

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Автоматизоване керування силовим контактором

Назва теми

КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

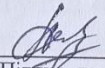
Виконав:

студент IV курсу, група АКІТ-20-1


Підпис

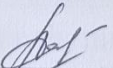
Владислав ГРИЦИШИН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис, дата


Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 20 » червня 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

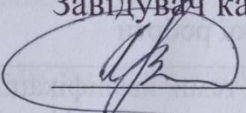
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри АКІТтаР

 Валерій МАРТИНЮК

10.01.2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Грицишин Владислав Сегрійович

1 Тема роботи: Автоматизоване керування силовим контактором

керівник роботи Людмила КОРЕЦЬКА, к.т.н, доцент

Затверджено наказом по університету від «15» лютого 2024р. №8.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.06.2024р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування


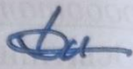
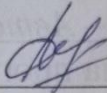
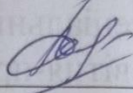
4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ.

Огляд методів розв'язання поставленої задачі. Розробка схемотехнічних
рішень. Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) 7
презентаційних слайдів

Завдання отримав _____

Керівник _____

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7. Дата видачі завдання 10.01.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Вибір та затвердження теми кваліфікаційної роботи; розробка завдання на кваліфікаційну роботу; складання календарного графіка виконання кваліфікаційної роботи	01.03.2024	Виконано
2 Вивчення предметної області, в якій планується використання системи автоматизації; аналіз вимог до системи автоматизації	15.03.2024	Виконано
3 Проектування та розробка загальної архітектури і структури системи автоматизації, інтерфейсу користувача; вибір засобів реалізації системи автоматизації	29.03.2024	Виконано
4 Програмна реалізація та тестування системи автоматизації	12.04.2024	Виконано
5 Написання тексту пояснювальної записки та розробка графічних матеріалів	19.04.2024	Виконано
6 Остаточне коригування кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника; оформлення кваліфікаційної роботи як документа відповідно до вимог	11.04.2024	Виконано
7 Отримання супровідних документів (відгуку керівника, рецензії, довідки про перевірку на плагіат); нормоконтроль	30.05.2024	Виконано
8 Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи	03.06.2024	Виконано

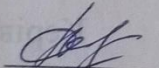
Студент


Підпис

Владислав ГРИЦИШИН

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Людмила КОРЕЦЬКА

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизоване керування силовим контактором».

Автор роботи: Владислав ГРИЦИШИН.

Керівник роботи: Людмила КОРЕЦЬКА

Пояснювальна записка: 64 с., 25 рис., 2 табл., 1 дод., 41 джерело.

Графічна частина: 7 презентаційних слайдів.

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, КОНТАКТОР, МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АЛГОРИТМ.

Метою роботи є розробка системи автоматизованого керування силовим контактором. В роботі було розроблено структурну схему БУК. Розроблено принципову схему згідно з ТЗ. Розроблено та налагоджено ПЗ для МК та здійснено розрахунок основних його параметрів. У пояснювальній записці розглянуті способи керування контактором. Наведено розрахунок необхідних параметрів елементів силової та низьковольтної частини та зроблено їх вибір. Наведено тепловий розрахунок силових елементів. Наведено результати моделювання перетворювача напруги. Представлено алгоритми роботи мікроконтролера що керує схемою.

03.06.2024

Дата

Підпис студента



ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
1.1 Загальні поняття про контактори.....	4
1.2 Технічне завдання.....	10
1.3 Висновки до першого розділу.....	12
2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ	13
2.1 Функціональна схема блоку керування контактором.....	13
2.2 Електрична схема блоку керування контактором.....	14
2.3 Вибір і розрахунок елементів схеми.....	15
2.4 Розробка системи управління	26
2.5 Джерело живлення системи управління.....	29
2.6 Висновки до другого розділу	48
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ	49
3.1 Моделювання роботи перетворювача напруги	49
3.2 Дослідження перетворювача напруги	51
3.3 Дослідження силової частини блоку	53
3.4 Розробка програмного забезпечення	54
3.5 Опис роботи ПЗ	56
3.6 Висновки до третього розділу.....	60
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62

КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизоване керування силовим контактором Пояснювальна записка	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Грицишин В.		20.06.24				
Перевір.		Корецька Л.		20.06.24			2	
Н. Контр.		Корецька Л.О.		20.06.24				
Затв.		Мартинюк В.В.		20.06.24				

ХНУ, АКІТ-20-1

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
1.1 Загальні поняття про контактори	4
1.2 Технічне завдання	10
1.3 Висновки до першого розділу.....	12
2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ	13
2.1 Функціональна схема блоку керування контактором	13
2.2 Електрична схема блоку керування контактором	14
2.3 Вибір і розрахунок елементів схеми	15
2.4 Розробка системи управління	26
2.5 Джерело живлення системи управління.....	29
2.6 Висновки до другого розділу	48
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ.....	49
3.1 Моделювання роботи перетворювача напруги.....	49
3.2 Дослідження перетворювача напруги.....	51
3.3 Дослідження силової частини блоку.....	53
3.4 Розробка програмного забезпечення.....	54
3.5 Опис роботи ПЗ.....	56
3.6 Висновки до третього розділу	60
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

					КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ					
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Автоматизоване керування силовим контактором Пояснювальна записка			<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Грицишин В.</i>							2		
<i>Перевір.</i>										
<i>Н. Контр.</i>	<i>Корецька Л.О.</i>							ХНУ, АКІТ-20-1		
<i>Затв.</i>	<i>Мартинюк В.В.</i>									

ВСТУП

Метою даної є розробка блоку управління контактором призначеного до роботи у мережах як постійного, і змінного струму.

Для роботи вакуумного контактора необхідний електричний пристрій, що дозволяє розмикати (замикати) електромагнітну систему контактора при подачі напруги в мережу. З метою розширення номенклатури випускаються контакторів було вирішено розробити універсальний блок керування контактором, який може працювати як від мережі постійного, так і від змінного струму.

Блок керування контактором повинен забезпечувати необхідні для роботи вакуумного контактора режими роботи електромагнітного драйвера, такі як примусовий режим і режим скидання живлення від моменту включення до моменту повного замикання магнітної системи.

Режим скидання потужності дозволяє зменшити енергоспоживання контактора в режимі утримання відносно режиму пуску та сприяє тепловому режиму котушки.

Як основу схемотехнічного рішення було прийнято схему широтно-імпульсного регулювання з мікропроцесорним управлінням. Така схема має такі переваги:

- забезпечення широкого діапазону безступінчастого регулювання як скидання потужності;
- робота, як із постійному, і змінному вхідному напрузі;
- можливість програмної адаптації під застосування у нових розробках контакторів;
- підтримка заданого струму в котушках з високою точністю.

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	3
		№ докум.	Підпис			

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Загальні поняття про контактори

Контактор (лат. *contāctor* «дотик») — двопозиційний електромагнітний апарат, призначений для частих дистанційних включень та вимкнень силових електричних кіл у нормальному режимі роботи. Різновид електромагнітного реле.

Найбільшого поширення набули одно- та двополюсні контактори постійного струму та триполюсні контактори змінного струму. У зв'язку з частою комутацією (кількість циклів увімкнення-вимкнення різних категорій контакторів коливається від 30 до 3600 разів на годину) підвищені вимоги пред'являються до механічної та електричної зносостійкості контакторів. Як контактори постійного, так і змінного струму включають: електромагнітну систему, контактну систему, що складається з рухомих і нерухомих контактів, систему гасіння дуги, систему фіксуєючих контактів (допоміжні контакти, які перемикають сигнальні та керуючі ланцюги під час роботи контактора). На відміну від автоматичних вимикачів контактори можуть комутувати тільки номінальний струм, вони не призначені для відключення струмів короткого замикання. Контактор керується допоміжним ланцюгом, зазвичай 24, 42, 110/127, 220 або 380 вольт, через котушку контактора. Для забезпечення безпеки при обслуговуванні контактора величина робочого струму повинна бути значно нижчою від величини робочого струму в схемі комутації. Контактор не має механізму для утримання контактів у включеному положенні, і без керуючої напруги на котушці контактора він розмикає свої контакти. Для утримання контактів у робочому положенні використовується схема «самозатискання», яка використовує пару нормально розімкнутих контактів або наявний потенціал, наприклад напруга з виходу ПЛК.

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	4
		№ докум.	Підпис			

Як правило, контактори застосовуються для комутації промислових ланцюгів струму з напругою до 660 В і силою струму до 1600 А. Як контактори можуть використовуватися реле керування з нормально розімкненими контактними парами.

Основні області застосування контакторів: управління електродвигунами великої потужності (наприклад, тягових локомотивів - електровозів, тепловозів, електропоїздів, трамваїв і тролейбусів, ліфтів), комутація ланцюгів компенсації реактивної потужності, комутація великих енергосистем постійного струму.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд контактора

Крім простого вмикання, при управлінні двигуном контактор або пускач може виконувати функцію перемикання напрямку обертання свого ротора шляхом зміни послідовності фаз (так звана реверсивна схема), наприклад, вбудований другий контактор стартер в посудині.

Зміна обмоток трифазного двигуна з «зірки» на «трикутник» також може бути використана для зменшення пускового струму двигуна. При такій схемі перемикання двигун розганяється до номінальних обертів, запускається в нормальний режим роботи за схемою «зірка» і перемикається на потужність за схемою «трикутник».

Виконання магнітних пускачів може бути відкритим та захищеним (у корпусі); реверсивним та неревверсивним; із вбудованим тепловим захистом електродвигуна від перевантаження та без нього.

Реверсивний магнітний пускач (реверсивний компонент) реверсує обертання трифазного двигуна, змінюючи чергування фаз. Він встановлює два триполюсних контактори в загальній пристрій і фіксує їх за допомогою механічної або електричної фіксації, таким чином усуваючи можливість контактора вмикатися одночасно, що призводить до коротких інтервалів.

Магнітний пускач, контактор чи реле мають силові та блокувальні контакти. Силові використовуються для комутації потужного навантаження; блок-контакти - в керуючому ланцюзі. Силовий та блок-контакт може бути нормально розімкненими та нормально замкнутими. Нормально відкритий контакт у нормальному положенні контактора розімкнуто. Нормально закритий контакт у нормальному положенні контактора замкнутий. Контакти контактора, пускача чи реле на важливих схемах показуються нормальному положенні [6].

Деякі виробники електрообладнання у каталогах та списках обладнання не акцентують різницю між контакторами та магнітними пускачами.

Модульний контактор (для монтажу на DIN-рейку) - це електромагнітний пускач, призначений для установки в електричні розподільні щити для стандартного модульного обладнання, встановленого на DIN-рейку. Їх переваги: рівень електробезпеки 2 - забезпечує постійну безпеку для операторів і некваліфікованого персоналу. Недоліки: Максимальна кількість операцій перемикачів на день – 100 разів.

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	6
		№ докум.	Підпис			



Рисунок 1.2 – Магнітний пускач з тепловим реле

Величини магнітних пускачів — щоб забезпечити пристойну роботу електроприладів у тих ланцюгах, що комутується пускачами, потрібно, щоб характеристики останніх цілком відповідали експлуатаційним умовам. Налічується вісім параметрів цієї величини і кожна з них має на увазі свій параметр навантажувального струму. Допускається невелика невідповідність (у більшу сторону) за допустимим значенням струму. Вираз «величина» є умовним терміном, що означає те, який струм може пропустити через головні робочі контакти обраний магнітний пускач. При присвоєнні величини вважається, що пускач працює при напрузі 380, яке робочий режим АС-3.

Список відмінностей приладів за їх величинами (струми в залежності від величин): 0 - 6,3 А; 1 - 10 А; 2 - 25 А; 3 - 40 А; 4 - 63 А; 5 - 100 А; 6 - 160 А; 7 - 250 А.

1.2 Опис способів керування контакторами

Для роботи вакуумного контактора необхідно забезпечити два режими електромагнітного приводу: форсований режим від моменту підключення до моменту повного замикання магнітної системи та режим скидання живлення. Раніше функція скидання живлення в контакторних електромагнітних системах досягалася шляхом увімкнення баластного резистора, перемикання на знижену напругу живлення, перемикання котушки з паралельного на послідовне, виконання одного півперіоду випрямлення струму утримання, а потім поетапність. Використовувався нагляд.

На рис. 1.2. показано схему скидання потужності на котушках контактора за допомогою баластового резистора. Така схема має дуже низький ККД, більшість потужності розсіюється у вигляді тепла на баластному резисторі. Відсутнє регулювання скидання потужності залежно від вхідної напруги.

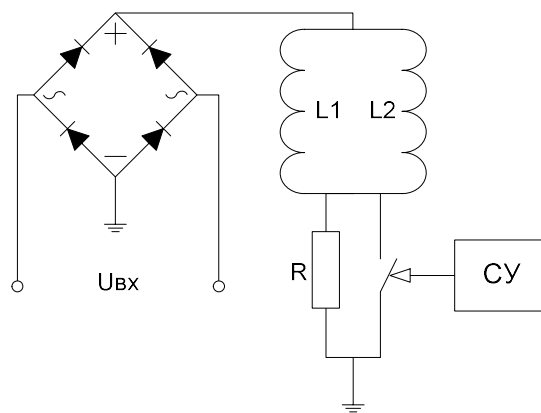


Рисунок 1.2 - Схема із підключенням баластного резистора, де СУ – система управління; L1 і L2 - котушки контактора; R – баластний резистор.

Перемикання котушок із послідовного в паралельне

Перемикання котушок контактора з паралельного з'єднання в послідовне дає лише чотирикратне скидання потужності в режимі утримання, що

недостатньо для забезпечення теплового режиму котушок контактора. Потрібні два силові ключі. Схема наведено на рис. 1.3.

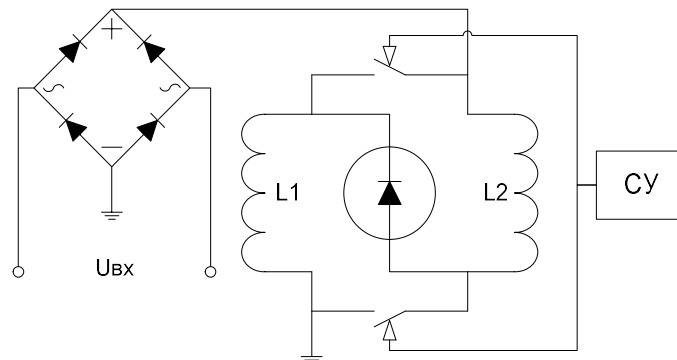


Рисунок 1.3 - Схема з перемикуванням котушок паралельно-послідовно

При додаванні в схему баластного резистора для забезпечення необхідного коефіцієнта ослаблення потужності ККД схеми не перевищує 50%.

Управління за принципом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Суть ШІМ-регулювання полягає в зміні тривалості імпульсу з постійною частотою або зміні частоти з постійною тривалістю імпульсу. Ключ повинен керуватися таким чином, щоб на виході перетворювача, тобто на вході електромагнітної системи контактора, підтримувався необхідний струм. Недоліком ШІМ є те, що такі перетворювачі можуть створювати високочастотні перешкоди в мережі живлення.

Перетворювач побудований на такому принципі управління може підтримувати необхідний струм у котушках контактора в широкому діапазоні вхідної напруги, практично не залежить від форми вхідної напруги, що дає високу перешкода, забезпечує низький рівень акустичного шуму контактора, тому що частота ШІМ знаходиться за межами чутного діапазону (рис. 1.4.).

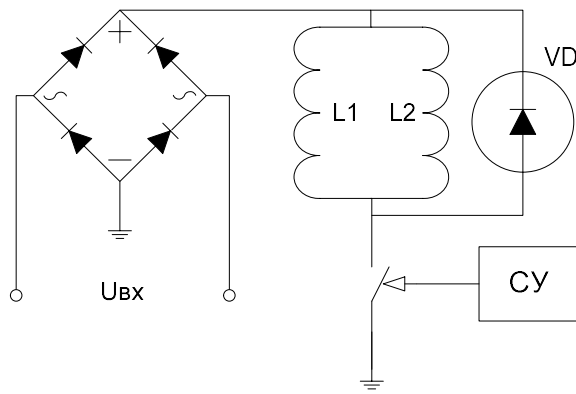


Рисунок 1.4 - Схема управління з ШІМ

У цій розробці вирішено використовувати схему управління з ШІМ.

1.2 Технічне завдання

Мета роботи: є необхідність створення пристрою управління котушками магнітної системи контакторів, що розробляються, на змінну і постійну напругу управління 24В і 48В.

До складу БУК повинні входити такі функціональні блоки:

- випрямляч: перетворює змінний струм на вході постійний струм на виході;
- регулятор: перетворює напругу, що надходить, з випрямляча в напругу з необхідними параметрами для управління магнітною системою контактора;
- схема управління. виконує функції управління БУК у всіх режимах роботи.

БУК має забезпечити такі режими роботи магнітної системи контактора:

- режим форсажу, на котушки електромагнітів подається випрямлена мережева напруга, що не регулюється. Час форсажу 200 ± 25 мс. Струми, що протікають в обмотках магнітної системи представлені в табл. 1.1. Увімкнення контактора (перехід у режим форсажу) може відбуватися не частіше одного разу на 3 сек.;

– режим утримування, утримуюча напруга (утримуючий струм) подається на котушку відповідно до таблиці. 1.1;

– режим обмеження мінімальної напруги, коли вхідна напруга падає нижче необхідного мінімального значення (гранична напруга в таблиці 1.1), знімається утримуюча напруга котушки магнітної системи (розмикання контактора). Подальше замикання контактора (режим форсажу) можливе лише при падінні вхідної напруги нижче 2 В протягом часу, необхідного для скидання внутрішнього кола БУК (але не більше 1 секунди).

Електричні параметри: частота змінної напруги – 50Гц. Інші параметри у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри БУК

Тип магнітної системи	Напруга живлення, Ст.	Струм у форсажі, А	Струм у форсажі max при - 50°C, А	Напруга обмеження, В	Напруга утримання, В	Струм утримування, А	Індуктивність магнітної системи, Гн
ЛКВ1.160.000	48±30%	8.4±5%	12.8	14.4 ^{-15%} ^{+5%}	8.7	1.8±5%	0.8±10%
	24±30%	15.8±5%	24.3	7.2 ^{-15%} ^{+5%}	4.35	3.6±5%	0.8±10%
ЛКВ1.250.000	48±30%	9.2±5%	14.1	14.4 ^{-15%} ^{+5%}	8.7	2.0±5%	0.8±10%
	24±30%	17.4±5%	26.6	7.2 ^{-15%} ^{+5%}	4.35	4.0±5%	0.8±10%
ЛКВ1.400.000	48±30%	10.9±5%	16.6	14.4 ^{-15%} ^{+5%}	8.7	2.3±5%	0.8±10%
	24±30%	20.4±5%	31.3	7.2 ^{-15%} ^{+5%}	4.35	4.7±5%	0.8±10%
ЛКВ1.400.000	48±30%	11.1±5%	16.9	14.4 ^{-15%} ^{+5%}	8.7	2.4±5%	0.8±10%
ЛКВ1.630.000	48±30%	19.4±5%	29.6	14.4 ^{-15%} ^{+5%}	8.7	4.2±5%	0.8±10%

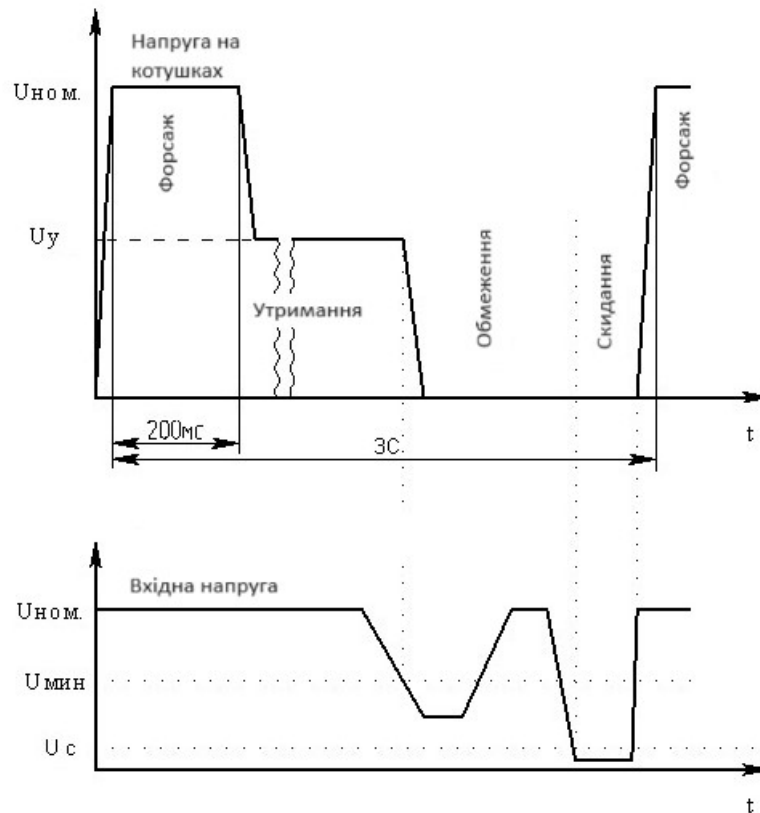


Рисунок 1.5 - Режими роботи БУК та переходи з режиму в режим, де $U_{ном}$ - Номінальна напруга живлення; U_y - напруга утримання магнітної системи; U_c – напруга обмеження

Умови експлуатації: температура довкілля -50°C $+55^{\circ}\text{C}$; вимоги до конструкції: масогабаритні показники – мінімальні.

1.3 Висновки до першого розділу

У розділі наведено опис задач, які виконують контактори або магнітні пускачі. Приведені їх характеристики та особливості побудови.

Приведені схеми за допомогою яким можливо керування пуском контактора.

Розроблено технічне завдання на проектування. В якому визначені основні технічні характеристики проектованого пристрою.

2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИБОРУ

2.1 Функціональна схема блоку керування контактором

Відповідно до технічного завдання необхідно було розробити функціональну схему пристрою, яка повинна включати випрямний регулятор на силовому транзисторі. Для керування регулятором зазвичай використовується контролер, який обчислює необхідну тривалість імпульсу ШІМ і виконує ряд функцій, пов'язаних із відстеженням граничної напруги та обчисленням часу допалювання. Для живлення контролера та силових драйверів транзисторів потрібен імпульсний джерело живлення, що працює в широкому діапазоні вхідної напруги. Для контролю значення вхідної напруги необхідний датчик напруги, який передає інформацію на АЦП контролера. На основі цих вимог ми розробили функціональне рішення, як показано на малюнку 2.1.

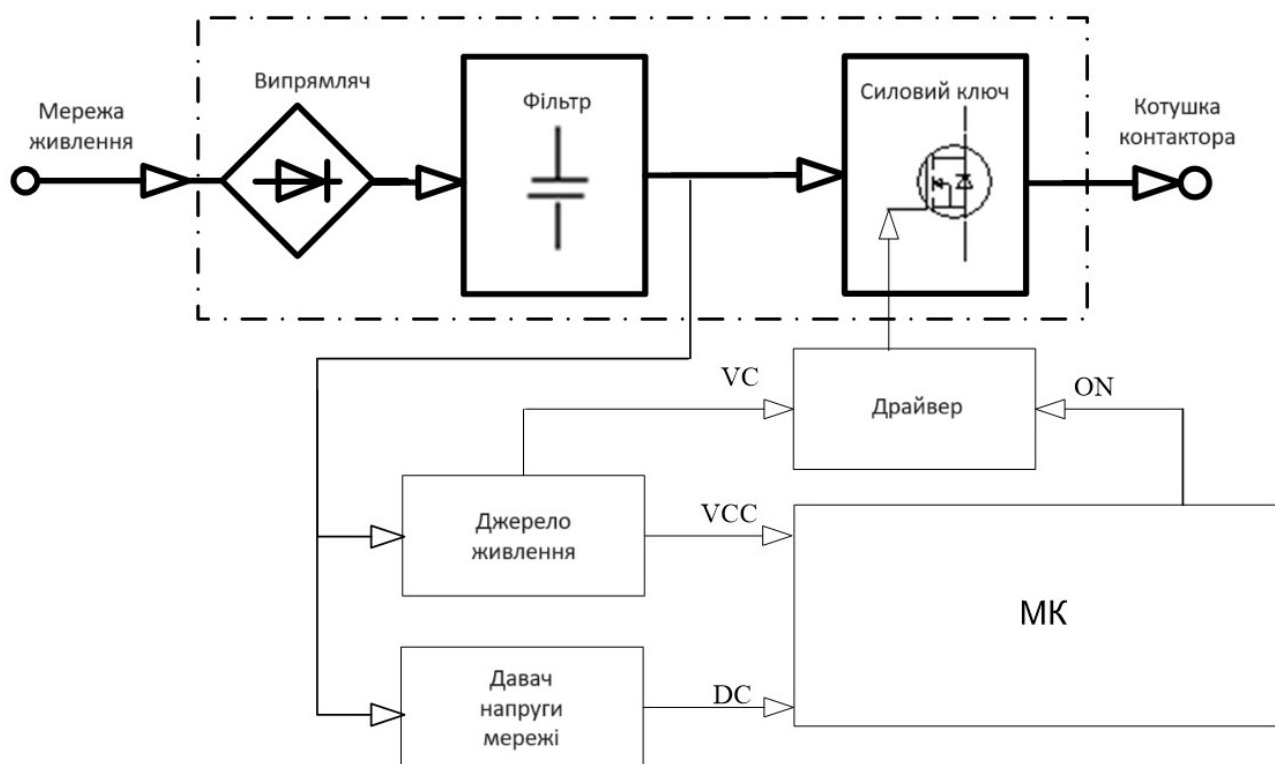


Рисунок 2.1 - Функціональна схема БУК

2.2 Електрична схема блоку керування контактором

Принципова електрична схема контакторного блоку керування показана на малюнку 2.2. відповідно до принципової схеми.

Схема складається з випрямного діодного моста VD1, польового транзистора з ізолюючим затвором VT1 і діода VD2, який подає струм на котушку контактора, коли транзистор VT1 закритий. Крім того, діод гарантує відсутність випромінювання високої напруги, коли ключ закритий, оскільки струм у котушці не переривається. Для зменшення високочастотних пульсацій в струмі споживання конденсатори C1-C7 розташовані після випрямляча. На вхідному кінці ланцюга живлення є варистор RV1, який захищає ланцюг живлення та ланцюг керування від перенапруги мережі.

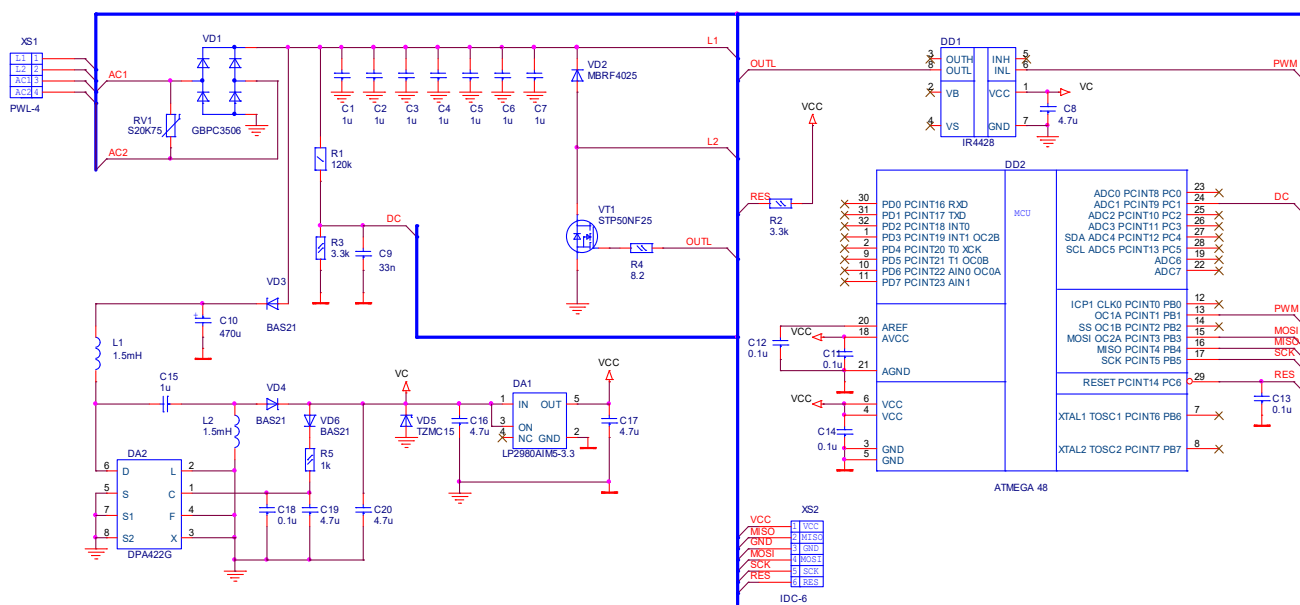


Рисунок 2.2 - Схема принципова блоку управління контактором

Драйвер служить для управління затвором транзистора VT1. Реалізовано на мікросхемі DD1.

Джерело живлення буде утворюватися на імпульсному перетворювачі DC - DC типу SEPIC (single ended primary inductance converter), тому що цей перетворювач

дозволяє працювати з вхідною напругою і вище і нижче вихідного. Реалізовано на ІВ перетворювача напруги DA2. Для живлення контролера DD2 використовується лінійний стабілізатор DA1.

Датчик напруги мережі є резистивним дільником (опори R1 - R3, конденсатор C9), напруга від якого надходить на АЦП мікроконтролера DD2. Конденсатор C9 фільтрує сигнал DC від високочастотних перешкод.

Мікроконтролер керує транзисторним ключем силової схеми. Здійснює розрахунок шпаруватості імпульсів керування транзистором на основі обчисленого середнього значення напруги датчика напруги мережі. Тривалість часу форсажу, напруга вимкнення також визначаються мікроконтролером.

2.3 Вибір і розрахунок елементів схеми

Вибір варистора

БУК необхідно захистити від короткочасних стрибків напруги в ланцюзі живлення. Для цього в блок встановлюють варистор, який представляє собою нелінійний резистор, опір якого різко змінюється під дією прикладеної напруги. Коли імпульс досягає певної напруги на варисторі, він зменшує його опір і одночасно усуває перенапругу, що виникла.

Варистор вибирається відповідно до градуйованої напруги, причому градуйована напруга повинна бути більше амплітуди напруги джерела живлення:

$$U_{DV_{\max}} = 48(1 + 0.3) \cdot \sqrt{2} = 87V \quad (2.1)$$

Максимальний струм варистора і енергія, що абсорбується, вибирається найбільшою для даного конструктивна варистора.

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	15
		№ докум.	Підпис			

Був вибраний варистор S20K75 Фірми EPCOS з наступними параметрами:

- класифікаційна напруга: 120В;
- напруга захисту: 200В;
- абсорбована енергія 40Дж. (2 мс);
- максимальний імпульсний струм 6500А (за 8/20 мкс);
- максимальна середня потужність, що розсіюється: 1Вт.

Вибір діодного мосту

Діодний міст вибирається як дискретний компонент, за основними його параметрами – максимальною зворотною напругою та середнім випрямленим струмом.

Середній струм діодного моста визначається максимальним струмом у режимі форсажу.

$$I_{FORCE\ max} = 31.3A$$

Максимальна зворотна напруга діодного моста визначається напругою захисту варистора, що дорівнює 200В.

У якості діодного мосту був обраний міст GBPC 3506 з наступними параметрами:

- середній випрямлений струм: 35А;
- максимальна зворотна напруга: 600В.

Вибір фільтрових конденсаторів

Функція конденсаторів фільтра С1-С7 полягає в тому, щоб забезпечити пусковий струм до блоку живлення пристрою. Оскільки мережа живлення має задану індуктивність, при проходженні великого пускового струму в мережі буде виникати омичний опір, що спричинить перешкоди. Для забезпечення

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	16
		№ докум.	Підпис			

імпульсного струму необхідно вибрати керамічні або плівкові конденсатори з низьким опором на заданій частоті.

У цьому пристрої через обмежені розміри використовується конденсатор поверхневого монтажу з номінальною напругою, що перевищує напругу захисту варистора.

Виберемо керамічні конденсатори фірми MURATA [14] GRM 55 DR 72 E 105 KW 01 L типорозміру 2220, з наступними характеристиками (7 штук):

$$C_n = 1.0 \mu F$$

$$U_n = 250 V$$

Розрахунок параметрів силового транзистора

У якості силового ключа вибираємо МДП-транзистор, тому що він має оптимальну вартість і швидкодію.

Транзистор вибирається за максимальною напругою, що може обмежити варистор. З параметрів варистора:

$$U_{ds \max} = U_{VAR} = 200 V .$$

Струм проходить через силовий ключ у режимі форсажу визначатиме струмові характеристики транзистора.

$$I_{drain} = I_{force \max} = 31.3 A .$$

Потужність втрат транзистора залежить від опору каналу та часу

Наростання фронту напруги затвора, частоти перемикання, тому з усіх можливих транзисторів шукаємо транзистор з мінімальним опором каналу та часом наростання фронту.

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	17
		№ докум.	Підпис			

Вибираємо транзистор STP50NF25 з такими характеристиками: $U_{dss}=250$ В; $R_{ds(on)} = 0.069$ Ом; $I_{ds}=45$ А; $U_{gs}=\pm 20$ В; $t_r=20$ нс ($U_{ds}=125$, $I=22$ А, $R=4.7$ Ом, $U_{gs}=10$ В); $Q_g = 68$ нКл; $R_{thj} = 0.78^\circ\text{C}/\text{Bm}$; $R_{thj a} = 62.5^\circ\text{C}/\text{Bm}$; де U_{dss} - максимальна напруга сток-витік; $R_{ds(on)}$ - опір каналу транзистора; I_{ds} - максимальний струм стоку транзистора; U_{gs} - максимальна напруга стік затвор; t_r - час наростання фронту на затворі (за конкретних умов); R_{thj} з-тепловий опір переходу кристал-корпус; $R_{thj a}$ - тепловий опір переходу кристал-довкілля.

Вибір та розрахунок елементів блоку драйвера

Драйвер – це пристрій, який стоїть між контролером керування та силовим приладом. Це проміжний пристрій, тому воно розглядається як самостійна ланка.

Основні функції драйвера у схемі:

а) сформувати за потужністю сигнал керування силовим приладом;

б) сформувати задану швидкість наростання струму в керуючому електроді

силового приладу $\frac{di_y}{dt}$ вона повинна бути великою або заданою;

Виберемо необхідний драйвер для керування силовим ключем:

Драйвер повинен забезпечувати необхідний імпульсний струм в затворі кола для швидкого заряду вхідної ємності і напруги достатнього для виведення транзистора в режим насичення.

Знаходимо амплітудний струм затвора виходячи з максимального часу заряду і заряду затвора для включення та вимикання транзистора.

Скористаємося формулою викладеною в [2]:

$$I_{G(on)} = \frac{Q_G}{t_{D(on)}} = \frac{68.2 \cdot 10^{-9}}{45 \cdot 10^{-9}} = 1.51 \text{ A}$$

$$I_{G(off)} = \frac{Q_G}{t_{D(off)}} = \frac{68.2 \cdot 10^{-9}}{63 \cdot 10^{-9}} = 1.08 \text{ A} \quad (2.2)$$

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	18
		№ докум.	Підпис			

Знайдемо необхідну середню потужність, що розсіюється драйвером [2]:

$$P_{DRV} = Q_G \cdot U_G \cdot F = 68.2 \cdot 10^{-9} \cdot 12 \cdot 20 \cdot 10^3 = 0.016 \text{ Вт} \quad (2.3)$$

Оскільки драйвер отримує сигнали від контролера, необхідно вибрати драйвер, сумісний з логічними рівнями (сигналами) контролера.

Вибираємо драйвер International Rectifier IR4428.

Має такі характеристики:

- амплітудний струм затвора: 1.5 А;
- напруга живлення: 6-20В;
- максимальний час зростання фронту імпульсу: 35нс;
- потужність, що розсіюється: 625мВт.

Розрахуємо параметри резистора R4. Розраховуємо необхідний імпеданс драйвера, при напрузі живлення драйвера 12В:

$$R_G = \frac{U_{GS}}{I_{G(on)}} = \frac{12}{1.51} \approx 8 \text{ Ом} \quad (2.4)$$

Виберемо чіп резистор із номіналом 8.2 Ом, з ряду E12.

Розрахуємо потужність резистора R4. Знайдемо скважність проходження струму через резистор:

$$D = \frac{tf}{T_{PWM}} = \frac{26 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-5}} = 4 \cdot 10^{-4} \quad (2.5)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R 4:

$$P = D \cdot I^2 \cdot R = 4 \cdot 10^{-4} \cdot (1.5)^2 \cdot 8.2 = 7.2 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \quad (2.6)$$

Виберемо чіп резистор з потужністю, що розсіюється: 0.125Вт типорозміру 0805.

Вибір конденсатора C8.

Оскільки провідники на платі мають паразитну індуктивність, передній кінець сигналу може зруйнуватися, і драйвер може бути не в змозі доставити достатню кількість імпульсів струму. Для цього встановлений конденсатор C8, який подає імпульсний струм на драйвер DD1.

Вибираємо типорозмір 1206 керамічний конденсатор MURATA GRM 31 CR 71 C 475 K, який має наступні характеристики:

$$\begin{aligned}V_H &= 16\text{В} \\ C &= 4.7\mu\text{F}.\end{aligned}$$

Розрахунок теплового завантаження силового транзистора

Для розрахунку радіатора необхідно поставити температуру переходу силового транзистора, температуру навколишнього середовища, теплові опори вказані в параметрах транзистора.

$$\begin{aligned}T_J &= 120^\circ\text{C} \\ T_A &= 55^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Тоді опір каналу необхідно перерахувати для цієї температури:

$$R_{ds(on)_{120}} = R_{ds(on)} \cdot k \quad (2.7)$$

Де коефіцієнт k визначається за графіком $R_{ds(norm)}(T_J)$ (рис. 2.3)

					КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	20
		№ докум.	Підпис			

Знайдемо середню потужність у режимі форсажу. Для цього знайдемо шпаруватість його роботи на періоді мінімального перемикавання.

$$D_F = \frac{t_f}{T} = \frac{0.2}{3} = 0.06 \quad (2.9)$$

Потужність у режимі форсажу визначається:

$$P_F = I_{DS \max}^2 \cdot R_{ds} = 31.3^2 \cdot 0.117 = 115 \text{Вт} \quad (2.10)$$

Середня потужність на періоді перемикавання:

$$P_{F \text{ave}} = D_F \cdot I_{DS \max}^2 \cdot R_{ds} = 0.06 \cdot 31.3 \cdot 0.117 = 7.6 \text{Вт} \quad (2.11)$$

Знайдемо середню потужність, що виділяється в транзисторі як утримання. Для цього знайдемо шпаруватість його роботи на періоді мінімального перемикавання.

$$D_U = \frac{t_f}{T} = \frac{2.8}{3} = 0.933 \quad (2.12)$$

Знайдемо динамічні втрати за формулою

$$P_D = \frac{U_{DS} \cdot I_{UD} \cdot tr \cdot F}{2} = \frac{100 \cdot 4.8 \cdot 26 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^3}{2} = 0.096 \text{Вт} \quad (2.13)$$

Для розрахунку статичних втрат скористаємося шпаруватістю ШІМу. Оскільки середня напруга на котушках при струмі 4.8А, буде 4.3В, розрахуємо шпаруватість:

$$D_{UU} = \frac{U_{KAT}}{U_{DS}} = \frac{4.3}{100} = 0.043 \quad (2.14)$$

$$P_{STave} = I_{UD}^2 \cdot R_{DS} \cdot D_{UU} = 4.8^2 \cdot 0.117 \cdot 0.043 = 0.116 \text{Вт} \quad (2.15)$$

Знайдемо середні втрати в режимі утримання, що складаються із статичних та динамічних втрат:

$$P_{UDave} = (P_D + P_{ST}) \cdot D_U = (0.096 + 0.116) \cdot 0.933 = 0.198 \text{Вт} \quad (2.16)$$

Знайдемо суму втрат на період перемикання, складемо втрати при форсажі та режимі утримання.

$$P = P_{Fave} + P_{UDave} = 7.66 + 0.198 = 7.8 \text{Вт} \quad (2.17)$$

Розрахуємо температуру переходу транзистора при такій потужності, що виділяється.

$$T_J = T_A + R_{OJA} \cdot P = 55 + 62.5 \cdot 7.8 = 546 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.18)$$

Температура перевищує гранично допустиме значення кремнію, тому необхідно використовувати радіатор.

Розрахуємо необхідну величину теплового опору R_{OSA} радіатора. Виразимо з основної формули для розрахунку температури кристала, тепловий опір поверхню радіатора – довкілля. Тепловий опір переходу корпус-охолоджувач $R_{OCS} = 0.5$ за наявності теплопровідного мастила. [1]

$$T_J = T_A + (R_{OJC} + R_{OCS} + R_{OSA})P$$

$$R_{OSA} = \frac{T_J - T_A}{P} - R_{OJC} - R_{OCS} = \frac{120 - 55}{7.8} - 0.78 - 0.05 = 7.2 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \quad (2.19)$$

Виберемо радіатор SK 42-25 S с тепловим опором $R_{OSA} = 6.5^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$, призначений для вертикального монтажу на плату, сумісний корпус транзистора Т 0–220.

Розрахунок параметрів силового діода та розрахунок теплового завантаження

Діод VD2 служить для замикання через себе струму котушки під час вимкнення силового ключа. Напруга пробою цього діода має бути більшою за напругу захисту варистора.

$$U_{BV} \geq U_{VD2_{MAX}} = U_{VAR} = 200 \quad (2.20)$$

Струм, що протікає через діод під час вимкненого силового ключа, буде визначальним для знаходження середнього струму цього діода.

$$I_{Fvd2} = I_{L_{max}} = 31.3 \text{ А} \quad (2.21)$$

У нашому випадку потрібен швидкодіючий діод з невеликим падінням напруги і мінімальним часом відновлення в розімкненому стані. Для цих умов підходять діоди Шотткі.

Вибираємо діод MBR4025 з такими характеристиками:

					КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	24
		№ докум.	Підпис			

$$U_{BV} = 250\text{В}$$

$$I_F = 40\text{А}$$

$$U_f = 0.86\text{В}$$

$$trr = 35\text{нС}$$

$$Roja = 50^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$Rocs = 0.5^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$Rojc = 2^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$T_{J\max} = 120^\circ\text{C}$$

де I_F - максимальний прямий струм діода; U_{BR} - напруга пробою діода; U_f - падіння напруги на діоді; trr - час зворотного відновлення; $Rojc$, $Rocs$, $Roja$ - відповідні теплові опори.

Розрахуємо потужність, що розсіюється на діоді VD2, для цього скористаємося графіком $P_{F(AV)} = F(I_{AVE})$, викладеним у документації на прилад (рис. 2.5.).

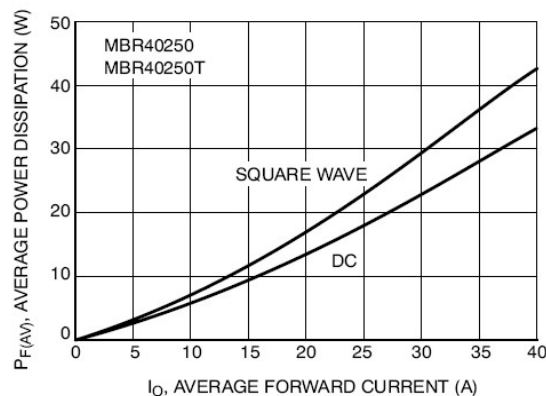


Рисунок 2.5 - Залежність $P_{F(av)}$

Середній струм діода будемо розраховувати як середній струм котушок у режимі утримання:

$$I_{VD2} = I_{UD} = 4.8\text{А}$$

За такого струму (див. рис. 2.6) середня потужність розсіювання становитиме:

$$P_{AVE} = 3.3 \text{ Вт}$$

Знайдемо температуру кристала діода:

$$T_J = T_A + R_{OJA} \cdot P = 55 + 50 \cdot 3.3 = 220 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.22)$$

Порахована температура кристала, неприпустима для кремнієвого діода, необхідно встановити на радіатор і розрахувати тепловий опір радіатора.

$$R_{OSA} = \frac{T_J - T_A}{P} - R_{OJC} - R_{OCS} = \frac{120 - 55}{3.3} - 2 - 0.05 = 17 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \quad (2.23)$$

Виберемо радіатор SK 104-25 з тепловим опором $R_{OSA} = 14^\circ\text{C} / \text{Вт}$, призначений для вертикального монтажу на плату, сумісним корпусом транзистора Т 0-220.

2.4 Розробка системи управління

Вибір мікроконтролера

У сучасних умовах системи керування будуються на мікроконтролерах. Мікроконтролери не пред'являють жорстких вимог до швидкості виконання операцій, але є вимоги до наявності вбудованої периферії. Наявність вбудованих модулів АЦП і ШІМ є обов'язковою, а наявність SPI (Serial Programming Interface) допоможе в програмуванні у внутрішньому ПЗУ. Плоский дизайн корпусу контролера ідеальний. Серед багатьох марок і моделей контролерів головним вибором контролерів є ціна та доступність.

Сімейство MC Atmel AVR може досягти цих цілей [7]. Оберемо контролер ATmega 48 з лінійки AVR.

					КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	26
		№ докум.	Підпис			

Розрахунок елементів системи управління

У систему управління включений резистивний дільник R1, R3 і C9 конденсатор виконують функцію датчика напруги.

Розрахунок резистивного дільника виробляємо з міркувань максимальної напруги, що отримується при розподілі напруги у високовольтному ланцюзі. Максимальна напруга для АЦП визначається опорною напругою, яка в нашій схемі дорівнює живильному і дорівнює 3,3В. Задамося струмом через дільник: 1 mA. Задамося максимальною напругою в ланцюзі постійного струму: 120 В. Максимальна напруга, що подається на АЦП: 3.3В.

Мінімальна напруга, що вимірюється для 10 бітного режиму:

$$U_{ADCmin} = U_{REF} / 2^{10} = 3.3 / 1024 = 3.22 \cdot 10^{-3} \quad (2.24)$$

Знайдемо опір всього дільника:

$$R_{del} = \frac{U_{150}}{I_{del}} = \frac{120}{0.001} = 1.2 \cdot 10^5 \text{ Ом} \quad (2.25)$$

На опорі R3 виділяється сигнал, що не перевищує 3.0В

$$R_3 = \frac{3}{I_{del}} = \frac{3}{0.001} = 3 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad (2.26)$$

$$R_1 = R_{del} - R_2 = 1.2 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^3 = 1.17 \cdot 10^5 \text{ Ом} \quad (2.27)$$

Виберемо резистори з номіналами:

$$R_3 = 3.3 \text{ kОм}$$

$$R_1 = 120 \text{ kОм}$$

$$R_{del} = R_1 + R_3 = 120 \cdot 10^3 + 3.3 \cdot 10^3 = 123.3 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad (2.28)$$

Напруга на дільнику при вхідній його напрузі 5В:

$$U_5 = \left(\frac{5}{R_{del}}\right) \cdot R_2 = \left(\frac{5}{123.3 \cdot 10^3}\right) 3.3 \cdot 10^3 = 0.134 \quad (2.29)$$

Розсіювана потужність на кожному резисторі при вхідній напрузі дільника 150В:

$$P_1 = \left(\frac{U_{120}}{R_{del}}\right)^2 R_1 = \left(\frac{120}{123.3 \cdot 10^3}\right)^2 \cdot 1.2 \cdot 10^5 = 0.114 \text{ Вт} \quad (2.30)$$

$$P_3 = \left(\frac{U_{120}}{R_{del}}\right)^2 R_3 = \left(\frac{120}{123.3 \cdot 10^3}\right)^2 \cdot 3.3 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \quad (2.31)$$

Виберемо чіп резистори з потужністю, що розсіюється: 0.125Вт Типорозміру 1206, з допустимою напругою 200В.

Виберемо ємність С9, яку розраховуємо з необхідності знизити високочастотні перешкоди сигнального кола.

Знайдемо номінал ємності за допомогою моделювання у програмі PSPICE .

Розглянемо R1, R3, С9 як фільтр низької частоти, і підберемо конденсатор таким чином, щоб амплітуда вихідної напруги на частоті 100Гц відрізнялася від вхідної не більше ніж на 0,5%, щоб процесор отримував адекватні дані від сигнального кола.

У процесі моделювання було знайдено необхідну ємність конденсатора 33нФ. З таким номіналом ємності амплітуда вихідного сигналу зменшилася на 0,15% частоті 100Гц.

Використовуємо керамічний конденсатор фірми MURATA: GRM 15 типорозміру 0805, з наступними параметрами:

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	28
		№ докум.	Підпис			

$$C = 33000 pF$$

$$V_H = 10V$$

Виберемо ємності C11-C14.

Ці ємності призначені для захисту від високочастотних перешкод і рекомендуються виробником.

Виберемо конденсатори фірми MURATA : B37931K9104K0 з параметрами:

$$C = 100nF$$

$$V_H = 10V$$

Виберемо номінал резистора R2. Цей резистор необхідний подачі напруги логічної одиниці на вхід RESET процесора від джерела живлення. У середині контролера вже є паралельний йому резистор, але має великий опір, у зв'язку з чим є велика ймовірність пропустити наведену перешкоду лінії RESET на процесор.

Для зменшення номенклатури номіналів резисторів виберемо резистор із опором 3.3кОм. Через низькі струми витоку, що розсіюється потужність буде незначна.

Виберемо чіп резистор R2 с потужністю, що розсіюється: 0.125Вт з типорозміром 0805.

2.5 Джерело живлення системи управління

Вибір перетворювача напруги

По ТЗ, БУК він повинен працювати в широкому діапазоні вхідної напруги, внаслідок і джерело живлення повинен працювати в широкому діапазоні вхідної напруги, яке в ланцюзі постійного струму становитиме 5÷100В. Для живлення системи управління необхідне джерело стабілізованої напруги широкого діапазону, що живиться від напруги. Для цього доцільно використовувати

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	29
		№ докум.	Підпис			

Основні параметри мікросхеми:

- максимальна напруга стоку силового ключа: 220В;
- максимальний струм стоку силового ключа: 1.31 А;
- частота комутацій 300/400 кГц;
- струм споживання: 10 mA;
- опір каналу $R_{DS(on)} = 4 \text{ Ом}$;
- потужність розсіювання: 1.5Вт.

Особливості цієї мікросхеми:

- "м'який" запуск і перезавпуск, що зменшують навантаження;
- зовнішнє встановлення струму обмеження;
- зовнішнє встановлення допустимого рівня вхідної напруги;
- можливість роботи на одній із частот 300/400 кГц.

Опис виводів мікросхеми:

D - Drain : високовольтний вивід – стік силового транзистора.

– L - Line - sense : вхідний вивід для датчика перенапруги, зниженої напруги, з відключенням навантаження у разі виявлення на цьому виході критичної напруги;

– X – EXTERNAL CURRENT LIMIT: вхід для зовнішнього обмеження струму або віддаленого включення, вимкнення контролера;

– F – FREQUENCY: вхід завдання частоти комутацій. Якщо з'єднаний із землею-400кГц, якщо з'єднаний із виведенням С -300кГц;

– S - Source : стік силового транзистора з'єднується із загальною точкою перетворювача;

– C- Control : вхід зворотного зв'язку. Також використовується для живлення контролера і для заряду конденсатора живлення контролера.

Принцип роботи мікросхеми полягає у наступному. Мікросхема включає (рис. 2.6.) потужний високовольтний транзистор VT2 і всі необхідні кола його управління. Це, перш за все, генератор, що задає G1, з трьох виходів якого

знімаються сигнали необхідної форми. Сигнал з виходу D_{MAX} надходить на вхід елемента I-HE DD6 визначає максимально можливий коефіцієнт заповнення. Короткі імпульси з виходу CLOCK встановлюють тригер DD5 одиничний стан, що включає (при відсутності на двох верхніх входах DD6 забороняючих сигналів) транзистор VT2.

У нормальному режимі роботи тригер скидається сигналом неузгодженості з виходу компаратора А3. На один з його вхідних виводів надходить трикутний вихід напруги від генератора SAW G1, а на інший вхід надходить напруга, пропорційна перенапрузі на вхідному виводі для управління мікросхемою Z на рівні 5,8 В, завдяки чому досягається широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). ОУ А1. Польовий транзистор VT1 і резистори R1 і R2 забезпечують стабільний нормований коефіцієнт передачі сигналу більше 5,8 на вході компаратора і ланцюга R3 C1 разом із зовнішніми елементами ланцюга зворотного зв'язку - стабільність саморегулюючої петлі.

Інші компоненти мікросхеми вирішують допоміжні, але дуже важливі для надійної роботи пристрою завдання.

При підвищенні температури кристала мікросхеми вище допустимого рівня сигнал з виходу блоку термозахисту А5 перешкоджає проходженню імпульсів генератора G1 через елемент DD6, що перешкоджає включення транзистора VT2.

Компаратор А6 порівнює падіння напруги на каналі сток-сток включеного транзистора VT2 з максимально допустимим значенням, яке визначається вузлом установки граничного струму А8. В результаті, якщо струм через транзистор VT2 перевищить встановлений рівень, вихідний сигнал компаратора А6 скине тригер DD5 і вимкне транзистор. При нормальній роботі перетворювача в момент включення транзистора VT2 виникає короткочасний імпульс струму стоку за рахунок відновлення зворотного опору одного з діодів у вторинній ланцюзі перетворювача напруги. Тут, хоча компаратор А6 спрацьовує, він викликає скидання тригера DD5 за допомогою короткочасного сигналу

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	32
		№ докум.	Підпис			

При короткому замиканні або перевантаженні у вторинній ланцюзі (кінець ділянок 2 і 3) напруга в ОС не досягне необхідного значення і конденсатор С1 розрядився до напруги 4,8 (рисунок U_C показаний на рисунку 2.7).), компаратор А2 буде вимкнено. Компаратор, у свою чергу, замикає перемикач SW1 і перемикає лічильник DD1 у новий стан, який перешкоджатиме імпульсам від тактового генератора G1 досягати затвора VT2 через елементи DD6 і DD7. Напруга на конденсаторі знову почне зростати. Після семи послідовних циклів розряду конденсатора лічильник DD1 знову пропускатиме імпульси через DD6 і буде зроблена нова спроба запуснути перетворювач. У цьому режимі перетворювач працює в 20 разів менше часу спроби запуску, що запобігає перегріву його компонентів і робить короткі замикання у вторинній ланцюзі безпечними. Після зняття навантаження перетворювач перейде в робочий режим. Діаграма (рис. 2.7) також ілюструє процес, коли вхідна напруга падає до неприйняттого рівня.

Для мікросхеми DPA 422 управління через входи F, X і L має особливості, що дозволяють одночасно контролювати граничний струм I LIMIT, якщо F, становитиме 300 кГц. При правильному підключенні клем X і L можна більш повно реалізувати функціональність мікросхеми, тим самим керуючи режимом і їх роботи.

Принцип роботи SEPIC перетворювача

Перетворювач SEPIC побудований на основі звичайного BOOST перетворювача напруги з додаванням розділового конденсатора C_p між L1 і D1 (рис. 2.8). Очевидно, він блокує постійну складову напруги між входом і виходом. Однак анод D1 повинен бути підключений до певного потенціалу. Для цього використовується другий індуктор L2, через який D1 підключається до землі.

Розглянемо фіксований перетворювач частоти з обома індуктивними елементами, що працюють у режимі постійного струму. Блок-схема перетворювача показана на рисунку 2. 2.9.

Щоб зрозуміти, як працює конвертер, розглянемо режим початкового налаштування розблокування ключа. У конденсаторі C_R не тече постійний струм. Напруга на конденсаторі дорівнює V_{IN} , тому що його лівий цоколь підключений до живлення через $L1$, а правий ковпачок з'єднаний з землею через $L2$.

Під час фази провідності правий кінець $L1$ з'єднаний із землею, а напруга $L1$ дорівнює V_{IN} . Ліва кришка конденсатора C_R підключена до землі, і оскільки вона заряджена до напруги V_{IN} , напруга на правому виході дорівнює $-V_{IN}$. Оскільки нижній вихід елемента $L2$ з'єднаний із землею, то $L2$ з'єднаний паралельно C_R і напруга на його верхньому полюсі також дорівнює $-V_{IN}$. Діод $D1$ перевернутий і заблокований.

На цьому етапі $L1$ заряджається від джерела живлення, а $L2$ - від конденсатора C_R . Оскільки діод $D1$ закритий, енергія, накопичена в індуктивності, не заряджає вихідний конденсатор C_{OUT} і не надходить до навантаження. Тому сила струму в обох індуктивних елементах зростає лінійно.

Під час фази вимкнення, оскільки струм, що протікає через індуктор $L1$, не може змінитися миттєво, попередній струм протікає через правий кінець $L1$. У той же час напруга на цьому виводі зростає за межі вхідної напруги V_{IN} . Тому потенціал лівої кришки конденсатора C_R також стає вище V_{IN} , і діод $D1$ переходить у стан розімкненого ланцюга. Це означає, що напруга на правому кінці конденсатора C_R узгоджується з напругою на верхньому кінці $L2$, яка також є вихідною напругою V_{OUT} мінус крихітне падіння напруги на діоді. Крім того, зауважимо, що напруга між пластинами конденсатора C_R дорівнює V_{IN} , тому напруга між C_R і $L1$ $V_{IN} + V_{OUT}$.

Струм в індуктивних елементах $L1$ і $L2$ тепер заряджає вихідний конденсатор C_{OUT} і підтримує лінійне зменшення струму навантаження.

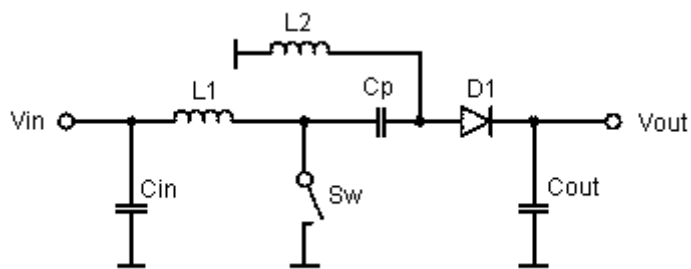


Рисунок 2.8 - Схема перетворювача SEPIC

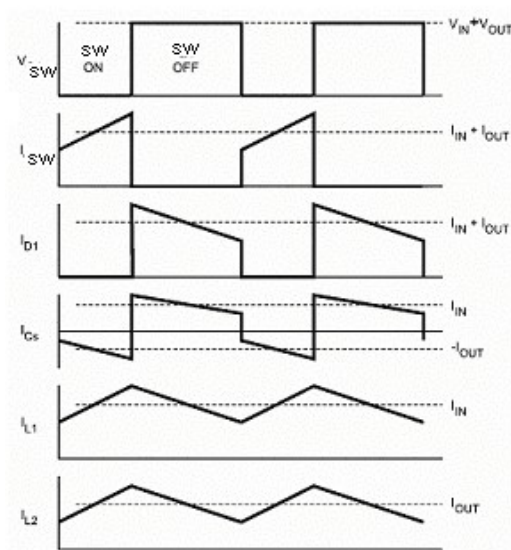


Рисунок 2.9 - Діаграми роботи перетворювача

Розрахунок елементів перетворювача

Прийнято вважати, що значення пульсацій струму і напруги значно менше значень постійних складових. По-перше, зауважте, що в цьому режимі падіння напруги на котушках L1 і L2 не має постійної складової (якщо ігнорувати падіння напруги на їх паразитних опорах). Таким чином, один ковпачок розділеного конденсатора C15 (рис. 2.8) знаходиться під потенціалом Vin (через котушку L1), а інший ковпачок – під потенціалом землі (через L2). Тоді вираз для середньої напруги на конденсаторі C15 буде мати вигляд:

$$V_{C15ave} = Vin \quad (2.32)$$

Нехай T – період циклу роботи перетворювача. Позначимо через α частину періоду T , під час якої ключ Sw замкнутий, а через $1-\alpha$ – частину періоду, що залишилася. Так як середнє значення напруги на котушці $L1$ в режимі, що встановився, дорівнює нулю, напруга на $L1$ за час αT (T_{on}), протягом якого ключ замкнутий, повністю компенсується напругою за час $(1-\alpha) T$ (T_{off}), протягом якого ключ розімкнутий:

$$\alpha T V_{in} = (1-\alpha) \cdot T \cdot (V_{out} + V_d + V_{cp} - V_{in}) = (1-\alpha) \cdot T \cdot (V_{out} + V_d) \quad (2.33)$$

де V_d – пряме падіння напруги на діоді $VD4$ для суми струмів через індуктивності $L1$ і $L2$, а V_{c15} і V_{in} :

$$(V_{out} + V_d) / V_{in} = \alpha / (1-\alpha) = A_i \quad (2.34)$$

$$A_{i \min} = \frac{V_{out} + V_d}{V_{in \max}} = \frac{15 + 0.5}{90} = 0.125$$

$$A_{i \max} = \frac{V_{out} + V_d}{V_{in \min}} = \frac{15 + 0.5}{7} = 2.5 \quad (2.35)$$

де A_i – коефіцієнт посилення (amplification factor), ідеальний випадок, коли паразитні опори дорівнюють нулю. Якщо знехтувати в першому наближенні падінням напруги на діоді V_d ми побачимо, що відношення V_{out} до V_{in} може бути як більше, так і менше 1, залежно від величини α (і вони рівні, коли $\alpha = 0,5$). Це співвідношення демонструє відмінність топології SEPIC від класичної топології, що підвищує або знижує (step - down).

Екстраполюємо відповідні значення α (2):

$$\alpha_{\min} = \frac{A_{i \min}}{1 + A_{i \min}} = \frac{0.125}{1 + 0.125} = 0.111$$

$$\alpha_{\max} = \frac{A_{i \max}}{1 + A_{i \max}} = \frac{2.5}{1 + 2.5} = 0.709 \quad (2.36)$$

Постійна складова струму через розділовий конденсатор C15 дорівнює нулю. Це означає, що вихідний струм тече лише через L2:

$$I_{OUT} = I_{L2} = 0.05 \text{ A} \quad (2.37)$$

Немає строгих вимог до потужності, що розсіюється L2, оскільки середній струм через L2 завжди дорівнює вихідному струму і не залежить від змін у вхідній напрузі V_{in} . Щоб обчислити струм через L1 (I_{L1}), пам'ятаємо, що постійний струм не може протікати через C15. Таким чином, заряд, що протікає, коли ключ закритий (інтервал αT), ідеально збалансований зарядом, що протікає, коли ключ відкритий (інтервал $(1-\alpha)T$). Струм через C15 є струмом через L2. Коли ключ відкривається під час $(1-\alpha)T$, струм L2 протікає через VD4, тоді як струм L1 протікає через C15: . Знаючи $I_{L2} = I_{out}$, ми можемо записати:

$$I_{L1} = A_{imax} \cdot I_{out} = 2.5 \cdot 0.05 = 0.125 \text{ A} \quad (3.38)$$

Оскільки вхідна потужність дорівнює вихідній потужності, поділеної на к.п.д., I_{L1} залежить від V_{in} . Для заданої вихідної потужності I_{L1} збільшується, якщо зменшується V_{in} . Знаючи, що I_{L2} (і, отже, I_{out}) тече через C15 під час αT , ми виберемо C_p так, щоб пульсації напруги на ньому ΔV_{Cp} були набагато меншими за V_{Cp}^* ($\gamma = 5\%$). Найгірший випадок буде для мінімального V_{in} .

$$C_{15} = C_p \geq \frac{I_{out} \cdot \alpha \min \cdot T}{\gamma \cdot V_{in \min}} \geq \frac{0.05 \cdot 0.111 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}}{0.005 \cdot 5} \geq 0.5 \mu F \quad (2.39)$$

Знайдемо допустимий середньоквадратичний струм:

$$I_{C15(RMS)} = I_{OUT} \cdot \sqrt{\frac{V_{OUT} + V_D}{V_{inmin}}} = 0.05 \cdot \sqrt{\frac{12+0.5}{5}} = 0.079 A \quad (2.40)$$

Виберемо у якості C15 керамічний конденсатор фірми MURATA GRM 55 DR 72 E 105 KW 01 L типорозміру 2220, з наступними характеристиками:

$$C_H = 1.0 \mu F$$

$$U_H = 250 V$$

Psw, що складається зазвичай з опору стік-виток ключа MOSFET, включеного послідовно з шунтом для обмеження максимального струму, вносить такі втрати:

$$P_{sw} = I_{inmin} \cdot (1 + \alpha_{inmin}) \cdot R_{sw} \cdot I_{out}^2 = 0.125 \cdot (1 + 0.125) \cdot 4.6 \cdot 0.05^2 = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \quad (2.41)$$

L1 і L2 вибирається так, щоб частка (β) пульсацій струму (ΔI_L) становила від 20% до 50% середнього струму I_L . Нехай $\beta = 0.4$:

$$\Delta I_{L1} = \Delta I_{L2} = I_{in} 40\% = \frac{(I_{out} V_{out} 40\%)}{V_{inmin}} = \frac{(0.05 \cdot 12 \cdot 0.4)}{5} = 0.048 A \quad (2.42)$$

$$L1 = L2 \geq \frac{V_{in} \max \cdot \alpha \min}{f_{sw} \cdot I_{out} \cdot \left(\frac{V_{out}}{V_{in} \max} + 1\right)} = \frac{100 \cdot 0.111}{4 \cdot 10^5 \cdot 0.05 \cdot \left(\frac{12}{100} + 1\right)} = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (2.43)$$

Виберемо котушку зі стандартним номіналом індуктивності, найближчим до розрахованого значення, і переконаємося, що її струм насичення відповідає наступній умові:

$$I_{L_{SAT}} \gg I_{inmin} I_{out} + \frac{0.5 \cdot T \cdot \alpha_{min} \cdot V_{inmin}}{L1} = 0.125 \cdot 0.05 + \frac{0.5 \cdot 0.111 \cdot 5}{4 \cdot 10^5 \cdot 0.6 \cdot 10^{-3}} = 6.2 \cdot 10^{-3} A \quad (2.44)$$

					КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			39

Розрахунки для L2 аналогічні розрахункам для L1:

$$I_{L2_SAT} \gg I_{out} + \frac{0.5T\alpha_{max} \cdot V_{in\ max}}{L2} = 0.05 + \frac{0.5 \cdot 0.111 \cdot 100}{4 \cdot 10^{-5} \cdot 0.6 \cdot 10^{-3}} = 0.063 \text{ А} \quad (2.45)$$

Виберемо котушки індуктивності фірми EPCOS : типорозміру 2220 з наступними параметрами:

$$L=1.5\text{mH}$$

$$I_r(\text{ Rated current IR})=70\text{mA}$$

$$R_{max}=13\text{Om}$$

Втрати Pr1 та Pr2 на внутрішніх опорах L1 та L2 розраховуються так:

$$Pr1 = A_{imin2} R_{L1} I_{out}^2 = 0.125 \cdot 16 \cdot 0.05^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \quad (2.46)$$

$$Pr2 = R_{L2} \cdot I_{out}^2 = 16 \cdot 0.05^2 = 0.04 \text{ Вт} \quad (2.47)$$

Вихідний конденсатор C20 повинен згладжувати імпульси струму великої величини, що надходять через діод D1 під час T_{off}. Тому C20 має бути високоякісним компонентом. Мінімальна ємність C20 визначається з допустимого значення пульсацій вихідної напруги ΔV_{out} = 500мВ:

$$C_{20} \geq \frac{I_{out} \cdot \alpha_{min} \cdot T}{\Delta V_{out} \cdot 0.5} = \frac{0.05 \cdot 0.111 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6}}{0.8 \cdot 0.5} = 1\mu F \quad (2.48)$$

Необхідно підібрати конденсатор з низьким послідовним еквівалентним опором (ESR). Знайдемо необхідне ESR :

					КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	40
		№ докум.	Підпис			

$$ESR_{C_{20}} \leq \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_{L1} + \Delta I_{L2}} = \frac{0.03}{0.048 + 0.048} = 0.31 \text{ Ом} \quad (2.49)$$

Для вибору вихідного конденсатора необхідно розрахувати його середньоквадратичний струм:

$$I_{C_{20}(RMS)} = I_{OUT} \cdot \sqrt{\frac{V_{OUT} + V_D}{V_{in\ min}}} = 0.05 \cdot \sqrt{\frac{12 + 0.5}{5}} = 0.079 \text{ А} \quad (2.50)$$

Насправді може знадобитися вихідний конденсатор значно більшої ємності, особливо, якщо струм навантаження сильно пульсує. Вхідний конденсатор може бути дуже невеликим завдяки фільтруючим властивостям топології SEPIC .

Виберемо номінал ємності для конденсатора (C20). Конденсатор MURATA GRM 31 CR 71 C 475 K :1206 – X 7 R 16–4.7мкФ з наступними параметрами:

$$C = 4.7 \mu F$$

$$ESR(400kHz) = 0.002 \text{ Ом}$$

$$I_{RMS\ max} = 0.75 \text{ А}$$

$$V_H = 16 \text{ В}$$

Розрахуємо максимальну напругу на діоді VD4:

$$V_{BRVD4} = 1.15(V_{out} + V_{in}) = 1.15(12 + 100) = 130 \text{ В} \quad (5.51)$$

При розрахунку втрат на діоді D4 обчислимо P_d суми струмів $I_{L1} + I_{L2}$:

$$P_{VD4} = V_d \cdot I_{out} = 0.5 \cdot 0.05 = 0.025 \text{ Вт} \quad (2.52)$$

					КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	41
		№ докум.	Підпис			

Середній струм діода дорівнює середньому вихідному струму перетворювача:

$$I_{VD4ave} = I_{out} = 0.05 \text{ A}$$

Розрахуємо параметри діода VD6 .

Напруга на діоді:

$$V_{VD6max} = U_{out} = 12 \text{ B}$$

Струм діода визначається струмом споживання ІС імпульсного перетворювача:

$$I_{VD6} = I_{CONTROL} = 10 \text{ mA}$$

Розрахуємо параметри діода VD3, що знаходиться в ланцюзі живлення перетворювача напруги, з урахуванням ККД перетворювача 0,85:

$$U_{VD3max} = U_{INmax} = 200 \text{ B}$$

$$I_{dc-dc} = I_{VD3max} = \frac{I_{out} \cdot U_{out}}{U_{in_{min}}} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{0.05 \cdot 12}{5} \cdot \frac{1}{0.85} = 0.14 \text{ A} \quad (2.53)$$

Де струм I_{dc-dc} споживання перетворювачем напруги.

Для діодів VD3, VD4, VD6 виберемо один діод BAS21 з наступними характеристиками:

$$I_F = 200 \text{ mA}$$

$$V_{BR} = 250 \text{ B}$$

$$V_F = 1 \text{ B}$$

де I_F - максимальний прямий струм діода, V_{BR} - напруга пробою діода, V_F - падіння напруги на діоді

Виберемо резистор зворотного зв'язку R5. Вихідна напруга перетворювача встановлюється за допомогою резистивного дільника вихідної напруги, що подає необхідну напругу на вхід мікросхеми.

У середині мікросхеми вже є один із резисторів дільника зворотного зв'язку R2 (рис. 2.9.) Номінал резистора R5 знайдемо методом підбору. Використовуємо резистор із номіналом 1 кОм, типорозміром 0805.

Ємність C19. Цей конденсатор використовується для живлення мікросхеми при її запуску. Причини вибору цього номіналу конденсатора наступні: велика ємність цього конденсатора буде викликати велику затримку при включенні мікросхеми, тому що при включенні перетворювача, перед початком роботи конденсатор заряджається до 58В через внутрішнє джерело струму високої напруги.

Виберемо цю ємність за допомогою підбору:

Конденсатор керамічний MURATA GRM 31 CR 71 C 475 K :1206 – X 7 R 16–4.7 mkF з наступними параметрами:

$$C = 4.7 \mu F$$

$$V_H = 16V$$

Конденсатор C10 розраховується, як джерело запасної енергії, який підтримуватиме напругу на перетворювачі протягом п'яти напівперіодів, при живленні від змінної напруги або 50 мс при живленні від постійної напруги, у разі зникнення напруги. Необхідна ємність розраховується із перехідного процесу. Конденсатор розряджається в момент зникнення напруги з напруги режиму - напруги 24-30% В, до мінімальної напруги роботи перетворювача 5В.

Перехідний процес описується за формулами:

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	43
		№ докум.	Підпис			

$$U_{nop} = U_{nmin} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.54)$$

де U_{nop} мінімальна напруга роботи перетворювача; U_{nmin} -Мінімальна напруга живлення; t - час перехідного процесу.

$$\tau = R \cdot C \quad (2.55)$$

$$U_{nmin} = 24(1 - 0,3) = 16,8B \quad (2.56)$$

$$R = \frac{U_{nmin}}{I_{dc-dc}} = \frac{16,8}{0,14} = 120Om \quad (2.57)$$

де I_{dc-dc} - струм споживання перетворювачем, R - вхідний опір перетворювача, τ - постійна часу кола:

$$\tau = \frac{t}{n \left(\frac{U_{nmin}}{U_{nop}} \right)} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\ln \left(\frac{16,8}{5} \right)} = 0,04c \quad (2.58)$$

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{0,032}{120} = 340 \cdot 10^{-6} = 340\mu F \quad (2.59)$$

Виберемо електролітичний конденсатор фірми TREC серії SR з наступними параметрами:

$$U_H = 200B$$

$$C = 470\mu F$$

$$I_{max RMS} = 756mA(120Hz)$$

$$ESR = 0,42Ohm(120Hz)$$

Для знаходження максимального середньоквадратичного струму конденсатора, скористаємося методикою викладеною в [9]. Вихідні дані для

розрахунку: $U_{n\min} = 16.8V$ амплітудна напруга конденсатора; $f = 100$ Гц частота пульсацій; $U_{\min} = 14.2V$ мінімальна пилоподібна напруга на конденсаторі, цей параметр знаходимо за допомогою моделювання в програмі PSPICE .

$$I_{\text{нагр}} = I_{dc-dc} = 0.14A .$$

Обчислимо час заряду конденсатора (протягом якого струм споживається від мережі). Діаграми напруги на конденсаторі зображені на рис. 2.10.

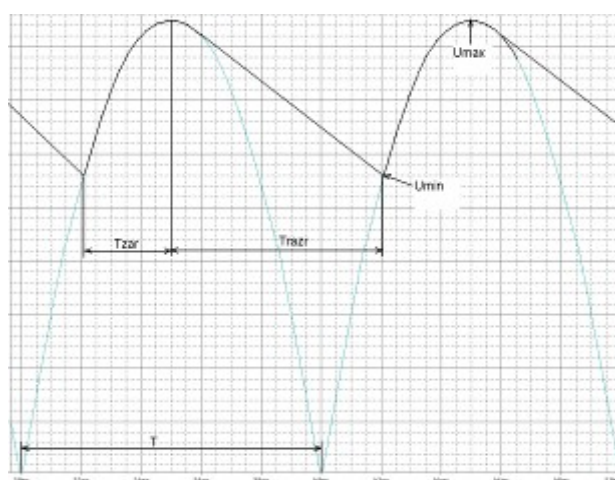


Рисунок 2.10 - Діаграми напруги на конденсаторі

Так як напруга змінюється за синусоїдальним законом, використовуємо для розрахунку формулу:

$$t_{zar} = \frac{\arccos\left(\frac{u_{\min}}{u_{\max}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{\arccos\left(\frac{u_{\min}}{u_{\max}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 50} = \frac{\arccos\left(\frac{14.2}{16.8}\right)}{314} = 1.75 \cdot 10^{-3} \text{ с.} \quad (2.60)$$

1. Обчислюється час розряду конденсатора:

$$t_{raz} = T - t_{zar} = 0.01 - 2 \cdot 10^{-3} = 0.008 \text{ с} \quad (2.61)$$

2. Знаходимо піковий зарядний струм:

$$I_{pic} = C \cdot \frac{dU}{dt}, \quad (2.62)$$

де $dU = U_{max} - U_{min}$, а dt - це час заряду конденсатора, тобто. t_{zar}

$$I_{pic} = C \cdot \frac{dU}{dt} = 470 \cdot 10^{-6} \frac{16.8 - 14.2}{2 \cdot 10^{-3}} = 0.493 \text{ А} \quad (2.63)$$

3. Знаходимо середньоквадратичне значення імпульсного струму через конденсатор за формулою:

$$I_{rms} = \sqrt{(I_{zar})^2 + (I_{razr})^2} \quad (2.64)$$

де I_{zar} - середньоквадратичний струм через конденсатор на циклі заряду, а I_{razr} - середньоквадратичний струм через конденсатор на циклі розряду.

Вважаємо, що струм заряду конденсатора має трикутну форму, тоді

$$I_{zar} = I_{pic} \cdot \sqrt{\frac{t_{zar}}{T}} = 5.23 \cdot \sqrt{\frac{1.75 \cdot 10^{-3}}{0.01}} = 0.029 \text{ А} \quad (2.65)$$

На інтервалі розряду через конденсатор тече струм навантаження, тому

$$I_{razr} = \frac{I_{load} \cdot t_{razr}}{T} = \frac{0.14 \cdot 8.2 \cdot 10^{-3}}{0.01} = 0.115 \text{ А} \quad (2.66)$$

Отже, середньоквадратичний струм дорівнює:

$$I_{rms} = \sqrt{I_{raz}^2 + I_{zar}^2} = \sqrt{0.115^2 + 0.029^2} = 0.119 \text{ А} \quad (2.67)$$

Розрахований струм задовольняє максимально допустимий середньоквадратичний струм обраного конденсатора.

Вибір лінійного стабілізатора

Для живлення МК від перетворювача напруги необхідно використовувати стабілізатор компенсації в інтегральному виконанні. Тому як струм навантаження не великий, потужність розсіювання невелика.

Необхідні параметри стабілізатора:

- вихідна напруга: 3.3В;
- струм навантаження: 10 mA;
- вхідна напруга стабілізатора: 12В.

Під дані параметри підходить стабілізатор LP2980-3.3 у корпусі для планарного монтажу, що не вимагає додаткових зовнішніх компонентів, крім вхідних, вихідних конденсаторів. Має такі характеристики:

- максимальна вхідна напруга: 16В;
- вихідна напруга: 3.3В;
- максимальний вихідний струм: 150 mA;
- номінальний вихідний струм: 50 mA;
- максимальне падіння напруги: 125 мВ;
- струм споживання, при струмі навантаження 50 mA.

Виберемо конденсатори C16-C17. Керуючись рекомендаціями документації на стабілізатор DA 1 необхідно встановити керамічні конденсатори не менше 1 μF . Встановлюємо конденсатори фірми MURATA, що раніше використовувалися. GRM 31 CR 71 C 475 K :1206 – X 7 R 16–4.7мкФ

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	47
		№ докум.	Підпис			

Необхідно вибрати стабілізатор з напругою стабілізації (U_{CT}) менше ніж максимальна напруга лінійного стабілізатора ($U_{\max LINEAR}$), але більше ніж вихідна напруга перетворювача напруги (U_{dc-dc}):

$$\begin{aligned} U_{dc-dc} \leq U_{CT} \leq U_{\max LINEAR} \\ 12 \leq U_{CT} \leq 16 \end{aligned} \quad (2.68)$$

Виберемо стабілітрон TZMC 15 фірми TEMIC з напругою стабілізації 15В, максимальною потужністю 500мВт, що розсіюється, максимальним зворотним струмом $2 \mu A$.

Перевіримо стабілітрон на максимальну потужність, що розсіюється:

$$P_{CT} = I_R \cdot U_D = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 24 \mu \text{Вт} \quad (2.69)$$

2.6 Висновки до другого розділу

В другому розділі розроблена схема електрична функціональна. На основі схеми електричної функціональної розроблена схема електрична принципова. Наведено опис роботи кожного блоку. Приведено вибір кожного елементу схеми. Запропоновані розрахунки параметрів елементів та схеми.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ

3.1 Моделювання роботи перетворювача напруги

Для моделювання роботи перетворювача поставимо ті ж параметри, що і в ТЗ на перетворювач. Використовуємо під час моделювання перетворювача ІС імпульсного джерела – NCP 1031 фірми «ON semiconductor», оскільки він найбільш близький за параметрами до контролера, що використовується в схемі перетворювача напруги.

Схема перетворювача у програмі PSPICE зображено на рис. 3.1.

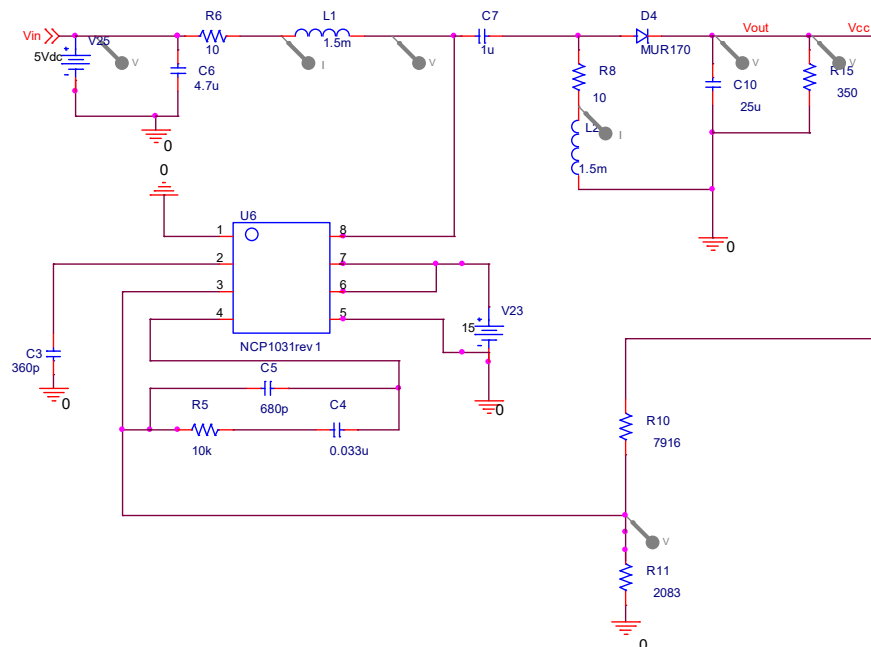


Рисунок 3.1 - Схема моделювання у програмі PSPICE

Завдання моделювання виявити працездатність перетворювача, тобто. видавати задану вихідну напругу при максимальній та мінімальній вхідній напрузі. Для цього необхідно провести два етапи моделювання з підвищеною та зниженою напругою. На рис. 3.2 епюри роботи перетворювача з вхідною напругою 5В, на рис. 3.3. при напрузі живлення 100В.

Як видно з епіюр роботи перетворювача, вихідна напруга досягає заданого рівня.

Для проведення випробувань була виготовлена макетна плата блоку управління контактора, на цьому макеті було знято осцилограми напруг перетворювача напруги та силової частини БУК у різних умовах.

3.2 Дослідження перетворювача напруги

У цьому експерименті ми перевіримо працездатність перетворювача напруги при низькій напрузі з навантаженням 50 мА.

Пояснимо діаграми вихідної напруги, напруги перемикання живлення та вихідної напруги мікросхеми перетворювача імпульсної напруги.

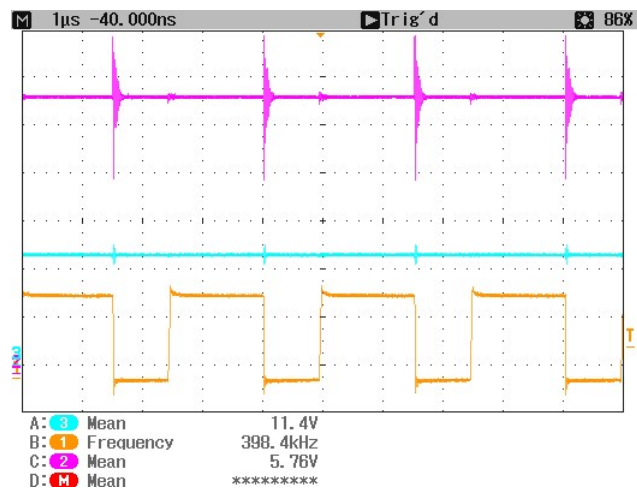


Рисунок 3.4- Осцилограми перетворювача напруги

На осцилограмах видно форму вихідної напруги, за допомогою гострих функцій осцилографа знайдено середню напругу, яка дорівнює 11,4В. Напруга на виведенні 5,76В, що говорить про нормальну роботу перетворювача. Силовий транзистор за показаннями осцилографа комутується із частотою 400КГц.

Вихідна напруга задовольняє ТЗ і дорівнює 12В, з напругою пульсацій 780мВ. У цьому досвіді видно, що перетворювач працює у режимі зниження напруги.

3.3 Дослідження силової частини блоку

За основу візьмемо контактор на номінальну постійну напругу 24В із середньою напругою в котушках в режимі утримання 4,35В.

Частота комутації силового транзистора БУК 20КГц.

Нижче представлені осцилограми напруги в котушках у режимі утримання (рис. 3.7).

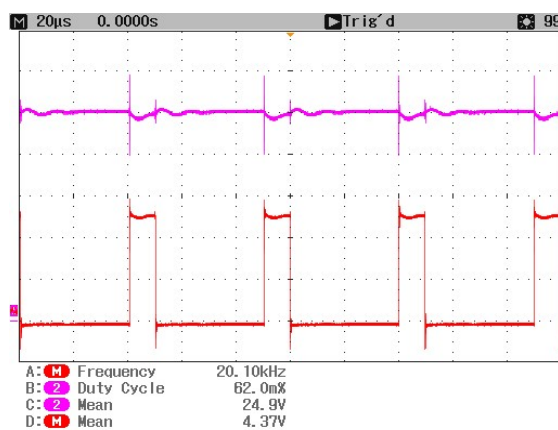


Рисунок 3.7 - Осцилограми роботи силової частини

На верхній осцилограмі відображено напругу на вході БУК.

На нижній осцилограмі зображена форма напруги в котушці, обчислена середня напруга на котушках засобами осцилографа, що дорівнює 4,37В, що говорить про правильну роботу системи управління та силової частини пристрою.

Проведемо експеримент, що дозволяє спостерігати перехід з режиму в режим БУК, для цього зафіксуємо осцилографом момент включення пристрою.

Розрахунок параметрів програмного забезпечення

Тактова частота мікроконтролера 8 МГц, а таймер-лічильник працює без попереднього подільника, при частоті ШІМ 20КГц, знайдемо необхідний період таймера лічильника (ICR1)

$$ICR1 = \frac{T_{pwm}}{T_{bus}} = \frac{F_{bus}}{F_{pwm}} = \frac{8 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^4} = 400 = \$190 \quad (3.1)$$

де T_{pwm} , F_{pwm} Період і частота ШІМу, T_{bus} , F_{bus} період та частота шини контролера.

Розрахунок часу форсажу ведеться відліком числа переривань $ts1$ по переповненню:

$$forsazh_time = \frac{t_{force}}{\frac{1}{F_{bus}} \cdot ICR1} = \frac{0.2}{\frac{400}{8 \cdot 10^6}} = 4000 = \$FA0 \quad (3.2)$$

де t_{force} - час форсажу.

Напруга утримання у кодах АЦП:

$$\frac{U_{kam}}{U_{average_adc}} = D = \frac{t}{T_{pwm}} \quad (3.3)$$

де U_{kam} – напруга на котушці контактора, $U_{average_adc}$ – усереднену напругу в кодах АЦП.

Звідси час імпульсу ШІМ обчислюється так:

$$t = \frac{U_{kam} \cdot T_{pwm}}{U_{average_adc}} \quad (3.4)$$

Знайдемо уставку REF (для напруги утримання 4,35В) у кодах АЦП:

$$REF = U_{кам} \cdot T_{pwm} = \frac{(U_{кам}) \cdot R_3}{R_1 + R_3} \cdot T_{pwm} = \frac{(4.35) \cdot 3.3 \cdot 10^3}{123.3 \cdot 10^3} \cdot \frac{3.3}{2^{10}} \cdot ICR1 = 400 \square 15600 = \$3CF0 \quad (3.5)$$

Напруга відпаду в кодах АЦП, розраховується при $0,3 \cdot U_H + U_{VD}$ на вході датчика напруги:

$$U_{отпад} = U_H \cdot 0.3 + U_{VD} = 8.2V \quad (3.6)$$

де U_{VD} - падіння напруги на випрямляючому мості.

Напруга на вході АЦП:

$$U_{ADCотпад} = \left(\frac{U_{отпад}}{R_{del}} \right) \cdot R_2 = \left(\frac{8.2}{123.3 \cdot 10^3} \right) \cdot 3.3 \cdot 10^3 = 0.22 \quad (3.7)$$

Змінна *OTPAD* обчислюється так:

$$OTPAD = \frac{U_{отпад}}{\frac{U_{ref}}{2^{10}}} = \frac{0.22}{3.2 \cdot 10^{-3}} = 70 = \$46 \quad (3.8)$$

3.5 Опис роботи ПЗ

Програма мікроконтролера блоку управління контактором написана мовою програмування високого рівня Сі. Це дозволяє, на відміну від асемблера, з мінімальними витратами часу вносити зміни в програму і переносити її на інші мікроконтролери.

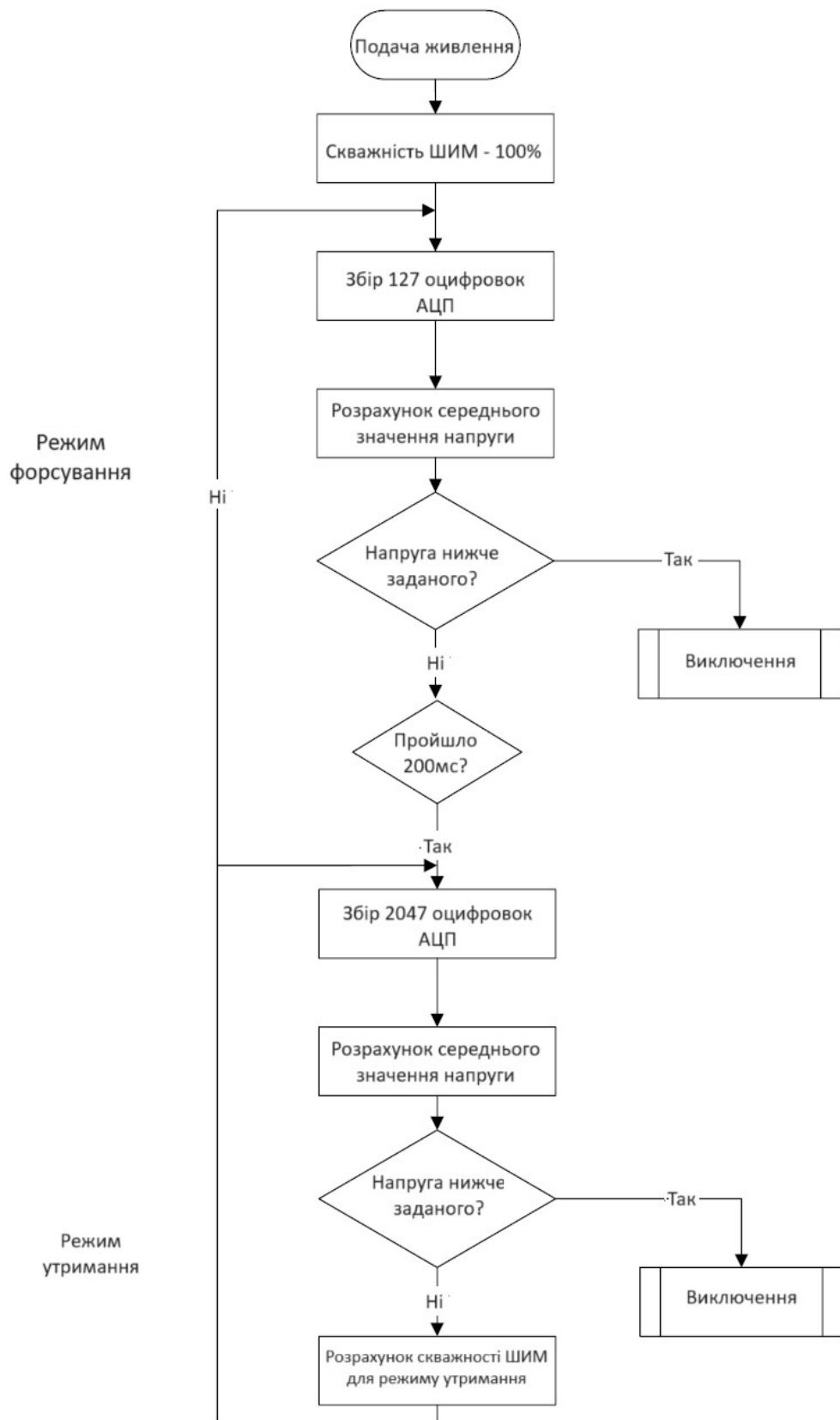


Рисунок 3.9 - Алгоритм роботи мікроконтролера

		№ докум.	Підпис	

3.6 Висновки до третього розділу

В розділі наведено питання практичної реалізації пристрою. Проведено моделювання окремих блоків схеми. За рахунок моделювання перевірено вірність проведених розрахунків елементів схеми.

Запропоновано алгоритми роботи схеми. Описано кожний етап алгоритму. Обґрунтовано вибір кожного етапу.

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			60

ВИСНОВКИ

В результаті роботи було розроблено структурну схему БУК. Розроблено принципову схему згідно з ТЗ.

Розроблено та налагоджено ПЗ для МК та здійснено розрахунок основних його параметрів.

Коментарі описують, як керувати контактором. Наведено розрахунок і вибір необхідних параметрів складових частин силової та низьковольтної секцій. Наведено теплотехнічні розрахунки силових компонентів. Наведено результати моделювання перетворювача напруги. Введено алгоритм схеми керування мікроконтролером.

					КвРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			61

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Панчевний Б. І. Загальна електротехніка: теорія і практика / Б. І. Панчевний, Ю. Ф. Свергун. - 2-ге вид. - Київ : Каравела, 2004. - 440 с.
2. Титаренко М.В., Електротехніка: Навчальний посібник/ М.В. Титаренко. – Київ: Кондор, 2013. – 240 с.
3. Костін М. О. Теоретичні основи електротехніки [Текст]: підручник у 3 т. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Дніпро: Видво ДНУЗТ, 2006. – Т. 1. – 336 с; 2007.- Т.2.- 276 с; 2011. – Т.3, Ч.1. – 224 с; 2012.– Т.3, Ч.2. – 352 с.
4. Коржик М. В. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab: навч. посіб. Для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Коржик. – Київ : НТУУ “КПІ”, 2016. – 174 с.
5. Жулай Є.Л. Електропостачання агропромислового комплексу: Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.
6. Greenspan D. Introduction to Numerical Analysis and Applications / D. Greenspan. – Markham : Chicago, 1971. – 176 p.
7. Лисенко В.П. Комп'ютери та комп'ютерні технології : навч. посіб. Ч. 1. Програмування в математичному пакеті MathCAD / В.П. Лисенко, І.М. Болбот. – Київ : Аграрна освіта, 2010. – 229 с.
8. Коруд В.І. Електротехніка: Підручник / В.І. Коруд, О.Є. Гамола, С.М. Малинівський. – 3-є вид., переробл. і доп. – Львів: Магнолія Плюс, 2006. – 447 с.
9. Сенько В.І. Електроніка і мікропроцесорна техніка / В.І. Сенько, В.П. Лисенко, О.М. Юрченко — К. : «Агроосвіта», 2015. — 676 с.
10. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / Ю. П. Колонтаєвський. - Київ : Каравела, 2006. - 384 с.

11. Качан Ю. Г. Лінійна електротехніка (теоретичні основи) [Текст]: навч. посібник / Ю. Г. Качан.– Запоріжжя: Вида-во Запорізької держ. інж. академії, 2005. – 206 с.
12. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник/ В.І. Ткачук. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2006. - 440 с.
13. Виговський В. С. Автоматизація керування живильними насосами енергоблоку потужністю 200 МВт / В. С. Виговський, Ю. С. Грищук // Вісник НТУ «ХП». Серія : Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – 2015. – № 13 (1122). – С. 20–31.
14. Ковалюк Д.О. Інтеграція програмних засобів систем керування: Д.О. Ковалюк, О.О. Ковалюк, В.І. Бородін, М.М. Степанюк // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, Серія: технічні науки. – Том 30 (69) Ч. 1 № 1, – 2019, ст. 56-60.
15. Левченко Т.В. Загальна електротехніка з основами автоматики: Навчальний посібник / Т.В.Левченко. – Київ, 2010. – 358 с.
16. Дідух Л. Д. Електрика та магнетизм : підручник / Л. Д. Дідух. - Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. - 464 с. - Режим доступу : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31412..>
17. Колонтаєвський Ю. П. Промислова електроніка і мікросхемотехніка / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков. під ред. А. Г. Соскова. – Вид. 2-ге, виправл. і доповн. – Харків : ХДАМГ, 2003. – 281 с.
18. Михайленко В.Є., Інженерна та комп’ютерна графіка: Підручник / В.Є. Михайленко, В.В. Ванін, С.М. Ковальов; За ред. В.Є. Михайленка. – 6-е вид. – К.: Каравела, 2012. – 368 с.
19. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів/ Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С Паранчук.. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2004. - 404 с.
20. Волох П.В. Довідникова книга з електроенергетики: навчальний посібник/, М.П. Цоколенко, Л.В. Ревенко, В.А. Грічаненко та ін. –Київ : Аграрна освіта, 2014. – 506 с.

		№ докум.	Підпис		КВРАКІТ.2020026.01.05 ПЗ	63

32. Коновалюк О.В. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / О.В. Коновалюк, В.М. Кіяшко, М.В. Колісник. – Київ: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.

33. Сідашенко О. І. Ремонт машин та обладнання : підручник / О. І. Сідашенко, О. А. Науменко. – Київ : Агроосвіта, 2014. – 665 с.

34. Гуржій А. М. Електротехніка та основи електроніки : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Гуржій, С. К. Мещанінов, А. Т. Нельга, В. М. Співак. - Київ : Літера ЛТД, 2020. - 288с.

35. Макаренко В. В. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Акустотехніка» [Електронний ресурс] / В. В. Макаренко, В. М. Співак // НТУУ «КПІ». – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19099>.

36. Руденко В. С. Промислова електроніка / В. С. Руденко, В. Я. Ромашко, В. В. Трифонюк. – Київ : Либідь, 2003. – 432 с.

37. Яковлев В.Ф. Електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник / В.Ф. Яковлев. – Київ: Аграрна освіта, 2010. – 329 с.

38. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / О. М. Воробйова, Ю. В. Флейта. - Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. - 208с.

39. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : Підручник / М. С. Будіщев. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.

40. Акопов, А. С. Імітаційне моделювання: підручник і практикум для академічного бакалаврату / А. С. Акопов. - Київ : "Корнійчук", 2017. – 136с.

ДОДАТОК А
Презентаційні матеріали

**Автоматизоване керування силовим
контактором**

Студент: Владислав ГРИЦИШИН
Керівник: Людмила КОРЕЦЬКА, к.т.н, доц.

ВИДИ КОНТАКТОРІВ



Загальний вигляд контактора



Магнітний пускач з тепловим реле

СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ КОНТАКТОРАМИ

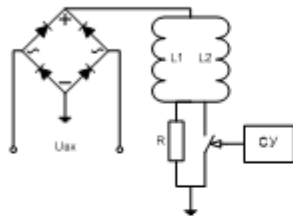


Схема із підключенням баластного резистора

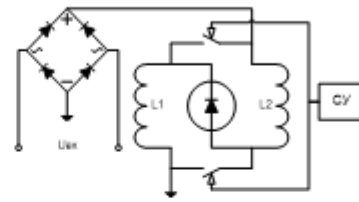


Схема з перемиканням котушок паралельно-послідовно

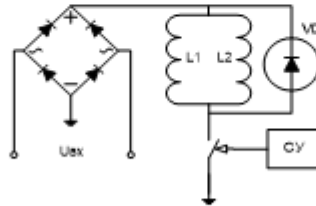
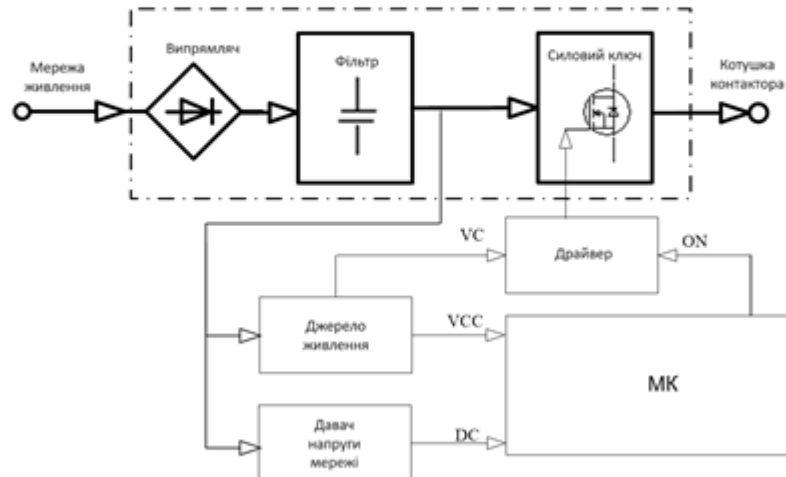


Схема управління з ШІМ

СТРУКТУРНА СХЕМА ПРИСТРОЮ



ВИСНОВКИ

- В результаті роботи було розроблено структурну схему БУК. Розроблено принципову схему згідно з ТЗ.
- Розроблено та налагоджено ПЗ для МК та здійснено розрахунок основних його параметрів.
- У пояснювальній записці розглянуті способи керування контактором. Наведено розрахунок необхідних параметрів елементів силової та низьковольтної частини та зроблено їх вибір. Наведено тепловий розрахунок силових елементів. Наведено результати моделювання перетворювача напруги. Представлено алгоритми роботи мікроконтролера що керує схемою.

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1016377064

Дата перевірки:
20.06.2024 07:24:00 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
20.06.2024 07:31:14 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: Грицишин_антиплагіат1

Кількість сторінок: 65 Кількість слів: 11033 Кількість символів: 73281 Розмір файлу: 2.15 MB ID файлу: 1016185423

1160 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

19.2% Схожість

Найбільша схожість: 18% з Інтернет-джерелом (https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/29783/6/dyplom_Mokriychuk_S...)

19.1% Джерела з Інтернету

63

Сторінка 67

0.47% Джерела з Бібліотеки

21

Сторінка 67

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0.04% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0.04% Вилучення з Інтернету

44

Сторінка 68

0.04% Вилученого тексту з Бібліотеки

24

Сторінка 68

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

48

Wed Jun 19 02:01:32 EEST 2024, Федула Микола Васильович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 5.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилко в документах: 11%**

ID: 131428 Назва: БКР Автоматизоване керування силовим контактором Додано в БД: 2024-06-19 Автора: Владислав ГРИЦИШИН Керівники: Людмила КОРЕЦЬКА Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	53158	549	3185 (6%)	48 (9%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Грицишин Владислав Сергійович

Тема: Автоматизоване керування силовим контактором

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегрованих технологій»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість презентаційних слайдів 7 Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Розроблено систему автоматизованого керування силовим контактором

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В роботі було розроблено структурну схему блоку управління контактором. Розроблено принципову схему згідно з ТЗ. Розроблено та налагоджено програмне забезпечення для МК та здійснено розрахунок основних його параметрів. У пояснювальній записці розглянуті способи керування контактором. Наведено розрахунок необхідних параметрів елементів силової та низьковольтної частини та зроблено їх вибір. Наведено тепловий розрахунок силових елементів. Наведено результати моделювання перетворювача напруги. Представлено алгоритми роботи мікроконтролера що керує схемою.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі наявні незначні граматичні та стилістичні помилки

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

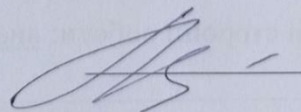
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (3,75/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Фазельчук Тамара Іванівна, канд.
техн. наук, доцент кафедри ТПЗ ХНУ

“ 17 ” червня 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Грицишин В.С.

ПШБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи АКІТ-20-1

ЗАЯВА

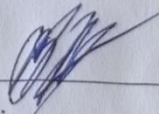
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

03.06.2024

дата


підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМПІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизоване керування силовим контактором

Автор: Владислав ГРИЦИШИН

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: к.т.н., доц. Людмила КОРЕЦЬКА

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

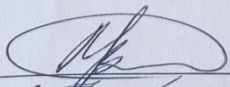
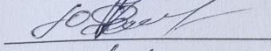
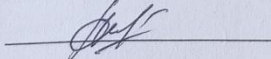
3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 19,2% і адресується до 63 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Людмила КОРЕЦЬКА