

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Перетворювач постійної напруги з широтно-імпульсною
модуляцією»

Завідувач кафедрою

Опанасюк А. С.

Керівник

кваліфікаційної роботи

Новгородцев А. І.

Виконав студент

гр. ЕС – 01

Середа І.М.

Суми 2024 р

Сумський державний університет
Факультет ЕЛІТ

Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки»

Спеціальність 6.171 «Електроніка»

Затверджую:

Зав.кафедрою Е і КТ

Опанасюк А. С.

„_____” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Середа Ілля Миколайович

1. Тема роботи: **«Перетворювач постійної напруги з широтно-імпульсною модуляцією»**

Затверджена наказом по університету від „_____” _____ 2024 р. № _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 10.06.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи:
- частота роботи ШІМ - $F = 10$ кГц;
 - номінальна напруга на виході перетворювача - $U_{\text{вих. н}} = 15 \text{ В} \pm 0,2 \text{ В}$;
 - максимальний струм навантаження - $I_{\text{мах н.}} = 2,0 \text{ А}$;
 - наявність блоку захисту за струмом;
 - наявність зворотного зв'язку для стабілізації напруги;
 - індикація роботи пристрою.
4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки:**
- розробка алгоритму функціонування пристрою;
 - розробка структурної схеми пристрою;
 - розробка та розрахунок принципової схеми пристрою.
5. Перелік графічного матеріалу:
- креслення схеми алгоритму;
 - креслення схеми електричної структурної;
 - креслення схеми електричної принципової.

Дата видачі завдання: 26.02.2024р.

Прийняв до виконання студент:

Середа І.М.

Календарний план

№ п/п	Перелік етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітки
1	Огляд літератури за вибраним напрямком проектування	22.03.2024 р.	
2	Розробка алгоритму функціонування пристрою	10.04.2024 р.	
3	Розробка структурної схеми пристрою	15.04.2024 р.	
4	Оформлення пояснювальної записки	30.04.2024 р.	
5	Розробка та оформлення графічної частини	10.05.2024 р.	
6	Представлення роботи на рецензування	15.05.2024 р.	
7	Представлення роботи для захисту	10.06.2024 р.	

Керівник дипломного проекту:

Новгородцев А. І.

Студент дипломник:

Среда І. М.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 43 сторінок, 21 рисуноків, 5 літературних джерел..

Графічна частина роботи містить: блок-схему алгоритму роботи пристрою, структурну, функціональну і принципову електричну схеми.

Пояснювальна записка містить чотири розділи.

Перший розділ містить огляд технічної літератури за вибраним напрямком проектування.

Другий розділ присвячений розробці алгоритму функціонування і структурної схеми.

У третьому розділі розроблена принципова схеми пристрою і виконаний розрахунок основних вузлів принципової схеми.

По результатам розробки зроблені висновки.

Приведений перелік літературних джерел.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1.1 Імпульсні стабілізатори постійної напруги. Загальні відомості та принцип роботи	7
1.2 Типові схеми імпульсних перетворювачів із ШІМ-контролером.....	12
1.2.1 Зворотноходовий перетворювач TNY 268PN.	14
1.1.2 Імпульсний блок живлення на основі ШІМ-контролера 1156EU2.....	15
1.3 ШІМ-контролери для сонячних електростанцій: призначення та особливості функціонування.....	17
Що таке ШІМ та його характеристика.....	17
Як функціонує широтно-імпульсний модулятор?	18
2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ.....	21
2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою	21
2.2 Розробка структурної схеми пристрою	22
3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ПРИСТРОЮ.....	26
3.1 Вибір елементної бази	26
3.2 Розробка принципової схеми	34
3.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми	35
3.3.1 Розрахунок блоку силових ключів на MOSFET- транзисторах RF630 35	35
3.3.2 Розрахунок блоку зворотного зв'язку.....	40
3.3.3 Розрахунок індикації напруги на виході імпульсного пристрою.	41
ВИСНОВКИ.....	42
ЛІТЕРАТУРА	43

					<i>ЕлІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Середа І.М.</i>			Перетворювач постійної напруги з широтно-імпульсною модуляцією. Пояснювальна записка.	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Новгородцев А.І.</i>					3	42
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕС – 01</i>		
<i>Н. Контроль</i>		<i>Гапич В.М.</i>						
<i>Затвердив</i>		<i>Опанасюк А.С.</i>						

ВСТУП

Імпульсний стабілізатор напруги (ключовий стабілізатор напруги, використовуються також назви імпульсний перетворювач, імпульсне джерело живлення) - стабілізатор напруги, в якому регулюючий елемент (ключ) працює в імпульсному режимі, тобто регулюючий елемент періодично відкривається і закривається.

Енергія первинного джерела живлення передається через регулюючий елемент певними порціями, заданими контуром регулювання так, щоб стабільним було середнє значення вихідної напруги. Згладжування пульсацій вихідної напруги відбувається завдяки наявності елемента (або поєднання елементів), здатного накопичувати електричну енергію та віддавати її у навантаження.

Імпульсний стабілізатор напруги в порівнянні з лінійним стабілізатором має менші втрати енергії на нагрівання регулюючого елемента, що підвищує ККД стабілізатора і дозволяє застосовувати регулюючий елемент меншої потужності, а радіатор - менших розмірів та маси.

Імпульсний стабілізатор напруги є системою автоматичного регулювання. Параметром для контуру регулювання служить опорна напруга, яка порівнюється з вихідною напругою стабілізатора. Залежно від сигналу неузгодженості пристрій керування змінює співвідношення тривалостей відкритого та закритого стану ключа.

У представлених нижче структурних схемах можна виділити три функціональні вузли: ключ, накопичувач енергії та ланцюг управління. При цьому ключ і накопичувач енергії утворюють разом силову частину стабілізатора напруги, яка разом з ланцюгом управління утворюють контур регулювання. За типом ланцюга управління розрізняють три схеми перетворювачів. З тригером Шмітта, з широтно-імпульсною модуляцією та з частотно-імпульсною модуляцією.

Стабілізатор напруги з тригером Шмітта називається релейним або стабілізатором з двопозиційним регулюванням. У ньому вихідна напруга

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

порівнюється з нижнім і верхнім порогами спрацьовування тригера Шмітта за допомогою компаратора, який є вхідною частиною тригера Шмітта. При замкнутому ключі вхідна напруга надходить на накопичувач енергії, вихідна напруга наростає. Після досягнення верхнього порогу спрацьовування U_{max} тригер Шмітта перемикається в стан, що розмикає ключ. Накопичена енергія витрачається в навантаженні, при цьому напруга на виході стабілізатора спадає. Після досягнення нижнього порогу спрацьовування U_{min} тригер Шмітта перемикається в стан, що замикає ключ.

У перетворювачі з широтно-імпульсною модуляцією в процесі роботи накопичувач енергії або підключений до вхідної напруги, або передає накопичену енергію навантаженню. В результаті на виході є деяке середнє значення напруги, яке залежить від вхідної напруги та шпаруватості імпульсів керування ключем.

Вичитувач-підсилювач на операційному підсилювачі порівнює вихідну напругу з опорною напругою та посилює різницю, яка надходить на модулятор. Якщо вихідна напруга менша за опорну, то модулятор збільшує відношення часу відкритого стану ключа до періоду тактового генератора. При зміні вхідної напруги або струму навантаження шпаруватість імпульсів керування ключем змінюється таким чином, щоб забезпечити мінімальну різницю між вихідною та опорною напругою.

У перетворювачі з частотно-імпульсною модуляцією імпульс, що відкриває ключ, має постійну тривалість, а частота проходження імпульсів залежить від сигналу неузгодженості між опорною і вихідною напругою. У разі збільшення струму навантаження або зниження вхідної напруги частота збільшується. Керування ключем може здійснюватися, наприклад, за допомогою моностабільного мультівібратора з частотою запуску, що керується.

Для перетворення напруги одного рівня напруга іншого рівня часто застосовують імпульсні перетворювачі напруги з використанням індуктивних накопичувачів енергії. Такі перетворювачі відрізняються високим ККД, що іноді досягає 95%, і володіють можливістю отримання підвищеної, зниженої або

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

інвертованої вихідної напруги. Відповідно до цього відомо три типи схем перетворювачів: знижувальні, що підвищують та інвертують.

Загальними для всіх цих видів перетворювачів є п'ять елементів: джерело живлення, ключовий елемент, що комутує, індуктивний накопичувач енергії (катушка індуктивності, дросель), блокувальний діод і конденсатор фільтра, включений паралельно опорі навантаження.

Включення цих п'яти елементів у різних поєднаннях дозволяє реалізувати будь-який із трьох типів імпульсних перетворювачів. Стабілізація вихідної напруги реалізується шляхом використання зворотного зв'язку: при зміні вихідної напруги відбувається автоматична зміна ширини імпульсів.

Описані типи імпульсних стабілізаторів напруги широко використовуються у різних галузях техніки та електроніки завдяки своїм високим показникам ефективності та компактності. Такі стабілізатори знаходять застосування в комп'ютерних блоках живлення, портативних електронних пристроях, телекомунікаційних системах, системах управління та автоматизації, а також в електромобілях та інших транспортних засобах.

Одним із головних переваг імпульсних стабілізаторів є їх висока енергоефективність. Завдяки імпульсному режиму роботи регулюючого елемента зменшуються втрати на нагрівання, що дозволяє знижувати вимоги до системи охолодження. Високий коефіцієнт корисної дії (ККД), що може досягати 95%, забезпечує економію енергії, що особливо важливо в умовах сучасних тенденцій до енергозбереження.

Особливою перевагою є можливість отримання як підвищеної, так і зниженої вихідної напруги при зміні рівня вхідної напруги. Це забезпечує гнучкість і універсальність у використанні стабілізаторів для різних типів живлення, незалежно від початкових умов.

Отже, імпульсні стабілізатори напруги є невід'ємною частиною сучасної електроніки, забезпечуючи ефективне та надійне живлення різноманітних пристроїв, сприяючи енергозбереженню та підвищенню загальної ефективності електронних систем.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ВИБРАНИМ НАПРЯМКОМ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Імпульсні стабілізатори постійної напруги. Загальні відомості та принцип роботи

Для стабілізації величини вихідної напруги використовуються методи регулювання кількості енергії, що надходить у вторинний ланцюг. Основними серед них є ШІМ, ЧІМ і релейний стабілізатори напруги. Ці методи відрізняються способами впливу на силовий (підсилювальний) каскад високочастотного перетворювача, активні елементи якого працюють в ключовому режимі. Як правило, система управління виконується на малопотужних компонентах, які представляють собою комбінацію аналогових і цифрових елементів.

Принцип дії ШІМ стабілізації полягає в зміні тривалості імпульсів, які підсилюються силовим каскадом, без корекції власної частоти коливань і їх амплітуди. Тривалість імпульсів, що формуються схемою управління, повинна бути **обернено пропорційна** величині напруги на навантаженні.

На відміну від попереднього способу, ЧІМ стабілізація характеризується модифікацією частоти керуючого сигналу при постійній тривалості імпульсів.

В релейній системі стабілізації ланцюга управління відстежують зміни напруги на навантаженні і, коли його значення виходить за межі допустимої зони стабілізації, проводиться формування імпульсів, при впливі яких і відбувається «підкачка» енергії в ланцюг навантаження.

Спосіб ШІМ стабілізації, незважаючи на деяке схемотехнічне ускладнення вузла в порівнянні з двома іншими методами, знайшов найбільш широке застосування на практиці. Тому цей метод стабілізації вторинної напруги буде розглянуто найбільш докладно. ШІМ регулятори мають наступні переваги:

- забезпечення високого ККД і підтримку основної частоти перетворення незалежно від зміни напруги первинного живлення і величини навантаження. При цьому частота пульсацій на навантаженні має постійне значення, що важливо при проектуванні і використанні фільтрів з розрахунковими характеристиками і може

					ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

бути критичним для навантажень з різним характером вхідного опору;

- можливість застосування ланцюгів синхронізації частоти з зовнішнім генератором з заданими параметрами.

Структурна схема ШІМ регулятора представлена на рис. 1.

Напруга на навантаженні в загальному випадку може бути довільним, і тому пристрій порівняння підключається до неї через дільник напруги. Крім того, передбачається, що напруга на навантаженні знаходиться в межах, визначених діапазоном регулювання, і під час роботи в ній не виникає нештатної ситуації (коротке замикання і т. п.).



Рисунок 1 - Структурна схема ШІМ регулятора

Пристрій порівняння виробляє сигнал неузгодженості, знак якого визначається співвідношенням порівнюваних вхідних сигналів - опорного напруги і напруги з виходу дільника напруги. Після необхідного посилення сигнал неузгодженості і сигнал спеціальної форми, що видається формувачем опорного сигналу, подаються на другий пристрій порівняння і компаратор напруги. Компаратор виконує квантування вхідного сигналу неузгодженості.

Після компаратора сигнал управління набуває форми імпульсів з заданими частотою і тривалістю. Пристрій узгодження виконує посилення імпульсного сигналу управління до рівня і потужності, необхідної для порушення підсилювача

потужності. Тимчасове положення вихідних імпульсів компаратора щодо сигналу спеціальної форми залежить від обраного методу формування останнього. Пристрій для формування сигналів спеціальної форми може генерувати три види сигналів заданої частоти: трикутної форми, прямої пилки (позитивне наростання напруги) і зворотної пилки.

Структурна схема формувача, що реалізує принцип ШІМ управління, зображена на рис. 2.

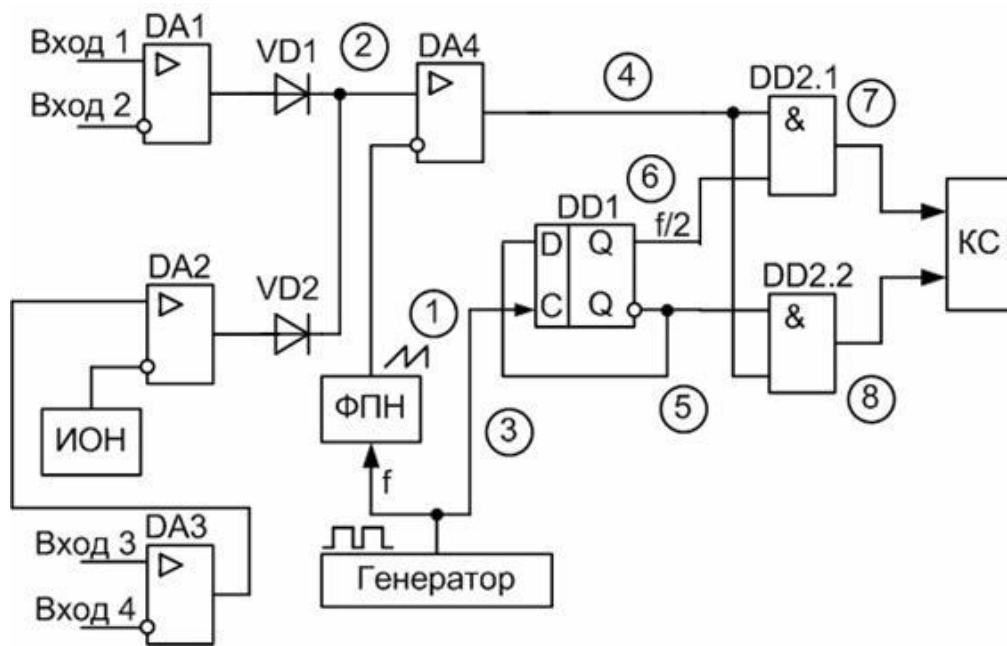


Рисунок 2 - Структурна схема формувача, що реалізує принцип ШІМ

Основні вузли формувача ШІМ сигналу (рис. 2) можуть бути виконані як на дискретних компонентах, так і міститися в одній інтегральній мікросхемі.

Пристрій для формування ШІМ включає в себе наступні елементи:

- генератор, формувач пилоподібної напруги (ФПН);
- джерело опорної напруги (ДОН);
- лінійні підсилювачі DA1 - DA3, компаратор напруги DA4;
- розв'язуючі діоди VD1 і VD2;
- дільник частоти на два DD1;
- цифрові логічні елементи DD2.1 - DD2.2;
- каскад сполучення з силовою частиною перетворювача напруги КС.

Буферний підсилювач DA3 своїми входами - вхід 3 і вхід 4 - підмикається до вихідної точки каналу вторинної напруги. Разом з функціями буферизації, цей підсилювач нормує рівень регульованої напруги з можливістю порівняння її величини з номіналом джерела опорної напруги.

Порівняння цих значень напруг відбувається підсилювачем DA2. Сигнал неузгодженості з виходу DA2 через діод розв'язки VD2, подається на один із входів компаратора DA4. На інший вхід компаратора, поступає пилкоподібна напруга, сформована каскадом ФПН. Запуск каскаду ФПН (початок лінійного наростання напруги) і одночасне скидання процесу попереднього періоду, відбувається в момент приходу на нього фронту імпульсу з генератора.

Генератор виробляє послідовність імпульсів з відносно стабільними частотними характеристиками. Цим закінчується робота ШІМ регулятора на рівні обробки аналогових сигналів. Подальше формування ШІМ сигналу відбувається цифровими способами, при яких всі активні елементи, включаючи і дискретні з КС, функціонують в ключових режимах.

Після відпрацювання компаратором DA4 вхідних впливів, на його виході з'являється послідовність імпульсів, синхронних з частотою пилоподібної напруги, але з модульованою тривалістю самого імпульсу - цифровий ШІМ сигнал.

Ця послідовність надходить на входи цифрових елементів DD2.1, DD2.2, що виконують логічну функцію І (схема збігу по високому логічному рівню). На другий вхід кожного з елементів схеми DD2, подається послідовність імпульсів, частота яких в два рази нижче вихідних, що формуються генератором.

Зниження частоти в два рази відбувається на елементі DD1 - D-тригері, який працює в режимі поділу вихідної частоти. Зміна стану виходів тригера відбувається при надходженні на його лічильний вхід 3 фронту імпульсу, який формується генератором.

На виходах тригера Q (прямий вихід) і -Q (інверсний вихід) в кожен момент часу сигнали протифазні. У моменти збігу високих рівнів сигналів від

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

компаратора і сигналів від дільника частоти (тригера) на входах елементів DD2 і на їх виходах з'являються імпульси високого рівня. Періодичність імпульсів на виході кожного з елементів DD2 збігається з періодом вихідної частоти генератора поділеної на два.

Робота даного ШІМ регулятора здійснюється наступним чином. На каскад узгодження КС від кожного з елементів схеми DD2, надходять дві зсунуті по часу послідовності імпульсів. Це обумовлено специфікою побудови силового каскаду перетворювача напруги.

Тривалість імпульсів у кожній послідовності, знаходиться в обернено пропорційній залежності від поточної величини напруги вторинного кола (на навантаженні). Силовий каскад перетворювача знаходиться в активному стані (передачі енергії в навантаження) протягом дії на нього модульованих по тривалості імпульсів. Так відбувається регулювання вихідної напруги для підтримки його рівня в заданих межах.

Підсилювальний каскад DA1 передбачений для відключення (блокування) схеми ШІМ регулятора під час різкого зростання споживання струму в навантаженні. Входи схеми DA1 підключаються до датчика струму, встановленому в ланцюзі навантаження. Поки різниця потенціалів на входах DA1 не перевищує заданої величини, тобто струм споживання навантаження не виходить за верхню допустиму межу, ШІМ регулятор працює в звичайному режимі.

У момент зростання струму навантаження вище встановленої межі на виході DA1 напруга підвищується до величини, достатньої для відкриття діода VD1. На катоді VD1 створюється позитивна напруга, що закриває діод VD2.

Сигнал неузгодженості, що надходить від підсилювача помилки DA2 на вхід компаратора DA4, шунтується. Напруга, встановлена на вході компаратора, викликає різке звуження імпульсів, що надходять від нього на цифрові схеми DD2.1 і DD2.2.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Силова частина перетворювача переходить в захищений режим роботи, примусово обмежуючи рівень енергії, що передається на КС. ШІМ регулятор автоматично відновлює працездатність після перевантаження по виходу.

1.2 Типові схеми імпульсних перетворювачів із ШІМ-контролером

Під час увімкнення перетворювача (рис. 3), контролер До спочатку не працює. Його споживання незначне (0,1-1 мА). Ключ Кл закритий. Через зовнішні ланцюги заряджається конденсатор Сп. Коли його напруга досягає напруги включення $U_{вкл}$, всі вузли контролера включаються, його споживання збільшується до 5-40 мА, починається періодична робота ключа Кл. Під час роботи контролер До живиться від додаткової обмотки трансформатора або дроселя трансформаторно-випрямляючого вузла ТВУ, напруга якої випрямляється діодом V1 і згладжується конденсатором Сп. Частота роботи контролера визначається частотоздатним конденсатором Сч. Кожен період роботи контролер з виходу OUT подає напругу, що відкриває, на затвор ключа Кл, який закривається або після закінчення керуючого імпульсу, або по сигналу вузла захисту контролера. Струм через ключ Кл контролюється безпосередньо на резисторі - датчику струму або через трансформатор струму ТС в перетворювачі великої потужності.

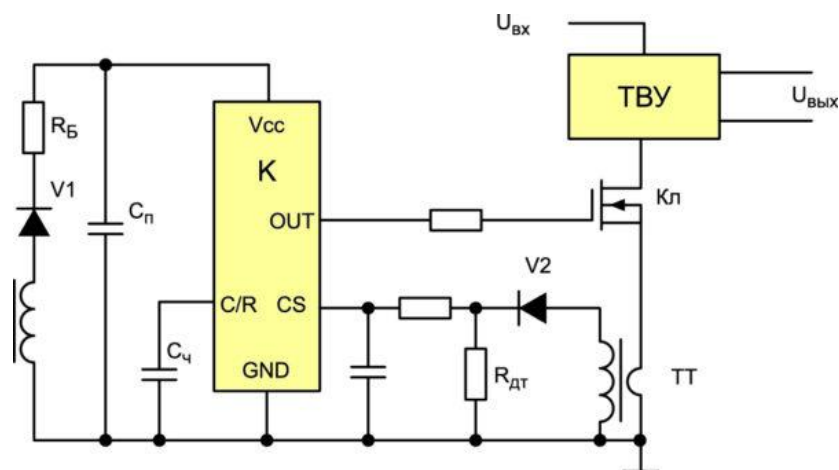


Рисунок 3 - Типова схема імпульсного перетворювача з ШІМ-контролером

На рисунку 4 показано вихідну характеристику імпульсного перетворювача. Якщо вихідний струм не перевищує номінального значення I_n , перетворювач

					ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

стабілізує вихідну напругу (горизонтальна ділянка характеристики). Зі збільшенням вихідного струму понад значення I_n , перетворювач продовжує стабілізувати вихідну напругу до значення $I_{нз}$ (запас), після чого переходить у режим захисту, обмежуючи зростання вихідного струму та зменшуючи вихідну напругу (знижується праворуч ділянку характеристики).

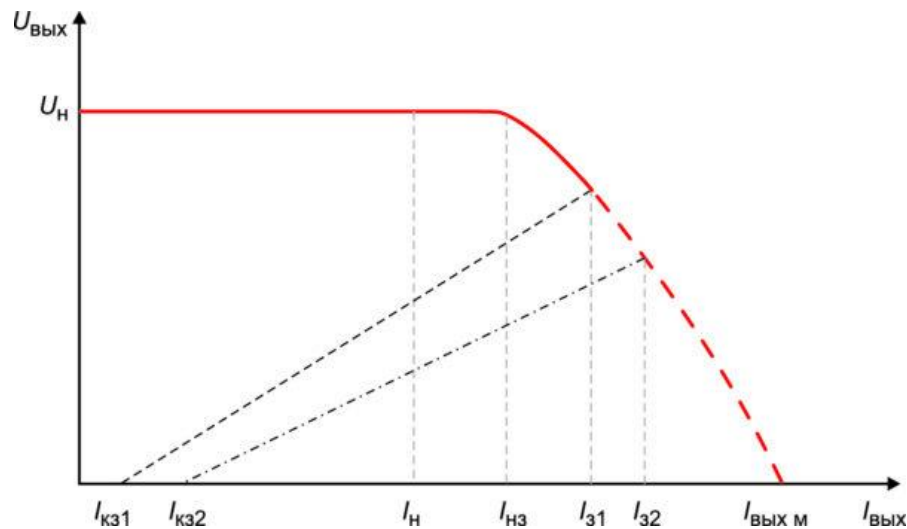


Рисунок 4 - Вихідна характеристика перетворювача напруги

Для захисту ключа від перевантажень струмом часто застосовується двоступінчастий алгоритм захисту від перевантажень струмом. Напруга, пропорційна миттєвому значенню струму ключа $Kл$, виділяється на резисторі - датчику струму $R_{дт}$ і через перешкодно-давну RC -ланцюг подається на зовнішній вхід C_s компаратора струму. На інший вхід компаратора (всередині контролера) подано зразкову напругу $U_{зв} = 0,5-1$ В залежно від типу контролера. При збільшенні струму через ключ $Kл$ збільшується напруга на резисторі $R_{дт}$. Досягши останнім максимального значення напруги $U_{R_{дт}} = U_{зв}$ компаратор струму примусово закриває ключ $Kл$ до кінця поточного періоду роботи. Так відбувається кожен період роботи контролера K . Ключ $Kл$ захищений. Вихідна характеристика перетворювача переходить на похилий ділянку (суцільна лінія).

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ				

Розглянемо роботу схеми. Мережева напруга 220 випрямляється діодним мостом VD1-VD4 і згладжується конденсатором C2. Резистор R1 необхідний обмеження пікового струму проходить через діодний міст у момент зарядки конденсатора, і цим запобігає деградацію діодів. Мікросхема перетворювача починає комутувати первинну обмотку трансформатора T1 із частотою 120 кГц.

У момент замикання виведення D на висновок S всередині мікросхеми за допомогою транзисторного ключа відбувається накопичення енергії всередині магнітопроводу трансформатора T1. У момент розмикання ключа відкриваються діоди VD6 та VD8 і напруга з обмоток II та III заряджають ємності C5 та C6 відповідно. Напруга 12в з конденсатора C5 через резистор R2 подається для підживлення внутрішньої схеми D1.

А напруга з конденсатора C6, пройшовши через дросель L1, додатково згладжується конденсатором C7 і надходить у навантаження. Якщо напруга перевищить значення 5 вольт відкриється стабілітрон VD7, внаслідок чого відкриється так само оптрон VS1 і генерація мікросхеми D1 перерветься. При зниженні напруги нижче 5 вольт стабілітрон VD7 та оптрон VS1 закриються і тим самим генерація відновиться. Ланцюжок C4, VD5, R5 обмежує амплітуду викидів у момент розмикання ключа мікросхеми D1.

1.1.2 Імпульсний блок живлення на основі ШІМ-контролера 1156ЕУ2.

Схема імпульсного блоку живлення (рис. 6) зібрана на основі традиційної напівмостової топології. Ця топологія ідеально підходить для подібних джерел живлення, тому що в ній конструктивно обмежені сплески напруги на силових польових транзисторах, що дуже важливо для схем, які живляться безпосередньо напругою від мережі та розраховані на велику вихідну потужність.

Блок живлення побудований на основі ШІМ - контролера 1156ЕУ2 (UC1825/UC2825/UC3825). Для керування польовим транзистором верхнього плеча напівмоста застосовано спеціалізований драйвер IR2125. Живлення схеми управління здійснюється за безтрансформаторною схемою через конденсатори

					<i>ЕліТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

C1, C2, які обмежують струм живлення, міст M1 і стабілітрон VD1, що обмежує напругу на схемі управління.

Контролер формує широтно-модульовані імпульси для відкриття силових ключів. Чим менше напруга на виході, тим більше часу силові ключі відкриті. У міру збільшення напруги ключі починають відкриватися на менший час. Власне це забезпечує стабілізацію вихідної напруги.

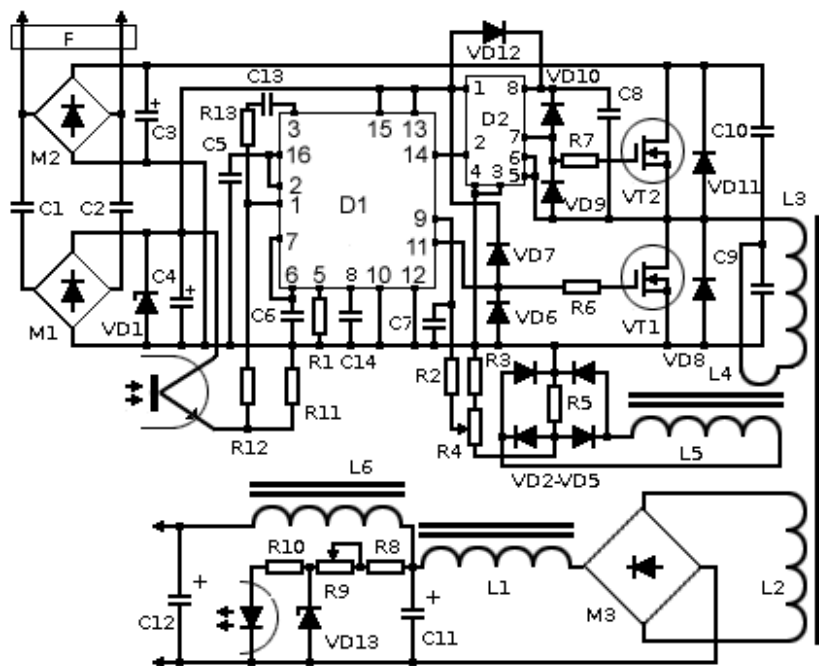


Рисунок 6 – Перетворювач напруги на основі ШІМ-контролера 1156ЕУ2

У схемі реалізовано захист від навантаження струмом, тобто обмеження максимально можливого вихідного струму. Це зроблено за допомогою струмового трансформатора L4/L5. Якщо струм через силові польові транзистори перевищує певну величину, то напруга на ніжці мікросхеми 9 перевищує 1 Вольт, що призводить до закриття силових ключів і обмеження струму.

До ніжки 8 підключено конденсатор, що забезпечує плавний старт. Максимально можливий час, на який відкривається силовий ключ, поступово збільшується в міру зарядки цього конденсатора. Плавний старт потрібен для того, щоб обмежити струми під час заряджання конденсаторів вихідного фільтра (C11, C12).

Наведену схему від типових відрізняє зокрема наявність діодів VD6 – VD10. Наші експерименти показали, що в деяких випадках в результаті перехідних процесів напруга на затворі польових транзисторів може підскакувати вище напруги управління або знижуватися нижче нуля. Діоди відводять ці імпульси в ланцюги живлення, захищаючи мікросхему та польові транзистори та підвищуючи надійність роботи.

1.3 ШІМ-контролери для сонячних електростанцій: призначення та особливості функціонування

Такі прилади дозволяють збільшити термін служби батареї та мінімізувати ймовірність виходу її з ладу при перепадах напруги.

Спеціальне електронне реле, призначене для контролю заряду акумулятора сонячної електростанції, називається ШІМ-контролером. Користувачі недооцінюють такі пристрої, тому часто відмовляються від їх застосування. Однак такі прилади дозволяють збільшити термін служби батареї та мінімізувати ймовірність виходу її з ладу при перепадах напруги. Один з таких наведена на (рис.7)

Що таке ШІМ та його характеристика.

ШІМ перекладається як широтно-імпульсний модулятор, основне призначення якого полягає у зміні тривалості імпульсу при постійній частоті проходження. В основі обладнання присутні польові та біполярні транзистори, що функціонують у режимі ключа. Застосування ШІМ-контролерів дає можливість підвищити значення ККД всієї сонячної установки, а також захистити батареї від перевантажень, тим самим збільшивши термін їх служби.

У сучасних сонячних електростанціях ШІМ-контролери відіграють важливу роль. Вони контролюють рівень споживання електроенергії. Коли акумулятор розряджається до критичних значень, контролер відключає навантаження, виключаючи можливість його розряду до нуля. Категорично забороняється підключати навантаження безпосередньо до акумуляторів, минаючи ШІМ-

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

пристрій, щоб отримати останню «порцію» заряду від батареї. Такий спосіб спричинить швидкий вихід з ладу АКБ.



Рисунок 7 – Контроллер заряда.

Як функціонує широтно-імпульсний модулятор?

Перші модифікації ШІМ-контролерів мали просту конструкцію та відрізнялися низькою вартістю, а також великою кількістю недоліків. Вони контролюють напругу на АКБ, в разі досягнення нею граничних значень відбувається відключення живлення з подальшою віддачею струму в централізовану мережу. Недолік таких приладів у тому, що вони враховують такі параметри, як підвищення температури електроліту та навіть номінальну ємність АКБ.

Вдосконалені моделі ШІМ-контролерів характеризуються функціональністю. Вони дорожчі та контролюють безліч параметрів. Процес заряду акумуляторів відбувається у наступні етапи:

1. Наповнення. ШІМ спрямовує всю енергію, що виробляється фотоелектричними панелями, на акумулятори. У результаті відбувається їх заряд;

									Арк.
									18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2. Насичення. Після заповнення ємності батареї зарядом відбувається зміна властивостей електроліту. Контролер виявляє зміни, що відбуваються, та запобігає ймовірності перегрівання акумуляторів;

3. Вирівнювання. Здійснюється зменшення робочого струму, а також відбувається його зміна у разі такої необхідності. Такий процес дозволяє збільшити ресурс накопичувальних елементів. Реалізується це шляхом очищення пластин від нальоту, що призводить до якісного перемішування електроліту. Як наслідок, напруга в різних банках вирівнюється;

4. Підтримка. Остання стадія, яка передбачає подачу мінімального струму до акумуляторів від джерела живлення, що необхідно для захисту накопичувальних елементів від процесу самостійного розряду.

Багаторівневий заряд від ШІМ-контролера сприяє збільшенню експлуатаційного ресурсу акумуляторів. При використанні сучасних приладів можна збільшити ресурс АКБ до 10–15 років, без такого обладнання вони прослужать лише 2–3 роки.

Вибираючи пристрої, необхідно звернути увагу на такі параметри:

- номінальна напруга;
- номінальна сила струму;
- клас захисту;
- напруга закінчення заряду та припинення розряду;
- напруга повторного підключення.

Сучасні модифікації контролерів мають USB-порти, які дозволяють використовувати їх для заряджання смартфонів та інших гаджетів.

Вдосконалені ШІМ-контролери також можуть мати додаткові функції, такі як дистанційний моніторинг та управління через мобільні додатки або веб-інтерфейс. Це дозволяє користувачам контролювати стан акумуляторів та роботу фотоелектричної системи в режимі реального часу, а також отримувати повідомлення про потенційні проблеми або необхідність обслуговування. Деякі моделі обладнані інтегрованими алгоритмами аналізу та оптимізації

					<i>ЕліТ 6.171.00.10.193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

енерговикористання, що сприяє максимальному використанню доступної енергії та мінімізації втрат.

Захисні функції ШІМ-контролерів включають захист від перевантаження, короткого замикання, перегріву та перенапруги. Це забезпечує додаткову безпеку як для акумуляторів, так і для всієї системи. Крім того, сучасні контролери можуть мати можливість автоматичного діагностування несправностей і відправки даних про стан системи до сервісного центру, що полегшує технічне обслуговування і ремонт.

					<i>ЕліТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

Алгоритм функціонування пристрою наведений на рис.8.

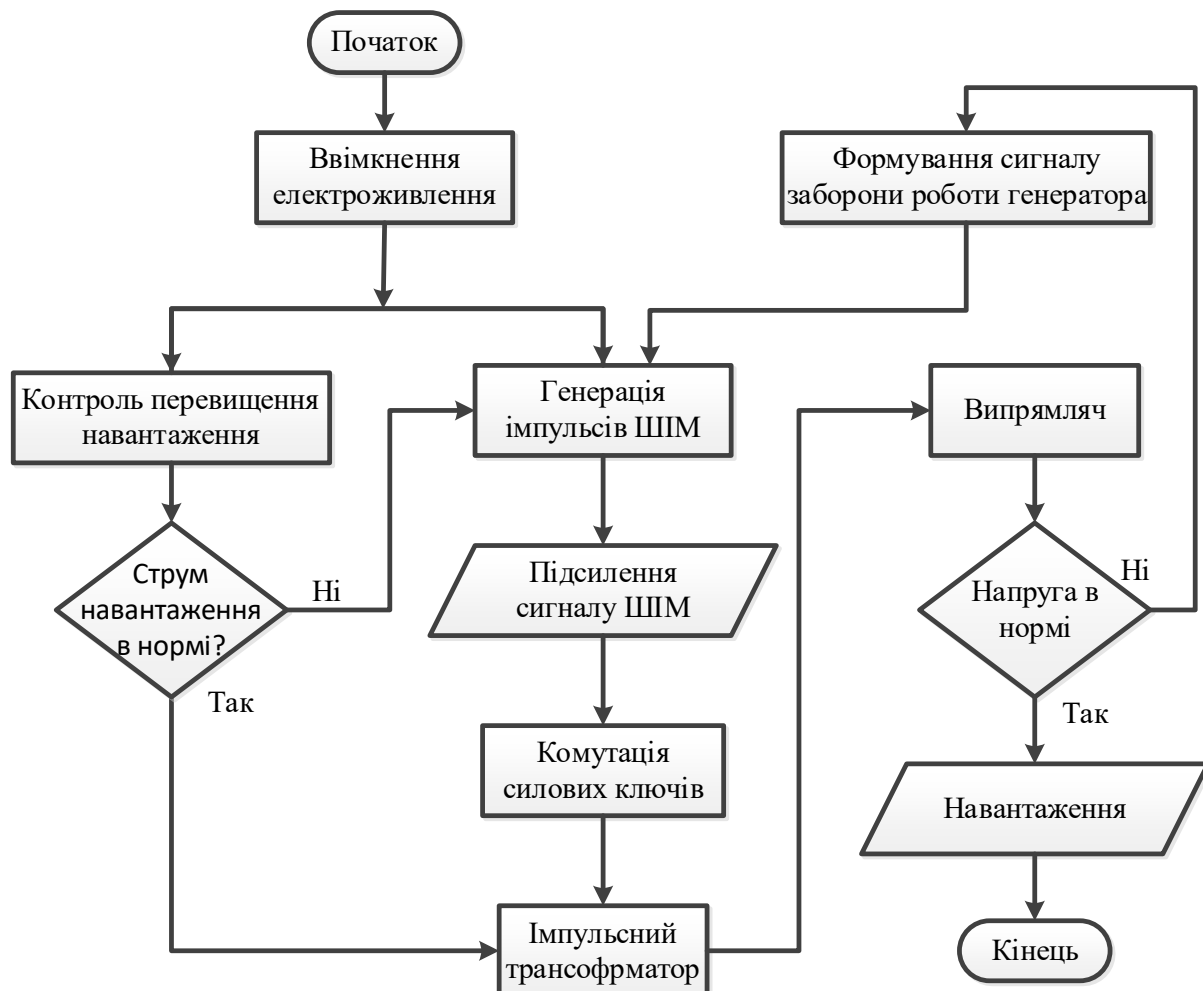


Рисунок 8 – Алгоритм функціонування пристрою

Після підключення до мережі, імпульсний стабілізатор напруги переходить у початковий стан. В цей момент ШІМ-контролер K1156EU2 ініціалізується, готуючи систему до роботи. Одразу після цього активується блок плавного старту, який обмежує струм під час заряджання вхідної ємності польових транзисторів та конденсаторів вихідного фільтра стабілізатора напруги. Це дозволяє поступово збільшувати максимальний час відкриття силових ключів, запобігаючи раптовим стрибкам струму.

Далі починається основний режим роботи – стабілізація напруги. Компаратор на операційному підсилювачі порівнює вихідну напругу з опорною напругою. Залежно від сигналу неузгодженості, модулятор змінює шпаруватість імпульсів керування ключем, мінімізуючи різницю між вихідною та опорною напругою.

ШІМ-контролер K1156EY2 генерує широтно-модульовані імпульси для керування силовими ключами, а драйвер IRS2110 підсилює ці імпульси та керує польовими транзисторами, що під'єднані до первинної обмотки імпульсного трансформатора. Імпульсний трансформатор передає енергію до навантаження, а вихідна напруга після випрямлення та згладжування LC-фільтром надходить до навантаження.

Під час роботи датчик струму контролює струм через силові польові транзистори. Якщо струм перевищує допустиму величину, напруга на ніжці 9 мікросхеми K1156EY2 перевищує 1В, що призводить до закриття силових ключів та обмеження струму, забезпечуючи захист від перевантаження.

Блок зворотного зв'язку на основі оптопари контролює вихідну напругу. Якщо вихідна напруга перевищує номінальну величину, генерація ШІМ припиняється, а при зниженні напруги генерація відновлюється. Частота роботи контролера ШІМ задається відповідними радіоелементами R і C, що дозволяє точно налаштувати роботу стабілізатора.

Таким чином, імпульсний стабілізатор напруги забезпечує стабільну вихідну напругу, ефективно керуючи процесом передавання енергії та захищаючи систему від перевантажень.

2.2 Розробка структурної схеми пристрою

Структурна схема пристрою наведена на рис. 9. Імпульсний стабілізатор напруги в порівнянні з лінійним стабілізатором має менші втрати енергії на нагрівання регулюючого елемента, що підвищує ККД стабілізатора і дозволяє застосовувати регулюючий елемент меншої потужності, а радіатор - менших розмірів та маси.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10.193 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Імпульсний стабілізатор напруги є системою автоматичного регулювання. Параметром для контуру регулювання служить опорна напруга, яка порівнюється з вихідною напругою стабілізатора. Залежно від сигналу неузгодженості пристрій керування змінює співвідношення тривалостей відкритого та закритого стану ключа. За типом ланцюга управління розрізняють три схеми перетворювачів. З тригером Шмітта, з широтно-імпульсною модуляцією та з частотно-імпульсною модуляцією.

У перетворювачі з широтно-імпульсною модуляцією в процесі роботи накопичувач енергії, або підключений до вхідної напруги, або передає накопичену енергію навантаженню. В результаті на виході є деяке середнє значення напруги, яке залежить від вхідної напруги та шпаруватості імпульсів керування ключем.

Компаратор на операційному підсилювачі порівнює вихідну напругу з опорною напругою та посилює різницю, яка надходить на модулятор. Якщо вихідна напруга менша за опорну, то модулятор збільшує відношення часу відкритого стану ключа до періоду тактового генератора. При зміні вхідної напруги або струму навантаження шпаруватість імпульсів керування ключем змінюється таким чином, щоб забезпечити мінімальну різницю між вихідною та опорною напругою.

Перетворювач напруги, який розглядається, побудований на основі **ШИМ-контролера K1156EY2**. Контролер формує широтно-модульовані імпульси для відкриття силових ключів. Чим менше напруга на виході, тим більше часу силові ключі відкриті. У міру збільшення напруги ключі починають відкриватися на менший час. Власне це забезпечує стабілізацію вихідної напруги. Для підсилення сигналу з ШІМ –контролера та керування польовими транзисторами, застосовано драйвер IRS2110.

Блок обмеження сигналу управління служить для обмеження стрибків напруги сигналів управління та струму заряду вхідної ємності польових транзисторів. Сигнали з блоку обмеження поступають на блок силових ключів, що зібрані на основі напівмостової схеми. Польові транзистори під'єднані до

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

первинної обмотки силового імпульсного трансформатора, що живиться від окремого джерела живлення.

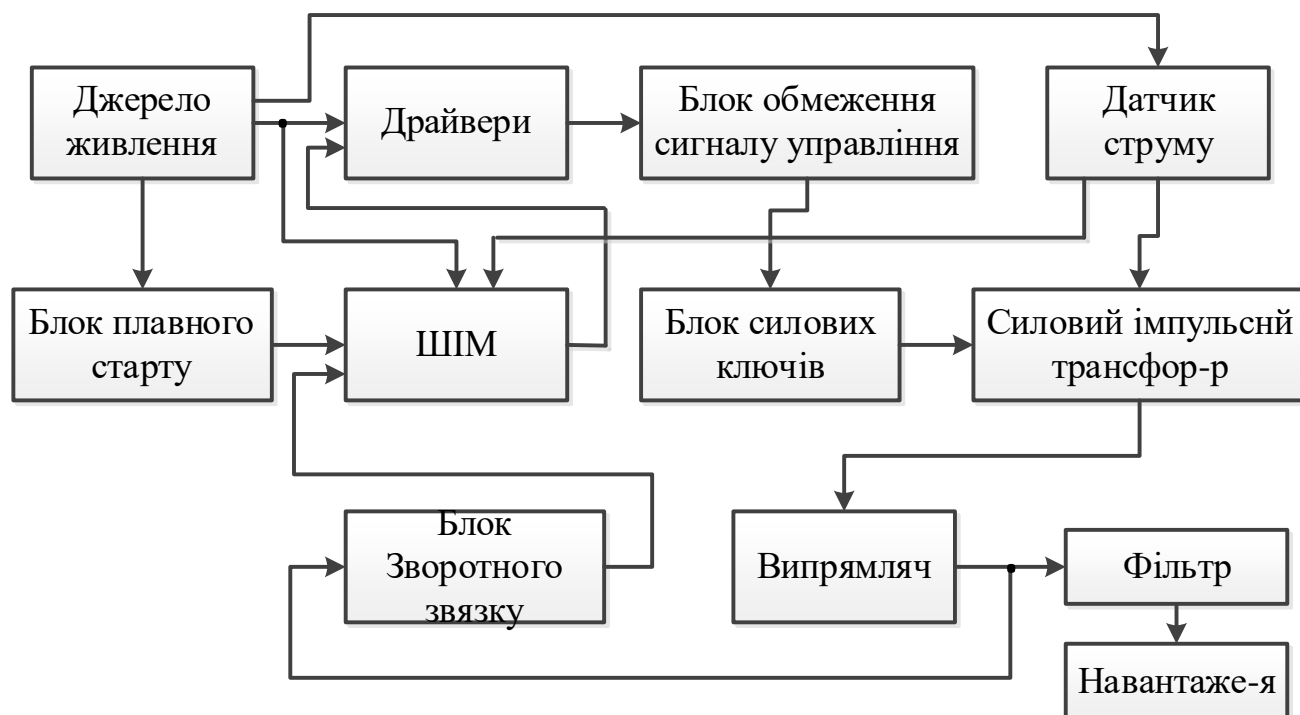


Рисунок 9 – Структурна схема перетворювача напруги

У схемі реалізовано захист від навантаження струмом, тобто обмеження максимально можливого вихідного струму. Це реалізовано за допомогою **датчика струму**. Якщо струм через силові польові транзистори перевищує певну величину, то напруга на ніжці 9 мікросхеми K1156EУ2 перевищує 1В, що призводить до закриття силових ключів і обмеження струму.

Блок плавного старту забезпечує обмеження струму під час заряджання вхідної ємності польових транзисторів та конденсаторів вихідного фільтра стабілізатора напруги. Завдяки плавному старту, максимально можливий час відкривання силових ключів, поступово збільшується.

Якщо між відповідним входом контролера і загальним проводом встановити конденсатор, то він буде поступово заряджатися, що приведе до поступового збільшення ширини імпульсів від нуля до розрахункового значення.

Це забезпечує поступове, а не миттєве наростання сили струму і напруги в системі. Це і є плавний старт. Якщо штучно обмежити напругу на цьому вході контролера, наприклад, шляхом підключення подільника напруги і діода, то можна взагалі виключити перевищення ширини імпульсів іншого заданого значення. Це буває потрібно для підвищення стійкості роботи конструкції.

Напруга з вторинної обмотки силового трансформатора поступає на **випрямляч**, згладжується **LC- фільтром** і надходить у **навантаження**.

Зміна напруги на виході перетворювача **контролюється блоком зворотного зв'язку**. Він представляє собою оптопару вихідний сигнал якої, поступає на вхід контролера. Якщо напруга на виході перетворювача перевищить номінальну величину, то за рахунок зворотного зв'язку, генерація ШІМ перерветься. При зниженні напруги від номінальної величини, за тим же зворотним зв'язком, генерація відновиться. Частота роботи контролера ШІМ задається відповідними радіоелементами R і C.

					<i>ЕліТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
						25
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ПРИСТРОЮ

3.1 Вибір елементної бази

Для вибору елементної бази імпульсного стабілізатора напруги ми повинні врахувати різні компоненти, які забезпечують його роботу. Спершу звернемо увагу на ШИМ-контролер. Ми обрали K1156EY2, оскільки він має відповідну частоту роботи, напругу живлення та функції захисту.

Мікросхема K1156EY2. Мікросхема K1156EY2 є ШИМ-контролером і призначена в першу чергу для використання в якості схеми керування імпульсними джерелами вторинного електроживлення, що працюють у розширеному діапазоні температури на частотах до 1 МГц.

Найближчими аналогами мікросхеми K1156EY2 є мікросхеми UC2825, а K1156EY3 - UC2823 фірми Unitrode.

Особливості:

Управління потужними МОП-транзисторами (двотактне - K1156EY2P, K1156EY2xT; однотоктне - K1156EY3P, K1156EY3xT).

- Робота в пристроях із зворотним зв'язком з напруги та струму.
- Функціонування на частотах 1 МГц.
- Затримка сигналу через схему 50 нс.
- Напівмостові виходи на струм до 1,5 А.
- Широкопasmовий підсилювач помилки.
- Наявність ШИМ-Клямки.
- Обмеження струму у кожному періоді.
- Плавний запуск. Обмеження величини максимальної тривалості вихідного імпульсу.

Захист від зниженої напруги живлення із гістерезисом.

- Синхронізація від зовнішнього сигналу.
- Вимкнення схеми за зовнішнім сигналом.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

- Низький струм споживання може "Вимкнено" (1,1 мА).
- Прецизійне джерело опорної напруги (5,1 ±1 %).

Призначення виводів мікросхеми K1156EУ2 наведено в таблиці 1

Таблиця 1 - Призначення виводів K1156EУ2

Номер виводу	Найменування висновку	Номер виводу	Найменування виводу
1	Інвертуючий вхід операційного підсилювача	9	Вивод обмеження струму або зупинки
2	Неінвертуючий вхід операційного підсилювача	10	Загальний вивод
3	Вихід операційного підсилювача, інверт. вхід ШІМ-компаратора	11	Вихід драйвера А
4	Вхід/вихід синхронізації	12	Емітери драйверів А та В
5	Вивод підключення резистора, що задає час.	13	Колектори драйверів А та В
6	Вивод підключення часзадаючого конденсатора	14	Вихід драйвера В
7	Неінвертуючий вхід ШІМ-компаратора	15	Вивод живлення
8	Вивод плавного запуску	16	Вихід джерела опорної напруги

Графічне зображення мікросхеми K1156EУ2 представлено на рис. 10.



Рисунок 10 – Графічне зображення мікросхеми K1156EY2

Далі переходимо до драйвера силових ключів. В нашому випадку ми використовуємо IRS2110. Він підходить за такими параметрами, як максимальна напруга та струм, швидкість перемикання та логічний рівень входів.

Драйвери IRS2110. Мікросхема IR2110S є драйвером високовольтних, високошвидкісних МОН-транзисторів або IGBT-транзисторів з незалежними вихідними каналами нижнього і верхнього рівнів.

Логічний вхід сумісний із стандартними КМОН або LSTTL виходом. Виходи драйверів вирізняються високим імпульсним струмом буферного каскаду, що виконано для мінімізації зустрічної провідності драйвера.

Вихідний канал може бути використаний для управління N-канальним силовим МОН-транзистором або IGBT-транзистором із напругою живлення верхнього рівня до 500В. Зовнішній вигляд драйвера IRS2110 зображено на (рис11)

IR2110



Рисунок 11 – Зовнішній вигляд драйвера IRS2110

						Арк.
					ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ	28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики:

- кількість драйверів: 2 Driver;
- кількість виходів: 2 Output;
- вихідний струм: 2,5 A;
- час наростання: 35 ns;
- час спаду: 25 ns;
- напруга живлення - хв.: 10 V;
- напруга живлення - макс.: 20 V;
- затримка поширення - макс.: 160 ns;
- робочий струм джерела живлення: 340 μ A;
- Pd - розсіювання потужності: 1,6 W;
- мінімальна робоча температура: - 40 C°;
- максимальна робоча температура: + 125 C°;
- максимальний час затримки вимкнення: 120 ns;
- максимальний час затримки включення: 130 ns;
- корпус типу: SOIC-16;
- діапазон робочих температур: от -55 °C до +150 °C.

Що стосується силових ключів, ми обрали польові транзистори типу MOSFET IRF630 (рис12). Важливо врахувати максимальну напругу дренаж-джерело, максимальний струм, Rds(on) та тепловий опір.

Польовий транзистор IRF630. N-канальний польовий силовий транзистор у режимі покращення з використанням технології Trench, призначений для використання в автономному режимі:

- імпульсні джерела живлення;
- джерела живлення для телевізорів і комп'ютерних моніторів;
- джерела постійного струму до d.c.;
- перетворювачі;
- схеми керування двигунами і програми комутації загального призначення.

					<i>ЕліТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Драйвер IRF630 (рис11) поставляється в стандартному свинцевому корпусі SOT78 (TO220AB).

Драйвер IRF630S поставляється в пакеті для поверхневого монтажу SOT404 (D2PAK).



Рисунок 12 – Зовнішній вигляд драйвера IRF630

Характеристики:

- V_{DSS} Напруга стік-витік - 200 В;
- V_{GS} Напруга затвор-витік - ± 20 В;
- I_D Постійний струм витоку $V_{GS} = 10$ В - 9 А;
- I_{DM} Імпульсний струм стоку $T_{mb} = 25$ °С - 36 А;
- P_D Загальна розсіююча потужність $T_{mb} = 25$ °С - 88 Вт.

Для випрямлення напруги використовуємо діоди Шоттки або швидкодіючі діоди. Вони повинні мати високу швидкість перемикання, ми обрали 1N5822.

Діоди Шоттки. Характеристики діода 1N5822:

- Обернена напруга пробою (Reverse Voltage, V_{RRM}): 40 В;
- Прямий струм (Forward Current, I_F): 3 А;
- Падіння напруги на діоді (Forward Voltage Drop, V_F): приблизно 0.45 В при номінальному струмі;
- Температурний діапазон: зазвичай від -65°С до +125°С;
- Корпус: зазвичай DO-201AD (DO-27), що є стандартним для діодів з прямим підключенням.

									Арк.
									30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕліТ 6.171.00.10. 193 ПЗ				

Цей діод відрізняється від звичайних діодів тим, що використовує технологію Шотткі, що дозволяє йому мати менше падіння напруги при роботі.

Для зворотного зв'язку ми використовуємо оптопару. Наприклад, PC817 або 4N35, які мають відповідну напругу, струм та швидкість реакції.

Оптопара PC817C - це популярна оптопара (рис 13), яка складається з інфрачервоного світлодіода (ІЧ-світлодіода) та фототранзистора, розміщених в одному корпусі. Оптопари використовуються для гальванічної розв'язки між різними частинами електричних схем, забезпечуючи захист від перенапруг та покращуючи електромагнітну сумісність. Вони забезпечують безпечну передачу сигналів між низьковольтними та високовольтними ланцюгами.



Рисунок 13 – Зовнішній вигляд оптопари PC817C

Характеристики:

- максимальна напруга колектор-емітер (V_{ce}) - 35 В;
- максимальний струм колектора (I_c): - 50 мА;
- струм через світлодіод - максимальний - 50 мА, номінальний - 20 мА;
- напруга прямого зміщення світлодіода (V_f) – 1,2 В;
- температурний діапазон роботи (T_{opr}) від -30°C до $+100^{\circ}\text{C}$;
- температурний діапазон зберігання (T_{stg}) від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$;
- коефіцієнт передачі струму від 200% - 400% при $I_f = 5$ мА, $V_{ce} = 5$ В;
- час перемикання - час підйому - 4 мкс, час спаду - 3 мкс;
- ізоляційна напруга між входом і виходом (V_{iso}) - 5000 В;
- корпус - DIP-4 (4-вивідний корпус для монтажу на друковану плату).

									Арк.
									31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ				

Ці характеристики роблять РС817С відмінним вибором для ізоляції сигналів у схемах керування, передачі даних та інших застосуваннях, де необхідна гальванічна ізоляція між вхідною та вихідною частинами схеми.

Світлодіод AL307 (рис 14) використовуються як індикатори в різних електронних пристроях. Вони мають стандартний корпус, добре підходять для монтажу на друкованих платах і відомі своєю тривалою роботою та низьким споживанням енергії.



Рисунок 14 – Зовнішній вигляд світлодіодів серії AL307

Характеристики:

- тип світлодіода - індикаторний світлодіод;
- корпус - традиційний круглий корпус 3 мм, прозорий або кольоровий;
- колір світіння - доступний в різних кольорах;
- напруга прямого проведення (Forward Voltage, V_F), зазвичай від 1.8 В до 2.2 В для червоного світлодіода. Може варіюватися для світлодіодів різних кольорів (наприклад, до 3.6 В для синіх або білих світлодіодів);
- прямий струм (Forward Current, I_F) - зазвичай 20 мА (максимум 30 мА);
- інтенсивність світіння (Luminous Intensity) - Залежить від кольору та конструкції, але зазвичай становить від 2 до 10 мкд;
- кут розсіювання світла - Зазвичай близько 30-60 градусів;
- температурний діапазон - Від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$;
- довжина хвилі випромінювання - для червоного світлодіода - приблизно 625 нм , для зеленого світлодіода - приблизно 565 нм, для жовтого світлодіода - приблизно 585 нм.

					ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Діоди TVS використані для захисту від перенапруги та захисні резистори для обмеження струму в ланцюгах керування.

Діоди **VD7, VD8** - TVS діоди (діоди для придушення транз'єнтних напруг) (рис.15) використовуються для захисту електронних схем від короточасних перенапруг (транз'єнтів). Вони швидко реагують на перенапруги, забезпечуючи захист від таких явищ, як електростатичні розряди (ESD), імпульсні перенапруги та комутаційні перенапруги. Коли напруга перевищує поріг захисту, TVS діод замикається і перенапруга розсіюється через діод, знижуючи ризик пошкодження чутливих електронних компонентів.

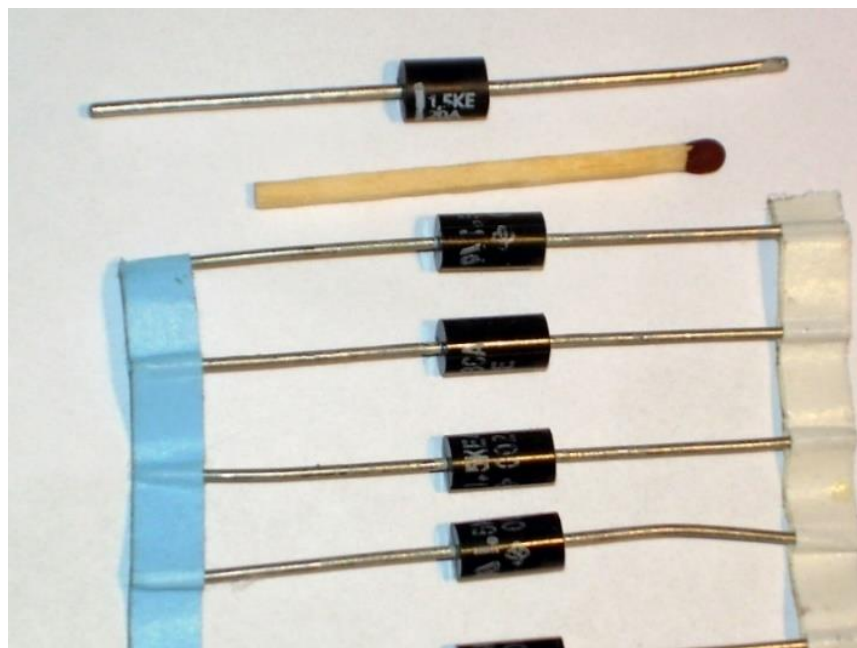


Рисунок 15 – Зовнішній вигляд TVS діодів

Характеристики TVS діодів:

1. Тип діода:

TVS діоди можуть бути здійснені як звичайні p-n перехідні діоди, так і як спеціалізовані варіанти, такі як Zener TVS діоди або діоди з високим напруговим коефіцієнтом зворотного під'єднання.

2. Захистна напруга (Standoff Voltage, V_{RWM}):

Це напруга, при якій TVS діод не проводить і не впливає на схему. Наприклад, TVS діоди можуть мати напругу захисту від 5 В до кількох кіловольтів.

					ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3. Прямий струм (Peak Pulse Current, I_{PP}):

Це максимальний тимчасовий струм, який діод може витримати протягом короткого періоду часу (наприклад, мікросекунди), коли на нього подається транз'єнтний розряд. Зазвичай значення I_{PP} для TVS діодів може бути від кількох десятків міліампер до декількох ампер.

4. Загальний струм (Peak Pulse Power, P_{PP}):

Це максимальна потужність, яку TVS діод може розсіювати під час витримки транз'єнтного розряду. Вимірюється в ватах і залежить від характеристик конкретного діода.

5. Відповідь на швидкість (Response Time):

Це час, за який TVS діод відповідає на зміни напруги і починає витримувати перенапругу. Вимірюється в наносекундах і важливий для захисту електронних пристроїв від короткочасних транз'єнтних розрядів.

6. Тип корпусу:

TVS діоди можуть мати різні типи корпусів, такі як SMA, SMB, SMC для поверхневого монтажу або DO-214AC (SMA) для провідного монтажу, серед інших.

Вибір цих компонентів повинен враховувати специфікації кожного елемента та відповідність їх робочим умовам у схемі імпульсного стабілізатора. Важливо також забезпечити правильне тепловідведення для силових елементів, таких як MOSFETи, та врахувати вимоги до надійності і довговічності компонентів.

3.2 Розробка принципової схеми

В даному проекті розроблено принципову схему імпульсного стабілізатора напруги на основі ШІМ-контролера K1156EУ2. Основна ідея полягала у створенні системи автоматичного регулювання, яка б мала менші втрати енергії на нагрівання регулюючих елементів, підвищуючи ККД стабілізатора.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10.193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- **ШИМ-контролер K1156EУ2:** Цей контролер генерує широтно-імпульсні модульовані сигнали, які відкривають силові ключі. Контролер регулює шпаруватість імпульсів залежно від напруги на виході стабілізатора.
- **Драйвер для управління польовими транзисторами IRS2110:** Драйвер підсилює сигнал з ШИМ-контролера, що забезпечує надійне управління силовими ключами.
- **Блок обмеження сигналу управління:** Цей блок обмежує стрибки напруги сигналів управління та струму заряду вхідної ємності польових транзисторів.
- **Блок силових ключів на польових транзисторах:** Блок виконаний за напівмостовою схемою та підключений до первинної обмотки силового імпульсного трансформатора.
- **Імпульсний трансформатор:** Трансформатор передає енергію з первинної до вторинної обмотки, забезпечуючи необхідне перетворення напруги.
- **Випрямляч і LC-фільтр:** Випрямляч і LC-фільтр згладжують пульсації вихідної напруги після випрямлення.
- **Блок захисту від перевантаження:** Цей блок включає датчик струму для моніторингу струму через силові ключі. При перевищенні допустимого струму блок блокує відкривання силових ключів.
- **Блок плавного старту:** Блок забезпечує поступове збільшення ширини імпульсів при запуску, що запобігає різким стрибкам напруги та струму.
- **Блок зворотного зв'язку на оптопарі:** Блок контролює напругу на виході та передає сигнал на ШИМ-контролер для корекції його роботи.

3.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми

3.3.1 Розрахунок блоку силових ключів на MOSFET- транзисторах RF630.

Схема ключа на MOSFET- транзисторі RF630 наведена на рис. 16.

Параметри транзистора RF630:

- час відкриття $T_{\text{відк.}}$ (Rise Time - T_r) = 27 нс;

					ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- час закриття $T_{\text{закр.}}$ (Fall Time - T_f) = 24 нс;
- вхідна ємність $C_{\text{вх.}}$ (Input Capacitance - C_{iss}) = 1400 пФ;
- порогова напруга $U_{\text{пор.}} = 12\text{В}$;
- напруга $E_c = 20\text{В}$.

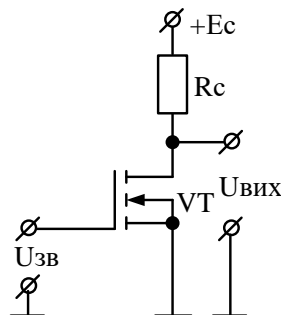


Рисунок 16 – Ключ на транзисторі MOSFET

1. Незважаючи на те, що MOSFET управляється тільки напругою і струм через затвор не йде, затвор з підкладкою утворює паразитний конденсатор. Коли транзистор відкривається або закривається, конденсатор заряджається або розряджається через вхід ключової схеми. І якщо цей вхід підключений до push-pull виходу мікросхеми, через неї потече досить великий струм, який може вивести її з ладу.

При управлінні типу push-pull, схема розряду конденсатора утворює, фактично RC-ланцюжок, в якому максимальний струм розряду дорівнюватиме

$$I_{\text{розр.}} = U_{\text{пор.}} / R_1,$$

де $U_{\text{пор.}}$ - напруга, якою управляється транзистор.

Таким чином, достатньо буде поставити резистор на 100 Ом, щоб обмежити струм заряду – розряду до 10 мА. Але чим більше опір резистора, тим повільніше він відкриватиметься і закриватиметься, оскільки постійна часу $\tau = RC$ збільшиться. Це важливо, якщо транзистор часто перемикається. Наприклад, у ШІМ-регуляторі. Основні параметри, на які слід звертати увагу - це гранична напруга $U_{\text{пор.}}$, максимальний струм через стік I_c і опір стік - витік $R_{\text{св}}$ у відкритого транзистора.

									Арк.
									36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ				

Опір стік - витік R_{CB} у транзистора досить низький, але при великих напругах керованого навантаження, він може призвести до виділення значної потужності у вигляді тепла.

2. Ключ (рис. 17) управляється імпульсним перепадом. Якщо його нижній рівень менший за напругу відсічки $U_{відс}$ ($U_{вх} < U_{відс}$) (рис. 2), то транзистор закритий, струм через нього не проходить, а напруга на виході $U_{вих} = E_c$.

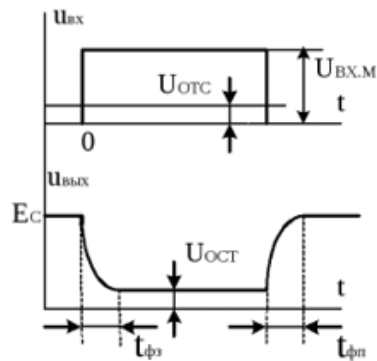


Рисунок 17 - Часові діаграми роботи ключа

Коли вхідний сигнал $U_{вх} > U_{відс}$, то транзистор перебуває у відкритому стані, робоча точка А, є точкою перетину навантажувальної прямої з вихідною статичною характеристикою при $U_{зв} > (U_{вх} - U_{відс})$ (рис. 18).

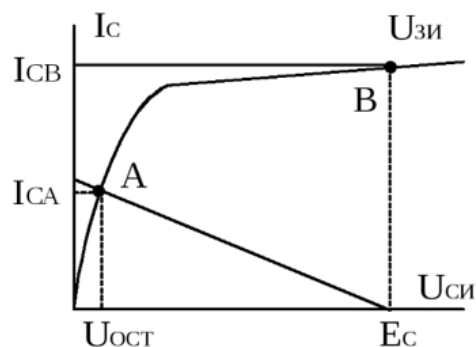


Рисунок 18 – Вихідна статична характеристика ключа

У робочій точці через транзистор протікає струм I_{CA} , а напруга на сток-витік транзистора дорівнює залишковій $U_{зал}$, величина якої залежить від вхідної напруги

й опору навантаження R_{CB} . Таким чином, перепад вихідної напруги є близькою до напруги джерела E_c (рис. 18).

Якщо розглядати MOSFET транзистори як навантаження для схеми їх управління, то вони являють собою конденсатори з ємністю у тисячі пікофарад. Для відкриття транзистора, цю ємність необхідно зарядити, а при закриванні - розрядити, і як можна швидше. Граничне значення напруги відкриття транзисторів зазвичай становить 2 - 4 В, а максимальне при якому транзистор повністю відкритий 10-15В. Тому слід подавати напругу 10-15В. Але навіть в такому випадку ємність затвора заряджається не відразу і якийсь час транзистор працює на нелінійній ділянці своєї характеристики з великим опором каналу, що призводить до великого падіння напруги на транзисторі і його надмірного нагрівання (ефект Міллера).

Для того щоб ємність затвора швидко зарядилася і транзистор відкрився, необхідно щоб схема управління могла забезпечити якомога більший струм заряду ємності затвору транзистора. Величину ємності затвора транзистора визначають з паспортних даних транзистора.

3. При розрахунку приймаємо величину вхідної ємності $C_{вх} = 1400$ мФ.

Струм відкриття транзистора:

$$I_{відк.} = U_{пор.} \cdot C_{вх} / T_{відк.} = 12 \cdot 1400 \cdot 10^{-12} / 27 \cdot 10^{-9} = 622 \text{ мА.}$$

Струм закриття транзистора визначимо за тим же принципом:

$$I_{закр.} = U_{пор.} \cdot C_{вх} / T_{відк.} = 12 \cdot 1400 \cdot 10^{-12} / 24 \cdot 10^{-9} = 700 \text{ мА.}$$

Так як живлення схеми управління $U_{пор.} = 12$ В, то обмежуючий струм відкриття резистор, визначимо за формулою:

$$R1 = U_{пор.} / I_{відк.} = 12 / 622 \cdot 10^{-3} = 19,3 \text{ Ом.}$$

Згідно стандартному ряду E24, приймаємо $R1 = 20$ Ом.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Управляти таким транзистором безпосередньо від контролера не вийде, так як максимальна напруга, яку може забезпечити контролер, буде у межах 5В, а максимальний струм у межах 50 мА. Вихід контролера буде перевантажений, а на транзисторі буде проявлятися ефект Міллера, і схема дуже швидко вийде з ладу, так як, або контролер, або транзистор, перегріються раніше.

За паспортними даними транзистора видно, що час закриття повинен бути менше часу відкриття, а струм закриття вище струму відкриття $I_{закр} > I_{відк}$.

Забезпечити більший струм закриття, можна зменшивши опір R1, але тоді також збільшиться і струм відкриття, це вплине на величину комутаційного сплеску напруги при виключенні, залежить від швидкості спаду струму di/dt .

Тому у ланцюзі затвора встановимо діод, який буде пропускати струм закривання транзистора $I_{закр}$. (рис. 19).

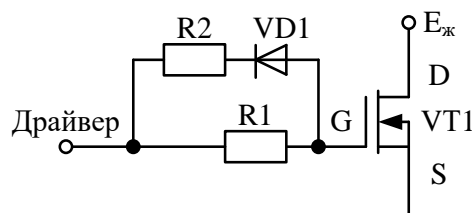


Рисунок 19 – Схема комутації струму затвора

Тоді відкриваючий струм $I_{відк}$ буде протікати через резистор R1, а закриваючий струм $I_{закр}$ - через діод VD1, а так як опір р-п переходу діода набагато менше, ніж опір резистора R1, то і $I_{закр} > I_{відк}$. Діод вибираємо відповідно струму закривання $I_{VD} \geq I_{закр}$, та напрузі $U_{зв.VD} = \sqrt{2} U_{пор}$. Для того щоб струм закривання не перевищував свого значення, послідовно з діодом вмикаємо резистор R2, опір якого визначимо нехтуючи опором діода у відкритому стані.

$$R2 = U_{пор} / I_{закр} = 12 / (700 \cdot 10^{-3}) = 17,14 \text{ Ом.}$$

Згідно стандартному ряду E24, приймаємо $R2 = 16 \text{ Ом}$.

Для управління транзисторами MOSFET RF740 у блоці силових ключів, використані драйвери.

					<i>ЕліТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.2 Розрахунок блоку зворотного зв'язку.

Схема блоку зворотного зв'язку наведена на рис. 20.

Початкові дані для розрахунку:

- напруга на виході імпульсного перетворювача $U_{\text{вих}} = 15\text{В}$;
- стабілітрон КС147А. Параметри стабілітрона: $U_{\text{ст}} = 4,3\text{-}5,2\text{ В}$; $I_{\text{стmin}} = 3\text{ мА}$; $I_{\text{стmax}} = 58\text{ мА}$; $R_{\text{диф}} = 18\text{ Ом}$;
- струм світлодіода оптопари $I_{\text{VD}} = 20\text{ мА}$;
- напруга на світлодіоді оптопари $U_{\text{VD}} = 2,2\text{ В}$;

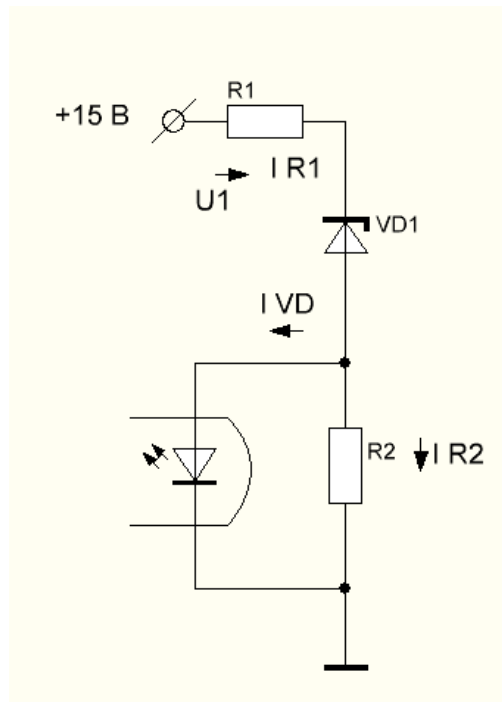


Рисунок 20 – Схема зворотного зв'язку

1. Номінальний струм стабілітрона

$$I_{\text{стmin}} = (I_{\text{стmin}} + I_{\text{стmax}}) / 2 = (3 + 58) / 2 = 30\text{ мА}.$$

2. Згідно другому закону Кірхгофа потенціали напруги на елементах ланцюга схеми рис. 20, за напругою живлення 15 В, дорівнюють

$$U_{R1} = 8,1\text{ В}, \quad U_{R2} = 2,2\text{ В}, \quad U_{\text{VD1}} = 4,7\text{ В}.$$

3. Струм у нерозгалуженій ділянці $I_{R1} = 30\text{ мА}$.

Тоді, згідно першому закону Кірхгофа $I_{R2} = 10\text{ мА}$, $I_{\text{VD}} = 20\text{ мА}$.

					ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Величини опорів ланцюга

$$R_1 = U_{R1} / I_{R1} = 8,1 / 0,03 = 270 \text{ Ом.}$$

$$R_2 = U_{R2} / I_{R2} = 2,2 / 0,01 = 220 \text{ Ом.}$$

5. Потужність, яка розсіюється на опорах ланцюга

$$P_{R1} = I_{R1}^2 \cdot R_1 = 0,03^2 \cdot 270 = 0,24 \text{ Вт;}$$

$$P_{R2} = I_{R2}^2 \cdot R_2 = 0,01^2 \cdot 220 = 0,022 \text{ Вт;}$$

3.3.3 Розрахунок індикації напруги на виході імпульсного пристрою.

Початкові дані для розрахунку схеми рис. 21.

- номінальна напруга на виході пристрою $U_{\text{ном}} = 15 \text{ В}$;
- струм світлодіода АЛ307А $I_{VD} = 20\text{мА}$;
- напруга на світлодіоді $U_{VD} = 2,0 \text{ В}$.

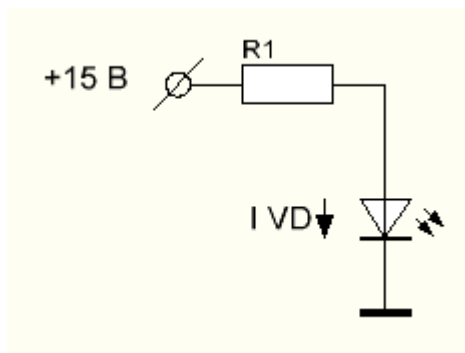


Рисунок 21 – Схема індикації напруги

1. Опір резистора, який обмежує струм світло діода

$$R_1 = (U_{\text{вих}} - U_{VD}) / I_{VD} = (15 - 2) / 20 \cdot 10^{-3} = 650 \text{ Ом.}$$

2. Потужність, яка розсіюється на опорі R1

$$P_{R1} = I_{R1}^2 \cdot R_1 = 0,02^2 \cdot 650 = 0,26 \text{ Вт.}$$

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

ВИСНОВКИ

Проектування пристрою проводилося на основі функціонально завершених блоків, які здатні самотійно або в сукупності з іншими блоками вирішувати поставлені завдання. Керування напругою виходу організовано за допомогою ШІМ-контролера K1156EУ2, який генерує широтно-імпульсні модульовані сигнали для відкриття силових ключів. Драйвер IRS2110 підсилює сигнали з ШІМ-контролера для ефективного керування польовими транзисторами. Блок обмеження сигналу управління захищає польові транзистори від стрибків напруги та надмірного струму, забезпечуючи їхню надійну роботу.

Блок силових ключів на польових транзисторах, виконаний за напівмостовою схемою, підключений до первинної обмотки імпульсного трансформатора, що живиться від окремого джерела живлення. Імпульсний трансформатор передає енергію з первинної обмотки на вторинну, де напруга випрямляється і згладжується LC-фільтром перед подачею на навантаження. Випрямляч і LC-фільтр забезпечують стабільну вихідну напругу з мінімальними пульсаціями.

Для захисту від перевантаження використовується датчик струму, який моніторить струм через силові ключі. При перевищенні допустимого струму блок захисту від перевантаження блокує відкривання силових ключів, запобігаючи пошкодженню компонентів. Зворотний зв'язок на оптопарі контролює напругу на виході і коригує роботу ШІМ-контролера для підтримки стабільної вихідної напруги. Частота роботи контролера задається відповідними радіоелементами, що дозволяє гнучко налаштувати роботу стабілізатора.

Вибрані компоненти є доступними та забезпечують необхідну функціональність пристрою. Використання сучасних елементів і продуманих схемних рішень дозволило створити компактний, надійний і ефективний стабілізатор напруги. Цей прилад має такі переваги, як висока ефективність, надійність, компактність і можливість заміни окремих компонентів. Загалом, створений стабілізатор напруги забезпечує надійну стабілізацію вихідної напруги, захист від перевантажень, плавний запуск і високу стабільність роботи.

					<i>ЕліТ 6.171.00.10.193 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. https://eprints.kname.edu.ua/55278/1/2019%20печ%2080Л%20СП_2019.pdf
2. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/1eeac1d4-e1a7-4a0f-ae14-09084b385d72/content>
3. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/18756636-d5f2-42a5-b7d2-703138c088db/content>
4. <https://vinnitsa.info/article/shim-kontrolery-dlya-sonyachnykh-elektrostantsiy-pryznachennya-ta-osoblyvosti-funktsionuvannya>
5. Новгородцев А. І. , Серода І. М. Плавний старт імпульсного стабілізатора з ШІМ. ЕЛІТ Фізика, електроніка, електротехніка ФЕЕ - 2024 Матеріали та програма міжнародної наукової конференції молодих вчених (Суми, 22-26 квітня 2024 року) Суми, Сумський державний університет 2024.

					ЕЛІТ 6.171.00.10. 193 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
Конденсатори			
C1,C3,C6, C7	SK-6,3B – 0,1 мкФ ±20%	4	
C2,C5	K53-1A-16B -510 пФ ±20%	2	
C4	K10-23 -16B -100 пФ ±20%	1	
C8	K53-1A-16B -300 пФ ±20%	1	
C9	SX-16B-47мкФ ±20%	1	
Мікросхеми			
DD1	K1156EY2	1	
DA2	IRS2110	1	
Діоди			
VD1,VD4	КД213А	2	
VD2,VD3	SR360	2	
VD5,VD6	КД213А	2	
VD7,VD8	КД202Б	2	
VD9	КС147А	1	
Оптопари			
U1	TLP521	1	
Резистори			
R1, R2	МЛТ-0,25-100 Ом ±5%	2	
R3	МЛТ-0,25 -1,0кОм ±5%	1	
R4	МЛТ-0,25 -10кОм ±5%	1	
R5	МЛТ-0,25-2,4кОм ±5%	1	
R7,R8	МЛТ-0,25-100 Ом ±5%	2	
R9	МЛТ-0,25 -470 Ом ±5%	1	
R10	МЛТ-0,25 -12 кОм ±5%	1	
R11	МЛТ-0,25 -100 кОм ±5%	1	
R12	МЛТ-0,25-270 Ом ±5%	1	
R13	МЛТ-0,25-220 Ом ±5%	1	
R14	МЛТ-0,25-650 Ом ±5%	1	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпи	Дата	ЕЛІТ 6.171.00.10 193 ПЕ			
Разраб.		Середа						Перетворювач постійної напруги з широтно- імпульсною модуляцією. Перелік елементів .
Провер.		Новгородцев				1	2	
Н. контр.		Гапич			Сум ДУ ЕС –01			
Утверд.		Опанасюк						

Поз. обозн.	Наименование				Кол.	Примечание	
Индикатори							
HL1	АЛ307А				1		
Транзистори							
VT1, VT2	1RF630				2		
					ЕЛІТ 6.171.00.10 193 ПЕ		Лист 2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			