

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота
другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження системи керування
ІППН 1 роду на базі мікроконтролера

Виконав: студент II курсу, групи 8.1712-2
спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Електроніка
(код і назва освітньої програми)

Погов Сергій Володимирович
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н. доц. Шершов С.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 «Електроніка»

(код і назва)

Освітня програма Електроніка

(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“09” 10 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Попову Сергію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження системи керування ІРПН 1 роду на базі мікроконтролера

керівник роботи _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “09” ЖОВТНЯ 2023 року № 1577-с

2 Строк подання студентом роботи 4.03.24

3 Вихідні дані до роботи Вхідна напруга 24 В, вихідна напруга -12 В, струм навантаження -2 А

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Загальні відомості про імітувний перетворювач мікроконтролера для системи управління, дослідження та розробка ІРПН, конструкторсько-технологічна частина, Техніко-економічне обґрунтування

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

Постановка завдання - А1, Схема електрична
принципова, Модулювання, Результати модулювання
Праця друкована

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н. доц. Шманіт		
2	к.т.н. доц. Шманіт		
3	к.т.н. доц. Шманіт		
4	к.т.н. доц. Шманіт		
5	к.т.н. доц. Шманіт		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Академічний огляд	8.02 - 11.02	
2	Розробка схеми	12.02 - 14.02	
3	модулювання та зразження	15.02 - 18.02	
4	Розробка конструкції	19.02 - 23.02	
5	Економічні розрахунки	24.02 - 25.02	
6	Підготовка графічної частини	26.02 - 29.02	

Студент  Попов С.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)  Шманіт С.М.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Туринцев К.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: 75 стор., 23 рис., 8 табл., 16 джерел

МІКРОКОНТРОЛЕР, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ,
СТРУМ, НАПРУГА, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ.

Об'єкт дослідження: імпульсний перетворювач.

Предмет дослідження: перехідні процеси в перетворювачах енергії.

Мета роботи: дослідження перехідних процесів процесів в перетворювачах при використанні мікроконтролерів в якості системи управління.

У даній роботі проведено дослідження використання сучасних мікроконтролерів для управління імпульсним перетворювачем напруги 1 роду. Показано переваги використання таких контролерів з метою підвищення показників ефективності перетворення енергії та алгоритмів управління.

Проведено математичне моделювання схеми перетворювача.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Загальні відомості про імпульсні перетворювачі	8
1.1 Класифікація DC/DC конвертерів	8
1.1.1. Понижуючий конвертер чопер - конвертер типу buck	9
1.1.2. Широтно-імпульсна модуляція – ШІМ	10
1.1.3 Підвищуючи step-up або boost перетворювачі	13
1.1.4 Універсальні перетворювачі	14
2 Мікроконтролери для систем управління	16
2.1 Мікроконтролери у системах керування	16
3 Дослідження та розробка ІППН	29
3.1 . Розрахунок параметрів понижувального перетворювача	29
3.2 Вибір індуктора	30
3.3 Вибір вихідного конденсатора	30
3.4 Вибір зворотного діода	32
3.5 Вибір вихідної напруги	32
3.6 Вибір вхідного конденсатора	34
3.7 Реалізація знижувального перетворювача	34
3.8 Широтно-імпульсна модуляція	36
3.9 Математичне моделювання	38
4 Конструкторсько-технологічна частина	42
4.1 Програмне забезпечення для систем проектування	42

4.2	Технологія виготовлення плати друкованої	46
4.3	Заходи з охорони праці	52
4.3.1	Заходи з поліпшення умов праці	49
4.3.2	Виробнича санітарія	58
4.3.3	Пожежна та техногенна безпека	59
4.3.4	Електробезпека	61
4.3.5	Інженерні рішення з охорони праці	62
5	Техніко-економічне обґрунтування	66
5.1	Визначення стадій розробки	66
5.2	Розрахунок заробітної плати	68
5.3	Розрахунок кошторису витрат	69
	Висновки	71
	Список використаних джерел	72
	Додаток А	74
	Додаток Б	75

ВСТУП

У сучасному світі, де електронні пристрої стають все більш мініатюрними, а їхня функціональність — все більш складною та різноманітною, вкрай важливим аспектом є забезпечення їх якісним та надійним електроживленням. Імпульсні перетворювачі, які є серцем систем електроживлення, забезпечують перетворення електричної енергії у форму, що найбільше підходить для живлення різних електронних пристроїв. Однак із зростанням вимог до ефективності, компактності та електромагнітної сумісності (ЕМС) цих систем, виникають нові виклики, пов'язані з управлінням процесами перетворення енергії, зниженням рівня перешкод та підвищенням надійності роботи.

Імпульсні джерела живлення широко поширені в сучасній електронній апаратурі завдяки своїй ефективності, компактності та здатності забезпечувати стабільне живлення для різних типів навантажень. Джерела живлення можуть бути реалізовані у вигляді понижуючих, підвищуючих, інвертуючих та інших типів перетворювачів залежно від вимог до вихідної напруги та струму. В останні роки, на тлі посилення вимог до енергоефективності та електромагнітної сумісності, а також до розмірів та ваги пристроїв, особлива увага приділяється розробці та застосуванню інноваційних технологій у галузі імпульсних джерел живлення. Зокрема, активно розвиваються методи м'якого та резонансного перемикавання, які дозволяють суттєво знизити комутаційні втрати та рівень електромагнітних перешкод, що робить їх ідеальними для використання у високотехнологічній апаратурі. Крім традиційних імпульсних перетворювачів, на ринку існують інші типи джерел живлення, такі як лінійні регулятори напруги і програмовані джерела живлення. Лінійні регулятори прості у використанні та забезпечують хорошу стабілізацію напруги з низьким рівнем шуму, проте вони менш ефективні в порівнянні з імпульсними перетворювачами, особливо при великій відмінності між вхідною та вихідною напругою. Програмовані джерела живлення пропонують високу ступінь

гнучкості та точності в налаштуванні параметрів вихідної напруги та струму, але вони зазвичай дорожчі та складніші в управлінні. Розвиток технологій мікроконтролерів відкрив нові горизонти в управлінні імпульсними перетворювачами. Використання мікроконтролерів дозволяє не тільки оптимізувати робочі параметри перетворювачів для підвищення їх ефективності та зниження перешкод, але й забезпечити можливість динамічної адаптації до умов навантаження і мережі, що змінюються, реалізацію складних алгоритмів управління та інтеграцію системи управління живленням з іншими функціями пристрою. Це робить системи на основі мікроконтролерів особливо актуальними для створення ефективних, гнучких та інтелектуальних рішень у галузі електроживлення сучасних електронних пристроїв.

Системи управління знижуючими імпульсними перетворювачами на основі мікроконтролерів являють собою передовий напрямок у розвитку технологій електроживлення, що дозволяє вирішувати завдання, що стоять перед ними. Застосування мікроконтролерів у системах управління відкриває нові можливості для оптимізації робочих режимів, реалізації методів м'якого та резонансного перемикавання, що у свою чергу сприяє зниженню комутаційних втрат та покращенню параметрів ЕМС. Таке управління дозволяє досягти високої ефективності перетворення, скоротити розміри пасивних компонентів і зменшити рівень перешкод, що генеруються, що критично важливо для живлення високочутливої апаратури, в тому числі аналогових і цифро-аналогових пристроїв, де мінімальний рівень сигналів може становити лише частини мілівольта.

У роботі ми розглянемо основні принципи побудови систем управління знижуючими імпульсними перетворювачами з урахуванням мікроконтролерів, особливості їх застосування. Аналізуючи існуючі рішення та дослідження у цій галузі, ми заглибимося в технічні деталі реалізації таких систем, їх ефективність та вплив на загальні характеристики імпульсних джерел живлення, а також розглянемо перспективи розвитку цього напрямку.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ІМПУЛЬСНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Для живлення різної електронної апаратури досить широко використовуються DC/DC перетворювачі. Застосовуються вони в пристроях обчислювальної техніки, пристроях зв'язку, різних схемах управління і автоматики та ін.

У традиційних трансформаторних блоках живлення напруга мережі живлення за допомогою трансформатора перетворюється, найчастіше знижується, до потрібного значення. Знижена напруга випрямляється доданими мостом і згладжується конденсаторним фільтром. У разі необхідності після випрямляча ставиться напівпровідниковий стабілізатор. Трансформаторні блоки живлення, як правило, оснащуються лінійними стабілізаторами. Переваг у таких стабілізаторів не менше двох: це маленька вартість і незначна кількість деталей в обв'язки. Але ці достоїнства з'їдає низький ККД, оскільки значна частина вхідної напруги використовується на нагрівання регулюючого транзистора, що абсолютно неприйнятно для живлення переносних електронних пристроїв.

Якщо живлення апаратури здійснюється джерелом постійної напруги (гальванічні елементи, сонячні панелі або акумулятори), то перетворення напруги до потрібного рівня можливо лише за допомогою DC/DC перетворювачів [1].

Ідея досить проста: постійна напруга перетворюється в змінну, як правило, з частотою кілька десятків і навіть сотень кілогерц, підвищується (знижується), а потім випрямляється і подається в навантаження. Такі перетворювачі часто називаються імпульсними.

1.1 Класифікація DC/DC конвертерів

Понижуючі, по англійській термінології step-down або chopper. Вихідна напруга цих перетворювачів, як правило, нижче вхідно]: без особливих втрат на нагрівання регулюючого транзистора можна отримати напруга всього кілька

вольт при вхідній напрузі 12 ... 50В. Вихідний струм таких перетворювачів залежить від потреби навантаження, що в свою чергу визначає схемотехніку перетворювача.

Підвищуючі, по англійській термінології step-up або boost. Вихідна напруга цих перетворювачів вище вхідного. Наприклад, при вхідній напрузі 5В на виході можна отримати напруга до 30В, причому, можливо його плавне регулювання і стабілізація. Досить часто підвищують перетворювачі називають бустерами.

Універсальні перетворювачі - SEPIC. Вихідна напруга цих перетворювачів утримується на заданому рівні при вхідній напрузі як вище вхідного, так і нижче. Рекомендується у випадках, коли вхідна напруга може змінюватися в значних межах. Наприклад, в автомобілі напруга акумулятора може змінюватися в межах 9 ... 14В, а потрібно отримати стабільну напругу 12В.

Інвертуючі перетворювачі - inverting converter. Основною функцією цих перетворювачів є отримання на виході напруги зворотної полярності щодо джерела живлення. Дуже зручно в тих випадках, коли потрібно двухполярной живлення, наприклад для живлення операційних підсилювачів.

DC/DC конвертери можуть бути стабілізованими або нестабілізованими, вихідна напруга може бути гальванічно пов'язано з вхідним або мати гальванічну розв'язку напруг Все залежить від конкретного пристрою, в якому буде використовуватися перетворювач, але без наявного мікроконтролера вони не можуть бути програмованими або працюючими за певним алгоритмом.

1.1.1. Понижуючий конвертер чопер - конвертер типу buck

Його функціональна схема показана на рис. 1.1. Стрілками на проводах показані напрямки струмів.

Вхідна напруга U_{in} подається на вхідний фільтр - конденсатор C_{in} . В якості ключового елемента використовується транзистор VT, він здійснює високочастотну комутацію струму. Це може бути польовий транзистор або біполярний

транзистор. Крім зазначених деталей в схемі міститься розрядний діод VD і вихідний фільтр - LC_{out} , з якого напруга надходить в навантаження R_H .

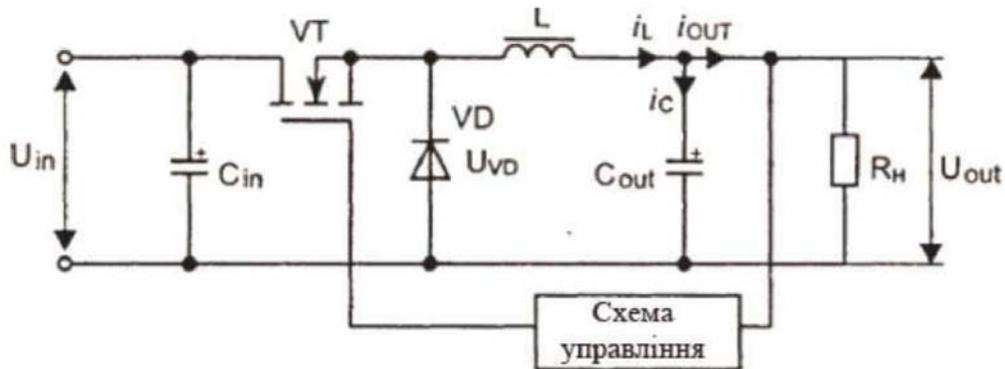


Рисунок 1.1 - Функціональна схема чопперного стабілізатора

Навантаження включено послідовно з елементами VT і L . Тому схема є послідовною.

1.1.2. Широтно-імпульсна модуляція - ШІМ

Схема управління виробляє прямокутні імпульси з постійною частотою або постійним періодом, що по суті одне і те ж. Ці імпульси показані на рис. 1.2.

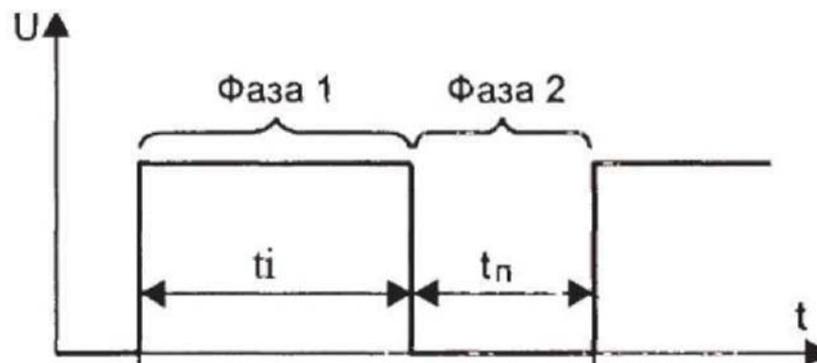


Рисунок 1.2 - Імпульси управління

Де t_i - час імпульсу, транзистор відкритий, t_n - час паузи, - транзистор закритий. Співвідношення t_i / T називається коефіцієнтом заповнення duty cycle, позначається буквою D і виражається в % або просто в числах. Наприклад, при D дорівнює 50% виходить, що $D = 0,5$ [1].

Таким чином D може змінюватися від 0 до 1. При значенні $D = 1$ ключовий транзистор знаходиться в відкритому стані, а при $D = 0$ в закритому стані. При $D = 50\%$ вихідна напруга буде дорівнювати половині вхідного.

Регулювання вихідної напруги відбувається за рахунок зміни ширини імпульсу t_i (змінюючи коефіцієнта D). Такий принцип регулювання називається широтно-імпульсною модуляцією ШІМ (PWM). Практично у всіх імпульсних блоках живлення саме за допомогою ШІМ проводиться стабілізація вихідної напруги.

На схемах, показаних на малюнках 1 і 5 ШІМ «захована» в прямокутниках з написом «Схема управління».

Коефіцієнт D визначає, скільки часу буде відкритий (фаза 1 рис.3) або закритий (фаза 2 рис.4) ключовий транзистор. Для цих двох фаз можна уявити схему двома рис. 1.3, 1.4. На рисунках не показані ті елементи, які в цій фазі не використовуються.

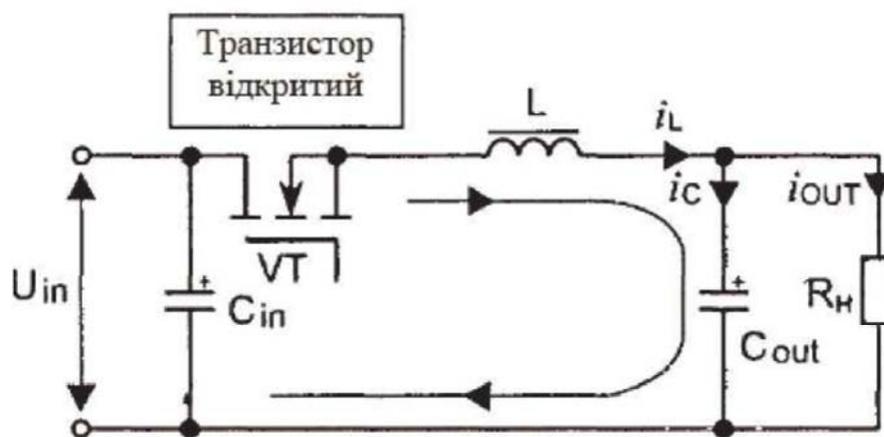


Рисунок 1.3 - Фаза 1

При відкритому транзисторі струм від джерела живлення (гальванічний елемент, акумулятор, випрямляч) проходить через індуктивний дросель L , навантаження R_n , і заряджається конденсатор C_{out} . При цьому через навантаження протікає струм, конденсатор C_{out} і дросель L накопичують енергію. Струм i_L по-

ступово зростає, позначається вплив індуктивності дроселя. Ця фаза називається накачуванням.

Після того, як напруга на навантаженні досягне заданого значення (визначається настроюванням пристрою управління), транзистор VT закривається і пристрій переходить до другої фази - фази розряду рис. 1.4.

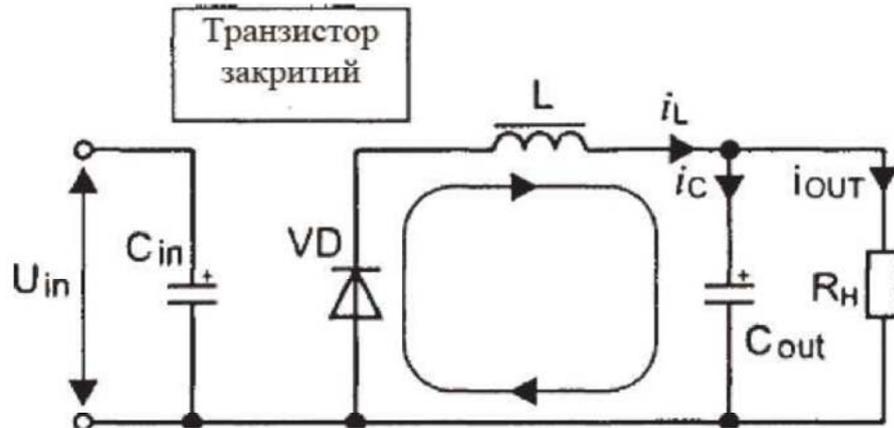


Рисунок 1.4 - Фаза 2

При закритому транзисторі VT поповнення енергії в дроселі не відбувається, оскільки джерело живлення відключено. Індуктивність L прагне перешкодити зміни величини і напрямку струму (самоіндукція) протікає через обмотку дроселя. Тому струм миттєво припинитися не може і замикається через ланцюг «діод-навантаження». Через це діод VD отримав назву розрядний. Як правило, це швидкодіючий діод Шотткі. Після закінчення періоду управління фаза 2 схема перемикається на фазу 1, процес повторюється знову. Максимальна напруга на виході розглянутої схеми може бути рівною вхідному, і ніяк не більше. Щоб отримати вихідну напругу більше, ніж вхідний, застосовуються підвищувальні перетворювачі.

Для деякого підвищення ККД розрядний діод VD замінюється транзистором MOSFET, який в потрібний момент відкривається схемою управління. Такі перетворювачі називаються синхронними. Їх застосування виправдане, якщо потужність перетворювача досить велика [2].

1.1.3 Підвищуючі step-up або boost перетворювачі

Підвищуючі перетворювачі застосовуються в основному при низьковольтному живленні, наприклад, від двох-трьох батарейок або Li-ion акумулятору, а деякі вузли конструкції вимагають напруги 12 ... 15В з малим споживанням струму.

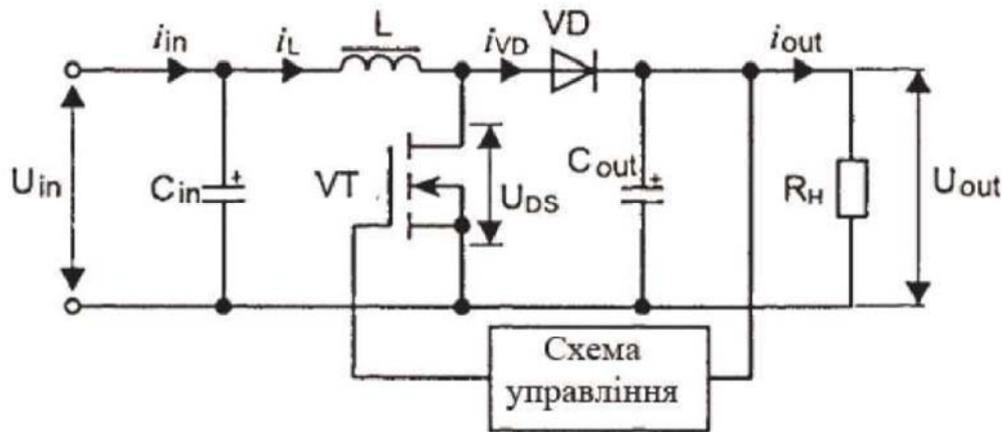


Рисунок 1.5 - Функціональна схема підвищуючого перетворювача

Вхідна напруга U_{in} подається на вхідний фільтр C_{in} і надходить на послідовно з'єднані котушку індуктивності L і комутуючий транзистор VT . В точку з'єднання котушки і стоку транзистора підключений діод VD . До іншого виходу діода підключено навантаження R_n і шунтуючий конденсатор C_{out} . Транзистор VT управляється схемою управління, яка виробляє сигнал управління стабільної частоти з регульованим коефіцієнтом заповнення D , так само, як було розказано трохи вище при описі чопперної схеми (рис.1.1). Діод VD в потрібні моменти часу блокує навантаження від ключового транзистора.

Коли відкритий ключовий транзистор правий по схемі вивід котушки L з'єднується з від'ємним полюсом джерела живлення U_{in} . Наростаючий струм (позначається вплив індуктивності) від джерела живлення протікає через котушку і відкритий транзистор, в котушці накопичується енергія. В цей час діод VD блокує навантаження і вихідний конденсатор від ключової схеми, тим

самим запобігаючи розряд вихідного конденсатора через відкритий транзистор. Навантаження в цей момент живиться енергією накопиченої в конденсаторі C_{out} . Напряга на вихідному конденсаторі падає.

Як тільки напруга на виході стане трохи нижче заданого, (визначається настройками схеми управління), ключовий транзистор VT закривається, і енергія, запасені в дроселі, через діод VD заряджає конденсатор C_{out} , який підживлює навантаження. При цьому ЕРС самоіндукції котушки L складається з вхідною напругою і передається в навантаження, отже, напруга на виході виходить більше вхідного напруги.

Після досягнення вихідним напругою встановленого рівня стабілізації схема управління відкриває транзистор VT, і процес повторюється з фази накопичення енергії.

1.1.4 Універсальні перетворювачі

SEPIC (single-ended primary-inductor converter або перетворювач з несиметрично навантаженою первинною індуктивністю). Подібні перетворювачі застосовуються в основному, коли навантаження має незначну потужність, а вхідна напруга змінюється щодо вихідного в більшу або меншу сторону.

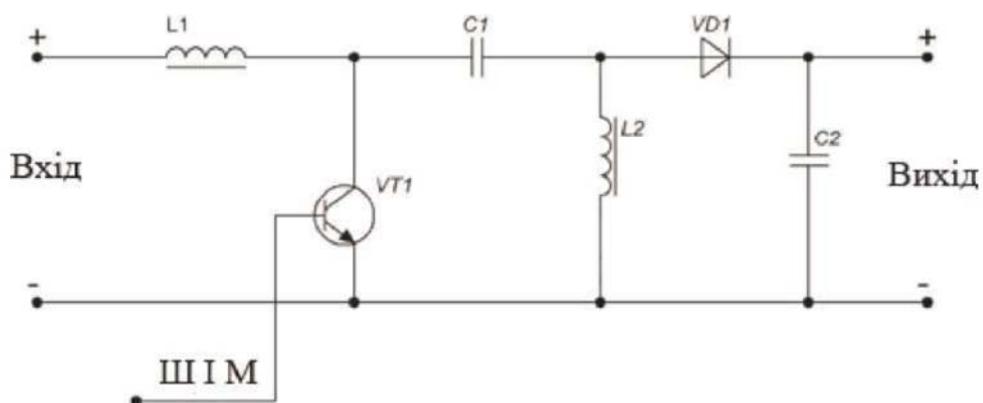


Рисунок 1.6 - Функціональна схема перетворювача SEPIC

Схема схожа на схему підвищуючого перетворювача, показаного на рис. 1.5, але має додаткові елементи: конденсатор C_1 і котушку L_2 . Саме ці елементи

і забезпечують роботу перетворювача в режимі зниження напруги. Перетворювачі SEPIC застосовуються в тих випадках, коли вхідна напруга змінюється в широких межах. Як приклад можна привести Boost Buck Voltage Step Up/Down Converter Regulator з вхідною напругою 4V-35V та вихідною 1.23V- 32V, рис. 1.7.

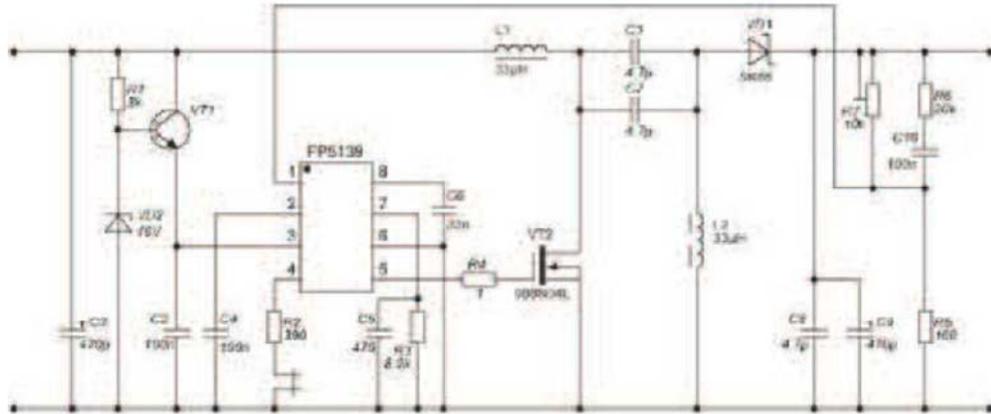


Рисунок 1.7 - Принципова схема перетворювача SEPIC

Як бачимо такі перетворювачі мають фіксовану елементну базу та схему електричну принципову, яка не дає можливості динамічно змінювати параметри перетворювача. Тому актуальним завданням стає дослідження мікроконтролерів які можна використовувати в якості системи управління, як однофазних джерел так і багатофазних, які широко використовуються при проектуванні живлення сучасних процесорів. Враховуючи структуру перетворювачів стає можливим розробляти усі типи перетворювачів на сучасній елементній базі, яка доступна на ринку України.

2 МІКРОКОНТРОЛЛЕРИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

2.1 Мікроконтролери у системах керування

Мікроконтролери відіграють ключову роль у системах керування DC-DC перетворювачами, забезпечуючи точне та гнучке керування процесами перетворення енергії. Вони дозволяють реалізувати різні алгоритми управління, включаючи широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ), управління струмом і напругою, а також складніші алгоритми, такі як цифровий зворотний зв'язок та управління з використанням цифрових сигнальних процесорів (DSP). Вибір мікроконтролера для системи управління DC-DC перетворювача залежить від багатьох факторів, включаючи необхідну потужність, ефективність, вартість та складність системи [2].

Важливі характеристики мікроконтролерів для DC-DC перетворювачів

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП): Висока роздільна здатність і швидкість АЦП важливі для точного вимірювання напруги та струму, що критично для ефективного управління перетворювачем.

Цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП): Можуть використовуватися для завдання опорної напруги або аналогового зворотного зв'язку.

Таймери та лічильники: Необхідні для генерації ШІМ-сигналів із високою точністю.

Швидкість обробки: Важлива для швидкої обробки даних та алгоритмів керування, особливо в системах з високою потужністю та в системах, які потребують миттєвого реагування на зміни навантаження.

Інтерфейси зв'язку: UART, SPI, I2C та CAN використовуються для налаштування, моніторингу та діагностики системи управління.

Програмована логіка: Деякі мікроконтролери включають елементи програмованої логіки (наприклад, FPGA блоки), що дозволяє гнучкіше налаштовувати управління перетворювачем.

Приклади мікроконтролерів для керування DC-DC перетворювачами

STM32 серії F3/F4/F7: Ці мікроконтролери від STMicroelectronics популярні завдяки своїй високій продуктивності, наявності АЦП з високою роздільною здатністю та швидкістю, а також розширеним можливостям для генерації ШІМ.

TI C2000: Сімейство мікроконтролерів від Texas Instruments, оптимізованих для керування електроприводами, силовою електронікою та перетворювачами. Вони пропонують потужні інструменти для ШІМ, а також вбудовані математичні функції та підтримку цифрової обробки сигналів.

Microchip dsPIC: Ці цифрові сигнальні контролери поєднують функції мікроконтролерів з можливостями цифрової обробки сигналів, що робить їх ідеальними для складних алгоритмів управління в системах живлення.

Inficon XMC: Серія мікроконтролерів, оптимізованих для застосування в галузі промислової автоматизації та керування електроприводами, включаючи високоефективне керування DC-DC перетворювачами.

На цей час значущими є кілька сімейств процесорів ARM:

- ARM7 (з тактовою частотою до 60...72 МГц) призначені для недорогих вбудованих рішень середньої продуктивності.

- Cortex A – нове сімейство процесорів, що прийшло на зміну ARM9 і ARM11.

- Cortex M – нове сімейство процесорів, яке прийшло на зміну ARM7, також покликане зайняти нову для ARM нішу вбудованих рішень низької продуктивності. У сімействі присутні чотири значущі ядра: Cortex M0, Cortex M3, Cortex M4 і Cortex-M7.

У 2010 році виробник анонсував процесори Cortex-A15 під кодовою назвою Eagle. ARM стверджує, що ядро Cortex A15 на 40 відсотків продуктивніше на тій самій частоті, ніж ядро Cortex-A9 при однаковій кількості ядер на чіпі. Виріб, виготовлений по 28-нанометровому техпроцесу, має 4 ядра, може функціонувати на частоті до 2,5 ГГц і буде підтримуватися багатьма сучасними операційними системами.

Набори інструкцій у більш ранніх архитектурах, для полегшення ручного написання програм на мовах асемблерів або прямо в машинних кодах, а також для спрощення реалізації компіляторів, виконували якнайбільше роботи. Часто в ці набори включалися інструкції для прямого підтримання конструкцій мов високого рівня.

Інша особливість цих наборів: більшість інструкцій, як правило, допускали різні методи адресації (т. зв. «ортогональність системи команд (англ.)»). Наприклад, і операнди, і результат у арифметичних операціях доступні не тільки в регістрах, але й через безпосередню адресацію в пам'яті. Пізніше такі архітектури були названі CISC (англ. Complex instruction set computer).

Однак багато компіляторів не задіяли всі можливості таких наборів інструкцій, а на складні методи адресації вимагають більше часу через додаткові звернення до повільної пам'яті.

Було показано, що такі функції краще виконувати послідовністю більш простих інструкцій, при цьому архітектура процесора спрощується й у ньому залишається місце для більшої кількості регістрів, за рахунок яких можна скоротити кількість звернень до пам'яті.

У перших архитектурах, що зараховуються до RISC, більшість інструкцій для спрощення декодування мають однакову довжину й схожу структуру, арифметичні операції працюють тільки з регістрами, а робота з пам'яттю йде через окремі інструкції завантаження (load) і збереження (store). Ці властивості й дозволили краще збалансувати етапи конвеєризації, зробити конвеєри в RISC значно ефективнішими, підняти тактову частоту.

Одна з причин світової популярності сімейства STM32 [5] – максимальний комфорт розробника. Якщо універсальність ядра STM32 дозволяє міняти виробника з мінімальними витратами на програмний код, то pin-to-pin сумісність усередині сімейства STM32 дозволяє міняти обсяг пам'яті (флеш-пам'ять та ОЗУ) та периферію (Ethernet, USB, CAN тощо), не чіпаючи друкованої плати. "Pin-to-pin сумісність" означає, що для одного розміру

корпусу всі сигнали зберігаються на тих же вводах/виводах для різних варіантів мікроконтролерів сімейства. Розглянемо конкретний приклад. На малюнку 3 можна побачити розподіл виробів сімейства STM32 залежно від корпусів та розміру флеш-пам'яті.

Декілька мікроконтролерів STM32 призначені для сегментів ринку, який потребує роботу з цифровими сигналами та високоточними таймінгами, а саме цифрові джерела живлення, освітлення, джерела безперебійного живлення витратні матеріали, сонячні інвертори та бездротові зарядні пристрої. Це можливо завдяки високій роздільній здатності периферійного пристрою з таймером (HRTIM), здатний генерувати до дванадцяти сигналів та обробляти велику різноманітність сигналів, вхідних сигналів для керування, синхронізації або захисту. Його модульна архітектура дозволяє використовувати кілька топологій перетворення та кілька паралельних перетворювачів, з можливістю переконфігурувати під час виконання.

HRTIM доступний у продуктах: STM32F334C4, STM32F334C6, STM32F334C8, STM32F334K4, STM32F334K6, STM32F334K8, STM32F334R4, STM32F334R6, STM32F334R8, STM32H742, STM32H743/753, STM32H745/755 and STM32H747/757 lines, STM32H750IB, STM32H750VB, STM32H750XB, STM32H753AI, STM32H753BI, STM32H753II, STM32H753VI, STM32H753XI, STM32H753ZI, STM32H755BI, STM32H755II, STM32H755XI, STM32H755ZI, STM32H757AI, STM32H757BI, STM32H757II, STM32H757XI, STM32H757ZI, STM32G474CB, STM32G474CC, STM32G474CE, STM32G474MB, STM32G474MC, STM32G474ME, STM32G474QB, STM32G474QC, STM32G474QE, STM32G474RB, STM32G474RC, STM32G474RE, STM32G474VB, STM32G474VC, STM32G474VE, STM32G484CE, STM32G484ME, STM32G484QE, STM32G484RE.

Серія XE160FU (16-бітний однокристальний Real Time Signal Controller) входить до сімейства повнофункціональних однокристальних CMOS-

мікроконтролерів Infineon XE166. Ці пристрої розширюють функціональність та продуктивність [6].

Сімейство C166 поєднують високу продуктивність ЦП (до 66 мільйонів інструкцій за секунду) з розширеними периферійної функціональністю та розширені можливості введення-виведення. Оптимізовані периферійні пристрої можуть бути гнучко адаптується до вимог застосування. Ці похідні використовують годинник генерація через систему ФАПЧ та внутрішні або зовнішні джерела синхронізації. Вбудовані модулі пам'яті включають програмну флеш-пам'ять, програмну оперативну пам'ять і оперативну пам'ять даних.

Архітектура XE160FU поєднує переваги RISC, CISC і DSP.

- процесори з розвиненою периферійною підсистемою у добре збалансованому виконанні. Вбудований
- Блоки пам'яті дозволяють створювати компактні системи на кристалі з максимальним.
- продуктивність, придатна для обчислень, управління та зв'язку.
- Блоки вбудованої пам'яті (пам'ять програмного коду та SRAM, двопортова ОЗУ, пам'ять даних)
- структура шини підвищує загальну продуктивність системи за рахунок забезпечуючи одночасну роботу кількох підсистем XE160FU.

Блок-схема дає огляд вбудованих компонентів та розширених можливостей.

Для швидкого огляду та зручності коротко викладено характеристики XE160FU.

- Високопродуктивний процесор із п'ятиступінчастим конвеєром та MPU.
- Цикл команди 15,2 нс при тактовій частоті ЦП 66 МГц (виконання за один такт)
- 32-бітове складання та віднімання за один цикл з 40-бітним результатом

- множення за один цикл (16×16 біт)
- Фоновий поділ (32/16 біт) за 21 такт
- Команди множення та накопичення за один цикл (MAC)
- Розширені можливості маніпулювання логічними бітами.
- Виконання стрибка з нульовим циклом
- Додаткові інструкції щодо підтримки HLL та операційних систем
- Реєстрова конструкція з кількома банками змінних реєстрів
- Підтримка швидкого перемикавання контексту із двома додатковими банками локальних реєстрів.
- Загальний лінійний адресний простір 16 Мбайт для коду та даних
- 1024 байти вбудованої області реєстрів спеціальних функцій (сумісно з сімейством C166).

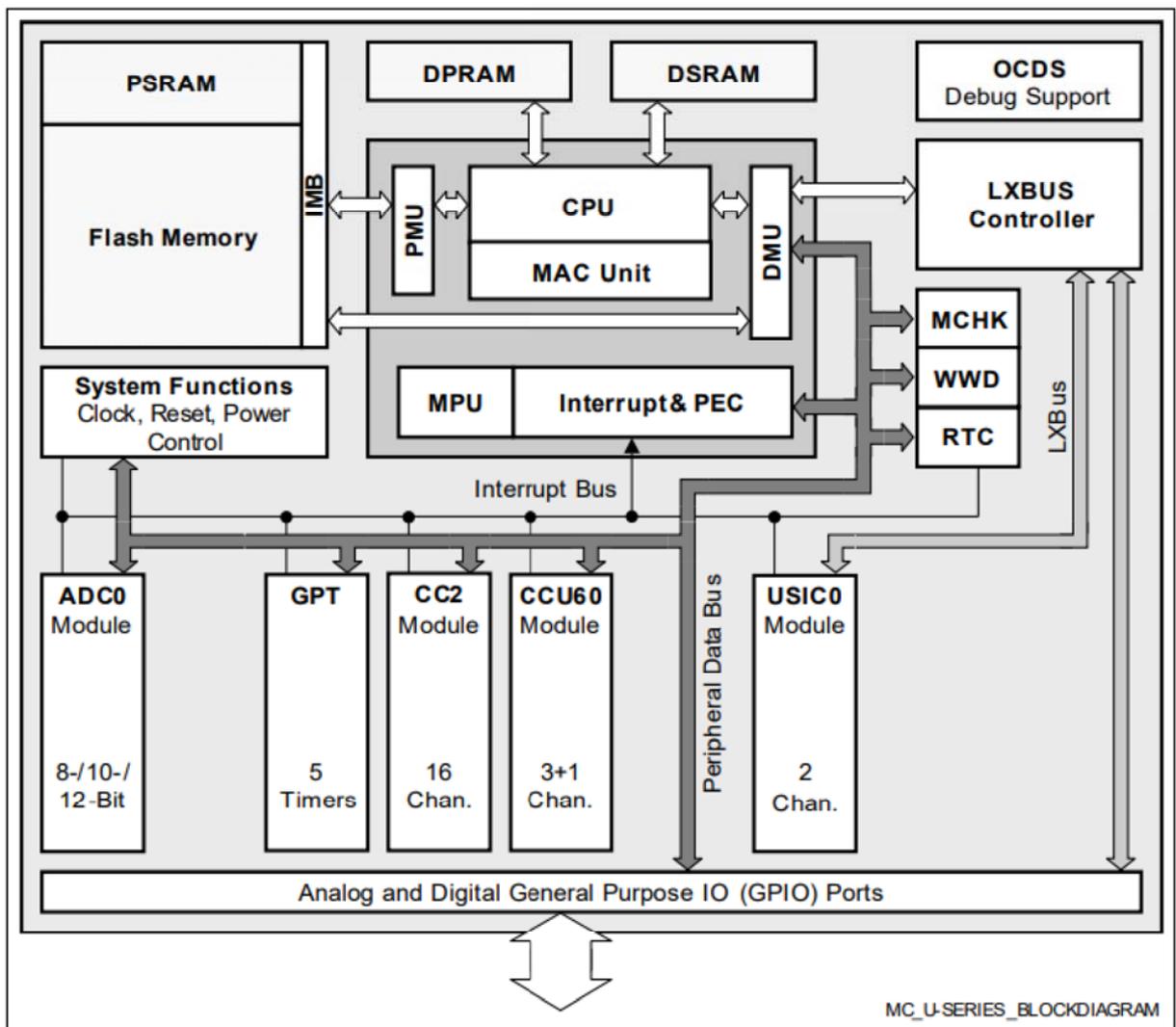


Рисунок 2.1 - Внутрішня структура шини XE160FU

- Вбудований блок захисту пам'яті (MPU)
- Система переривань із 16 рівнями пріоритету, що забезпечує 46 вузлів переривань.

- Вибір зовнішніх входів для генерації переривань і пробудження
- Найвища частота дискретизації 15,2 нс
- Восьмиканальна одноканальна передача даних з керуванням з переривань
- Контролер периферійних подій (PEC), 24-бітові показчики охоплюють весь адресний простір.

- Генерація годинника з внутрішніх або зовнішніх джерел синхронізації, використання вбудованої системи ФАПЧ чи прескалера
- Апаратна програма перевірки CRC із програмованим поліномом для контролю всередині кристала.

Області пам'яті

- Вбудовані модулі пам'яті.
- 2 Кбайт вбудованої двопортової оперативної пам'яті (DPRAM)
- 2 Кбайт вбудованої SRAM даних (DSRAM)
- 4 Кбайт вбудованої SRAM програми/даних (PSRAM)
- До 64 Кбайт вбудованої програмної пам'яті (Flash-пам'ять)

Вбудовані периферійні модулі

- Синхронізований 12-бітовий аналого-цифровий перетворювач з числом каналів до 8, час перетворення менше 1 мкс, додаткова попередня обробка даних, виявлення обриву дроту

- 16-канальний блок захоплення/порівняння загального призначення (CC2)

- Блок захоплення/порівняння для гнучкої генерації сигналів ШІМ (CCU60)

- Багатофункціональний таймер загального призначення з 5 таймерами

- До 2 каналів послідовного інтерфейсу для використання як UART, LIN, високошвидкісного

синхронний канал (SPI/QSPI), інтерфейс шини ІІС (10-бітна адресація, 400 кбіт/с),

ІІС-інтерфейс

– Вбудований системний таймер та вбудований годинник реального часу.

- Одиночне джерело живлення від 3,0 до 5,5 В.

- Режими зниження потужності та пробудження з гнучким керуванням живленням

- Програмований сторожовий таймер вікна та сторожовий таймер генератора.

- До 28 ліній введення-виведення загального призначення.

- Вбудовані завантажувачі [6].

Таким чином, XE160FU є потужним мікроконтролером з потрібними блоками та технологіями захисту пам'яті що підвищує надійсть пристроїв, але цінова політика змушує шукати альтернативні варіанти.

На ринку України крім STM також представлена продукція Microchip, яка випускає мікроконтролери AVR, використання яких популяризується завдяки проекту Arduino.

Мікроконтролери AVR XMEGA E - це сімейство малопотужних, високопродуктивних і багатих на периферійні пристрої 8/16-бітних КМОП-матриць. Мікроконтролери на базі вдосконаленої RISC-архітектури AVR. Виконуючи потужні інструкції за один такт за цикл XMEGA E досягають пропускної здатності, що наближається до одного мільйона інструкцій в секунду (MIPS) за один цикл на мегагерц, що дозволяє розробнику системи оптимізувати енергоспоживання залежно від швидкості обробки [7].

ЦП AVR поєднує багатий набір команд з 32 робочими регістрами загального призначення. Усі 32 регістри безпосередньо підключений до арифметико-логічного пристрою (АЛП), що дозволяє отримати доступ до двох незалежних регістрів за допомогою однієї інструкції, виконується за такт. Отримана в результаті архітектура ефективніша з точки зору коду, при цьому

багато разів досягаючи пропускну спроможності, швидше, ніж звичайні мікроконтролери з одним акумулятором чи CISC.

Пристрої XMEGA E володіють наступними функціями: внутрішня EEPROM та SRAM; чотириканальний розширений контролер DMA (EDMA); восьмиканальна система подій із підтримкою асинхронних подій; програмований багаторівневий контролер переривань; до 26 ліній введення-виведення загального призначення; 16-бітний лічильник реального часу (RTC) з цифровою корекцією; до трьох гнучких 16-бітних таймерів/лічильників з режимами захоплення, порівняння та ШІМ; до двох USART; один I2C та SMBUS-сумісні двопровідні послідовні інтерфейси (TWI); один послідовний периферійний інтерфейс (SPI); один XMEGA, логіка користувача (XCL) з таймером/лічильником і логічними функціями; модуль CRC; один 16-канальний 12-розрядний АЦП із програмованим, компаратори із віконним режимом; програмований вартовий таймер з окремим внутрішнім генератором; точний внутрішній генератор із системою ФАПЧ та прескалером; та програмоване виявлення відключення живлення.

Доступний інтерфейс програмування та налагодження (PDI) – швидкий двоконтактний інтерфейс для програмування та налагодження. Вибрано пристрої також мають стандарт IEEE. Сумісний з 1149.1 інтерфейс JTAG, який також можна використовувати для вбудованого налагодження та програмування.

Пристрої Atmel AVR XMEGA мають п'ять програмно вибраних режимів енергозбереження. Режим очікування зупиняє процесор, дозволяючи SRAM, контролеру EDMA, системі подій, контролеру переривань та всім периферійним пристроям продовжувати роботу.

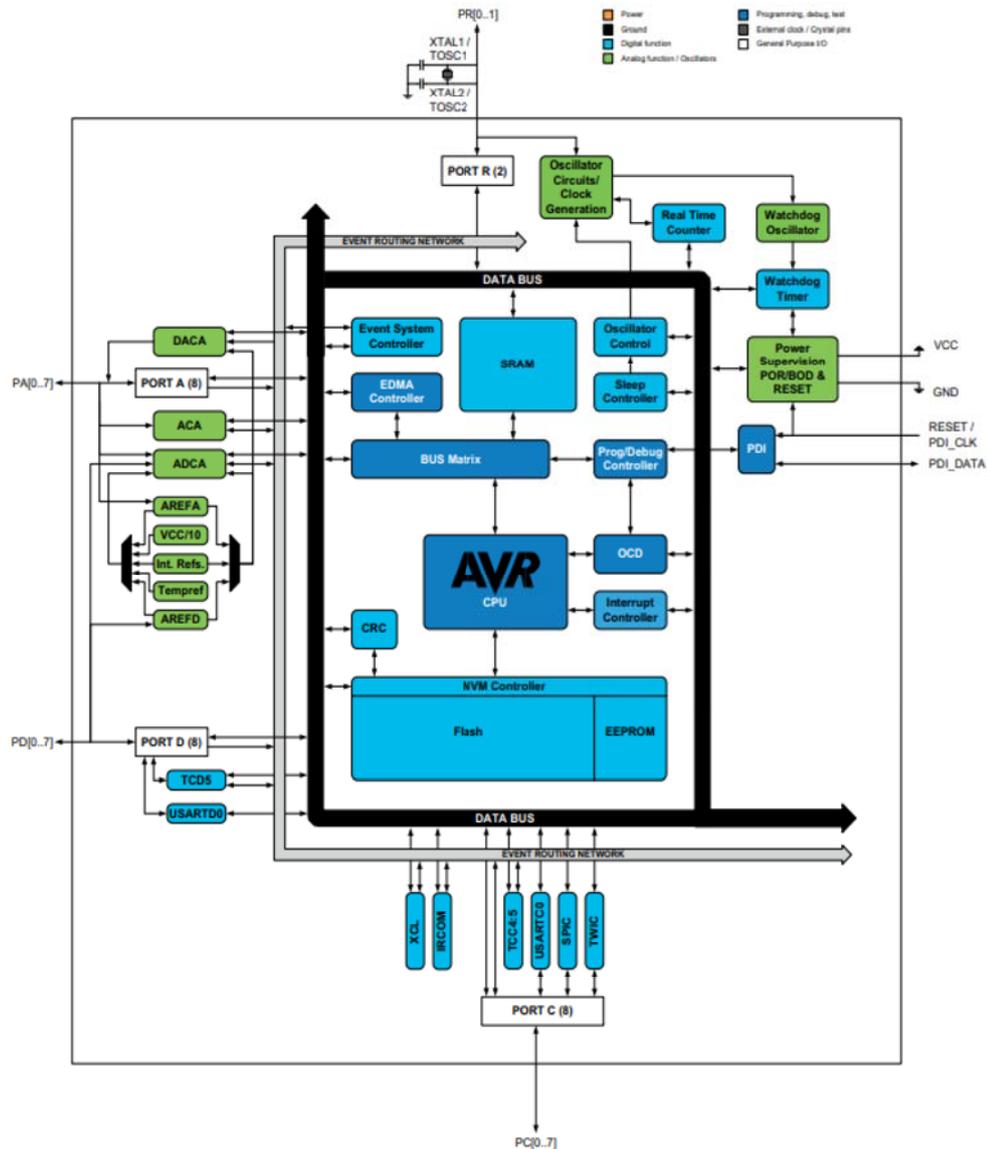


Рисунок 2.1 – Структура мікроконтролеру

Режим зниженого енергоспоживання зберігає вміст SRAM та регістрів, але зупиняє генератори, відключаючи всі інші функції доти, доки наступний TWI, або переривання зміною контакту, або скидання. У режимі енергозбереження асинхронний лічильник реального часу продовжує працювати дозволяючи програмі підтримувати базу таймера, поки решта пристрою перебуває у сплячому режимі. У режимі очікування зовнішній кварцовий генератор продовжує працювати, поки решта пристрою спить. Це забезпечує дуже швидкий запуск із зовнішнього кристал у поєднанні з низьким енергоспоживанням. У розширеному режимі очікування і основний генератор,

і асинхронний таймер продовжує працювати. Для подальшого зниження енергоспоживання периферійний годинник індивідуальний для кожного. Периферійний пристрій може бути зупинено додатково в активному режимі та режимі очікування. Внутрішній генератор малої потужності 8 МГц дозволяє дуже швидко час запуску разом із режимами зниженого енергоспоживання. Пристрої виробляються з використанням технології енергонезалежної пам'яті високої густини Atmel. Флеш-пам'ять програми може перепрограмувати всередині системи через інтерфейс PDI. Завантажувач, що працює на пристрої, може використовувати будь-який інтерфейс для завантаження прикладної програми у флеш-пам'ять [7]. Поєднуючи 8/16-бітний RISC-процесор із внутрішньосистемною самопрограмованою флеш-пам'яттю, Atmel AVR XMEGA є потужною родиною мікроконтролерів, що забезпечує високу гнучкість і економічність.

Характеристика сімейство ATXMEGA:

- Напруга живлення 1.6...3.6В
- Об'єм Flash-пам'яті 32кБ
- Об'єм пам'яті EEPROM 1кБ
- Об'єм пам'яті SRAM 4кБ
- Тактова частота 32 МГц
- Інтерфейс I2C, PDI, SPI, UART x2
- Особливості, периферія watchdog, вбудований датчик температури, режим рiсоPower, резонатор 32кГц для РТС
- Кількість таймерів 16біт 2 + Hi-Res 1
- Кількість компараторів 2
- Кількість перетворювачів D/A 12біт 2
- Кількість перетворювачів A/D 12біт 16
- Кількість каналів input capture 8
- Кількість каналів output compare 8
- Кількість зовнішніх переривань 26
- Кількість каналів ШІМ 16

Пристрої Atmel AVR XMEGA мають набір гнучких 16-бітних таймерів/лічильників (TC). Їхні можливості включають точне таймінг виконання програм, генерацію частот і форми сигналів, а також захоплення вхідних сигналів з вимірюванням часу і частоти цифрових сигналів. Два таймери/лічильники можуть бути об'єднані для створення 32-бітного таймера/лічильника з необов'язковим 32-бітним захопленням. Таймер/лічильник складається з базового лічильника та набору каналів порівняння або захоплення (CC). Блок-схема 16-бітного таймера/лічильника з розширеннями та тісно пов'язаними периферійними модулями (зображено сірим кольором) показана на рис. 2.2. Базовий лічильник можна використовувати для підрахунку циклів годинника або подій. Він має контроль напрямку та налаштування періоду, які можуть використовуватися для таймінгу. Канали CC можуть бути використані разом з базовим лічильником для контролю відповідності порівняння, генерації частоти та генерації модуляції ширини імпульсу (PWM), а також для різних операцій захоплення вхідних сигналів. Таймер/лічильник може бути налаштований як на захоплення, так і на порівняння функцій, але не може виконувати обидві функції одночасно. Таймер/лічильник може бути тактований і вимірюний від периферійного годинника з необов'язковим предвибором або від системи подій.

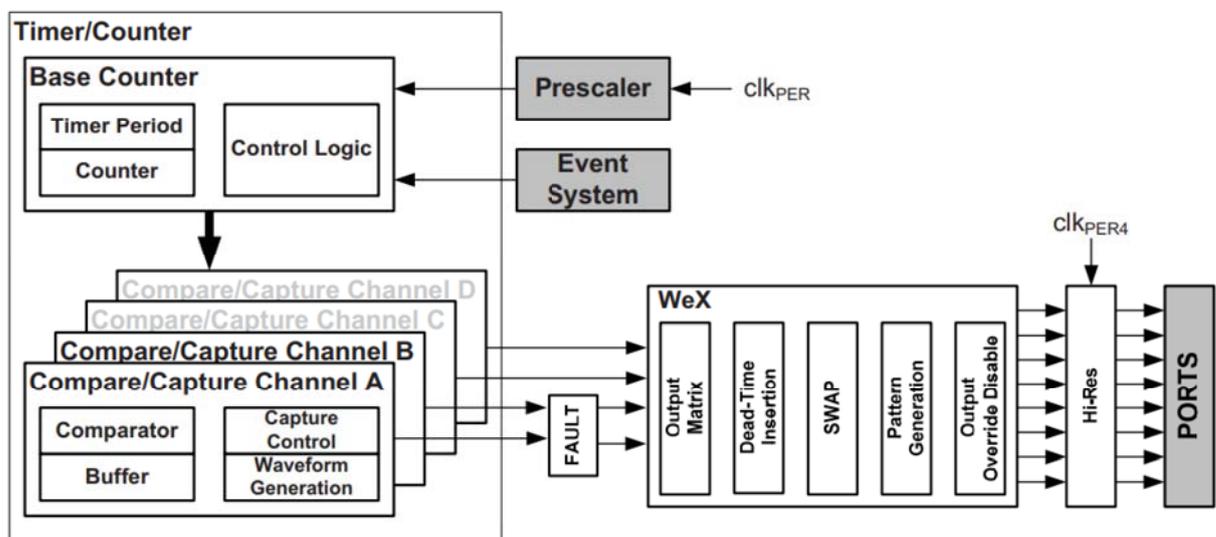


Рисунок 2.2 – Структура таймера високої роздільної здатності

Система подій також може використовуватися для контролю напрямку та тригера захоплення або для синхронізації операцій.

Є дві відмінності між типом таймера/лічильника 4 та типом 5. Таймер/лічильник 4 має чотири канали СС, а таймер/лічильник 5 має два канали СС. Вся інформація, пов'язана з каналами СС 3 і 4, є дійсною тільки для таймера/лічильника 4. Обидва таймера/лічильники 4 і 5 можуть бути в 8-бітному режимі, дозволяючи додатку подвоїти кількість каналів порівняння та захоплення, які тоді отримують 8-бітну роздільну здатність.

Деякі таймери/лічильники мають розширення для більш спеціалізованої генерації форми хвилі та частоти. Розширення для форми хвилі (WeX) призначене для керування моторами, баластами, LED, H-мостами, перетворювачами потужності та іншими типами додатків контролю потужності. Воно дозволяє низькорівневий та високорівневий вихід з необов'язковим вставленням мертвого часу. Також може генерувати синхронізований бітовий патерн через контактні штирі порту. Розширення високої роздільної здатності (Hi-Res) може збільшити роздільну здатність форми хвилі в чотири або вісім разів, використовуючи внутрішнє джерело тактування, що працює в чотири рази швидше, ніж периферійний годинник. Розширення захисту від несправностей (FAULT) забезпечує захист від несправностей для безпечної та детермінованої обробки, вимкнення та/або відключення зовнішніх драйверів [7].

Такі характеристики роблять продукцію Microchip серії XMEGA E також привабливим рішенням для побудови системи управління джерелами живлення. Ключовим моментом придатності мікроконтролера є блоки таймерів працюючих з високою роздільною здатністю. Враховуючи цінову політику подальшу розробку будемо проводити опираючись на цей мікроконтролер.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ІППН

3.1 . Розрахунок параметрів понижувального перетворювача

На рис. 3.1 представлена блочна схема понижуючого перетворювача, котрій ми розрахуємо значення компонентів.

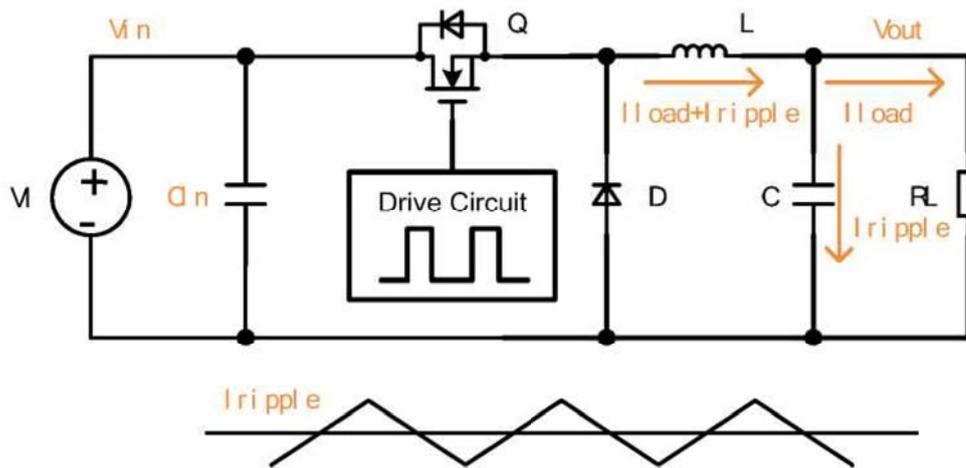


Рисунок 3.1 – Блочна схема перетворювача

Нижче наведено ключові параметри розрахунку понижувального перетворювача.

- Вхідна напруга $V_{in} = 24\text{В}$
- Вихідна напруга $V_{out} = 12\text{В}$
- Максимальний вихідний струм $I_{load} = 2\text{А}$
- Частота перемикання $F_{sw} = 50\text{кГц}$

Максимальний робочий цикл:

$$D = V_{out}/V_{in} = 12/24 = 0.5$$

Визначаємо пульсаційний струм. Пульсаційний струм індуктора неможливо розрахувати, оскільки індуктор не відомий на початку проекту. Як правило, струм пульсацій індуктора буде обмежено 30% від максимального вихідного струму.

$$I_{ripple} = 0,3 * I_{load} = 0.3 * 2 = 0.6\text{А}$$

Як правило, спочатку слід розрахувати котушку індуктивності та вихідний конденсатор, а потім визначити діод вільного ходу, вхідний конденсатор і MOSFET.

3.2 Вибір індуктора

Для конструкції, у якій вказаний діапазон індуктора, наступне рівняння є хорошою оцінкою правильного індуктора.

$$L = V_{out} * (V_{in} - V_{out}) / (I_{ripple} * F_{sw} * V_{in})$$

Після перестановки та заміни:

$$L = D * (V_{in} - V_{out}) / (I_{ripple} * F_{sw})$$

$$L = D * (24 - 12) / (0.6 * 50000) = 200 \text{ мкГн}$$

За параметром індуктивності слід вибирати відповідний діаметр дроту дроселя. Максимальний вихідний струм конструкції визначає діаметр дроту індуктора. Наступне рівняння дає посилення отримання максимального вихідного струму.

$$I_{max} = I_{load} + (I_{ripple} / 2)$$

$$I_{max} = 2 + (0.6 / 2) = 2.3 \text{ А}$$

Щоб уникнути навантаження індуктора, номінальний струм індуктора повинен відповідати максимальному струму.

Як ми знаємо, більш висока індуктивність зменшить пульсації та покращить якість вихідного сигналу знижувального перетворювача. Однак вища індуктивність завжди означає більший розмір. Це завжди компроміс між продуктивністю та розміром. Інженеру необхідно обробити та збалансувати це у реальному додатку.

3.3 Вибір вихідного конденсатора

Пульсації напруги на вихідному конденсаторі є сумою трьох частин. Один з них пов'язаний з ефективним послідовним опором (ESR) конденсатора, інший - з ефективною послідовною індуктивністю (ESL) конденсатора, а

третій - з падінням напруги через струм навантаження, який повинен забезпечуватися конденсатором, як розряджається індуктор.

Значення конденсатора ESR можна вибрати з каталогу виробника. Але ESL зазвичай не вказується виробником. Тому при проектуванні ми припускаємо, що значення ESL дорівнює нулю.

Вказане значення ESL стане більш важливим у міру збільшення частоти перемикавання.

Для конденсатора:

$$\Delta V = I_{\text{ripple}} * ESR + (I_{\text{ripple}} * T_{\text{on}} / C_{\text{out}}) + (I_{\text{ripple}} * ESL / T_{\text{on}})$$

$$T_{\text{on}} = D / F_{\text{sw}} = 0.5 / 50000 = 10 \text{ мкс}$$

Як згадувалося раніше, припустимо, що $ESL = 0$. Спростіть рівняння:

$$\Delta V = I_{\text{ripple}} * ESR + (I_{\text{ripple}} * T_{\text{on}} / C_{\text{out}})$$

Переставити:

$$C_{\text{out}} = [(I_{\text{ripple}} * D / F_{\text{sw}}) / (\Delta V - I_{\text{ripple}} * ESR)]$$

де

C_{out} – мінімальний вихідний конденсатор.

I_{ripple} – розрахунковий струм пульсацій дроселя.

ΔV - бажана пульсація вихідної напруги.

D - Робочий цикл понижуючого перетворювача.

F_{sw} - мінімальна частота перемикавання понижуючого перетворювача, що генерується схемою збудження.

$$\Delta V = 0.6 * 0.01 + (0.6 * 10e-6 / 1000e-6) = 12 \text{ мВ}$$

$$C_{\text{out}} = [(0.6 * 0.5 / 50000) / (12e-3 - 0.6 * 0.01)] = 1000 \text{ мкФ}$$

Член знаменника переставленого рівняння ($\Delta V - I_{\text{ripple}} * ESR$) показує, що номінал ESR конденсатора важливіший, ніж номінал конденсатора. Якщо вибране значення ESR занадто велике, пульсації напруги дорівнюватимуть цільовому рівню пульсацій вихідної напруги або перевищать його. Але знаменник не може дорівнювати нулю, це означає, що потрібна нескінченна вихідна ємність. Таким чином, вибір конденсатора з низьким ESR допоможе мінімізувати пульсацію вихідної напруги.

3.4 Вибір зворотного діода

Для зворотного діода ключовими аспектами, які слід враховувати, є номінальний прямий струм і потужність діода, що розсіюється.

Максимальна зворотна напруга на діоді дорівнює V_{in} .

Середній струм діода дорівнює струму навантаження, коли проводить діод. Відсоток провідності діода дорівнює $(1-D)$. Оцініть струм діода:

$$I_D = I_{load} * (1-D)$$

I_D - середній прямий струм зворотного діода.

D - робочий цикл

I_{load} - максимальний вихідний струм

Потужність, що розсіюється діодом, дорівнює:

$$P = I_D * V_F$$

V_F - Пряма напруга діода.

$$I_D = I_{load} * (1-D) = 2 * (1 - 0.1) = 1.8 \text{ A}$$

$$P = I_D * V_F = 1.8 * 0.75 = 1.35 \text{ Вт}$$

Для зменшення комутаційних втрат також використовують діод Шоттки. При вищій частоті перемикання слід враховувати час зворотного відновлення діода. Обираємо діод SR560з параметрами 5A, 60V.

3.5 Вибір вихідної напруги

Вихідна напруга понижуючого перетворювача визначається напругою зворотного зв'язку. За допомогою резистивного дільника можна легко одержати напругу зворотного зв'язку з боку виходу. Він також широко використовується в більшості знижувальних перетворювачів. За заданою напругою зворотного зв'язку V_{fb} та струму зміщення зворотного зв'язку I_{fb} можна розрахувати дільник напруги.

На рис. 3.2 показаний резистивний резистор для встановлення вихідної напруги.

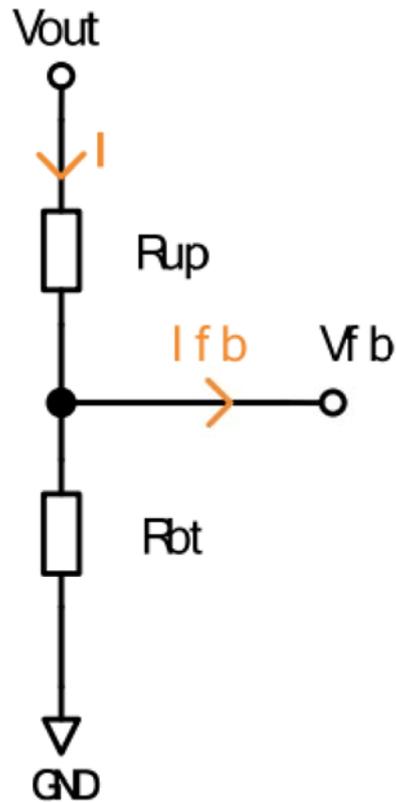


Рисунок 3.2 - Резистивний дільник для встановлення вихідної напруги

Щоб уникнути впливу струму зміщення, струм через резистивний дільник повинен бути як мінімум у 100 разів більший за струм зміщення зворотного зв'язку:

$$I \gg 100 \cdot I_{fb} = 100 \cdot 2.5e-6 = 250 \text{ мкА}$$

Але надто великий струм призведе до додаткових втрат потужності на резисторі дільника, тому розробник має вибрати розумне значення.

Резистори R_{up} і R_{bt} (резистори в резистивному дільнику) розраховуються так:

V_{fb} — напруга зворотного зв'язку

I - Струм через резистивний дільник R_{up} і R_{bt} на GND .

V_{out} - бажана вихідна напруга,

$$R_{bt} = V_{fb} / I = 2.5 / 250e-6 = 10 \text{ кОм}$$

$$R_{up} = R_{bt} \cdot [(V_{out} / V_{fb}) - 1] = 10e3 \cdot [(24 / 2.5) - 1] = 38 \text{ кОм}$$

3.6 Вибір вхідного конденсатора

Те саме і з вихідним конденсатором, щойно згаданим вище, вибір вхідного конденсатора в першу чергу визначається ESR з урахуванням пульсацій напруги.

Мінімальне значення вхідного конденсатора необхідно для стабілізації вхідної напруги через вимоги до пікового струму імпульсного джерела живлення. У гіршому випадку пульсації струму на вході перетворювача понижуючого становлять приблизно половину струму навантаження.

$$\Delta V = 0.6 * 0.01 + (0.6 * 10e-6 / 1000e-6) = 12 \text{ мВ}$$

$$C_{out} = [(0.6 * 0.5 / 50000) / (12e-3 - 0.6 * 0.01)] = 1000 \text{ мкФ}$$

3.7 Реалізація знижувального перетворювача

Існує два методи реалізації понижувальної схеми з використанням мікроконтролера XMEGA E. Ключова відмінність між цими двома методами полягає у робочій частоті. В одному методі використовується фіксована частота, а в іншому – змінна частота залежно від зміни навантаження. Метод фіксованої частоти називається широтно-імпульсною модуляцією, а метод змінної частоти називається частотно-імпульсною модуляцією.

На рис. 3.3 показана розроблена схема електрична принципова понижуючого перетворювача на основі мікроконтролера ATxmega32E5.

Як зазначено на схемі вище, Р-канальний MOSFET VT1, котушка індуктивності L2, зворотний діод VD3 і ємність C12 складають знижуючу схему. Опір R2, ємності C9 і мікросхема DA3 складають схему управління MOSFET VT1. Ємності C1, C2, C4–C8 складають схему фільтрації та накопичування для понижуючої схеми и живлення компонентів. Опіри R3 і R4 складають контур зворотного зв'язку за напругою.

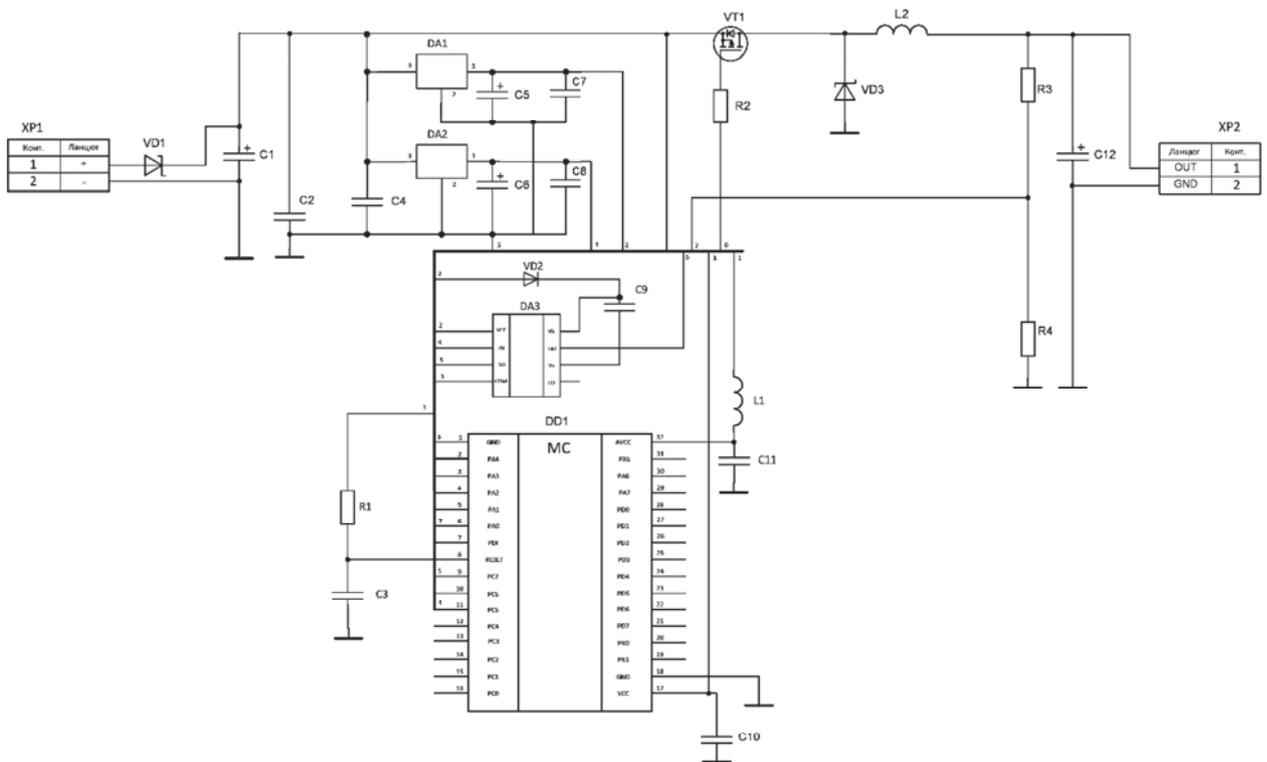


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова

Дросель L1, ємності C3, C11 та MCU U1 ATxmega32E5 складають мінімальну систему мікроконтролерного управління.

У знижувальній схемі з XMEGA E частота перемикання сигналу керуючого MOSFET становить до декількох сотень кГц або декількох МГц. Тому необхідно враховувати час зворотного відновлення зворотного діода. Зворотний струм на індукторі стане дуже великим, якщо час зворотного відновлення буде занадто великим.

Як контур зворотного зв'язку можна використовувати контур зворотного зв'язку за напругою або струмом. У цьому випадку використовується петля зворотного зв'язку напруги. Коли MCU виявляє, що напруга зворотного зв'язку перевищує задану напругу, MCU негайно вимикає сигнал керування MOSFET до тих пір, поки напруга зворотного зв'язку не стане менше встановленої напруги зворотного зв'язку, а потім увімкне сигнал керування MOSFET, щоб увімкнути МОП-транзистор, щоб забезпечити живлення навантаження.

Ця проста реалізація схеми Виск отримує вигоду у вбудованих апаратних модулях – з'єднання модуля контролера системи подій з модулем розширення

помилки у ATxmega E. Для цього не потрібне додаткове використання вбудованого програмного забезпечення, за винятком налаштування деяких регістрів. Користувачеві необхідно лише налаштувати регістр аналогового компаратора.

Регістр розширення, регістр системи подій та таймер/лічильник для запуску знижувальної схеми.

Далі розглянемо, як налаштувати регістри мікроконтролера в режимі широтно-імпульсної та частотно-імпульсної модуляції.

3.8 Широтно-імпульсна модуляція

Для цієї модуляції нам потрібно лише встановити фіксовану частоту перемикання для MCU і ширину імпульсу. Драйвер MOSFET буде змінювати стан відповідно до зворотного зв'язку контуру зворотного зв'язку.

Приклад налаштування регістру ШІМ:

```
int main (void){
/*Set the system clock*/
O SC.CTRL |= OSC_RC32MEN_bm;
while(!(OSC.STATUS & OSC_RC32MRDY_bm));
CCP = CCP_IOREG_gc;
CLK.CTRL = CLK_SCLKSEL_RC32M_gc;
/*Set the I/O port*/
PORTA.OUT = 0x00;
PORTA.DIR = (1 << 7);
PORTA.PIN7CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc |
PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTC.OUT = (1 << 1);
PORTC.DIR = (1 << 5) | (1 << 1);
PORTC.PIN1CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc |
PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
```

```

PORTC.PIN5CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc |
PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTD.OUT = 0x00;
PORTD.DIR = (1 << 5) | (1 << 4) | (1 << 3);
PORTD.PIN3CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc |
PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTD.PIN4CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc |
PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTD.PIN5CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc |
PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
/*Set the Timer/Counter Register*/
PR.PRGEN = PR_RTC_bm | PR_XCL_bm | PR_EDMA_bm;
PR.PRPA = PR_ADC_bm
| PR_DAC_bm;
PR.PRPC = PR_TWI_bm | PR_USART0_bm | PR_SPI_bm
| PR_HIRES_bm | PR_TC4_bm;
PR.PRPD = PR_TWI_bm | PR_USART0_bm | PR_SPI_bm | PR_HIRES_bm
| PR_TC4_bm ;
TCC5.PER = 31;
TCC5.CCB = 25;
TCC5.CTRLE |= TC45_CCBMODE_COMP_gc;
TCC5.CTRLB = TC45_BYTEM_NORMAL_gc
| TC45_CIRCEN_DISABLE_gc | TC45_WGMODE_SINGLESLOPE_gc;
TCC5.CTRLA = (0 << TC5_SYNCHEN_bp)
| (0 << TC5_EVSTART_bp) | (0 << TC5_UPSTOP_bp)
| TC45_CLKSEL_DIV1_gc;
TCC5.CTRLD = TC45_EVACT_FMODE1_gc | TC45_EVSEL_CH0_gc;
/*Set the Fault Extension Register*/
FAULTC5.CTRLD = FAULT_KEEPPB_bm | FAULT_SRCB0_bm;
/*Set the Analog Comparator Register*/

```

```

ACA.AC0MUXCTRL = AC_MUXPOS_PIN0_gc | AC_MUXNEG_SCALER_gc;
ACA.CTRLB = 18;
ACA.AC0CTRL = AC_INTMODE_RISING_gc | AC_ENABLE_bm;
/*Set the Event System Register*/
EVSYS.CH0MUX = EVSYS_CHMUX_ACA_CH0_gc;
While(1)
(
)
}

```

3.9 Математичне моделювання

Математичне моделювання в програмному забезпеченні Micro-Cap відкриває нові горизонти в розробці та аналізі систем управління перетворювачами напруги. В епоху стрімкого розвитку технологій та зростаючих вимог до ефективності електронних систем, значення точного та гнучкого моделювання не можна недооцінювати. Micro-Cap, як високоефективний інструментарій для симуляції електронних схем, надає інженерам потужні можливості для дослідження та оптимізації систем управління перетворювачами напруги.

Перетворювачі напруги є ключовим елементом в широкому спектрі електронних пристроїв, від мобільних телефонів до промислового обладнання, де вони відповідають за стабілізацію та контроль електроенергії. Використання математичного моделювання дозволяє розробникам передбачати поведінку системи управління на різних рівнях навантаження, частоти, температури та інших умов експлуатації, що забезпечує можливість створення більш надійних та ефективних пристроїв [8].

Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та широкому набору вбудованих компонентів, Micro-Cap дозволяє інженерам легко створювати складні моделі перетворювачів напруги, включаючи моделювання перехідних

процесів, стабільності та частотних характеристик. Особливо цінним є здатність програми до проведення параметричних аналізів, що дозволяє автоматично модифікувати параметри моделі для вивчення їх впливу на загальну роботу системи. Такий підхід істотно скорочує час на розробку та тестування, дозволяючи швидше впроваджувати інноваційні рішення на ринок.

У контексті навчальних та дослідницьких проектів, Мікро-Сар виступає як незамінний помічник, надаючи студентам та вченим доступ до потужних інструментів для вивчення теорії та практики управління електронними системами. Через реалізацію комплексних математичних моделей в програмі, користувачі мають можливість глибше зрозуміти принципи роботи перетворювачів напруги та оптимізувати їх для виконання конкретних задач.

В сукупності, використання математичного моделювання в програмі Мікро-Сар для дослідження систем управління перетворювачами напруги є важливим кроком на шляху до розробки більш ефективних, надійних та інноваційних електронних пристроїв.

Побудована модель перетворювача по програми показана на рис. 3.4.

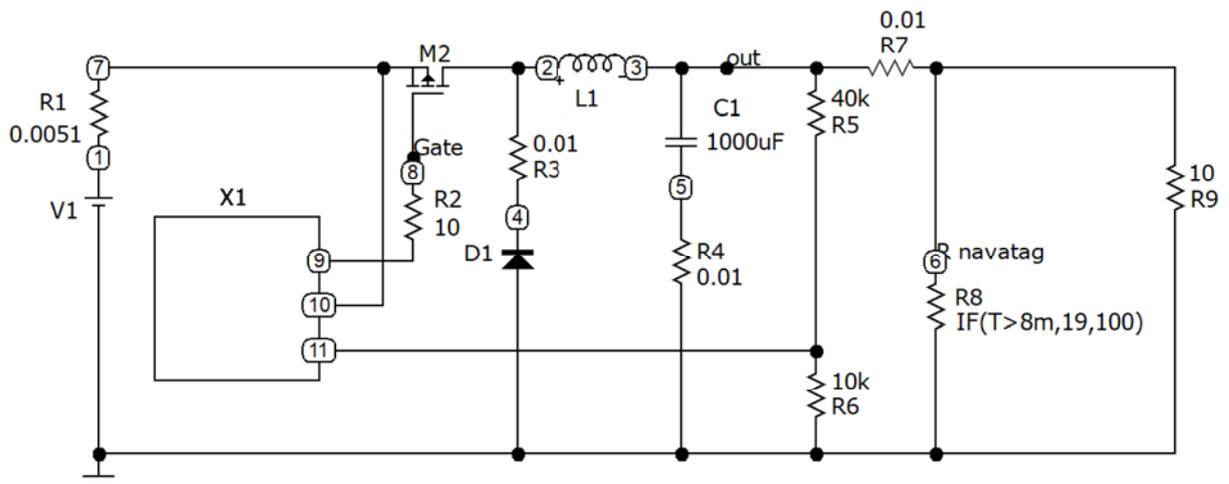


Рисунок 3.4 – Схема електрична принципова для моделювання.

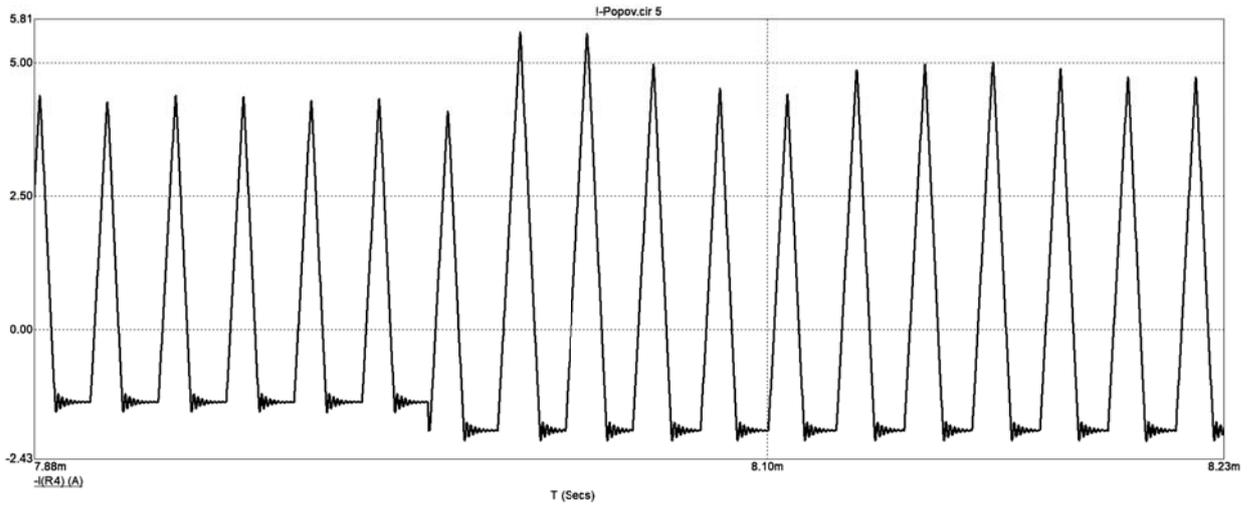


Рисунок 3.5 – Струм через конденсатор фільтру С1.

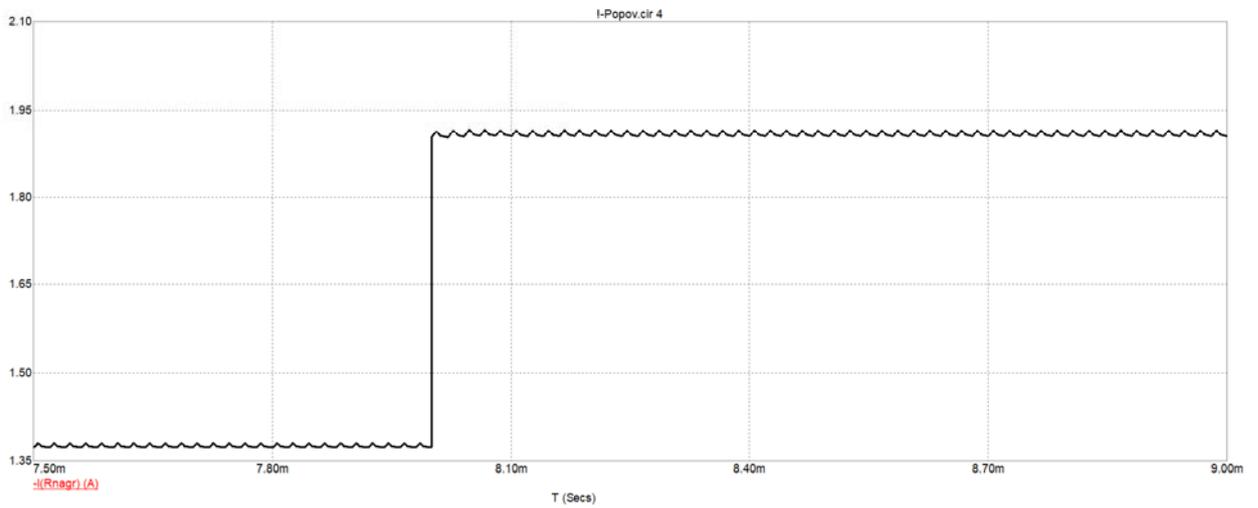


Рисунок 3.6 – Струм навантаження.

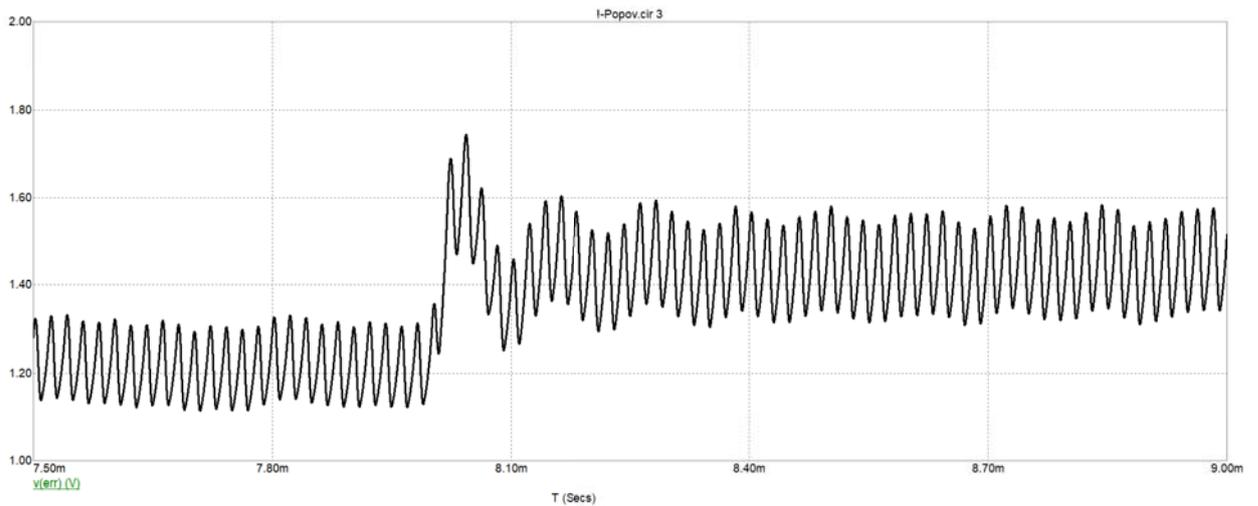


Рисунок 3.7 – Напряга зворотного зв'язку.

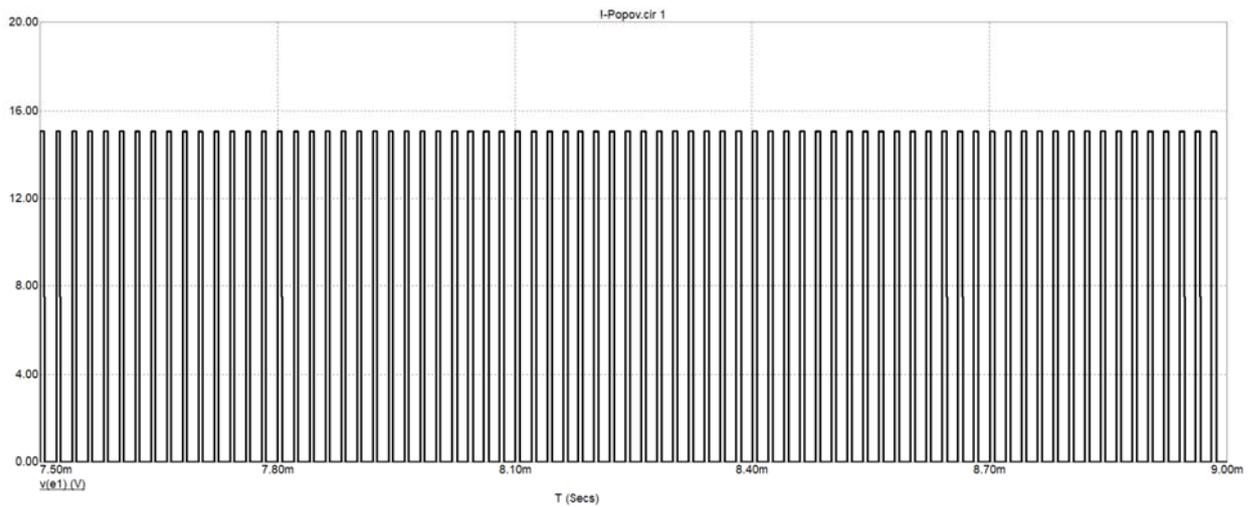


Рисунок 3.8 – Напряга на затворі силового транзистору.

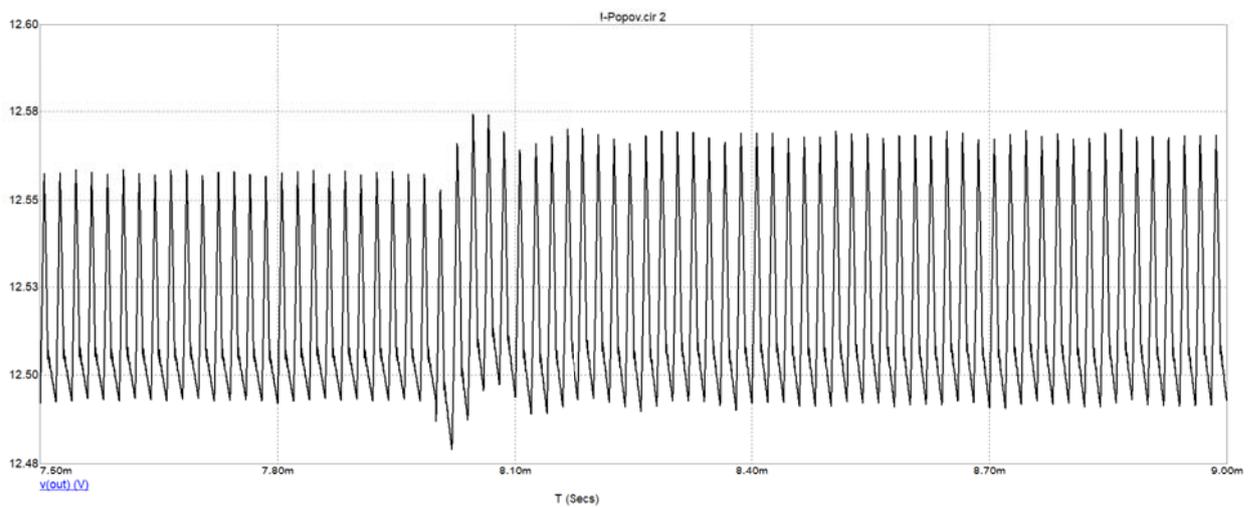


Рисунок 3.9 – Рівень пульсацій вихідної напруги.

Аналізуючи отримані графіки можемо зробити висновок що система управління робоча та стійка, про що свідчить затухаючі перехідні процеси вихідної напруги при комутації навантаження на рис. 3.9.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Програмне забезпечення для систем проектування

Сучасний ринок надає широкий спектр програмних рішень для автоматизації процесів проектування електронних пристроїв, включаючи електричні схеми та друковані плати.

Для проектування друкованих плат (ДП) існує кілька потужних програмних продуктів, які використовуються інженерами по всьому світу. Кожен з них має свої унікальні особливості, можливості для спрощення процесу розробки та реалізації електронних схем. Ось декілька популярних програм:

Altium Designer - одна з найпопулярніших платформ для проектування електроніки, що надає широкий спектр інструментів для проектування ПП, симуляції схем, управління даними проекту та виробництва.

Eagle (Autodesk EAGLE) - доступна та відносно проста в освоєнні програма для проектування друкованих плат, популярна серед студентів, хобістів та невеликих компаній. Надає гнучкі можливості для розробки схем та розкладки ПП.

KiCad - вільне та відкрите програмне забезпечення для автоматизованого проектування електронних схем та друкованих плат. Підтримує створення багатошарових плат та має бібліотеки компонентів.

OrCAD (від Cadence) - професійний набір інструментів для проектування електроніки, що включає потужні можливості для симуляції схем та розробки друкованих плат. Популярний серед великих компаній та дослідницьких інститутів.

Mentor Graphics PADS - професійне рішення для проектування друкованих плат, що надає широкий спектр інструментів для розробки, аналізу та виробництва електроніки.

Proteus Design Suite - програмний комплекс, що поєднує в собі інструменти для проектування електронних схем, симуляції мікроконтролерних систем та розробки друкованих плат.

DipTrace - користується популярністю завдяки своїй простоті у використанні та гнучкості, підходить як для новачків, так і для професіоналів. Надає широкі можливості для проектування ПП та схем [9].

CircuitStudio (від Altium) - спрощена версія Altium Designer, яка надає основні інструменти для проектування ПП та є більш доступною за ціною.

Серед цього многобарв'я програм, однією з відзначених є DipTrace, яка пропонує користувачам комплексний інструментарій для розробки, від визначення концепції до фінального продукту.

Ця програма виокремлюється наявністю чотирьох ключових компонентів:

"Schematic" для створення електричних схем,

"PCB Layout" для дизайну друкованих плат із можливістю як ручного, так і автоматичного трасування,

"ComEdit" – інструмент для редагування корпусів,

та "SchemEdit" для редагування компонентів.

Цей інструментарій дозволяє користувачам не тільки ефективно розробляти складні електронні компоненти та системи, але й налаштовувати їх під конкретні вимоги завдяки можливості створення власних бібліотек компонентів та корпусів [9].

Особливу увагу заслуговує функціонал редактора плат, що забезпечує високий рівень гнучкості у процесі проектування завдяки продвинутому автотрасувальнику, інтуїтивним інструментам ручного трасування, а також ефективній системі розміщення компонентів.

Крім того, DipTrace виділяється своїм редактором схем, що підтримує структуру ієрархії та не має обмежень на кількість аркушів, дозволяючи з легкістю переносити проекти у редактор плат, експортувати список мереж або використовувати симулятор.

Значну вагу в процесі проектування має і велика бібліотека стандартних компонентів, що охоплює понад 100,000 елементів, яка разом з понад 2,500 3D-моделями корпусів для тривимірного перегляду, значно спрощує вибір необхідних компонентів та візуалізацію фінального продукту.

DipTrace виступає не просто як інструмент для проектування електроніки, але й як міст, що з'єднує різноманітні платформи та формати, спрощуючи інтеграцію та обмін даними. Завдяки широкому спектру можливостей імпорту та експорту, користувачі можуть легко переносити свої проекти між різними програмними середовищами, такими як P-CAD та PADS, забезпечуючи гладку сумісність і взаємодію з іншими інструментами проектування. Ця функціональність відкриває перед інженерами двері до ефективного співробітництва, дозволяючи їм використовувати в роботі найкращі практики та рішення.

Окрім технічних можливостей, DipTrace вирізняється також своєю доступністю для українськомовних користувачів. Програма пропонує інтерфейс, довідкову систему та підручники українською мовою, що робить її ще більш привабливою для інженерів та дизайнерів в Україні. Наявність української локалізації сприяє кращому розумінню та засвоєнню функціоналу програми, дозволяючи користувачам швидше освоїтися і почати створювати свої проекти без мовного бар'єру.

Таким чином, DipTrace не лише надає інженерам потужний набір інструментів для реалізації їхніх ідей у сфері електроніки, але й забезпечує необхідну підтримку та гнучкість для ефективної взаємодії між різними програмами та платформами, водночас пропонує локалізований інтерфейс для зручності українських користувачів [9].

Розроблена плата друкована розмірами 60мм на 60мм в двошаровому виконанні. Верхній та нижній шар представлено на рис. 4.1 та 4.2.

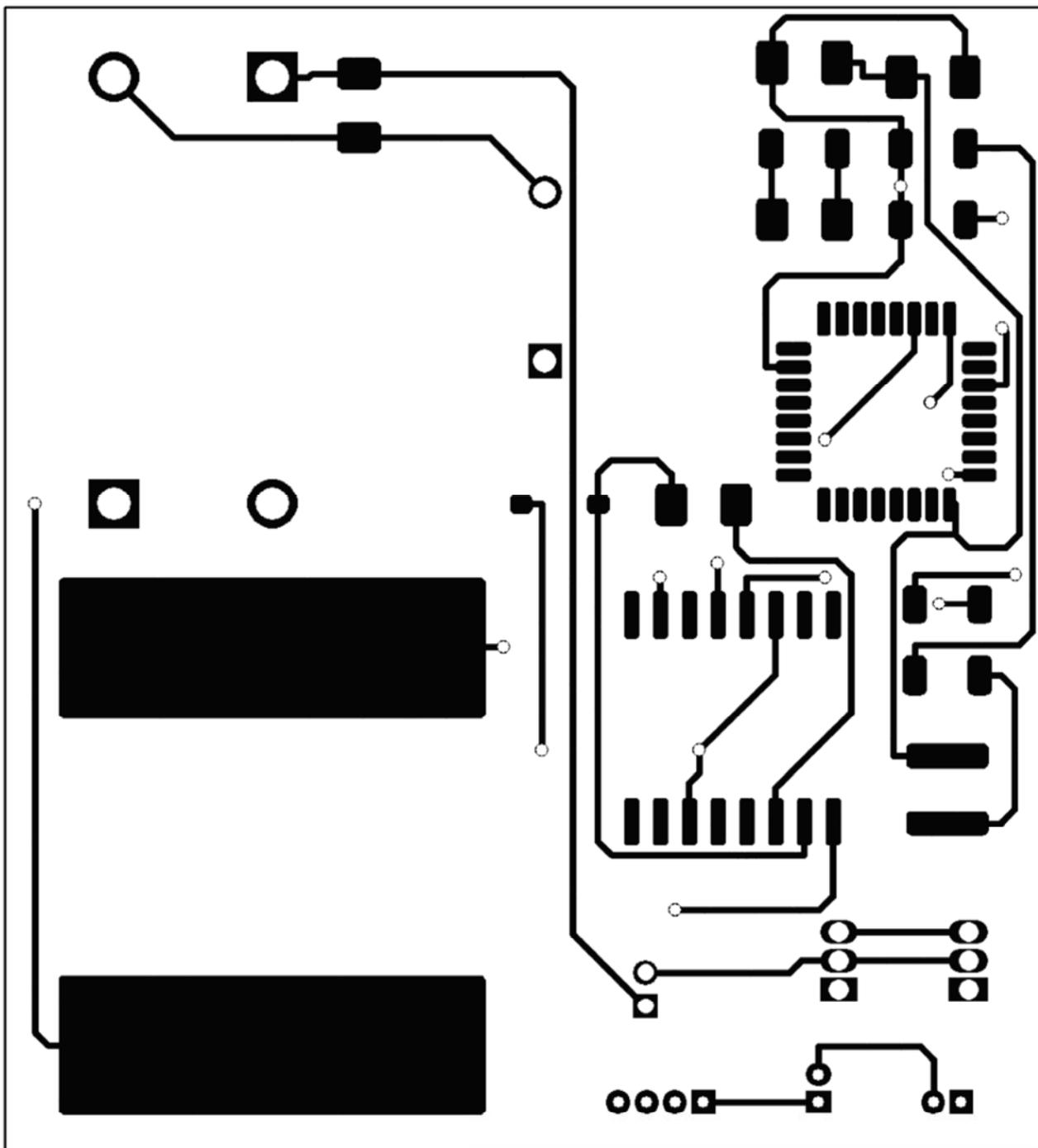


Рисунок 4.1 – Верхня частина плати

Для плати використовується текстоліт товщиною 1.5 мм. На верхньому шарі розташовані SMD елементи такі як індуктивність, мікроконтролер та резистори.

Нижня частина плати використовується для доріжок.

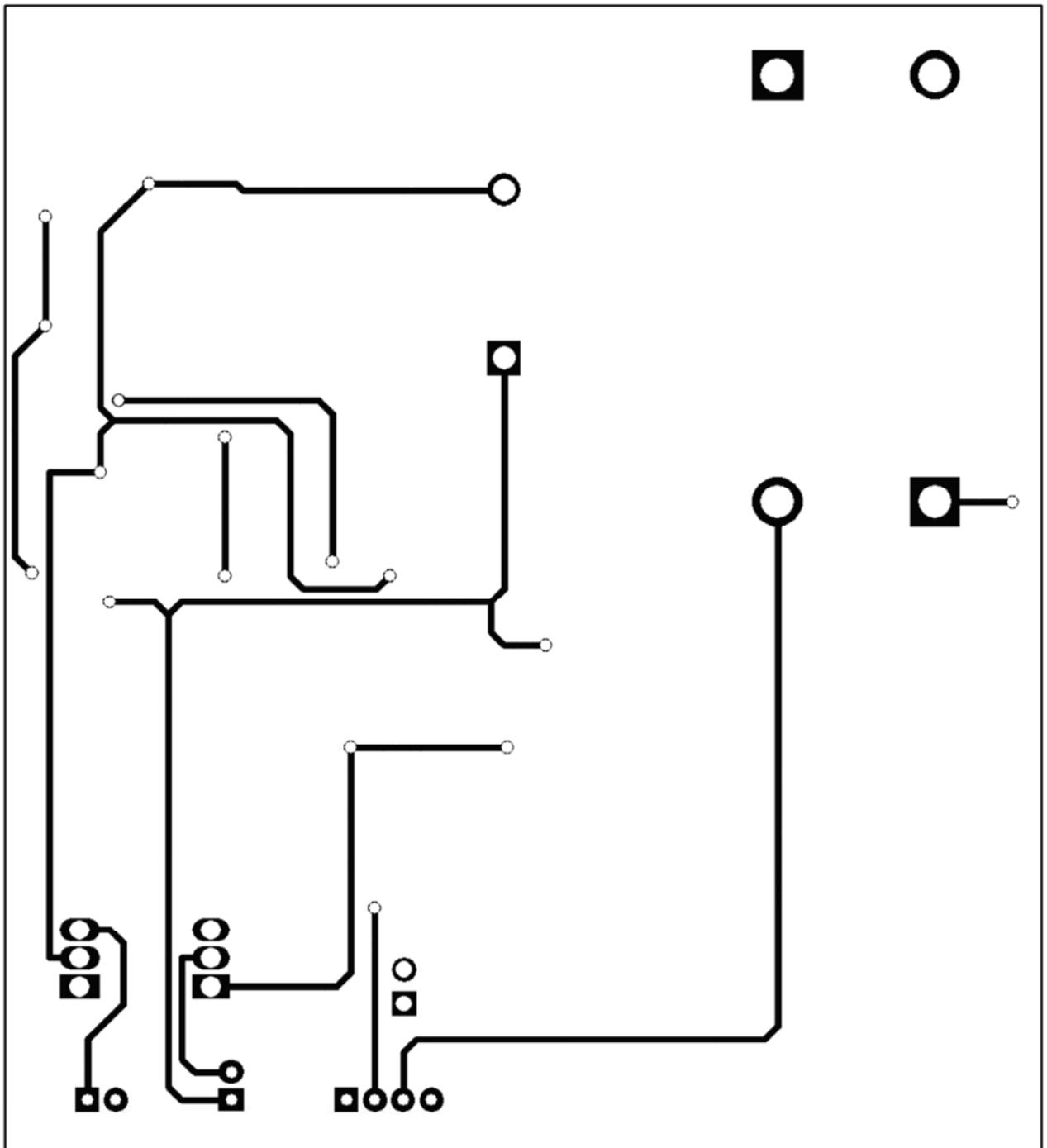


Рисунок 4.2 – Нижня частина плати

4.2 Технологія виготовлення плати друкованої

Друкована плата є ключовим елементом в сучасній електроніці, що служить надійною основою для розміщення та з'єднання електронних компонентів. Це тонка платформа з ізоляційного матеріалу, на поверхні якої з

допомогою струмопровідних доріжок, виконаних з металу, реалізовано електричне з'єднання компонентів згідно з задумом схеми.

Революційне значення друкованих плат полягає у стандартизації електронних виробів та оптимізації процесів монтажу. Вони виключають людську помилку при пайці, оскільки кожен компонент має своє місце, а провідні доріжки заздалегідь прокладені з необхідною точністю. Така уніфікація сприяє не тільки підвищенню надійності апаратури, але й її мініатюризації, зменшенню ваги та вартості.

Процес виготовлення друкованих плат включає використання різноманітних матеріалів, які можна умовно поділити на шаруваті та нешаруваті. Шаруваті матеріали, такі як фольговані діелектрики, забезпечують основу для плат, тоді як нешаруваті матеріали використовуються для специфічних технологічних потреб, наприклад, у виробництві гнучких плат.

Класифікація друкованих плат за кількістю провідних шарів дозволяє вибрати оптимальний варіант для кожного конкретного застосування. Односторонні плати прості у виробництві та коштують дешевше, але їх можливості обмежені. Двосторонні плати пропонують більшу гнучкість для розміщення компонентів та провідників. Багатошарові плати, в свою чергу, використовуються у складних електронних системах, де необхідно забезпечити велику кількість з'єднань на обмеженій площі.

Завдяки цим технологіям, друковані плати стали невід'ємною частиною майже всієї електроніки, від простих побутових приладів до складних промислових та наукових апаратів, що свідчить про їхню важливість та універсальність у сучасному світі.

В залежності від умов експлуатації вибирається марка матеріалу для друкованих плат (ДП). Зазвичай, ДП розробляються у простій прямокутній формі; конфігурацію, відмінну від прямокутної, використовують у технічно-обґрунтованих випадках.

Процес виготовлення друкованої плати можна умовно розділити на п'ять основних етапів:

Попередня підготовка заготовки: Цей етап є початковим і передбачає підготовку поверхні майбутньої друкованої плати до нанесення захисного покриття. Ця процедура включає очищення поверхні та знежирення.

Нанесення захисного покриття: Найважливіший етап у процесі виготовлення друкованих плат. Якість плати на 90% залежить від цього етапу. Застосовуються три основні способи нанесення захисного покриття. Використання фоторезистів є одним з популярних методів, де чутливий до світла фоторезист наноситься на плату, піддається засвічуванню, а потім вимивається.

Видалення зайвої міді (травлення): Після нанесення захисного покриття проводиться травлення, в результаті чого зайві ділянки міді видаляються, залишаючи лише необхідні доріжки.

Очищення від захисного покриття: Після травлення проводиться очищення заготовки від захисного покриття, що залишилося після фоторезисту чи іншого захисного матеріалу.

Сверловка отворів, покриття плати флюсом, лудіння: Завершальні операції включають сверління отворів, покриття плати флюсом і лудіння для подальшого монтажу компонентів.

Цей процес забезпечує виготовлення якісних друкованих плат з урахуванням різноманітних вимог та умов експлуатації.

Після нанесення шару фоторезисту необхідно висушити отриману плівку. Робити це рекомендується при температурі 70-80 градусів, причому спочатку потрібно підсушити поверхню при невеликій температурі і лише потім поступово довести температуру до потрібного значення. Час сушіння при вказаній температурі становить порядку 20-30 хвилин. В крайньому випадку допускається сушіння плати при кімнатній температурі протягом 24 годин. Плати з нанесеним фоторезистом повинні зберігатися в темному прохолодному місці.

Наступним дією після нанесення фоторезисту є експонування. При цьому на плату накладається фотошаблон (бажано стороною друку до плати:

це сприяє збільшенню чіткості при експонуванні), який притискається тонким склом або шматком плексигласу. При досить невеликих розмірах плат для притиску можна використовувати кришку від коробки компакт-диска або відмиту від емульсії фотопластинку. Оскільки область максимуму спектральної чутливості більшості сучасних фоторезистів припадає на ультрафіолетовий діапазон, для засвічення бажано використовувати лампу з великою часткою УФ-випромінювання в спектрі (ДРШ, ДРТ та інш.). У крайньому випадку, можна використовувати потужну ксенонову лампу. Час експонування залежить від багатьох причин (тип і потужність лампи, відстань від лампи до плати, товщина шару фоторезиста, матеріал притискного покриття тощо) і підбирається експериментально. Проте в цілому час експонування становить зазвичай не більше 10 хвилин навіть при експонуванні під прямими сонячними променями.

Прояв більшості фоторезистів здійснюється розчином їдкого натру (NaOH) - 7 грамів на літр води. Краще всього використовувати свіжоприготований розчин, що має температуру 20-25 градусів. Час прояву залежить від товщини плівки фоторезисту і знаходиться в межах від 30 секунд до 2 хвилин. Після прояви плати можна піддавати травленню в звичайних розчинах, оскільки фоторезист стійкий до впливу кислот. При використанні якісних фотошаблонів застосування фоторезисту дозволяє отримати доріжки шириною аж до 0,15-0,2 мм.

3. При видалення зайвої міді з поверхні плати відомо багато складів для хімічного травлювання. Всі вони відрізняються швидкістю протікання реакції, складом речовин, що виділяються в результаті реакції, а також доступністю необхідних для приготування розчину хімічних реактивів.

Найбільш популярні розчини для травлення:

- Хлорне залізо (FeCl_3) - мабуть, найвідоміший і найпопулярніший реактив. Сухе хлорне залізо розчиняється у воді до тих пір, поки не буде отриманий насичений розчин золотисто-жовтого кольору (для цього потрібно близько двох столових ложок на склянку води). До недоліків даного розчину

слід віднести освіту в процесі реакції відходів, які осідають на платі і перешкоджають нормальному протіканню процесу травлення, а також порівняно низьку швидкість реакції.

- Персульфат амонію - світла кристалічна речовина, розчиняється у воді виходячи зі співвідношення 35 г речовини на 65 г води. До недоліків цього розчину відноситься необхідність підтримання необхідного температурного режиму і перемішування.

- Розчин соляної кислоти (HCl) і перекису водню (H₂O₂). Для приготування цього розчину необхідно до 770 мл води додати 200 мл 35% соляної кислоти і 30 мл 30% перекису водню. Готовий розчин повинен зберігатися в темній пляшці, не закритим герметично, тому що при розкладанні перекису водню виділяється газ. Увага: при використанні даного розчину необхідно дотримуватися всіх запобіжних заходів при роботі з їдкими хімічними речовинами. Всі роботи необхідно проводити тільки на свіжому повітрі або під витяжкою. При попаданні розчину на шкіру її необхідно негайно промити великою кількістю води. Недоліком даного розчину є необхідність суворого дотримання при роботі з ним усіх заходів обережності.

4. Очищення заготовки, сверловка, нанесення флюсу, лудіння.

Після завершення травлення і промивання плати необхідно очистити її поверхню від захисного покриття. Зробити це можна яким-небудь органічним розчинником, наприклад, ацетоном.

Далі необхідно просвердлити всі отвори. Найзручніше для свердління плат використовувати електродвигуни типу ДПМ-35Н і їм подібні з насадженим на їх вал невеликим цанговим патроном. Після свердловки потрібно обробити отвори: видалити всі щербини і задирки. Зробити це можна наждачним папером.

Наступним етапом є покриття плати флюсом з подальшим лудінням. Можна використовувати спеціальні флюси промислового виготовлення (найкраще змивані водою або взагалі не потребують змивання) або просто покрити плату слабким розчином каніфолі в спирті. Лудіння можна проводити

двома способами: зануренням в розплав припою або за допомогою паяльника і металевого обплетення, просоченої припоєм. У першому випадку необхідно виготовити залізну ванночку і заповнити її невеликою кількістю сплаву Розі або Вуда. Розплав повинен бути повністю покритий зверху шаром гліцерину щоб уникнути окислення припою. Для нагрівання ванночки можна використовувати перевернутий праску або електроплитку. Плата занурюється в розплав, а потім виймається з одночасним видаленням надлишків припою ракелем з твердої гуми.

На цьому процес виготовлення друкованої плати вважається закінченим і можна приступати до монтажу елементів на ній.

Вихідним параметром при конструюванні друкованих плат є крок координатної сітки. За допомогою координатної сітки регламентуються основні геометричні розміри друкованих плат. Як правило, центри всіх видів отворів на друкованих платах розташовуються у вузлах координатної сітки. Її основний крок 2.5 мм, додатковий - 0.635 мм. При компонованні друкованої плати прагнуть досягти максимального заповнення її поверхні навісними елементами і розмістити їх так, щоб забезпечити найкоротші зв'язки між ними, що виконуються друкованими провідниками. Розміри визначаються відомчими нормативами і ДСТУ. За даними цих документів максимальний розмір друкованої плати не повинен перевищувати 240x360 мм. Перевага при розробці віддається малогабаритним платам, так як великогабаритні друковані плати мають малу механічну міцність і складні у виготовленні [10].

Товщина плати, як правило, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається залежно від вимог, що пред'являються до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і габаритів встановлюваних елементів і не перевищує 3 мм. Перехідним елементом від отвору, в який вставляється вивід встановлюваного елемента, до друкованого провідника є контактна площадка.

Важкі елементи (наприклад, трансформатори) або елементи, схильні до механічних впливів (тумблери, потенціометри, підлаштування конденсатори),

встановлюються насамперед за допомогою своїх утримувачів. Такі утримувачі забезпечують механічне кріплення відповідних елементів до плати і запобігають обрив і поломку виводів під впливом механічних навантажень.

4.3 Заходи з охорони праці

Дипломна робота, виконувана у лабораторії виробничого корпусу заводу з виробництва систем управління перетворювачами енергії, потребує не лише фокусу на наукових аспектах дослідження, але й врахування питань безпеки та здоров'я розробника. Розглянемо заходи щодо мінімізації ризиків пов'язаних з вищезгаданими небезпечними та шкідливими факторами:

Підвищений рівень напруги:

Використання ізоляційних матів та взуття для зниження ризику ураження електричним струмом.

Застосування засобів захисту рук (ізоляційні рукавички).

Навчання правилам роботи з електроустановками та надання інструктажу з техніки безпеки.

Електромагнітне випромінювання:

Обмеження тривалості перебування в зоні високого випромінювання.

Використання захисних екранів та бар'єрів.

Шум:

Застосування індивідуальних засобів захисту слуху (наприклад, антишумові навушники).

Здійснення заходів щодо звукоізоляції приміщення.

Пил та озон:

Регулярне вологе прибирання лабораторії для зменшення кількості пилу.

Вентиляція та очищення повітря в приміщенні з використанням спеціалізованих фільтрів.

Напруження зору:

Регулювання освітленості робочого місця, використання антиблікових екранів.

Дотримання режиму роботи та відпочинку, виконання вправ для очей.

Емоційні перевантаження:

Планування робочого часу з урахуванням періодів відпочинку.

Впровадження технік стрес-менеджменту, наприклад, медитації або коротких перерв на релаксацію.

Навантаження на опорно-рухову систему:

Правильне ергономічне оформлення робочого місця.

Виконання фізичних вправ для зменшення м'язового напруження.

Забезпечення безпечних умов праці в лабораторії є важливою частиною підготовки до виконання дипломної роботи, що дозволяє не лише захистити здоров'я розробника, але й підвищити ефективність науково-дослідної роботи.

Вплив електромагнітного випромінювання на розробника. Вплив яскравих джерел світла, до яких належить дисплей, може викликати стомлення очей, запалення райдужної оболонки та спазм повік. Однак ці симптоми швидко минають і вплив видимого електромагнітного випромінювання не призводить до патологічних змін в органах зору у дослідника. Поверхнева щільність потоку енергії цього випромінювання перебуває у межах $0,1-1,5 \text{ Вт/м}^2$, що не перевищує норму в 10 Вт/м^2 [11].

Під час використання монітора на його екрані накопичується електростатичний заряд, що формує електростатичне поле. Цей наведений потенціал є ключовим фактором, який може викликати неприємні відчуття у дослідника. Негативний вплив електростатичного поля екрана проявляється в його здатності притягувати до робочого місця частки пилу, бруду та інших дрібних часток, які перебувають у повітрі навколо. Поверхневий

електростатичний потенціал становить 3 кВ/м при гранично допустимій нормі в 20 кВ/м [11, 12].

Основними джерелами шуму на робочому місці в лабораторії є комп'ютерне обладнання, зокрема, системні блоки та принтери. Негативний вплив проявляється у зниженні розумової працездатності, швидкому втомленні, ослабленні уваги і виникненні головного болю. Реальний рівень шуму на робочому місці не перевищує 67 дБ при нормі в 60 дБ [11].

Проходження електричного струму через організм людини призводить до термічних, електролітичних і механічних впливів. Він може стимулювати або пригнічувати функціональну активність клітин та тканин, залежно від параметрів струму. Така двойнята природа електричного струму робить його одночасно і лікувальним інструментом і потенційно небезпечним фактором для здоров'я людини. В медицині електричний струм використовується для стимуляції м'язів, нервових закінчень, лікування деяких видів паралічу та багатьох інших захворювань. Однак, неправильне або необережне використання електричного струму може призвести до опіків, порушення серцевого ритму, а в крайніх випадках – до летального результату.

Повертаючись до проблеми пилу та озону в лабораторних умовах, варто зауважити, що ці забруднювачі можуть мати не лише миттєві негативні ефекти на здоров'я людини, але й впливати на довгострокову перспективу. Доведено, що систематичне вдихання повітря з високим вмістом озону спричинює хронічні респіраторні захворювання, зменшує легеневу функцію, підвищує чутливість до респіраторних інфекцій і може посилити симптоми астми. Щодо пилу, то частки пилу можуть нести на собі алергени, токсичні речовини та мікроорганізми, що загрожує розвитком алергічних реакцій, токсичних та інфекційних захворювань.

З огляду на зазначені ризики, необхідно забезпечити адекватні заходи безпеки та охорони здоров'я в лабораторіях. До таких заходів можна віднести використання вентиляційних систем для зменшення концентрації шкідливих речовин у повітрі, регулярне технічне обслуговування лабораторного

обладнання для запобігання його пошкодженню та уникнення витoku електричного струму, а також проведення інструктажів з безпеки для персоналу лабораторії. Крім того, важливо використовувати особисті засоби захисту, такі як респіратори та захисні окуляри, щоб мінімізувати вплив шкідливих речовин на організм.

Термічний вплив струму призводить до опіків окремих ділянок тіла, нагрівання до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, які перебувають на шляху струму, викликаючи серйозні функціональні порушення.

Електролітичний вплив струму виявляється в розкладанні органічних рідин, включаючи кров, і супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

Механічний (динамічний) вплив струму проявляється у розриві, розшаруванні та інших пошкодженнях різних тканин організму, включаючи м'язову тканину, стінки кровоносних судин, судин легеневої тканини і т. д.

Біологічний вплив струму проявляється в подразненні і порушенні живих тканин організму, а також в порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, які протікають при нормальному функціонуванні організму. Електричний струм подразнює живі тканини, викликаючи в них відповідну реакцію - збудження, яке є одним з основних фізіологічних процесів і характеризується тим, що живі утворення переходять зі стану відносного фізіологічного спокою в стан специфічної для них діяльності.

Праця у лабораторії під час досліджень вимагає тривалої, багатогодинної напруженої роботи в стійкому положенні за персональним комп'ютером (ПК). Це призводить до обмеженої рухової активності, що супроводжується локальними динамічними навантаженнями, переважно на кисті рук. Такий характер роботи може викликати загальну втомленість, біль та оніміння в шиї, спині, руках і ногах. На основі аналізу та оцінки шкідливих та небезпечних факторів у лабораторії на робочому місці розробника складена карта умов праці, що приведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Карта умов праці на робочому місці розробника у лабораторії

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас небезпеки <u>Озон</u> II клас небезпеки <u>окисли азоту</u> III-IV клас небезпеки	0,1 0,5	0,2 0,7	2 1,4			
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	-	-	-	-	-	-
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	107	110		3		
4	Шум, дБА	60	67	7			80%
5	Інфразвук, дБ	-	-	-	-	-	-
6	Ультразвук, дБ	-	-	-	-	-	-
7	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон промислової частоти, кВ/м - оптичний діапазон, Вт/м ²	25 -	40 -	15 -			80%
8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	23 – 25 не більше 0,2 не більше 75	27 0,1 60				100% 100% 100%
9	Атмосферний тиск	760	748				90%
10	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці - легка, I а категорія напруженості праці - помірно напружена					

Як видно з таблиці, у лабораторії фактичні умови виробничого процесу розробника більші за нормативних значень.

4.3.1 Заходи з поліпшення умов праці

Для підвищення якості трудового середовища в секторі збору платежів керівництву рекомендується вжити наступні дії:

Необхідно забезпечити, щоб кожен новоприбулий співробітник пройшов навчання з безпеки, яке включає правила роботи з електричними установками, користування комп'ютером та дотримання графіка роботи;

Застосування комбінованої системи вентиляції, що об'єднує механічне видалення забрудненого повітря з приміщення та природне провітрювання через відчинені вікна, допоможе покращити атмосферу в офісі;

Наявність якісного штучного освітлення в доповнення до природного світла є важливою, щоб забезпечити комфортні умови для зору співробітників при виконанні їхніх обов'язків.

Для мінімізації впливу електромагнітних випромінювань на працівників, рекомендується обмежити кількість електронних пристроїв, що одночасно використовуються на одному робочому місці.

Для зниження ризику негативного впливу електростатичних полів, слід застосовувати заземлення для металевих та електропровідних частин обладнання, здійснювати щоденне вологе прибирання приміщення та використовувати спеціалізовані серветки для очищення екранів.

Ефективним рішенням для нейтралізації впливу озону є встановлення витяжної вентиляції та розміщення принтерів на відстані від місць постійного перебування співробітників. Також слід вимикати невикористовуване електронне обладнання на робочих станціях.

Робоче місце з екраном розташоване на відстані не менше 1.5 метра від стіни з віконними отворами, а інші робочі місця розташовані на відстані 1 метра одне від одного, при цьому між ними забезпечено простір не менше 1.5

метра. Для розташування монітора на робочому місці відведено простір для розробника розміром не менше 850 мм, враховуючи виступаючі частини обладнання. Монітори розташовані на робочому столі так, щоб поверхня екрана знаходилася на відстані не менше 400 міліметрів від очей розробника. Елементи робочого місця розміщені так, щоб відстань від очей користувача до екрану, клавіатури і тримача документів була однаковою.

Клавіатура розташована на поверхні столу на відстані 100-150 мм від краю для уникнення неправильного положення рук при друку. Конструкція клавіатури передбачає наявність опорного пристрою, що дозволяє змінювати кут нахилу поверхні клавіатури.

Робочий стілець є підйомно-поворотним з регульованою висотою та підлокітниками. Крісло забезпечує фізіологічно правильну робочу позу, не порушуючи циркуляцію крові та не викликаючи інших негативних впливів.

4.3.2 Виробнича санітарія

Умови трудової діяльності для розробників системи керування на базі мікропроцесорів класифікуються як роботи 1а категорії за ступенем складності – це легка праця, що передбачає виконання завдань у сидячому положенні з мінімальним фізичним навантаженням. Рівень напруженості в роботі оцінюється як помірний [11, 13].

Площа для одного робочого місця з комп'ютером повинна становити не менше 6 м², при об'ємі - не менше 20м³. Для вісьмох людей, що постійно знаходяться в кімнаті площею 18,2*6,7=121,94м², висотою=3,1м:

- Площа на одну людину складає 121,94/8=15,24 м²;
- Об'єм на одну людину складає 121,94*3,1=378,014/8=47,25 м³.
- Отже ці вимоги виконуються.

У лабораторії мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й швидкості руху повітря. Значення цих параметрів відповідно до стандартів [13] приведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %		Швидкість вітру, м/с		
		Оптимальна	Допустима				Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
постійна	непостійна	постійна	непостійна							
Холодний	Легка Іа	22 - 24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1-0,2
Теплий	Легка Іа	23 - 25	28	30	22	20	40-60	75	0,2	0,1-0,3

Рекомендовано використовувати комбінований підхід до освітлення лабораторних приміщень, що включає як природне, так і штучне світло. Природне світло надходить через вікна та інші світлопрохідні конструкції на бокових стінках. Згідно з нормами [11], для виконання робіт із середньою ступенем точності в зонах 4-го класу зорових завдань, загальна інтенсивність освітлення при використанні комбінації джерел світла має становити не менше 750 люмен.

4.3.3 Пожежна та техногенна безпека

Будинок, в якому знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці відноситься до приміщення категорії Д, оскільки в лабораторії є горючі (книги, документи, меблі, електропроводка) і речі, які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху [14].

За конструктивними характеристиками будівля відноситься до будівель з несучими та огорожувальними конструкціями з бетону і залізобетону, де для перекриттів використовується плиткові матеріалами захищених штукатуркою. Отже, ступінь вогнестійкості будівлі відноситься до третьої (III) групи [14].

Можливі причини виникнення пожежі в лабораторії:

- 1) Несправність електричної проводки;
- 2) Несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробую ізоляції;
- 3) Несправність захисного заземлення;
- 4) Необережне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки;
- 5) Паління в недозволених місцях;
- 6) Використання пошкоджених (несправних) електроприладів.

Отже вірогідні пожежі, які можуть бути в лабораторії відносяться до класу "Е" пов'язаний з горінням електрообладнання.

Для запобігання утворенню горючого середовища передбачено використання спеціальних меблів стійких до підвищених температур для робочого місця, покриття підлоги з негорючих матеріалів. Необхідними заходами для запобігання пожеж є своєчасний ремонт електроприладів, використання тільки справних електроприладів, паління в спеціально створених місцях, в кінці робочого дня відключати з електромережі електрообладнання, проходити протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки, призначення осіб відповідальних за пожежну безпеку.

Для ліквідації невеликих загорянь пропонується застосування первинних засобів пожежогасіння — вогнегасників. Для гасіння пожеж в лабораторії розробника площею 121,94 м² передбачається вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 — 2 шт. (клас пожежі Е — горіння електроустановок під напругою) [14].

У приміщенні застосований пожежний оповісник ІП 104, який спрацьовує при перевищенні температури в приміщенні +60°С. А також димовий оповісник ІП 212, який спрацьовує при скупченні диму в приміщенні.

З метою попередження прямого удару і другорядних проявів блискавок, будівля обладнана системою блискавкозахисту. Категорія пристрою блискавкозахисту має бути 3 категорії для виробничих споруд з приміщеннями

по пожежній безпеці класу П-Па [13].

Громовідвід складається з трьох основних частин: приймача блискавки, який безпосередньо приймає удар блискавки; струмовідводу (спуску), що сполучає приймача блискавки з заземлювачем, і заземлення, через яке струм блискавки переходить безпосередньо в землю.

Вертикальна конструкція — частина будівлі, яка призначена для закріплення приймача блискавки і струмовідводу — називається опорою. Опора встановлена на даху будівлі. У разі виникнення пожежі:

- негайно повідомити в пожежну охорону за телефоном 101,
- сповістити людей, що знаходяться в сусідніх приміщеннях про виникнення пожежі,
- приступити до гасіння пожежі за допомогою первинних засобів пожежогашіння,
- у разі загрози життю покинути небезпечну зону.

4.3.4 Електробезпека

Приміщення лабораторії, згідно з [13], віднесено до категорії без підвищеної небезпеки ураження струмом. Також лабораторія класифікується як пожежонебезпечна зона класу П-Па. Температура навколишнього середовища знаходиться в межах $+20 \pm 5$ °С, а відносна вологість повітря - $60 \pm 20\%$. В лабораторії встановлені непровідні підлоги, відсутній струмопровідний пил, відсутні високі температура і збільшена вологість, а також електрично-активне середовище. Опір захисних заземлювачів в електричних установках напругою 380/220 В не повинен перевищувати 4 Ом.

Основними заходами для запобігання ураження електричним струмом в лабораторії є захист від дотику до частин електрообладнання, що перебувають під напругою, використання захисного заземлення і відключення. Для уникнення потрапляння працівника під напругу мережі використовується подвійна ізоляція проводів. Також в лабораторії встановлені захисні автоматичні вимикачі, які окремо живлять освітлення і розетки.

Організаційні заходи для запобігання ураження електричним струмом включають призначення відповідальних осіб за електробезпеку та проведення відповідних інструктажів.

4.3.5 Інженерні рішення з охорони праці

Захисне заземлення – це навмисне з'єднання з землею частин обладнання, які не знаходяться під напругою в нормальних умовах експлуатації, але які можуть знаходитись під напругою в результаті порушення ізоляції електроустановки.

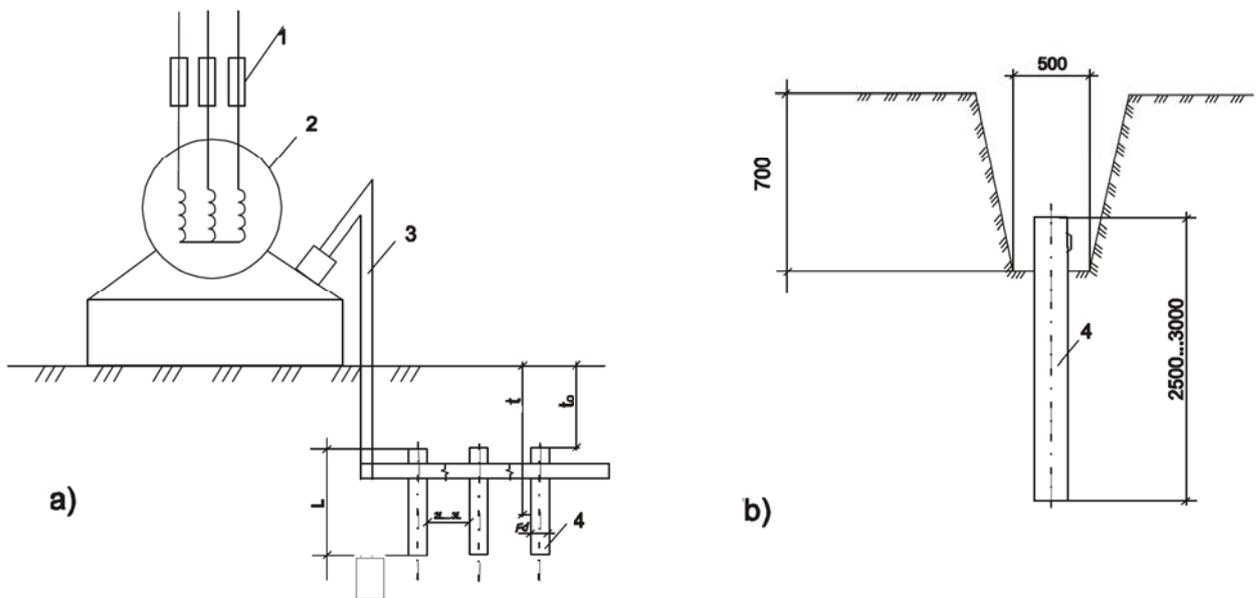


Рисунок 4.3 - Пристрій заземлення

- a) – схема заземлюючого пристрою;
 b) – розміщення одиночного заземлювача;
 1-плавкі вставки; 2 – електрообладнання;
 3- з'єднувальна штаба; 4- трубчатий заземлювач

В даному розділі дипломної роботи необхідно розрахувати заземлюючий пристрій для заземлення електрообладнання яке живиться від мережі електростанції при слідуючих вихідних даних:

- ґрунт – суглинок з питомим електричним опором $\rho = 100 \text{ Ом*м}$;

- в якості заземлювачів прийнято сталеві труби діаметром $d = 0.08$ м і довжиною $l = 2.5$ м, розміщені вертикально і з'єднані зварюванням сталевією штабою 40×4 мм;
- потужність обладнання $U = 1,5$ кВт;
- потужність трансформатора 170 кВ*А, допустимий по нормах опір заземлюючого пристрою $[r_3] \leq 4$ Ом.

Розрахунок захисного заземлення:

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача R_B , по формулі:

$$R_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4t + l}{4t - l} \right),$$

де t – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

l, d – довжина і діаметр стержневого заземлювача, м.

Розрахунковий питомий опір ґрунту

$$\rho_{розр} = \rho \cdot \psi,$$

де ψ – коефіцієнт сезонності, який враховує можливість підвищення опору ґрунту на протязі року.

Приймаємо $\psi = 1.7$, для першої кліматичної зони, тоді

$$\rho_{розр} = \rho \cdot \psi = 100 \cdot 1.7 = 170 \text{ Ом}$$

$$R_B = \frac{170}{2\pi \cdot 2.5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.08} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2.05 + 2.5}{4 \cdot 2.05 - 2.5} \right) = 48 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір сталевієї штаби, яка з'єднує стержневі заземлювачі

$$R_n = \left(\frac{\rho_{розр}}{2\pi \cdot l} \right) \cdot \ln \left(\frac{l^2}{dt} \right),$$

де l – довжина полоси, м;

$d = 0.5b$ (b – ширина полоси, рівна 0.08 м).

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту $\rho_{розр}$ при використанні з'єднувальної штаби у вигляді горизонтального електрода довжиною 50 м. При довжині полоси 50 м, $\psi' = 5.9$, тоді

$$\rho'_{розр} = \rho\psi = 100 * 5.9 = 590 \text{ Ом*м}$$

$$R_{II} = \frac{590}{2\pi 50} \ln \frac{50^2}{0.04 \cdot 0.8} = 21 \text{ Ом}$$

Визначаємо орієнтовне число n одиночних стержневих заземлювачів по формулі

$$n = \frac{R_B}{[r3] \cdot \eta_B} = \frac{48}{4 \cdot 1} = 12 \text{шт}$$

де $[r3]$ - допустимий по нормах опір заземлюючого пристрою,

η_B - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (прийmemo його рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між суміжними заземлювачами рівною 21. По таблиці [15] знайдемо дійсні значення коефіцієнтів використання η_B та η_G , виходячи з прийнятої схеми розміщення вертикальних заземлювачів, $\eta_B = 0.66$, $\eta_G = 0.39$.

Визначаємо необхідне число вертикальних заземлювачів

$$n = \frac{R_B}{[r3] \eta_B} = \frac{48}{4 \cdot 0.66} = 18 \text{шт}$$

Визначаємо загальний розрахунковий опір заземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної штаби

$$R = \frac{R_B \cdot R_T}{R_T \eta_T + R_B \eta_B} = \frac{48 \cdot 21}{48 \cdot 0.39 + 21 \cdot 0.66 \cdot 18} = 3.76 \text{ Ом}$$

Правильно розрахований заземлюючий пристрій повинен відповідати умові $R \leq [r_3]$. Розрахунок виконано вірно, так як $3.7 < 4$.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій [16].

5.1 Визначення стадій розробки

Стадії роботи, які необхідні для розробки системи управління перетворювачами напруги, а також вміст робіт на кожній стадії зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Стадії розробки системи управління перетворювачами

№ з/п	Стадії розробки	Вміст робіт	Тривалість етапу, днів	Примітка
А	Постановка завдання	Узгодження технічного завдання із замовником	1	1 інженер
Б	Вивчення об'єкту	Аналіз існуючих рішень	2	1 інженер
В	Розробка проекту	Проектування систем захисту	21	1 інженер
Г	Проведення дослідження та розробки	Розробка технічної документації	3	1 інженер

Д	Узгодження із замовником	Демонстрація проекту. Виправлення помилок.	1	1 інженер
Е	Передача замовнику	Передача результатів замовнику, підписання акту здачі робіт	2	1 інженер

Для визначення терміну виконання етапів розробки системи управління перетворювачами напруги, а також витрат, будується лінійний графік, який відображує в наочному вигляді терміни виконання кожного етапу як окремо, так і в цілому. На рис. 5.1 зображений лінійний графік стадій вказаних в таблиці 5.1.

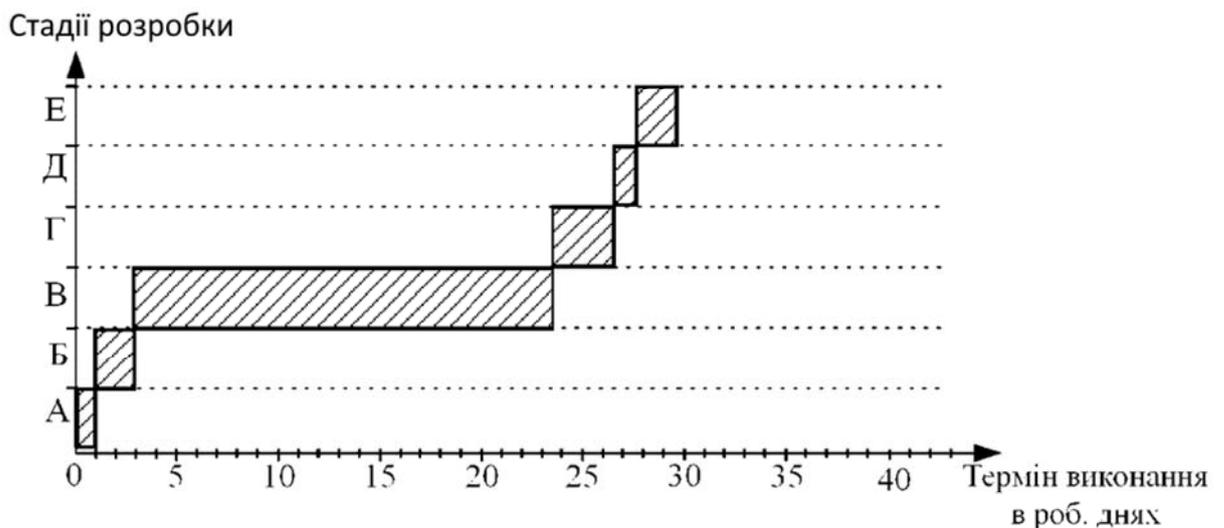


Рисунок 5.1 – Лінійний графік розробки системи управління перетворювачами напруги

Відповідно до рис. 5.1 на види роботи А-Е, потрібно 30 восьмигодинних робочих днів.

Для виконання робіт по етапу А необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу Б необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу В необхідно 1 людину – 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Г необхідно 1 людину – 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Д необхідно 1 людину – 1 інженер технічного забезпечення.

Для виконання робіт по етапу Е необхідно 1 людину – 1 інженер технічного забезпечення.

У зв'язку з наведеним вище списком працівників для виду робіт, в таблицю 5.2 зводяться всі необхідні співробітники з кількістю робочих днів участі в проекті.

Таблиця 5.2– Співробітники проєкту

Найменування	Кількість співробітників людей	Кількість робочих днів участі в розробці, роб. дні	К-ть часу, витраченого на участь в проєкті, ч
Інженер технічного забезпечення проєкту	1	6	48
Інженер електронної техніки	1	24	192

5.2 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата кожного співробітника нараховується виходячи з годинної тарифної ставки. Вони представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Тарифні ставки співробітників

Найменування співробітника	Тариф Тсер, грн./год.
інженер технічного забезпечення проєкту	55
інженер електронної техніки	65

Заробітна плата кожного співробітника визначається по формулі [16]

$$ЗП = N_{\text{роб}} \cdot T_{\text{сер}} \cdot B \quad (5.1)$$

де ЗП – заробітна плата, грн.;

$T_{сер}$ – ставка кожного співробітника, грн./год;

$N_{роб}$ – кількість працівників, людей;

V – кількість годин, витрачених на роботу над проектом, год.

Результати розрахунків представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Заробітна плата

Найменування	Заробітна плата, грн.
інженер технічного забезпечення проекту	2640
інженер електронної техніки	12480
РАЗОМ	15120

5.3 Розрахунок кошторису витрат

Кошторис витрат складається виходячи з таких показників: основні засоби (комп'ютер з програмним забезпеченням), заробітна плата, відрахування до єдиного фонду – 37%; накладні витрати (60...150% від фонду заробітної плати), які включають різні господарські та адміністративні витрати.

Далі наводиться вартість устаткування і програмного забезпечення, представлені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Вартість устаткування і програмного забезпечення

Найменування	Ед.вим.	К-ть	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Комп'ютер	шт	1	16000,00	16000,00
Програмне забезпечення	шт	1	2400	2400
РАЗОМ				18400

Амортизація основних засобів (комп'ютер) [16]:

$$S_{ам} = \sum \frac{\alpha_{ам}}{100} \cdot \text{вартість} \cdot \frac{T_{вик}}{T_{можл.вик.}} \quad (5.2)$$

$$S_{аморт} = 0,15 \times 16000 \times (24 \times 8 / 2100) = 219,4 \text{ грн.}$$

Електроенергія, що витрачається при роботі інженера електронної техніки:

$$S_e = \text{тариф} \times \text{потужність} \times N \times T_{вик} \quad (5.3)$$

де N – кількість комп'ютерів, осцилографів, мультиметрів

$$S_e = 2,40 \times 0,5 \times 1 \times 192 = 230,4 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на розробку системи управління перетворювачами напруги представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат

№ з/п	Найменування	Разом:
1	Вартість програмного забезпечення	2400
2	Основні засоби	16000
3	Амортизаційні відрахування	219,4
4	Витрати на електроенергію (машинний час)	230,4
5	Заробітна плата	15120
6	Відрахування 37%	3394,4
	Всього	39564,2

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки системи управління перетворювачами напруги для використання її в умовах серійного виробництва.

ВИСНОВКИ

У процесі проведення дослідження було ретельно проаналізовано принципи роботи та типи структур перетворювачів з метою визначення їхньої придатності для вирішення поставленого завдання. Зазначено, що не кожен сучасний мікроконтролер може бути використаний у даному контексті через відсутність необхідних функціональних блоків.

Додатково, було проведено аналіз сучасних високоефективних мікроконтролерів з наголосом на наявність у їхній структурі необхідних блоків для побудови перетворювачів. Це дозволило вибрати оптимальні пристрої для подальшого використання у розробці системи.

У рамках дослідження були також проведені аналіз перехідних процесів у програмі MicroCap на основі знижуючого перетворювача. Це дало можливість отримати детальний уявлення про поведінку системи та її характеристики в різних режимах роботи.

На основі отриманих результатів була розроблена система управління, яка забезпечує високоефективне керування силовою частиною. Це включає в себе розробку алгоритмів регулювання параметрів перетворювача для досягнення оптимальної ефективності та надійності системи.

Крім того, були проведені економічні розрахунки, спрямовані на оцінку вартості розробленої системи та визначення її ефективності з економічної точки зору. Також були розглянуті заходи з охорони праці з метою забезпечення безпеки під час експлуатації та розробки системи.

У результаті цього комплексного дослідження було розроблено систему на основі мікроконтролеру, яка відповідає всім поставленим вимогам та може ефективно виконувати свої функції у практичних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. К. В. Трубіцин, К. К. Победаш. Промислова електроніка. Навчальний посібник, Київ. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022, 228с.
2. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищих навчальних закладів: У 4-х т. /Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В. та ін. Т1. Елементна база електронних пристроїв. – К.: Обереги, 2000.
3. М.Я. Островерхов, В.І. Сенько, В.І. Чибеліс. Імпульсні перетворювачі стабілізованої напруги. – Київ, 2020. – 242 с.
4. M. Ferdowsi, “An estimative current mode controller for dc-dc converters operating in continuous conduction mode,” in Proc. APEC, Mar. 2006, pp. 19-23.
5. AN4539 Application note [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/application_note/an4539-hrtim-cookbook-stmicro-electronics.pdf
6. XE160FU [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/kit_xe160fu_ek_v1/
7. XMEGA E MANUAL [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42005-8-and-16-bit-AVR-Microcontrollers-XMEGA-E_Manual.pdf
8. MicroCap 12. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.spectrum-soft.com/>
9. САПР DipTrace [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://diptrace.com/ua/>
10. Друковані плати [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.pselectro.ru/article/7/78>
11. Основи охорони праці: Л. Е. Винокурова, М. В. Васильчук, М. В. Гаман / Підручн. Для проф. - техн.. навч. Закладів. - 2-ге вид., допов., перероб. - К.: Вікторія, 2001. - 192 с.
12. Правила влаштування електроустановок. - Х.: Изд-во "Форт", 2009.

704 с.

13. НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки.

14. СНиП 2.01.02-85. Протипожежні норми.

15. Теорія з розрахунку захисного заземлення. <http://www.mastercity.ru/vforum/attachment.php?s=d0aeaac68c0fd511e7430d2a5b22a6dd&attachmentid=13256&d=1166795840>

16. „Економіка і організація виробництва: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за технічними та інженерними спеціальностями / Петренко К. В., Скоробогатова Н. Є. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 177 с.

КОМПАС-3D v22 Учебная версия © 2023 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
A1			EICПЗ M.22235.00.00.00.00.D1	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Постановка завдання		
A1			EICПЗ M.22235.00.00.00.00.E3	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Схема електрична принципова		
A1			EICПЗ M.22235.00.00.00.01	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Плата друкована		
A1			EICПЗ M.22235.00.00.00.00.D2	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Схема для моделювання		
A1			EICПЗ M.22235.00.00.00.00.D3	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Результати моделювання		
A1			EICПЗ M.22235.00.00.00.00.D4	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Результати моделювання		
A1			EICПЗ M.22235.00.00.00.00.D5	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Охорона праці		
A1			EICПЗ M.22235.00.00.00.00.D6	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Економічні показники		
A4			EICПЗ M.22235.00.00.00.00.P33	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру		
				Перелік елементів		

EICПЗ M.22235.00.00.00.00

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Попов	<i>[Подпись]</i>	11.03.24			1
Проб.		Шмаліу	<i>[Подпись]</i>	11.03.24			
Н.контр.		Турішев	<i>[Подпись]</i>	11.03.24			
Утв.		Критська	<i>[Подпись]</i>				

Перв. примен.	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание				
	Справ. №	<u>Конденсаторы</u>						
C1		KF-1000 мкФ ±10% 25В	1	Саргон				
C2		CL21F105ZB 0805, 0.1 мкФ, 50В, Y5V	1	Samsung				
C3		CL21F105ZB 0805, 10 нФ, 50В, Y5V	1	Samsung				
C4		CL21F105ZB 0805, 0.1 мкФ, 50В, Y5V	1	Samsung				
C5..C6		KF-220 мкФ ±10% 25В	2	Саргон				
C7..C11		CL21F105ZB 0805, 1 мкФ, 50В, Y5V	5	Samsung				
C12		KF - 1000 мкФ ±10% 25В	1	Саргон				
DA1		Мікросхема LM 78L12	1	ST				
DA2		Мікросхема LM78L33	1	ST				
DA3		Мікросхема IR2110	1	International rectifier				
DD1		Мікросхема AVR XMEGA32E5	1	Microchip				
Взам. инв. №	L1	Індуктивність CLF12555 100 мкГн 2.1А	1	TDK				
	L2	Індуктивність CLF12555 10 мкГн 5.4А	1	TDK				
	<u>Резисторы</u>							
	R1	1206 10 кОм±5%	1					
R2	1206 10 Ом±5%	1						
R3	1206 39 кОм±10%	1						
R4	1206 10 кОм±10%	1						
Инв. № подл.	VD1	Діод SR506	1	Fairchild				
	VD2	Діод 1N4148	1	Fairchild				
	VD3	Діод SR506	1	Fairchild				
	VT1	Транзистор FDS 4435	1	Fairchild				
Подп. и дата	X1.X2	Роз'єм MOLEX_51022-0200	2	Molex				
ЕІСПЗ М.22235.00.00.00.00.ПЗЗ								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Дослідження системи керування ІППН 1-го роду на базі мікроконтролеру Перелік елементів	Лист	Лист	Листов
Разраб.	Попов			11.05.24				1
Пров.	Шмалію			11.05.24				
Н.контр.	Турішев			11.05.24				
Утв.	Критська							
Не для коммерческого использования					Копировал	ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ 8.1712-д Формат А4		