

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Джерело безперебійного живлення з мікропроцесорним керуванням

Назва теми

КвРТР.2019004.01.04 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

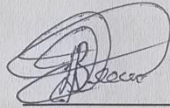
Шифр, назва

Освітня програма «Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології»

Назва

Виконав:

студент IV курсу, група ТР1-19-1

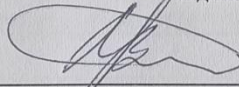


Підпис

Денис ВЕРХОТУРОВ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

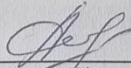


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

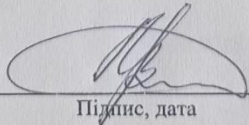


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

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



Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 19 » червня 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

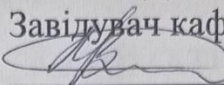
Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри АКІТтаР

 Валерій МАРТИНЮК

01.02.2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Верхотуров Денис Сергійович

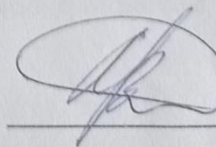
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Джерело безперебійного живлення з мікропроцесорним керуванням
2. Керівник роботи Мартинюк В.В., д.т.н., професор
Затверджено наказом ректора університету від 01.03.2023р. № 5
2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 03.06.2023р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ, огляд методів побудови джерел безперебійного живлення, розрахунок основних блоків, моделювання роботи схеми та її окремих вузлів, висновки
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) 1. Структурна схема. 2. Принципова схема. 3. Математична модель.




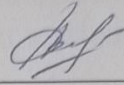
Завдання отримав



Керівник



6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

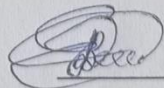
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7. Дата видачі завдання 01.02.2023р.

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	01.03.2023	Викорано
2 Вивчення предметної області, в якій планується використання системи автоматизації; аналіз вимог до системи автоматизації	15.03.2023	Викорано
3 Проектування та розробка загальної архітектури і структури системи автоматизації, інтерфейсу користувача; вибір засобів реалізації системи автоматизації	29.03.2023	Викорано
4 Програмна реалізація та тестування системи автоматизації	12.04.2023	Викорано
5 Написання тексту пояснювальної записки та розробка графічних матеріалів	19.04.2023	Викорано
6 Остаточне коригування кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника; оформлення кваліфікаційної роботи як документа відповідно до вимог	11.04.2023	Викорано
7 Отримання супровідних документів (відгуку керівника, рецензії, довідки про перевірку на плагіат); нормоконтроль	30.05.2023	Викорано
8 Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи	03.06.2023	Викорано

Студент

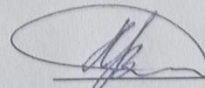


Денис ВЕРХОТУРОВ

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Валерій МАРТИНЮК

Підпис

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Джерело безперебійного живлення з мікропроцесорним керуванням».

Автор роботи: Верхотуров Денис Сергійович.

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

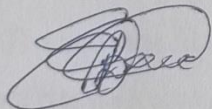
Пояснювальна записка: 66 с., 21 рис., 1 табл., 3 дод., 41 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ, АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ,
ДЖЕРЕЛО БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕРНЕ
КЕРУВАННЯ.

Метою роботи є розробка пристрою безперебійного електроживлення з мікропроцесорним керуванням.

Досліджено схемотехнічні рішення та конструкції пристроїв безперебійного електроживлення. Проведено розробку схеми електричної структурної. Розроблено схему електричну принципову. Проведено розробку основних блоків пристрою безперебійного електроживлення з мікропроцесорним керуванням. Виконані розрахунки конструктиву друкованої плати та надійності пристрою.







Підпис студента

16.06.2023

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ	5
1.1 Обґрунтування забезпечення умов завдання	5
1.2 Огляд аналогів виробу	6
1.3 Огляд та аналіз структурних схем систем безперебійного живлення.....	7
1.4 Висновки до першого розділу.....	11
2 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ БЛОКІВ	12
2.1 Принцип дії інвертора.....	12
2.2 Формування вихідної напруги та струму	12
2.3 Широтно-імпульсна модуляція.....	15
2.4 Коректор коефіцієнта потужності	18
2.5 Система керування.....	22
2.6 Розрахунок інвертора.....	27
2.7 Розрахунок випрямляча	29
2.8 Розрахунок коректора потужності	34
2.9 Розрахунок трансформатора	37
2.10 Висновки до другого розділу	50
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СХЕМИ ТА ЇЇ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ	51
3.1 Моделювання блоку інвертора	51
3.2 Моделювання блоку випрямляча	53
3.3 Моделювання блоку випрямляча з коректором.....	54
3.4 Моделювання схеми агрегату безперебійного живлення.....	57

КвРТР.2019004.01.04 ПЗ								
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Джерело безперебійного живлення з мікропроцесорним керування Пояснювальна записка	Літ	Лист	Листів
Розроб.		Верхотуров Д.С.		19.06.23		1	2	2
Перевір.		Мартинюк В.В.		19.06.23				
Н. Контр.		Корещька Л.О.		19.06.23				
Затв.		Мартинюк В.В.		19.06.23				
					ХНУ, ТР1-19-1			

3.5 Висновки до третього розділу.....	60
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	62
ДОДАТОК А Структурна схема.....	67
ДОДАТОК Б Принципова схема.....	68
ДОДАТОК В Математична модель.....	69

ВСТУП

В даний час спостерігається підвищений попит на додатки у високошвидкісних центрах обробки даних, системах зв'язку в реальному часі та системах з безперервними автоматизованими процесами. Зростаючі вимоги до таких пристроїв і наявність великої кількості різноманітних можливостей висувають вимоги до їх джерел живлення.

Хоча сигнал у дуже хорошому стані під час генерації електроенергії, у момент, коли потужність досягає споживача, якість далека від ідеальної. Більшість видів спотворень неприпустимі, наприклад, значні провали напруги та коливання частоти, які можуть спричинити непоправну шкоду обладнанню, а також неможливість його подальшого використання за призначенням. Звичайно, фінансові наслідки цього просто жахливі, не тільки вплинуть на поточну роботу, але більш серйозно, це також вплине на розвиток майбутнього бізнесу.

При проектуванні радіоелектронної апаратури одним з основних критеріїв економічності є зниження енергоспоживання апаратури (зокрема, використання нових технологій дозволило знизити енергоспоживання побутової техніки на кілька порядків). навіть порівняно з десятима роками тому).

За останні 100+ років, з моменту появи першого електронного пристрою (радіоприймача А.С. Попова) і до сьогоднішнього дня, змінилося кілька поколінь електронних пристроїв, які принципово відрізняються за функціями, типу компонентів і т. д. Основи використання, конструктивні та технічні рішення тощо. Те саме стосується і побутової радіоелектроніки, і систем керування складними технічними об'єктами, такими як авіалайнери, космічні кораблі тощо. Проте будь-який електронний засіб, будь то комп'ютер, схема керування системою життєзабезпечення, програвач компакт-дисків чи радіолокаційна станція, має пристрій, який забезпечує живленням усіх

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	3
		№ докум.	Підпис			

компонентів (електронні лампи, транзистори, мікросхеми). Тому наявність блоку живлення в будь-якому пристрої очевидно, а вимоги до нього досить високі, оскільки від його якості залежить робота всього пристрою. При створенні складних цифрових пристроїв (персональних комп'ютерів або будь-яких інших мікропроцесорних пристроїв) особливу увагу необхідно приділяти джерелу живлення, оскільки ці пристрої повинні забезпечуватися безперебійним і, перш за все, високоякісним живленням. Втрата напруги такого обладнання може бути фатальною: медичні системи життєзабезпечення вимагають безперервної роботи складного обладнання, а вимоги до їх джерел живлення дуже жорсткі, системи банківського захисту та системи безпеки, системи зв'язку та передачі інформації. [1-3]

При створенні електронної техніки окремих класів і призначень (електронно-обчислювальна техніка, медична та побутова електроніка, засоби автоматизації) або забезпечення джерела живлення систем можна вибирати з тих, що випускаються промисловим серійним виробництвом. У деяких країнах існують компанії, що спеціалізуються на промисловому виробництві. Але якщо джерело безперебійного живлення, що випускається серійно, не відповідає потребам споживачів в експлуатаційному, конструктивному чи іншому відношенні, необхідно розробити нове з урахуванням усіх правил і обмежень, властивих цьому типу.

Предметом даної роботи є розробка універсального джерела безперебійного живлення з мікроконтролерним керуванням. Його універсальність полягає в тому, що його можна використовувати в будь-яких пристроях потужністю до 600 Вт, від ПК до медичного обладнання. Причина створення джерела полягає в тому, що його можна використовувати в будь-якому пристрої, для цього точна синусоїдальна напруга є важливим фактором, коли джерело працює через мережу або внутрішній акумулятор, буде багато стрибків напруги під час перемикання з одного до іншої краплі. [1-3]

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ

1.1 Обґрунтування забезпечення умов завдання

Залежно від мети, для якої призначено пристрій, і специфіки сфери його застосування, розглянемо основні критерії, на яких будуть базуватися подальші розробки.

Тому надійність і стійкість до зовнішніх впливів, включаючи вібрацію і ударні навантаження, слід віднести до основних критеріїв розробки ДБЖ.

Для підвищення надійності блоку рекомендується:

- Забезпечення простих електричних і теплових режимів роботи конструктивних елементів і матеріалів, правильний підбір;
- Надійний захист від зовнішньої та внутрішньої нестабільності;
- Широке використання IMS і стандартних компонентів;
- Щоб забезпечити ремонтпридатність виробу, застосуйте метод проектування функціональних вузлів.

На ранніх стадіях процес проектування включає постійну реорганізацію системи шляхом вибору технології живлення. Перелічимо фактори, що впливають на цей етап:

- вартість;
- маса та розміри;
- коефіцієнт корисної дії блоку живлення;
- вхідна напруга;
- термін дії акумуляторної батареї;
- потрібна якість вихідної напруги;
- годину, необхідну для виходу продукції на ринок.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			5

У цих ДБЖ хороші параметри і більш висока ціна. Тому виникає потреба в недорогому і надійному ДБЖ. Проект передбачає розробку такого пристрою.

1.3 Огляд та аналіз структурних схем систем безперебійного живлення

Джерело безперебійного живлення - це автоматичний пристрій, який у разі повної втрати струму зовнішньої електромережі внаслідок аварії або неприпустимо великого відхилення параметрів напруги в мережі від номінального забезпечує нормальне живлення навантаження та використовує енергію батареї для забезпечення аварійного живлення навантаження.

Розглянемо кілька основних типів побудови конструктивних схем ДБР:

1. ІБП резервного типу.
2. Лінійно-інтерактивне ДБР.
3. ДБЖ з подвійним перетворенням енергії.

Джерело безперебійного живлення, виконане за схемою з комутаційними пристроями для забезпечення прямого підключення навантаження до зовнішньої мережі під час нормальної роботи та для перемикавання від батареї до джерела живлення в аварійних випадках. Перевагою резервного ДБЖ є простота і низька вартість, а недоліком – ненульовий час перемикавання (~4 мс) живлення від батареї та більш інтенсивне його використання, оскільки джерело живлення перемикається в аварійний режим у разі будь-якого збою в сітка .

Резервні ДБЖ зазвичай мають невелику потужність і використовуються для забезпечення живлення окремих пристроїв (ПК, робочих станцій, офісного обладнання) у місцях з кращою якістю мережі.

Лінійно-інтерактивне (Line-Interactive)

комп'ютерів, робочих станцій, файлових серверів, вузлів локальної комп'ютерної мережі та офісного обладнання. В основі автоматичних стабілізаторів напруги лежить автотрансформатор з перемиканням обмоток. Використовується в ДБЖ, зібраних за схемою лінійної взаємодії для ступінчастого регулювання вхідної напруги в бік її збільшення. Кількість обмоток регулятора напруги визначає діапазон вхідної напруги, при якому ДБЖ може забезпечити нормальне живлення навантаження без переходу в аварійний режим роботи. У ДБЖ з такою структурою в середньому допустимий діапазон зміни такої вхідної напруги становить від -20% до +20% від номінального значення 220.

ДБЖ з подвійним перетворенням енергії (On-Line)

Джерело безперебійного живлення, в якому вхідна напруга змінного струму спочатку перетворюється на постійний струм за допомогою випрямляча, а потім знову перетворюється на змінний струм за допомогою інвертора, є джерелом живлення з подвійним перетворенням енергії (on-line). Акумулятор постійно підключений до виходу випрямляча і входу інвертора і забезпечує живлення останнього в аварійному режимі (рисунок 1.2).

Така схема конструкції ДБЖ забезпечує майже ідеальне живлення навантаження в разі будь-якого збою мережі, включаючи фільтрацію імпульсів високої напруги та електромагнітних перешкод, і характеризується нульовим часом перемикання в аварійний режим, відсутністю перехідних процесів під час виходу обладнання. .

Недоліком схеми подвійного перетворення енергії є висока трудомісткість і висока вартість. [1-3]

керування. Таким чином захищається не тільки навантаження від збою електромережі, але й проблеми з самим ДБР. Режим байпасу можна включити вручну при проведенні профілактичного обслуговування ДБЖ або заміні його компонентів без відключення навантаження.

З вищевикладеного видно, що схема Off-Line є найпростішою і найдешевшою, і розроблений в даному дипломному проекті пристрій безперебійного живлення також виготовлений за таким принципом. Однак удосконалення функціональних рішень і характеристик дозволить мати більш затребувані і конкурентоспроможні продукти з кращими експлуатаційними параметрами і нижчою ціною, ніж аналоги. [1-10]

1.4 Висновки до першого розділу

Обґрунтовано вибір напрямку проведення розробки. Показано необхідність створення пристрою, що забезпечував ба безперебійне живлення за відсутності зовнішнього живлення.

Встановлені технічні характеристики розроблюваного пристрою, до яких відносяться вхідна напруга, частота, вихідна потужність, стабільність частоти і напруги та інші.

Розглянуті принципи побудови схем джерел безперебійного живлення. Описано структурні схеми ДБЖ типу Line-Interactive та ДБЖ типу On-Line. Визначено переваги і недоліки схем.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			11

2 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ БЛОКІВ

Розглянемо основні блоки, що входять до складу пристрою:

1. Інвертор;
2. Випрямляч;
3. Коректор коефіцієнта потужності;
4. Трансформатор;
5. Блок системи керування.

2.1 Принцип дії інвертора

Інвертування - це перетворення постійного струму в змінний. Суть інвертора полягає в тому, що первинні обмотки трансформатора по черзі підключаються до мережі постійного струму протилежної полярності. При цьому на обмотках трансформатора з'являється прямокутна, трапецієподібна, ступінчаста або синусоїдальна змінна напруга. Пристрій, який виконує таке перетворення, називається інвертором.

Транзистори є найбільш широко використовуваними елементами перемикачів живлення в ДБЖ. Транзистори працюють в режимі перемикачів, пропускаючи полярність перемикача, скачуючи полярність напруги на первинній обмотці трансформатора, енергетично вигідно. При цьому втрати потужності транзистора найменші, а інвертора к.п.- найбільші. [11-20]

2.2 Формування вихідної напруги та струму

Форму вихідної напруги чи струму інвертора, тобто кількість гармонік у напрузі чи струмі, необхідно дуже ретельно визначати під час проектування. Отримання на виході напруги (струму), близької до синусоїди, є важливим

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	12
		№ докум.	Підпис			

завданням, інакше погіршиться коефіцієнт потужності та зростуть електромагнітні перешкоди та шуми як на клемах джерела живлення, так і в ланцюзі керування. Багато навантажень, наприклад електромеханічні датчики, вимагають синусоїдальної напруги. Тим більше, що інвертор потребує синусоїдальної напруги, якщо він включений в джерело безперебійного живлення, його вихідна напруга потрібно час від часу змінювати в мережі змінного струму.

Складність цієї проблеми полягає в тому, що покращити якість вихідної напруги просто встановленням фільтра може бути неможливим або вигідним. Зокрема, при спробі зменшити небажані гармоніки на виході шляхом збільшення L і C фільтра, величина (першої) основної гармоніки неминуче падає.

З цих причин інвертор використовує метод активного зменшення гармонік у поєднанні з налаштуванням фільтра, тобто пасивний метод.

Для отримання напруги, близької до синусоїди, можна використовувати ШІМ або АІМ, які можна виконати різними технічними способами.

Критерієм оцінки синусоїдальності кривої є коефіцієнт гармонік K_{gf} , отриманий на виході фільтра, підключеного до інвертора імпульсної напруги.

Нехай ω_0 — власна частота фільтра, а ω_1 — перша гармоніка вихідної напруги інвертора. Відношення цих двох частот будемо називати ω_* — параметром, що характеризує фільтр.

$$\omega_* = \omega_1 / \omega_0 = \omega_1 \sqrt{LC} \quad (2.1)$$

Не враховуючи навантаження, я вважаю, що комплексний опір вихідного конденсатора фільтра набагато менший за опір навантаження, і ми отримаємо передаточну функцію LC-фільтра

$$W(s) = \frac{U_{\text{вих}}(s)}{U_{\text{вх}}(s)} = \frac{1/(sC)}{sL + \frac{1}{sC}} = \frac{1}{s^2LC + 1}$$

Зробивши заміну $s = j\omega$ (тут ω - поточна частота), визначимо амплітудно-фазову характеристику фільтра

$$W(j\omega) = \frac{1}{1 - \omega^2 LC} \quad (2.2)$$

Формула (2.2) означає, що при частоті $\omega = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ = відношення амплітуди напруги на виході до амплітуди напруги на вході фільтра прагне до нескінченності (без урахування навантаження на фільтр). Крім того, на всіх частотах у спектрі імпульсної вихідної напруги, вищих за першу (фундаментальну), модуль $W(j\omega)$ зменшується, вказуючи на те, що будь-які гармоніки напруги, вищі за першу, пригнічуються. Якщо виражати в децибелах, швидкість спаду модуля $W(j\omega)$ становить -40 дБ/дек. Для всіх $\omega > \omega_0$ від'ємний знак, отриманий у правій частині (2.2), вказує на те, що вихідна напруга є строго зворотною до вхідної напруги (це також наслідок ігнорування навантаження інвертора).

Позначимо модуль $W(j\omega)$ як k_{Un} - коефіцієнт передачі фільтра за напругою n -ї гармоніки.

Тоді

$$k_{Un} = |W(j\omega)| = \frac{1}{|\omega^2 LC - 1|} = \frac{1}{n^2 \omega^2 - 1} \quad (2.3)$$

Умовно приймається, що першої гармоніки коефіцієнт передачі фільтра k_{U1} в (2.3) дорівнює одиниці.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			14

Підставимо k_{Un} (2.3) у вираз для коефіцієнта гармонік. В результаті отримаємо:

$$K_{гф} = 100 \sqrt{\sum_{n=n_{\min}}^{n=\infty} \left(\frac{U_n}{n^2 \omega_*^2 - 1} \right)^2 \frac{1}{U_1^2}}, \quad (2.4)$$

де U_1 і U_n - амплітуди першої та n-ї гармонік на вході фільтра.

Фільтр матиме мінімальний об'єм при мінімумі ω^* з (2.1). Вказане значення $K_{гф}$ легше забезпечити фільтром мінімального об'єму (ω^* мінімум), якщо в спектрі напруги на вході фільтра не просто відсутні деякі довільні гармоніки, тобто деяке U_n дорівнює нулю, і немає нижні гармоніки, які найважче послабити у фільтрі. У цьому й полягає зміст співвідношення (2.4).

2.3 Широтно-імпульсна модуляція

Почнемо з розгляду ШІМ з одновипадковою модуляцією, де лише один імпульс є в половині періоду вихідної напруги (рис. 2.1). Функція $u(\omega t)$ на малюнку виражена у формі парного числа ($u(\omega t) = u(-\omega t)$). Крім того, функція є симетричною відносно осі ωt . Тому не повинно бути рівного гармонічного спектру напруги, і ряд Фур'є Коефіцієнти – це визначені величини та фази гармонік, які походять із таких співвідношень:

$$U_n = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} u(\omega t) \cos n \omega t d \omega t, \quad (2.5)$$

де $n = 1, 3, 5, \dots$ - номер гармоніки; $\omega = 2\pi/T$ - кругова частота основної (першої) гармоніки.

З (2.1) для імпульсної напруги, показаної на рис. 2.1, отримаємо:

2.4 Коректор коефіцієнта потужності

Розглянемо структурну схему найпростішого типового коректора коефіцієнта потужності, зображену на рисунку 2.3. У цій схемі, крім виконання функції корекції PF, додатково стабілізується вихідна напруга. На діодний міст VD1...VD4 подається вхідна напруга змінного струму 220 В 50 Гц, але після додаткового випрямлення в класичному випадку повинен бути згладжуючий конденсатор, тут дросель L замінений ланцюгом підвищення, блокуванням. діод VD5, критичний вихідний конденсатор $C_{\text{вих}}$ - коло управління коректором.

Вхідна напруга на випрямляч U_{in} - випрямляючий діодний міст, є уніполярними половинами синусоїди (лінія 1 на малюнку 2.4).

Ця напруга контролюється датчиком вхідної напруги (IN). При включенні транзистора VT ланцюгом управління струм в індуктивності L починає лінійно зростати. [21-25]

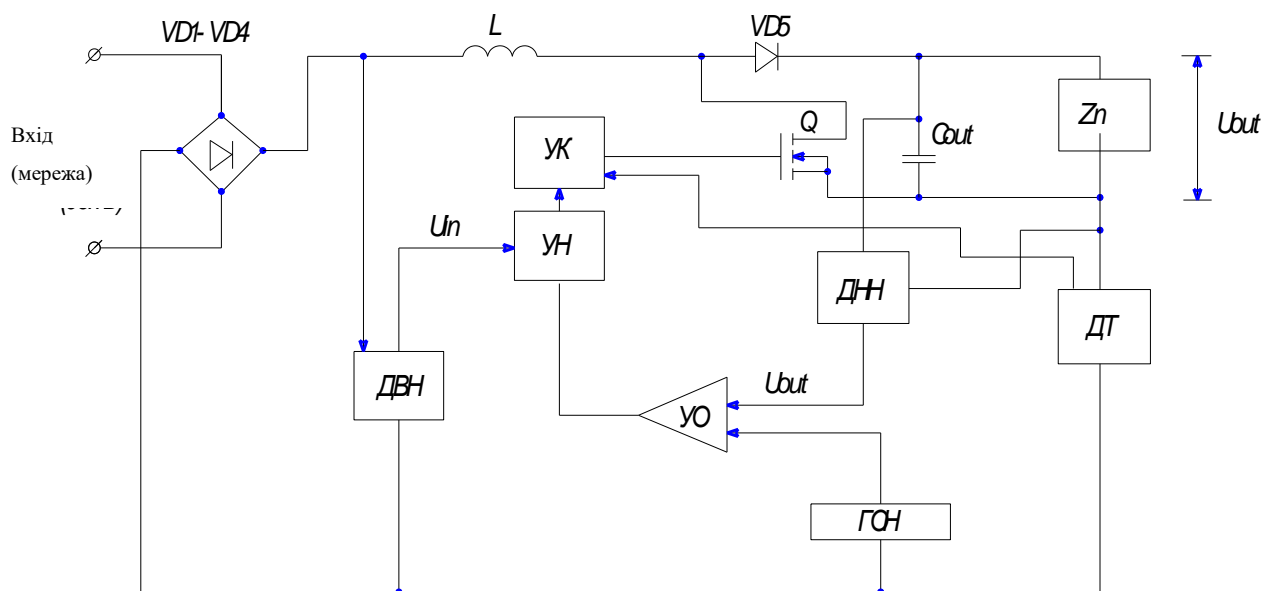


Рисунок 2.3 – Функціональна схема (ККМ)

Значення вхідного струму I_{in} реєструється датчиком струму (DC) і перетворюється в напругу U_{out} , пропорційну значенню струму I_{in} . Значення індуктивності L підберіть таким чином, щоб сила струму в ній зростала (і падала) набагато швидше, ніж зростала (і падала) вхідна напруга. Коли значення напруги, отримане від датчика струму (DT), порівнюється зі значенням напруги, створеним датчиком вхідної напруги (DN), керуючий каскад (CC) схеми керування вимикає транзистор VT, і струм падає до нуля в первинний контур.

Зверніть увагу, що в цій точці струм протікає через діод VD5 і конденсатор C_{out} . Момент, коли струм в первинному ланцюзі падає до нуля, використовується як сигнал управління каскадом для включення транзистора VT, і процес повторюється.

На малюнку 2.4 показана огинаюча (ряд 3) миттєвих значень струму (I_{vx1} , I_{vx2} , I_{vx3}) первинної ланцюга Форма повторюваної вхідної напруги U_{vx} і середнього значення (ряд 4) струму $I_{ср}$ (в) стають дуже схожими на форму струму в активному навантаженні. Тому фактично споживаний струм має властивість постійно наступних коротких імпульсів зі змінною амплітудою.

Розглянуто роботу активного коректора в режимі переривчастого дросельного струму. Слід зазначити, що цей коректор також може працювати в безперервному режимі дроселя, а тип сигналу показаний на рисунку 2.4. Тому під час паузи між вимиканням транзистора його середнє $I_{ср}$ буде більш синусоїдальним, ніж у режимі імпульсного струму. [21-25]

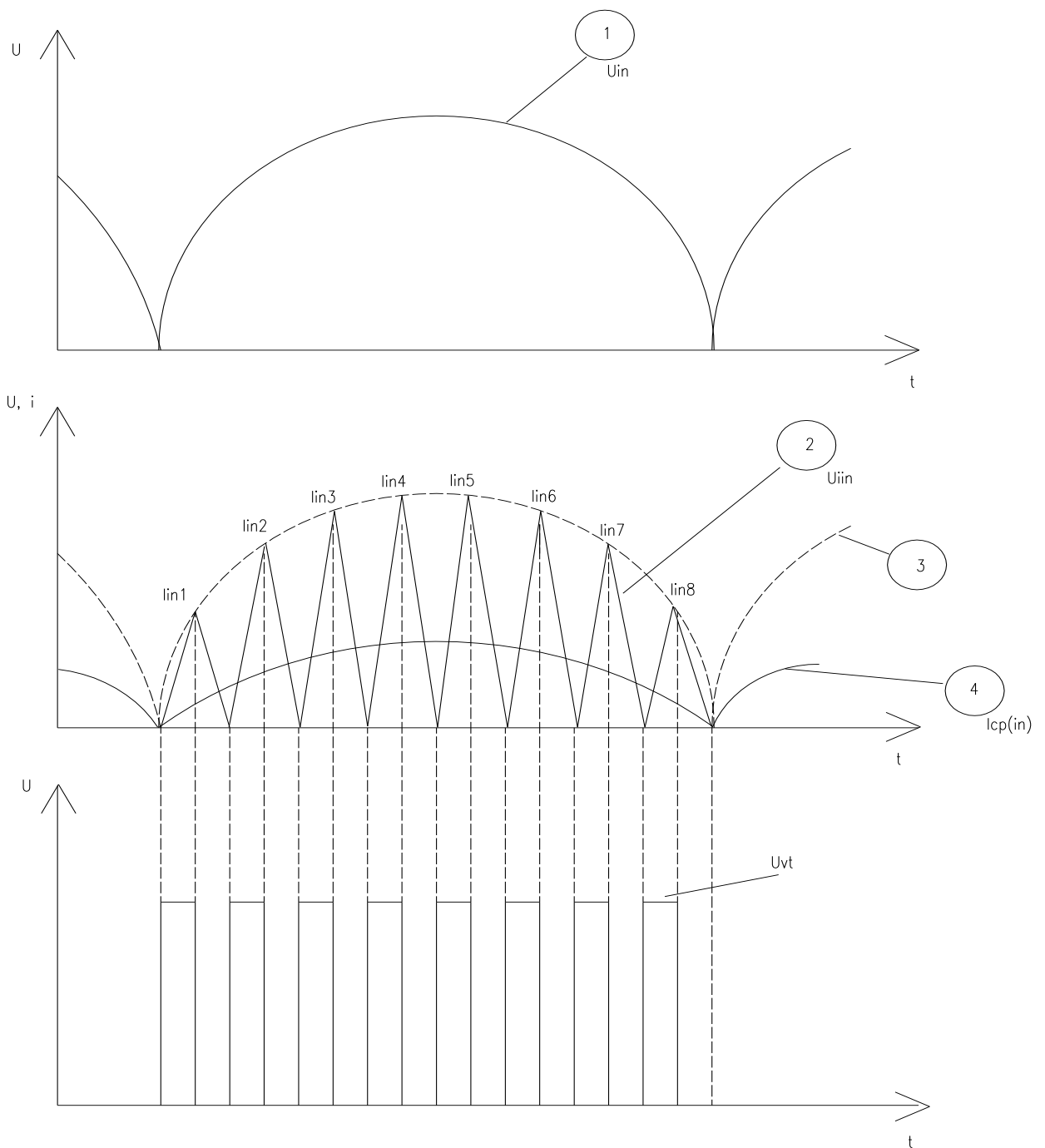


Рисунок 2.4 - Схема процесу, що відбувається в активному коректорі коефіцієнта потужності

2.5 Система керування

Структурна схема системи управління представлена рисунку 2.6

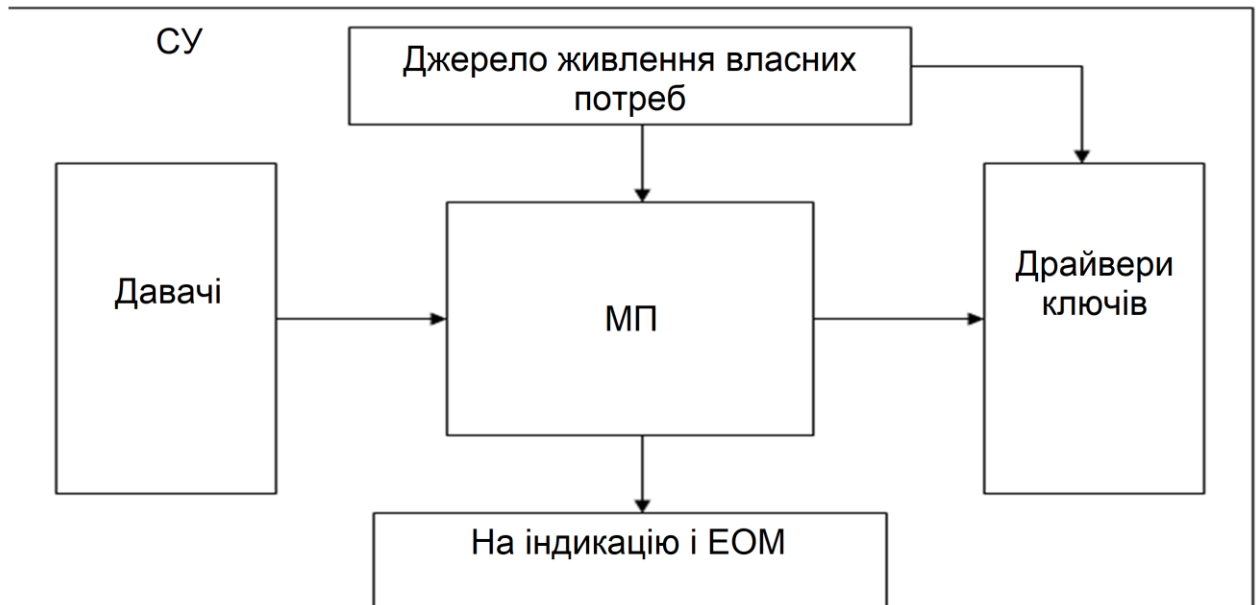


Рисунок 2.6 – Структурна схема системи управління

Датчики контролюють значення напруги і струму в ланцюзі і передають відповідну інформацію в блок мікропроцесора МП. Мікропроцесор керує драйверами перемикача живлення, а також пристроєм відображення та інтерфейсом ПК. Драйвер і блок МП живляться від джерела живлення, вихідна напруга якого становить $+5V$, $+18V$, $\pm 24V$.

Для управління IGBT модулями беремо драйвер ДЖІЦ.687253.231

Основні функції драйвера:

- забезпечення включення транзисторів низького ТТЛ рівня в системи керування з частотою перемикання до 20 кГц;
- на затворі транзистора передбачено:
 - напруга включення $+17V$, затримка включення 1мкс, час наростання напруги 0,4мкс;

- напруга відключення -5, затримка відключення 0,4 мкс, час падіння напруги 0,2 мкс;
- захист транзистори від пробою у разі перевантаження струму навантаження або короткого замикання, що визначається ненасиченістю транзистора, шляхом згладжування
 - . затримка спрацьовування захисту - 3 мкс;
 - затримка початку відключення - 4,5 мкс;
 - час падіння напруги - близько 8 мкс, коли напруга колектора вище 1000;
 - обмеження напруги між базою і емітером транзистора до рівня 6 В.

Сигнали про аварійне відключення транзисторів і небезпечне падіння напруги живлення приводу передаються в систему управління. Схема захисту скидається низьким рівнем TTL від системи керування. Символ вихідної напруги драйвера позначається світлодіодами на платі драйвера (або адаптера), зеленим для позитивної напруги та червоним для негативної напруги. [26-27]

Структурна схема драйвера показана на рисунку 2.6

Вхідні та вихідні сигнали приймаються оптопарою, і коли різниця потенціалів між вхідними та вихідними ланцюгами драйвера досягає 2500 В, вона відіграє роль ізоляції. Привід підключається до системи керування через штекер типу WF-6 і кабельний вихід типу HU-6.

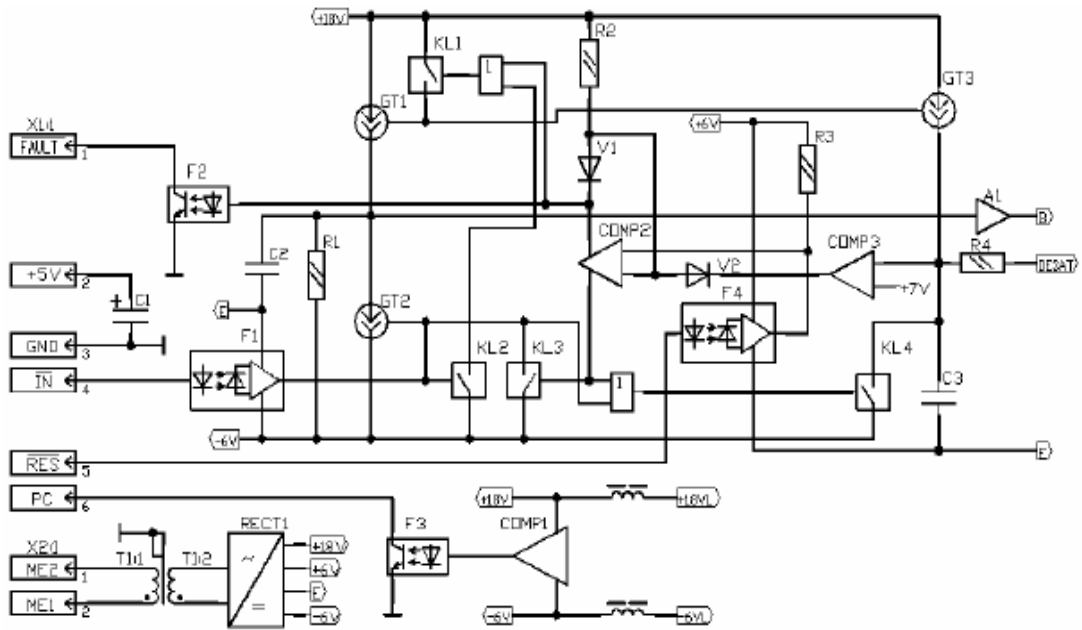


Рисунок 2.7 – Схема драйвера ДЖИЦ.687253.231

Живлення змінного струму подається на випрямляч RECT1 через роз'єм X2 і трансформатор T1. Компаратор COMP1 підтримує низький рівень сигналу ПК на виході оптрона за нормальної випрямленої напруги. Коли сигнал IN на вихідній клемі оптрона F1 має високий рівень, він має високий рівень. При цьому включений генератор струму GT2, генератори струму GT1 і GT3 вимкнені, а напруга на конденсаторі C2 негативна. Після буферного підсилювача A1 і вихідного каскаду драйвера (двоперіодний емітерний повторювач V3), V4), він надходить у модуль Gate G. Розмикаючий ключ KL4 підтримує негативну напругу на компараторі COMP3. Коли сигнал IN має низький рівень, генератор струму GT2 закривається, а GT1 і GT3 розмикаються. Конденсатор C2 швидко заряджається, і позитивна напруга проходить через буферний підсилювач A1 і вихідний каскад драйвера для включення транзисторів модуля. Баластне ємнісне навантаження на виході драйвера, конденсатор C6, згладжує крутизна фронту вихідного імпульсу на різних вхідних ємностях модуля та запобігає високочастотному дзвінку. Діоди V6, V7 зменшують викиди напруги на затворі, які можуть виникати під час

перемикання модуля. Ланцюг захисту R7, V9, V10 захищає модуль від розряду високої напруги, що виникає на колекторі при вимкненому транзисторі, вмикаючи транзистор під час розряду. LED V8 - двоколірний. Якщо модуль завантажений нормально, напруга колектора стає низькою, і генератор струму GT3 протікає через R4 і V5, тоді як напруга на конденсаторі C3 залишається нижче порогового значення відключення компаратора COMP3. Коли модуль перевантажений, напруга C3 перевищує порогове значення через певний проміжок часу, і імпульс із виходу COMP3 включає тригер, який виконується на компараторі COMP2 із позитивним зворотним зв'язком. Кнопки KL1 і KL3 замкнуті, генератори струму GT1 і GT3 вимкнені, конденсатор C2 розряджений плавно через резистор R1, тріод модуля плавно відключений, ланцюг знаходиться в режимі КЗ краще різкого. коротке замикання. Оптрон F2 містить низький сигнал несправності. Вихід драйвера зі стану захисту здійснюється низьким рівнем сигналу RES, який змушує оптрон F4 проводити, і тригер повертається в початковий стан. Вихідний ланцюг драйвера живиться симетричною прямокутною напругою амплітудою 12 В і частотою 40 кГц, яка подається від блоку живлення через штекер типу WF-2 HU-2 на вихід кабелю первинної обмотки ізоляційний трансформатор. Як блок живлення може використовуватися плата ДЖИЦ.301411.107. Змінна напруга з вторинної обмотки перетворюється в постійну напругу +6, +18 і -6 градусів.

Для керування фототиристором будемо використовувати драйвер ЛТС 687253.435. Структурна схема драйвера показана на рисунку 2.7

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			

2.6 Розрахунок інвертора

Вихідні дані:

- 1) $U_n=220$ В - вихідна лінійна напруга;
- 2) $P_n = 1$ кВт - потужність перетворювача ;
- 3) $\cos \phi_n \approx 1$ - коефіцієнт потужності навантаження;
- 4) $F_p=10$ кГц - діапазон робочих частот інвертора.

Струм інвертора номінальний дорівнює:

$$I_{лн} = \frac{P_n}{U_n} = \frac{1000}{220} = 4,5 A. \quad (2.9)$$

Визначимо номінальну напругу на вході інвертора:

$$U_{дн} = \frac{\sqrt{2}U_n}{\gamma} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{0,95} = 324 B. \quad (2.10)$$

Вибираємо клас силового ключа за напругою:

$$U_{k_{доп}} \geq K_z \cdot U_{дн} \gg 1,5 \cdot 324 = 486 B. \quad (2.11)$$

Вибираємо IGBT транзистор із напругою 600 В.

Так як в інверторі на IGBT немає допоміжних комутувальних ключів, немає часу комутації.

Визначимо струм через транзистор:

$$I_{мн} = \frac{P_n}{U_{дн} \cdot \eta \cdot 1} = \frac{1000}{324 \cdot 0,96 \cdot 1} = 3,2 A. \quad (2.12)$$

Вибираємо транзистор на 16А, який при $T=100$ С має допустимий струм 9А, і з урахуванням запасу по струму

$$I_{M33A} \geq (1,6 \div 2,0)I_{ITV} = 3,2 \cdot 2 = 6,4A, \quad (2.13)$$

тобто. умова $I_{\max} < I_{\text{доп}}$ виконується.

За обчисленими параметрами виберемо транзисторний транзистор IGBT-транзистор IRG4BC20F фірми IR.

Параметри транзистора:

- 1) Пробивна напруга "колектор-емітер" $V_{\text{ces}} = 600 \text{ В}$;
- 2) Постійний струм колектора $I_c = 16 \text{ А}$;
- 3) Імпульсний струм колектора (тривалістю 1мс) $I_{\text{cm}} = 30 \text{ А}$;
- 4) Падіння напруга на транзисторі у відкритому стані $V_{\text{Cesat}} = 2.5 \text{ В}$;
- 5) Час включення $t_{\text{ON}} = 130 \text{ нс}$;
- 6) Час затримки вимикання $t_s = 450 \text{ нс}$;
- 7) Час спаду $t_f = 40 \text{ нс}$;
- 8) Тепловий опір перехід-корпус $R_{\text{th(jc)}} = 0.18 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$;
- 9) Максимально допустима температура переходу $T_{\text{jmax}} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$;

Розрахуємо втрати в транзисторі за номінального режиму:

$$P_M = \frac{4}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} U_{\text{пад}} I_m \sin x \cdot \cos x dx = \frac{2}{\pi} U_{\text{пад}} I_m \sin \frac{\pi}{2} =$$

$$= \frac{2}{\pi} 2,11 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,2 = 9,5(\text{Вт}), \quad (2.14)$$

де $U_{\text{пад}} = 2,11 \text{ В}$ - середнє модульоване падіння на відкритому транзисторі при протіканні через нього гармонійного струму з амплітудою $\sqrt{2}I_n$.

Розрахуємо динамічні втрати у транзисторі.

$$P_{\text{дин}} = E_y \cdot f, \quad (2.15)$$

де $E_y = 14 \text{ мДж}$ визначається за графіками струму 35А.

$$P_{\text{дин}} = 14 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 14 \text{ (Вт)}. \quad (2.16)$$

Розрахуємо загальні втрати.

$$P_{\text{Моб}} = P_{\text{СТ}} + P_{\text{ДИН}} + K_3 (P_{\text{СТ}} + P_{\text{ДИН}}) = 9,5 + 14 + 0,05 \cdot 235 = 35,5 \text{ Вт} \quad (2.17)$$

Таким чином, ефективну температуру структури в тепловому режимі, що встановився, можна визначити із співвідношення:

$$T_j = T_a + P_{\text{М про}} R_{\text{th}(j-c)} = 40 + 35,5 \cdot 0,18 = 75,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.18)$$

Температура структури в тривалому режимі роботи задовольняє умову $T_j < T_{\text{jm}}$ ($75,5 \text{ }^\circ\text{C} < 100 \text{ }^\circ\text{C}$), отже транзистор обраний правильно.

2.7 Розрахунок випрямляча

Нехай шпаруватість ШІМ-модуляції інвертора $\gamma = 0,95$. Таким чином, вхідна напруга інвертора визначається за формулою:

$$U_d = \frac{U_{\text{н МАХ}}}{\gamma} = \frac{311}{0,95} = 327 \text{ (В)}, \quad (2.19)$$

де $U_{\text{н МАХ}} = \sqrt{2}U_{\text{н}}$ - Амплітуда напруги на виході інвертора.

На вході інвертора працює випрямляч, отже, $U_{\text{вих}}$ випрямляча дорівнює $U_{\text{вх}}$ інвертора. Схема випрямлення – однофазна бруківка. Зберемо її на тиристорах. Виберемо робочий кут регулювання $\alpha = 30 \text{ }^\circ$.

Визначимо середнє значення струму вентильного елемента:

$$I_{\text{в}} = K_{\text{СТ}} \cdot I_d = \frac{I_d}{2} = \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ (А)}, \quad (2.20)$$

де $K_{\text{СТ}} = 0,5$ -коефіцієнт за струмом для однофазної схеми.

Якщо напруга $U_d = 220\text{В}$ відповідає куту регулювання $\alpha = 30^\circ$, то максимальна напруга на виході випрямляча при куті $\alpha = 0^\circ$ становитиме $U_{d_{\max}} = 247\text{ (В)}$.

Амплітудне значення напруги на вентилі визначається із співвідношення:

$$U_{vm} = K_{ch} U_d = 1,57 \cdot 327 = 514\text{(В)}, \quad (2.21)$$

де K_{ch} - коефіцієнт схеми за напругою для однофазної бруківки схеми. Значення імпульсної напруги, що повторюється, на вентилі визначається:

$$U_{rm} = K_p \cdot U_{vm} = 1,6 \cdot 514 = 822,4\text{(В)}, \quad (2.22)$$

де K_p – коефіцієнт запасу за напругою.

За параметрами I_B та U_{rm} вибираємо тиристори ТО232-25 фірми ВАТ «Електровипрямляч».

Його основні характеристики:

- 1) Повторювана імпульсна зворотна напруга $V_{rsm} = 600-1200\text{В}$;
- 2) Максимально допустимий середній струм у відкритому стані $I_{T(AV)}=25\text{А}$ при температурі 80° ;
- 3) Максимально допустимий діючий струм у відкритому стані $I_{TRMS}=63\text{А}$;
- 4) Порогова напруга тиристора $V_{T(TO)} = 1,14\text{ В}$;
- 5) Динамічний опір $r_T=4,7\text{ м}\Omega$;
- 6) Відмикаюча постійна напруга управління $V_{GT} = 2,5\text{ В}$;
- 7) Максимально допустима температура переходу $T_{j\max} = 100^\circ\text{С}$;
- 8) Тепловий опір перехід-корпус $R_{th(jc)} = 0,47^\circ\text{С/Вт}$;
- 9) Час вимкнення $t_q = 160\text{мс}$;

Проведемо тепловий розрахунок вибраних вентилів. Для визначення середньої потужності основних втрат у силових напівпровідникових приладах використовується рівняння [28-32]:

$$P_{AV} = U_{T(TO)} I_{\phi} + K_{\phi}^2 r_T I_{AV}^2 = 1,14 \cdot 2,25 + 4,7 \cdot 10^{-3} \cdot 25^2 \cdot 1,575^2 = 5,3 (Вт) \quad (2.23)$$

де $U_{T(TO)}$ і r_T - порогова напруга і динамічний опір вольт-амперної характеристики приладу у відкритому стані; $K_{\phi} = I_{RMS} / I_{AV} = 1,575$ - коефіцієнт форми струму, що визначається розрахунковим шляхом для конкретної схеми випрямляча та заданого кута регулювання.

На низьких частотах до 400 Гц основні втрати є визначальними, а додаткові втрати можуть бути враховані поправним коефіцієнтом $K_{доп} = 1,05$. Таким чином, повна потужність втрат у вентилі на низьких частотах визначається виразом:

$$P_{tot} = K_{доп} P_{AV} = 1,05 \cdot 5,3 = 5,56 (Вт). \quad (2.24)$$

Ефективна температура структури вентиля в тепловому режимі, що встановився, може бути визначена з достатньою для інженерних розрахунків точністю за формулою:

$$T_j = T_a + P_{tot} R_{th(j-c)} = 40 + 5,56 \cdot 0,47 = 42,6 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.25)$$

де T_a – температура навколишнього середовища.

Оскільки $T_j < T_{jm}$, то обраний тиристор підходить для роботи в даній схемі випрямляча, і запас температури досить великий. Однак, через брак іншого відповідного номіналу вентиля зупинимося на цьому, хоча він і недовикористовуватиметься.

Для охолодження тиристора застосуємо стандартний охолоджувач ДЖИЦ.648474.001, рекомендований фірмою-виробником тиристорів. Цей охолоджувач має такі параметри:

					КВРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			31

- 1) Тип – ДЖИЦ.648474.001;
- 2) Габаритні розміри (ширина x довжина x висота), мм - 170x250x170;
- 3) Маса, кг - 8,5;
- 4) Діаметр контактної поверхні, мм - 76;
- 5) Тепловий опір, °С/Вт (при швидкості повітря 6м/с) – 0,043;
- 6) Перепад тиску, Па - 35;

З усього різноманіття вентиляторів виберемо імпортований вентилятор фірми Jamicon, Kaimei Electronic Corp. JA-0825S22H. Його електричні та конструктивні параметри:

- 1) JA – вентилятор змінного струму;
- 2) Розмір рами, мм – 80x80;
- 3) Товщина корпусу (В, мм) - 25;
- 4) Тип підшипника - кульковий;
- 5) Номінальна напруга - 220В/50Гц;
- 6) Споживаний струм, А - 0,05;
- 7) Частота обертання - 2300об./хв.;
- 8) Продуктивність - 0,74 м³/хв.;
- 9) Шум - 29дБ/м
- 10) Наставний розмір - 71,5 мм;

Для захисту вентилятора застосовуємо захисні ґрати SM7240E фірми Jamicon.

Для спрощення складання перетворювача та для покращення аеродинамічних властивостей повітряного охолодження кожен охолоджувач укладаємо в окрему чотиригранну коробку, виготовлену з ізоляційного матеріалу. А вже ця коробка спеціальними кріпленнями кріпиться до стійок перетворювальної шафи.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			32

Розрахуємо потужність, яку здатний розсіяти цей охолоджувальний блок. Для спрощення прийmemo, що тепло поширюється від охолоджувача в довкілля лише шляхом конвекції. Математичний конвективний теплообмін підпорядковується закону:

$$P_n = \alpha_K S_s (T_s - T_a), \quad (2.26)$$

де P_n - Теплова потужність, яку радіатор повинен розсіяти в навколишньому просторі; S_s – площа поверхні радіатора;

T_s – температура радіатора;

T_a – температура навколишнього середовища;

$\alpha_{до}$ - коефіцієнт конвективного теплообміну між радіатором та середовищем.

Тепловий опір - величина, зворотна до твору площі поверхні радіатора на коефіцієнт теплообміну:

$$R_{SA} = \frac{1}{\alpha_K S_s}. \quad (2.27)$$

Ця величина відома за довідковими даними, то потужність розсіювання ми можемо обчислити за такою формулою:

$$P_n = \frac{T_s - T_a}{R_{SA}} = \frac{100 - 40}{0,47} = 127 (Вт). \quad (2.28)$$

Таким чином, обраного блоку охолодження цілком достатньо для відведення від тиристора потужності, що виділяється на ньому.

В інверторі всі шість силових IGBT модулів розташуємо на одному охолоджувачі. Конфігурація його профілю представлена рисунку 2.7.

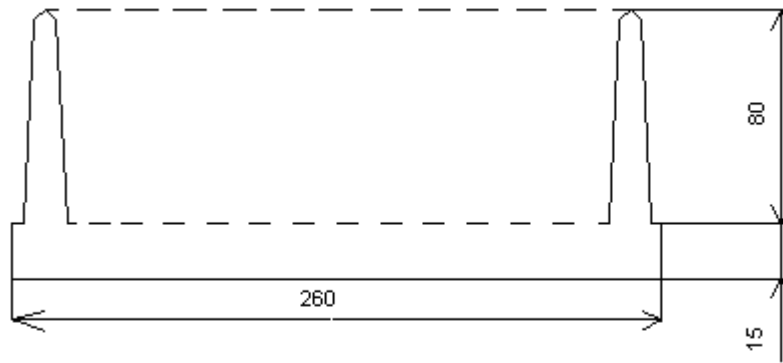


Рисунок 2.7 – Конфігурація профілю охолоджувача блоку інвертора

Кожен модуль IGBT виділяє у вигляді тепла до 35,5 Вт. Таким чином, загальні теплові втрати всього вентиляного блоку визначаються співвідношенням:

$$P_{\Sigma} = 4 \cdot P_{\text{Мод}} = 4 \cdot 35,5 = 140 \text{ Вт.} \quad (2.29)$$

Тепловий опір охолоджувача дорівнює:

$$R_{SA} = \frac{T_S - T_A}{P_{\Sigma}} = \frac{100 - 40}{140} = 0,4^{\circ} \text{C} / \text{Вт.} \quad (2.30)$$

Візьмемо охолоджувач із профілем О56 розмірами (260x250x80)мм фірми ВАТ “Електровипрямляч”. Для створення повітряного потоку використовуємо вентилятор JF-1225S1H фірми Jamicon. Як і для охолоджувачів випрямляча охолоджувач інвертора зробимо закритим блоком

2.8 Розрахунок коректора потужності

Коректор коефіцієнта потужності є бустерний перетворювач, який може працювати в режимі, прикордонному з режимом розривних струмів. Отже для пікового значення струму дроселя можна записати:

$$I_{in} = \frac{(U_{out} - U_{in})(1 - D)}{L \cdot f} ; \quad (2.31)$$

$$I_{in} = \frac{(220V - 170V)(1 - 0.26)}{0.000005Гн \cdot 100000Гц} = 7,4А$$

У звичайній схемі бустерної перетворювача частота перетворювача f залишається постійною. Коректор працює в режимі автогенерації з частотою, що змінюється, і шпаруватістю керуючих сигналів. Тому як опорна частота ми змушені прийняти середню частоту, яка вказується як рекомендована для розрахунків. У цьому проекті застосовується мікросхема UC3854 фірми UNITRODE. Враховуючи що

$$\frac{U_{in}}{U_{out}} = 1 - D , \quad (2.32)$$

Вираз (2.32) може бути записаний у наступному вигляді:

$$L = \frac{(U_{out} - U_{in}) \cdot U_{in}}{I_{in} \cdot f \cdot U_{out}} \quad (2.33)$$

Оскільки коректор наближає форму струму, що споживається до синусоїдальної, ми можемо зв'язати струм і напруга в навантаженні зі струмом і напругою мережі через споживану потужність, потім обчислити величину індуктивності. Рекомендується користуватися наступною розрахунковою формулою:

$$P_{out} = \frac{U_{in} \cdot I_{in}}{2} = U_{out} \cdot I_{in} ; \quad (2.34)$$

$$P_{out} = \frac{U_{in1} \cdot I_{in}}{2} = 220 \cdot 7,4 = 1,6 \text{ кВт}$$

Остаточно, враховуючи вирази (2.32) та (2.34):

$$L = \frac{U^2 in}{4Pout} \cdot \frac{1}{f} \cdot \left(1 - \frac{Uin}{Uout}\right) \cdot \eta, \quad (2.35)$$

де η - ККД коректора, що приймається рівним 0,9 ... 0,95.

$$L = \frac{28900}{6400} \cdot \frac{1}{100000} \cdot \left(1 - \frac{170}{220}\right) \cdot 0,93 = 0,03 \text{ мГн}$$

Вираз (2.35) забезпечує розрахунок величини індуктивності з урахуванням розривних струмів. Щоб перевести коректор режим нерозривних струмів, необхідно врахувати наявність максимального струму дроселя (ΔIin). Рекомендується прийняти значення амплітуди коливань струму дроселя близько 40% від максимального значення, тоді величина індуктивності для безперервного режиму струму дроселя розраховується за формулою:

$$L = 1,75 \cdot \frac{U^2 in}{Pout} \cdot \frac{1}{f} \cdot \left(1 - \frac{Uin}{Uout}\right) \cdot \eta \quad (2.36)$$

$$L = 1,75 \cdot \frac{28900}{1600} \cdot \frac{1}{100000} \cdot \left(1 - \frac{170}{220}\right) \cdot 0,93 = 0,04 \text{ мГн}$$

Величина максимального струму через індуктивність, яка буде потрібна для конструктивного розрахунку дроселя, може бути визначена з виразу:

$$I_{max} = 1,7 \cdot \frac{Pout}{Uin} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (2.37)$$

$$I_{max} = 1,7 \cdot \frac{1600}{170} \cdot \frac{1}{0,93} = 17,2 \text{ А}$$

Визначити величину конденсатора C_{out} , що фільтрує, можливо з умови обмеження амплітуди коливань напруги U_{out} . У зв'язку з цим задаються амплітудою коливань вихідної напруги U_{out} і проводять обчислення за формулою:

$$C_{out} \geq \frac{P_{out}}{2 \cdot \pi \cdot f_{in} \cdot U_{out} \cdot \Delta U_{out}}, \quad (2.38)$$

$$C_{out} \geq \frac{1600}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 220 \cdot 50} = 0,005 \text{ мкФ}$$

де f_{in} - вхідна частота коректора, що становить 50 Гц.

Транзистор необхідно брати з пробивною напругою не менше 500В на напругою, і струмом колектора не менше 25А.

Параметри транзистора:

- 1) Пробивна напруга "колектор-емітер" $V_{ces} = 600 \text{ В}$;
- 2) Постійний струм колектора $I_c = 25 \text{ А}$;
- 3) Імпульсний струм колектора (тривалістю 1мс) $I_{cm} = 50 \text{ А}$;
- 4) Напруга насичення колектор-емітер $V_{Cesat} = 1.95 \text{ В}$;
- 5) Час включення $t_{ON} = 0.15 \text{ мкс}$;
- 6) Час затримки вимикання $t_s = 0.026 \text{ мкс}$;
- 7) Час спаду $t_f = 0.03 \text{ мкс}$;
- 8) Тепловий опір перехід-корпус $R_{th(jc)} = 0.280 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$;
- 9) Максимально допустима температура переходу $T_{jmax} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$;
- 10) Напруга пробою ізоляції між висновками та основою (ефективне значення) $V_{isol} = 2500 \text{ В}$;

2.9 Розрахунок трансформатора

Випрямлена напруга: $U_d = 220\text{В}$; щаблі 3 діаметр 8

Номінальний струм: $4,5\text{А}$;

Напруга мережі живлення: $U_{1Л} = 220\text{В}$;

Частота мережі живлення: $f = 50\text{Гц}$;

Відхилення напруги мережі живлення: $\Delta U = +20\% \div (-20\%)$;

Враховуючи потужність проектованого випрямляча ($P_d = 1\text{кВт}$) величину випрямленої напруги ($U_d = 220\text{В}$), коефіцієнт пульсації випрямленої напруги ($\beta = 3\%$) і схему випрямлення (однофазна бруківка), задаємо нахил зовнішньої характеристики $A = 1,1$. Тоді для відомої випрямленої напруги через прийнятий коефіцієнт нахилу обчислимо напругу холостого ходу випрямляча при зниженій, номінальній і підвищеній напрузі мережі:

$$(U_{d0})_{-\Delta U_c} = U_d \cdot A = 220\text{В} \cdot 1,1 = 241\text{В}; \quad (2.39)$$

$$(U_{d0}) = \frac{U_d \cdot A}{1 + (-\Delta U)} = \frac{220\text{В} \cdot 1,1}{1 - 0,2} = 303\text{В}; \quad (2.40)$$

$$(U_{d0})_{+\Delta U_c} = \frac{U_d \cdot A \cdot (1 + (+\Delta U))}{1 + (-\Delta U)} = \frac{220\text{В} \cdot 1,1 \cdot (1 + 0,2)}{1 - 0,2} = 363\text{В}; \quad (2.41)$$

Різниця між максимальною можливою напругою на виході випрямляча і стабілізованою напругою, є глибина регулювання силового перетворювача:

$$(\Delta U_{d\alpha})_{\max} = (U_{d0})_{+\Delta U_c} - U_d = 363\text{В} - 220\text{В} = 143\text{В}; \quad (2.42)$$

Косинус максимального кута регулювання обчислюється за такою формулою:

$$\cos \alpha_{\max} = 1 - \frac{(\Delta U_{d\alpha})_{\max}}{(U_{d0})_{+\Delta U_c}} = 1 - \frac{143\text{В}}{363\text{В}} = 0,6; \quad (2.43)$$

$$\alpha_{\max} = \arccos(\cos \alpha_{\max}) = \arccos 0,6 = 53^\circ;$$

Реальний кут регулювання $\alpha_{\max P}$ більше α_{\max} величину початкового кута регулювання α_0 , який приймається рівним $5 \div 10$ град. ел. Причому велику величину приймають для нижчих випрямлених напруг.

$$\alpha_{\max P} = \alpha_{\max} + \alpha_0 = 53^\circ + 5^\circ = 58^\circ; \quad (2.44)$$

Напруга вторинних обмоток трансформатора визначається за випрямленою напругою холостого ходу при номінальній напрузі мережі живлення:

$$U_{2\phi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot (U_{d0}) = 1,11 \cdot 303B = 336,3B; \quad (2.45)$$

Діюче значення струму вторинної обмотки трансформатора визначається за середнім значенням випрямленого струму в номінальному режимі:

$$I_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot I_d = 1,1 \cdot 4,5A = 4,9A; \quad (2.46)$$

Габаритна потужність силового трансформатора:

$$S_T = k_T \cdot (U_{d0}) \cdot I_d = 1,11 \cdot 303B \cdot 4,5A \approx 1500BA; \quad (2.47)$$

Величину струму первинної обмотки обчислимо через габаритну потужність трансформатора та напругу, прикладену до первинної обмотки:

$$I_1 = \frac{S_T}{m_1 \cdot U_{1\phi}} = \frac{1500BA}{1 \cdot 220B} = 6,8A; \quad (2.48)$$

де m_1 – фазність первинної обмотки;

Потужність, що припадає на один стрижень:

$$S_{CT} = \frac{S_{\Gamma}}{2} = \frac{1500BA}{2} = 750BA; \quad (2.49)$$

Виходячи з фазності живильної мережі та схеми випрямлення, вибираємо, стрижневий трансформатор.

Вибираємо марку сталі магнітопроводу 3413 і обчислимо попереднє значення ЕРС одного витка:

$$e'_w = k_0 \sqrt{\frac{f}{50} \cdot \left(\frac{G_c}{G_M}\right) \cdot \frac{B_c}{j_M} \cdot S_{\Gamma}} = 0,39 \sqrt{\frac{50}{50} \cdot 2,5 \cdot \frac{1,3}{2,5} \cdot 15} = 1,7B / вит; \quad (2.50)$$

де k_0 – конструктивний коефіцієнт;

$\frac{G_c}{G_M}$ – Відношення маси сталі до маси міді; B_c – індукція у стрижні;

j_M – Щільність струму в обмотках;

Число витків первинної та вторинної обмоток:

$$w_1 = \frac{U_{1\phi}}{e'_w} = \frac{220B}{1,7B / вит} = 129вит; \quad w_2 = \frac{U_{2\phi}}{e'_w} = \frac{336,3B}{1,7B / вит} = 197вит; \quad (2.51)$$

Уточнимо коефіцієнт трансформації та число вольт на виток:

$$k_T = \frac{w_1}{w_2} = \frac{129вит}{197вит} = 0,65; \quad (2.52)$$

$$e_w = \frac{U_{1\phi}}{w_1} = \frac{220B}{129вит} = 1,7B / вит; \quad (2.53)$$

Визначимо переріз стрижня та діаметр кола, описаного навколо нього:

$$Q_c = \frac{45}{B_c} \cdot \frac{50}{f} \cdot e_w = \frac{45}{1,3} \cdot \frac{50}{50} \cdot 1,7 = 59 \text{ см}^2; \quad (2.54)$$

$$D_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{Q_c}{K_c \cdot K_{кр}}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{59 \text{ см}^2}{0,94 \cdot 0,910}} = 10 \text{ см}; \quad (2.55)$$

де K_c - коефіцієнт заповнення перерізу отвору сталлю;

$K_{кр}$ - коефіцієнт заповнення площі кола сердечника.

Вибираємо внутрішній діаметр ізолюючого циліндра $D_{цвн} = D_0 = 10 \text{ см}$, при цьому умови циліндр щільно сидітиме на стрижні.

Вибираємо ізоляційні відстані рівними:

$$a_{01} = a_{12} = 1 \text{ см}; \quad l_{01} = l_{02} = 1,5 \text{ см};$$

де a_{01} - відстань від внутрішньої поверхні первинної обмотки до виступаючої частини стрижня;

a_{12} - Відстань від зовнішньої поверхні первинної обмотки до внутрішньої поверхні вторинної обмотки;

l_{01}, l_{02} - Відстань від котушок до ярма;

Попередні геометричні розміри обмоток дорівнюють:

Радіальна товщина первинної обмотки:

$$\delta_1 = k_1 k_2 \sqrt[4]{S_{Г}} = 1,1 \cdot 0,75 \cdot \sqrt[4]{15} = 1,62 \text{ см}; \quad (2.56)$$

Радіальна товщина вторинної обмотки:

$$\delta_2 = 3k_2 \sqrt[4]{S_{СТ}} - \delta_1 = 3 \cdot 0,75 \cdot \sqrt[4]{7,5} - 1,62 = 2,8 \text{ см};$$

Діаметри обмоток:

$$D_{1CP} = D_{1IH} + \delta_1 = 12\text{см} + 1,62\text{см} = 13,5\text{см}; \quad (2.57)$$

$$D_{1H} = D_{1IH} + 2\delta_1 = 12\text{см} + 2 \cdot 1,62\text{см} = 15\text{см}; \quad D_{2BH} = D_{1H} + 2a_{12} = 15\text{см} + 2 \cdot 1\text{см} = 17\text{см};$$

$$D_{2CP} = D_{2BH} + \delta_2 = 17\text{см} + 2,8\text{см} = 20\text{см};$$

$$D_{2H} = D_{2BH} + 2\delta_2 = 17\text{см} + 2 \cdot 2,8\text{см} = 23\text{см};$$

$$D_{12} = \frac{D_{1CP} + D_{2CP}}{2} = \frac{13,5\text{см} + 20\text{см}}{2} = 17\text{см}; \quad (2.58)$$

Середня довжина витка обмоток:

$$l_{12W} = D_{12} \cdot \pi = 17\text{см} \cdot \pi = 53,5\text{см}; \quad (2.59)$$

Висота катушок:

$$l = l_1 = l_2 = \frac{8 \cdot f \cdot S_{\Gamma} \cdot l_{12W} \cdot \delta_P \cdot k_P}{U_{KP\%} \cdot e_w^2 \cdot 2} \cdot 10^{-3} = \frac{8 \cdot 50 \cdot 15 \cdot 53,5 \cdot 3,2 \cdot 0,910}{5 \cdot 1,7^2 \cdot 2} \cdot 10^{-3} = 18\text{см};$$

$$\text{де } \delta_P = a_{12} + \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} = 1\text{см} + \frac{1,62\text{см} + 2,8\text{см}}{2} = 3,2\text{см};$$

де k_P - Коефіцієнт приведення ідеального поля розсіювання до дійсного;

$U_{KP\%}$ - відносне значення реактивної складової напруги короткого замикання;

Довжина стрижня магнітопроводу:

$$l_C = l + 2l_{01} = 18\text{см} + 2 \cdot 1,5\text{см} = 21\text{см}; \quad (2.60)$$

Перетин витка первинної обмотки для циліндричного дроту круглого перерізу:

$$q_1' = \frac{I_1}{j_M} = \frac{6,8A}{2,5A/мм^2} = 2,7мм^2; \quad (2.61)$$

Оскільки $q_1' > 1мм^2$, то обмотку виконаємо з дротів $m_N = 1$. Виберемо мідний нагрівостійкий провід ПСД зі скловолокнистою ізоляцією круглого перерізу за ДСТУ 7019-80 з наступними параметрами:

$$d = 3,53мм; \quad q_{M1} = 9,790мм^2; \quad D - d = 0,33мм;$$

Знайдемо дійсну щільність струму в обмотці:

$$j_1 = \frac{I_1}{m_N \cdot q_{M1}} = \frac{6,8A}{1 \cdot 9,79мм^2} = 0,75A/мм^2; \quad (2.62)$$

Число шарів первинної обмотки та кількість витків у шарі:

$$n_1 = \frac{w_1}{W'_{СЛ1}} = \frac{129}{15} \approx 9; \quad (2.63)$$

$$w_{СЛ1} = \frac{w_1}{n_1} = \frac{129}{9} \approx 14вит; \quad (2.64)$$

Остаточні розміри первинної обмотки дорівнюють:

Остаточню уточнимо значення:

$$D_{1CP} = D_{ЦН} + \delta_{K1} = 12см + 3,9см = 16см;$$

$$D_{1H} = D_{ЦН} + 2 \cdot \delta_{K1} = 12см + 2 \cdot 3,9см = 20см;$$

$$l_{W1} = \pi \cdot D_{1CP} = \pi \cdot 16см = 50см;$$

Маса міді обмотки:

$$G_{M1} = m_N J_M \cdot w_1 \cdot q_{M1} \cdot l_{w1} \cdot 10^{-5} = 3 \cdot 8,9 \cdot 129 \cdot 9,7 \cdot 50 \cdot 10^{-5} = 4,7 \text{ кг}; \quad (2.65)$$

де J_M – щільність матеріалу обмотки;

Втрати у первинній обмотці:

$$P_{M1} = k_q \cdot \rho_M \cdot j_1^2 \cdot G_{M1} = 1,02 \cdot 2,41 \cdot 2,3^2 \cdot 4,7 = 61 \text{ Вт}; \quad (2.66)$$

де k_q - коефіцієнт додаткових втрат, рівний при $f = 50 \text{ Гц}$ 1,01-1,02

ρ_M - питомі втрати міді.

Перетин витка вторинної обмотки:

$$q_2' = \frac{I_2}{j_M} = \frac{4,9 \text{ А}}{3,5 \text{ А/мм}^2} = 1,4 \text{ мм}^2; \quad (2.67)$$

Виберемо мідний нагрівостійкий провід ПСД зі скловолокнистою ізоляцією круглого перерізу за ДСТУ 7019-80 з наступними параметрами:

$$d = 3,05 \text{ мм}; \quad q_{M2} = 7,310 \text{ мм}^2; \quad D - d = 0,33 \text{ мм};$$

Знайдемо дійсну щільність струму в обмотці:

$$j_2 = \frac{I_2}{m_N \cdot q_{M1}} = \frac{4,9 \text{ А}}{1 \cdot 7,31 \text{ мм}} = 0,7 \text{ А/мм}^2; \quad (2.68)$$

Число шарів вторинної обмотки та кількість витків у шарі:

$$w_{сл2} = \frac{w_2}{n_2} = \frac{197}{8} \approx 25 \text{ вит}; \quad (2.69)$$

Остаточні розміри вторинної обмотки дорівнюють:

Остаточню уточнимо значення:

$$D_{2BH} = D_{1H} + 2a_{12} = 20\text{см} + 2 \cdot 3\text{см} = 26\text{см};$$

$$D_{2CP} = D_{2BH} + \delta_2 = 26\text{см} + 3\text{см} = 29\text{см};$$

$$D_{2H} = D_{2BH} + 2\delta_2 = 26\text{см} + 2 \cdot 3\text{см} = 32\text{см};$$

$$l_{w2} = \pi \cdot D_{2CP} = \pi \cdot 26\text{см} = 69\text{см};$$

Маса міді вторинної обмотки:

$$G_{M2} = m_n J_M \cdot w_2 \cdot q_{M2} \cdot l_{w2} \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 8,9 \cdot 197 \cdot 7,3 \cdot 69 \cdot 10^{-5} = 5,6\text{кг}; \quad (2.70)$$

Повна маса міді обмоток:

$$G_M = G_{M1} + G_{M2} = 4,7\text{кг} + 5,6\text{кг} = 10,3\text{кг}; \quad (2.71)$$

Втрати у вторинній обмотці:

$$P_{M2} = k_q \cdot \rho_M \cdot j_2^2 \cdot G_{M2} = 1,02 \cdot 2,41 \cdot 3,4^2 \cdot 5,6 = 156\text{Вт}; \quad (2.79)$$

Втрати короткого замикання:

$$P_K = k_q (P_{M1} + P_{M2}) = 1,02 \cdot (61 + 156) = 219\text{Вт}; \quad (2.73)$$

Напруга короткого замикання:

Активна складова:

$$U_{KA} = \frac{P_K}{10 \cdot S_T} = \frac{219\text{Вт}}{10 \cdot 15\text{кВА}} \cdot 100\% = 0,3\%; \quad (2.74)$$

Реактивна складова:

$$U_{KP} = \frac{7,92 \cdot f \cdot S_{CT} \cdot l_w \cdot \delta_p \cdot k_p \cdot 10^{-3}}{l_2 \cdot e_w^2} = \frac{7,92 \cdot 50 \cdot 15 \cdot 59,5 \cdot 4,5 \cdot 0,96 \cdot 10^{-3}}{18 \cdot 1,7^2} = 7,6\%; \quad (2.75)$$

$$\text{де } l_w = \frac{l_{w1} + l_{w2}}{2} = \frac{50\text{см} + 69\text{см}}{2} = 59.5\text{см};$$

$$\delta_p = a_{12} + \frac{\delta_{k1} + \delta_{k2}}{2} = 1\text{см} + \frac{4\text{см} + 3\text{см}}{2} = 4,5\text{см};$$

$$k_p = 1 - \frac{a_{12} + \delta_{k1} + \delta_{k2}}{\pi \cdot l_{k2}} = 1 - \frac{1 + 3,9 + 3}{\pi \cdot 18} = 0,96\text{см};$$

Повна напруга короткого замикання:

$$U_K = \sqrt{U_{KA}^2 + U_{KP}^2} = \sqrt{(0,3\%)^2 + (7,6\%)^2} = 7,6\%; \quad (2.76)$$

Активний та реактивний опір короткого замикання:

$$R_K = \frac{U_{KA} \cdot U_1}{100\% \cdot I_1} = \frac{0,5\% \cdot 220\text{В}}{100\% \cdot 6,8\text{А}} = 0,16\text{Ом};$$

$$X_K = \frac{U_{KP} \cdot U_1}{100\% \cdot I_1} = \frac{7,6\% \cdot 220\text{В}}{100\% \cdot 6,8\text{А}} = 0,24\text{Ом}; \quad (2.77)$$

Розрахуємо магнітну систему.

Розміри щаблів стрижня, що забезпечують максимальне заповнення площі кола площею ступінчастої фігури визначимо за формулами:

$$a_1 = 0,355D_0 = 0,355 \cdot 10\text{см} = 3,5\text{см};$$

$$a_2 = 0,6D_0 = 0,6 \cdot 10\text{см} = 6\text{см};$$

$$a_3 = 0,8D_0 = 0,8 \cdot 10\text{см} = 8\text{см}; \quad (2.78)$$

$$a_4 = 0,935D_0 = 0,935 \cdot 10\text{см} = 9,5\text{см};$$

Товщину пакетів обчислимо за формулами:

$$b_1 = 0,5(a_4 - a_3) = 0,5(9,5\text{см} - 8\text{см}) = 1\text{см};$$

$$b_2 = 0,5(a_3 - a_2) = 0,5(8\text{см} - 6\text{см}) = 1\text{см};$$

$$b_3 = 0,5(a_2 - a_1) = 0,5(6\text{см} - 3,5\text{см}) = 1,5\text{см};$$

$$b_4 = 0,5a_1 = 0,5 \cdot 5\text{см} = 2\text{см}; \quad (2.79)$$

Площа перерізу стрижня:

					КВРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			46

$$Q_{\phi} = 2 \cdot \sum_{i=1}^4 a_i \cdot b_i = 2 \cdot (3,5\text{см} \cdot 1\text{см} + 6\text{см} \cdot 1\text{см} + 8\text{см} \cdot 1,5\text{см} + 9,5\text{см} \cdot 2\text{см}) = 81\text{см}^2; \quad (2.80)$$

Активний переріз стрижня:

$$Q_C = K_C \cdot Q_{\phi} = 0,94 \cdot 145\text{см}^2 = 75\text{см}^2; \quad (2.81)$$

де K_C - коефіцієнт заповнення сталлю.

Чинне значення індукції у стрижні:

$$B_C = \frac{45}{Q_C} \cdot \frac{50}{f} \cdot e_w = \frac{45}{75} \cdot \frac{50}{50} \cdot 1,7 = 1,2\text{Тл}; \quad (2.82)$$

Активна площа перерізу ярма:

$$Q_{Я} = K_{Я} \cdot Q_C = 1,15 \cdot 75\text{см}^2 = 86\text{см}^2; \quad (2.83)$$

де $K_{Я}$ - Коефіцієнт посилення ярма;

Геометричні розміри прямокутного ярма: Ширина ярма:

$$b_{Я} = 2 \cdot \sum_{i=1}^4 b_i = 2 \cdot (1\text{см} + 1,5\text{см} + 2\text{см} + 1\text{см}) = 11\text{см}; \quad (2.84)$$

Висота ярма:

$$h_{Я} = \frac{Q_{Я}}{K_C \cdot b_{Я}} = \frac{86\text{см}^2}{0,94 \cdot 11\text{см}} = 8,5\text{см}; \quad (2.85)$$

Індукція у ярмі:

$$B_{Я} = B_C \cdot \frac{Q_C}{Q_{Я}} = 1,2\text{Тл} \cdot \frac{75\text{см}^2}{86\text{см}^2} = 1,1\text{Тл}; \quad (2.86)$$

Остаточні розміри сердечника:

					КВРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			

Довжина стрижня:

$$l_C = l_K + 2 \cdot l_0 = 18 \text{ см} + 2 \cdot 1,5 \text{ см} = 21 \text{ см}; \quad (2.87)$$

Відстань між осями сусідніх стрижнів:

$$L_C = D_{2H} + a_{21} = 23,5 \text{ см} + 1 \text{ см} = 24,5 \text{ см}; \quad (2.88)$$

Маса сталі стрижнів:

$$G_{CC} = \gamma_C \cdot S \cdot Q_C \cdot l_C \cdot 10^{-3} = 7,65 \text{ г/см}^3 \cdot 2 \cdot 75 \text{ см}^2 \cdot 21 \text{ см} \cdot 10^{-3} = 14 \text{ кг}; \quad (2.89)$$

де γ_C – щільність сталі;

Маса сталі ярма:

$$\begin{aligned} G_{CЯ} &= 2 \cdot \gamma_C [(S-1)Q_{Я} \cdot L_C + Q_C \cdot h_{Я}] \cdot 10^{-3} = \\ &= 2 \cdot 7,65 \text{ г/см}^3 \cdot [1 \cdot 86 \text{ см}^2 \cdot 24,5 \text{ см} + 75 \text{ см}^2 \cdot 8,5 \text{ см}] \cdot 10^{-3} = 12,3 \text{ кг}; \end{aligned} \quad (2.90)$$

Повна маса сталі осердя:

$$G_C = G_{CC} + G_{CЯ} = 14 \text{ кг} + 12,3 \text{ кг} = 26,3 \text{ кг}; \quad (2.91)$$

Перевіримо раніше прийняте співвідношення:

$$\left(\frac{G_C}{G_M} \right) = \frac{26,3 \text{ кг}}{10,3} \approx 2,5; \quad (2.92)$$

Визначимо масу сталі ярм, що припадає на «вузли» сердечника:

$$G_{Я}^I = 6 \cdot \gamma_C \cdot b_{Я} \cdot h_{Я} \cdot D_0 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 7,65 \text{ г/см}^3 \cdot 11 \text{ см} \cdot 8,5 \text{ см} \cdot 10 \text{ см} \cdot 10^{-3} = 9 \text{ кг}; \quad (2.93)$$

Повні втрати в сталі сердечника:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= P_{CC} + P_{CЯ} = P_C \cdot G_{CC} + P_{Я} \cdot (G_{CЯ} - G'_{Я}) + P_Y = \\
 &= 1,3 \text{ Вт/к}\Omega \cdot 14 \text{ к}\Omega + 0,97 \text{ Вт/к}\Omega (12 \text{ к}\Omega - 9 \text{ к}\Omega) + 26 \text{ Вт} = 47 \text{ Вт};
 \end{aligned}
 \tag{2.94}$$

Коефіцієнт корисної дії трансформатора в номінальному режимі:

$$\begin{aligned}
 \eta_T &= \left(1 - \frac{P_K + P_0}{10^3 \cdot S_{\Gamma} + P_K + P_0} \right) \cdot 100\% = \\
 &= \left(1 - \frac{219 \text{ Вт} + 47 \text{ Вт}}{7,5 \text{ кВА} + 219 \text{ Вт} + 47 \text{ Вт}} \right) \cdot 100\% = 97\%
 \end{aligned}
 \tag{2.95}$$

Температура нагрівання обмоток трансформатора:

$$\begin{aligned}
 \Theta_T &= \frac{P_K + P_0}{\alpha \cdot (S_O + S_S)} + \Delta\Theta_c + T_{o.c.} = \\
 &= \frac{219 + 47}{20 \cdot 10^{-4} (2383 + 3454)} + 10 + 30 = 62^\circ\text{C};
 \end{aligned}
 \tag{2.96}$$

де $\Delta\Theta_c$ – перепад температури від внутрішніх шарів обмоток до зовнішніх;

$$S_O = K \cdot S \cdot \pi \cdot D_{2H} \cdot l_2 = 0,85 \cdot 1 \cdot \pi \cdot 23,5 \text{ см} \cdot 18 \text{ см} = 2383 \text{ см}^2 - \text{ відкрита поверхня}$$

обмоток;

K - коефіцієнт, що враховує відкриту поверхню котушок;

$$\begin{aligned}
 S_S &= 2(b_{Я} + 2h_{Я})(2L_c + D_0) + 4b_{Я} \cdot h_{Я} = \\
 &= 2(11 \text{ см} + 2 \cdot 8,5 \text{ см})(2 \cdot 24,5 \text{ см} + 10 \text{ см}) + 4 \cdot 11 \text{ см} \cdot 8,5 \text{ см} = 3454 \text{ см}^2
 \end{aligned}$$

- відкрита поверхня осердя трансформатора;

Максимально допустима температура ізоляції обмотувальних проводів становить 155°C (клас нагрівостійкості F) що перевищує температуру обмоток в режимі (62°C), а отже марка проводу (ПСД) обрана правильно.

2.10 Висновки до другого розділу

Проведена розробка схеми електричної структурної. Наведено схеми окремих вузлів.

Проведені розрахунки складових елементів схеми та електромагнітних елементів. Виходячи із проведених розрахунків обрано конструктивні параметри елементів схеми та трансформатора.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			50

Діаграми роботи схеми (рисунок 3.7).

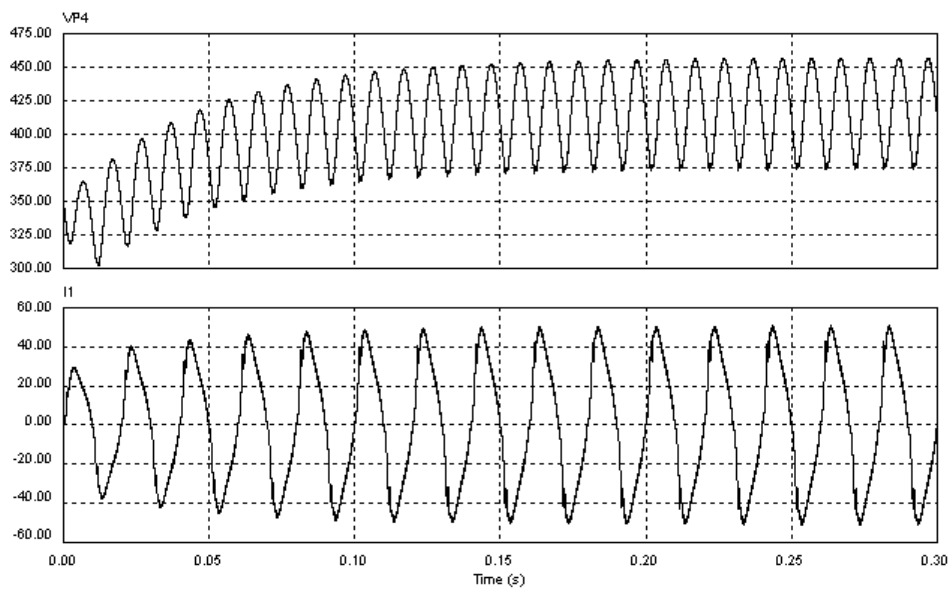


Рисунок 3.7 - Графіки струму мережі та вихідної напруги

Напруга стабілізується коректором лише на рівні 400 В (рисунок 3.8 та 3.9).

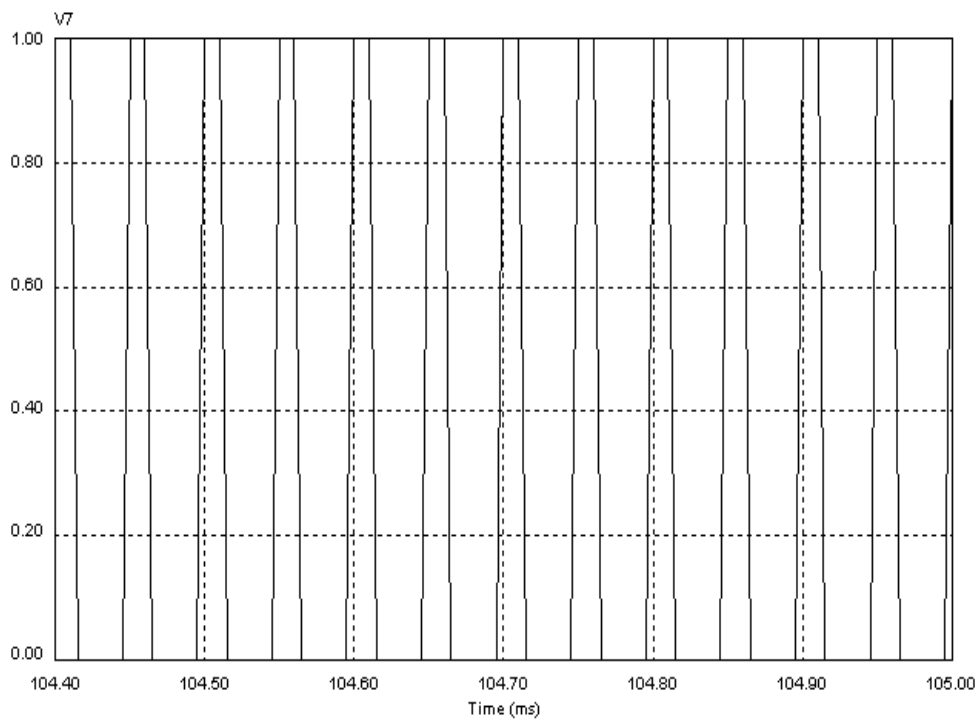


Рисунок 3.8 - Імпульси керування транзистором

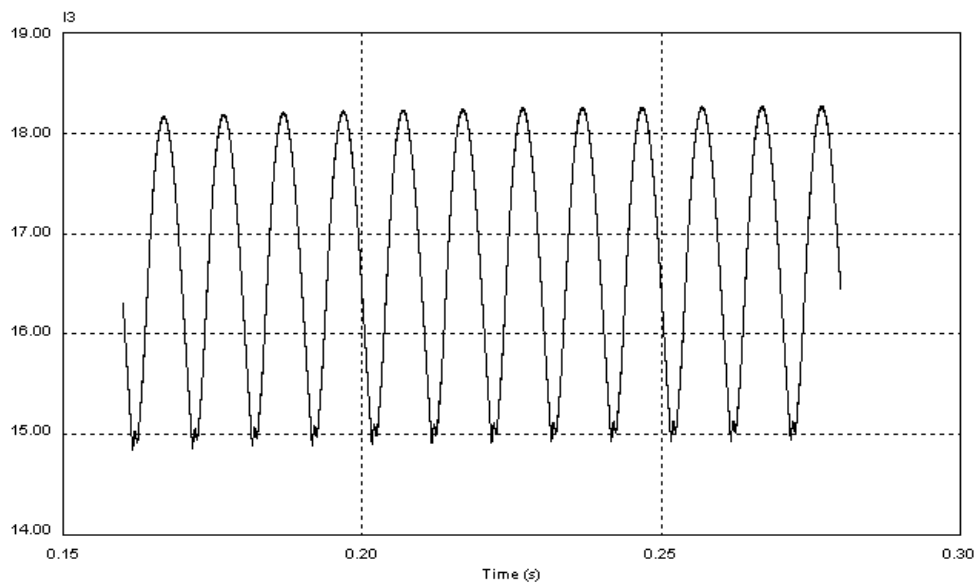


Рисунок 3.9 - Графік струму навантаження

3.4 Моделювання схеми агрегату безперебійного живлення

Далі проведемо моделювання всієї схеми.

Модель агрегату безперебійного живлення (рисунок 3.10). [33-35]

Графіки наведено на рис. 3.11 та 3.12.

3.5 Висновки до третього розділу

Проведено математичне модулювання окремих складових та схеми в цілому розробленого джерела безперебійного живлення. Показано адекватність отриманих технічних характеристик схеми.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			60

ВИСНОВКИ

В ході роботи було розроблено джерело безперебійного живлення, яке має цифрове управління і призначене для захисту різного роду електронного обладнання від можливих проблем в електромережі.

Після аналізу схеми побудови існуючої аналогічної системи визначається та демонструється структурна схема, тобто обладнання має лінійно-інтерактивну структуру побудови, що дозволяє повністю вирішити вимоги до обладнання та певні технічні вимоги.

Електричні розрахунки визначають вимоги принципової електричної схеми для силових компонентів, зокрема силових перемикачів, діодів тощо. При цьому в процесі виконання робіт реалізовано відповідні технічні показники, що відповідають вимогам технічного завдання. А також забезпечує відповідний рівень якості продукції відповідно до визнаних стандартів.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			61

12. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування : Підручник / Ю.О. Остапенко. – К. : Задруга, 1999. – 424 с.
13. Жученко А.І. Математичні моделі цифрових систем керування: Навч. посібник / А.І. Жученко. – К.: ІЗМН, 1997. – 240 с.
14. Акопов, А. С. Імітаційне моделювання: підручник і практикум для академічного бакалаврату / А. С. Акопов. - К. : "Корнійчук", 2017. – 136с.
15. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : Підручник / М. С. Будіщев. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.
16. 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.
17. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / Ю. П. Колонтаєвський. - Київ : Каравела, 2006. - 384 с.
18. 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». -Київ : НТУУ «КПІ», 2015. - 314 с. - Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19099>.
19. Бойко В. І. Мікрокомп'ютерна техніка / В. І. Бойко, А. Т. Нельга. - 2-ге вид. - Київ : Науково-методичний центр вищої освіти, 2008. - 254 с.
20. Електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник / За ред. проф. В.Ф. Яковлева. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 329 с.
21. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої» для студентів спеціальності 092206 «Електричні машини та апарати» / Уклад.: Ю. С. Гришук, Т. П. Павленко. – Харків : ХДПУ, 1999. – 32 с.

22. Мікропроцесорна техніка : підручник / Ю. І. Якименко, Т. О. Терещенко, Є. І. Сокол та ін. / за ред. Т. О. Терещенко. – Київ : Політехнік, 2003. – 440 с.

23. Алексієв О. П. Мікроконтролери для транспортних і промислових застосувань.: архітектура та програмування : навч. посіб. / О. П. Алексієв, О. Б. Богаєвський, В. П. Волков. – Харків : ХНАДУ, 2004. – 156 с.

24. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої». – Ч. 2 : «Однокристальні мікро контролери» для студентів спеціальностей 092206 «Електричні машини та апарати» і 092205 «Електропобутова техніка» усіх форм навчання / уклад. Ю. С. Гришук. – Харків : НТУ «ХП», 2003. – 43 с.

25. Скорик Б.І., Астахов Д.С. Посібник до вивчення дисципліни «САПР пристроїв захисту інформації» -Д.: РРВ ДНУ ,2011.- 86 с.

26. IPC-A-600F -Acceptability of Printed Boards (Критерії приймання друкованих плат). - 1999. - 125 с.

27. IPC-D-390A Automated Design Guidelines (Посібник з автоматизованого проектування друкованих плат).

28. IPC-SM-782A Surface Mount Design and Land Patterns (Amend. 1 - 5/95) Посібник з проектування плат поверхового монтажу та контактних майданчиків. (Виправлення 1 - 5/95).

29. Altium Designer. : веб-сайт. URL: www.altium.com – офіційний сайт (дата звернення: 10.04.2023).

30. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Поліщук Є. С. та ін. Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с.

31. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: наук-навч. вид. в 3 т. Т. 2 / В. Вуйцік та ін.; за ред. З. Ю. Готри. Львів: Ліга-Прес, 2003. – 595 с.

32. Матвійків М. Д. та інш. Елементна база електронних апаратів: Підручник / М. Д. Матвійків, В. М. Когут, О. М. Матвійків. – 2-ге вид. – Львів:

Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 428 с.

33. Вуйцік В. та інш. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Наук.-навч. видання. В 3-х томах. Том 2/Вуйцік В., Готра З. Ю. , Готра О. З., Григор'єв В. В. та інш.; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2003. –595 с.

34. Вуйцік В. та інш. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Наук.-навч. видання. В 3-х томах. Том 3. Книга 1 / Вуйцік В., Готра З. Ю. , Готра О. З., Григор'єв В. В. та інш.; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2007. –249 с.

35. Вуйцік В. та інш. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Наук.-навч. видання. В 3-х томах. Том 3. Книга 2 / Вуйцік В., Готра З. Ю. , Готра О. З., Григор'єв В. В. та інш.; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2007. –367 с.

36. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки. В 2- томах. Том 2. Вимірювальна техніка. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 655 с.

37. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.

38. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.

39. Коруд В.І., Електротехніка: Підручник / В.І. Коруд, О.Є. Гамола, С.М. Малинівський; За заг. ред. В.І. Коруда. – 3-є вид., переробл. і доп. – Львів: Магнолія Плюс, 2006. – 447 с.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	65
		№ докум.	Підпис			

40. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів/ Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С Паранчук. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2004. - 404 с.

41. 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.

					КвРТР.2019004.01.04 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			66

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Верхотуров Денис Сергійович

Тема: Джерело безперебійного живлення з мікропроцесорним керуванням

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 66

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Проведено огляд методів побудови джерел безперебійного живлення. Розраховано основні блоки. Промодельовано роботи схеми та її окремих вузлів
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: У першому розділі кваліфікаційної роботи обґрунтовано вибір напряму проведення розробки. Показано необхідність створення пристрою, що забезпечував безперебійне живлення за відсутності зовнішнього живлення. Встановлені технічні характеристики розроблюваного пристрою, до яких відносяться вхідна напруга, частота, вихідна потужність, стабільність частоти і напруги та інші. Розглянуті принципи побудови схем джерел безперебійного живлення. Описано структурні схеми ДБЖ типу Line-Interactive та ДБЖ типу On-Line. Визначено переваги і недоліки схем. У другому розділі кваліфікаційної роботи проведена розробка схеми електричної структурної. Наведено схеми окремих вузлів. Проведені розрахунки складових елементів схеми та електромагнітних елементів. Виходячи із проведених розрахунків обрано конструктивні параметри елементів схеми та трансформатора. У третьому розділі кваліфікаційної роботи проведено математичне моделювання окремих складових та схеми в цілому розробленого джерела безперебійного живлення. Показано адекватність отриманих технічних характеристик схеми.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: наявні граматичні та стилістичні помилки

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

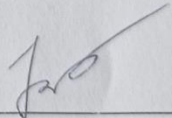
7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,00/5)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Біла Т.В., доцент
кафедри фізики та електротехніки, ХНУ

“19” 06 2023 р.

 (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
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: Джерело безперебійного живлення з мікропроцесорним керуванням

Автор: Верхотуров Денис Сергійович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

Науковий керівник: д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). 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 (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). 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 та 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.

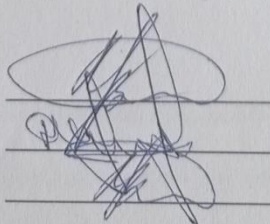
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 3,6% і адресується до 148 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

19.06.2023 р.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Денис МАКАРИШКІН

Валерій МАРТИНЮК

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

Верхотуров Д. С.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи ТР1-19-1

ЗАЯВА

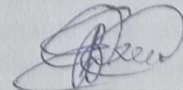
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, 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.

06.06.2022

дата



підпис