

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Радіoeлектроніки і телекомунікацій

(повне найменування інституту, факультету)

Мікро- та нанoeлектроніки

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему Імпульсний стабілізатор струму для побутових приладів

Виконала: студентка IV курсу, групи РТ-317
Спеціальності 153 – «Мікро- та наносистемна
техніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Мікро- та нанoeлектронні прилади і пристрої»

Атинакова В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сніжної Г.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Манукян О.А.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Радіoeлектроніки та телекомунікації
 Кафедра Мікро та нанoeлектроніки
 Ступінь вищої освіти бакалавр
 Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма(спеціалізація) «Мікро- та нанoeлектронні прилади і пристрої»
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри мікро- та нанoeлектроніки
Г. В. Сніжної
 « » 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Атинакової Вероніки Романівни
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Імпульсний стабілізатор струму для побутових приладів
 керівник роботи доктор техн. наук, доцент Сніжної Геннадій Валентинович
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом закладу вищої освіти № 190 від «17» травня 2021 року
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 27 травня 2021 року.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Справочники по преобразовательной технике, Micro-Cap 11, ElectronicCircuitAnalysisProgramReferenceManual, SpectrumSoftware, цифровий драйвер MBI6651, Мікросхема L5973D
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розглянуто імпульсний стабілізатор струму для побутових приладів. Огляд світлодіодних світильників (технічні характеристики, область застосування). Досліджено принцип роботи та основні технічні характеристики компонентів світлодіодних світильників: - світлодіодів і світоловипромінюючих матриць; - захисного обладнання (запобіжники, автоматичні вимикачі); - імпульсних трансформаторів; - силових ключів (діоди, транзистори); - датчиків напруги і струму; - спеціалізованих ІМС для джерел живлення світлодіодних світильників. Дослідженні типові структурні

схеми джерел живлення світлодіодних світильників та електричні схеми функціональних блоків і вузлів джерел живлення: - способи стабілізації струму або напруги, зовнішнє управління; - принципи побудови джерел живлення.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Прийняв виконане завдання
1-3	Сніжної Г.В., д.т.н, доцент		
Нормо-контроль	Коротун А.В., к.ф.-м.н., доцент каф. МІНЕ		

7. Дата видачі завдання «20» вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Підбір та аналіз інформації з обраної теми	25.04. – 27.04.	виконано
2	Написання вступу та першої глави	27.04. – 08.05.	виконано
3	Написання другої глави	08.05. – 09.05.	виконано
4	Розробка та складання третьої глави	09.05. – 13.05.	виконано
5	Проведення моделювання	13.05. – 15.05.	виконано
6	Оформлення дипломної роботи	15.05. – 18.05.	виконано
7	Підготовка ілюстративного матеріалу і презентації	18.05. – 19.05	виконано
8	Здача дипломної роботи на відгук і рецензію	25.05. – 28.05	виконано
9			

Студент

(підпис)

Атинакова В.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Сніжної Г.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 55 стор., 31 рисуноків, 4 таблиці, 15 джерел

Об'єкт дослідження – імпульсний стабілізатор струму для побутових приладів, зокрема імпульсний стабілізатор струму для світлодіодних світильників.

Розглянуто основні види і структура імпульсного стабілізатора, їх технічні характеристики і область застосування.

Проаналізовано особливості устрою і принцип роботи основних компонентів світлодіодних світильників: світлодіодів і світловипромінюючих матриць, захисного обладнання (запобіжники, автоматичні вимикачі), імпульсних трансформаторів, силових ключів (діоди, транзистори), датчиків напруги і струму. Дослідженні типові структурні схеми джерел живлення світлодіодних світильників та електричні схеми функціональних блоків і вузлів джерел живлення: - способи стабілізації струму або напруги, зовнішнє управління; - принципи побудови джерел живлення

Наведені результати моделювання.

СТАБІЛІЗАТОР, СТРУМ, ІМПУЛЬС, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ДРАЙВЕР

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	7
Вступ.....	8
1. Застосування та принцип дії імпульсного стабілізатору струму	9
1.1 Характеристика типів стабілізатора струму.....	9
1.2 Призначення лінійного стабілізатора струму, схеми та галузь застосування.....	10
1.3 Аналіз імпульсного стабілізатора струму, його схем та галузь застосування.....	12
1.4 Аналіз понижуючого, підвищуючого та інвертуючого перетворювача.....	15
1.5 Призначення прямоходового і зворотного перетворювача.....	17
1.6 Застосування імпульсного перетворювача як стабілізатору струму.....	18
1.7 Типи світлодіодних матриць, їх переваги і недоліки.....	21
2. Інтегральні драйвери для побутових приладів	29
2.1 Драйвери, що понижують напругу.....	29
2.2 Драйвери що підвищують напругу для світлодіодів.....	36
2.3 Підвищуючи-понижуючий драйвери.....	36
3. Аналіз та моделювання перетворювача.....	39
3.1 Вихідні дані для моделювання	43
3.2 Налаштування вихідного струму.....	45
3.3 Вибір частоти перемикання.....	47
3.4 Вибір індуктора.....	48
3.5 Вибір вхідного і вихідного конденсатора.....	49

3.6 Моделювання перетворювача.....	51
Висновки.....	53
Перелік посилань.....	54

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕРС – електрорушійна сила

ККД - коефіцієнт корисної дії

МОП - напівпровідникова структура

ОП - операційний підсилювач

ШІМ - широтно-імпульсна модуляція

ВСТУП

Блок живлення є невід'ємним елементом електронного приладу. Перші імпульсні блоки живлення були сконструйовані після винаходу котушки, яка працювала зі змінним струмом. Після випрямлення напруги утворюються прямокутні імпульси з високою частотою, подаються на фільтр виходу низької частоти. Імпульсні блоки живлення перетворюють напругу, віддають потужність на навантаження. Розсіювання енергії від імпульсного блоку майже не відбувається. Його компактність і мала вага також дає перевагу над трансформаторними блоками при однаковій потужності.

Вимоги до освітлювальних світлодіодів - це максимальна світловіддача при збереженні прийнятного рівня надійності. Для цієї мети випускаються компактні герметичні блоки живлення для світильників, які працюють в режимі стабілізатору струму.

Для правильної роботи світлодіоду, його треба живити через стабілізатор струму. Порогова напруга світлодіоду має розкид, так навіть однотипні типи світлодіодів мають різну пряму напругу, що зазначено в характеристиках світлодіоду як мінімальне і максимальне значення. Паралельно підключені до одного джерела напруги два світлодіоди будуть пропускати різний струм, що дасть нам настільки різний струм, що світлодіод може вийти з ладу або згоріти відразу. Також в характеристиках вказується гранична напруга, як пряма напруга при номінальному струмі. Номінальний струм для більшості малопотужних світлодіодів – 20 мА, для потужних більше ніж – 350 мА. Останні в свою чергу виділяють тепло, тому повинні бути встановлені на тепловідвід [1].

Проект присвячено розробці стабілізатору струму, який буде працювати на високій частоті. Завдяки чому вдасться знизити габарити світильника і зменшити тепловиділення безпосередньо в стабілізаторі.

1. ІМПУЛЬСНИЙ СТАБІЛІЗАТОР СТРУМУ

1.1 Характеристика типів стабілізатора струму

Стабілізатор струму встановлює заданий струм через світлодіод незалежно від прикладеного до схеми напруги. При збільшенні напруги на схемі вище порогового рівня, струм досягає встановленого значення і далі не змінюється. При подальшому збільшенні загальної напруги, напруга на світлодіоді перестає змінюватися, а напруга на стабілізаторі струму зростає. Так на рисунку 1.1 показаний принцип роботи стабілізатору струму світлодіода:

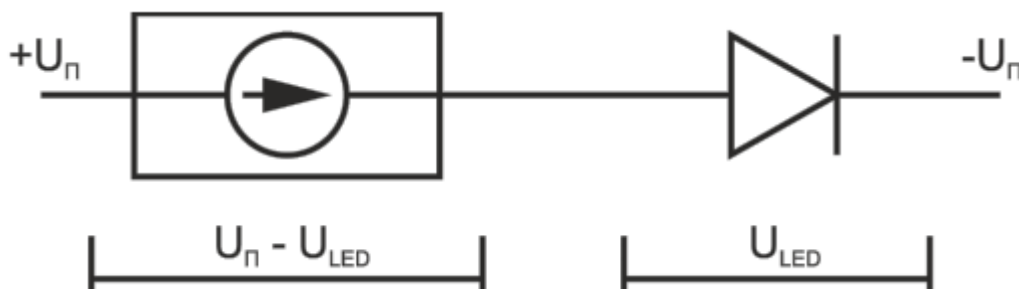


Рисунок 1.1 - Принцип роботи стабілізатору струму світлодіода

Оскільки напруга на світлодіоді визначається його параметрами і в загальному випадку незмінна, то стабілізатор струму можна назвати також стабілізатором потужності світлодіода. У найпростішому випадку, що виділяється пристроєм активна потужність (тепло) розподіляється між світлодіодом і стабілізатором пропорційно напрузі на них. Такий стабілізатор називається лінійним. Також існують більш економічні пристрої стабілізатори струму на базі імпульсного перетворювача. Вони називаються імпульсними, оскільки всередині себе прокачують потужність порціями імпульсами в міру необхідності для споживача. Правильний імпульсний перетворювач споживає потужність безперервно, всередині себе передає її імпульсами від вхідного ланцюга до вихідний і видає потужність в навантаження вже знову безперервно.

1.2 Призначення лінійного стабілізатора струму, схеми та галузь застосування

Основний недолік лінійного стабілізатора струму це його нагрів, який зростає від доданої до нього напруги. Проте в нього є важливі переваги. Наприклад, лінійний стабілізатор не створює електромагнітних завад. Також він простий по конструкції та має низьку вартість в більшості застосувань.

З огляду на те, що імпульсний перетворювач не буває абсолютно ефективним, існують додатки, коли лінійний стабілізатор має порівнянну або навіть більшу ефективність - коли вхідна напруга лише трохи перевищує напругу на світлодіоді. До речі, при живленні від мережі, часто використовується трансформатор, на виході якого встановлюється лінійний стабілізатор струму. Тобто, спочатку напруга знижується до рівня, порівнянного з напругою на світлодіоді, а потім, за допомогою лінійного стабілізатора встановлюється необхідний струм.

Також можна з'єднати світлодіоди в послідовний ланцюжок, щоб наблизити напругу світлодіода до напруги живлення. Напруга на ланцюжку буде дорівнювати сумі напруг на кожному світлодіоду.

Найпростіша схема стабілізатора струму на рисунку 1.2 - на одному транзисторі (схема "а"). Оскільки транзистор - це підсилювач струму, то його вихідний струм (струм колектора) більше струму управління (струм бази) в h_{21} раз (коефіцієнт посилення). Струм бази можна встановити за допомогою батарейки і резистора, або за допомогою стабілітрона і резистора (схема "б"). Однак таку схему важко налаштовувати, отриманий стабілізатор буде залежати від температури, крім того, транзистори мають великий розкид параметрів і при заміні транзистора, струм доведеться підбирати знову. Набагато краще працює схема зі зворотним зв'язком "в" і "г". Резистор R у схемі виконує роль зворотного зв'язку - при збільшенні струму, напруга на резисторі зростає, тим самим замикає транзистор і струм знижується. Схема

"г", при використанні однотипних транзисторів, має більшу температурну стабільність і можливість максимально зменшити номінал резистора, що знижує мінімальну напругу стабілізатора і виділення потужності на резисторі R [2].

Стабілізатор струму можна виконати на базі польового транзистора з р-n переходом (схема "д"). Напруга затвор-витік встановлює струм стоку. При нульовій напрузі затвор-витік, струм через транзистор порівняно з початковим струмом стоку, вказаною в документації.

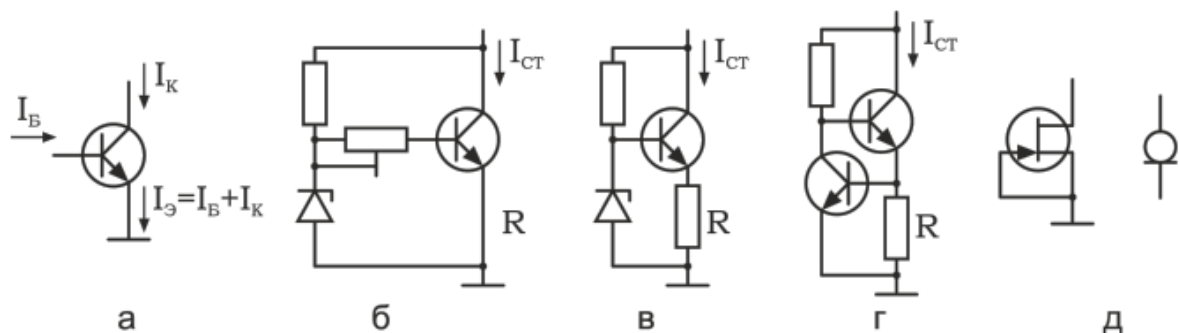


Рисунок 1.2 - Схеми лінійних стабілізаторів струму

Мінімальна напруга роботи такого стабілізатора струму залежить від транзистора і досягає 3 вольт. Деякі виробники електронних компонентів випускають спеціальні пристрої - готові стабілізатори з фіксованим струмом, зібрані за такою схемою - CRD (Current Regulating Devices) або CCR (Constant Current Regulator). Деякі називають його доданими стабілізатором, оскільки в зворотному включенні він працює як діод.

Компанія On Semiconductor випускає лінійний стабілізатор серії NSIxxx (рис.1.3), наприклад NSIC2020B, який має два висновки і для збільшення надійності, має негативний температурний коефіцієнт - при збільшенні температури, струм через світлодіоди знижується.

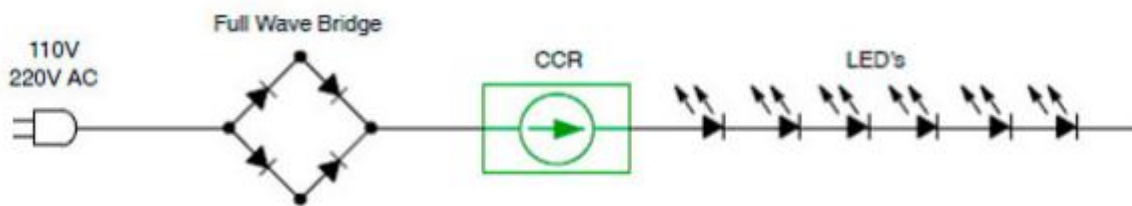


Рисунок 1.3 - Лінійний стабілізатор серії NSIxxx

1.3 Аналіз імпульсного стабілізатора струму, його схем та галузь застосування

Стабілізатор струму на базі імпульсного перетворювача по конструкції дуже схожий на стабілізатор напруги на базі імпульсного перетворювача, але контролює не напругу на навантаженні, а струм через навантаження. При зниженні струму в навантаженні, він підкачує потужність, при збільшенні знижує. Найбільш поширені схеми імпульсних перетворювачів мають в своєму складі реактивний елемент - дросель, який за допомогою комутатора (ключа) підкачуються порціями енергії від вхідного ланцюга (від вхідних ємності) і в свою чергу передає її навантаженні. Крім очевидної переваги економії енергії, імпульсні перетворювачі мають ряд недоліків, з якими доводиться боротися різними схемотехнічними і конструктивними рішеннями:

- імпульсний перетворювач виробляє електричні і електромагнітні перешкоди
- має як правило складну конструкцію
- не володіє абсолютною ефективністю, тобто витрачає енергію для власної роботи і гріється
- має найчастіше більшу вартість, в порівнянні, наприклад, з трансформаторними плюс лінійними пристроями

Оскільки економія енергії в багатьох додатках є вирішальною, розробники компонентів, схемотехніки намагаються знизити вплив цих недоліків, і, найчастіше, досягають успіху в цьому.

Оскільки стабілізатор струму заснований на імпульсному перетворювачі, розглянемо основні схеми імпульсних перетворювачів, як на малюнку 1.4. Кожен імпульсний перетворювач має ключ, елемент, який може знаходитися тільки в двох станах - включеному і вимкненому. У вимкненому стані, ключ не проводить струм і, відповідно, на ньому не виділяється потужність. У включеному стані, ключ проводить струм, але має дуже малий опір (в ідеалі рівне нулю), відповідно на ньому виділяється потужність, близька до нуля. Таким чином, ключ може передавати порції енергії від вхідного ланцюга до вихідного практично без втрат потужності. Однак, замість стабільного струму, який можна отримати від лінійного джерела живлення, на виході такого ключа буде імпульсна напруга і струм. Для того, щоб отримати знову стабільну напругу і струм, можна поставити фільтр.

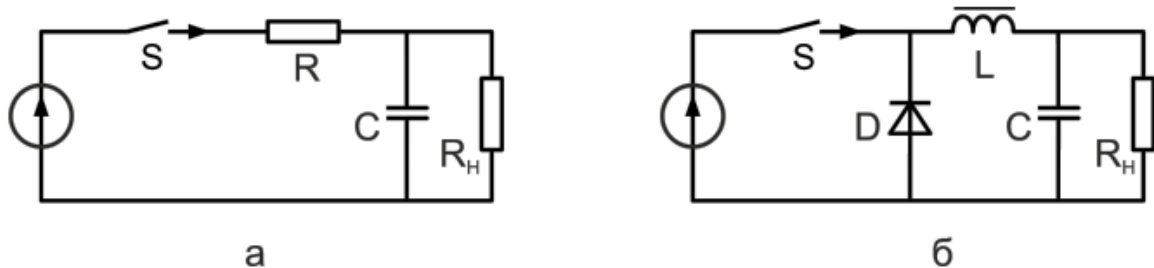


Рисунок 1.4 - Імпульсний перетворювач

За допомогою звичайного RC фільтра можна отримати результат, однак, ефективність такого перетворювача не буде кращим за лінійного, оскільки вся надлишкова потужність виділиться на активному опорі резистора. Але якщо використовувати замість RC - LC фільтр (схема "б"), то, завдяки "специфічним" властивостями індуктивності, втрат потужності можна уникнути. Індуктивність володіє корисною реактивною властивістю - струм через неї зростає поступово, що подається на нього електрична енергія

перетворюється в магнітну і накопичується в осерді. Після виключення ключа, струм в індуктивності не зникає, напруга на індуктивності змінює полярність і продовжує заряджати вихідний конденсатор, індуктивність стає джерелом струму через обвідний діод D. Така індуктивність, призначена для передачі потужності, називається дроселем. Виникає нерозривний режим або режим безперервного струму, коли струм в дроселі пристрою під час роботи присутній постійно (в західній літературі такий режим називається Constant Current Mode - CCM). При зниженні струму навантаження, напруга на такому перетворювачі зростає, енергія, що накопичується в дроселі знижується і пристрій може перейти в дискретний режим роботи, коли струм в дроселі стає переривчастим. При такому режимі роботи різко підвищується рівень перешкод, створюваних пристроєм. Деякі перетворювачі працюють в прикордонному режимі, коли струм через дросель наближається до нуля (в західній літературі такий режим називається Border Current Mode - BCM). У будь-якому випадку, через дросель тече значний постійний струм, що призводить до намагнічування сердечника, в зв'язку з чим, дросель виконується особливої конструкції - з розривом або з використанням спеціальних магнітних матеріалів.

Стабілізатор на базі імпульсного перетворювача, зображений на малюнку 1.5, має пристрій, що регулює роботу ключа, в залежності від навантаження. Стабілізатор напруги реєструє напругу на навантаженні і змінює роботу ключа (схема "а"). Стабілізатор струму вимірює струм через навантаження, наприклад за допомогою маленького вимірювального опору R_i (схема "б"), включеного послідовно з навантаженням.

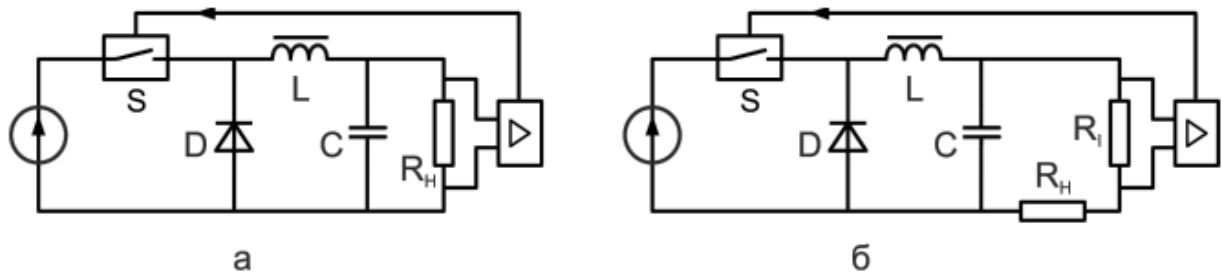


Рисунок 1.5 - Стабілізатор на базі імпульсного перетворювача

Ключ перетворювача, в залежності від сигналу регулятора, включається з різною шпаруватістю. Є два поширених способу управління ключем широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) і струмовий режим. У режимі ШІМ, сигнал помилки управляє тривалістю імпульсів при збереженні частоти проходження. У струмовому режимі, вимірюється піковий струм в дроселі і змінюється інтервал між імпульсами.

В сучасних ключових перетворювачах як ключ зазвичай використовується MOSFET транзистор.

1.4 Аналіз понижуючого, підвищуючого та інвертуючого перетворювача

Перетворювач називається знижуючим, коли напруга на навантаженні завжди нижче напруги джерела живлення. Схема понижуючого перетворювача приведена нижче на малюнку 1.6:

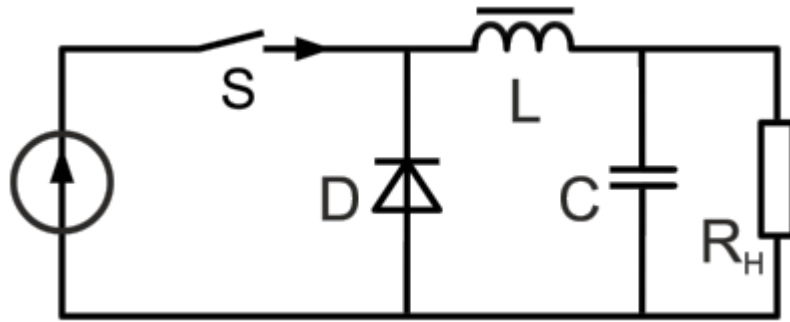


Рисунок 1.6 - Понижуючий перетворювач

Оскільки в дроселі постійно тече односпрямований струм, вимоги до вихідного конденсатору можуть бути знижені, дросель з вихідним конденсатором грає роль ефективного LC фільтра. У деяких схемах стабілізаторів струму, наприклад для світлодіодів, вихідний конденсатор може бути відсутнім взагалі. В англomовній літературі понижуючий перетворювач називається Buck converter.

Схема імпульсного стабілізатора, приведена нижче на малюнку 1.7, також працює на основі дроселя, однак дросель завжди підключений до виходу джерела живлення. Коли ключ розімкнений, живлення надходить через дросель і діод на навантаженні. Коли ключ замикається, дросель накопичує енергію, коли ключ розмикається, що виникає на його висновках ЕРС додається до ЕРС джерела живлення і напруга на навантаженні зростає.

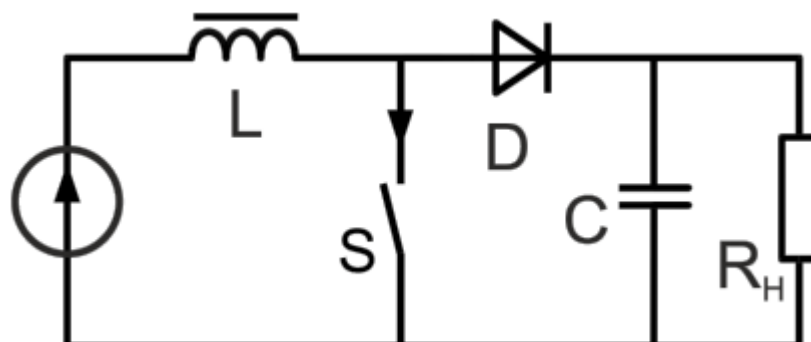


Рисунок 1.7 - Підвищуючий перетворювач

На відміну від попередньої схеми, вихідний конденсатор заряджається переривчастим струмом, отже вихідний конденсатор повинен бути великим, і, можливо, знадобиться додатковий фільтр. У західній літературі підвищуючи-понижуючий перетворювач називається Boost converter.

Ще одна схема імпульсного перетворювача, яка зображена на малюнку 1.8, працює аналогічно - коли ключ замикається, дросель накопичує енергію, коли ключ розмикається, що виникає на його висновках ЕРС буде мати зворотний знак і на навантаженні з'явиться негативна напруга.

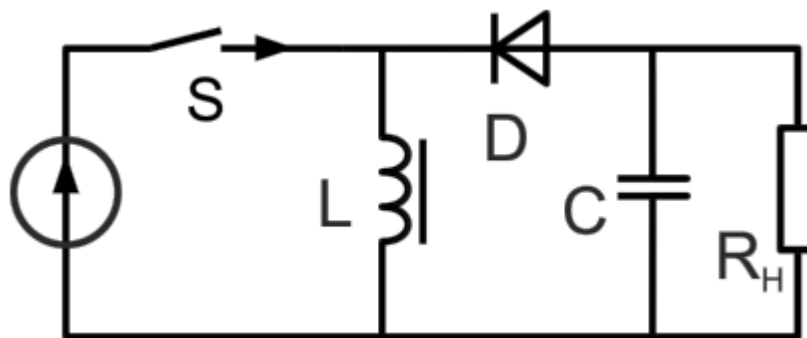


Рисунок 1.8 - Інвертуючий перетворювач

Як і в попередній схемі, вихідний конденсатор заряджається переривчастим струмом, отже вихідний конденсатор повинен бути великим, і, можливо, знадобиться додатковий фільтр. У англomовній літературі такий перетворювач називається Buck-Boost converter.

1.5 Призначення прямоходового і зворотногоходового перетворювача

Зазвичай блоки живлення виготовляються за схемою, що використовує в своєму складі трансформатор. Трансформатор забезпечує гальванічну розв'язку вторинної ланцюга від джерела живлення, крім того, ефективність блоку живлення на основі таких схем може досягати 98% і більше. Прямоходовий перетворювач, який зображений на схемі 1.9 "а", передає

енергію від джерела в навантаження в момент включеного стану ключа. Фактично - це модифікований понижуючий перетворювач. Зворотноходовий перетворювач, який зображений на схемі 1.9 "б", передає енергію від джерела в навантаження під час вимкненого стану.

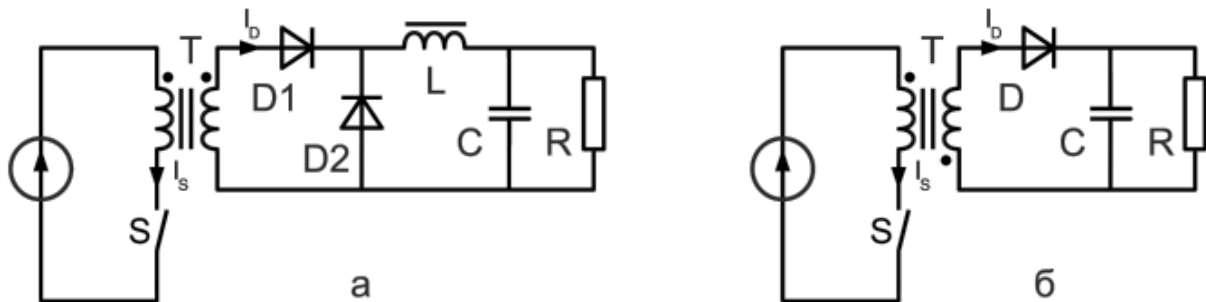


Рисунок 1.9 - Прямоходовий і зворотноходовий перетворювачі

У прямоходового перетворювача трансформатор працює в звичайному режимі і енергія накопичується в дроселі. Фактично - це генератор імпульсів з LC фільтром на виході. Зворотноходовий перетворювач накопичує енергію в трансформаторі. Тобто трансформатор поєднує властивості трансформатора і дроселя, що створює певні складності при виборі його конструкції.

У англійській літературі прямоходовий перетворювач називається Forward converter, зворотноходовий - Flyback converter.

1.6 Застосування імпульсного перетворювача як стабілізатору струму

Переважна частина імпульсних блоків живлення випускаються з стабілізацією вихідної напруги. Типові схеми таких блоків живлення, особливо потужних, крім зворотного зв'язку по вихідній напрузі, мають схему контролю струму ключового елемента, наприклад резистор з малим опором. Такий контроль дозволяє забезпечувати режим роботи дроселя.

95%. Схема стабільно працює до 15 Ватт вихідної потужності без застосування додаткових заходів щодо відведення тепла.

Ще більш проста схема виходить з використанням мікросхем ключових стабілізаторів з вбудованим ключем. Наприклад, схема ключового стабілізатора струму світлодіоду на базі мікросхеми CAV4201 / CAT4201, показана на рис. 1.11 [3].

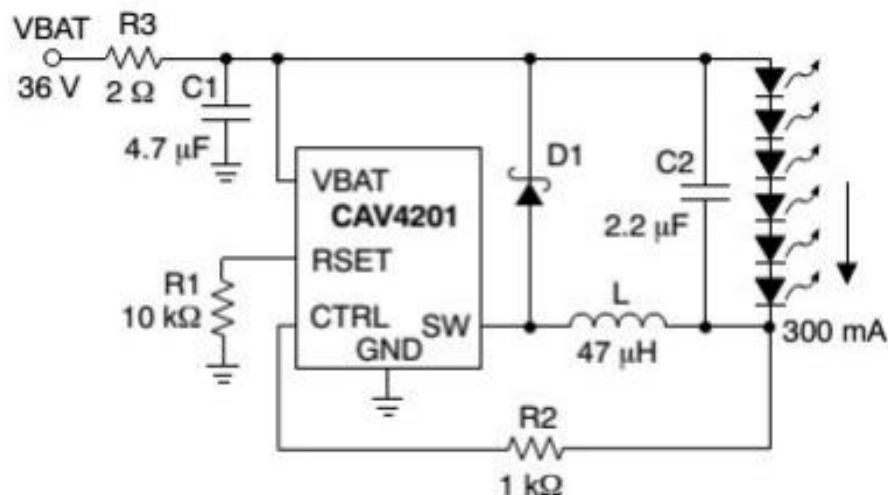


Рисунок 1.11 - Схема ключового стабілізатора струму світлодіоду

Для роботи пристрою потужністю до 7 Ватт необхідно всього 8 компонентів, включаючи саму мікросхему. Імпульсний стабілізатор працює в прикордонному режимі струму і для його роботи потрібно невеликий вихідний керамічний конденсатор. Резистор R3 необхідний при живленні від 24 Вольт і вище для зниження швидкості наростання вхідної напруги, хоча це дещо знижує ефективність пристрою. Частота роботи перевищує 200 кГц і змінюється в залежності від навантаження і вхідної напруги. Це обумовлено методом регулювання - контролем пікового струму дроселя. Коли струм досягає максимального значення, ключ розмикається, коли струм знижується до нуля - включається. Ефективність пристрою досягає 94%.

При включенні світлодіодів в ланцюжки, підвищується ККД системи за рахунок зниження кількості елементів регулювання з розрахунку на один світлодіод, але розробник стикається з проблемою зниження надійності. Це

обумовлено тим, що вихід з ладу одного світлодіоду призводить до вимикання всього ланцюжка. Для вирішення цього завдання в пристроях з світлодіодами низької потужності (до 20 мА) можна поставити паралельно кожному світлодіоду стабілітрон, який буде шунтувати світлодіод, який вийшов з ладу. Для потужних світлодіодів випускаються спеціальні елементи, наприклад, A720 ADDtek.

При використанні світлодіодів високої потужності основне значення надається конструкції світильника, яка повинна забезпечити ефективний тепловідвід як від корпусу світлодіода, так і від драйвера. І це особливо важливо, враховуючи, що основна кількість випущених світильників містять поліхромні світлодіоди білого кольору. Для цих світлодіодів навіть короточасний перегрів стає фатальним. А тривала робота в температурних умовах близьких до граничних, призводить до деградації і значного зниження світловіддачі.

Сьогодні найбільш поширені два варіанти вирішення конструкції світильника. Світильник з великою кількістю світлодіодів, включених в ланцюжок від трьох до десяти світлодіодів в кожному і блоком живлення постійної напруги 12-24 В. І конструкція на потужних світлодіодах з використанням інтегральних або корпусних драйверів постійного струму. У першому варіанті питома вартість світлодіодів вище, у другому більше уваги приділяється корпусу і питань відводу тепла.

1.7 Типи світлодіодних матриць, їх переваги і недоліки

У багатьох освітлювальних системах замість окремих світлодіодів використовуються модулі, що містять набір світлодіодних кристалів. Такі світлодіодні матриці можуть бути легко виготовлені і змонтовані. Крім того, їх схема підключення досить проста. На даний момент матриці світлодіодів з розсіяним світлом досягли великого коефіцієнта корисної дії.

Чим краще налагоджена технологія виробництва, тим більше продуктів для спеціальних застосувань і особливої форми надходить на ринок. Це також відноситься і до світлодіодів, які знаходять застосування в системах освітлення. Білі світлодіоди, які застосовуються в цій галузі, можна поділити на 4 категорії (таблиця 1.1).

Світлодіоди з вузьким кутом випромінювання були довгий час основним продуктом в портфоліо багатьох компаній - виробників світлодіодів і відповідних освітлювальних систем. Це змінилося з розвитком світлодіодних матриць. Подібні матриці доступні як в варіанті з фокусованим, так і у варіанті з розсіяним випромінюванням. З їх допомогою можлива розробка надпотужних систем освітлення в одному корпусі.

Таблиця 1.1. Категорії світлодіодів

	спрямоване світло	розсіяне світло
поодинокі світлодіоди	• однокристальні виконання • Прозорий заливний матеріал • 50-1000 лм • Продукти: XLampXM-L і XP-G компанії Cree	• Один або кілька кристалів в одному корпусі • Гомогенізований заливний матеріал на основі фосфору • 15-350 лм • Продукти: XLamp ML-E і MX-6S
світлодіодні матриці	• Мультикристальное виконання • Прозорий заливний матеріала • 200-1500 лм • Продукти: XLamp MP-L, MT-G	• Мультикристальное виконання • Гомогенізований заливний матеріал на основі фосфору • 300-5000 лм • Продукти: XLamp CXA2011 компанії Cree

Матриці світлодіодів з направленим випромінюванням дозволяють замінити системи освітлення з традиційними лампами. Як приклади таких систем можна назвати лампи PAR-38 (PAR - параболічний рефлектор з алюмінієвим покриттям) і MR-16 (MR - багатогранний рефлектор).

Матриці світлодіодів у вигляді плоского випромінювача, що випромінюють розсіяне світло, застосовуються в різних областях, наприклад в системах для загального освітлення приміщень або об'єктів. Подібні системи часто містять компактні матриці з світлодіодів. Вони можуть застосовуватися, наприклад, для освітлення дороги зовні, але також і у вбудованих лампах або в підвісних світильниках. За допомогою світлодіодів може бути досягнута ефективність від 50 до 90 лм/Вт при невеликих витратах на розробку.

Для матриць світлодіодів, випромінюючих як спрямований, так і розсіяне світло, пропонується цілий ряд допоміжних продуктів від таких компаній, як BJB, Molex і Тусо. Компанія BJB пропонує, наприклад, контактні елементи для друкованих плат зіркоподібної форми, в тому числі для світлодіодів XLamp лінійки MP-L і CXA2011 компанії Cree. Компанія Molex займається розробкою цоколів для світлодіодних матриць. Компанія Тусо в свою чергу пропонує розробникам систем освітлення різні модулі, схеми управління, кабелі, тепловідводи і оптичні компоненти.

Найбільш прості в обробці матриці світлодіодів, призначені для систем освітлення з розсіяним випромінюванням. Як правило, їх досить великий розмір дозволяє монтувати їх вручну. Пайка в конвекційної печі як домінуюча технологія створення з'єднань світлодіодів не обов'язкова. Матриці, зображені на малюнку 1.13, мають на поверхні прямі контактні площадки. Це дозволяє здійснювати монтаж вручну або за допомогою модулів-кріплень. Відведення тепла відбувається через корпус [4].

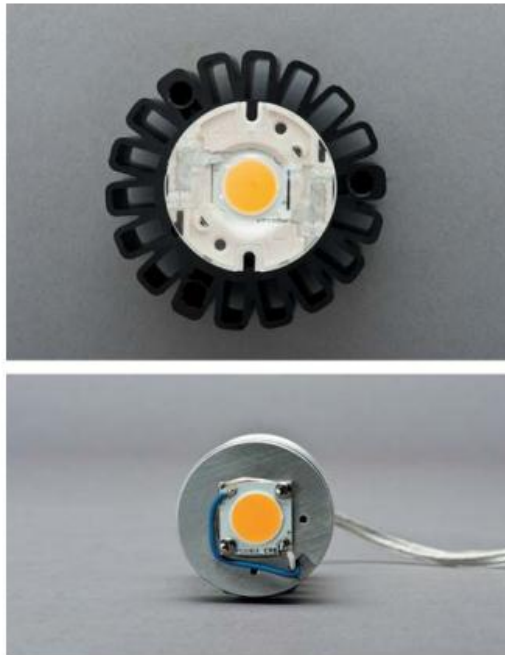


Рисунок 1.13 - Монтаж світлодіодних матриць, де використовується пайка на контактних майданчиках. Пайка в конвекційної печі не обов'язкова

На відміну від матриць, системи освітлення, що містять окремі світлодіоди, більш компактні, як у вигляді систем з великою світиться площею, так і у вигляді точкових джерел світла. У даних системах, зображених на малюнку 1.14, необхідний монтаж світлодіодів на друковану плату паянням в конвекційної печі, в тому числі з метою відведення тепла. На практиці рекомендується здійснювати монтаж світлодіодів за допомогою автомата-установника і проводити їх подальшу пайку. Цей метод є досить складним і вимагає інвестицій в відповідне обладнання.



Рисунок 1.14 - У системах освітлення з окремими світлодіодами їх монтаж на друковану плату проводиться за допомогою пайки в конвекційної печі оплавлення. Цей процес більш складний і дорогий

Застосування багатокристаліні конструкцій дозволяє виготовляти освітлювальні прилади з високою робочою напругою. Розробникам надається можливість підключення світлодіодів в різних комбінаціях паралельно або послідовно. Тим самим можна створювати матриці з необхідними значеннями струму і напруги [4].

Системи освітлення, що містять велику кількість окремих світлодіодів, мають в свою чергу високою ефективністю. У таких системах послідовно з'єднуються ланцюжка з світлодіодів. Подібні ланцюжка світлодіодів відрізняються високим входним напругою при одночасно низькому струмі і дозволяють тим самим розробникам реалізовувати більш низьке споживання енергії. Це також можливо із застосуванням матриць світлодіодів з декількома мікрочіпами, наприклад матрицею XLamp CXA2011, яка призначена для 40 В.

Більшість розробників освітлювальних систем використовують світлодіодні матриці з розсіяним випромінюванням як у традиційних джерел світла. В системі використовується один світлодіодний компонент. У зв'язку

з цим компанії розробили матриці світлодіодів зі світловим потоком в діапазоні від 500 до 5000 лм. Так, наприклад, матриця CXA2011 компанії Cree доступна у варіантах від 500 до 3000 лм. Подібна матриця може використовуватися у великій кількості освітлювальних систем різноманітного застосування, незалежно від значень струму і напруги.

Два фактори обмежують застосування світлодіодних матриць, призначених для освітлення великих поверхонь: розподіл світла і ефективність системи. У разі, якщо необхідний вузькоспрямований пучок світла, застосування світлодіодних матриць з розсіяним випромінюванням недоцільно. Їх великі розміри вимагають відповідно великих оптичних компонентів (відбивачів та лінз). Більш високою ефективністю і найкращим співвідношенням ціни і якості володіють матриці світлодіодів з направленим випромінюванням. Їх площа становить $9,1 \times 9,1$ або 12×13 мм. У порівнянні з ними світлодіодні матриці, як, наприклад, CXA2011 компанії Cree, займають площу 22×22 мм (рис. 1.15).

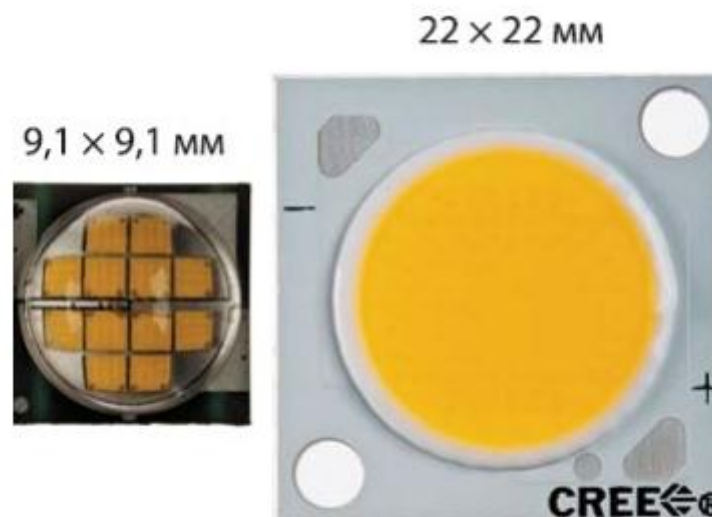


Рисунок 1.15 - Порівняння розмірів світлодіодної матриці (праворуч), модуля CXA2011, і окремого світлодіода, в даному випадку XLamp MT-G компанії Cree.

Матриця займає площу, рівну 484 мм^2 , світлодіод MT-G лише $82,81 \text{ мм}^2$. Розробники систем освітлення, призначених для освітлення великих

поверхонь, повинні також враховувати наступний фактор: ефективність і відведення тепла, що виділяється світлодіодами. На даний момент найбільш ефективними світлодіодними системами освітлення є вуличні ліхтарі і підвісні лампи великих залів. Вони досягають значень в 100 лм/Вт.

Такі системи містять окремі світлодіоди з направленим випромінюванням. Це пов'язано з досягненням найбільш високу ефективність системами освітлення, що складаються з окремих світлодіодів і ув'язненими в оптично і термічно оптимізований корпус.

Для досягнення оптимального відводу тепла матриця з окремих світлодіодів оснащується елементами тепловідведення з великою площею. Світлодіоди монтуються на великій відстані один від одного для поліпшення відведення тепла. Чим ближче розташовані один до одного світлодіоди в матриці, тим гірше відведення тепла і пов'язана з ним ефективність системи в цілому.

Для деяких застосувань рекомендується використовувати світлодіодні модулі замість матриць, рис. 1.16.



Рисунок 1.16 - У деяких застосуваннях вигідніше замість світлодіодної матриці використовувати цілий світлодіодний модуль, що включає в себе блок живлення і оптичні компоненти

Світлодіодний модуль складається з наступних компонентів:

- світлодіоди;

- блок живлення;
- оптичні компоненти;
- корпус.

Подібний модуль, як, наприклад, LMR4 компанії Cree, може бути встановлений в металеву арматуру. В даному випадку розробнику системи освітлення немає необхідності вирішувати завдання підключення схеми і корпусування компонентів.

Таким чином, світлодіодні матриці, що включають в себе велику кількість кристалів з розсіяним випромінюванням, можуть застосовуватися у всіляких системах освітлення. До них відносяться вбудовані і підвісні лампи. Головна перевага таких матриць полягає в простому виготовленні і монтажі. Крім того, з їх допомогою можна досягти високої ефективності системи в цілому. Тим самим світлодіодні матриці з великою кількістю кристалів є для розробників систем освітлення хорошою альтернативою окремим світлодіодам.

Ціновий діапазон матриць може коливатися в залежності від потужності і типу виконання від 20 до 490 грн (за 300 Вт модуль). Ціни на готові драйвери як правило не перевищують 50 грн, але вони розраховані на поодинокі світлодіоди і невеликі стрічки, що звужує їх діапазон застосування. Тому розробка імпульсного стабілізатора струму є актуальним завданням.

2. ІНТЕГРАЛЬНІ ДРАЙВЕРИ ДЛЯ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

2.1 Драйвери, що понижують напругу

Для забезпечення стабільності хроматичних показників світлодіодів (і, відповідно, освітлювальних приладів, виконаних на їх основі), тривалого терміну служби і надійності світлодіоди необхідно живити стабілізованою струмом. Стабілізацію струму можна здійснити, застосовуючи інтегральні мікросхеми - світлодіодні драйвери.

Світлодіодні драйвери діляться на дві групи: AC/DC- та DC/DC драйвери. AC/DC-драйвери детально розглянуті в окремій статті в цьому ж номері журналу. DC/DC-драйвери, в свою чергу, в залежності від значення вхідної і вихідної напруги діляться на понижуючі, що підвищують і понижуючий-підвищуючий перетворювачі. Є, звичайно, і лінійні стабілізатори струму, але з урахуванням їх низької ефективності вони практично не застосовуються для живлення потужних світлодіодів, а використовуються для живлення тільки над'яскравих світлодіодів, де струми досить невеликі (кілька десятків мА). Світлодіодні драйвери випускаються багатьма виробниками інтегральних мікросхем, в лінійці продукції яких є IC для джерел живлення. У даній статті розглянуті DC/DC-драйвери для потужних світлодіодів таких виробників, як Texas Instruments, STMicroelectronics, ZETEX Semiconductors, ON Semiconductor і Makroblock [3].

Одна з широко застосовуваних топологій перетворювача для живлення світлодіодів - понижуючий перетворювач.

Світлодіодні інтегральні драйвери фірми Macroblock знаходять широке застосування в управлінні потужними освітлювальними і понад яскравими сигнальними світлодіодами. Лінійка представлена як багатоканальними (16, 8, 4), так і одноканальними драйверами в різних корпусах для поверхневого монтажу, призначеними для живлення і управління, як окремих світлодіодів, так і груп світлодіодів.

Драйвери представлені основними класами:

- цифрові драйвери - драйвери, що мають цифровий інтерфейс (управління по шині): MBI5025, MBI5026, MBI5030, MBI5031, MBI5039, MBI5168, MBI5170;

- потужні драйвери - драйвери для живлення потужних освітлювальних або великої кількості над'яскравих сигнальних світлодіодів: MBI6651;

- драйвери підсвічування - призначені для живлення світлодіодів підсвічування різних приладів і пристроїв: MBI1008.

Недорогим і ефективним знижувальним драйвером управління потужними світлодіодами є мікросхема MBI6651 виробника Makroblock. Даний виробник більш відомий широкофункціональними драйверами для світлодіодних екранів і багатоканальними драйверами для над'яскравих світлодіодів, але також має в своїй лінійці ефективний драйвер для потужних освітлювальних світлодіодів [1].

Мікросхема є частотно-імпульсний понижуючий перетворювач з гістерезисних методом управління по вихідному струму. Даний метод управління виключає потребу в ланцюгах компенсації контуру регулювання і зменшує кількість використовуваних компонентів (потрібно всього чотири зовнішніх компонента (рис. 2.1)), що спрощує проектування джерела живлення. Значення вихідного струму задається зовнішнім резистором R_{sen} і може досягати максимального значення 1 А в діапазоні вхідної напруги 9 ... 36 В.

Для роботи даної мікросхеми потрібно дуже невелике значення напруги на датчику струму R_{sen} (0,1 В), завдяки чому мінімізуються втрати, що виникають в цьому ланцюзі, і підвищується загальний ККД перетворювача. Драйвер має високе значення ефективності: до 96% при вхідній напрузі 12 В і навантаженні, що складається з ланцюжка трьох послідовно з'єднаних світлодіодів на струмі 350 мА. Частота перемикання драйвера знаходиться в діапазоні 40 ... 1000 кГц.

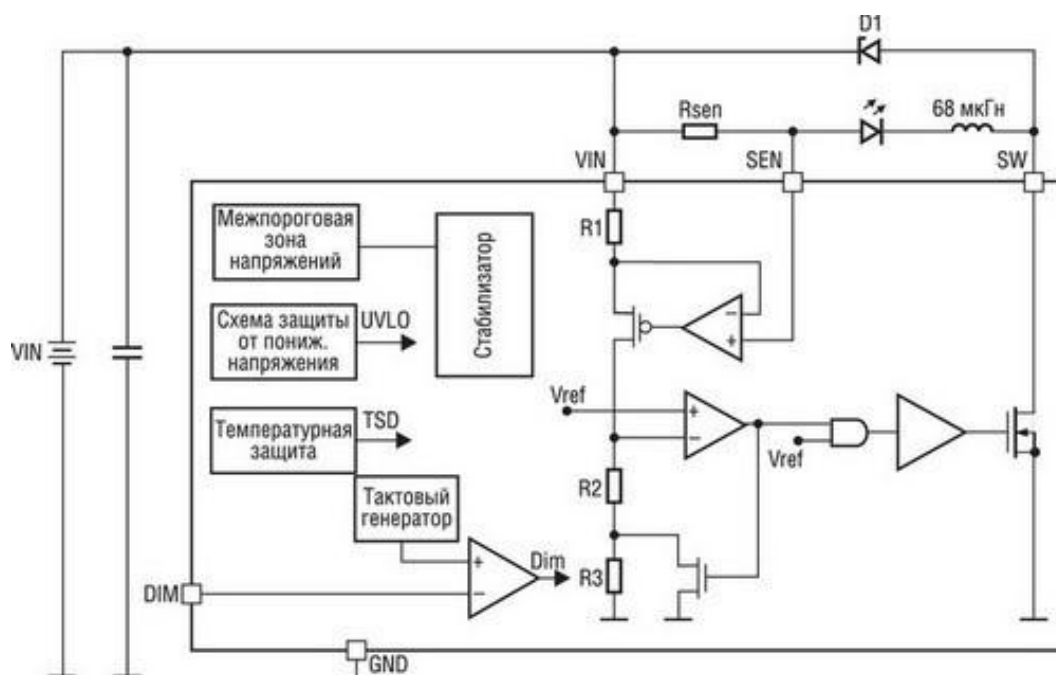
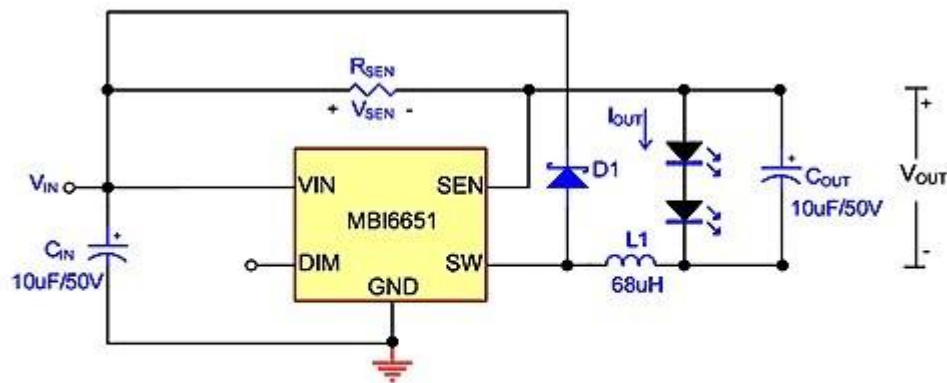


Рисунок 2.1 - Типова схема включення MBI6651

Мікросхема має окремий вхід для управління яскравістю світлодіодів (DIM). Подаючи на цей вхід керуючий ШІМ-сигнал логічного рівня, можна здійснювати регулювання струму через світлодіоди практично від нуля до обраного (R_{sen}) значення.

У драйвері реалізований комплекс захисних заходів: захист від обриву і короткого замикання вихідний ланцюга; температурний захист, яка відключає мікросхему при нагріванні корпусу понад 135 °C і «м'який» старт, що виключає кидок струму через світлодіоди при подачі живлення (рис. 2.2).



C_{IN}: VISHAY, 293D106X9050D2TE3, D case Tantalum Capacitor
 C_{OUT}: VISHAY, 293D106X9050D2TE3, D case Tantalum Capacitor
 L1: GANG SONG, GSDS106C2-680M
 D1: ZOWIE, SSCD206

Рисунок 2.2 - Типова схема застосування

Мікросхема випускається в трьох типах корпусів для поверхневого монтажу: TO-252-5L, SOT23-6L і MSOP-8L.

Подібний драйвер ZXLD1362 з близькими характеристиками, але з більш широким діапазоном вхідної напруги (6 ... 60 В), є і в лінійці продукції іншого відомого виробника інтегральних драйверів для світлодіодів: ZETEX Semiconductors. Причому, мікросхема випускається в корпусі TSOT23-5 і за висновками повністю відповідає виробу Makroblock в корпусі SOT23-6L (висновок 4 у мікросхем не використовується).

У таблиці 2.1 наведені короткі параметри DC-DC понижуючих драйверів ZETEX для потужних світлодіодів.

Таблиця 2.1 - Інтегральні знижують драйвери ZETEX для потужних світлодіодів

Найменування	Діапазон вхідної напруги, В	Макс. частота перетворення, МГц	Макс. вихідний струм, мА	Дімінг	Струм, що споживається, мкА	Тип корпусу
ZXLD1320	4...18	0,6	1500	+	12	DFN14
ZXLD1321	1,2...12	0,6	1000	+	12	DFN14
ZXLD1322	2,5...15	0,6	700	+	12	DFN14
ZXLD1350	7...30	1,0	350	+	15	TSOT23-5
ZXLD1360	7...30	1,0	1000	+	20	TSOT23-5
ZXLD1362	6...60	0,5	1000	+	65	TSOT23-5

Як понижуючого перетворювача для живлення світлодіодів можливо також застосування понижувальних стабілізаторів напруги. Необхідно тільки видозмінити схему включення так, щоб стабілізувався струм, а не напруга. Подивимося, як це можна реалізувати на прикладі мікросхеми L5973D виробництва STMicroelectronics.

Мікросхема L5973D є DC/DC регульованим знижувальним стабілізатором напруги з вхідною напругою до 36 В і вихідним напругою до 35 В, при максимальному вихідному струмі до 2,5 А. Можливою навантаженням в нашому випадку може бути до 8 ... 10 шт. білих світлодіодів в ланцюжку на струмі від 350 мА до 1,5 ... 2 А, що цілком достатньо для багатьох застосувань. На рис. 2.3 представлена схема включення L5973D як стабілізатору струму.

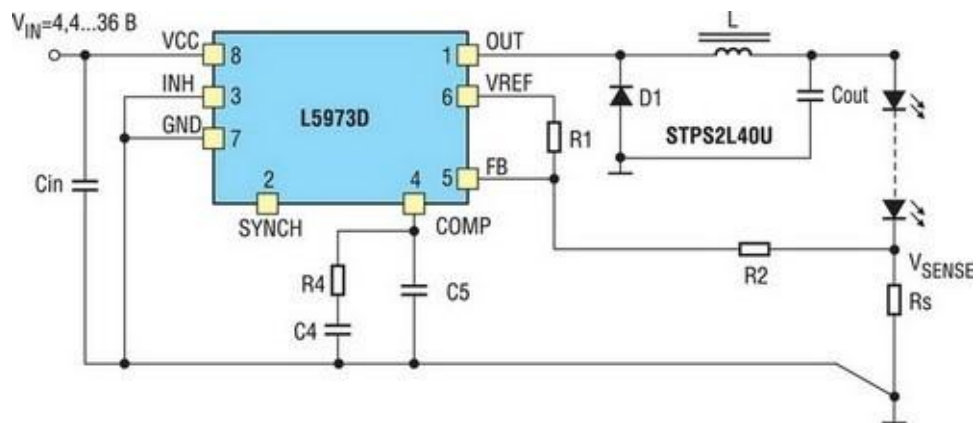


Рисунок 2.3 - L5973D в режимі стабілізації струму

Датчиком струму є резистор R_s . Напруга, що утворюється на ньому за рахунок протікання струму ланцюжка світлодіодів, подається на вхід зворотного зв'язку мікросхеми FB. З огляду на те, що внутрішнє опорне напруга мікросхеми має значення 1,235 В, і напруга зворотного зв'язку повинно мати таке ж значення, то на R_s буде виділятися велика потужність, яка знизить загальний ККД пристрою. Наприклад, якщо вибрано значення струму через ланцюжок світлодіодів на рівні 700 мА, то виділяється на резисторі потужність складе 0,86 Вт. Це вимагатиме застосування потужного резистора (більше 1 Вт) і відведення додаткового тепла.

Цей недолік (підвищене значення опорного напруги) можна обійти, ускладнивши схему, наприклад, застосувавши операційний підсилювач (ОП) для посилення напруги датчика струму (рис. 2.4).

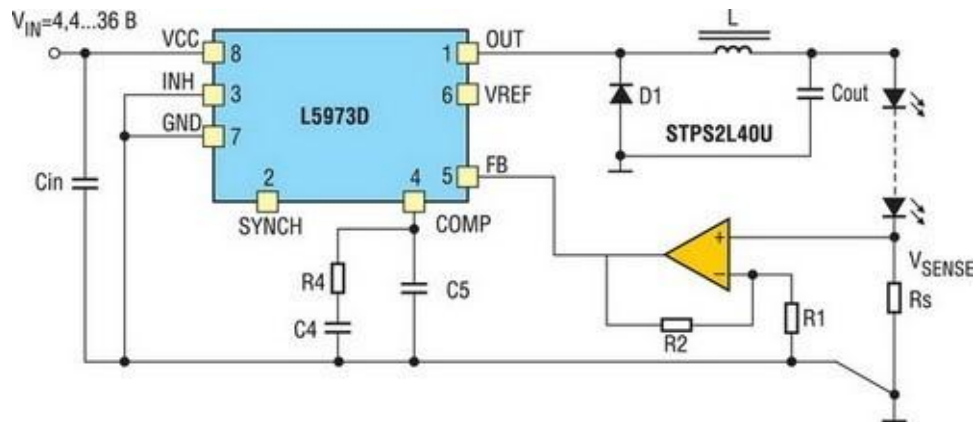


Рисунок 2.4 - L5973D в режимі стабілізації струму з підсилювачем напруги датчика струму

Коефіцієнт посилення (K) введеної додатково схеми визначається як: $K = 1 + R2 / R1$ і вибирається таким, щоб напруга на R_s становило десяті частки вольт. Однак, не варто забувати, що нововведений ОУ має висновки живлення, і на них необхідно подати напругу.

Мікросхема має вхід зовнішньої синхронізації SYNCH, який може бути корисний, якщо використовувати дану мікросхему в складі будь-якої системи, яка вже має власне джерело частоти до 700 кГц. В цьому випадку перетворення відбуватиметься на вже існуючій частоті, і внесок драйвера в загальну обстановку по завадам буде мінімальним.

З розглянутих схем видно, що якщо як стабілізатор струму використовувати стабілізатор напруги, то важливо вибирати мікросхему з мінімально можливим значенням опорного напруги, тоді схема буде мати більш простий вигляд і значення ККД. Причому ККД, що приводиться в інформаційних листах розробників для роботи мікросхеми в режимі стабілізації напруги, не має нічого спільного з ККД джерела, який вийде при роботі цієї ж мікросхеми в режимі стабілізації струму. Отримане значення ККД буде завжди менше [3].

Компанія STMicroelectronics пропонує використовувати для живлення світлодіодів не тільки стабілізатори напруги. У номенклатурі її продукції є і DC/DC-стабілізатори струму - серія мікросхем STCS05/1/2, що відрізняються один від одного максимальним значенням вихідного струму 0,5 А/1,5 А/2 А, відповідно. Мікросхеми призначені для роботи від джерела постійної напруги в діапазоні 4,5 ... 40 В. Необхідне значення вихідного струму встановлюється резистором R_{fb} (рис. 2.5).

Опорна напруга має невелику величину - 100 мВ, що дозволяє створювати на базі цих мікросхем ефективні джерела живлення світлодіодів. Є вхід PWM - подачі ШІМ-сигналу для управління яскравістю світлодіодів. Передбачено вхід EN відключення/включення навантаження. Наявний висновок DISC дозволяє визначити стан вихідний ланцюга: високий рівень напруги на цьому виведення означає, що вихідна ланцюг розімкнута.

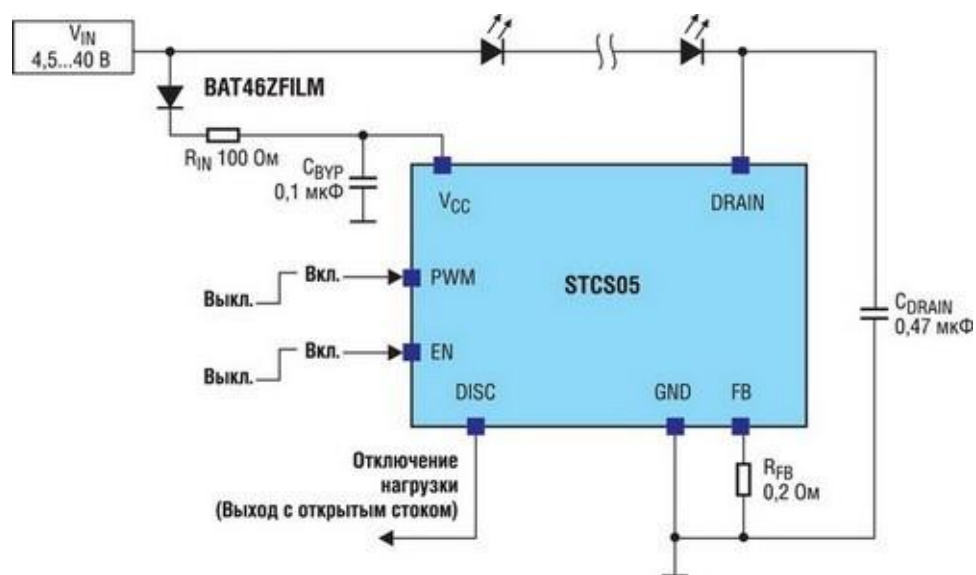


Рисунок 2.5 - Типова схема включення STCS05/1/2

Сигнал з цього висновку можна використовувати для інформування системи про проблему в вихідний ланцюга (наприклад, при обриві світлодіоду). Кількість зовнішніх компонентів схеми мінімально, причому діод в схемі служить для захисту мікросхеми від переполюсування і може

Драйвер характеризується невисоким значенням порогового напруги на вході зворотного зв'язку, що задає величину струму через ланцюжок світлодіодів. Номінальне значення цієї напруги становить 235 мВ. Вихідний каскад даної мікросхеми виконаний за схемою Дарлінгтона на біполярних транзисторах з максимальним значенням вихідного струму до 1,5 А в діапазоні вхідної напруги 5 ... 40 В. Частота перетворення ІС становить 250 кГц.

Значення вихідного струму через ланцюжок світлодіодів задається резисторами R4, R5. Резистори R1, R2 забезпечують захист мікросхеми від короткого замикання в навантаженні і від обриву ланцюга зворотного зв'язку. При виникненні на цих резисторах напруги більше 200 мВ відбувається відключення мікросхеми. Драйвер має зовнішній вхід включення/відключення (ON/OFF), і цей же вхід можна використовувати для управління яскравістю світіння світлодіодів (діммінг), якщо подати на нього ШІМ-сигнал з частотою 1 кГц.

У мікросхемі реалізовано захист від перегріву з гістерезисом, який спрацьовує при нагріванні вихідного ключа до температури 160 °С. ККД перетворювача досягає 87% при близьких значеннях вхідного і вихідного напруг. Доступно автомобільне виконання ІС NCV3066, а також версія без функції включення / відключення: NCP3065.

Подібний підвищує драйвер, але з більш широким діапазоном вхідної напруги (4,5 ... 52 В) є і в іншого відомого виробника Texas Instruments TPS40210 / 11. Типова схема включення наведена на рис. 2.7.

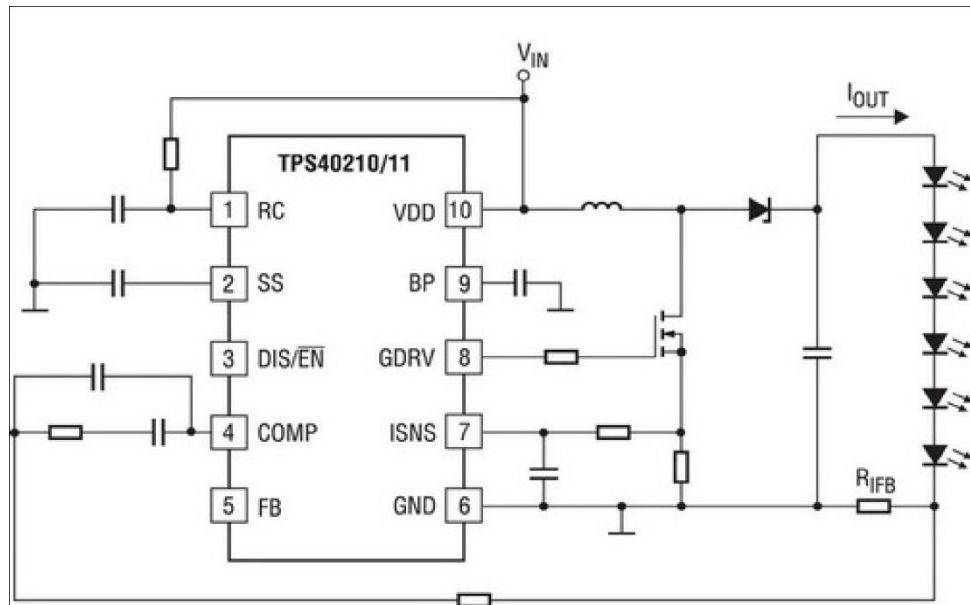


Рисунок 2.7 - Типова схема включення TPS40210/11

Драйвер TPS40211 відрізняється від TPS40210 значенням опорного напруги петлі зворотного зв'язку - 260 і 700 мВ відповідно. Тому TPS40211 більш краща для використання в стабілізаторах струму.

Частота перетворення визначається номіналами RC-ланцюжка, підключеної на висновок RC. Максимальне значення частоти перетворення 1000 кГц, але можливо і використання зовнішнього генератора, при цьому частота може бути трохи вище. Вихідний струм задається резистором R_{ifb} . Варто відзначити, що в даній мікросхемі не реалізована захист від короткого замикання в навантаженні, тому слід застосовувати додаткові зовнішні схемотехнічні рішення. Є режим плавного запуску, конфігурується за допомогою зовнішніх компонентів. Напруга на виході перетворювача повторює форму напруги на виводі SS. Ця напруга формується внутрішнім резистором і зовнішнім конденсатором, що підключається до висновку SS. Час плавного запуску одно часу досягнення напруги 700 мВ на цьому висновку. Час необхідно вибрати так, щоб не відбулося перевантаження по струму.

Вимкнення контролера здійснюється подачею на висновок DIS/EN сигналу високого рівня. У цьому режимі відбувається відключення

вбудованого лінійного стабілізатора, яке живить внутрішні вузли. Таким чином, навантаження виявляється відключеною від живлення. Струм споживання мікросхеми в цьому режимі складає всього 10 мкА.

2.3 Підвищуючи-понижуючий драйвер

Сфера застосування - наприклад, потрібно жити потужний світлодіод з прямим падінням напруги 3,5 В від літєвий акумулятор з напругою 4,2 В (заряджений) до 2,7 В (розряджений). Можна зібрати двохкаскадний перетворювач: включити послідовно спочатку підвищує каскад, а потім понижуючий. При цьому вихідна напруга першого каскаду повинна лежати за межами зміни напруги на вході, а потрібна вихідна напруга буде формуватися на виході другого перетворювача. На жаль, тут потрібно два контролера, дві індуктивності і два ключа, а загальна ефективність буде свідомо нижче однокаскадного. Хоча в деяких випадках застосовується і така схема.

Інвертуючий перетворювач може як підвищувати, так і знижувати вхідна напруга, але вихідна напруга в ньому інвертований по відношенню до вхідного, що не завжди може бути прийнятно.

Також застосовується топологія SEPIC (Single-Ended Primary Inductance Converter, перетворювач з несиметрично навантаженої первинної індуктивністю), але тут використовуються дві індуктивності, що веде до збільшення габаритів пристрою. Ці індуктивності можуть бути більше за розміром, ніж використовувані в схемі напівпровідникові компоненти.

Для використання в перетворювачах з топологією SEPIC можна застосовувати більшість мікросхем, призначених для роботи в підвищувальних (boost) перетворювачах. При цьому необхідно пам'ятати, що деякі з цих мікросхем для SEPIC використовувати не можна через

Мікросхема містить понижуючий і підвищує каскади, що працюють на одну індуктивність. Перемикання між топологією відбувається автоматично в залежності від вхідної напруги.

Дана мікросхема призначена насамперед для додатків, що використовують Li-Ion елемент, а також 2- або 3-елементну батарею живлення, де важливим показником є коефіцієнт корисної дії (ККД). При струмі навантаження 320 мА ККД драйвера дуже високий - доходить до 96%, що позитивним чином впливає на ефективність використання акумулятора. Приріст часу роботи акумулятора в цьому випадку становить до 28% (в діапазоні напруги 3,5 ... 2,7 В). Однак, ці дані справедливі при роботі перетворювача в режимі стабілізації напруги, для якого він і розроблявся, а при роботі в режимі стабілізації струму вони будуть іншими. Опорна напруга зворотного зв'язку становить 500 мВ, що не можна назвати дуже низьким, тому ККД в режимі стабілізації струму буде нижче заявленого.

Перетворення в драйвері відбувається на фіксованій частоті 1,5 МГц, також можна використовувати і зовнішню синхронізацію частотою до 1,8 МГц. Для досягнення максимальної ефективності застосовується синхронне випрямлення. Максимальне значення вихідного струму може доходити до 1,2 А при вхідній напрузі 3,6 ... 5,5 В і до 0,8 А при 2,4 ... 3,3 В. Є режим зниженого енергоспоживання, в який мікросхема переходить автоматично. У мікросхемі реалізований захист від перегріву і короткого замикання на виході. Передбачений режим м'якого старту.

Практично для будь-яких завдань, де є постійна напруга (одиниці і десятки Вольт) можна підібрати відповідний драйвер для живлення світлодіодів, що задовольняє поставленим завданням. Джерело живлення забезпечує якісні характеристики обладнання на протязі всього терміну служби, тому до вибору як мікросхеми, так і схеми побудови перетворювача необхідно підходити з урахуванням різних особливостей схемотехнічного і конструктивного характеру.

Аналізуючи завдання проекту та інтегральні мікросхеми, які були розглянуті, в наступному розділі проведемо розрахунок стабілізатору струму для світлодіодів на базі MBI6651.

3. АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА

3.1 Вихідні дані для моделювання

Вихідні дані:

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для моделювання

напруга мережі живлення, U_1 , В	220
вихідна напруга, U_2 , В	12
відхилення напруги мережі живлення від номінального значення, ΔU_1 , %	+ 10 ... - 15
частота мережі живлення, f_c , Гц	50
номінальне значення струму навантаження, I_d , А	1,0
відхилення вихідного струму від номінального значення, ΔU_d , %	1, 0
коефіцієнт пульсацій вихідного струму, k_p	0,01

Аналізуючи технічні вимоги та літературний огляд оберемо в якості стабілізатору струму драйвер MBI6651. MBI6651 - це високоефективний понижуючий DC/DC перетворювач постійного струму. Він призначений для подачі постійного струму для потужного світлодіода тільки з 4 зовнішніми компонентами. Вихідний струм MBI6651 можна запрограмувати за допомогою зовнішнього резистора, а затемнення світлодіода можна регулювати за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) через вивід DIM. Крім того, функція запуску обмежує пусковий струм при включеному живленні. MBI6651 також має функцію захисту від зниженої напруги (UVLO), захист від перегріву, захист від розмикання світлодіодів і захист від короткого замикання світлодіодів для захисту ІС від пошкоджень [1].

Крім того, для забезпечення надійності системи в MBI6651 вбудована функція теплового захисту (TP). Цей тип блокування захищає ІС від

перегріву (165 °C) в різних умовах застосування. MBI6651 пропонує корпуси з підвищеною температурою, а також для більш ефективного управління потужністю, що розсіюється. MBI6651 доступний в корпусах TO-252, SOT236 і MSOP-8.

Основні параметри:

- Постійний вихідний струм 1A;
- ККД 96% при входній напрузі 12 В, 350 мА, 3 світлодіоди;
- Діапазон входної напруги 9 ~ 36 В;
- Гистерезис PFM підвищує ефективність при легкому навантаженні;
- Настроюваний вихідний струм;
- Вбудований вимикач живлення з $R_{ds}(\text{вкл}) = 0,45 \text{ Ом}$;
- Повний захист: Тепловий / UVLO / Пуск / Відрив світлодіоду /

Коротке замикання;

- Потрібні тільки 4 зовнішніх компонента.

Структурна схема драйверу показана на рис. 3.1.

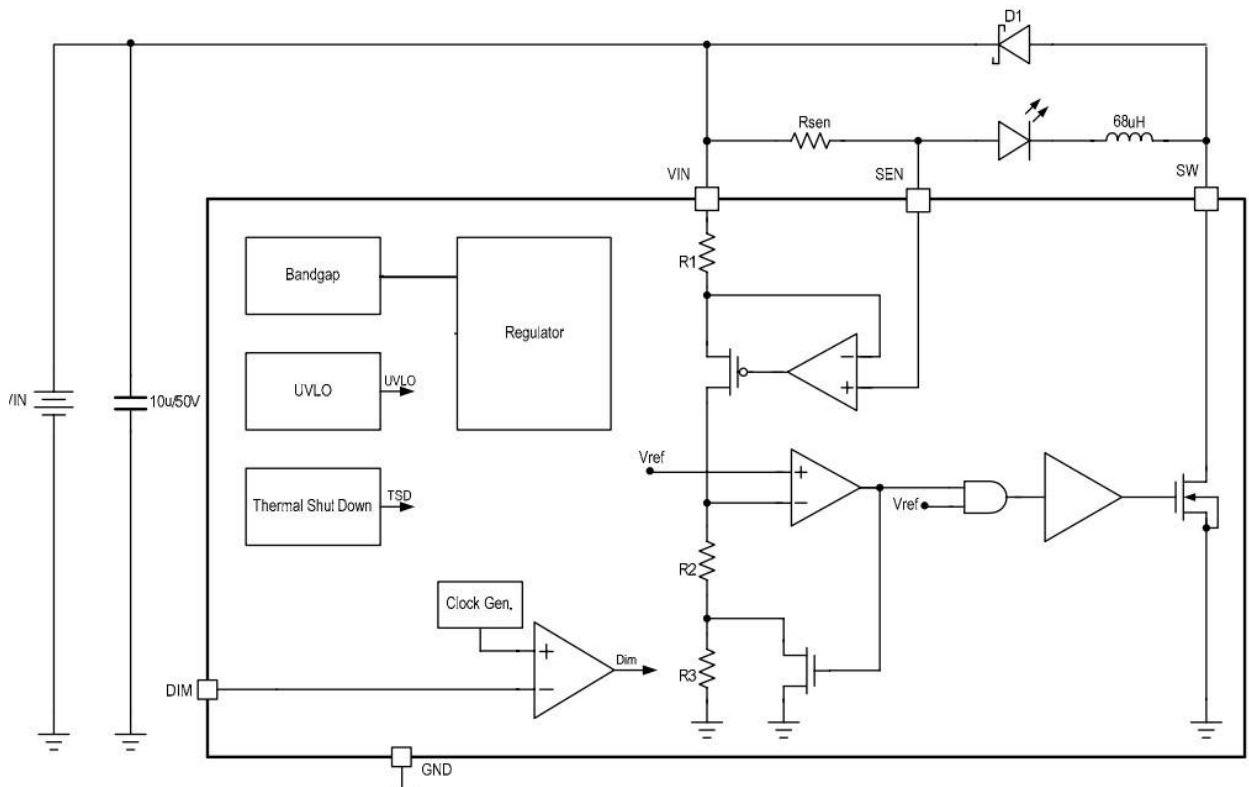


Рисунок 3.1 — Структурна схема драйверу MBI6651

Опис виводів:

- GND Термінал заземлення для логіки управління і споживання струму
- SW Switch вихідний термінал
- DIM Регулятор управління яскравістю
- SEN Вихід струмового клеми
- VIN Клема напруги живлення

MBI6651 - це простий і високоефективний понижуючий перетворювач з можливістю навантаження до 1 А. MBI6651 використовує гістерезисну схему управління PFM для регулювання змін навантаження і вхідної напруги. Гістерезисна управління PFM не вимагає петлевої компенсації, що забезпечує дуже швидку реакцію на перехідну навантаження і досягнення чудової ефективності при легкому навантаженні.

3.2 Налаштування вихідного струму

Вихідний струм (IOUT) встановлюється зовнішнім резистором RSEN.

Відносини між IOUT і RSEN такі, як показано нижче; $V_{sen} = 0.1V$.

$$RSEN = (V_{sen} / IOUT) = (0.1V / IOUT).$$

$$IOUT = (V_{sen} / RSEN) = (0.1V / RSEN),$$

де RSEN - опір зовнішнього резистора, підключеного до клеми SEN, а VSEN - напруга зовнішнього резистора. Таким чином, номінал опору RSEN при струмі 1А становить 0.1 Ом.

Мінімальна вхідна напруга є сумою падінь напруги на RSEN, RS, DCR L1, Rds (вкл) внутрішнього MOSFET і загальної прямої напруги світлодіодів. Динамічний опір світлодіода RS є інверсією нахилу в лінійної прямої моделі напруги для світлодіода. Ця електрична характеристика може бути надана виробниками світлодіодів. Еквівалентний імпеданс схеми MBI6651 показаний на рис.3.2.

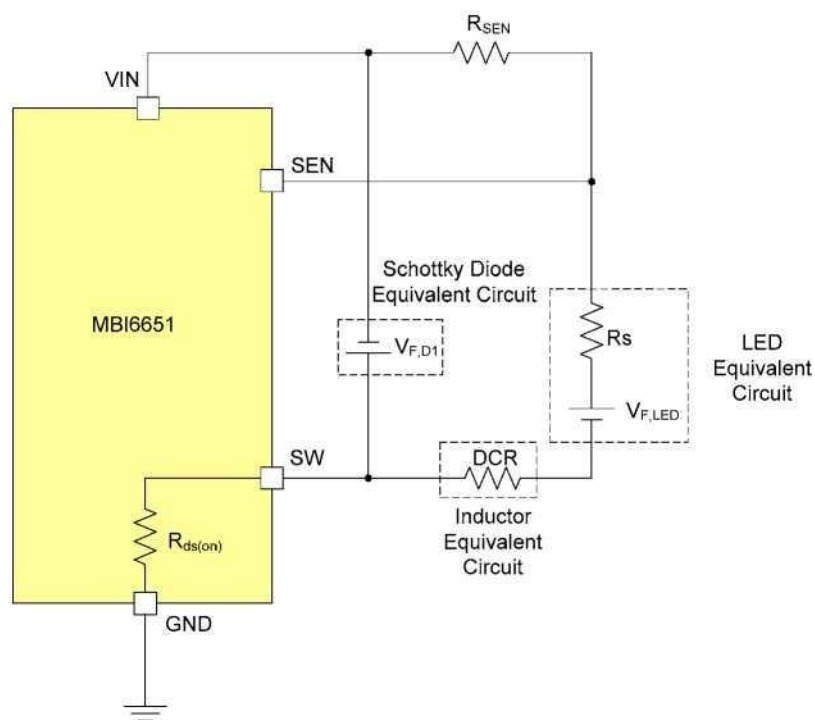


Рисунок 3.2 - Еквівалентна схема

Оскільки вхідна напруга може бути менше мінімальної вхідної напруги, при якій виконуються умови запуску, вихідний струм буде більше, ніж попередньо встановлений вихідний струм. Таким чином, при цій обставині вихідний струм обмежений в 1,15 рази від попередньо встановленого.

Коли напруга на VIN MBI6651 нижче 8,0 В, вихідний струм MBI6651 буде відключений. Коли напруга VIN MBI6651 відновиться до 8,0 В, вихідний струм MBI6651 буде знову включений.

Регулювання яскравості світлодіодів може бути виконано шляхом подачі сигналів ШІМ на вивід DIM. Низький логічний рівень (нижче 0,5 В) на DIM відключить внутрішній польовий МДН-транзистор і відключить подачу струму на матрицю світлодіодів. Внутрішня схема, що підтягує гарантує, що MBI6651 включений, коли вивід DIM не підключений. Отже, необхідності в зовнішньому резисторі немає.

3.3 Вибір частоти перемикання

Для досягнення більшої точності вихідного струму частота перемикання повинна визначатися мінімальним часом включення / вимикання сигналу SW. Наприклад, якщо робочий цикл MBI6651 більше 0,5, то частота перемикання повинна визначатися мінімальним часом відключення, і навпаки. Таким чином, частота перемикання MBI6651 становить:

$$f_{sw} = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{\frac{T_{OFF,min}}{(1-D)}}, \text{ коли робочий цикл більший ніж } 0,5 \quad (3.1)$$

$$\text{або } f_{sw} = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{\frac{T_{ON,min}}{D}}, \text{ коли робочий цикл менший ніж } 0,5 \quad (3.2)$$

Частота перемикання пов'язана з ефективністю (краще на низькій частоті), розміром / вартістю компонентів (менше / дешевше на високій частоті), а також амплітудою вихідних пульсацій напруги і струму (менше на високій частоті). Більш повільна частота перемикання обумовлена великим значенням індуктора. У багатьох додатках чутливість ЕМІ обмежує частоту перемикання MBI6651. Частота перемикання може бути в діапазоні від 40 кГц до 1,0 МГц. Оберемо 100 кГц.

Драйвер постійного струму для світлодіодів, такий як MBI6651, призначений для управління струмом через каскадний світлодіод замість напруги на ньому. Більш високий струм пульсації світлодіодів дозволяє використовувати меншу індуктивність, меншу вихідну ємність і навіть без вихідного конденсатора. Переваги більш високого пульсуючого струму світлодіодів полягають у тому, щоб мінімізувати розмір друкованої плати і знизити вартість через відсутність вихідного конденсатора. Більш низький струм пульсації світлодіодів вимагає більшої індуктивності і вихідного конденсатора. Переваги більш низького струму пульсації світлодіодів

полягають у тому, що вони продовжують термін служби світлодіодів і зменшують нагрів світлодіодів. Рекомендований пульсаційний струм становить від 5% до 20% від нормального струму світлодіода.

3.4 Вибір індуктора

Індуктивність визначається двома факторами: частотою перемикання і пульсуючим струмом індуктора. Розрахунок індуктивності L_1 можна описати як

$$L_1 > (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SEN} - (R_{ds(on)} \times I_{OUT})) \times \frac{D}{f_{sw} \times \Delta I_L} \quad 3.3$$

де $R_{ds(on)}$ - це опір внутрішнього польового МОП-транзистора MBI6651. Типовим є 0,45 Ом при 12 В вхідної напруги.

D - робочий цикл MBI6651, $D = V_{OUT} / V_{IN}$.

f_{sw} - частота перемикання MBI6651.

ΔI_L - пульсуючий струм індуктора, $\Delta I_L = (1.15 \times I_{OUT}) - (0.85 \times I_{OUT}) = 0.3 \times I_{OUT}$.

При виборі індуктора, не тільки індуктивність, але і струм насичення, який слід розглядати як чинники, що впливають на продуктивність модуля. Загалом, рекомендується вибирати індуктивність зі струмом світлодіодів в 1,5 рази більше струму насичення. Крім того, чим більше індуктивність, тим краще регулювання лінії/навантаження. Однак індуктивність і струм насичення стають компромісом при однаковому розмірі індуктора. Для зменшення перешкод від електромагнітних завад рекомендується використовувати індуктор зі щитом, однак це ще один компроміс з розсіюванням тепла.

$$L_1 > (15 - 12 - 0.1 - (0.25 \times 10e - 3)) * \left(\frac{\frac{12}{15}}{100000 * 0.075} \right) = 309 \text{ мкГн} \quad (3.4)$$

Для MBI6651 потрібно діод Шоткі, D1, для перенесення струму індуктора, коли польовий МОП-транзистор вимкнений. Два фактори визначають вибір діода Шоткі. Одним з них є максимальне зворотне напруга. Рекомендоване номінальну напругу зворотного напруги не менше ніж в 1,5 рази перевищує вхідну напругу. Інший - максимальний прямий струм, який працює, коли МОП-транзистор вимкнений. І рекомендований прямий струм в 1,5 рази більше вихідного струму. Користувачі повинні ретельно вибрати відповідний діод Шоткі, який може виконувати низький струм витоку при високій температурі. На основі завдання оберемо діод SS14 (1A, 40V).

3.5 Вибір вхідного і вихідного конденсатора

Вхідний конденсатор CIN може подавати імпульси струму для MBI6651, коли польовий МОП-транзистор включений. CIN заряджається вхідним напругою, коли MOSFET вимкнений. Оскільки вхідна напруга нижче допустимого вхідного напруги, внутрішній польовий МОП-транзистор MBI6651 залишається постійно включеним, а струм світлодіода обмежений в 1,15 рази від нормального струму. Рекомендоване значення вхідного конденсатора становить 10 мкФ для стабілізації системи освітлення.

Номінальна напруга вхідного конденсатора повинно бути як мінімум в 1,5 рази більше вхідного напруги. В якості вхідного конденсатора можна використовувати танталовий або керамічний конденсатор. Перевагами танталового конденсатора є висока ємність і низьке значення ЕПР. Перевагами керамічного конденсатора є високочастотна характеристика, невеликі розміри і низька вартість. Через низьку характеристики ESR керамічного конденсатора, будь ласка, не використовуйте гаряче підключення. Користувачі можуть вибрати відповідний для своїх додатків.

Вибір вихідного конденсатора: конденсатор, з'єднаний з каскадним світлодіодом, може зменшити пульсаційний струм світлодіода і забезпечити меншу індуктивність.

Схема розташування друкованих плат.

Для підвищення ефективності та стабілізації системи важливо ретельно продумати розташування друкованих плат. Є кілька факторів, які слід враховувати.

1. Повна площа землі корисна для усунення шуму перемикавання.
2. Тримайте висновок заземлення мікросхеми й проведення заземлення конденсаторів вхідного і вихідного фільтра менше 5 мм.
3. Щоб максимізувати ефективність вихідної потужності і мінімізувати пульсаційну вихідну напругу, використовуйте площину заземлення та припаяйте висновок заземлення мікросхеми безпосередньо до заземлювальної площині.
4. Для стабілізації системи радіатор MBI6651 рекомендується підключати безпосередньо до заземлювальної площині.
5. Збільште відведення тепла, площа поверхні, що буде заземлена, до якої припадає радіатор IC, повинна бути якомога більшою.
6. Вхідний конденсатор повинен бути розташований якомога ближче до висновку VIN IC.
7. Щоб уникнути паразитного ефекту сліду, RSEN повинен бути розташований якомога ближче до контактів VIN і SEN IC.
8. Область, яка складається з штиря SW, діода Шоткі і котушки індуктивності, повинна бути широкою і короткою.
9. Шлях, по якому тече великий струм, повинен бути широким і коротким, щоб усунути паразитний елемент.
10. Коли SW включений / виключений, напрямок силової петлі має залишатися однаковим для підвищення ефективності, рис. 3.3.

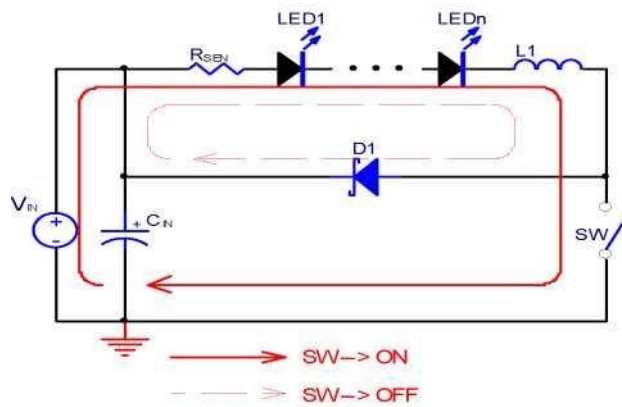


Рисунок 3.3 - Шляхи струму

3.6 Моделювання перетворювача

Моделювання режимів роботи проводилось в програмі Місгосар 12, схема у вигляді еквівалентної моделі наведено на рис. 3.4.

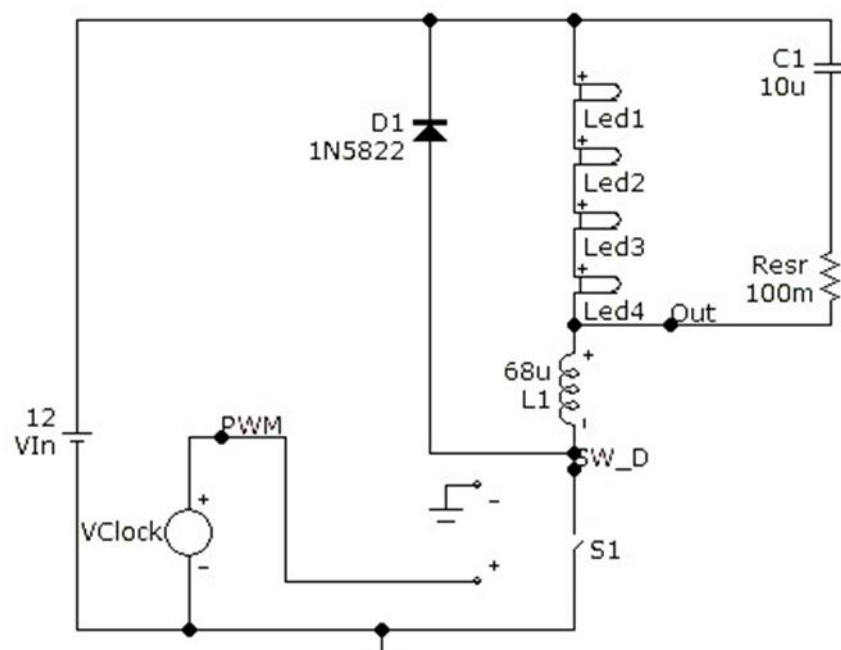


Рисунок 3.4 - Модель перетворювача

Транзистор драйверу представлено як модель ключа S1, а блок ШІМ у вигляді джерела еквівалентного сигналу. Результати представлено на рис. 3.5 - 3.6.

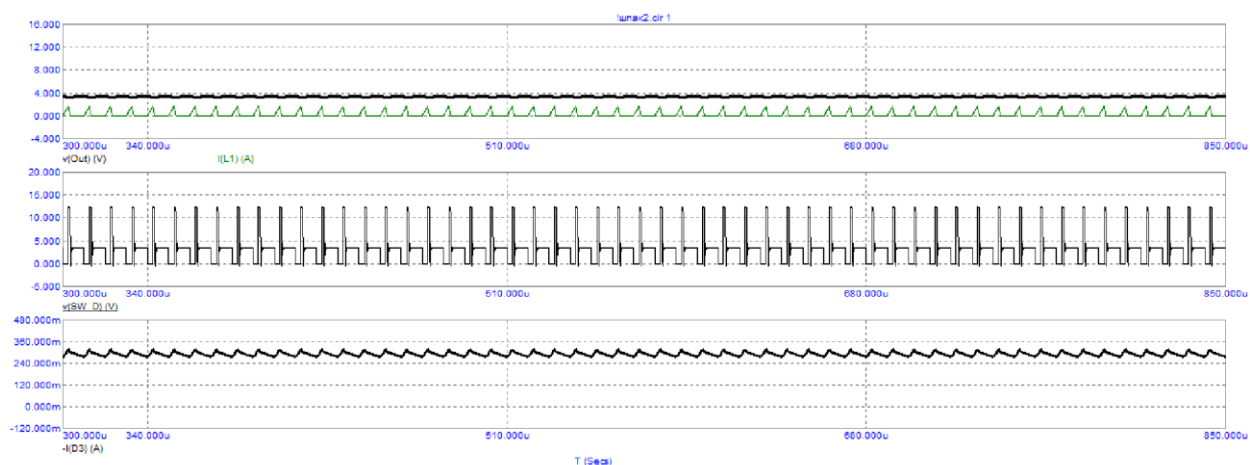


Рисунок 3.5 - Результати моделювання при ШІМ = 75%

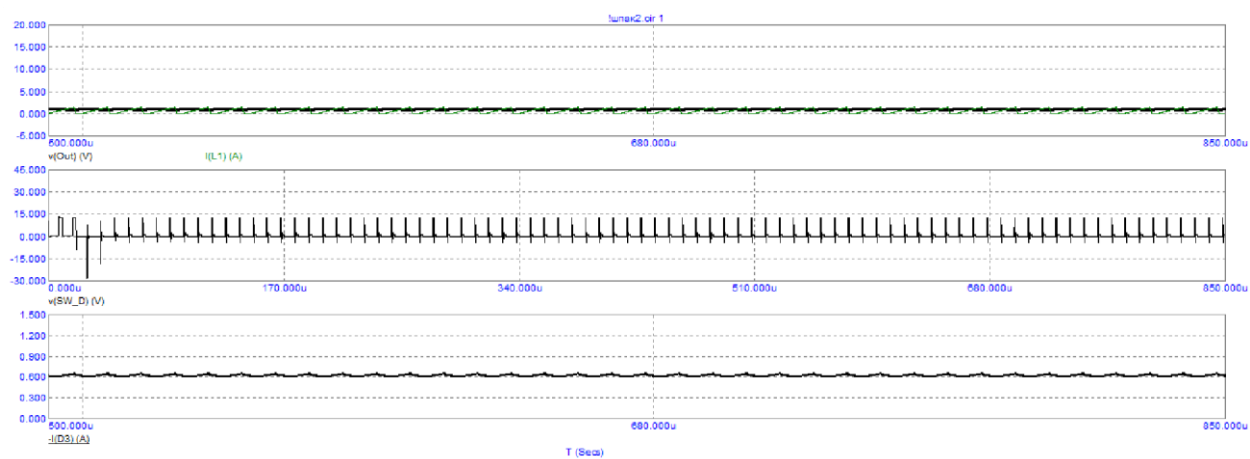


Рисунок 3.6 - Результати моделювання при ШІМ = 25%.

ВИСНОВКИ

Досліджені імпульсні стабілізатори для побутових приладів, зокрема імпульсний стабілізатор струму для освітлювальних світлодіодів.

Під час роботи над дипломним проектом сформулювали вимоги до освітлювальних світлодіодів - це максимальна світловіддача при збереженні прийняттого рівня надійності. Для цієї мети розроблено компактні герметичні блоки живлення для світильників, які дозволяють підключати кілька паралельних ланцюжків світлодіодів з мінімальною кількістю компонентів.

Розглянуті лінійні та імпульсні стабілізатори струму, принципи роботи та мікросхеми які реалізують задані функції. Вивчено можливість використання імпульсного перетворювача як стабілізатору струму для освітлювальних світлодіодів.

Для проектування джерела струму вивчено існуючі конструкції світильників. Виявлено, що у багатьох освітлювальних системах замість окремих світлодіодів використовуються модулі, що містять набір світлодіодних кристалів. Такі світлодіодні матриці можуть бути легко виготовлені і змонтовані. Крім того, їх схема підключення досить проста. На даний момент матриці світлодіодів з розсіяним світлом досягли великого коефіцієнта корисної дії.

Для перевірки розрахунків було проведено математичне моделювання за допомогою спеціалізованого програмного пакету. Транзистор драйверу представлено як модель ключа S1, а блок ШІМ у вигляді джерела еквівалентного сигналу. Представленні результати моделювання при ШІМ = 75% та 25%.

Тобто результати показали, що розрахунки виконані вірно, та всі режими роботи стабілізатору струму працюють адекватно завданню.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Интегральные драйверы для светодиодного освещения. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/54712>
- 2 Стабилизаторі тока. Електронний ресурс. Режим доступу: https://leddisplays.ru/stabilizator_toka.html
- 3 Драйвері светодиодов. Електронний ресурс. Режим доступу: https://leddisplays.ru/driver_2.html
- 4 Светодиоды. Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.led-e.ru/articles/led-module/2011_5_52.php
- 5 Технологии изготовления печатных плат. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/tehnologiya-i-oborudovanie-proizvodstva-elektricheskoy-apparatury-78.html>
- 6 **Бойко, В.І.** Основи технічної електроніки: У 2-х книгах: Підручник для студ. вищ. техн. навч. закл. Кн. 2: Схемотехніка. [Текст] / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.М. Співак, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі. – К.: Вища шк., 2007. – 510 с.
- 7 **Будіщев, М. С.** Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: підручник. [Текст] / М. С. Будіщев. – Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
- 8 **Кашкаров, А. П.** Импульсные источники питания: схемотехника и ремонт. [Текст] / А. П. Кашкаров– М.: ДМК Пресс, 2012. – 184 с.
- 9 **Шустов, М.А.** Практическая схемотехника. Кн. 3: Преобразователи напряжения [Текст] / М.А. Шустов– 2-е изд., стереотип. – М.: Додэка-XXI: Альтекс, 2007. – 192 с
- 10 **Василега, П.О.** Електропостачання: навч. посібник [Текст] / П.О. Василега – Суми: ВТД "Університетська книга", 2008. – 415 с.
- 11 **Сенько, В.І.** Електроніка і мікросхемотехніка: у 4 т. : підручник для вузів. Т.1: Елементна база електронних пристроїв [Текст] / В.І.Сенько, М.В.Панасенко, С.В. Сенько – Київ: Обереги, 2000. – 300 с.

- 12 **Голубев, В.В.** Импульсное преобразование переменного напряжения [Текст] / В.В. Голубев– Киев: Наукова думка, 2014. – 248 с.
- 13 **Праховник, А.В.** Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения [Текст] /А.В. Праховник– К.: Освіта України, 2007. – 464с.
- 14 **Півняк, Г.Г.** Розрахунки електричних мереж систем електропостачання: навч. посібник [Текст] /Г.Г.Півняк, Г.А. Кігель, Н. С. Волотковська, за ред. Г. Г. Півняка. – 2-е вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: НГУ, 2002. – 219 с.
- 15 **Матвійків, М. Д.** Елементна база електронних апаратів: підручник для студентів вищ. навч. закладів.[Текст] / М. Д. Матвійків, В. М. Когут, О. М. Матвійків, 2-ге вид. – Львів: Львівська Політехніка, 2007. – 428 с.