

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

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

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

на тему Джерело живлення елек. розриває постійного струму

Виконав: студент 5 курсу, групи 6.1719-с-3
спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

А.М. Кармазін

(ініціали та прізвище)

Керівник

ст. викладач Шершов К.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент

заст. дир. НІТФ «Екотех» Шершов С.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

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

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)

Освітня програма Електроніка
(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Карпатиш Артем Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Джерело живлення електроприводу постійного струму

керівник роботи Шуршев К.О., старший викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом ЗНУ від «26» грудня 2023 року № 2212-с

2 Строк подання студентом роботи 24.05.2024

3 Вихідні дані до роботи згідно з індивідуальним завданням

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз особливостей джерела живлення (проектно), 2. Розробка пристрою (згідно з техніч. ЗТТ) 3. Розрахункові частини 4. Конструкторсько-технологічна частина 5. Техніко-економічне обґрунтування

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

1. Електрична схема і теоретичні гасові діаграми
2. Схема електрична принципова
3. Схема електрична структурна
4. Результати моделювання електромагнітних процесів
5. Економічний розрахунок проекту
6. Заземлюючої присірій

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Туринцев К.О., ст. викладач	01.02.24	19.02.24
2	Туринцев К.О., ст. викладач.	19.02.24	11.03.24
3	Туринцев К.О., ст. викладач	11.03.24	01.04.24
4	Туринцев К.О., ст. викладач.	01.04.24	12.04.24
5	Туринцев К.О., ст. викладач.	12.04.24	26.04.24

7 Дата видачі завдання 01.02.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз особливостей дисертаційного завдання	19.02.2024	
2	Розробка пристрою (згідно з темою ДП)	04.03.2024	
3	Розрахункова частина	15.04.2024	
4	Конструкторсько-технологічна частина	29.04.2024	
5	Техніко-економічне обґрунтування	26.04.2024	
6	Формування пояснювальної записки	10.05.2024	
7	Формування графічної частини	24.05.2024	

Студент С.М.П.
(підпис)

Кармазіт А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)

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

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

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

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: 72 стор., 20 рис., 14 табл., 10 джерел літератури.

ТИРИСТОРИ, ЕЛЕКТРООБЛАДНЕННЯ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ВИПРЯМЛЯЧІ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ, ОБЛАДНАННЯ.

У цьому дослідженні ретельно розглянуті ключові аспекти, пов'язані з випрямлячами промислового призначення, зокрема їх ринок, технічні параметри, виробників, та напівпровідникові джерела живлення, їх технічні особливості та область застосування. Проаналізовано силову частину випрямлячів, включаючи комутаційне та захисне обладнання, сітьовий трансформатор, силові ключі, датчики напруги і струму, та формувачі імпульсів управління силових ключів.

Окрім того, були розглянуті типові структурні схеми систем управління та електричні схеми функціональних блоків і вузлів системи управління випрямляча. Звернено увагу на питання охорони праці, зокрема на вимоги до електробезпеки та організацію безпечних умов праці. Проведено аналіз економічних показників дозволив оцінити вартість функціональних аналогів та їхню раціональність використання на підприємствах.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	5
1 ВИБІР СХЕМИ ВИПРЯМЛЯЧА.....	8
1.1 Обґрунтування вибору схеми випрямляча.....	8
1.2 Способи управління тиристором.....	15
1.3 Вимоги до проєктованих перетворювачів.....	17
2 ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА.....	21
2.1 Опис електричної структурної схеми перетворювача.....	21
2.2 Опис електричної принципової схеми перетворювача.....	23
3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ.....	28
3.1 Розрахунок та вибір трансформатора.....	28
3.2 Розрахунок і вибір тиристорів.....	36
3.3 Розрахунок захисних ланцюгів тиристорів.....	39
3.4 Моделювання системи "тиристорний перетворювач - двигун постійного струму".....	41
4 КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	46
4.1 Опис конструкції джерела живлення. Опис технології виготовлення деталі, функціонального вузла джерела живлення.....	46
4.2 Опис шкідливих факторів і заходи з охорони праці.....	50
4.3 Розрахунок пристрою заземлення.....	53
4.4. Рекомендації щодо монтажу заземлюючого пристрою.....	58
ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЄКТУ.....	59
5.1 Економічне обґрунтування проєктованого виробу.....	59
5.2 Розрахунок річного економічного ефекту.....	67
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	70
Додаток А.....	71
Додаток Б.....	72

ВСТУП

Сучасний автоматизований електропривод - це високонадійна й економічна електромеханічна система, здатна повністю забезпечити автоматизацію будь-якого технологічного процесу, досягти високої швидкодії й точності під час своєї роботи, поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу.

Для приведення в рух робочих машин основним двигуном є електродвигун і, отже, основним приводом є електропривод, а на сучасному рівні техніки автоматизований електропривод (АЕП).

Автоматизованим електроприводом називається електромеханічна система, що складається з електродвигуна, перетворювального, передавального та керуючого пристроїв, призначених для приведення в рух виконавчих органів робочої машини та керування цим рухом.

На сучасному етапі технологічного розвитку істотно зростає роль автоматизованого електроприводу, який значною мірою став визначати прогрес у галузях техніки і технології, пов'язаних із механічним рухом, одержуваним шляхом електромеханічного перетворення енергії.

Революціонізуючий вплив на розвиток АЕП зробило розроблення і виробництво напівпровідникових приладів - транзисторів, тиристорів, які завдяки своїм перевагам стали витіснити пристрої з електронними лампами та іонними приладами, що раніше застосовувалися в електроприводі. Поряд із системою генератор - двигун (Г-Д), дедалі ширше використовується більш швидкодіюча система Тиристорний перетворювач-двигун (ТП-Д). У результаті освоєння промисловістю потужних і надійних силових тиристорів вдається створювати перетворювальні пристрої великої потужності. ТП вирізняються високим ККД, практично без інерційні, потребують незначної потужності для керування, і за їхньою допомогою системи ЕП володіють плавним і широким діапазоном регулювання швидкості.

У регульованих електроприводах постійного струму як джерела живлення найчастіше використовують тиристорні перетворювачі, що володіють

практично необмеженою потужністю, високим ККД і високою швидкістю за малої потужності керування. Тиристорні перетворювачі є універсальним засобом перетворення змінної напруги живильної мережі в регульовану постійну напругу. Розроблено і масово випускається широка номенклатура комплектних тиристорних електроприводів постійного струму, що складаються з узгоджених за своїми характеристиками складових елементів, вузлів і пристроїв електроприводу. Електроприводи випускаються з однозонним і двозонним регулюванням швидкості, нереверсивні та реверсивні, з реверсом у ланцюзі якоря або ланцюзі обмотки збудження, зі зворотним зв'язком за швидкістю, ЕРС, напругою, положенням, моментом, натягом.

Тиристорний перетворювач постійного струму є керованим випрямним пристроєм, що перетворює в загальному випадку двофазну систему змінних (синусоїдальних) напруг у регульовану за величиною постійну вихідну напругу зі знакопостійною (нереверсивний перетворювач) або знакозмінною (реверсивний перетворювач) напругою навантаження.

Переваги цього типу електроприводу:

- висока швидкість, яка обмежується комутаційною здатністю двигуна і механічною інерційністю приводу;

- миттєва готовність до роботи, широкий діапазон температур і тривалий термін служби;

- номінальний ККД перетворювача перевищує 92-96%;

- малі вагогабаритні показники; блокове компонування дає змогу скоротити необхідні виробничі площі, зменшити капітальні витрати і витрати на встановлення та експлуатацію.

Водночас тиристорним електроприводам властиві недоліки:

- пульсації випрямленої напруги і струму на виході тиристорного перетворювача підвищують нагрівання і погіршують комутацію двигуна, що вимагає встановлення згладжувальних реакторів;

-за глибокого регулювання напруги тиристорний перетворювач має низький коефіцієнт потужності, що потребує розроблення та встановлення спеціальних компенсуючих пристроїв;

- перевантажувальна здатність тиристорного перетворювача нижча, ніж електромашинного;

-під час роботи тиристорних перетворювачів спотворюється форма напруги в мережі змінного струму, і виникають перешкоди.

Нині розроблено різні схеми тиристорних перетворювачів і системи регульованого електроприводу на їхній основі. Промисловістю освоєно серійний випуск комплектних тиристорних електроприводів.

1 ВИБІР СХЕМИ ВИПРЯМЛЯЧА

1.1 Обґрунтування вибору схеми випрямляча

Для перетворення енергії змінного струму в енергію постійного струму за допомогою напівпровідникових вентилів використовують дві основні схеми. Схема Ларіонова і схема з нульовим виводом. Будемо використовувати перший варіант - схему Ларіонова (рисунок 1.1), оскільки трифазна мостова схема має найкращий коефіцієнт використання трансформатора за потужністю, найменшу зворотну напругу на , коефіцієнт передачі за напругою дорівнює 2,34.

Схема трифазного мостового випрямляча містить випрямний міст з шести вентилів, в якому послідовно з'єднані дві трифазні групи. У нижній групі вентилі з'єднані катодами (катодний група), а у верхній - анодами (анодна група). Навантаження підключається між точками з'єднання катодів і анодів вентилів. Схема допускає з'єднання як первинних, так і вторинних обмоток трансформатора зіркою або трикутником.

У схемі трифазного випрямляча з середньою точкою струм навантаження створюється під дією фазної напруги вторинної обмотки трансформатора, а в мостовій схемі - під дією лінійної напруги. Струм навантаження тут протікає через два вентиля: один - з найбільш високим потенціалом анода щодо нульової точки трансформатора з катодного групи, інший - з найнижчим потенціалом катода з анодної групи. Іншими словами, в провідному стані будуть знаходитися ті два навхрест лежачих вентиля випрямного моста, між якими діє в провідному напрямку найбільше лінійну напругу.

Випрямляч Міткевича є чвертьмостовим паралельним, випрямляч Ларіонова є не повномостовим, як його часто вважають, а напівмостовим паралельним ("три паралельні напівмости"). Залежно від схеми ввімкнення трифаз-

ного трансформатора або трифазного генератора (зірка, трикутник) схема Ларіонова має два різновиди: "зірка-Ларіонова" і "трикутник-Ларіонова", які мають різні напруги, струми, внутрішні опори.

За схемами можна помітити, що схема Міткевича є неповною схемою Ларіонова, а схема Ларіонова є неповною схемою "три паралельні мости".

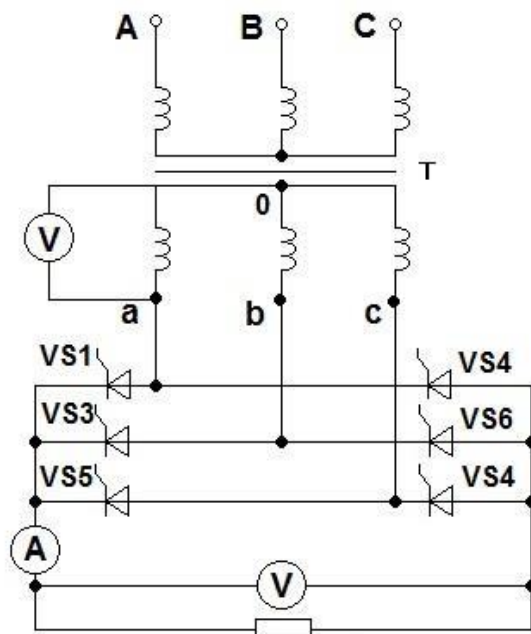


Рисунок 1.1 – Схема трифазної мостової схеми випрямляча (Схема Ларіонова).

До недоліків схеми можна віднести:

- 1) збільшену кількість вентилів;
- 2) випрямляч не може бути застосований для роботи в однофазній побутовій мережі.

Перевагами схеми випрямлення є:

- 1) низький рівень пульсацій;
- 2) найменша зворотна напруга на тиристорах.

У випрямлячах як керовані ключі використовують тиристори. Для відкриття тиристора необхідне виконання двох умов:

- потенціал анода має перевищувати потенціал катода;
- на керуючий електрод необхідно подати відкривальний (керуючий) імпульс.

Момент появи позитивної напруги між анодом і катодом тиристора називається моментом природного відкривання. Подача відкривального імпульсу може бути затримана щодо моменту природного відкривання на кут відкривання. Внаслідок цього затримується початок проходження струму через тиристор, що вступає в роботу, і регулюється напруга випрямляча.

Для керування тиристорами випрямляча використовується система імпульсно-фазового керування (СІФК), що виконує такі функції:

- визначення моментів часу, в які мають відкриватися ті чи інші конкретні тиристори; ці моменти часу задаються сигналом керування, що надходить з виходу САУ на вхід СІФУ;
- формування імпульсів відкривання, що передаються в потрібні моменти часу на керуючі електроди тиристорів і мають необхідну амплітуду, потужність і тривалість.

Однофазні випрямлячі зазвичай використовуються для джерел живлення для домашнього обладнання. Однак, для більшості промислових та потужних застосувань, трифазні випрямні ланцюги є нормою. Як і у випадку однофазних випрямлячів, трифазні випрямлячі можуть мати форму напівпровідної ланцюга, повномасштабної схеми, що використовує трансформатор з центром, або повномасштабний мостовий контур.

Тиристори зазвичай використовуються замість діодів для створення схеми, яка може регулювати вихідну напругу. Багато пристроїв, що забезпечують постійний струм, насправді генерують трифазні змінного струму. Наприклад, автомобільний генератор містить шість діодів, які функціонують як повношипний випрямляч для зарядки акумулятора.

У випрямлячі "трикутник-Ларіонов" втрати в міді більші, ніж у випрямлячі "зірка-Ларіонов", тому на практиці частіше застосовується схема "зірка-Ларіонов". Крім цього, випрямлячі Ларіонова О. М. часто називають мостовими, насправді вони є напівмостовими паралельними.

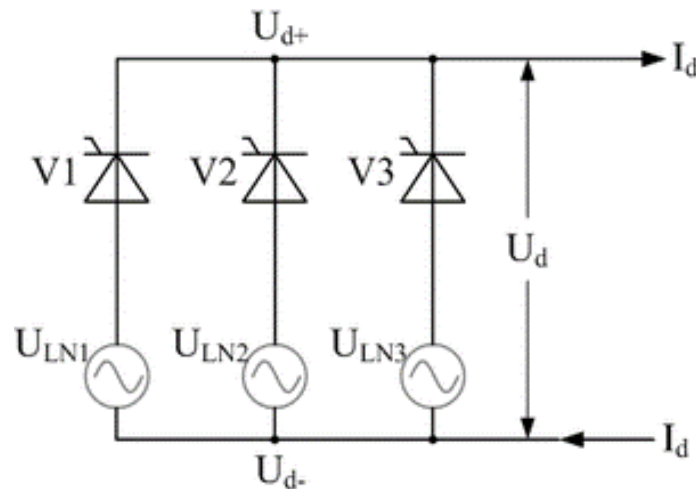


Рисунок 1.2 – Схема трифазного випрямляча з нейтальною точкою

Неконтрольована трифазна схема з середньою точкою потребує трьох діодів, один з яких підключений до кожної фази. Це найпростіший тип трифазного випрямляча, але страждає відносно високим гармонічним спотворенням як на перемінному, так і на постійному струмі. Кажуть, що цей тип випрямляча має тривалість імпульсу, оскільки вихідна напруга на стороні постійного струму містить три різних імпульсів за цикл частоти сітки:

Перед тим, як стати доступними твердотільні пристрої, напівпровідникові ланцюги та повнохвильові ланцюги, що використовують трансформатор з центром, дуже часто використовувались у промислових випрямлячах з використанням ртутно-дугових клапанів. Це пояснюється тим, що три або шість джерел живлення змінного струму можуть подаватися до відповідної кількості анодних електродів на одному тарі, розділяючи звичайний катод.

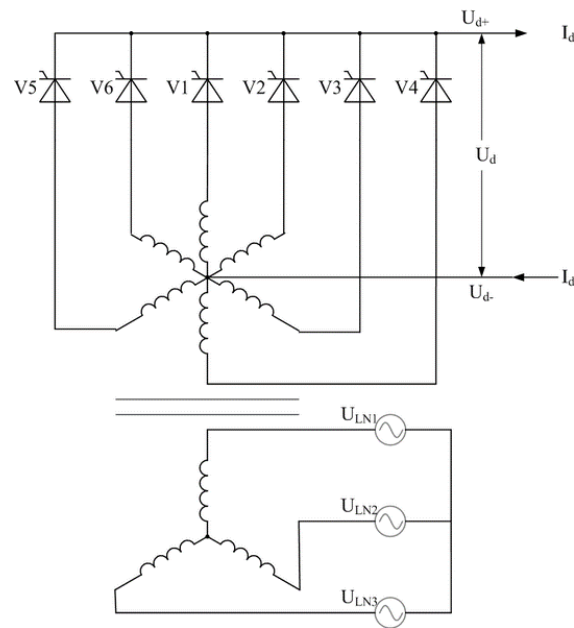


Рисунок 1.3 – Шестифазна схема випрямлення напруги

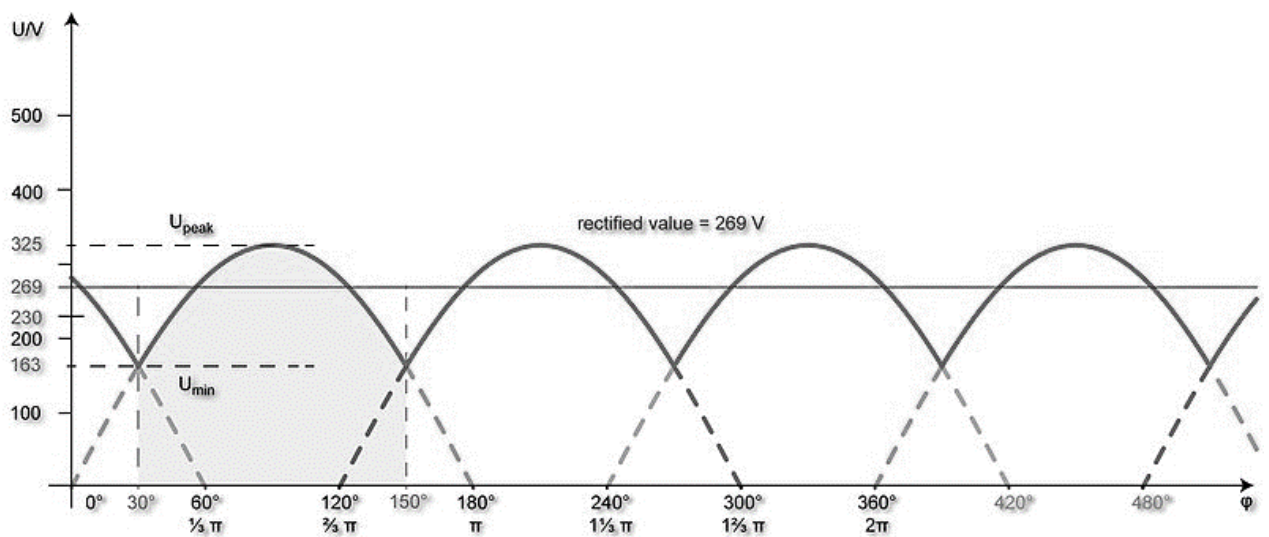


Рисунок 1.4 – Графік залежності напруги від кута управління тиристора

Контрольована трифазна схема випрямляча, яка використовує тиристоры як перемикаючі елементи, з трансформатором з центром, ігноруючи індуктивність живлення. З появою діодів і тиристорів ці схеми стали менш популярними, а монолітна схема з трьома фазами стала найпоширенішою схемою.

Для неконтрольованого трифазного мостового випрямляча використовуються шість діодів, а ланцюг знову має шість імпульсів. З цієї причини це також часто називають шестипульсним мостом. Схема може розглядатися як спрощена, як серійне з'єднання двох триімпульсних центральних кіл (рис. 1.2).

Для малопотужних приладів подвійні діоди послідовно з анодом першого діода, підключеного до катоду другого, виготовляються в якості єдиного компонента для цієї мети. Деякі комерційно доступні подвійні діоди мають всі чотири термінали доступи, тому користувач може налаштувати їх для однофазного використання роздільного подавання, напівпровідника або трифазного випрямляча.

Для пристроїв з великою потужністю зазвичай використовується один дискретний пристрій для кожного з шести плечей моста. Для найвищої потужності кожна рука моста може складатися з десятків або сотень окремих пристроїв паралельно (де потрібен дуже високий струм, наприклад, при виплавці алюмінію) або послідовно (де потрібні дуже високі напруги, наприклад висковольтні передачі постійного струму) [3].

Контрольована трифазна мостова схема випрямляча, яка використовує тиристори як перемикаючі елементи, ігноруючи індуктивність живлення. Пульсуюча напруга постійного струму обумовлена відмінностями миттєвих позитивних та негативних фазних, фазовий зсув на 30° :

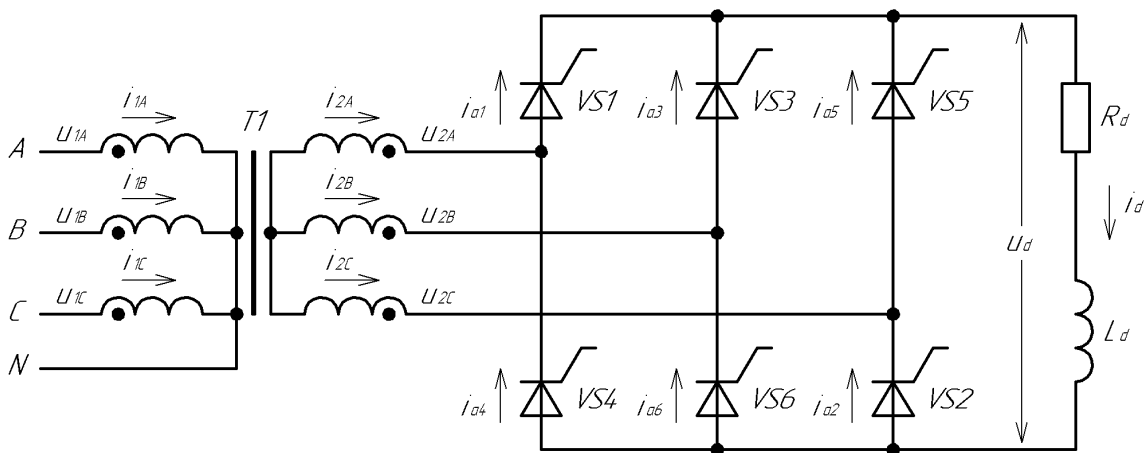


Рисунок 1.5 – Керована трифазна мостова схема Ларіонова

Ідеальна середня вихідна напруга без навантаження контуру впливає з інтеграла під графіком імпульсу напруги постійного струму з тривалістю періоду (від 60° до 120°) з піковим значенням : 3-фазний вхід змінного струму, напівхвильовий і повношипний ректифіковані сигнали виходу постійного струму.

Якщо трифазний мостовий випрямляч працює симетрично (як позитивна і негативна напруга живлення), то центральна точка випрямляча з вихідної сторони (або так званого ізолюваного опорного потенціалу) напроти центральної точки трансформатора (або нейтрального провідника) має різницю потенціалу у формі трикутної напруги загального режиму . З цієї причини два центри ніколи не повинні бути підключені один до одного, в іншому випадку течія струму короткого замикання протікає. Таким чином, земля трифазного мостового випрямляча в симетричній роботі відокремлена від нейтрального провідника або землі напруги мережі. За допомогою трансформатора можливе заземлення центральної точки мосту, за умови, що вторинна обмотка трансформатора електрично ізолювана від напруги мережі, а зірка точки вторинної обмотки не на землі. Проте в цьому випадку (незначні) струми витoku протікають над обмотками трансформатора.

Напруга в режимі загального режиму формується з відповідних середніх значень різниці між напругами позитивної та негативної фаз, що утворюють пульсуючу напругу постійного струму. Пікове значення напруги дельти складає $1/4$ від пікового значення фазової вхідної напруги та обчислюється за мінус половини напруги постійного струму на 60° періоду:

Якщо схема працює асиметрично (як проста напруга живлення лише з одним позитивним полюсом), як позитивні, так і негативні полюси (або ізолюваний опорний потенціал) пульсують навпроти центру (або землі) вхідної напруги аналогічно позитивному і негативні сигнали фазної напруги. Проте відмінності в фазових напругах призводять до напруги постійного струму на шестивимірному рівні (протягом тривалості періоду). Чітке відокремлення

центру трансформатора від негативного полюсу (інакше струм короткого замикання) або можливий заземлення негативного полюса при живильному пристрої від ізоляційного трансформатора будуть застосовуватися відповідно до симетричної операції.

1.2 Способи управління тиристором

За способом отримання зсуву імпульсів, що відкривають, відносно точки природного відкривання розрізняють горизонтальний, вертикальний та інтегровальний принципи управління.

У разі горизонтального керування (рис.1.6) керівна змінна синусоїдальна напруга u_y зсувається за фазою (за горизонталлю) щодо напруги u_1 , яка живить випрямляч. У момент часу $\omega t = \alpha$ з керуючої напруги формуються прямокутні імпульси U_{CT} , що відмикають. Горизонтальне керування в електроприводах практично не застосовується, що зумовлено обмеженим діапазоном регулювання кута α (близько 120°) [1].

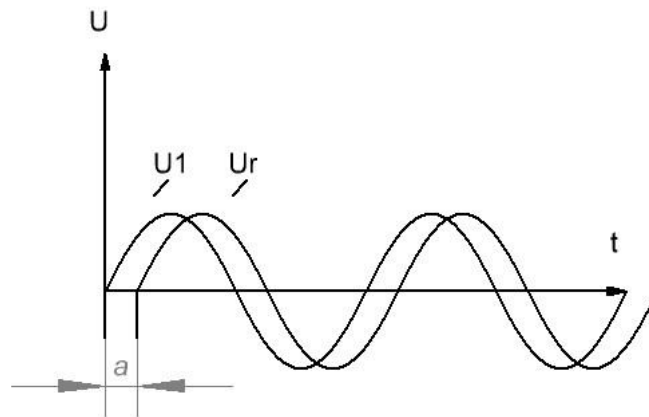


Рисунок 1.6 – Горизонтальний принцип управління.

У разі вертикального керування (рис. 1.7) момент подавання імпульсів, що відкриваються, визначається за рівності керівної напруги u_y (постійної за

формою) зі змінною опорною напругою $u_{\text{плл}}$ (за вертикаллю). У момент рівності напруг формуються прямокутні імпульси $U_{\text{ГТ}}$.

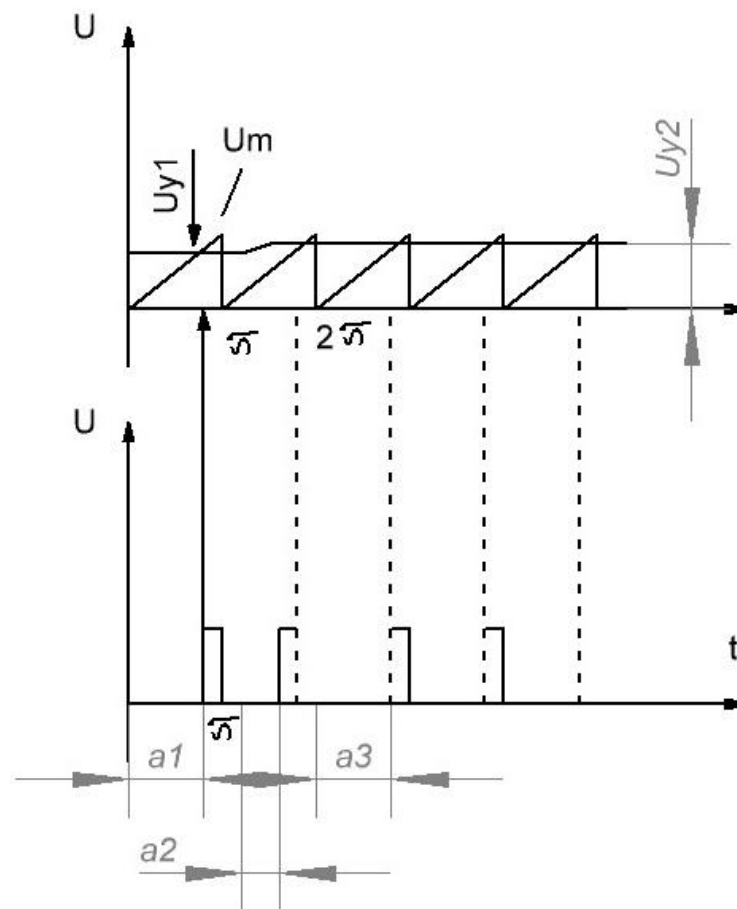


Рисунок 1.7 – Вертикальний принцип управління.

У разі інтегрального керування (рис. 1.8) момент подавання імпульсів, що відкривають, визначається за рівності змінної керівної напруги u_y з постійною опорною напругою $U_{\text{оп}}$. У момент рівності напруг формуються прямокутні імпульси $U_{\text{ГТ}}$.

За способом відліку кута відкривання α СІФУ ділять на багатоканальні та одноканальні. У багатоканальних СІФУ відлік кута α для кожного тиристора випрямляча проводиться у власному каналі, в одноканальних - в одному каналі для всіх тиристорів. У промисловому електроприводі переважного застосування набули багатоканальні СІФУ з вертикальним принципом керування.

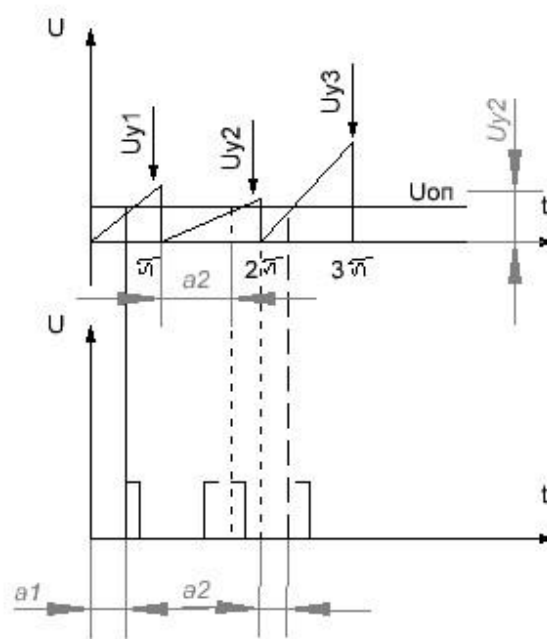


Рисунок 1.8 – Інтегровальний принцип керування

1.3 Вимоги до проєктованих перетворювачів

Технічні вимоги, які ставляться до джерел живлення промислового призначення, можуть включати такі аспекти:

1. напруга та частота - джерела живлення повинні забезпечувати стабільну напругу та частоту, відповідно до вимог промислового обладнання. Це може бути напруга відповідно до стандартів (наприклад, 220 В або 380 В) та частота (наприклад, 50 Гц або 60 Гц);

2. надійність - джерела живлення повинні бути надійними та стійкими до перебоїв, оскільки будь-які відмови можуть призвести до перерви в роботі промислового обладнання, що може коштувати великих втрат для підприємства;

3. захист від перенапруг - важливо мати захистні пристрої, які запобігають пошкодженню обладнання від перенапруг, які можуть виникнути в електричній мережі;

4. висока потужність - промислове обладнання може вимагати значної потужності, тому джерела живлення повинні бути здатними забезпечити достатню електричну потужність для ефективної роботи;

5. ефективність - живлення повинно бути ефективним з точки зору використання енергії, щоб уникнути зайвих витрат;

6. відповідність стандартам безпеки - джерела живлення повинні відповідати стандартам безпеки, щоб уникнути ризиків аварій та пошкоджень для персоналу та обладнання;

7. можливість регулювання - деяке промислове обладнання може вимагати можливості регулювання параметрів живлення, таких як напруга або частота, для оптимальної роботи;

8. відсутність шуму та інтерференцій - для деяких промислових застосувань важливо, щоб джерела живлення не випромінювали шуму або електромагнітних перешкод, які можуть впливати на роботу обладнання.

Силова частина випрямляча - це ключовий елемент в будь-якій системі випрямлення, яка відповідає за перетворення змінного струму в постійний. Вона складається з різноманітних компонентів, які спільно працюють для забезпечення надійного та ефективного функціонування системи.

Комутаційне та захисне обладнання відповідають за правильну послідовність перемикання силових ключів та захист системи від можливих небезпек, таких як перенапруги та перевантаження.

Сітьовий трансформатор використовується для зниження або підвищення напруги струму змінного струму до рівня, який є прийнятним для подальшого використання в системі випрямлення.

Силові ключі керують потоком електричного струму в силовому колі випрямляча, дозволяючи виконати процес випрямлення.

Датчики напруги і струму вимірюють значення напруги та струму в різних частинах системи, забезпечуючи точне регулювання та захист від перенапруг і перевантажень.

Формувачі імпульсів управління генерують сигнали, необхідні для керування силовими ключами та іншими елементами силової частини, забезпечуючи оптимальну ефективність та надійність роботи випрямляча.

Ці компоненти спільно працюють, щоб забезпечити стабільне та ефективне перетворення електричної енергії, необхідне для подальшого використання в промислових або інших застосуваннях.

Системи управління випрямлячами є важливим елементом в сучасних електронних системах, де необхідно забезпечити стабільне та ефективне функціонування. Типові структурні схеми цих систем та електричні схеми функціональних блоків і вузлів включають в себе різноманітні методи управління, принципи побудови та схемотехнічні рішення.

Один з найбільш поширених методів управління випрямлячами - це використання PID-регуляторів. Цей метод базується на комбінації пропорційної, інтегральної та диференціальної зворотного зв'язку, що дозволяє стабілізувати вихідний сигнал на заданому рівні. Ще одним поширеним методом є модуляція ширини імпульсів (PWM), яка дозволяє регулювати середню потужність випрямленого сигналу.

Принцип побудови системи управління випрямляча полягає в правильному позиціонуванні та взаємодії функціональних блоків і вузлів. Системи управління зазвичай включають в себе керуючі ланцюги, зворотній зв'язок, захисні схеми та інші елементи. Наприклад, керуючі ланцюги визначають послідовність роботи силових ключів та інших елементів системи, забезпечуючи потрібну поведінку випрямляча.

Схемотехнічні рішення систем управління випрямляча розробляються з урахуванням вимог ефективності, надійності та безпеки. Наприклад, силові ключі та трансформатори повинні мати достатній рівень ефективності та низький рівень втрат енергії. Також, захисні схеми повинні надійно захищати систему від перенапруг та перевантажень.

1.3 Постанова завдання для проектування

Постановка задачі для розрахунку привода постійного струму є важливою складовою при проектуванні електричних систем. Вона передбачає визначення параметрів та характеристик електродвигуна постійного струму, що забезпечить оптимальну роботу приводу в конкретних умовах експлуатації.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

- напруга мережі живлення, U_1 , В	220/380
- відхилення напруги мережі живлення від номінального значення, ΔU_1 , %	+ 10 ... - 15
- частота мережі живлення, f_s , Гц	50
- номінальне значення вихідної напруги, U_d , В	440
- діапазони регулювання вихідної напруги, В	44...440
- відхилення вихідної напруги від номінального значення, ΔU_d , %	1
- коефіцієнт пульсацій вихідної напруги, k_p	0,01
- номінальне значення струму навантаження, I_d , А	250
- значення уставки спрацьовування захисту від перевантаження по струму, I_{p01} , А	$1,2 \times I_d$

Завданням проекту ставимо створення принципіальної електричної схеми живлення та керування привода постійного струму з напругою живлення 220/380В змінного струму з частотою 50 Гц. Мінімальна вихідна потужність виробу повинна бути не менше 110 кВт, з можливістю регулювання в межах від 0% до 100%. Необхідно виконати інженерний розрахунок основних енергетичних параметрів (характеристик) і параметрів компонентів електричної принципової схеми. Вибір дроселя та RC кіл захистів від перенапруг по розрахованим параметрам. Моделювання електромагнітних процесів в схемі силової частини джерела живлення при $\alpha = 0$ ел. град. і $\alpha = 30$ ел. град.

2 ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА

2.1 Опис електричної структурної схеми перетворювача

Структурна електрична схема є основою для правильного функціонування будь-якої складної електричної системи. Вона відображає взаємозв'язки між різними елементами обладнання та компонентами у системі. Основна мета нашої схеми - забезпечити безперебійну та безпечну роботу всіх пристроїв, компонентів та підсистем, які складають систему.

Структурна електрична схема визначає шлях, по якому потік електричного струму проходить через систему, включаючи всі необхідні перетворення, регулювання та контрольні процеси. Вона також включає в себе заходи безпеки, такі як реле перегріву та захисні вимикачі, що реагують на потенційно небезпечні ситуації.

Будучи картиною всієї системи, структурна електрична схема допомагає інженерам та технікам розуміти, як працює система в цілому, та виявляти можливі проблеми та вирішувати їх. Вона також важлива для підтримки та обслуговування системи, оскільки надає візуальну репрезентацію всіх її складових частин.

Отже, структурна електрична схема є ключовим інструментом для забезпечення ефективної та безпечної роботи електричних систем у будь-яких умовах.

Системи захисту електричних схем відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки обладнання, персоналу та довкілля. Вони запобігають аваріям, захищаючи від перенавантажень, коротких замикань та інших несправностей. Такі системи допомагають уникнути пошкоджень обладнання, забезпечують безпеку працівників, моніторять температуру для запобігання перегріву та відповідають нормативам з електробезпеки.

Створення таких систем також допомагає у зменшенні простоїв та економічних втрат, пов'язаних з аварійними ситуаціями.

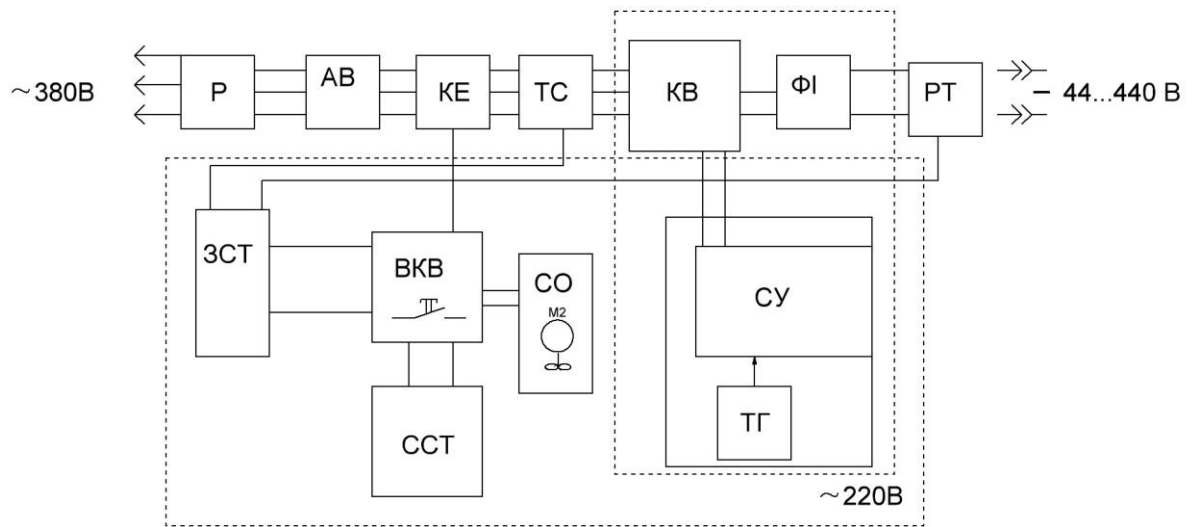


Рисунок 2.1 – Електрична структурна схема джерела живлення

Складові елементи схеми:

- звичайний вимикач (P): Основне устаткування для відключення електроживлення від усієї системи;
- автоматичний вимикач (AB): Автоматичне устаткування захисту від перевантажень та коротких замикань;
- контактор електромагнітний (KE): Управляє подачею електроживлення на основне устаткування, як правило, за командою від системи управління (СУ);
- силовий трансформатор (СТ): Перетворює напругу для відповідності потрібним параметрам устаткування;
- трансформатор струму (ТС): Вимірює струм в ланцюгу та передає цю інформацію системі управління (СУ);
- керований випрямляч (KB): Перетворює змінну напругу на постійну для живлення основного устаткування;

- фільтр вихідний (ФВ): Використовується для згладжування пульсацій в вихідній напрузі, забезпечуючи стабільне електроживлення;
- тахогенератор (ТГ): Перетворює механічну енергію в електричну і використовується для зворотного зв'язку щодо швидкості обертання;
- формувач імпульсів керування (ФІК): Генерує імпульси управління для контролю швидкості та інших параметрів роботи;
- система управління (СУ): Здійснює контроль та регулювання роботи всієї системи на основі даних від датчиків та зворотнього зв'язку;
- система охолодження (СО): Забезпечує підтримання оптимальної температури роботи устаткування;
- система сигналізації технологічних порушень (ССТ): Виявляє будь-які аномалії в роботі системи та сигналізує про них оператору чи обслуговуючому персоналу;
- захист струмовий та тепловий (ЗСТ): Відповідає за автоматичне відключення системи в разі виявлення перевантажень або перегріву;
- реле теплове (РТ): Використовується для додаткового захисту від перегріву, автоматично відключаючи устаткування при перевищенні заданої температури.

На основі наданих компонентів і їхніх функцій побудовано принципову електричну схему, яка відобразить взаємозв'язок між ними та спосіб їх взаємодії в системі.

2.2 Опис електричної принципової схеми перетворювача

Принципова електрична схема включає в себе різні компоненти, які складають систему електроживлення та керування промисловим устаткуванням. Загальна структура схеми може бути розподілена на декілька основних блоків.

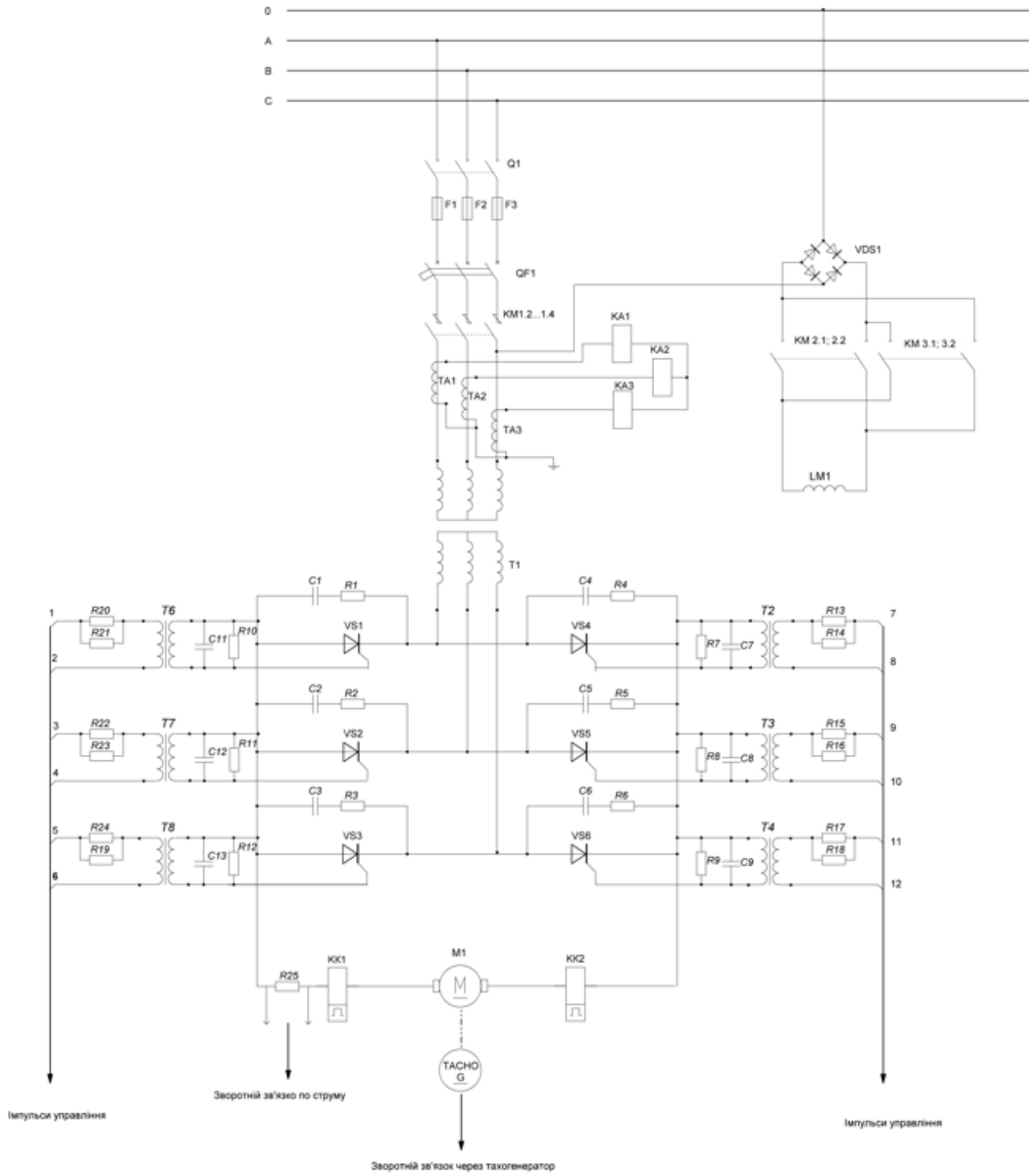


Рисунок 2.2 – Принципова електрична схема перетворювача (силова частина)

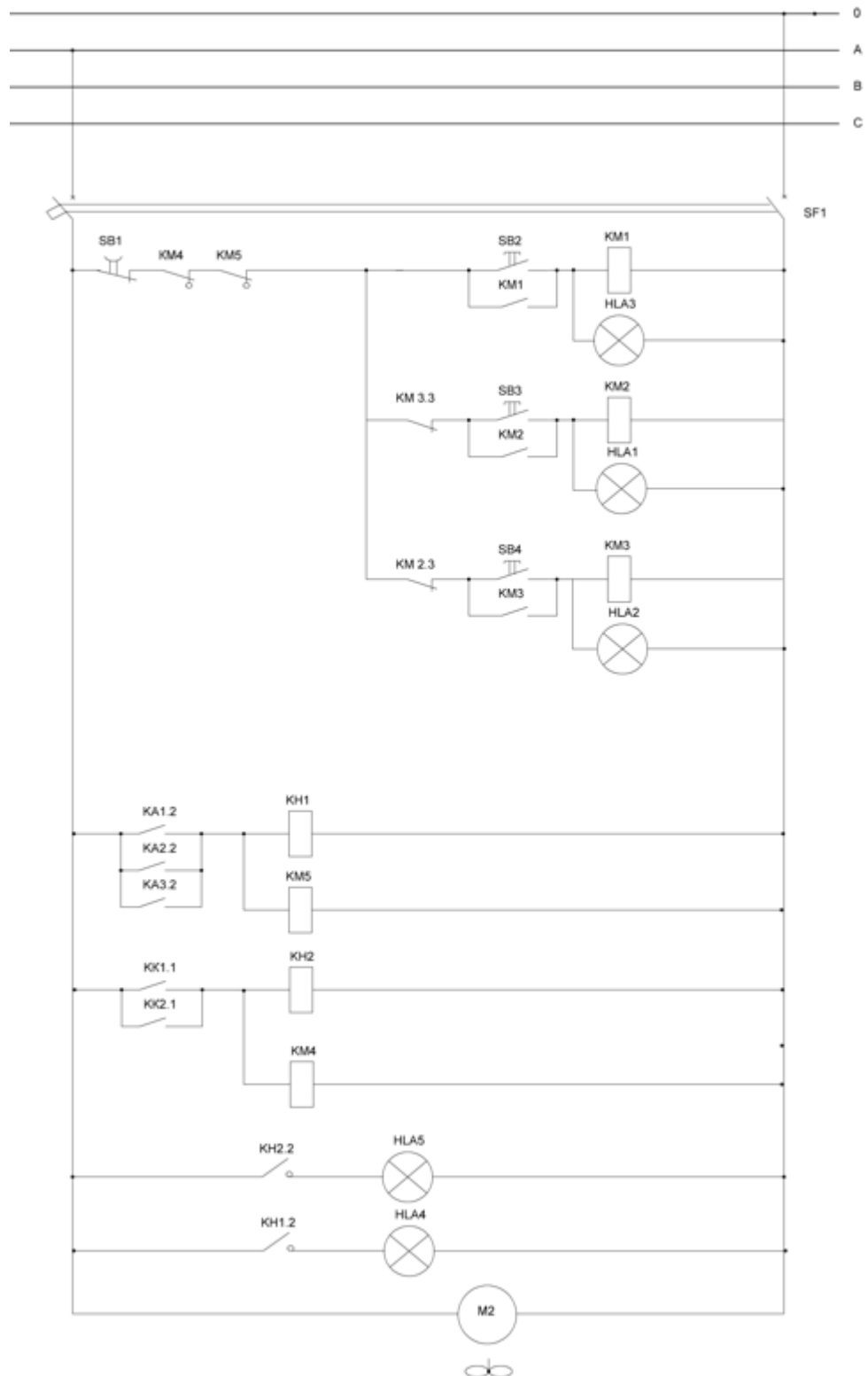


Рисунок 2.3 - Принципова електрична схема перетворювача (релейна частина)

Плавка вставка F1-F3 в нашій схемі використовується для захисту від перевантажень або коротких замикань або відмові захисного автомату при роботі перетворювача. Трифазний рубильник виконує функцію подачі живлення на нашу схему та створення видимого розриву при роботі персоналу на окремих ділянках схеми згідно правил техніки безпеки. Автомат QF1 має можливість спрацьовувати, коли струм, що протікає через нього, перевищує встановлене значення. Це дозволяє захистити електричне обладнання від перевантажень, які можуть призвести до перегріву і пошкодження. При натисканні кнопки SB2 подається живлення на пускач KM1, що в свою чергу замикає контакти KM1.1, який робить «самопідхват» та постійне живлення пускача, через контакти KM1.2-KM1.4 подаючи напругу безпосередньо до перетворювача. Трансформатор T1 підвищує напругу з мережевих 380В до нам необхідних 440В. Силкові тиристори VS1-VS6, що розташовані схемою «Ларіонова» виконують основну мету – перетворення змінного синусоїдального струму в постійний для живлення двигуна M1. Захист від перенапруг на кожному тиристорі здійснюється за допомогою RC ланцюжків: конденсаторами C1-C6 та опорами R1-R6. Для подачі точного імпульсу керування побудовані схеми для кожного окремого тиристорів, до них входять такі елементи: резистори R7-R24, трансформатори T2-T8 та конденсатори C7-C13. Використання такої схеми подачі імпульсів дозволяє отримати високу якість випрямленої напруги та захист від «хибних» імпульсів.

Пуск та реверс схеми виконується за допомогою кнопок SB3, SB4 та пускачами KM2, KM3 відповідно, які замиканням своїх контактів подають живлення на обмотку збудження двигуна через діодний міст VDS1.

Релейний захист у силових системах електропостачання необхідний для надійного та швидкого виявлення небезпеки або несправностей у мережі та вчасного відключення частини або всієї системи, щоб уникнути пошкодження обладнання. Струмові трансформатори ТА1-ТА3 вимірюють струми у кожній фазі схеми живлення перетворювача, при досягненні уставки спрацьовують

реле КА1-КА3 разом, або ж окремо, в залежності від виду короткого замикання, що в свою чергу замикає контакти КА1.2, КА2.2, КА3.2 подаючи живлення на реле КМ5, яке розмикає контакт КМ5.1, що знеструмлює схему живлення двигуна повністю. Про роботу струмового реле буде свідчити робота вказівного реле КН1 та світло лампи-індикатора НЛА4. Для того, щоб тало згасло необхідно «зквітувати» вказівне реле КН1. Схожий принцип дії має тепловий захист, що отримує інформацію про перегрів від реле КК1 та КК2, які замикаючи свої контакти приводять до дії реле КМ4. Для охолодження шкафу управління та релейного захисту використовується витяжний вентилятор М2.

Зворотній зв'язок по швидкості обертів здійснюється через тахогенератор на валу двигуна та по струму за допомогою трансформатора струму ТА4 та реле КА4.

3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ

3.1 Розрахунок та вибір трансформатора

Необхідно визначити фазну напругу на вторинних обмотках трансформатора.

$$U_{2\phi} = k_u \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_r \cdot U_H, \text{ В} \quad (3.1)$$

де: k_u - відношення рівне $U_{2\phi} / U_H$, для трифазної мостової схеми приймаємо значення 0,427;

k_c - коефіцієнт, що враховує можливе зниження напруги в колі, приймаємо з інтервалу $k_c = 1,05 \div 1,1$, приймаємо $k_c = 1,1$;

k_a - коефіцієнт запасу, що враховує можливе зниження випрямленої напруги за рахунок відхилення керуючих імпульсів від їхнього розрахункового положення. Для синхронізації багатоканальних систем керування приймають їхні інтервали $k_a = 1,05 \div 1,1$, приймаємо $k_a = 1,06$;

k_r - коефіцієнт запасу, що враховує внутрішнє падіння напруги в тиристорному перетворювачі. Приймаємо $k_r = 1,05$ [5].

$$U_{2\phi} = 0,427 \cdot 1,1 \cdot 1,06 \cdot 1,05 \cdot 440 = 230 \text{ В}$$

Визначасмо фазний струм вторинної обмотки трансформатора:

$$I_{2\phi} = k_{i1} \cdot k_{i2} \cdot I_{я}, \text{ А} \quad (3.2)$$

де: k_{i1} - коефіцієнт, що характеризує відношення $I_{2\phi} / I_{я}$ трифазної мостової схеми $k_{i1} = 0.815$;

Номинальний струм двигуна $I_{я} = 250$ А,

k_{i2} - коефіцієнт, що враховує відхилення форми анодного струму тиристора від прямокутної форми $k_{i2} = 1.05 \div 1.1$. Приймаємо $k_{i2} = 1.1$

$$I_{2\phi} = 0,815 \cdot 1,1 \cdot 250 = 213,9 \text{ А} \quad (3.3)$$

Необхідна потужність трансформатора визначається за формулою:

$$S_{тр} = k_u \cdot k_s \cdot k_{i2} \cdot U_n \cdot I_{я}, \text{ ВА}, \quad (3.4)$$

де: k_s - коефіцієнт, що характеризує відношення потужностей, $k_s = 1,045$

;

$$S_{тр} = 1.045 \cdot 0.427 \cdot 1.1 \cdot 440 \cdot 250 = 54250,35 \text{ ВА},$$

Під час вибору трансформатора мають виконуватися умови:

$$S_{ном} \geq S_{тр}$$

$$U_{2\phi н} \geq U_{2\phi}$$

$$I_{2\phi н} \geq I_{2\phi}$$

Італійська компанія TRAF0 ELETTRO SERVICE на українському ринку представляє лінійку сухих трансформаторів з литою ізоляцією. Понад 10 років компанія виробляє силові сухі трансформатори з литою ізоляцією, відомі у

всьому світі своєю якістю.

Трансформатор TS TRI 165 із сухою ізоляцією - це трансформатор, у якому простір між обмотками і корпусом не заповнений рідким діелектриком. Вони вважаються безпечнішими, ніж масляні аналоги, завдяки особливій конструкції, що передбачає повітряне охолодження.

Відповідність стандартам: Всі вироблені трансформатори проходять випробування в лабораторії на відповідність стандартам EN 60076-11 і забезпечені відповідним сертифікатом.

Переваги вибору (силові трансформатори сухі):

- Компактні габаритні розміри;
- Можливість встановлення в одному приміщенні з ГРЩ;
- Високий рівень безпеки при монтажі та обслуговуванні;
- Здатність витримувати перенапруження;
- Малі експлуатаційні витрати;
- Низький рівень шуму;
- Вогнестійкість і можливість до самозатухання.

Параметри обраного трансформатора зведені в таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – Параметри трансформатора

Потужність S_n, kVA	Напруга, В		Втрати х.х.Рх, Вт	Втрати к.з. Рк, Вт	Напруга к.з.Ук, %	Струм х.х. Іоф, %
	Первич. $U_{1\text{фн}}, \text{В}$	Вторич. $U_{2\text{фн}}, \text{В}$				
165	380	440	150	880	4,5	2

Перевірка обраного трансформатора за струмом і напругою.

Коефіцієнт трансформації вибирається за формулою:

$$k_T = \frac{U_{1л}}{U_{2л}}, \quad (3.5)$$

де: $U_{2л}$ - лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора, В

$U_{1л}$ - лінійна напруга первинної обмотки трансформатора, В

$$k_T = \frac{380}{440} = 0,86$$

Номінальні фазні струми визначають за формулами:

$$I_{1фн} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1л}}, \text{ А} \quad (3.6)$$

де: S_H - номінальна потужність обраного трансформатора, ВА

$$I_{1фн} = \frac{165000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 250,7 \text{ А}$$

$$I_{2фн} = I_{1ф} \cdot k_T, \text{ А} \quad (3.7)$$

$$I_{2фн} = 250,7 \cdot 0,86 = 215,59 \text{ А}$$

Фазні напруги трансформатора визначаються за формулами:

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{л}}}{\sqrt{3}}, \text{ В} \quad (3.8)$$

$$U_{1\text{фн}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,39 \text{ В}$$

$$U_{2\text{фн}} = \frac{U_{2\text{л}}}{\sqrt{3}}, \text{ В} \quad (3.9)$$

$$U_{2\text{фн}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254 \text{ В}$$

Перевіряємо умови:

$$165000 \geq 54250,35$$

$$219,3 \geq 198,5$$

$$215,59 \geq 213,9$$

Цей трансформатор підходить за заданими умовами.

Напруга короткого замикання визначається за формулою:

$$U_{\text{кзф}} = \frac{U_{\text{к}} \cdot U_{1\text{фн}}}{100}, \text{ В} \quad (3.10)$$

где: $U_{\text{к}}$ - напруга короткого замикання, %.

$$U_{\text{кзф}} = \frac{4,5 \cdot 219,39}{100} = 9,8 \text{ В}$$

Повний опір короткого замикання розраховується за формулою:

$$Z_k = \frac{U_{кзф}}{I_{1ф}}, \text{ Ом} \quad (3.11)$$

$$Z_k = \frac{9,8}{250,7} = 0,05 \text{ Ом}$$

Активна складова короткого замикання розраховується за формулою:

$$R_k = \frac{P_k}{I_{1ф}^2 \cdot 3}, \text{ Ом} \quad (3.12)$$

$$R_k = \frac{880}{250,7^2 \cdot 3} = 0,005 \text{ Ом}$$

Реактивна складова опору короткого замикання розраховується за формулою:

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (3.13)$$

$$X_k = \sqrt{0,05^2 - 0,005^2} = 0,05 \text{ Ом}$$

Наведений опір первинної обмотки трансформатора до вторинної обмотки трансформатора визначається за формулою:

$$R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2}, \text{ Ом} \quad (3.14)$$

$$R_1=R_2=\frac{0,005}{2}, \text{ Ом}$$

$$R_1=0,0025 \text{ Ом},$$

Приведений реактивний опір первинної обмотки трансформатора до вторинної обмотки трансформатора:

$$X_1 = X_2' = \frac{X_k}{2} \quad (3.15)$$

$$X_1=X_2' = \frac{0,05}{2}$$

$$X_1=0.025 ,$$

де: X_2' - приведений реактивний опір первинної обмотки трансформатора до вторинної обмотки трансформатора, Ом

Приведений реактивний опір вторинної обмотки трансформатора до первинної обмотки визначається за формулою:

$$X_2 = \frac{X_2'}{k_T^2}, \text{ Ом} \quad (3.16)$$

$$X_2 = \frac{0.0025}{0.86^2} = 0,034 \text{ Ом}$$

Наведений активний опір вторинної обмотки трансформатора до первинної обмотки трансформатора визначається за формулою:

$$R_2 = \frac{R_2'}{k_T^2}, \text{ Ом} \quad (3.17)$$

$$R_2 = \frac{0.0025}{0.86^2} = 0,0034$$

Фазний струм холостого ходу визначається за формулою:

$$I_{0\phi} = \frac{I_{xx} \cdot I_{1\phi}}{100}, \text{ A} \quad (3.18)$$

$$I_{0\phi} = \frac{2 \cdot 250,7}{100} = 4,1 \text{ A}$$

Активна складова опору ланцюга намагнічування визначається за формулою:

$$R_m = \frac{U_{1\text{л}}^2}{P_0}, \text{ Ом} \quad (3.19)$$

$$R_m = \frac{380^2}{150} = 962,7 \text{ Ом}$$

Реактивна складова повного опору ланцюга намагнічування знаходиться за формулою:

$$X_m = \frac{U_{1\text{л}}}{I_{0\phi}}, \text{ Ом} \quad (20)$$

$$X_m = \frac{380}{4,1} = 92,7 \text{ Ом},$$

Індуктивності обмоток трансформатора і ланцюга намагнічування визначаються за формулами:

$$L_1 = \frac{X_1}{f_1 \cdot 2 \cdot \pi}, \text{ Гн} \quad (3.21)$$

$$L_1 = \frac{0,025}{50 \cdot 2 \cdot 3,14} = 16,6 \text{ Гн},$$

де: f_1 - частота мережі.

$$L_2 = \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f_1}, \text{ Гн} \quad (3.22)$$

$$L_1 = \frac{0,034}{50 \cdot 2 \cdot 3,14} = 0,1 \text{ мЛГн}$$

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1}, \text{ Гн} \quad (3.23)$$

$$L_1 = \frac{92,7}{50 \cdot 2 \cdot 3,14} = 0,3 \text{ Гн}$$

3.2 Розрахунок і вибір тиристорів

Тиристори необхідно вибирати за прямим струмом вентиля і максимальною зворотною напругою, що прикладається до тиристора в закритому стані[8].

Прямий і максимальний струм визначають за формулою:

$$I_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{я}}}{3}, \text{ А} \quad (3.24)$$

$$I_{\text{пр}} = \frac{250}{3} = 83,3$$

Зворотна напруга визначається за формулою:

$$U_{\text{обр}} = 1,045 \cdot U_{\text{н}}, \text{ В} \quad (3.25)$$

$$U_{\text{обр}} = 1,045 \cdot 440 = 460 \text{ В},$$

Максимальна зворотна напруга визначається за формулою:

$$U_{\text{обрмакс}} = 2 \cdot U_{\text{обр}}, \text{ В} \quad (3.38)$$

$$U_{\text{обрмакс}} = 2 \cdot 460 = 920 \text{ В},$$

Номінальний кут керування вентилями визначається за формулою

$$\alpha_{\text{н}} = \arccos\left(\frac{U_{\text{н}}}{2,34 \cdot U_{2\text{фн}}}\right) \quad (3.39)$$

$$\alpha_{\text{н}} = \arccos\left(\frac{440}{2,34 \cdot 254}\right) = 42,3^\circ$$

Тиристор силовий Т142-90-4 - штирьовий потужний тиристор загального призначення. Перетворює і регулює постійний і змінний струм до 90 ампер частотою до 500 Гц у колах із напругою 400 вольт (4 кл). Тип корпусу тиристорів серії Т142-90-4 - ST4: різьба - М10, маса - 50 г. "ST" позначає "stud thyristor" - штирьовий тиристор. Розташування виводів (цоколівка): основа тиристора - анод, жорсткий довгий вивід - катод, жорсткий короткий вивід - керуючий електрод. Виготовляються для експлуатації в помірному, холодному (УХЛ) або тропічному (Т) кліматі; категорія розміщення - 2. Для відведення

тепла тиристиори збирають з охолоджувачами за допомогою різьбового з'єднання. Щоб забезпечити надійний тепловий і електричний контакт з охолоджувачем під час збирання, закручувальний момент M_d для тиристорів T142-90-4 має бути 9,0-11,0 Нм. Рекомендується також використовувати теплопровідну пасту КПТ-8. Застосовують тиристиори T142-90-4 у схемах живлення електротехнічних установок постійного і змінного струму і в напівпровідникових перетворювачах електроенергії.

Таблиця 3.2 – Основні характеристики тиристорів T142-90-4

Тип тиристора	T142-90-4
$U_{обр}, В$	1,6
$U_{зс}, В$	1,6
$I_{oc\ max}, А$	125
$I_{oc\ ср}, А$	90
$U_{oc}, В$	1,8
$U_y, В$	3
$I_{зс}, МА$	3
$I_{обр}, МА$	3
$I_{yот}, МА$	150
$U_{yот}, В$	3
$dU/dt, В/мкс$	50-1000
$t_{вкл}, мкс$	10

де: $U_{обр}$ - Повторювана імпульсна напруга;

$U_{зс}$ - Повторювана імпульсна напруга в закритому стані;

$I_{oc\ max}$ - Найбільше значення струму у відкритому стані;

$I_{oc\ ср}$ - Середній струм у відкритому стані;

U_{oc} - Падіння напруги на тиристорі у відкритому стані;

U_y - Найбільша постійна напруга на керуючому електроді, що спричиняє перемикання тиристора із закритого стану у відкритий;

I_{zc} - Струм у закритому стані при певній прямій напрузі;

$I_{обр}$ - Повторюваний імпульсний зворотний струм, що повторюється;

$I_{yот}$ - Найменший постійний струм керування, необхідний для увімкнення тиристора (із закритого стану у відкритий);

$U_{yот}$ - Напруга між електродом, що управляє, і катодом тиристора, що відповідає постійному струму управління, що відмикає;

dU/dt - Критична швидкість наростання напруги в закритому стані;

$t_{вкл}$ - Час увімкнення тиристора;

$Q_{гг}$ - заряд зворотного відновлення тиристора.

Розшифрування маркування тиристорів Т142-80-4: Т 142 - 80 - 4 4 3
УХЛ2 Т - Тиристор низькочастотний. 142 - Конструктивне виконання, серія.
80 - Середній струм у відкритому стані $I_T(AV)$. 4 - Клас за напругою $URRM / 100$ (Номінальна напруга - 400 В). 4 - Критична швидкість наростання напруги в закритому стані $(dUD/dt)cr$. Кліматичне виконання: УХЛ2 - для помірного та холодного клімату.

3.3 Розрахунок захисних ланцюгів тиристорів

Для захисту тиристорних перетворювачів від комутаційних перенапруг застосовують RC ланцюжки, увімкнені паралельно тиристор-торам. Тиристори є приладами, критичними до швидкостей наростання прямого струму di/dt і прямої напруги du_{AC}/dt . Тиристорам, як і діодам, притаманне явище протікання зворотного струму відновлення, різке спадання якого до нуля посилює можливість виникнення перенапруг із високим значенням du_{AC}/dt . Такі перенапруги є наслідком різкого припинення струму в індуктивних елементах схеми, включно з малими індуктивностями монтажу. Тому для захисту тиристорів зазвичай використовують різні схеми ЦФТП, які в динамічних режимах

здійснюють захист від неприпустимих значень diA/dt і $duAC/dt$ [9].

Розрахунок захисної ємності виконують за формулою:

$$C = (0,3 \div 0,6) \frac{Q_{гг}}{0,8 \cdot U_{\text{обрмакс}}}, \text{ мкФ}, \quad (3.39)$$

де: $Q_{гг}$ - заряд зворотного відновлення, мкКл;

$$C = 0,4 \cdot \frac{80}{0,8 \cdot 1000} = 0,06 \text{ мкФ}$$

Приймаємо конденсатор фольговий металізований поліпропіленовий серії К78-2, ємністю $C=0,068$ мкФ і номінальною напругою 1000 В. Розрахунок захисного опору проводиться за формулою:

$$R = (1,5 - 2) \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ Ом}, \quad (3.40)$$

де: L - еквівалентне значення індуктивності перетворювача ($L = 2 \cdot L_2$), Гн

C - захисна ємність, мкФ

$$R = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{0,068 \cdot 10^{-6}}} = 76,7 \text{ Ом}$$

За розрахунками приймаємо резистор марки ДЕВ-25, опором $R=80$ Ом, потужністю 25 Вт.

Розшифрування маркування резистора: ДЕВ - дротяні емальовані вологостійкі.

3.4 Моделювання системи "тиристорний перетворювач - двигун постійного струму".

Симуляція процесу тиристорного перетворювача є важливим кроком у розробці та аналізі систем електроприводу та управління енергією. Ось декілька ключових причин, чому це важливо:

Аналіз роботи керуючих алгоритмів: За допомогою симуляції можна оцінити ефективність та точність алгоритмів управління тиристорним приводом, що дозволяє оптимізувати їх продуктивність ще на етапі проектування.

Дослідження динаміки системи: Симуляція дозволяє вивчити динамічні характеристики тиристорного перетворювача в різних умовах роботи, таких як перехідні процеси, стабільність та реакція на зміни зовнішніх параметрів.

Оцінка ефективності системи: За допомогою симуляції можна визначити енергетичну ефективність та втрати в тиристорному перетворювачі, що дозволяє розробникам зробити відповідні поліпшення в дизайні для підвищення ефективності системи.

Тестування безпеки та надійності: Симуляція дозволяє провести тестування системи на безпеку та надійність в різних умовах експлуатації, що допомагає виявити потенційні проблеми та поліпшити конструкцію перетворювача.

Економія часу та ресурсів: За допомогою симуляції можна уникнути необхідності проведення дорогих та часо-витратних фізичних експериментів, що дозволяє значно скоротити час та витрати на розробку та оптимізацію системи.

Отже, симуляція процесу тиристорного перетворювача відіграє важливу роль у проектуванні, аналізі та оптимізації електроприводів та систем управління енергією, дозволяючи інженерам отримати глибоке розуміння роботи системи та покращити її продуктивність та ефективність.

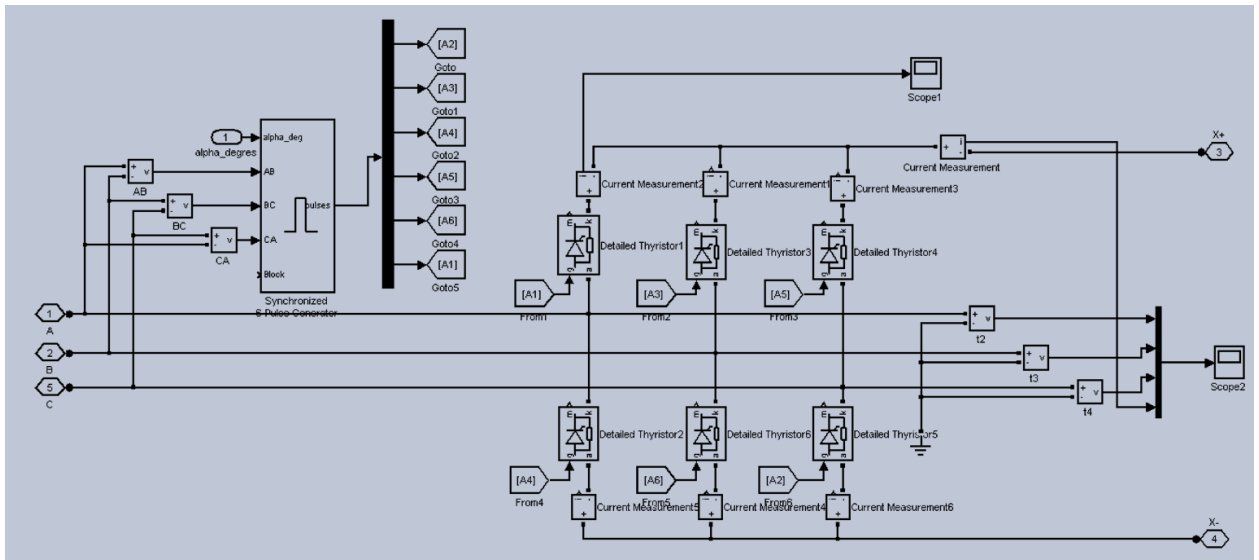


Рисунок 3.2 – Модельована схема проектованого виробу

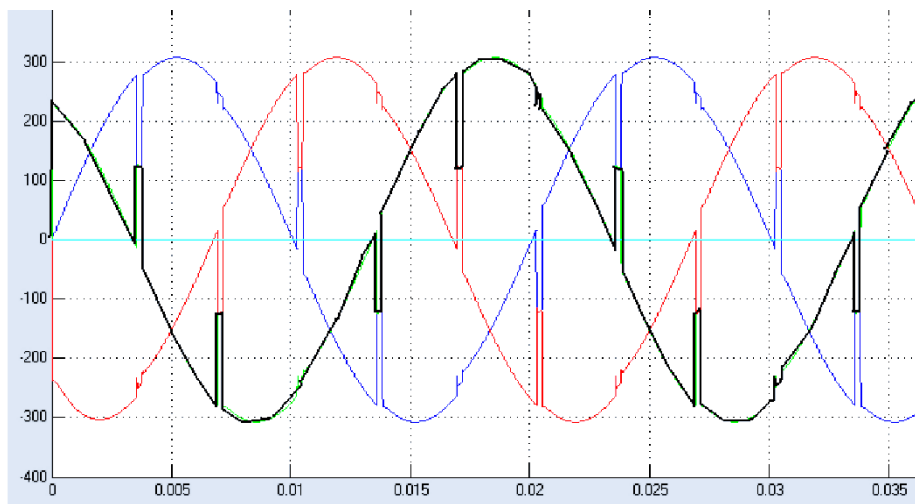


Рисунок 3.3 – Часова діаграма вхідної напруги при $\alpha=30^\circ$

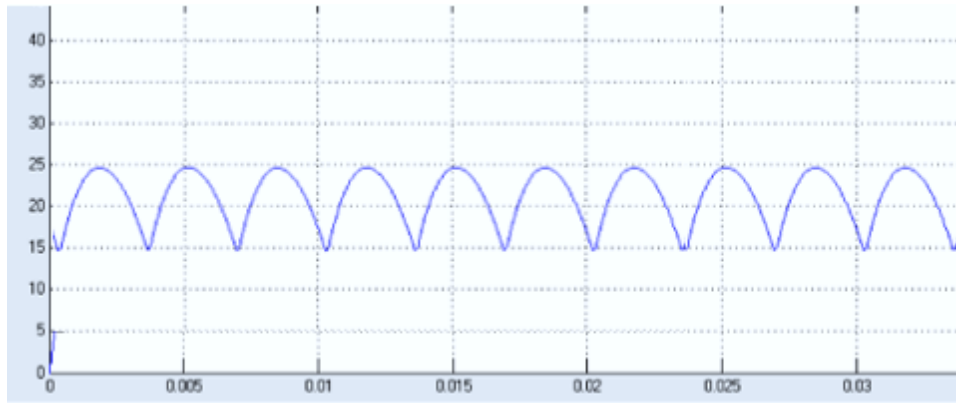


Рисунок 3.4 – Часова діаграма струму при $\alpha=0^\circ$

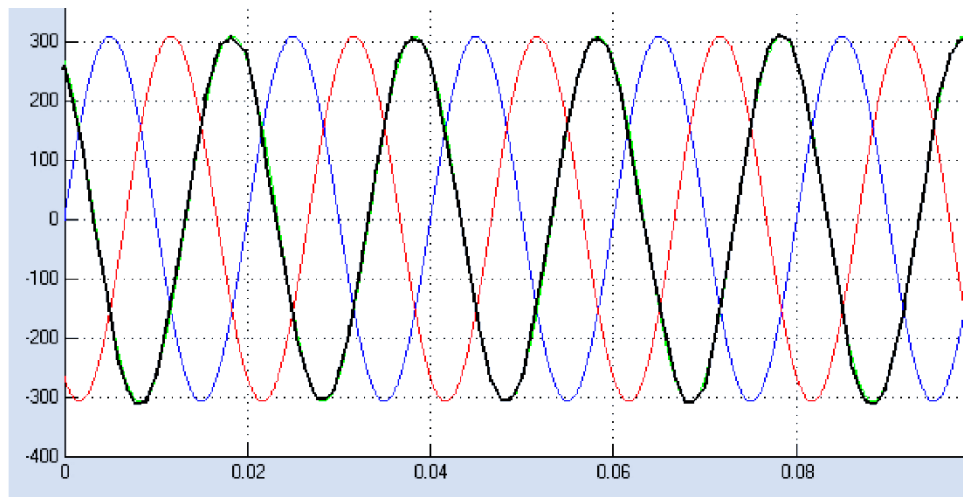


Рисунок 3.5 – Часова діаграма вхідної трифазної напруги

Перетворювач містить трифазний трансформатор та 6 тиристорів. Для управління тиристорами використовується тригерний генератор. Блоки для вимірювання активної та реактивної потужностей та активного та реактивного струму. Отримані вимірювання відображаються на дисплеї, для чого використовуються спеціальні блоки.

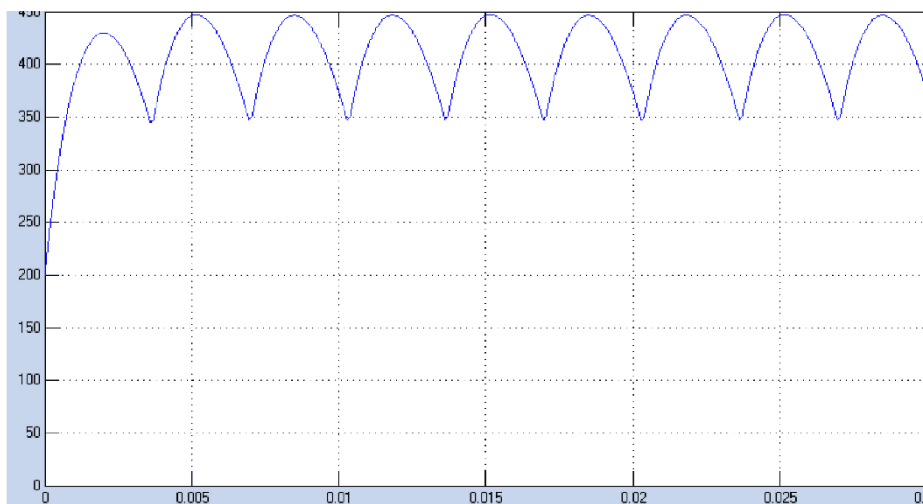


Рисунок 3.6 – Часова діаграма вихідної напруги тиристорного перетворювача при $\alpha=0^\circ$

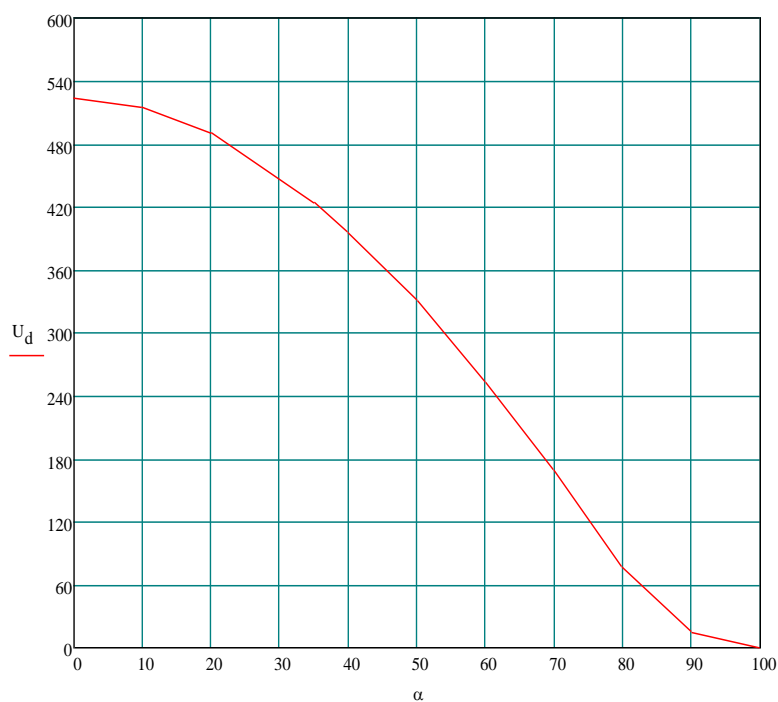


Рисунок 3.2 – Регулювальна характеристика

Таблиця 3.3 - Розрахункові значення регулювальної характеристики

α	0	10	20	30	35,16	50	60	70	80	90	100
U_d	523,2	514,4	489,8	423,4	395,5	329,8	252,5	168,2	76,01	15	0

Моделювання дозволяє оцінити електромагнітні явища, що відбуваються в системі при різних значеннях α та спрогнозувати їх вплив на ефективність, стабільність та надійність джерела живлення. Це допомагає інженерам вдосконалити дизайн системи та оптимізувати її роботу в реальних умовах експлуатації.

$\alpha_n=35,16^\circ$ - номінальний кут керування розрахований за формулою (3.39).

4 КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Опис конструкції джерела живлення. Опис технології виготовлення деталі, функціонального вузла джерела живлення.

Тиристорні перетворювачі постійного струму виготовляються з використанням напівпровідникових матеріалів, таких як силіцій, та проходять кілька етапів виготовлення, що включають:

- Чистка та підготовка напівпровідникових пластин.
- Літографічний процес для створення масок та шарів.
- Дифузія домішок для створення напівпровідникових шарів з певними властивостями.
- Формування та з'єднання електродів для керування тиристорами.
- Тестування та якісний контроль.

Ці етапи дозволяють створювати тиристорні перетворювачі з високою ефективністю та надійністю для керування потужними електричними навантаженнями, такими як електричні двигуни.

Процес виготовлення плати для тиристорних перетворювачів постійного струму включає кілька ключових етапів. Спочатку проводиться проектування схеми плати, після чого вибирається матеріал для основи, часто це FR4 або інший високоякісний напівпровідниковий матеріал. Основа плати формується шляхом фрезерування за заданими габаритними розмірами, після чого наноситься мідний шар, який буде служити провідником для електричних з'єднань. Наступним етапом є фотолітографія, під час якої використовується маска для викреслення потрібних шляхів на мідному шарі. Після цього проводиться травлення для видалення непотрібних частин мідного шару, а потім наносяться контакти для підключення компонентів. Нарешті, вироблена плата проходить тестування та якісний контроль для перевірки відповідності стандартам якості та правильності всіх з'єднань.

Компоненти нашого перетворювача пропоновано розташувати в металевому корпусі, у нижній і верхній частині його задньої стіни - кріпильні отвори. На дні корпусу прикріпити радіатор, на якому вмонтовано силові елементи. Над силовими елементами прикріпити плату, на якій будуть змонтовані імпульсні розділові трансформатори, фільтрувальні групи та запобіжники. Процесорна плата з інтерфейсними роз'ємами та індикаціями монтвана на лицьовій панелі. Монтажно - габаритні розміри показано на рисунку 4.1.

Перетворювач як і необхідно встановити в корпусі, шафі або електрощитовій. Створити доступ до корпусу, шафі або електрощитової тільки уповноваженому персоналу. Установка повинна забезпечити суху навколишнє середовище для плати. Установка повинна забезпечити механічний захист і захист від впливу навколишнього середовища, яка схвалена для відкритого обладнання у особливій категорії розташування відповідно до застосовних електричним і будівельним нормам і правилам. Забруднення внаслідок пилу, вологи і забруднення повітря, може викликати експлуатаційні та електричні відмови в ПЛК. Якщо перетворювач розміщується в обстановці, де може бути присутнім промисловий пил або волога, пристрій повинен бути захищений корпусом з відповідним ступенем захисту плати. IP54 - це той ступінь захисту, яка зазвичай використовується для корпусів електронного обладнання в забрудненому навколишньому середовищі і може підійти для конкретного випадку застосування. Зниження впливу високотемпературного навколишнього середовища продовжить термін служби будь - якого електронного пристрою. Необхідно прослідкувати за прокладкою проводки для пристроїв в розподільному щиті. нкати розміщення низьковольтних сигнальних дротів і комунікаційних кабелів в одному і тому ж лотку з силовою проводкою змінного струму і потужною, комутованою проводкою постійного струму.

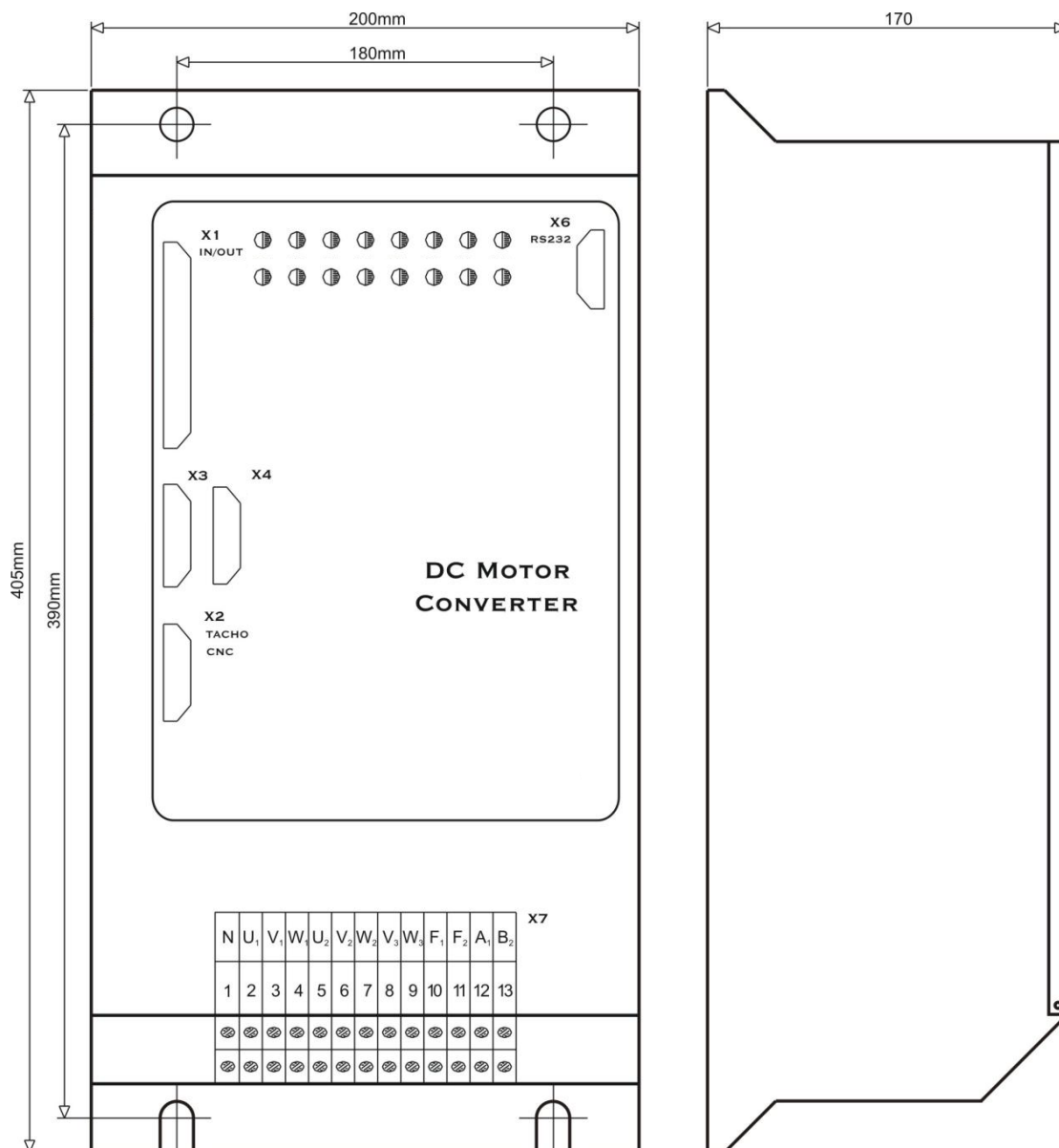


Рисунок 4.1 – Монтажно-габаритні розміри перетворювача

Тиристорний перетворювач може працювати, зберігатися і транспортуватися за таких умов:

- температура навколишнього середовища - від 0° до 50° С;
- максимальна відносна вологість повітря 80% за температури 30° С;
- висота над рівнем моря - не більше 1000 м;
- вибухобезпечне середовище без наявності агресивних газів і пари в концентрації, що руйнує метали та ізоляцію, і не повинне бути насичене струмопровідним пилом;

- у закритих приміщеннях, без наявності прямого впливу сонячної радіації;

Під час виробництва плат для тиристорних перетворювачів можуть виникати різноманітні шкідливі фактори, які можуть впливати на здоров'я працівників та навколишнє середовище. Ось деякі з них:

- хімічні речовини: використання хімічних речовин під час процесу фотолітографії та травлення може викликати випари шкідливих речовин, які можуть потрапити в організм працівників або вплинути на навколишнє середовище;
- пил та випари: обробка матеріалів, така як фрезерування та травлення, може виділяти пил та інші частки, які можуть стати причиною подразнень для дихальних шляхів працівників, особливо якщо вони вдихаються великою кількістю;
- фізичні фактори: робота з обладнанням, що вимагає важкого фізичного зусилля, або використання інструментів може спричинити травми та напругу для працівників, які працюють на лінії виробництва;
- небезпека пожежі та короткого замикання: робота з електричним обладнанням та компонентами може викликати пожежу або коротке замикання, особливо якщо не дотримуються відповідні заходи безпеки та норми електробезпеки;
- шум та вібрації: великі машини та обладнання можуть генерувати значний рівень шуму та вібрацій, що може впливати на здоров'я працівників та спричиняти стрес.

З метою запобігання цим шкідливим факторам, важливо дотримуватися всіх вимог безпеки та встановлених процедур управління ризиками під час виробництва плат для тиристорних перетворювачів.

4.2 Опис шкідливих факторів і заходи з охорони праці

На сучасному етапі науково-технічного розвитку нашої держави питання охорони праці на підприємствах є одним із найактуальніших.

Належна організація охорони праці, яка відповідає вимогам нормативно-правових актів, є основним заходом профілактики та запобігання виробничому травматизму й професійній захворюваності.

Основним законодавчим актом, який регулює організацію охорони праці на підприємстві, є Закон України “Про охорону праці” від 14 жовтня 1992 року № 2694-ХІІ (далі – Закон). Його дія поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, що відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих.

Кожним трудовим договором передбачаються зобов'язання роботодавця щодо забезпечення найманих працівників безпечними умовами праці.

Законодавство України покладає на всіх роботодавців обов'язок щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. Витрати на охорону праці на підприємстві згідно зі ст. 19 Закону повинні становити не менше 0,5% від фонду оплати праці за попередній рік, а за невиконання законодавства про охорону праці до підприємства можуть бути застосовані санкції аж до заборони його експлуатації.

Служба охорони праці створюється на підприємствах з кількістю працівників 50 і більше. Зазвичай виокремлення служби охорони праці як такої в структурі підприємства не практикується. Її функції покладаються на традиційні структурні підрозділи — відділи охорони праці (відділи охорони праці та промислової безпеки, охорони праці та пожежної безпеки).

Підпорядковується служба охорони праці згідно із законодавством безпосередньо роботодавцеві. Проте роботодавець може доручити функціональне управління (кураторство) діяльністю служби іншій посадовій особі, скажімо, головному інженерові, заступникові директора з охорони праці тощо.

Покладення таких обов'язків потрібно закріпити наказом або відобразити необхідним чином в посадовій інструкції уповноваженої особи. Робота служби охорони праці підприємства має здійснюватися відповідно до плану роботи та графіків обстежень, затверджених роботодавцем.

Функціонування будь-якого підприємства неможливе без облаштування його електроустановками. До них належать електричне обладнання, апарати управління, пускорегулювання, контрольно-вимірювальні та освітлювальні прилади, електродвигуни, електропроводи, кабелі тощо. Щоб унеможливити виникнення пожежі, кожна складова систем електроустановок потребує уваги з позиції повного дотримання існуючих правил пожежної безпеки. Застосування, монтаж, наладка та експлуатація електроустановок повинна відповідати вимогам чинних Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ), Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів (ПТБ), ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» та інших нормативних документів. Власник підприємства зобов'язаний забезпечити обслуговування та технічну експлуатацію електроустановок. Особа, призначена відповідальною за їхній протипожежний стан (головний енергетик, енергетик, інженерно-технічний працівник відповідної кваліфікації), зобов'язана:

- організовувати та проводити профілактичні огляди та планово-попереджувальні ремонти електрообладнання й електромереж, а також своєчасне усунення порушень, які можуть призвести до пожежі;

- забезпечувати правильність застосування електрообладнання, кабелів, електропроводок залежно від класу пожежо та вибухонебезпечності зон і умов навколишнього середовища, а також справний стан апаратів захисту від коротких замикань, перевантажень та інших небезпечних режимів робіт;

- організовувати навчання та інструктажі чергового персоналу з питань пожежної безпеки під час експлуатації електроустановок.

У разі неможливості технічного обслуговування електроустановок силами персоналу підприємства його власник повинен укласти договір на планове технічне обслуговування зі спеціалізованою організацією.

Пожежна безпека - стан об'єкта, за якого з регламентованості ймовірністю стає неможливим виникнення і розвиток пожежі та Вплив на людей її небезпечних чинників, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов Виникнення пожежі та мінімізація її наслідків. Пожежа виникає за одночасної наявності горючої речовини, джерела займаною та окисню (кисню, повітря), що разом утворюють паливно середовище. На цьому ґрунтуються основні напрями попередження пожеж та Способи пожежогасіння.

Загальні вимоги пожежної безпеки щодо шафи перетворювача:

- усе електрообладнання (корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників, розподільчих щитів, щитів управління, металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів тощо) підлягає зануленню або заземленню відповідно до вимог розділів Правил улаштування електроустановок (ПУЕ);

- на підприємстві слід встановити порядок відключення напруги з електрообладнання, силових та контрольних кабелів на випадок пожежі. При цьому електроживлення систем пожежної автоматики, протипожежного водопостачання та експлуатаційного (аварійного) освітлення не повинно відключатися;

- електричні машини, апарати, обладнання (апарати управління, пуско-регулювання, контрольно-вимірювальні прилади, електродвигуни, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту повинні відповідати класу зони згідно з ПУЕ, мати апаратуру захисту від струмів короткого замикання та інших аварійних режимів, що можуть виникнути;

- плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із зазначенням на клеймі номінального струму вставки (клеймо ставиться заводом-виготовлювачем або електротехнічною лабораторією);

- температура зовнішньої поверхні електроприладів у найбільш нагрітому місці в нормальному режимі роботи не повинна перевищувати 40 °С;

- несправності в електромережах та електроапаратурі, які можуть викликати іскріння, коротке замикання, понаднормовий нагрів горючої ізоляції кабелів і проводів, повинні негайно ліквідуватися черговим персоналом. Пошкоджену електромережу потрібно відключати до приведення її в пожежобезпечний стан;

- замір опору ізоляції електричних мереж та електроустановок має проводитися в особливо вологих і жарких приміщеннях, у зовнішніх установках, у повному обсязі не рідше 1 разу на рік, якщо інші терміни не обумовлені правилами технічної експлуатації;

До проведення модернізації, обслуговування та внесення змін до електричних схем допускається персонал з необхідними знаннями, щодо конструкції та принцип дії усіх електричних елементів об'єкта модернізації, з групою по електричній безпеці не нижче третьої.

4.3 Розрахунок пристрою заземлення

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до розрахунку заземлювача, так як заземлюючі провідники в більшості випадків приймають за умовами механічної міцності і стійкості до корозії.

Нормований опір відповідно до ПУЕ становить 4.0 Ом. Контур заземлення передбачається спорудити з зовнішньої сторони з розташуванням вертикальних електродів по контуру. В якості вертикальних заземлювачів приймаємо електроди з діаметром 20.00 мм і довжиною 2.50 м, які занурюються в ґрунт. Верхні кінці електродів маємо на глибині 0.50 м від поверхні землі. До них приварюються горизонтальні електроди з тієї ж сталі, що і вертикальні електроди.

Попередньо з урахуванням площі (20x15 м), займаної об'єктом, намічаємо розташування заземлювачів по периметру довжиною 70 м.

Параметри крупнозернистого піску з валунами в місці спорудження, кліматичні коефіцієнти та інші вихідні дані для розрахунку зведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. – Вихідні дані

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
R_f	Нормований опір розтікання струму в землю	Ом	4.00
ρ_1	Питомий опір верхнього слою ґрунту	Ом*м	50.00
ρ_2	Питомий опір нижнього слою ґрунту	Ом*м	30.00
d	Діаметр стержня	мм	20.00
L	Довжина вертикального заземлювача	м	2.50
H	Товщина верхнього слою ґрунту	м	1.00
$t_{\text{полоси}}$	Глибина закладення горизонтального заземлювача	м	1.00
t	Відстань від поверхні землі до середини заземлювача	м	1.75
k_1	Кліматичний коефіцієнт для вертикальних електродів	–	1.0
k_2	Кліматичний коефіцієнт для горизонтальних електродів	–	5.75
b	Ширина сталевієї полоси	мм	50.00
l_{Γ}	Довжина горизонтального заземлювача	м	60.00

Питома розрахунковий коефіцієнт опору ґрунту визначаємо за формулою:

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot (L - H + t_{\text{полосы}}) + \rho_2 \cdot (H - t_{\text{полосы}}))} \quad (4.1)$$

$$\rho = \frac{(50 \cdot 30 \cdot 2.5)}{(50 \cdot (2.5 - 1 + 0.5) + 30 \cdot (1 - 0.5))} = 32.61 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір розтіканню одного вертикального електрода визначаємо за формулою:

$$r_B = \frac{0,366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right) \quad (4.2)$$

$$r_B = \frac{0,366 \cdot 1 \cdot 32,61}{2,5} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 1000}{0,95 \cdot 20} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) \right) = 21,35 \text{ Ом}$$

Передбачувана кількість вертикальних заземлювачів визначаємо за формулою:

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{r_B}{R_i \cdot \eta_B}, \quad (4.3)$$

де η_B - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів.

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{21,35}{4 \cdot 0,66} = 8 \text{ шт.}$$

Таблиця 4.2. Параметри вертикальних і горизонтальних заземлювачів

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
η_B	Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів	—	0.66
η_G	Коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів	—	0.36
h	Відстань між заземлювачами	м	10

Опір горизонтального заземлювача визначимо за формулою:

$$r_G = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho}{l_G \cdot \eta_G} \cdot \lg \left(\frac{2l_G^2}{b \cdot t_{\text{полоси}}} \right) \quad (4.4)$$

$$r_G = \frac{0,366 \cdot 5,75 \cdot 32,61}{70 \cdot 0,36} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 70^2 \cdot 1000}{50 \cdot 0,5} \right) = 15,23 \text{ Ом}$$

Опір вертикальних заземлювачів R не повинно перевищувати значення визначається за формулою:

$$R = \frac{R_i \cdot r_r}{r_r - R_i} \quad (4.5)$$

$$R = \frac{4 \cdot 15.23}{15.23 - 4} = 5.43 \text{ Ом}$$

З урахуванням повного опору вертикальних заземлювачів уточнене кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням сполучної смуги визначається за формулою:

$$n = \frac{r_B}{R \cdot \eta_B} \quad (4.6)$$

$$n = \frac{23.84}{5.43 \cdot 0.66} = 7 \text{ шт}$$

Приймаються до установки 7 вертикальних заземлювачів, загальна довжина горизонтального заземлювача 60.00 м при середній відстані між вертикальними заземлювачами 10 м. Остаточне відстань між вертикальними заземлювачами уздовж сполучної смуги вказується на плані заземлювального пристрою.

Під час встановлення вертикальних заземлювачів необхідно дотримуватися вимог технічних стандартів щодо їх глибини та якості з'єднання з горизонтальним заземлювачем. Також важливо враховувати місцеві геологічні особливості для забезпечення стійкого електричного контакту з ґрунтом. Ретельна перевірка виконання всіх етапів монтажу допоможе запобігти можливим проблемам з електричною безпекою в майбутньому.

Монтажні параметри одиночного заземлювача в піску крупнозернистому з валунами вказані на рисунку 4.3, а конструкція заземлюючого пристрою на рис. 4.4.

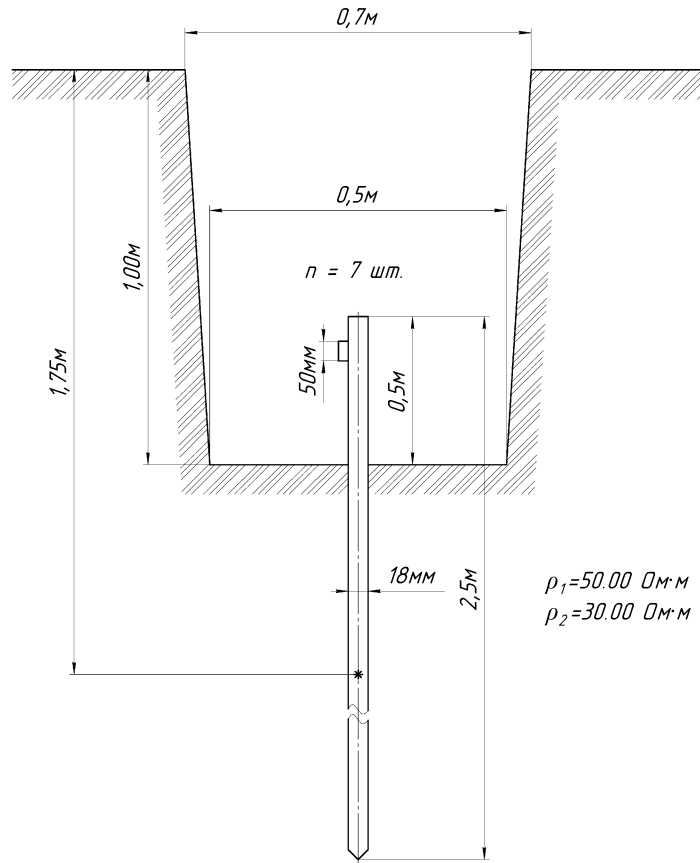


Рисунок 4.3 – Установка одиночного заземлителя в крупнозернистом песку
з валунами

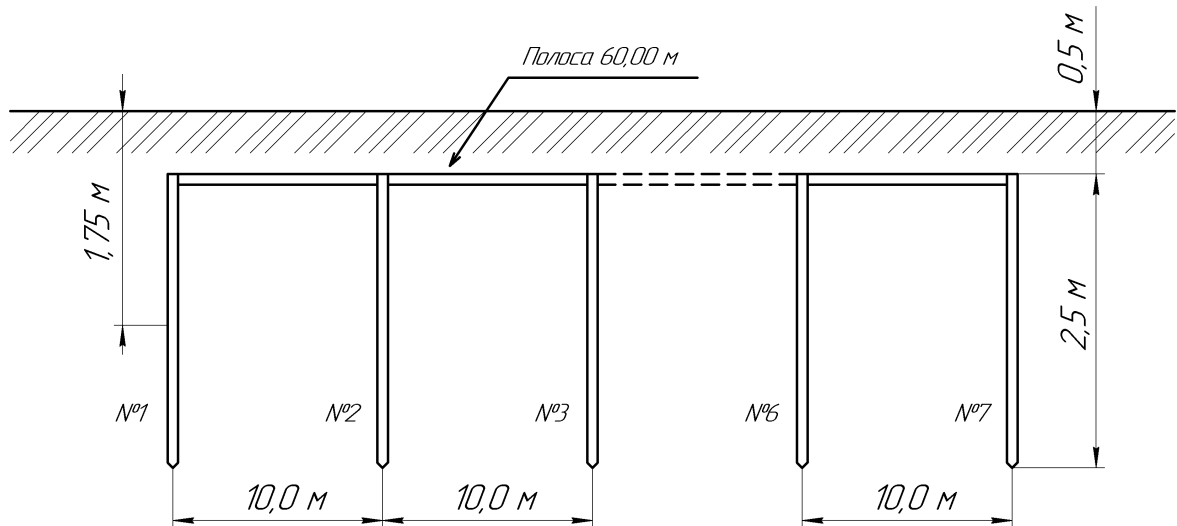


Рисунок 4.4 – Конструкція заземлювального пристрою

4.4. Рекомендації щодо монтажу заземлюючого пристрою

1. Опір заземлюючого пристрою, згідно з вимогами ПУЕ-2017, у будь-який час року має бути не більше 4 Ом.
2. По закінченню монтажу зробити вимір дійсного опору розтіканню струму заземлюючого пристрою. При необхідності збільшити кількість вертикальних і довжину горизонтального електродів.
3. Роботи по установці елементів заземлюючого пристрою виконати у відповідності з рисунком 4.2.
4. Вертикальний електрод - сталевий прут $l = 2,5$ м, $d = 20$ мм, кількість - 7 шт.
5. Горизонтальний електрод – сталева полоса $l = 60$ м, шириною = 50 мм, кількість - 1 шт..
6. Перед забиванням в землю один кінець вертикального електрода зрізати під клин (кут 60 градусів).
7. Відстань між вертикальними електродами - 10 м.
8. Глибина залягання горизонтального заземлювача - 0,5 м нижче рівня землі.

ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЕКТУ

5.1 Економічне обґрунтування проектного виробу

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

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

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

Розшифрування суми витрат по статтям кошторису:

I. Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добутків тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин).

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

Розрахунок зарплати розробників технічної документації на розробку виробу приведений в табл. 1.

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15–20% цієї трудомісткості.

2. Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку зарплати на розробку документації див. табл. 1.

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і розряди роботи підвищені на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата за виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	5	40	48,0	568,00
2	Монтажні	6	24	48,0	368,16
3	Регулювальні	6	8	48,0	136,4
	Разом				3456

3. Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проєктований виріб. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість комплектуючих матеріалів збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Ізоляційні матеріали	Кг	1,20	1,25	1,50
2	Провід, кабель	М	500	1,75	875
3	ПОС-60	Кг	0,3	10,00	3,00
4	Метиси	Кг	1	5,00	5,00
5	Мідні шинки	М	5	200	1000
6	Ізолятори	Шт	5	50	250
	Разом:				2134,5

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Плавкі вставки	3	60,00	180,00
2	Плата	1	1483,33	1483,33
3	Адаптер	1	300,00	300,00
4	Діодний міст	1	1325,00	1325,00
5	Термостат	1	900,00	900,00
6	Реле	10	82,00	820,00
7	Вентилятор	1	920,00	920,00
8	Вставка	10	25,00	250,00
9	Світлодіоди	6	75,00	450,00
10	Контактор	3	190,00	570,00
11	Вимикач	7	220,00	1540,00
12	Перемикач	2	240,00	480,00
13	Кнопка	5	76,00	380,00
14	Трансформатор	1	4000,00	4000,00

15	Тиристор	6	250,00	1500,00
16	Клемне з'єднання	74	8,65	640,10
17	Резистори	24	10	240,0
			Разом:	17,949.43

4. Накладні витрати беруться у розмірі 120...140% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5. Собівартість дослідного зразка визначається за формою таблиці 5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	2	3
1.	Матеріали (табл. 3)	2134,5
2	Куповані комплектуючі вироби (табл. 4)	17,949.43
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	896,70
4	Заробітна плата виробничих робочих (табл.2)	3456,0
5	Нарахування на зарплату (36,9%)	1275,26
6	Накладні витрати(120% п.4)	4147,2
	Разом собівартість	28,858.89

6. Інші витрати включають невраховані витрати, наприклад, витрати на відрядження, на виготовлення або придбання спеціальної апаратури, необхідної для випробування макетів або зразків та ін.

Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва складається за формою таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки (табл.1)	4749,5
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (20% п.1)	849,9
3	Разом ФЗП (п.1 +п.2)	3981,00
4	Нарахування на зарплату (36,9% п.3)	1468,99
5	Накладні витрати (120% п. 3)	4777,20
6	Собівартість дослідного зразка (табл. 5)	21936,52
7	Інші витрати	836,29
	Всього вартість розробки	33500,00

7. Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції

Розрахунок вартості матеріалів.

Витрати на матеріали визначаються з норм витрати і їх вартості за преїскурантом цін (таблиця 5.3), зменшені на 30%.

Розрахунок витрат на куповані комплектуючі вироби.

Витрати на куповані комплектуючі вироби визначаються на основі відомості купованих комплектуючих виробів і їх вартості (таблиця 5.4), зменшені на 30%.

Розрахунок основної заробітної плати виробничих робітників.

Заробітна плата виробничих робітників визначається на підставі трудомісткості виготовлення виробу і відповідних тарифних ставок по видах робіт. При визначенні зарплати на виготовлення серійного виробу трудомісткість по видам робіт зменшується на 100% проти трудомісткості (табл. 2) і розряди роботи знижені на один.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	20	55,0	1100
2	Монтажні	5	12	49,0	588
3	Регулювальні	5	8	65,0	520
	Разом				2208

Доплати і премії приймаються у розмірі 10–25% тарифної заробітної плати.

8. Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, зведених в таблицю 5.8:

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн.
1	2	3
1	Матеріали	2134,5
2	Куповані комплектуючі вироби	17,949.43
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	627,69

4	Основна заробітна плата виробничих робочих (табл. 7)	2208,0
5	Додаткова заробітна платня виробничих робочих (20% п.4)	441,6
№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн.
6	Разом ФЗП (п.4+п.5)	7603,2
7	Нарахування на зарплату (36,9% п.6)	12177,0
8	Накладні витрати (140% п.4)	4838,4
9	Разом собівартість (п.1+п.2+п.3+п.6+п.7)	14928,79
10	Прибуток (30% собівартості)	4478,64
11	Ціна виробника	59541,43

9. Розрахунок критичного обсягу виробництва

Критичний обсяг виробництва визначається по наступній формулі:

$$V_{кр} = \frac{\Pi_{ост} \cdot V}{Ц - C_{п}}, \quad (5.1)$$

де $V_{кр}$ – критичний обсяг виробництва, шт.;

V – планований обсяг виробництва, $V=2$ шт.;

$\Pi_{ост}$ – постійні витрати, $\Pi_{ост} = 14928,79$ грн.;

$Ц$ – ціна виробу, $Ц = 59541,43$ грн.;

$C_{п}$ – середньозмінні витрати, $C_{п} = 4478,64$ грн.

Види витрат і ціна виробу визначаються з калькуляції собівартості (таблиця 5.8). До постійних витрат відносяться загальновиробничі витрати, загальногосподарські витрати і позавиробничі витрати. Останні статті відносяться до середньозмінних витрат.

Тоді критичний обсяг виробництва:

$$V_{кр} = \frac{14928,79 \cdot 5}{59541 - 4478,64} = \frac{74643,95}{14928,79} = 2 \text{ шт.}$$

Критичний обсяг виробництва виробу складає 2 шт.

5.2 Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі :

$$E_p = (\Pi - E_n \cdot K_y) \cdot A_p, \quad (5.2)$$

де Π – прибуток на одиницю продукції;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень
($E_n = 0,15$);

A_p – річний об'єм випуску продукції. Для серійного виробництва
 $A_r = 2$ шт/рік;

K_y – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції

$$K_y = K/A_p = 33000,00/2 = 16500,00 \text{ грн/шт,}$$

де K – капіталовкладення в розробку виробу = витрати на КПВ + вартість основних фондів = 33000,00грн.

Передбачуваний річний економічний ефект :

$$E_p = (4478,64 - 0,15 \times 16500,00) \times 5 = 17443,20 \text{ грн.}$$

Ефективність (Е) розробки дорівнює річному прибутку, що ділиться на капіталовкладення:

$$E = 17443,20/33000,00 = 0,53 \text{ грн/грн}$$

Термін окупності продукції (Т) рівний зворотній величині ефективності:

$$T = 1/E = 1/0,68 = 1,47 \text{ р.}$$

Таблиця 5.9 – Основні економічні показники

Найменування показника	Одиниці вим.	Величина показника
Вартість капітальних вкладень	грн.	33000,00
Річний прибуток	грн.	39836,40
Економічна ефективність	грн./грн.	0,68
Термін окупності	рік	1,47

Економічні розрахунки підтвердили доцільність виготовлення проєктованого виробу.

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проекті були ретельно розглянуті ключові аспекти, пов'язані з випрямлячами промислового призначення, зокрема їх ринок, технічні параметри, виробників, та напівпровідникові джерела живлення, їх технічні особливості та область застосування. Було проаналізовано силову частину випрямлячів, включаючи комутаційне та захисне обладнання, сітьовий трансформатор, силові ключі, датчики напруги і струму, та формувачі імпульсів управління силових ключів. Побудовано структурну та принципову електричні схеми. Проведено розрахунок та вибір силових елементів проектованої схеми приводу: трансформатор, тиристори, захисні ланцюги тиристорів. Окрім того, були розглянуті типові структурні схеми систем управління та електричні схеми функціональних блоків і вузлів системи управління випрямляча. Звернено увагу на питання охорони праці, зокрема на вимоги до електробезпеки та організацію безпечних умов праці. Проведений аналіз економічних показників дозволив оцінити вартість функціональних аналогів та їхню раціональність використання на підприємствах.

Загалом, цей дипломний проект надає глибоке розуміння різноманітних аспектів використання та функціонування випрямлячів промислового призначення, а також вказує на аспекти під час їх проектування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бурсак М.С., Слободянюк, О.В. "Основи електротехніки". Київ: Видавництво Техніка, 2018.
2. Кіпніс В.М. "Електронні пристрої та схемотехніка". Харків: Видавництво Либідь, 2019.
3. J. E. Mazur. An Overview of the Space Radiation Environment. Cross-link. The Aerospace Corporation Magazine of advances in aerospace technology. Summer 2003. Vol. 4 No. 2, pp. 12 – 16.
4. Кузьмін В.Г., Мусієнко, Л.В. "Електротехніка та електроніка". Львів: Видавництво Світ, 2020.
5. Ястребов В.І., Власенко, О.В. "Електронні пристрої. Лабораторний практикум". Одеса: Видавництво Астропринт, 2017.
6. Гнатюк О.М., Семикін, В.М. "Основи електроніки". Київ: Видавництво Інтерсервіс, 2016.
7. Мединський В.В., Яблонський, Є.І. "Основи електротехніки та електроніки". Дніпро: Видавництво НГУ, 2019.
8. Бабенко Ю.В., Кіндрацький, О.І. "Електричні машини, апарати та пристрої". Херсон: Видавництво ПП "Консультант", 2018.
9. Бабенко В.В., Бірюков, Ю.М. "Теорія електричних кіл". Запоріжжя: Видавництво ЗНТУ, 2017.
10. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98). Україна, 1988.

Додаток А

Перв. застосує	Формат	Зона	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
Додаток №				<u>Документація</u>		
	A1		ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.00.Д1	Джерело живлення електроприводу		
				постійного струму		
				Електрична схема і теоритичні		
				часові діаграми		
	A1		ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.00.Е3	Джерело живлення електроприводу		
			постійного струму			
			Схема електрична принципова			
A1		ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.00.Е1	Джерело живлення електроприводу			
			постійного струму			
			Схема електрична структурна			
Підп. і дата	A1		ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.00.ПЕ3	Джерело живлення електроприводу		
				постійного струму		
				Перелік елементів		
Інв. № дубл	A1		ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.00.Д2	Джерело живлення електроприводу		
				постійного струму		
				Результати моделювання		
				електромагнітних процесів		
A1		ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.00.Д3	Джерело живлення електроприводу			
			постійного струму			
			Економічний розрахунок проекту			
Взам. інв. №	A1		ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.00.Д4	Джерело живлення електроприводу		
				постійного струму		
				Заземлюючий пристрій		
Підп. і дата						
Інв. № надл.	ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.00.00					
	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	
	Розроб		Кармазін	<i>[підпис]</i>	24.05.24	Джерело живлення електроприводу постійного струму
	Перевір.		Туришев	<i>[підпис]</i>	24.05.24	
	Нконтр.		Туришев	<i>[підпис]</i>	24.05.24	ІННІ імені Потебні ЗНУ 6.1719-с-3
Затверд.		Критська	<i>[підпис]</i>	24.05.24		

Копіював

Формат А4

Додаток Б

Перв. застосує	Зона	Поз. позначення	Найменування		Кіл.	Примітка			
Додат. №		Q1	Рубильник трифазний із загальним приводом SFT340 Eaton		1				
		VDS1	Однофазний мостовий випрямляч KBPC5010 - 1000В / 250А TM Electro		1				
		F1. F3	Запобіжник із плавкою вставкою NH2 300А dB АскоУКРЕМ		3				
		T1. T6	Трансформатор ТОСМ1-01 (220/48-51) (ДСТУ EN 61558)		6				
		T7	Трансформатор трифазний силовий TS TRI 165		1				
		HLA1. HLA5	Лампа сигнальна ІЕК		5				
Підп. і дата		VS1. VS6	Тиристор силовий T142-90-4 Energy Group		6				
		M2	Вентилятор EE922518X-A99 SUNON		1				
		C1. C6	Конденсатор 0,06 мкФ К78-2 ОЖО 461112 ТУ		6				
		C7. C13	Конденсатор ОЖО 4610112 ТУ		7				
		R1. R6	Резистор ДЕВ-25 R = 80 Ом muRata		6				
		R7. R24	Резистор R-1206 1% 680 1000 Ом muRata		8				
		TA1. TA3	Трансформатор струму 250/5 ESAM		3				
		R25	Резистор MF-2 3,9 кОм muRata		1				
		KA1. KA3	Струмове реле RS250-1 ENext		3				
	Інд. № дубл.		QF1	Автоматичний вимикач ВА88-35 300А ІЕК		1			
			KK1. KK2	Теплове реле CES-RT4-250		2			
			SF1	Автоматичний вимикач 20А ІЕК		1			
			KM1. KM4	Реле захисту та автоматики Schneider Electric		2			
		KN1. KN2	Вказівне реле РЕУ-11 Електросервіс		2				
Підп. і дата	ЕІСПЗ ДП.24.220.00.00.00.00.ПЕЗ								
	Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Інд. № годіл.	Розроб	Кармазін			24.05.24	Джерело живлення електроприводу постійного струму Перелік елементів	Лит.	Аркуш	Аркушів
	Перебір	Туришев			24.05.24				1
	Н.контр	Туришев			24.05.24	ІННІ імені Потебні ЗНУ 6.1719-С-3			
	Затверд	Критська			24.05.24				

Копія

Формат А4