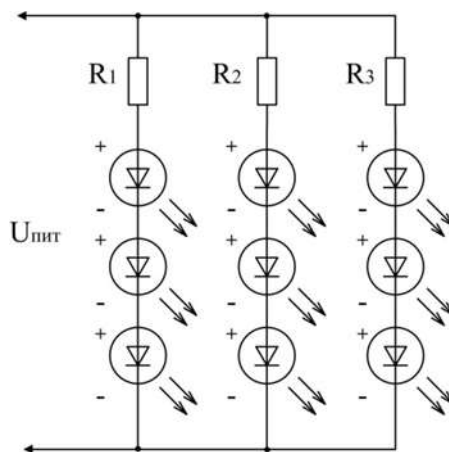


Рис. 5. Варіант зі змішаним підключенням світлодіодів

$$I = \frac{U_{\text{жив}} - n \cdot U_{VD}}{R},$$

Змішання з'єднання включає в себе всі позитивні властивості варіантів послідовного і паралельного з'єднання, і тому буде вибрано як пріоритетне.



### 1.3. Особливості світлодіодних ламп з випромінювачами стрічкової структури

У багатьох моделях світильників нитка розжарення лампи є важливим елементом дизайну. Тому замінити лампу розжарювання в них до недавнього часу було нічим. Створити компактну люмінесцентну лампу (КЛЛ), яка за формою світлового тіла точно відповідала б лампі розжарювання, фізично неможливо. Світлодіоди є мініатюрними джерелами світла, що відкрило перспективи вирішення даної проблеми. Наприклад, були створені лампи, в яких світлодіоди розташовувалися на вузькій лінійці всередині колби, лінійка, в свою чергу, з'єднувалася з тепловідводом поза колби. Недоліками такої конструкції були обмеження по потужності (світлодіодна лампа по світловому потоку еквівалентна лампі розжарювання потужністю не більше 25 Вт), а також висока вартість. До того ж повної відповідності дизайну лампі розжарювання досягти так і не вдалося. [6]

У 2008 р японською компанією Ushio були створені перші світлодіодні лампи, які зовні не відрізняються від ламп розжарювання. Новинка отримала назву Filament LED Bulb від англійського слова Filament, в перекладі означає «нитка розжарення». У російській мові спочатку з'явився термін «світлодіодні лампи розжарювання», однак, він не прижився, так як об'єднував в собі суперечливі один одному поняття. В даний час сформувався термін «філаментні світлодіодні лампи» (ФСЛ).

У 2013 р кілька китайських компаній одночасно представили потужні ФСЛ для загального освітлення, еквівалентні по світловому потоку лампам розжарювання потужністю до 60 Вт.

Слід зазначити, що, хоча створення ФСЛ і диктувалося в першу чергу естетичними міркуваннями, розробка їх конструкції не зводилася тільки до розміщення світлодіодів таким чином, щоб вони імітували нитку розжарення. Довелося глибоко переосмислити безліч питань, пов'язаних з конструкцією світлодіодних джерел світла, в результаті чого вийшов принципово новий різновид ламп.

Модель філаментної лампи представлена на рис. 6.

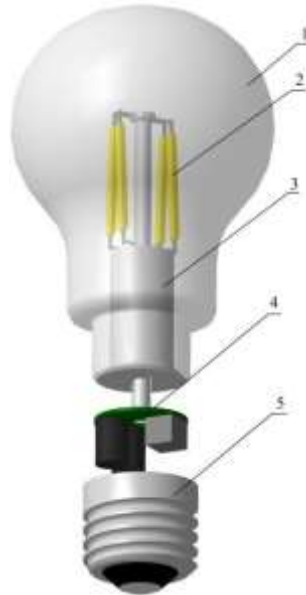


Рис. 6. Трьохвимірний модель джерела світла по технології Filament LED

Основними компонентами цієї лампи є: 1 - колба; 2 - випромінюючий елемент; 3 - опорна конструкція; 4 - пристрій живлення (драйвер); 5 - цоколь.

За зовнішнім виглядом і характеристиками випромінювання вони настільки близькі до класичних електроламп, що їх з повним правом можна назвати світлодіодними лампами розжарювання. [3] Найголовніша відмінність освітлювальних пристроїв LED Filament від класичних світлодіодних ламп - це діаграма світлового потоку, практично повністю аналогічна діаграмі лампи розжарювання. Тобто світлодіодні випромінювачі світять практично рівномірно на всі боки, так само як і звичайні. При цьому ефективність освітлювальних пристроїв LED Filament трохи вище, а робоча температура корпусу - приблизно на 10 градусів нижче. Коефіцієнт пульсацій у більшості ламп цього типу становить менше 0,5% - тобто приблизно дорівнює нулю. Використання різних варіантів люмінофорів в ниткоподібних світлодіодних випромінювачів дозволяє випускати пристрої освітлення з різною колірною температурою (відтінок білого світла за шкалою "теплий-холодний") - від 2700 К (тепле, стандартна лампочка розжарювання) до 6500 К (холодне, денне світло).

В основі ФСЛ лежить технологія Chip-on-Glass (COG), раніше вже успішно випробувана при створенні дисплеїв для мобільних пристроїв. Вона полягає в розміщенні надмініатюрних світлодіодів на підкладці зі штучного сапфіра або, як більш дешевий варіант, із спеціального сорту скла. Прозорість підкладки дозволяє створювати масиви світлодіодів, які світять в різні боки. [6]

На малюнку 7 представлена структура світлодіодного випромінювача.

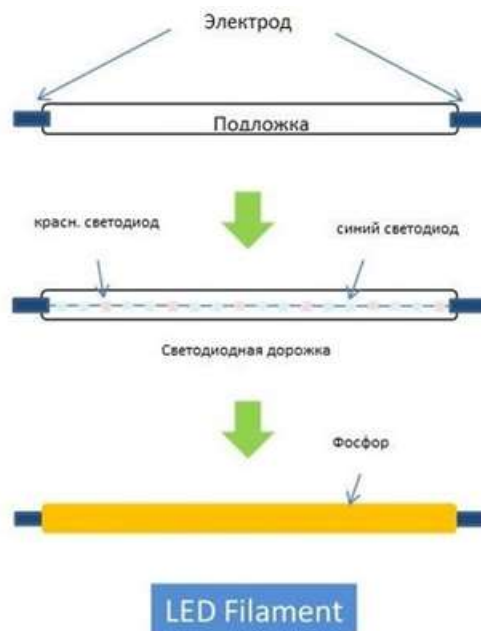


Рис. 7. Структура LED Filament

Типовий філамент - світлодіодний аналог відрізка нитки розжарювання - являє собою стрижень з штучного сапфіра або скла діаметром 1,5 мм і довжиною 30 мм. На ньому за допомогою технології COG розміщені 28 світлодіодів синього світіння, які з'єднані послідовно. У деяких моделях філамент може містити кілька світлодіодів червоного свічення для досягнення більш теплого відтінку свічення, при цьому загальне число світлодіодів в філаменті також рівно 28. Зверху це все покрито шаром люмінофора на силіконовій основі. Потужність одного філамента лежить в межах 0,8-1,3 Вт. Набираючи потрібну кількість філаментів в колбі, можна отримати світлодіодну лампу необхідної потужності. Відомі моделі ФСЛ, що містять до 16 філаментів.

Важливою перевагою філамента в порівнянні з традиційними світлодіодними матрицями є те, що для рівномірного розподілу світла в усі сторони не потрібно використовувати складну оптичну систему, що вносить великі втрати. Це забезпечує високий ККД лампи. Потужність, що підводиться до філаментів, в 1,5 рази вище, ніж до традиційної світлодіодним матриці, при рівному значенні світлового потоку.

Філаменти герметично запаєні в скляну колбу. Ця колба наповнена спеціальним газом, що володіє високою теплопровідністю. Саме через газ і здійснюється відведення тепла від світлодіодів. Скляна колба з тонкими стінками добре проводить тепло, тому вона і використовується в якості тепловідводу. За твердженням виробників ФСЛ, така система відводу тепла в ряді випадків виявляється навіть більш ефективною, ніж у світлодіодних ламп традиційної конструкції, температура р-п переходу не перевищує 60 ° С. При виготовленні колб і наповненні їх газом використовуються вже добре відпрацьовані для ламп розжарювання процедури.

Великий інтерес до ФСЛ з боку як фахівців, так і звичайних споживачів пов'язаний з тим, що ці лампи мають цілий ряд незаперечних переваг:

- повна сумісність з кривою сили світла зі світильниками, які спочатку проектувалися під лампи розжарювання;
- висока світловіддача, обумовлена відсутністю оптичної системи для рівномірного розподілу світла в різні боки;
- можливість зниження собівартості виробництва за рахунок використання вже наявних потужностей з виробництва ламп розжарювання;

У той же час, ФСЛ властиві і деякі недоліки:

- мале місце під драйвер, внаслідок чого використовуються або драйвера спрощеної конструкції з високим коефіцієнтом пульсації, або драйвера з високим ступенем мініатюризації без пульсації, які коштують дуже дорого;
- у зв'язку з малим терміном експлуатації цього типу ламп, немає достовірної статистики про реальну надійності, є тільки теоретичні розрахунки;
- для ФСЛ принципово використання скляної колби, так що, на відміну від інших типів світлодіодних ламп, вони не являються небиткими.

#### 1.4. Огляд схем джерел живлення для світлодіодних пристроїв

На рис. 8 представлена загальна класифікація джерел живлення, що застосовуються в освітлювальних приладах. [5]



Рис. 8. Класифікація світлодіодних драйверів

У світлодіодних лампах, як правило, використовуються активні драйвери. Розглянемо більш докладно схеми з вищенаведеної класифікації.

*Активні джерела живлення.*

Активні драйвери за способом стабілізації діляться на дві великі групи: лінійні і імпульсні. Зважаючи на великі значень струмів в освітлювальних приладах лінійні стабілізатори не знайшли широкого застосування через низьку ефективність. Вони в основному застосовуються для живлення над яскравих світлодіодів, наприклад, в екранах, табло, для підсвічування різних пристроїв. В освітлювальних приладах застосовуються в основному імпульсні стабілізатори, використання яких дозволяє досягти ККД 95 ... 98% в широкому діапазоні вхідних / вихідних напруг.

#### *Лінійний стабілізатор.*

Лінійний стабілізатор (рис. 9) є дільником напруги постійного струму.

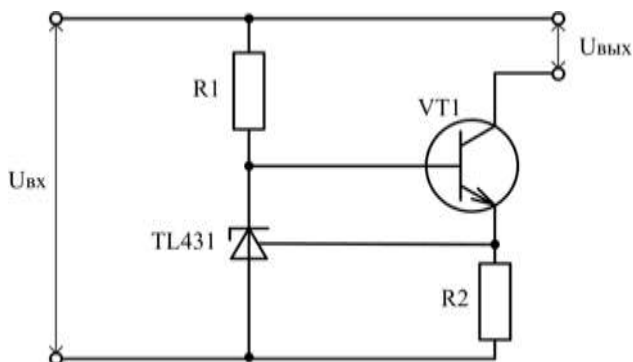


Рис. 9. Схема лінійного стабілізатора струму

Суть його роботи полягає в тому, що на вхід подається нестабільна напруга ( $U_{вх}$ ), а з нижнього контакту знімають фіксовану вихідну напругу ( $U_{вих}$ ). Принципово такого роду стабілізація здійснюється завдяки зміні опору одного з плечей дільника напруги, в ролі якого виступає біполярний транзистор (VT1). Ця система регулює опір в динамічному заданому діапазоні для стабілізації вихідної напруги.

При досить великому відношенні вхідної і вихідної напруги значно скорочується ККД стабілізатора напруги, так як енергія розсіюється у вигляді тепла на транзисторі стабілізатора. З цих причин в розглянутому пристрої особливу увагу необхідно приділити питанням охолодження, забезпечуючи тим самим безпечну і безперебійну роботу стабілізатора напруги, збільшуючи термін служби і запобігаючи регулюючий елемент стабілізатора від перегріву.

Головними перевагами лінійних стабілізаторів напруги є відсутність перешкод у вихідному сигналі і просте конструктивне виконання.

#### *Імпульсний стабілізатор.*

В імпульсному стабілізаторі напруги регулюючий елемент працює в ключовому режимі, тобто більшу частину часу він знаходиться або в режимі відсічення, коли його опір максимальний, або в режимі насичення - з мінімальним опором, а значить може розглядатися як ключ. Плавна зміна напруги відбувається завдяки наявності інтегруючого елемента:

напруга підвищується в міру накопичення їм енергії і знижується в міру віддачі її в навантаження. Такий режим роботи дозволяє значно знизити втрати енергії, а також поліпшити масові габаритні показники.

Прямоходові стабілізатори утворюють велике сімейство топологій імпульсних джерел енергії. На рис. 10 зображено понижуючий прямоходовий перетворювач. [1]

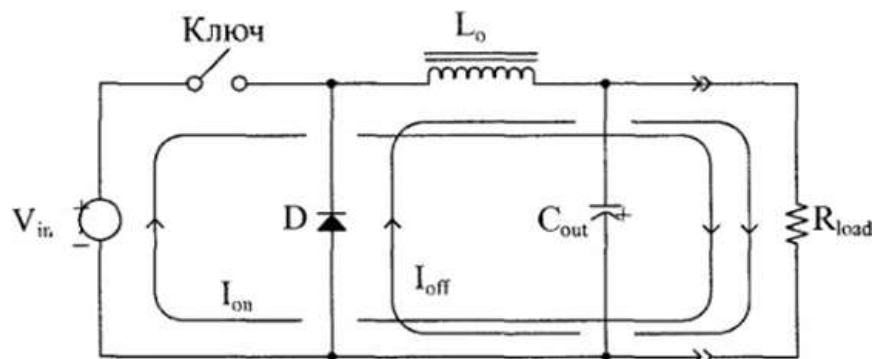


Рис. 10. Прямоходовий понижуючий перетворювач

Розглянемо більш докладно принцип роботи даної схеми. LC-фільтр зберігає енергію між силовими імпульсами драйвера. На вхід LC- фільтра подається зрізана вхідна напруга  $V_{in}$ . Фільтр виконує вольт-тимчасове усереднення коливань вхідної напруги, модульованим по робочому циклу. Вихідна напруга підтримується схемою управління шляхом зміни робочого циклу. Перетворювач є знижуючим, так як вихідна напруга повинна бути нижче вхідної. Діаграми роботи даного перетворювача наведені на рис. 11.

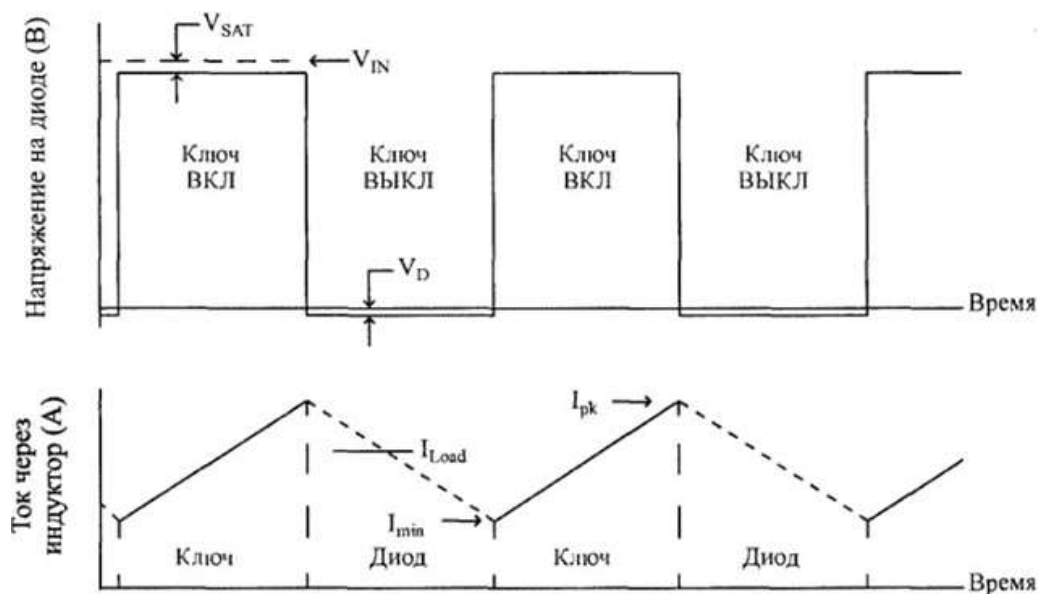


Рис. 11. Форма хвилі напруги і крива струму для прямоходового (понижуючого) перетворювача

Коли «ключ» замкнутий, вхідна напруга  $V_{in}$  подається на вхід LC- фільтра. Струм через котушку лінійно підвищується. Енергія запасється в котушці індуктивності і

зберігається магнітним потоком всередині матеріалу сердечника. Коли «ключ» розімкнутий, вихідна напруга прагне впасти нижче рівня землі, і діод D, званий обмежувачим діодом, стає прямозмещеним. Він продовжує проводити струм  $I_{off}$ , який перш протікав через «ключ», і частина збереженої енергії розряджається на навантаженні. Це формує локальну струмову петлю, що складається з діода, котушки індуктивності і навантаження. Коли «ключ» замикається, то діод закривається, і струм протікає через вхідне джерело живлення і «ключ».

Перевагами прямоходових перетворювачів є низькі значення розмаху напруги пульсації, а також забезпечення більш високі рівні вихідної потужності.

Іншим видом перетворювачів є підвищувальний перетворювач, схема якого наведена на рис. 12.

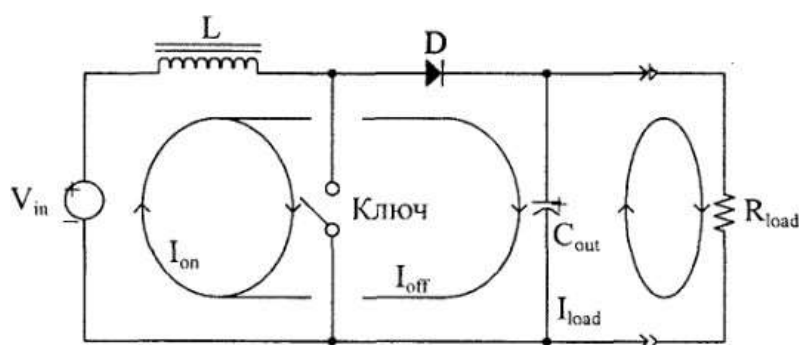


Рис. 12. Підвищувальний перетворювач

Коли «ключ» замкнутий, створюється струмова петля, що складається тільки з індуктора L, «ключа» і джерела вхідної напруги  $V_{in}$ . Протягом цього періоду діод D зворотно зміщений, а крива струму, що протікає через індуктор L, також має позитивний лінійний нахил. Енергія зберігається в магнітному потоці усередині матеріалу сердечника індуктора. Коли «ключ» розмикається, напруга на індукторі L повертається до рівня вхідної напруги  $V_{in}$ . Діод D відразу ж стає прямо зміщеним, коли напруга індуктора L перевищує вихідну напругу. Потім напруга котушки L фіксується на величині вихідної напруги. Цей рівень напруги, званий напругою зворотного ходу, дорівнює вихідній напрузі плюс одне падіння прямої напруги на діоді D. Коли магнітний потік сердечника повністю зникає до настання наступного циклу, то такий режим роботи називається переривчастим. Якщо ж енергія спустошується в повному обсязі, то режим називається безперервним. На малюнку 13 зображені діаграми роботи підвищувального перетворювача.

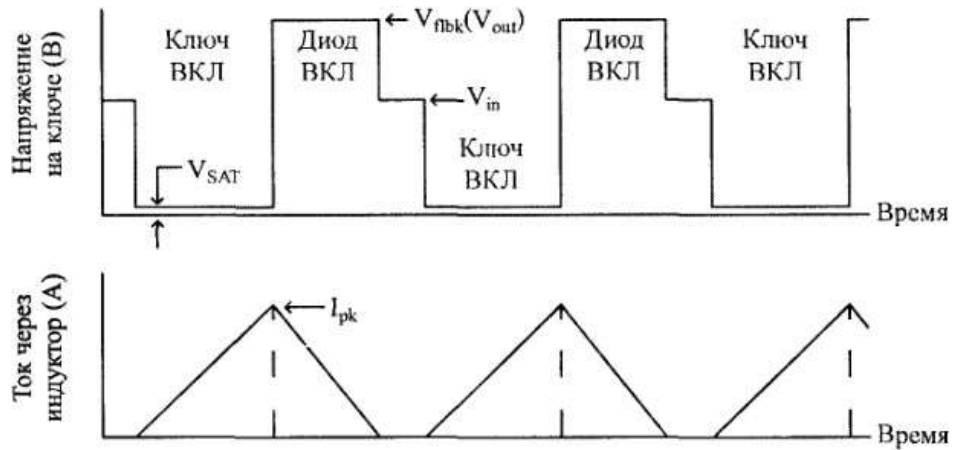


Рис. 13. Форма хвилі напруги ( $U$ ) і крива струму ( $I_{pk}$ ) для підвищувального перетворювача

Наступною топологією є зворотньоходові перетворювачі.

Зворотньоходовий перетворювач (англ. Flyback converter) - це проста схема включення, яка може бути використана для постійної напруги або постійного струму. Використання двох або більше обмоток в індукторі забезпечує гальванічну розв'язку.

Принцип роботи такого перетворювача наведено на рис. 14.

Традиційний flyback перетворювач використовує індуктор як мінімум з двома обмотками (трансформатор). Розглянемо дві обмотки: одна є основною, яка з'єднана з вхідною ланцюгом джерела живлення і підключається до загального проводу, а інша підключається до навантаження.

Схема влаштована так, щоб магнітна енергія накопичувалася в індукторі протягом часу, коли ключ включений, тоді струм збільшується в первинній обмотці (енергія запасється). Коли ключ розімкнений, магнітна енергія передається на навантаження.

Перевагою зворотньоходових перетворювачів є здатність регулювати вихідну напругу в широких межах, а також підтримання необхідної вихідної напруги при зміні напруги мережі. До недоліків відноситься підвищений рівень електромагнітних завад, які створюються як в мережі живлення, так і в навантаженні.



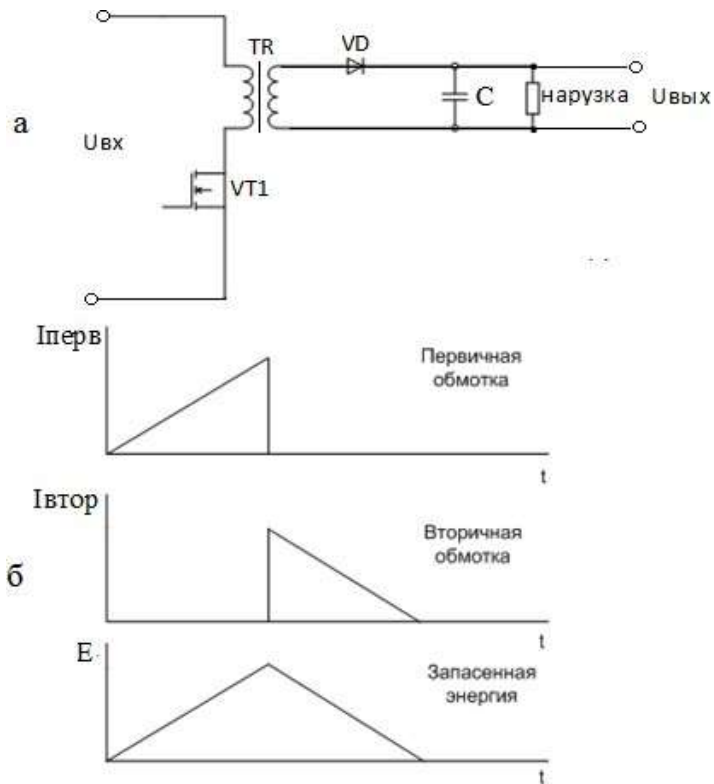


Рис. 14. Зворотньоходовий перетворювач: а) спрощена електрична схема, б) тимчасові діаграми роботи

## 2. Розробка джерела живлення

### 2.1. Розробка структурної схеми

На основі огляду науково-технічної літератури розробимо структурну схему джерела живлення. Існує безліч різних схем джерел живлень. Більшість джерел живлення постійного струму будуються за схемою з безтрансформаторним входом, який утворений мережевим випрямлячем з фільтром. [1]

Типова схема джерела живлення світлодіодної лампи представлена на рис. 15.

Змінна напруга мережі проходить через фільтр електромагнітних завад (ЕМП) на випрямляч. Після чого випрямлена напруга проходить через щабель корекції коефіцієнта потужності (ККП) і живить імпульсний стабілізатор струму, до виходу якого підключені світлодіоди.



Рис. 15. Типова схема джерела живлення світлодіодної лампи

Фільтр електромагнітних завад, встановлений на вході, дозволяє запобігти попаданню високочастотних імпульсних перешкод не тільки з мережі в джерело живлення, а також з самого блоку живлення в мережу.

З урахуванням потужності і особливостей розробки для ламп зі світлодіодними лінійками, схема джерела живлення прийме вигляд, представлений на рис. 16.



Рис. 16. Структурна схема джерела живлення для малопотужних лам

### 2.1.1. Розробка випрямляча електричної енергії

В якості вхідного випрямляча краще використовувати однофазну мостову схему двотактного випрямляча, оскільки маємо однофазну мережу, а також дана схема може працювати безпосередньо від мережі без трансформатора і на будь-який вид навантаження. Її переваги в порівнянні, наприклад, з схемою напівперіодного випрямляча [7]:

- вище частота пульсації;
- невелика зворотна напруга;
- можливість роботи без трансформатора, безпосередньо від мережі;
- відсутність постійної складової струму, споживаної від мережі.

Схеми роботи випрямляча на активно-ємнісне та індуктивно-ємнісне навантаження показані на рис. 17.

Вентильний міст містить дві групи вентилів - катодний (непарні вентиля) та анодний (парні вентиля). У мостовій схемі струм проводять одночасно два вентиля - один з катодного групи і інший з анодної. У схемі почне пропускати струм пара вентилів, у якій анод вентиля катодної групи має найбільш високий потенціал, а катод вентиля анодної групи - найбільш низький потенціал. Протягом негативної напівхвилі  $U_{вх}$  катод вентиля VD2 має найменший потенціал, а анод вентиля VD3 - найбільший потенціал, в зв'язку з цим струм пропускають вентиля VD2 і VD3.

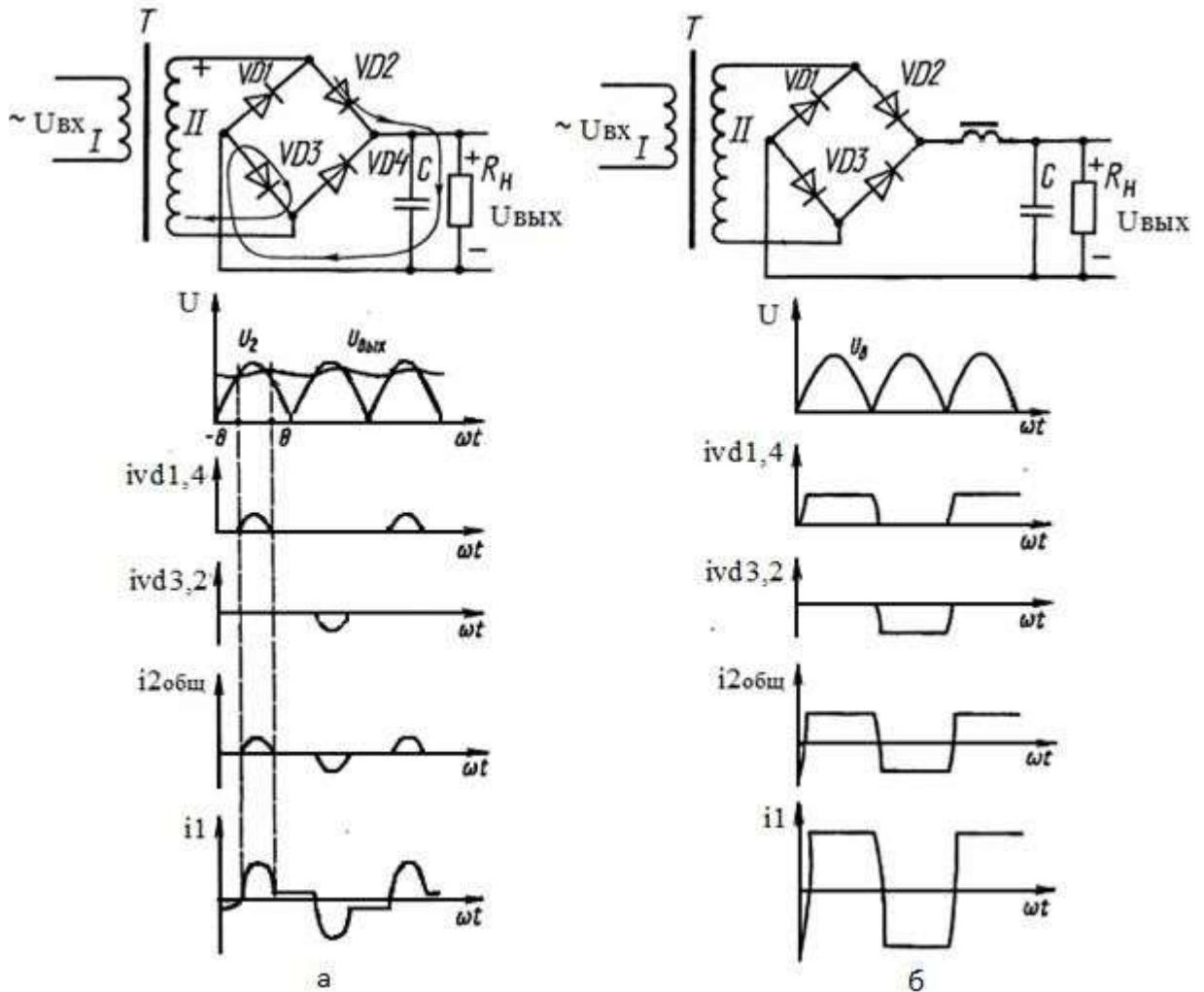


Рис. 17. Схеми та діаграми роботи однофазного мостового випрямляча: а) з активно-ємнісним навантаженням; б) з індуктивно-ємнісним навантаженням

### 2.1.2. Розробка фільтра

Згладжувальні фільтри застосовуються для згладжування пульсацій випрямленої напруги до рівня, який вимагається для нормальної роботи споживача. Існують різні види фільтрів: ємнісні, Г-образні LC, RC і П-подібні CLC і CRC. [8] Ємнісний фільтр є одним з найпростіших видів згладжуючих фільтрів. Він являє собою конденсатор, що включається паралельно навантаженню. Такі фільтри використовуються при великих значеннях опору навантаження і ємності застосовуваного конденсатора.

Індуктивно-ємнісні фільтри (Г-образні LC і П-подібні CLC) знайшли широке застосування при великих струмах навантаження, так як падіння напруги на них можна зробити порівняно невеликим. Ефективність таких фільтрів досить висока. Недоліками індуктивно-ємнісних фільтрів є: великі габаритні розміри і маса, підвищений рівень електромагнітного випромінювання від елементів фільтра, відносно висока вартість і трудомісткість виготовлення.

Резистивно-ємнісні фільтри використовуються при невеликих струмах навантаження і коефіцієнтах згладжування. Перевагами цих фільтрів є низька вартість, малі габарити і маса. До недоліків можна віднести відносно велике падіння напруги на фільтрі, що призводить до зменшення ефективності всього пристрою.

В якості фільтра низькочастотних пульсацій напруги виберемо одноланковий RC-фільтр, як найбільш підходящий в даному застосуванні. В даному випадку резистор фільтра буде одночасно виконувати роль запобіжника в разі короткого замикання, що дозволить мінімізувати габарити джерела.

### 2.1.3. Розробка стабілізатора струму

Розглянувши різні схеми драйверів, виходячи з вимог технічного завдання, вибираємо схему імпульсного стабілізатора струму. Дана схема дозволяє забезпечити стабільну роботу в широкому діапазоні напруг на вході і навантаженні. Так як вимоги з електробезпеки будуть забезпечуватися конструкцією самої лампи, а напруга в навантаженні нижче напруги мережі, то вибираємо схему імпульсного послідовного стабілізатора понижуючого типу. [9]

Схема даного стабілізатора приведена на рис. 18.

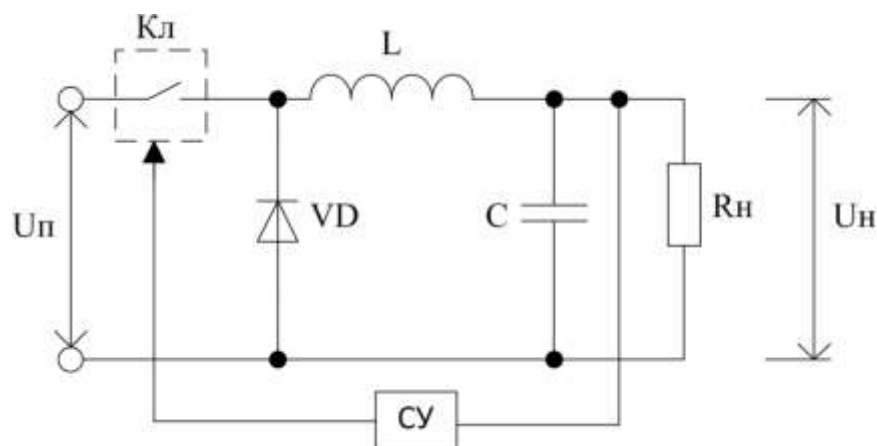


Рис. 18. Схема імпульсного послідовного стабілізатора понижуючого типу

Головна мета схеми управління - це підтримувати постійну вихідну напругу. У класичних схемах для цього використовується контур негативного зворотного зв'язку, де сигнал з виходу зчитувався контролером, і на підставі отриманого сигналу змінювалася тривалість відкритого стану силового транзистора.

У якості керуючої виберемо мікросхему BP2831 з вбудованим силовим транзистором. Схема типового застосування мікросхеми наведена на рис. 19. [10]

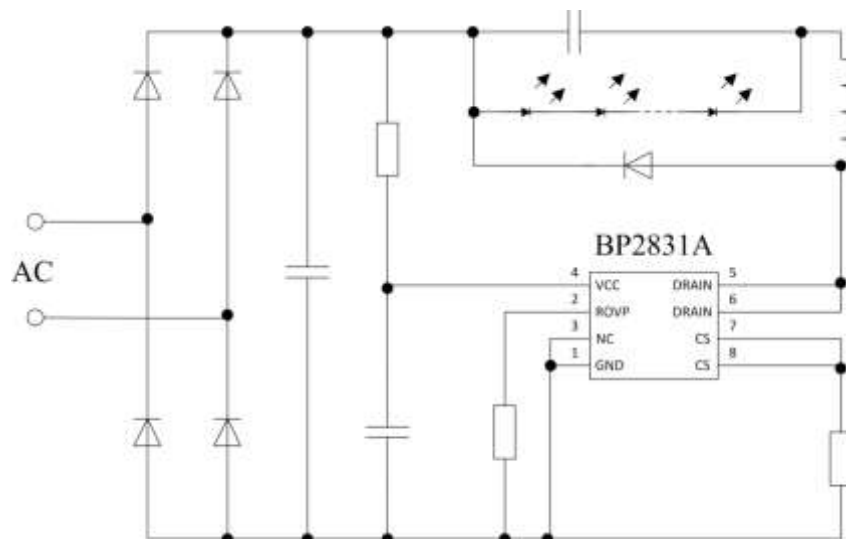


Рис. 19. Схема підключення мікросхеми BP2831

Дана мікросхема є високоточним знижувальним світлодіодним драйвером постійного струму. Пристрій працює в режимі критичної провідності. У BP2831 інтегрований MOSFET транзистор, завдяки чому робочий струм дуже низький і немає необхідності в допоміжній обмотці для живлення чіпа. Мікросхема володіє високою стабільністю струму при малій кількості компонентів, тому вартість і розмір системи мінімальні. У ній реалізовані функції захисту для підвищення надійності системи, такі як захист від короткого замикання, перенапруги і функція терморегуляції.

Коли ланцюг навантаження розмикається, відбувається спрацьовування захисту від надмірної напруги. При виявленні короткого замикання в ланцюзі світлодіодів, система працює на низькій частоті 5 кГц і на виводі  $C_S$  напруга знижується до 200 мВ. Таким чином, споживання енергії системою дуже маленьке. У разі критичної несправності, таких як коротке замикання резистора  $C_S$  або насичення котушки індуктивності, внутрішня схема виявлення несправностей спрацює і система буде відключена.

Після того як система переходить в стан несправності, напруга  $V_{CC}$  буде зменшуватися до тих пір, поки не досягне порогового значення  $UVLO$ , після чого система перезавантажиться заново. Якщо стан несправності видаляється, то система повертається до нормально роботи.

На рис. 20 представлено маркування контактів мікросхеми BP2831.

В таблиці 1 приведено описання контактів мікросхеми.

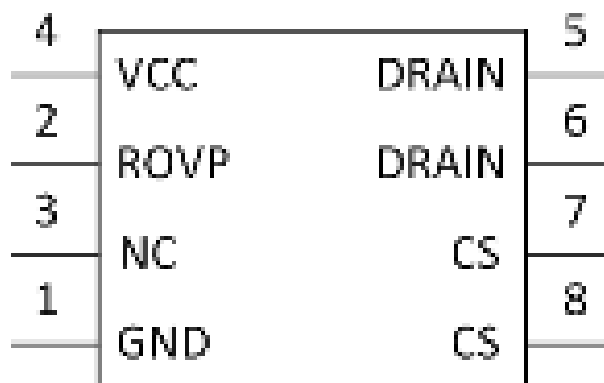


Рис. 20. Конфігурація контактів

Таблиця 1. Призначення виводів мікросхеми BP2831

№ контактів	Назва	Призначення
1	GND	Земля
2	ROVP	Захист від перенапруження
3	NC	Нема з'єднання. Повинен бути підключений до GND
4	VCC	Силовий питаючий контакт
5,6	DRAIN	Внутрішній відвід живлення MOSFET
7,8	CS	Контакт чутливий до зміни струму. Повинен бути підключений резистор між цими контактами і GND

На рис. 21 представлена внутрішня блок-схема мікросхеми BP2831.

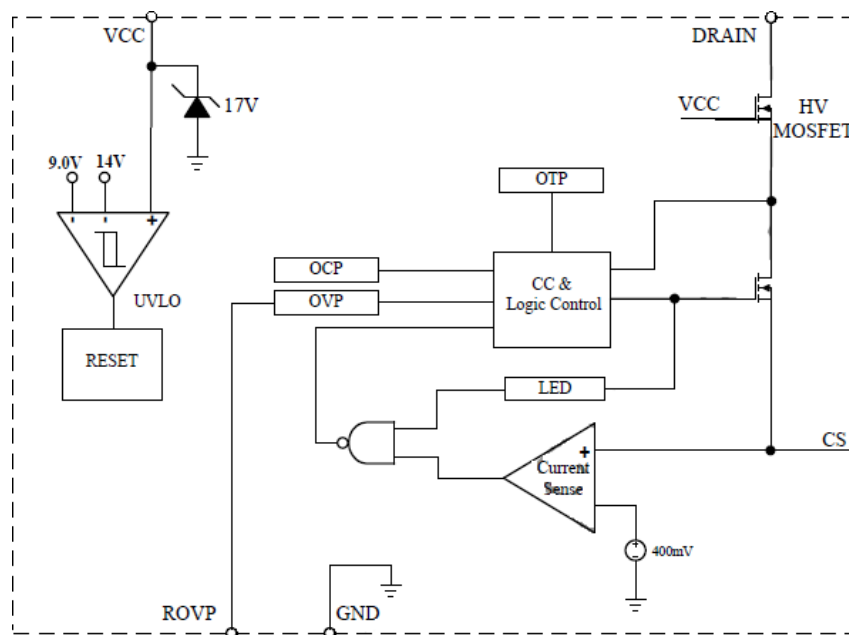


Рис. 21. BP2831 внутрішня блок-схема мікросхеми BP2831

Після подачі живлення на контакт VCC конденсатор заряджається. Коли напруга досягає граничного значення, схема починає працювати.

Вбудований стабілітрон 17V служить для обмеження напруги на контакті VCC.

## 2.2. Розробка принципіальної схеми драйвера

### 2.2.1. Визначення параметрів джерела живлення

Вихідні дані для розрахунку:

- Номінальна напруга живлячої мережі  $U_c = 220V$ ;
- Максимальна напруга живлячої мережі  $U_{c,max} = 220 + 220 \cdot 10\% = 242V$ ;
- Мінімальна напруга живлячої мережі  $U_{c,min} = 220 - 220 \cdot 15\% = 187V$ ;
- Частота мережі  $f_c = 50Гц$ ;
- Номінальний струм навантаження  $I_n = 20mA$ ;
- Робоча частота  $f = 50кГц$ ;

Розробка принципіальної схеми драйвера включає в себе розрахунок: вхідних діодів випрямляча; згладжувального фільтру; стабілізатора струму.

### 2.2.2. Розрахунок випрямляча

*Проведемо розрахунок основних параметрів.*

Зворотня напруга  $U_{зв.}$ , яка прикладається до діодів випрямляючого мосту, розраховується за формулою:

$$U_{зв.} = \frac{1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{мж.}}{0,7} = \frac{1,1 \cdot 1,4 \cdot 220}{0,7} = 484V,$$

де  $U_{мж.}$  - амплітудне значення напруги мережі при перевищенні напруги на 10% і з врахуванням завантаження по напрузі 70%.

Максимальний прямиий струм, який протікає через діоди, з врахуванням ККД стабілізатора струму 70% і завантаження діодів по струмі 50%, має значення:

$$I_{max} = \frac{I_{LED}}{0,5 \cdot 0,7} = \frac{20}{0,5 \cdot 0,7} = 57mA,$$

де  $I_{LED}$  - струм на навантаженні.

Крім того для застосування в світлодіодній лампі діодного мосту, він повинен мати мінімальні габарити. На підставі розрахованих даних вибираючи діодний міст MB6S [11] з параметрами, представленими в таблиці 2.

Таблиця 2. Параметри діодного мосту MB6S

$U_{зв.}$	600 В
$I_{max}$	500 мА
Тип корпусу	Soic-4

Як видно з таблиці діодний міст вибраний з запасом, що позитивно впливає на збільшення терміну служби.

### 2.2.3. Розрахунок фільтра

Значення опору резистора фільтра будемо вибирати з таких міркувань: чим більше значення опору резистора, тим більше на ньому втрат і тим менше значення пускового струму через випрямляч. Вважаючи розряджений конденсатор коротким замиканням, і приймаючи максимально допустимий струм через випрямляч рівний 10А розрахуємо значення опору резистора:

$$R = \frac{1,1\sqrt{2}U_{м.жс.}}{I_{MAX}} = \frac{1,1 \cdot 1,4 \cdot 220}{10} = 34,22 \text{ Ом},$$

Вибираємо резистор NFR25 з опором 33 Ома виробництва Vishay Ccomponents.

Ємність конденсатора фільтра  $C$  можна визначити за формулою, задавши значення  $K_{nn} = 0,2$  [8]:

$$C = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f \cdot R_n \cdot K_{nn}} = \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 0,2} = 3,2 \text{ мкФ},$$

де  $f$  – частота вхідної перемінної напруги;

$m = 2$  – для однофазного напівперіодного та мостового випрямлячів;

$R_n$  – опір навантаження;

$K_{nn}$  – коефіцієнт пульсації напруги на виході випрямляча.

Вибираємо конденсатор 4,7 мкФ 400В з розміром 8X12 мм виробництва WKXS. [13]

### 2.2.4. Розрахунок стабілізатора струму

На рис. 22 представлений проектоване джерело живлення у вигляді «чорного ящика» з параметрами, які наведенні в пункті 2.2.1.

Далі буде проведений розрахунок вхідних та вихідних параметрів «чорного ящика».

[1]





Рис. 22. Представлення джерела живлення як «чорний ящик»

Вихідна потужність:

$$P_{вих} = \sum_{m=1}^n (U_{вих} \cdot I_n) = 150 \cdot 0,02 = 3 \text{ Вт},$$

де  $I_n$  – номінальний струм навантаження;

$U_{вих}$  – вихідна напруга.

Вхідна потужність:

$$P_{вх} = \frac{P_{вих}}{\eta} = \frac{3}{0,75} = 4 \text{ Вт}.$$

Номінальний струм при напрузі живлення 220В:

$$I_{вх.ном.} = \frac{P_{вх}}{U_{вх.ном.}} = \frac{4}{220} = 0,018 \text{ А},$$

де  $U_{вх.ном.}$  - величина вхідної напруги.

Найбільший струм при відхиленні напруги живлячої мережі від номінального значення і меншу сторону:

$$I_{вх.мах.} = \frac{P_{вх}}{U_{вх.мін.}} = \frac{4}{187} = 0,021 \text{ А}.$$

Вхідний піковий струм:

$$I_{пик} = \frac{k \cdot P_{вих}}{U_{вх.мін.}} = \frac{1,4 \cdot 3}{187} = 0,02 \text{ А},$$

де  $k = 1,4$  – оціночний коефіцієнт пікового струму в понижуючому перетворювачі.

Визначимо піковий струм котушки:

$$I_{кот.} = 2 \cdot I_n = 2 \cdot 0,02 = 0,04 \text{ А}.$$

Індуктивність котушки визначимо за формулою:

$$L = \frac{U_n \cdot (U_c - U_n)}{f \cdot I_{кот.} \cdot U_c} = \frac{150 \cdot (220 - 150)}{50000 \cdot 0,04 \cdot 220} = 0,024 \text{ Гн},$$

де  $U_n$  – напруга на навантаженні;

$U_c$  – напруга мережі;

$f$  – робоча частота.

Опір струмочутливого резистора:

$$R_{стр.} = \frac{400}{I_{кот.}} = \frac{400}{0,04} = 10кОм.$$

Коли живлення МОН-транзистора включене, струм в котушці збільшується, тоді час включення транзистора визначимо за формулою:

$$t_{вкл.} = \frac{L \cdot I_{кот.}}{U_{мж} - U_n} = \frac{0,024 \cdot 0,04}{220 - 150} = 1,4 \cdot 10^{-5} c,$$

де  $L$  – індуктивність котушки.

Тоді час виключеного стану транзистора:

$$t_{вкл.} = \frac{L \cdot I_{кот.}}{U_n} = \frac{0,024 \cdot 0,04}{150} = 0,64 \cdot 10^{-5} c.$$

### 3. Експериментальний дослід

За результатами розрахунку і вибору основних компонентів проектованого джерела живлення був зібраний дослідний зразок світлодіодного драйвера. Для перевірки його основних параметрів були зняті осцилограми струму на навантаженні з використанням двопроменевого осцилографу типу Lecroy WA222 (рис. 23,24).

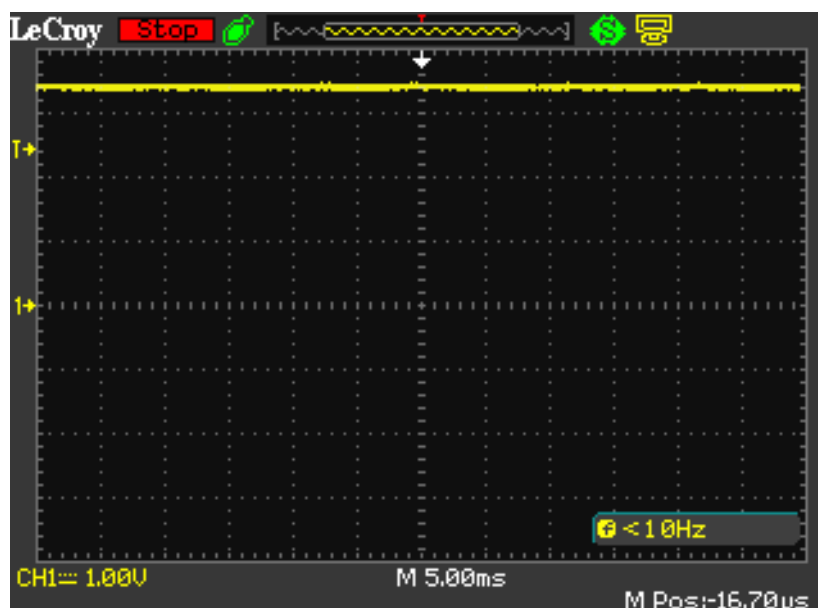


Рис. 23. Струм навантаження

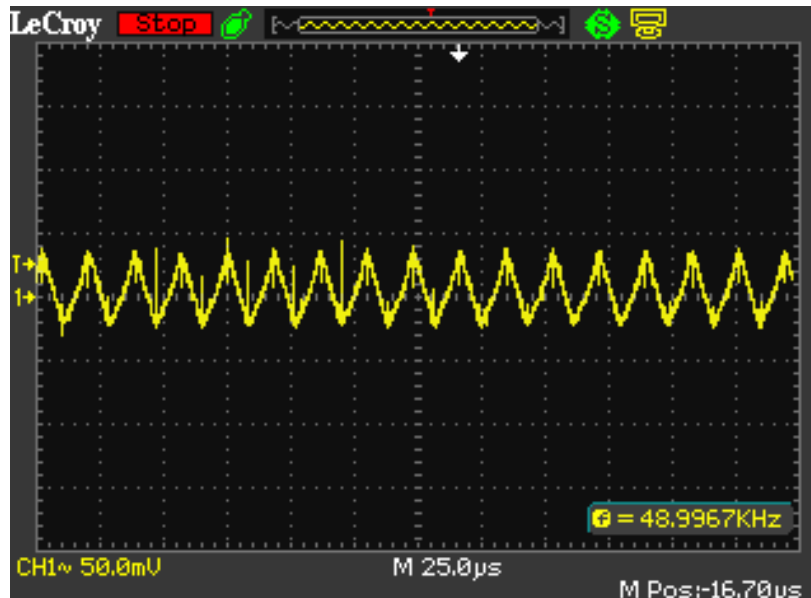


Рис. 24. Змінна складова струму навантаження

Отримані осцилограми дозволяють оцінити коефіцієнт пульсацій, який є однією з основних характеристик, що визначають показник якості штучного освітлення.

На підставі даних вищенаведених осцилограм проведемо розрахунок коефіцієнта пульсацій за формулою:

$$k_{\text{пульс.}} = \frac{I_{\text{змін.}}}{I_{\text{н}}} = \frac{\frac{U_{\text{змін.}}}{R_{\text{ш}}}}{\frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{ш}}}} = \frac{U_{\text{змін.}}}{U_{\text{н}}},$$

де  $I_{\text{змін}}$  – змінна складова струму;

$I_{\text{н}}$  – струм навантаження;

$U_{\text{змін.}}$  – змінна складова напруги;

$U_{\text{н}}$  – напруга навантаження.

За результатами розрахунку були отримані величини:  $U_{\text{змін}} = 0,05\text{В}$ ,  $U_{\text{н}} = 3,5\text{В}$ . Звідси коефіцієнт пульсації:

$$k_{\text{пульс.}} = \frac{U_{\text{змін.}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{0,05}{3,5} \cdot 100\% = 1,42\%.$$

Згідно з вимогами, які відображені в ГОСТ 21106.5-77, коефіцієнт пульсацій струму джерела живлення не повинен перевищувати 3%. Проаналізувавши дані, можна зробити висновок про те, що значення розрахованого коефіцієнта пульсацій входить в допустиму межу і повністю відповідає зазначеним вище вимогам. Це свідчить про те, що використання розробленого драйвера в освітлювальних приладах дозволяє створити якісне штучне освітлення.

## 4. Розробка стартап проекту

Проблема високого енергоспоживання стає все більш актуальною. Тільки на освітлення йде близько 30-35% усієї вироблюваної електроенергії, а в масштабах великих міст ця величина в півтора-два рази більше. [1]

Світлодіодне освітлення - одне з перспективних напрямків технологій штучного освітлення, засноване на використанні світлодіодів в якості джерела світла.

Протягом останніх десятиліть технічний прогрес в області розробки і виготовлення світлодіодів йде з великою швидкістю. [2] Сучасні світлодіоди відрізняються мініатюрністю, міцністю, надійністю, хорошими оптичними характеристиками і високим квантовим виходом випромінювання. На відміну від багатьох інших джерел світла світлодіоди можуть перетворювати електричну енергію в світлову з коефіцієнтом корисної дії близьким до одиниці.

Перехід на більш економічні світлодіодні світильники дозволяє знизити енергоспоживання в 10 разів, у порівнянні з лампами розжарювання, і в 2 рази в порівнянні з люмінесцентними лампами.

Прогрес у розвитку світлодіодів знаходиться в самому розквіті. Безперервне вдосконалення технології сприяє цьому. Тому очікується, що роль світлодіодів буде тільки зростати і в майбутньому вони стануть основними джерелами світла.

Тим не менш, у даний час одним з найбільш поширених джерел світла як і раніше залишається класична лампа розжарювання.

Об'єднати переваги класичних ламп розжарювання і світлодіодних випромінювачів дозволяють джерела світла, виконані за технологією Filament LED.