

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

бакалавра
(рівень вищої освіти)

на тему Розробка аеродинамічного джерела
стабілізованої напруги

Виконав: студент 5 курсу, групи ЕЛ-18-бз
спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

М.С. Кушмечко

(ініціали та прізвище)

Керівник _____

професор, д.т.н. проф. Устська Т.В.

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

Рецензент _____

заст. дир. НВКФ Екотех Шершов С.А.

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

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.

“ 14 ” 02 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Несуменно Михайлу Станіславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Розробка аеродинамічного дисерету стабілірваної
диструкції

керівник роботи Критська Тетяна Володимирівна, д.т.н. проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “29” грудня 2022 року № 1894-с

2 Строк подання студентом роботи _____

3 Вихідні дані до роботи Напіввольна Напруга 220V
Струм 66A

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розгляд аналогів на компоненти промислових випромінювачів. Розгляд живлення, Розрахунок силової частини, Конструкторсько-технологічна частина
Економічне обґрунтування

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

*Сирецишурка схема, Схема електрична
 кришівська 2мш, Розумовими моделювання
 Заземлюючої арматури, Екологічні показники*

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	<i>проф. Кришівська Т.В.</i>	<i>13.02.23</i>	<i>20.02.23</i>
2	<i>проф. Кришівська Т.В.</i>	<i>28.02.23</i>	<i>19.03.23</i>
3	<i>проф. Кришівська Т.В.</i>	<i>20.03.23</i>	<i>28.03.23</i>
4	<i>проф. Кришівська Т.В.</i>	<i>27.03.23</i>	<i>26.04.23</i>
5	<i>проф. Кришівська Т.В.</i>	<i>27.04.23</i>	<i>20.05.23</i>

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	<i>Розгляд актоів</i>	<i>20.02.23</i>	
2	<i>Розробка схеми</i>	<i>19.03.23</i>	
3	<i>Моделювання</i>	<i>27.03.23</i>	
4	<i>Екологічні розрахунки</i>	<i>26.04.23</i>	
5	<i>Оформлення роботи та графічної частини</i>	<i>20.05.23</i>	

Студент *Мауменко М.С.* (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) *Кришівська Т.В.* (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *Григорів К.О.* (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Сторінок – 88

Рисунків – 19

Джерел – 23

Науменко М.С. Розробка аеродромного джерела стабілізованої напруги: кваліфікаційна робота бакалавра спеціальності 171 «Електроніка» / наук. керівник професор, д.т.н., Т. В. Критська. Запоріжжя : ЗНУ. 2023. 88 с.

Мета проекту: розробка джерела живлення для енергопостачання аеродромного електрообладнання на базі керованого тиристорного випрямляча з нульовим виводом та розрахунок його доцільності.

В дипломному проекті розроблене джерело живлення для аеродромного обладнання на базі керованого тиристорного випрямляча та виконані розрахунки компонентів силової частини. Були розглянуті основні принципи роботи і характеристики компонентів силової частини випрямляча.

У дипломному проекті розглянута конструкторсько-технологічна частина та проведене економічне обґрунтування даного виробу.

Ключові слова: *джерело живлення, аеродромне обладнання, тиристор, керований випрямляч.*

ABSTRACT

Pages – 88

Drawings – 19

Sources – 23

Naumenko M.S. Development of an airfield source of stabilized voltage: qualification work of a bachelor of specialty 171 "Electronics" / scientific. head professor, doctor of technical sciences, T. V. Kritskaya. Zaporozhye: ZNU. 2023. 88 p.

The purpose of the project: development of a power source for power supply of airfield electrical equipment based on a thyristor control rectifier with zero output and calculation of its feasibility.

In the graduation project, a power supply for airfield equipment based on a controlled thyristor rectifier was developed and the calculation of the components of the power unit was performed. The main principles of operation and properties of the components of the power part of the rectifier were considered.

In the graduation project, the design and technological part was considered and an economic justification for this product was carried out.

Key words: power supply, airfield equipment, thyristor, controlled rectifier.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 РОЗГЛЯД АНАЛОГІВ ТА КОМПОНЕНТІВ ПРОМИСЛОВИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ.....	10
1.1 Огляд аналогів.....	10
1.2 Технічні вимоги, що пред'являються до джерел живлення проми- слового призначення.....	12
1.3 Огляд можливих технічних рішень, вибір і обґрунтування схеми...15	
1.4 Опис теоретичної електричної схеми керованого випрямляча, принципу роботи та часових діаграм при $\alpha > 0$ ел. град.....	18
1.5 Опис принципу роботи і основних технічних характеристик компонентів силової частини проектного випрямляча.....	19
1.6 Опис типових структурних схем системи управління і електричних схем функціональних блоків і вузлів системи управління випрямляча.....	33
1.7 Постановка завдання проекту.....	42
2 ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ АЕРОДРОМНОГО ОБЛАДНАННЯ НА БАЗІ ТРИФАЗНОГО КЕРОВАНОГО ВИПРЯМЛЯЧА.....	44
2.1 Опис електричної структурної схеми джерела живлення, що складається з силової частини і системи управління.....	44
2.2 Опис електричної принципової схеми силової частини проектного випрямляча.....	47
3 РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ ШЕСТИФАЗНОГО ВИПРЯ- МЛЯЧА З ПОРІВНЮВАЛЬНИМ РЕАКТОРОМ.....	49
3.1 Інженерний розрахунок основних енергетичних параметрів і параметрів компонентів електричної принципової схеми.....	49
3.1.1 Розрахунок і вибір напруг вторинної обмотки трансформатора.....	49
3.1.2 Визначення напруги холостого ходу керованого випрямляча...50	
3.1.3 Розрахунок основних параметрів силової частини випрямляча.....	52
3.1.4 Перевірка вентилів по тепловому режиму.....	54

3.1.5	Розрахунок захисних ланцюгів для тиристорів.....	55
3.1.6	Розрахунок вихідного фільтру.....	58
4	КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	61
4.1	Опис технології виготовлення деталі, складальної одиниці або функціонального вузла джерела живлення.....	61
4.2	Опис шкідливих факторів і заходів з охорони праці при виготовленні виробу	67
4.3	Розрахунок пристрою заземлення.....	73
5	ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИРОБУ, ЩО РОЗРОБЛЕНО. .	78
5.1	Підсумок витрат за статтям кошторису.....	78
	ВИСНОВОК.....	85
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	86

ВСТУП

До складу процедур передпольотної підготовки сучасних літальних апаратів майже 90 відсотків складають процедури, що використовують спеціалізоване обладнання, яке живиться від наземних джерел живлення. Звісно, подібне електрообладнання має певні відмінності від електрообладнання загальнопромислового призначення. Існуючий парк джерел живлення аеродромного призначення є застарілим. Також негативним фактором, що може стримувати розвиток авіаційної техніки, є відсутність виробництва джерел живлення подібного призначення на території України. Таким чином виникає проблема необхідності створення виробництва аеродромних джерел живлення власного українського виробництва. Для вирішення цієї проблеми першим кроком повинна бути розробка власного джерела живлення для аеродромного обладнання. В представленій роботі вирішується саме ця проблема. Основним елементом аеродромного джерела живлення є керований випрямляч, в якому у якості електронних ключів використовується тиристор.

Тиристорний перетворювач змінного струму в постійний струм є приладом перетворення змінного струму в постійний з регулюванням вихідних параметрів. Вибір силових схем вентильних перетворювачів та розрахунок параметрів схеми виходить з області використання приладу, що використовує джерело живлення. До переліку завдань, які повинні виконуватися таким вторинним джерелом живлення, відносяться наступні:

- забезпечення передачі потужності з найменшими втратами і дотримання встановлених характеристик;
- перетворення форми напруги в необхідну; перетворення величини напруги та струму;
- стабілізація та регулювання параметрів (напруга, струм та інші) в необхідному діапазоні;
- захист обладнання, що живиться від цього джерела; та керуван-

ня і контроль над джерелом живлення в цілому.

Виробництво і розподіл електричної енергії загалом здійснюється на змінному струмі. А для використання цієї енергії в більшості електронних схем необхідно перетворити змінний струм в постійний. На сьогоднішній момент для цього перетворення майже виключно застосовуються напівпровідникові перетворювачі електричної енергії – випрямлячі.

1 РОЗГЛЯД АНАЛОГІВ ТА КОМПОНЕНТІВ ПРОМИСЛОВИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

1.1 Огляд аналогів

- Для живлення аеродромного електрообладнання можливе використання тільки спеціально призначених для цього випрямлячів. Причина тому – деякі особливості роботи таких пристроїв:

- Мала вихідна напруга (як правило, воно лежить в межах 12 ... 27 В) в поєднанні з високим (до 600 А) значенням сили струму.

- Опір навантаження в процесі роботи може змінюватися в кілька разів.

- Встановлені сила струму або напругу повинні витримуватися на виході з точністю не гірше 3%. Це обумовлено специфікою аеродромного обладнання та необхідністю дотримання високих норм безпеки.

- Малий рівень пульсацій на виході, так як пульсації з частотами 50 ... 300 Гц погано позначаються на часі роботи специфічного обладнання як аеродромного комплексу, так і самого літака.

- Бажана наявність функції обмеження по струму на заданому користувачем рівні при стабілізації напруги (якщо сила струму перевищує задане значення, то вихідна напруга зменшується).

Велика потужність, необхідна для предпольотної підготовки літака, обумовлює живлення випрямляча від трифазної мережі.

1.1.1 Інформація про продукцію, її постачальників і виробників

Спеціалізовані випрямлячі для аеродромного електрообладнання виготовляються в різних виконаннях в залежності від комутуємого стабілізованого струму та напруги. Як правило, типові номінали струму можуть доходити до 500 А, а напруги – від 12 В до 27 В.

На українському ринку наявні декілька виробників керованих випрямлячів, наприклад, ТОВ "Електропроект", однак виробників джерел живлен-

ня саме аеродромного обладнання та власних розробок подібного обладнання на сьогодні майже відсутні. На сьогодні використовується застаріле обладнання, яке було виготовлене в минулі роки.

Існує можливість замовляти випрямлячі іноземних фірм, наприклад CAEV (Італія, під замовлення, ціна договірною, різний форм-фактор в залежності від номіналів), бренду XingTongLi (Sichuan, Китай), Green Power Co. (Китай, під замовлення, ціна договірною). Але ціна цього обладнання звичайно може бути значно вищою, ніж обладнання, яке могло бути виготовлене на теренах України. На сьогодні на ринку представлені тиристорні випрямлячі. Іноді знаходяться і прилади що використовують IGBT-модулі для випрямлення енергії.

В зв'язку з тим, що аеродромне обладнання є обладнанням специфічним та як правило виготовляється на замовлення виробників аерокосмічної галузі, то при виконанні огляду аналізувати прямі аналоги майже неможливо. Однак напівпровідникові випрямлячі мають загальні властивості. В даній роботі зроблена аналіз аналогічних пристроїв різноманітного призначення. Найбільш поширеним застосуванням керованих випрямлячів є галузь гальванічного виробництва. Розглянемо випрямлячі для гальваніки, що близькі по використанню та параметрам до технічного завдання дипломного проекту в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Керовані випрямлячі

	В-ТПЕ- 400-48-01 УХЛ4	GKD(M)(H)48- 200CVC	GKD50-1000CVC
Мережа живлення: напруга, В частота, Гц	380 (3 фази) 50	380 (3 фази) 50/60	380 (3 фази) 50/60
КПД, не менше %	80,00%	>85,00%	>85,00%
Коеф. потуж	0.92	-	-
Вихідні параметри: напруга, В струм, А	6...48 (номінал) 10...400 (номінал)	0...48 0...200	0...50 0...1000
Розмір, мм	800x600x1600	525x410x240	Під заказ
Вага, кг	400	30	--

1.1.2 Розгляд функціональних можливостей В-ТПЕ- 400-48-01 УХЛ4

Режими стабілізації: живлення навантаження стабілізованим струмом з обмеженням по максимальній напрузі, живлення навантаження стабілізованою напругою з обмеженням по максимальному струму, живлення навантаження стабілізованою напругою із заданим обмеженням по струму (тобто з автоматичним переходом до роботи в режимі обмеження - стабілізації заданого струму при збільшенні навантаження випрямляча). При завданні режимів на панель управління виводиться цифрове значення уставок задаються струму і напруги.

У всіх режимах стабілізації діє індикація поточного параметра, за яким в поточний момент відбувається стабілізація (по струму або по напрузі). Всі моделі випрямлячів комплектуються цифровим таймером до 99 годин і цифровим лічильником ампер-годин.

У разі відключення напруги в мережі живлення виконується збереження даних і при наступному відновленні напруги в мережі - автоматичне включення випрямляча в заданому режимі з продовженням роботи таймера і лічильника ампер-годин.

Діє детальна діагностика стану випрямляча. Випрямляч має захист від внутрішніх коротких замикань на вході і на виході, а також від перевантажень по струму. Захист від перевантажень по струму здійснюється з зворотною залежністю часу спрацьовування від струму перевантаження. Діє захист від перегріву силового трансформатора і силових напівпровідникових приладів. [1]

1.2 Технічні вимоги, що пред'являються до джерел живлення промислового призначення

Технічні вимоги згідно з державним стандартом 18142.1-85 “Випрямлячі напівпровідникові потужністю більш ніж 5 кВт. Загальні технічні умови”. Нумерація надалі означає пункт зі стандарту.

3.1 Випрямлячі повинні відповідати вимогам цього стандарту, держ.-стандарту 24682-81, стандартів та технічних умов (надалі в цьому розділі-ТУ) на випрямлячі, держ.стандарту 17412-72 для районів з холодним кліматом, держ.стандарту 15963-79 для районів з тропічним кліматом.

3.4 Вимоги до конструкції

3.4.1 Габаритні, установчі, приєднувальні розміри і маса випрямлячів та їх складальних частин повинні бути встановлені в стандартах та ТУ.

3.4.2 Випрямлячі повинні бути виготовлені у вигляді єдиної конструкції або декількох складальних частин, які об'єднуються на місці монтажу в єдину конструкцію.

3.4.3 Конструкція випрямлячів повинна бути ремонтпридатна.

3.4.4 Робоче положення випрямлячів, при якому забезпечується їх працездатність повинне бути вказане в стандартах та ТТУ.

3.4.5 Функціональні блоки випрямлячів повинні мати направляючі елементи, роз'єми и відповідні надписи на блоках та місцях їх установки, що запобігає їх невірній установці та включенню.

3.4.9 Випрямлячі або їх складальні частини повинні мати пристрої для захисту персоналу від дотику до струмопровідних або рухомих частин, за виключенням випрямлячів з сутінню захисту IP00 по держ. Стандарту 14254-80. Ступінь захисту випрямлячів з вихідною напругою до 72,5 кВ повинна відповідати держ.стандарту 14254-80 и бути встановлена в стандартах і ТУ на випрямлячі.

3.4.14 В номінальних режимах роботи випрямлячів температура нагріву їх частин, що торкається з електричною ізоляцією, в найбільш нагрітій точці повинна не перевищувати значень, встановлених держ.стандартом 8865-70 для відповідного класу електричної ізоляції по нагрівостійкості при температурі навколишнього середовища, що дорівнює ефективній.

3.4.15 Температура повітря всередині випрямляча не повинна перевищувати значень встановлених в стандартах та ТУ на випрямлячі.

3.5 Вимоги до електричних параметрів

3.5.1 Вимоги до якості електроенергії на вході

3.5.1.1 Випрямлячі з вихідною напругою до 10000В повинні забезпечувати номінальні параметри з урахуванням допустимих відхилень при наступних нормах:

усталене відхилення вхідної напруги – для випрямлячів живлення гальванічних ванн - $\pm 10\%$;

усталене відхилення частоти вхідної напруги – $\pm 2\%$;

усталене відхилення напруги мережі власних потреб – $+10,-15\%$;

перехідне відхилення напруги мережі власних потреб змінного струму – до 40 % номінального амплітудного значення, тривалістю до 30 ел. град. В влюбій точці синусоїди, але площею не більш 120% ел. град.

Норми на усталене відхилення вхідної напруги випрямлячів з вихідною напругою вище 1000 В повинні відповідати значенням, вказаних в стандартах і ТУ на випрямлячі.

3.5.2 Вимоги до силових ланцюгів випрямлячів

3.5.2.1 Випрямлячі повинні забезпечувати заданні параметри при роботі на активне або індуктивне навантаження, або проти е.д.с, або змішане навантаження. Характер навантаження повинен бути вказаний в стандартах та ТУ на випрямлячі.

3.5.2 Випрямлячі в залежності від області застосування повинні допускати режими навантаження, що вказані в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Режими навантаження

Режим навантаження	Вихідний струм, % номінального значення	Тривалість
1	100	Тривалий режим
2	100 150	Тривалий режим 1 хвилина

4. Вимоги безпеки

4.1 Випрямлячі повинні відповідати вимогам безпеки за держ.

стандартом 12 2 007 0-75, а також вимогам “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів” і “Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок”.

4.2 Температура нагріву поверхні зовнішньої оболонки випрямлячів не повинна перевищувати 70 градусів Цельсія.

4.3 Випрямлячі повинні мати заземлюючі затискачі, кількість яких встановлюється в стандартах і ТУ на випрямляч. Конструкція та розміри заземлюючих затискачів і знаку заземлення повинні відповідати держ. стандарту 21130-75.

4.4 Пожежобезпечність конструкції випрямлячів повинна бути забезпечена максимально можливим використанням не горючих і важкогорючих матеріалів, засобами захисту передбаченими в п 3.5 3.4, вибором відстані між струмоведучими частинами згідно з “Правилами улаштування електроустановок”.

1.3 Огляд можливих технічних рішень, вибір і обґрунтування схеми

Як уже було згадано, для використання джерела живлення для аеродромного обладнання, схемотехнічне рішення випрямляча повинне задовольнити такі головні умови:

- Велика потужність обумовлює живлення випрямляча від трифазної мережі.
- Малий рівень пульсацій на виході.
- Мала вихідна напруга (6...48 В) у поєднанні з високим (до 12000 А) значенням сили струму.

Відповідно з першою умовою розглядаємо тільки ті схеми випрямлення, що випрямляють трьохфазний струм.

За другою умовою можна виділити такі схеми випрямлення змінної напруги в постійну:

- Трьохфазна мостова схема випрямлення.

- Шестифазна схема випрямлення трьохфазного струму зі з'єднанням вторинних обмоток трансформатора “зірка – зворотна зірка” з наявним або відсутнім порівняльним реактором.

Розглянемо трьохфазну мостову схему випрямлення (див. Рис. 1.1):

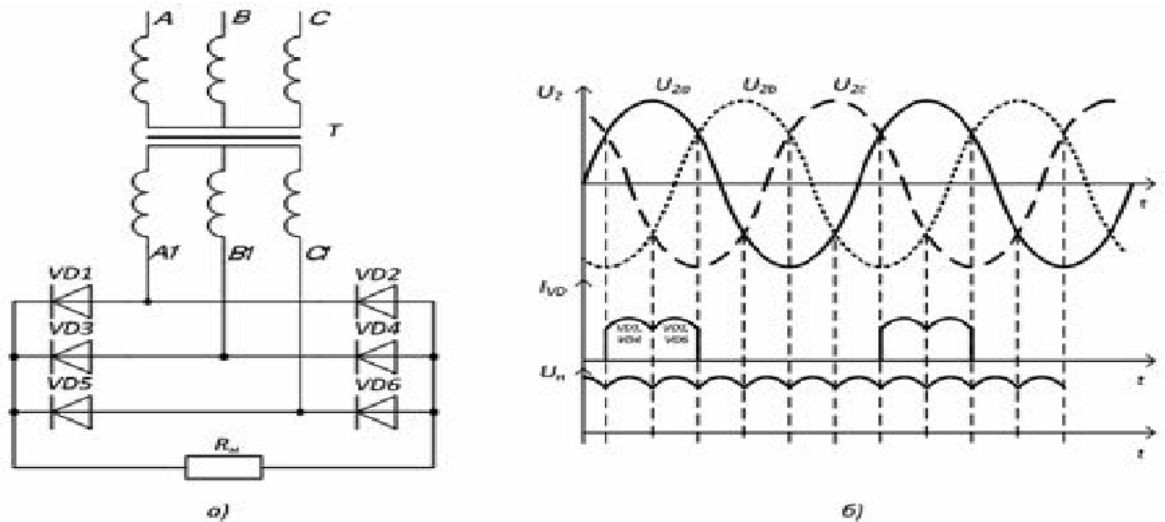


Рисунок 1.1 Трьохфазна мостова схема випрямляча: а) схема,

б) часові діаграми

Мостова схема випрямлення трифазного струму має найкраще використання встановленої потужності трансформатора серед всіх схем.

- Використання вентилів по зворотній напрузі в двонапівперіодній (мостовій) схемі випрямлення в два рази краще ($U_{d0} = 2.34 U_2$), ніж у всіх однополуперіодних (нульових) схемах випрямлення трифазного струму.
- Специфікою мостової схеми є протікання випрямленого струму через два послідовно включених вентиля і внаслідок цього подвійні втрати напруги і потужності в порівнянні з однополуперіодними схемами випрямлення.

Незважаючи на те, що сукупність переваг трифазної мостової схеми випрямлення робить її основною схемою серед всіх схем випрямлення і забезпечує їй переважне застосування, специфіка з протіканням струму через два

вентиля робить її не перспективною для використання в випадках з малими значеннями випрямленої напруги і дуже великими значеннями випрямленого струму – третій умові для джерела живлення електролізних приладів.

Розглянемо шестифазну схему випрямлення з порівняльним реактором (див. Рис. 1.2):

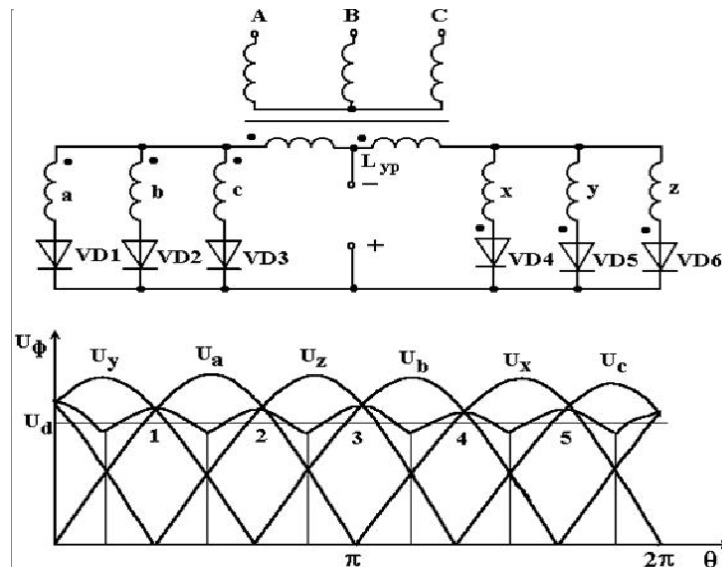


Рисунок 1.2 Шестифазна схема випрямлення: схема та часові діаграми роботи

За результатами огляду параметрів цієї схеми можна зробити наступні висновки:

1. Ця схема має краще гірше використання трансформатора за типовою потужністю, ніж в трьохфазній мостовій схемі.
2. Використання вентилів по зворотній напрузі і по встановленій потужності у всіх схемах однонапівперіодного випрямлення однакове. Особливістю даної схеми є в два рази більше значення коефіцієнта перетворення схеми по струму і в два рази більше відношення середнього значення випрямленої струму до середнього значення анодного струму вентилів.
3. Якість випрямленої напруги тут істотно вище, ніж в інших однонапівперіодних схемах, через зменшення його амплітуди пульсацій і збільшення в два рази частоти пульсацій з триразової до шестиразової.

У підсумку ця схема раціональна для використання при низьких значе-

ннях випрямленої напруги і великих значеннях випрямленого струму, оскільки тут випрямлений струм складається з анодних струмів шести вентилів (а не трьох, як у інших базових випрямлячах трифазної напруги).

Порівнювальний реактор дозволяє вирівняти миттєві значення напруги двох вторинних обмоток, що дозволяє більш ефективно використати вентиль, оскільки при цьому кожна обмотка працює окремо. Тобто кожен випрямний пристрій в схемі з порівняльним реактором працює $2/6$ періода, коли без порівняльного реактора працює лише той вентиль, на якому анодна напруга є найвищою (в цьому випадку період роботи напівпровідникового пристрою складає $1/6$ періода). Схемотехнічне рішення обране для даного проекту – Шестифазний випрямляч з порівняльним реактором. Недоліком цієї схеми є наявність порівняльного реактора, що має типову потужність близько 70% випрямленою номінальної потужності. Крім того, в шестифазних схемах використовується досить складна конструкція трансформатора. [2]

1.4 Опис теоретичної електричної схеми керованого випрямляча, принципу роботи та часових діаграм при $\alpha > 0$ ел. град

З попереднього розділу визначилися зі схемою випрямлення – це шестифазна схема випрямляча з порівняльним реактором. Теоретична електрична схема цього типу випрямлячів та часові діаграми при $\alpha=0$ ел.град. та $\alpha=20$ ел.град. наведені на листі 1 (шифр ЕС.Д2.00.00.00.00.Д1).

Шість вторинних обмоток розділені на дві трифазні групи, кожна з яких з'єднана в зірку. Нульові точки зірок зв'язані між собою однофазним реактором з середньою точкою, яка є від'ємним полюсом для кола навантаження. Вільні кінці вторинних обмоток однієї зірки приєднані до непарної групи вентилів, а кінці другої зірки – до парної групи.

Дія порівняльного реактора як порівнювача напруг пояснюється тим, що різниця миттєвих значень фазових напруг наводиться в обмотках реактора, коли хоча б по одній з них проходить необхідний для цього

намагнічуючий струм (або порівняльний струм). Величина цього струму завдяки виконанню з замкнутим сталевим сердечником дуже мала – в колі випрямленого струму цьому струму намагнічування відповідає струм $I_{d\text{ крит}}$, значення якого лежить в межах від 0.5 до 1% від номінального значення струму $I_{d\text{ номінал}}$. В кожній з половин обмотки порівнювального реактора наводяться при цьому однакові по величині, але різні по знакам напруги (відносно середнього виводу). В результаті анодні напруги в межах однієї зірки зменшуються на $u_{к1}$, а в межах іншої зірки – зростають на $u_{к2}$. Це і призводить до вирівнювання напруг в збіжних фазах і паралельній роботі вентилів, зв'язаних з ними. Завдяки цьому в кожен момент часу через дві вторинні обмотки різних зірок проходять струми одночасно. Це відповідає перетворенню шестифазної системи в подвійну трьохфазну систему. Зміна анодних струмів в кожній з зірок відбувається через кожну третю періоду, коли напруга в кожній фазі стає вище, ніж в попередній.

Крива випрямленої напруги складається з ділянок, які розташовані посередині між вторинними фазовими напругами, які беруть участь в одночасному проведенні струму. Період повторюваності в кривій випрямленої напруги відповідає шестикратній періодичності.

Тривалість анодних струмів (без врахування комутаційних ділянок) дорівнює $2\pi/3$, а амплітуда (без врахування в величині змінної складової струму, що намагнічує реактор) дорівнює $I_d/2$. Збільшення тривалості і менше значення амплітуди анодного струму є факторами, що є сприятливими для випрямляча, оскільки вони дозволяють помітно підвищити навантажувальну можливість вентилів і обмоток трансформатора. Саме цим пояснюється використання цієї схеми в випрямлячах на великі струми. [3].

1.5 Опис принципу роботи і основних технічних характеристик компонентів силової частини проектного випрямляча

1.5.1 Комутаційне обладнання

1. Ножовий вимикач (застаріла назва – рубильник; англ. Knife switch) – електричний комутаційний апарат, що має рухомі контакти ножеподібного типу, який призначений для ручного вмикання, вимикання і перемикання електричних кіл із постійною напругою до 440 В та змінною напругою до 500 В при відсутності навантаження і при постійній напрузі до 220 В та змінній до 380 В під навантаженням.

2. За сучасною класифікацією рубильники відносяться до вимикачів навантаження або перемикачів ножового типу з ручним керуванням і в нормативній документації (ДСТУ та стандартах ІЕС) термін «рубильник» не використовується. [4]

Принцип дії ножового вимикача

Найбільш поширені в даний час рубильники виконуються за принципом лінійного зіткнення рухомого контакту (ножа) з нерухомою контактної стійкою. Лінійний контакт забезпечує малий перехідний опір, розрив великих струмів і надійність в роботі. На рис. 1.3 показаний принцип лінійного контакту. Нерухома контактна стійка 1 стикається з лінії з рухомим контактним ножом 2, що складається з двох смуг з циліндричними виступами 3, які забезпечують зіткнення зі стійкою по лінії. Кінці смуг ножа охоплюються плоскою пружиною 4.

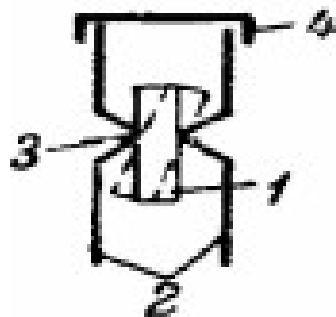


Рис. 1.3 Лінійний контакт

Загальний вигляд двополюсного вимикача зображено на рисунку 1.4.

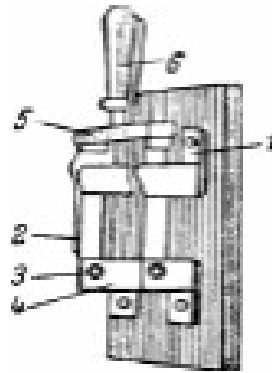


Рис. 1.4 Двополюсний ножовий вимикач

Кожен полюс рубильника складається з контактної стійки 1 з двома губками, між якими входить контактний ніж 2, що обертається на осі 3, закріпленої в нижніх губках 4. Контактні ножі жорстко з'єднані ізолюючою траверсою 5, на якій укріплена ізольована ручка 6.

Компонування контактів виключає довільне випадання рухомого контакту під силою тяжіння або зовнішніх вібрацій. Перемикання залежить тільки від фізичної сили оператора, енергія на розчеплення накопичується при включенні (тоді контакти розходяться миттєво) або вилучається під час вимикання (тоді швидкість розбіжності залежить від швидкості повороту ручки). [5]

Класифікація

Комутаційні апарати класифікують за такими ознаками:

- умовний тепловий струм в амперах;
- кількість полюсів;
- за напрямками, в які можна направити струм: розривний перемикає на 1 напрямок (має 2 положення); реверсивний включає живлення від резервного джерела при зникненні напруги від основного (має 3 положення).
- за наявністю дугогасної системи: якщо вона в складі вимикача, то є можливість гасити електричну дугу, тобто відключати навантажені мережі,

інакше можливість знеструмлення мережі є тільки після зняття навантаження;

- по можливості гарантувати роз'єднання;
- по розташуванню рукоятки і можливості її зняття;
- за наявністю допоміжних контактів для ланцюгів сигналізації і автоматизованого управління;
- за ступенем захисту (переважає відсутність захисту або відкрите виконання - IP00);
- по кліматичному виконанню і категорії розміщення (переважає виконання УХЛЗ - робота в помірному і холодному макрокліматичних районів при установці в неопалюваних приміщеннях);
- за наявністю вбудованого запобіжника (роз'єднувач-запобіжник). [4]

3. Пускач електромагнітний - низьковольтний електромагнітний (електромеханічний) комбінований пристрій розподілу і керування. Пускач зазвичай являє собою модифікований контактор, він може бути укомплектований додатковими пристроями, такими як теплове реле для аварійного відключення двигуна, додатковою слабострумовою контактною групою або групами, що використовуються в ланцюгах управління, і/або кнопкою пуску. Іноді пускачі забезпечуються пристроєм аварійного відключення при випаданні (обриві) однієї з фаз трифазної мережі живлення трифазних електродвигунів. Виконання магнітних пускачів може бути відкритим і в корпусі; реверсивним і нереверсивним; з вбудованим тепловим захистом електродвигуна від перевантаження і без нього.

Величини магнітних пускачів – для того, щоб забезпечити пристойну роботу електроприладів в тих ланцюгах, що комутуються пускачами, потрібно, щоб характеристики останніх цілком відповідали експлуатаційним умовам. Допускається незначна невідповідність (в більшу сторону) по допустимого значення струму. Вираз «величина» є умовним терміном, що позначає те, який струм може пропустити через головні робочі контакти обраний магнітний пускач. При присвоєнні величини вважається, що пускач

працює при напрузі 380 В, а його робочий режим АС-3. [6]

До найважливіших характеристик пускача відносяться:

- Максимально допустимий струм головного ланцюга в амперах (нормується для режиму роботи пускача АС-1, АС-3 або АС-4 окремо для кожного із значень напруги головного ланцюга, тобто робочої напруги пускача).
- Максимально допустима напруга головного ланцюга (В).
- Напруга живлення котушки, яка втягує (В). Може бути вибрано з ряду 24, 36, 42, 110, 220, 380 змінного струму. Деякі типи пускачів виготовляються з магнітною системою з харчуванням котушки управління постійним струмом, при цьому їх включають в ланцюг змінного струму через випрямляч.
- Комутаційна зносостійкість. Обчислюється в мільйонах циклів включення-виключення. Для визначення комутаційної зносостійкості необхідно задати режим роботи пускача, напругу та струм головного ланцюга (або потужність керованого двигуна) та, по відповідній номограмі, наведеної в технічному описі пускача, визначити гарантоване число включень-відключень. При цьому необхідно врахувати, що режим роботи пускача враховує частоту його включень-відключень на годину.
- Максимально допустимий струм допоміжних контактів. Обчислюється в амперах при заданій напрузі на контактах.

Потужність, споживана котушкою, яка втягує;

Максимальний струм головного ланцюга є нормованим та обирається з наведеної шкали: 6,3 А; 10 А; 25 А; 40 А; 63 А; 100 А; 160 А; 250 А.

Принцип дії

Пускач діє за принципом електромагніту: під час проходження струму по котушці притягуються контакти і замикається електричне коло.

Загальний пристрій складається з основної частини і якоря, який рухається по напрямним. Рухома частина має місток з контактами, який забезпечує розрив ланцюга в двох місцях, для виключення напруги. Також місток служить для якісного з'єднання проводів під час підключення схеми в дію. Си-

стема перевіряється вручну. Натискають на якір і відчувають зусилля пружин, яке при роботі долається електромагнітом. При відпуску якоря контакти повертаються назад.

Коли в ланцюзі відсутній електричний струм, то навколо обмотки магнітне поле зникає, що приводить до відходу якоря в початкове положення. При подачі напруги відбувається зворотний процес. Робоче включене положення якоря впливає на функціонування пристрою. У такому положенні повинно бути якісне з'єднання контактів. При найменшому ослабленні пружин контакти починають підгоряти, нагріватися та відбувається відгорання кінців проводів. [7]

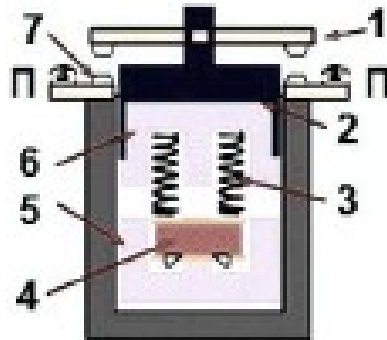


Рисунок 1.5 - Загальна будова електромагнітного пускача, де 1 – рухомі контакти, 2 – рухомий якір, 3 – пружини, 4 – котушка, 5 – стаціонарний сердечник, 6 – рухомий сердечник, 7 – стаціонарні контакти

1.5.2 Захисне обладнання

Автоматичний вимикач дозволяє комутувати ланцюг, переводячи важіль керування вгору - автомат підключається до ланцюга; переводячи важіль вниз - автомат відключає лінію живлення від ланцюга навантаження.

Автоматичний вимикач має:

- вбудований тепловий розчіплювач, який захищає лінію навантаження від струмів перевантаження, він інерційний і спрацьовує через деякий час;
- вбудований електромагнітний розчіплювач, що захищає лінію навантаження від великих струмів короткого замикання і спрацьовує майже миттєво;

- дугогасну камеру, яка захищає силові контакти від руйнівної дії електромагнітної дуги.

Автомат не рекомендується використовувати в якості звичайного вимикача ланцюга, особливо якщо його відключати при підключеній потужній навантаженні (тобто при великих токах в ланцюзі), оскільки це прискорить руйнування і ерозію контактів.

Характеристики автоматичного вимикача

Номінальний струм (I_{max} , який може протікати через автомат нескінченно довго, не відключаючи захисний ланцюг) та часо-струмова характеристика ($t_{відключення}(I_{АВимикача})$).

1) Ряд значень номінального струму автоматичних вимикачів стандартизований і становить: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100А. Величина номінального струму автомата вказується на його корпусі в амперах і відповідає температурі навколишнього середовища +30 градусів Цельсія. Зі збільшенням температури, значення номінального струму знижується.

2) У момент підключення в електричну мережу деяких споживачів в ланцюзі короткочасно виникають пускові струми, які можуть в кілька разів перевищувати номінальний струм автомата. Для кабелю такі короткочасні кидки струму не страшні. Тому, щоб автомат не вимикався кожен раз при невеликому короткочасному зростанні струму в ланцюзі, застосовують автомати з різними типами часо-струмової характеристики. Важливість цієї характеристики полягає в тому, що автомати з однаковим номіналом будуть відключатися по-різному (в залежності від типу час-струмової характеристики). Це дає можливість зменшити кількість помилкових спрацьовувань, застосовуючи автоматичні вимикачі з різними струмовими характеристиками для різних типів навантаження.

Поділяються на: Тип А (2-3); Тип В (3-5); Тип С (5-10); Тип D (10-20); Тип К (8-12); Тип Z (2,5-3,5 значень номінального струму).

3) Номінальна напруга – напруга змінного або постійного струму, що протікає через автоматичний вимикач, при якому нормуються його технічні

характеристики.

Зазвичай вказується одне або кілька значень номінальної напруги, наприклад 230В і 380В (або 400В). Для універсальних автоматичних вимикачів значення номінальної напруги змінного струму вказують з символом \sim , а постійного струму – з символом - .

4) Гранична комутаційна здатність – граничне значення струмів короткого замикання в ланцюзі, при проходженні яких через автомат, зберігається його працездатність. Це максимально можливий струм короткого замикання, при виникненні якого автоматичний вимикач зможе відключити ланцюг захисту і залишитися при цьому працездатним.

Загалом використовуються автомати з граничним струмом короткого замикання 4500 ампер, 6000 ампер і 10000 ампер. Вказується на корпусі автомата в прямокутнику.

Якщо граничні комутаційні здатності при коротких замиканнях для змінного і постійного струму відрізняються один від одного, то їх вказують у двох розташованих поруч прямокутниках, позначених символами змінного і постійного струму, наприклад: 10000 \sim 6000 \sim / -.

5) Клас струмообмеження. Струмообмеження автоматичного вимикача полягає у відключенні живлення ланцюга захисту раніше, ніж струм короткого замикання досягне свого максимального значення. Це дає можливість не піддавати ізоляцію електропроводки підвищеному нагріванню при коротких замиканнях, тим самим знижуючи ризик виникнення загоряння.

Клас струмообмеження визначається часом від моменту початку розмикання силових контактів автоматичного вимикача до моменту повного гасіння електричної дуги в дугогасній камері. Існує три класи струмообмеження: 1, 2, 3.

Найвищий клас 3. Час гасіння дуги автомата цього класу струмообмеження відбувається за 2,5 ... 6мс, 2-го класу - 6 ... 10мс, 1 класу - за час більш 10мс. Клас струмообмеження вказується під значенням граничної комутаційної здатності в чорному квадраті. Автомати з 1-м класом струмообмежен-

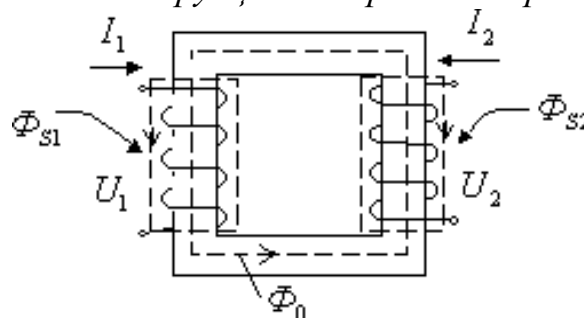
ня не маркуються.

Також на корпусі автоматичного вимикача може вказуватися номінальна частота електричної мережі, на яку він розрахований. Основні характеристики автомата наводяться для розрахункової температури навколишнього середовища +30 градусів Цельсія. Якщо температура відрізняється - її вказують на корпусі автомата. Якщо ступінь захисту відрізняється від IP20, то вона також вказується на корпусі. Якщо висновки автоматичного вимикача призначені тільки для підключення нейтрального проводу, їх маркують латинською літерою N. [8, 9]

1.5.3 Мережевий трансформатор

Трансформатор – це статичний електромагнітний апарат, що містить від двох до декількох обмоток, розташованих на загальному магнітопроводі, і індуктивно пов'язаних, таким чином, між собою. Він перетворює електричну енергію напруги змінного струму з одними параметрами в електричну енергію з іншими параметрами (напруга, фазність і т.п.) без зміни частоти струму. Використовують трансформатори для перетворення змінної напруги і гальванічної розв'язки [10]. Принцип дії трансформатора заснований на законі електромагнітної індукції – передачі енергії через індукціонування вторинної обмотки первинною. На рисунку 1.6 зображена конструкція та спрощений принцип дії однофазного трансформатора.

Рисунок 1.6 Конструкція однофазного трансформатора



Мережевий трансформатор використовується для напруги побутової

мережі 220 вольт з частотою 50 Гц знижується до рівня, необхідного електроприладу, наприклад 5, 12, 24 або 48 вольт. Часто мережеві трансформатори виконуються з декількома вторинними обмотками, щоб декілька джерел напруги можна було б використовувати для живлення різних частин схеми. [11]

Основні параметри трансформаторів

До основних параметрів трансформатора відносяться: номінальна потужність; напруга; струм; напруга короткого замикання (КЗ); струм холостого ходу (хх); втрати хх і втрати КЗ.

1.5.4 Силові ключі

Тиристор – напівпровідниковий прилад, виконаний на основі монокристала напівпровідника з трьома або більше р-п-переходами і має два стійких стани: «Закритий» стан - стан низької провідності, та «Відкритий» стан - стан високої провідності. Основне застосування тиристорів (з трьома електричними виводами - анодом, катодом і керуючим електродом) - керування потужної навантаженням за допомогою слабкого сигналу, що подається на керуючий електрод. Також тиристори застосовуються в ключових пристроях, наприклад, силового електроприводу.

Існують різні види тиристорів, які поділяються, головним чином:

- за способом керування;
- по провідності: в одному напрямку (наприклад, тринистор) та в двох напрямках (наприклад, сімістори, симетричні діністори).

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) тиристора (див. Рис. 1.7) нелінійна і показує, що опір тиристора негативний диференціальний. Керування тиристором має деякі особливості. Перехід тиристора з одного стану в інший в електричному ланцюзі відбувається стрибком (лавинopodobно) і здійснюється зовнішнім впливом на прилад: напругою (струмом), або світлом (для фототиристора). Після переходу тиристора у відкритий стан він залишається в цьому стані до тих пір, поки струм, що протікає через нього, перевищує

струм утримання. [12]

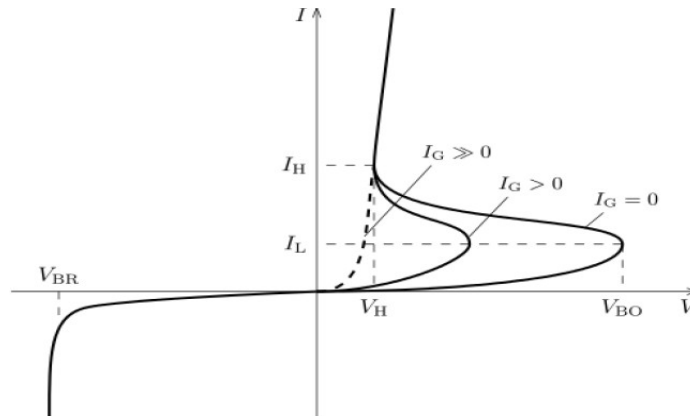


Рисунок 1.7 Вольт-Амперна характеристика тиристора

Тиристор є силовим електронним не в повному обсязі керованим ключем. Тиристор може сигналом керування переводитися тільки в провідний стан, тобто включатися. Для його виключення при роботі на постійному струмі необхідно вживати спеціальних заходів, що забезпечують спадання прямого струму до нуля. Тиристорний ключ може проводити струм лише в одному напрямку, а в закритому стані здатний витримати як пряме, так і зворотню напруга. [13]

Основні характеристики

Силові тиристори характеризуються тими ж параметрами що і силові діоди. Але, крім того, в технічних умовах наводяться параметри ланцюга керування тиристора, а також додаткові параметри, що характеризують силовий ланцюг тиристора:

1. Напруга перемикання: постійна, імпульсна (на порядок вище постійної, максимум в період 10 мікросекунд).
2. Напруга в відкритому стані – падіння напруги на тиристорі в відкритому стані (1 ... 3 В).
3. Зворотня напруга – напруга, при якій тиристор може працювати тривалий час без порушення його працездатності (одиниці – тисячі вольт).
4. Постійна пряме напруга в закритому стані – максимальне значення прямої напруги, при якій не відбувається включення тиристора (одиниці - сотні вольт).

5. Не відмикаюча напруга на керуючому електроді – найбільше напруження, що не викликає відмикання тиристора (частки вольт).

6. Замикаюча напруга на керуючому електроді – напруга, що забезпечує необхідне значення замикаючого струму керуючого електрода (одиниці - десятки вольт).

7. Струм у відкритому стані – максимальне значення струму відкритого тиристора (сотні міліампер – сотні ампер).

8. Зворотний струм (частки міліампер).

9. Струм відмикання – найменший струм керуючого електрода, необхідний для включення тиристора (десятки міліампер).

10. Струм витоку – це струм, що протікає через тиристор з розімкненим ланцюгом керування при прямій напрузі між анодом і катодом.

11. Струм утримання – мінімальний прямий струм, що проходить через тиристор при розімкненому ланцюзі управління, при якому тиристор ще знаходиться у відкритому стані.

12. Час включення – це час від моменту подачі керуючого імпульсу до моменту зниження напруги тиристора до 10% від початкового значення при роботі на активне навантаження (одиниці - десятки мікросекунд).

13. Час виключення, званий також часом відновлення керуючої здатності тиристора. Це час від моменту, коли прямий струм тиристора стає рівним нулю, до моменту, коли прилад знову буде здатний витримувати пряме напруга між анодом і катодом. В основному визначається часом розсмоктування неосновних носіїв в зонах напівпровідника (десятки - сотні мікросекунд).

[14]

1.5.5 Датчики струму та напруги

Датчики струму одрізняються на: шунтові, трансформатори струму та датчики струму на ефекті Холла. Суцільно використовувати датчики на ефекті Холла, оскільки це спрощує монтаж та сприяє завадостійкості і гальванічній розв'язці з найменшими проблемами і одночасно дозволяє використати

його в якості датчику напруги.

Ефект Холла викликається силою Лоренца, яка діє на рухомі носії електричних зарядів в провіднику, коли на них діє магнітне поле перпендикулярно напрямку струму. Тонка пластина напівпровідника перетинається уздовж керованим струмом ІС (Рис.1.8). Магнітний потік В генерує силу Лоренца FL, діючу перпендикулярно напрямку рухливих носіїв зарядів, які і утворюють струм. Це веде до зміни числа носіїв зарядів на різних кінцях пластини і створює різницю потенціалів, яка є напругою Холла.

Датчики з 100% зворотним зв'язком (також звані компенсаційними або датчиками з нульовим потоком) мають вбудований компенсаційний ланцюг, за допомогою якого характеристики датчиків струму, що використовують ефект Холла, можуть бути істотно поліпшені.

Принцип дії датчиків струму та напруги на ефекті Холла

У компенсаційних датчиках посилена напруга з генератора Холла використовується для створення компенсаційного струму ІS у вторинній обмотці. Створюваний при цьому магнітний потік компенсує магнітний потік, створюваний первинним струмом ІP. Таким чином, датчик працює практично при нульовому магнітному потоці. Це виключає температурний дрейф коефіцієнта перетворення датчика. Іншою перевагою датчиків компенсаційного типу є те, що вторинна обмотка працює як трансформатор струму на високих частотах, що значно розширює частотний діапазон датчика. Коли магнітний потік дорівнює нулю (повністю компенсований), магнітний потенціал (Ампер-витки) двох обмоток ідентичний.

$$\text{Таким чином, } NP \cdot IP = NS \cdot IS \quad \text{або} \quad IS = \frac{NP \cdot IP}{NS},$$

де NP – кількість витків первинної обмотки (NP=1 в разі наскрізного проходження первинного провідника через датчик), NS – кількість витків вторинної обмотки (зазвичай кілька тисяч). Отже, компенсаційний струм IS вторинної обмотки є точним відображенням первинного струму IP, який потрібно виміряти. Якщо включити послідовно з вторинною обмоткою вимірю-

вальний (навантажувальний) резистор R_M , отримаємо напругу, пропорційне первинного струму I_P .

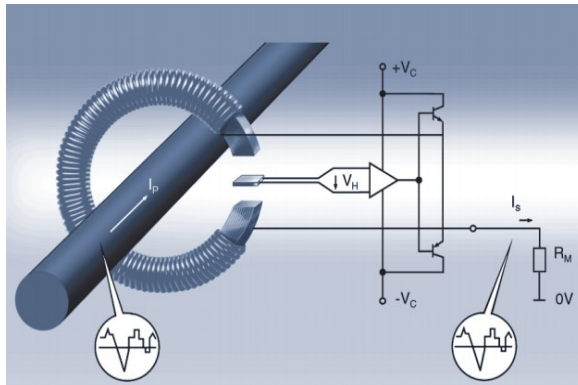


Рисунок 1.8 Принцип роботи датчика струму компенсаційного типу [15]

1.5.6 Формувачі імпульсів керування силових ключів

Посилювач імпульсів керування, який формує вихідні сигнали заданої потужності і форми, виготовлений у вигляді окремої інтегральної схеми, називається драйвером. Драйвери керування призначені для формування імпульсів струму керування силовими тиристорами з необхідними для їх надійної роботи значеннями амплітуди, швидкості наростання і тривалості при заданій частоті повторення.

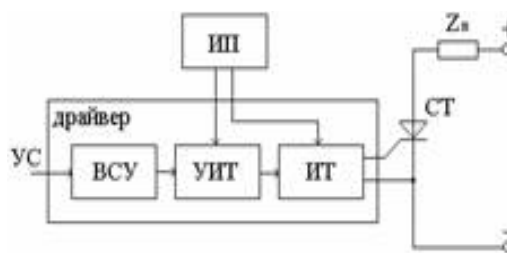


Рисунок 1.9 Функціональна схема драйвера керування силовим тиристором

Тут “УС” – керуючий сигнал; “ВСУ” – вхідний узгоджуючий пристрій; “УИТ” – “керуєме джерело струму”; “ИТ” – імпульсний трансформатор; “СТ” – силовий тиристор; “ Z_n ” – навантаження [16].

Основні технічні характеристики драйвера

- Амплітуда струму керування I_{Gon} , А
- Швидкість наростання струму керування diG / dt , А / мкс
- Тривалість струму керування t_i , мкс
- Тривалість сплеску струму керування t_p (IGM), мкс
- Ставлення IGM / IGon
- Частота проходження імпульсів струму керування f
- Робочий вхідний струм I_{vx} , мА
- Гранична напруга ізоляції між обмотками вихідного трансформатора U , кВ
- Габаритні розміри, мм

Характеристики джерела живлення драйвера

- Напруга джерела живлення U_p , В
- Струм споживання $I_{потр}$, мА [17]

1.6 Опис типових структурних схем системи управління і електричних схем функціональних блоків і вузлів системи управління випрямляча

1.6.1 Методи керування СІФК

Горизонтальний метод керування

У СІФК, що реалізують горизонтальний спосіб керування, керуючий імпульс генерується коли спеціальна змінна керуюча напруга проходить через нуль. Затримка імпульсу регулюється зміною фази керуючої напруги відносно напруги мережі, тобто ніби зсувом керуючої напруги горизонтально.

Розглянемо роботу СІФК з горизонтальним керуванням на прикладі одного каналу багатоканальної системи керування, структурна схема якого зображена на рисунку 1.10.

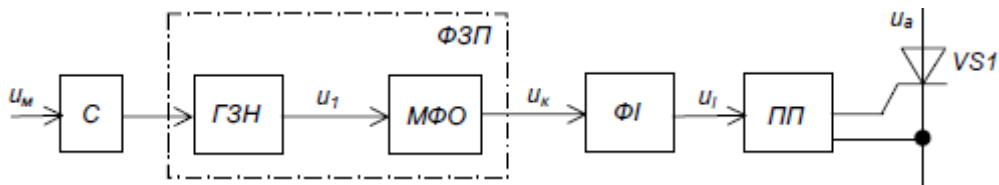


Рисунок 1.10 Структурна схема каналу багатоканальної СІФК з горизонтальним керуванням

На схемі позначено: С – синхронізатор; ГЗН– генератор змінної напруги; МФО – мостовий фазообертач (забезпечує регулювання фази напруги U_1 від 0 до π); ФЗП – фазозсувний пристрій; ФІ – формувач імпульсів (виробляє прямокутні імпульси напруги при проходженні U_k через 0); ПП – підсилювач потужності (підсилює потужність керуючого імпульсу U_i до рівня, необхідного для надійного вмикання тиристора).

На рисунку 1.11 наведені часові діаграми роботи такої СІФК.

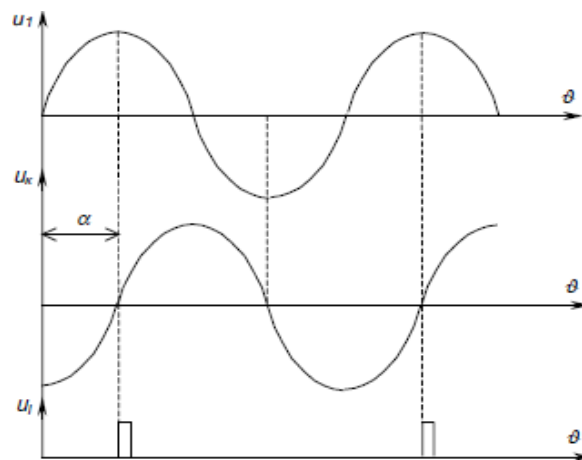


Рисунок 1.11 Часові діаграми роботи СІФК з горизонтальним керуванням

Схема мостового фазообертача та діаграма напруг на ньому зображені на рисунку 1.12. Фазообертач складається з трансформатора TV з двома півомотками, змінного резистора R та конденсатора С.

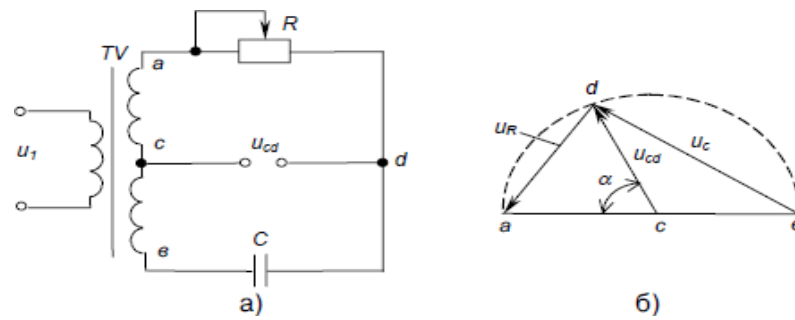


Рисунок 1.12 Мостовий фазообертач (а), діаграма напруг (б)

Зміна опорного резистора R від 0 до нескінченності змінює кут від 0 до π .

До недоліків такої схеми слід віднести:

- досить високу інерційність, зумовлену перехідними процесами у RC-колі при вмиканні напруги;
- критичність до форми і частоти вхідної напруги (напруги мережі);
- складність забезпечення ідентичності величини в багатоканальних СІФК;
- відносну складність автоматизації процесу регулювання (опору R). Це обмежує використання горизонтального способу керування.

Вертикальний метод керування

Більш широко застосовуються СІФК, що реалізують вертикальний спосіб керування, за якого керуючий імпульс генерується у момент зрівняння напруги, що змінюється лінійно, та постійної опорної напруги керування. Цей процес ілюструють часові діаграми, наведені на рисунку 1.13, де позначено:

$U_{л}$ - лінійно змінювана напруга; $U_{оп}$ - опорна напруга.

Кут керування змінюється зі зміною $U_{оп}$ - ніби по вертикалі.

Пристрій, де порівнюються $U_{л}$ та $U_{оп}$, називається вузлом порівняння (ВП). Він генерує сигнал у момент зміни знаку різниці напруг ($U_{л} - U_{оп}$).

СІФК з вертикальним керуванням можуть бути одноканальними та багатоканальними. Останні набули ширшого розповсюдження.

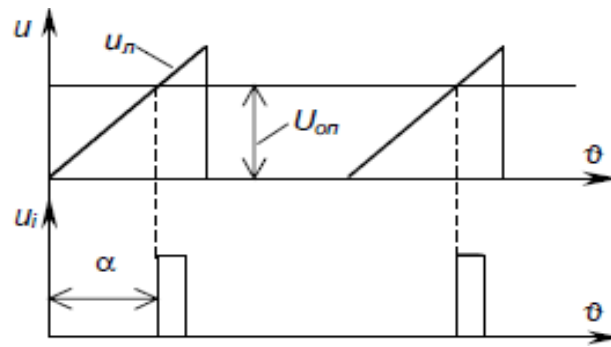


Рисунок 1.13 Часові діаграми методу вертикального керування

На рисунку 1.14 зображена функціональна схема двоканальної СІФК з вертикальним керуванням однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом.

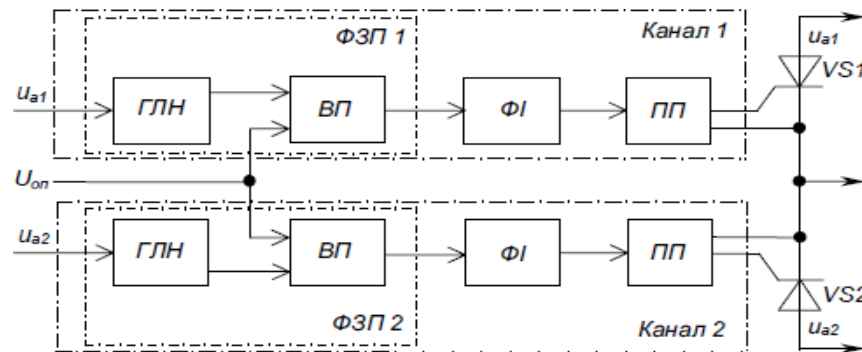


Рисунок 1.14 Функціональна схема двоканальної СІФК з вертикальним керуванням однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом

На наведеній схемі позначено: ГЛН – генератор лінійно змінюваної напруги; ВП – вузол порівняння напруг; ФЗП – фазозсувний пристрій; ФІ – формувач імпульсів; ПП – підсилювач потужності.

Часові діаграми роботи каналу СІФК з вертикальним керуванням наведені на рисунку 1.15.

Під час дії на тиристор позитивної півхвилі анодної напруги U_a ГЛН генерує лінійно змінювану напругу U_l , що надходить на один з входів вузла порівняння ВП. На другий вхід ВП подається постійна опорна напруга U_{on} .

У момент зрівняння цих напруг, коли $U_l = U_{on}$, на виході ВП формує-

ться сигнал, фаза якого регулюється зміною значення напруги U_{on} .

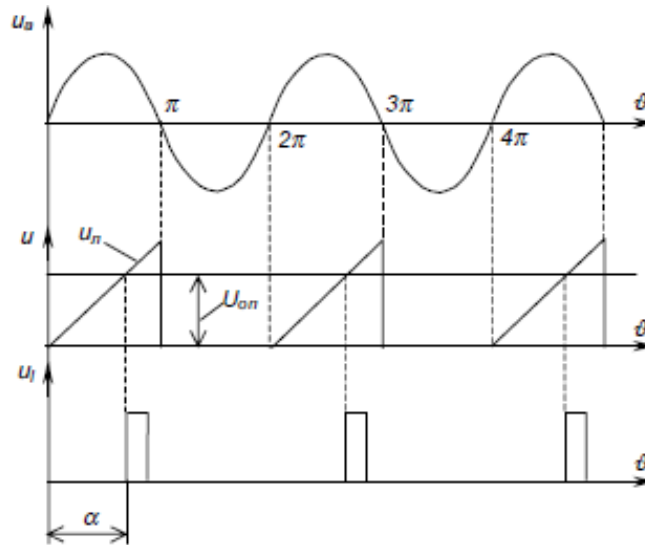


Рис 1.15 Часові діаграми роботи каналу СІФК з вертикальним керуванням

Вузли ГЛН та ВП виконують роль фазозсувного пристрою ФЗП.

Вузли ФІ та ПП призначені для формування та підсилення імпульсів керування U_i тривалості. Кількість каналів СІФК відповідає кількості тиристорів керованого випрямляча. Оскільки СІФК з вертикальним керуванням складається з однотипних електронних вузлів, це зумовлює можливість при їхній реалізації широко використовувати інтегральну технологію і, завдяки цьому, одержувати достатньо надійні та недорогі уніфіковані пристрої керування.

Цифровий метод керування СІФК

У цифрових системах керування тиристорами поточне значення кута керування α П задається у вигляді цифрового коду. Після відповідної обробки цього коду цифровою системою на її виході генерується прямокутний імпульс керування, фаза якого відповідає поточному значенню кута керування α П. За своєю суттю така СІФК є цифровим аналогом розглянутої СІФК з вертикальним керуванням аналогової дії. Структурна схема СІФК з цифровим керуванням зображена на рисунку 1.16.

На схемі позначено: ЗП – задаючий пристрій, за допомогою якого значення α П задається у вигляді цифрового коду; Р – регістр, у якому зберігає-

ться код поточного значення α_n (це елемент оперативної пам'яті системи); ППК – пристрій порівняння кодів (цифровий компаратор); ЛІ – лічильник імпульсів; ГПІ – генератор прямокутних імпульсів еталонної частоти; ФІ – формувач імпульсів; ПП – підсилювач потужності; ВС – вузол синхронізації; VS – тиристор.

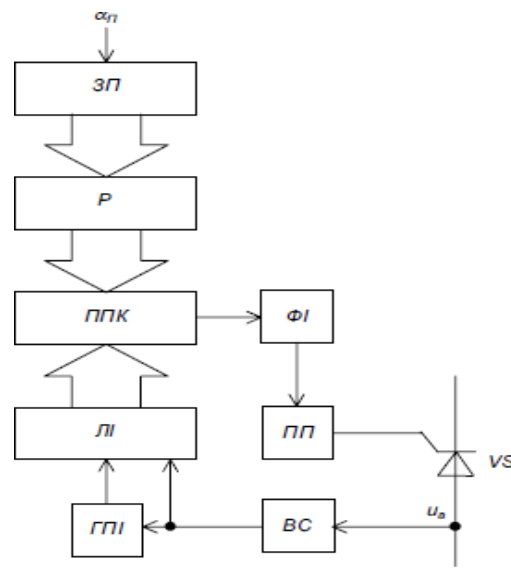


Рис. 1.16 Структурна схема СІФК з цифровим керуванням

На початку кожного циклу роботи в регістр Р заноситься від керуючої ЕОМ код α_n (що є аналогом опорної напруги $U_{оп}$ в аналоговій СІФК з вертикальним керуванням).

У момент переходу анодної напруги на тиристорі U_a через нуль вузол синхронізації ВС вмикає генератор ГПІ і лічильник імпульсів ЛІ, що починає рахувати імпульси. Лінійно зростаючий код (аналог напруги U_a) з виходу ЛІ подається на цифровий пристрій порівняння кодів ППК, куди також подається і код з виходу регістра Р. Після досягнення кодом лічильника значення коду, що зберігається в регістрі Р, ППК виробляє сигнал, який використовується для пуску формувача імпульсів ФІ. Вихідний імпульс ФІ після підсилення у ПП подається на керуючий електрод тиристора VS.

Після закінчення позитивної півхвилі U_a ВС вимикає генератор ГПІ і встановлює лічильник імпульсів ЛІ у нульовий стан – таким чином цикл

завершується і схема готова до наступного циклу роботи.

СІФК з цифровим керуванням можуть забезпечувати практично будь-яку точність задання кута керування (з допустимою дискретністю). Це досягається за рахунок вибору необхідного числа розрядів P і $Л$, а також частоти ГП.

Незважаючи на більші апаратні витрати (більшу кількість корпусів ІМС середнього ступеня інтеграції), цифрові СІФК, порівняно з аналоговими, забезпечують більшу точність роботи, високу завадостійкість (легше забезпечити завадостійкість цифрового компаратора ніж аналогового), абсолютну ідентичність каналів багатоканальних СІФК, ідеальне узгодження з цифровими керуючими пристроями.

Наприкінці зазначимо, що такий принцип керування, звичайно, може бути реалізований програмно, наприклад, у мікропроцесорному пристрої керування. [18]

1.6.2 Принципи побудови СІФК

1. Робота з оператором: систему керування технічними процесами слід будувати розраховуючи на безпосередню участь оператора в їх функціонуванні. Варто передбачити можливість втручання оператора в не типову ситуацію.

2. Ієрархія: автоматизовані системи керування будуються за ієрархічним принципом. На верхньому рівні використовують ЕОМ для виконання завдань пов'язаних з обробкою великих масивів даних. На середньому рівні ієрархії вирішують завдання керування і регулювання за допомогою міні-ЕОМ. На нижньому рівні - силові електроприводи і виконавчі механізми. Це дозволяє створити надійну систему, в якій на середньому рівні знаходяться програмовані засоби - при виході з ладу ЕОМ верхнього рівня ієрархії АСК продовжує функціонувати.

3. Гнучкість системи: в якості засобів вич. техніки в АСУ ТП використовують керуючі обчислювальні комплекси для створення системи, що

задовольняє конкретним вимогам. Це дозволяє змінювати цю систему в процесі експлуатації і модернізувати її окремі елементи на більш досконалі.

4. Модульність: при розробці систем керуючих алгоритмів слід дотримуватися модульного ієрархічної побудови. Автономізація і розпаралелювання процесів розробки і налагодження програм дозволяє спрощувати компоненти і знижувати трудомісткість, дозволяючи прискорювати проектування всієї системи і рівномірно розподіляти ресурси на розробку.

1.6.3 Основні вузли СІФК

У загальному вигляді структура інформаційно-керуючої мікропроцесорної системи містить (див. Рис. 1.17) датчики входної інформації, які характеризують об'єкт керування, пристрій сполучення з об'єктом (ПСО), мікроЕОМ, пульт керування, пристрій відображення інформації і канали передачі інформації між компонентами системи і за її межі, зокрема до ЕОМ верхнього рівня управління.

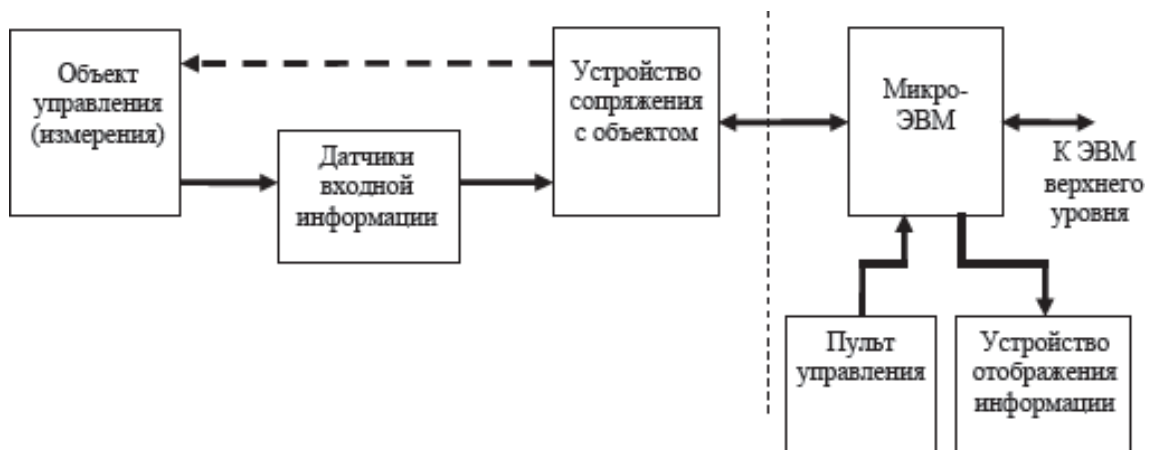


Рисунок 1.17 Загальна структура інформаційно-керуючої МП системи

Система керування випрямлячем призначена для генерування керуючих тиристорами імпульсів, формування їх за тривалістю, амплітудою і формою, розподіл їх по тиристорам і зміни фази імпульсів щодо фази напруги мережі живлення.

Основні вимоги до системи управління:

1. Достатня для надійного відмикання тіристорів амплітуда напруги і струму керуючого імпульсу (10-20 В, 20-2000 мА).
2. Висока крутизна фронту керуючих імпульсів (до 10 В / мкс).
3. Широкий діапазон регулювання кута управління (від 15-20 ел.град. до 160-165ел.град).
4. Симетрія керуючих імпульсів по фазах.

В результаті несиметрії керуючих імпульсів тиристори багатофазного випрямляча проводять струм різний час, що обумовлює спотворення форми кривих анодних струмів і нерівність середніх значень струмів тиристорів. В кривих випрямленої напруги з'являється змінна складова низької частоти, що негативно впливає на роботу споживача. Крім того, нерівність середніх значень струмів тиристорів призводить до того, що в магнітній системі силового трансформатора з'являються некомпенсовані магніторушійних сили. З цих причин несиметрія керуючих імпульсів не повинна перевищувати 1.5-2.5 ел.град.

Вимога до тривалості керуючих тиристорами імпульсів залежить від схеми випрямляча і характеру навантаження. З метою зменшення потужності, що виділяється в керуючому р-п переході тиристора, а також потужності системи управління доцільно мати більш вузький керуючий імпульс. Тривалість цього імпульсу повинна бути такою, щоб за час його дії анодний струм тиристора досяг значення струму утримання. Очевидно, що швидкість наростання анодного струму буде залежати від постійної часу ланцюга навантаження і від миттєвого напруги на що включаються тиристорах. Найбільш несприятливі умови для запуску мають місце при роботі випрямляча на обмотку збудження електричних машин, що представляють активно-індуктивне навантаження з великою постійною часу. Якщо відомі параметри випрямляча, навантаження і струм утримання даного типу тиристора, то тривалість керуючого імпульса може бути розрахована як час наростання струму до струму утримання. [19]

Структурна схема СІФК наведена на рисунку 1.18, для якої :

“СУ” – синхронізуючий пристрій, призначений для синхронізації керуючих імпульсів з силовою мережею (для тимчасової "прив'язки" керуючих імпульсів до моментів природної комутації)."

„ФОН“ – формувач опорної напруги, призначений для отримання опорного напруги $U_{оп}$, що змінюється по косинусоїді в діапазоні регулювання тиристора. При цьому на початку діапазону воно дорівнює $U_{умах}$, а в кінці діапазону дорівнює нулю.

„ФСУ“ – фазозсуваючий пристрій, призначений для отримання зсуву фаз між синхронізуючим напругою і керуючим імпульсом на кут управління α в залежності від величини напруги управління.

„ФМ“ – формувач імпульсів, формує імпульси заданої тривалості і амплітуди в моменти включення тиристорів.

“ВУ” – вихідний пристрій, що передає сформований імпульс на тиристор, попередньо посилюючи його.

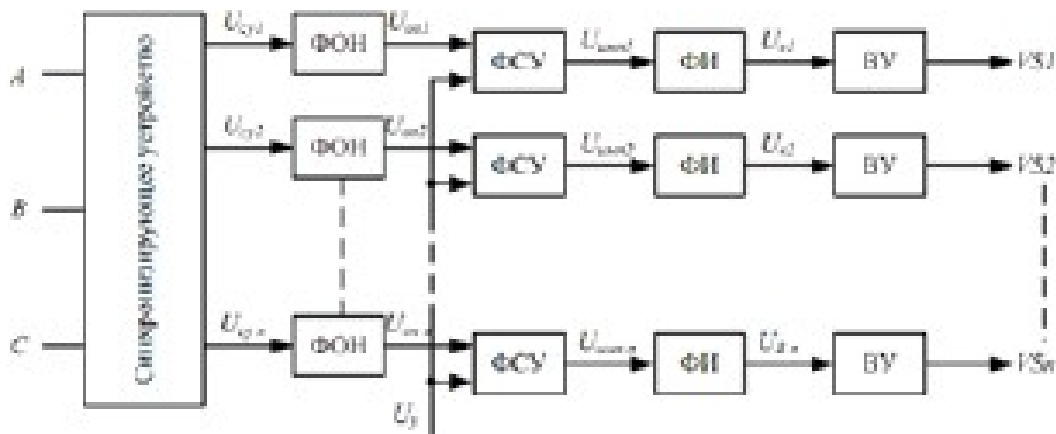


Рисунок 1.18 Структурна схема СІФК

1.7 Постановка завдання проекту

Мета – розробка джерела стабілізованого постійного струму або постійної напруги на базі керованого тиристорного випрямляча.

Технічне завдання розроблюваного виробу

Розроблюваний виріб повинен бути розрахований на напругу мережі живлення 220 В. Згідно з пунктом 1.4 даного дипломного проекту в якості силової схеми джерела живлення обрана трифазна двохзіркова схема випрямлення з порівняльним реактором.

Таблиця 1.3 - Вихідні дані для розробки джерела живлення

напруга мережі живлення, U_1 , В	220
відхилення напруги мережі живлення від номінального значення, ΔU_1 , %	+ 10 ... - 15
частота мережі живлення, f_c , Гц	400
номінальне значення вихідної напруги, U_d , В	27
відхилення вихідної напруги від номінального значення, ΔU_d , %	1
коефіцієнт пульсацій вихідної напруги, k_p	0,005
номінальне значення струму навантаження, I_d , А	500
значення уставки спрацьовування захисту від перевантаження по струму, I_{pol} , А	$1,1 \times I_d$
діапазон регулювання струму навантаження в режимі стабілізації струму, I_{var} , А	10...400
діапазон регулювання напруги на навантаженні в режимі стабілізації напруги, U_{var} , В	5...50

На виході розроблюваного виробу повинні отримати номінальне значення вихідної напруги, що дорівнює 27 В з максимальним відхиленням від номінального значення в 1% та коефіцієнтом пульсацій вихідної напруги, що дорівнює 0,005. Номінальне значення струму навантаження дорівнює 500 А, захист від перенавантаження по струму повинен бути встановлений 110% від номіналу. Діапазон регулювання по струму в режимі стабілізації струму – від 10 до 500 А, а діапазон регулювання по напрузі в режимі стабілізації напруги – від 5 до 27 В.

2 ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ АЕРОДРОМНОГО ОБЛАДНАННЯ НА БАЗІ ТРИФАЗНОГО КЕРОВАНОГО ВИПРЯМЛЯЧА

2.1 Опис електричної структурної схеми джерела живлення, що складається з силової частини і системи управління

Живлення схеми відбувається від промислової стандартної мережі трифазної з фазною напругою 220 В та частотою 400 Гц. Електрична структурна схема джерела живлення приведена на листі 2 графічного матеріалу (повний шифр ЕІСПЗ.ДП.261-21..00.00.00 Е1). В пояснювальній записці матеріал листа продубльований на рисунку 2.

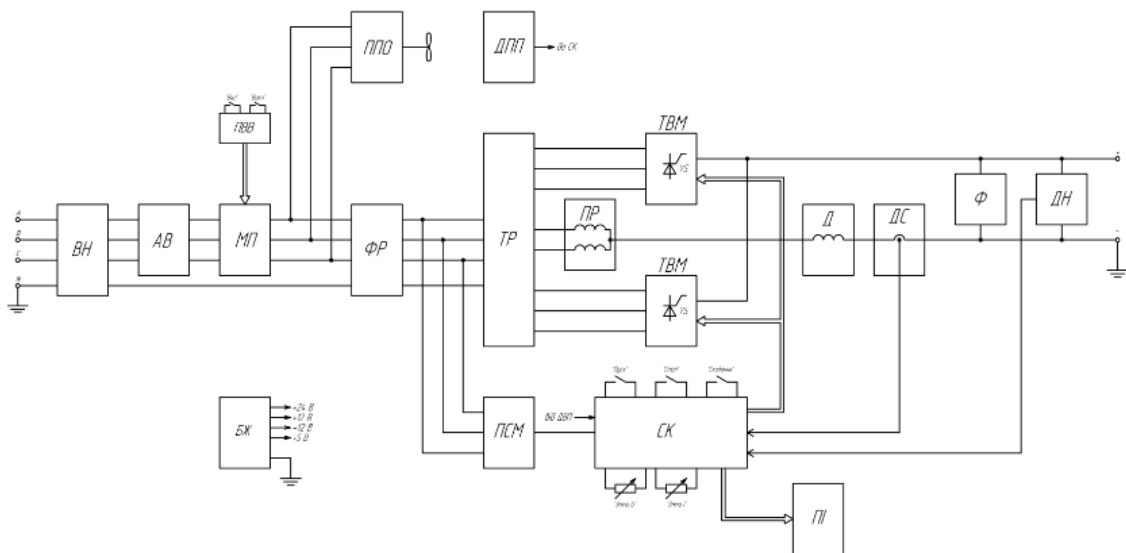


Рисунок 2.1 Структурна схема джерела живлення

Дана установка використовується в якості джерела живлення промислових установок і належить обов'язковому заземленню згідно ПУЕ 2017. Нейтраль під'єднана лише до трансформатора і не відмикається від ланцюга живлення вимикачем навантаження.

Джерело живлення під'єднане до трьох фаз мережі через вимикач навантаження (вимикач навантаження не може відключати струми короткого замикання). В схемі виконує функцію вмикання живлення мережі на при-

лад.

Після вимикача напруги три фази входять до автоматичного вимикача — пристрою, що виконує функцію запобігання перенавантажень по струму (режим короткого замикання або чисте перенавантаження).

Після автоматичного вимикача до трьох фаз під'єднаний пристрій повітряного охолодження, напроти якого вмонтований датчик для отримання інформації про створюваний цим пристроєм повітряний потік. Ця система виконує функцію дозволена включення приладу для нормальної роботи шляхом з'єднання інформаційного каналу датчика з системою керування.

Магнітний пускач встановлюється після автоматичного вимикача і під'єднаний до пристрою вмикання-вимикання. Він виконує функцію безпечного дистанційного вмикання електричного кола силової частини джерела живлення з великим навантаженням, що обумовлюється більш потужними контактами та зв'язком з зовнішнім пристроєм.

З магнітного пускача три фази приходять на трансформатор, проходячи через фільтр радіоперешкод, що дозволяє згладити стрибки струму, які можуть пройти на вторинні обмотки трансформатора і порушити роботу приладу.

Після фільтра радіоперешкод з трьох фаз знімаються показання через пристрій синхронізації з мережею, що дозволяє отримати інформацію для керування тиристорами про переходи напруги через нуль в кожній фазі. Ця інформація надається до системи керування для обробки. В проекті використана прив'язка до всіх трьох фаз, хоча необхідна прив'язка лише до однієї, оскільки в проекті передбачені фазоіндикаторні лампи для індикації аварійного режиму — обриву фази, а отримати часові характеристики для відкриття тиристорів можливо за допомогою отримання моделі двох інших фаз шляхом розрахунків за прив'язкою до точки переходу однієї фази — це дозволяє той факт, що живлення від мережі стандартизоване, тобто кут зміщення фаз відомий.

Після вмикання силового ланцюга пристрою через магнітний пускач

три фази та нейтраль йдуть на трансформатор з однією первинною трьохфазною обмоткою. Трансформатор має дві вторинні трьохфазні обмотки, виводи з яких ідуть на свій тиристорний модуль. З вторинних трьохфазних обмоток ідуть два нульові виводи для під'єднання їх до двох обмоток порівнювального реактора.

Кожна з двох вторинних трьохфазних обмоток приєднана до двох трьохфазних тиристорних випрямних модулів. Ці два трьохфазні модулі перетворюють змінний струм у постійний і об'єднані у фазний вихід (позитивний). Вивід з порівнювального реактора утворює нульовий вивід (негативний).

Для роботи перетворювача використовується система керування, яка виконує функцію отримання необхідних кутів відкриття тиристора (завдяки використанню прив'язки через пристрій синхронізації з мережею) в залежності від режиму стабілізації на навантаженні. Система керування дозволяє встановити і скинути параметри випрямлення (необхідний струм, необхідну напругу та режими стабілізації), запустити та зупинити пристрій. Також система керування виконує функцію дозволу роботи пристрою по ввімкненому охолодженню пристрою для запобігання пожежонебезпечних умов та сервісну функцію індикації параметрів через пристрій індикації.

Після перетворення змінного струму в постійний необхідно встановити фільтр для згладжування результату перетворення.

Для отримання зворотного зв'язку для системи керування по параметрам на навантаженні після фільтру використовуються датчик струму, під'єднаний до нульового проводу, та датчик напруги, що під'єднаний між фазним та нульовим проводом.

Після датчиків струму та напруги фазний та нульовий дроти ідуть до клем виходу. Також передбачений окремий блок живлення на напруги +24, +12, -12 та +5 В для живлення системи керування, формувачів імпульсів керування та для власних потреб на виробництві. В блоці живлення використовується окреме заземлення.

2.2 Опис електричної принципової схеми силової частини проєктованого випрямляча

Електрична принципова схема джерела живлення приведена на листі 3 графічного матеріалу (повний шифр ЕІСПЗ.ДП.261-21..00.00.00.00 ЕЗ).

Вимикач навантаження QS1 здійснює комутування установки з мережею (яка під'єднана через клемник X1), що призначений для комутування струмів в нормальних умовах на номінальне навантаження приладу. Запобіжник в даному пристрої не використовується — оскільки по стороні до трансформації напруги роль запобіжника виконується автоматичним вимикачем. Після вимикача навантаження передбачені світлодіодні комутаційні лампи HL1-3 для індикації наявності фаз, що підключені через резистор до нейтралі.

Трьохполюсний автоматичний вимикач QF1 є наступною ланкою в ланцюзі і використовується як елемент захисту для запобігання перенавантажень по струму та для уникнення пошкодження елементів при короткому замиканні, розрахований на номінальний струм первинної обмотки трансформатора. Автоматичний вимикач не призначений для використання як елемент комутації – це пришвидшує ерозію контактів і сильно зменшує загальний час роботи елемента.

Пристрій повітряного охолодження, що під'єднаний до трьох фаз після автоматичного вимикача, складається з комутатора QF2 та вентилятора M1 для створення повітряного потоку. Утворюваний повітряний потік охолоджує компоненти схеми і є необхідним компонентом для безпеки та функціонування приладу, тому для фіксування наявності охолодження встановлений датчик повітряного потоку SP1 – реле потоку повітря, що знімає інформацію та надсилає її в систему керування.

Магнітний пускач K1.1 після вмикання в ланцюг за допомогою кнопок SB1 (та SB2 – для вимкнення) реле K1 подає струм на прилад через трансформатор. Він під'єднаний до пристрою вмикання-вимикання. Це дозволяє

використовувати магнітний пускач як внутрішній вимикач з функціями захисту від заниженої напруги та дублювати захист по перенавантаженню завдяки можливості автоматичного дистанційного вимкнення пристрою або вимкненню через пристрій вмикання-вимикання.

На вході до трансформатора Т1 на кожному з фазних проводів встановлені LC Г-фільтри радіоперешкод.

Після ввімкнення силового ланцюга пристрою через магнітний пускач три фази та нейтраль йдуть на трансформатор з однією первинною трьохфазною обмоткою, де фази об'єднані зіркою, нульова точка якої приєднана до нейтралі. Трансформатор має дві вторинні трьохфазні обмотки зі з'єднанням зірка-зворотна зірка, де три фази кожної зірки йдуть до відповідних тиристорів, нульові виводи трансформатора під'єднуються до двох обмоток порівнювального реактора. Нульові точки під'єднані до порівнювального реактора дозволяють отримати два самостійних плеча (принцип дії описаний в розділі 1.4).

Вторинні обмотки трансформатора пофазно під'єднуються до тиристорів, перша зірка якого передає нормальну фазу (фаза "А+" - до VS1, фаза "В+" – до VS2, фаза "С+" - до VS3), а друга – зворотну (фаза "А-" - до VS4, фаза "В-" - до VS5, фаза "С-" - до VS6). Для повноцінного керування кожним тиристором передбачені формувачі імпульсів керування, що під'єднані до шин живлення від блоку живлення (+24 В та Загальний провід) та до системи керування (імпульс керування та загальний провід системи керування). Тиристири на таку потужність потребують більшу напругу чим напруга сигналу керування з системи керування.

Після Г-подібного фільтру (конденсатор С10 та дросель L5) в схемі стоять датчик струму DA1, що підключений до нульового проводу напряму, та датчик напруги DA2, який підключений до фазного проводу через резистор та до нульового проводу. З цих датчиків знімаються зворотні характеристики для регулювання роботи випрямляча

3 РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ ШЕСТИФАЗНОГО ВИПРЯМЛЯЧА З ПОРІВНЮВАЛЬНИМ РЕАКТОРОМ

3.1 Інженерний розрахунок основних енергетичних параметрів і параметрів компонентів електричної принципової схеми

3.1.1 Розрахунок і вибір напруг вторинної обмотки трансформатора

Мінімальне значення напруги вторинної обмотки трансформатора, відповідне мінімальній напрузі мережі живлення

$$U_{1\min} = (1 - 15/100) \cdot U_1 = 0.85 \cdot 220 = 187 \text{ В} \quad (1)$$

визначається за формулою:

$$U_{2\min} = \frac{U_d}{0.9} = \frac{50}{0.9} = 55.5 \text{ В} \quad (2)$$

Номінальні і максимальні значення напруги вторинної обмотки трансформатора, відповідні номінальному і максимальному напруженням живильної мережі

$$U_{1\text{ном}} = 220 \text{ В} \quad (3)$$

$$U_{1\max} = (1 + 10/100) \cdot U_1 = 1.1 \cdot 220 = 242 \text{ В} \quad (4)$$

будуть відповідно рівні:

$$U_2 = \frac{U_{2\min}}{(1 - 15/100)} = \frac{55.5}{0.85} = 65.36 \text{ В} \quad (5)$$

$$U_{2\max} = 1.1 \cdot U_2 = 1.1 \cdot 65.36 = 71.9 \text{ В} \quad (6)$$

На підставі результату розрахунку (5) приймаємо номінальне значення напруги вторинної обмотки $U_{2\text{розр.ном}} = 66 \text{ В}$.

Мінімальне і максимальне значення напруги вторинної обмотки, відповідно до (1.10) і (1.11), дорівнюватимуть:

$$U_{2\text{розр.мін}} = 0.85 \cdot U_{2\text{розр.ном}} = 0.85 \cdot 66 = 56.1 \text{ В} \quad (7)$$

$$U_{2\text{розр.макс}} = 1.1 \cdot U_{2\text{розр.ном}} = 1.1 \cdot 66 = 72.6 \text{ В} \quad (8)$$

3.1.2 Визначення напруги холостого ходу керованого випрямляча

Рівняння зовнішньої характеристики керованого випрямляча

$$U_d = E_{d0\min} \cdot \cos \alpha - \Delta U_x - \Delta U_a - \Delta U_R - \Delta U_F \quad (9)$$

де $E_{d0\min}$ – ЕРС холостого ходу випрямляча, що відповідає мінімальному значенню напруги мережі живлення, В;

U_d – номінальна вихідна напруга випрямляча, В, $U_d = 50 \text{ В}$

ΔU_x – комутаційне падіння напруги, В;

ΔU_a – падіння напруги на вентилях, В;

ΔU_R – падіння напруги на активному опорі обмоток трансформатора або струмообмежувальні реактора, В;

ΔU_F – падіння напруги на активному опорі дроселя фільтра, що згладжує,

α – кут регулювання, електричних градусів (ел. град.).

На початковій стадії розрахунків параметри елементів схеми невідомі, тому падіння напруг в схемі доводиться шукати, використовуючи метод експертних оцінок (досвід розробок подібного обладнання). Після вибору всіх

елементів схеми необхідно виконати уточнюючий розрахунок і провести відповідне коригування параметрів.

Комутаційне падіння напруги може бути визначено за формулою

$$\Delta U = A \cdot \frac{U_{\kappa} \% \cdot U_d}{100} = 0.5 \cdot \frac{10 \cdot 50}{100} = 2.5 \text{ В} \quad (10)$$

де A – коефіцієнт нахилу зовнішньої характеристики (для шестифазного випрямляча з порівнювальним реактором $A = 0,5$);

$U_{\kappa} \%$ – напруга короткого замикання силового трансформатора, %, $U_{\kappa} \% = 5 \dots 10 \%$

Для подальших розрахунків, на підставі експертної оцінки, приймаємо $U_{\kappa} \% = 10 \%$

Інші складові падіння напруги на виході випрямляча, для режиму номінального струму навантаження, можуть бути визначені з співвідношень:

$$\Delta U_R = (0.015 \dots 0.025) \cdot U_d = 1 \text{ В} \quad (11)$$

$$\Delta U_a = n \cdot (1.1 \dots 1.2) = 1 \cdot 1.2 = 1.2 \text{ В} \quad (12)$$

$$\Delta U_F = (0.005 \dots 0.015) \cdot U_d = 0.01 \cdot 50 = 0.5 \text{ В} \quad (13)$$

де n – кількість вентилів в контурі струму, включених послідовно, $n = 1$; ЕРС холостого ходу випрямляча, при $U_d = 50 \text{ В}$, і $\alpha = 0 \text{ ел.град}$.

$$E_{d0} = \frac{U_d + \Delta U_x + \Delta U_a + \Delta U_R + \Delta U_F}{\cos \alpha_{\min}} = \frac{50 + 2.5 + 1.2 + 1.0 + 0.5}{\cos(0.0056)} = 55.2009 = 55.2 \text{ В} \quad (14)$$

Виходячи з рівняння зовнішньої характеристики

$$U_d = E_{d0 \min} \cdot \cos \alpha - \Delta U_x - \Delta U_a - \Delta U_R - \Delta U_F = 0.9 \cdot U_2 \quad (15)$$

$$E_{d0\min} \cdot \cos \alpha = 0.9 \cdot U_2 + \Delta U_{\Sigma} \quad (16)$$

де ΔU_{Σ} – сумарне падіння напруги на виході випрямляча.

$$\Delta U_x + \Delta U_a + \Delta U_R + \Delta U_F = 5.2 \text{ В} \quad (17)$$

ЕРС холостого ходу випрямляча, при $U_{2\text{ розр. min}} = 56.1 \text{ В}$,
 $U_{2\text{ розр. ном}} = 66 \text{ В}$, $U_{2\text{ розр. max}} = 72.6 \text{ В}$ і $\alpha = 0 \text{ ел. град}$ будуть, відповідно рівні:

$$E_{d0\min} \cdot \cos \alpha = 0.9 \cdot U_{2\text{ розр. min}} + \Delta U_{\Sigma} = 0.9 \cdot 56.1 + 5.2 = 55.69 \text{ В} \quad (18)$$

$$E_{d0\text{ ном}} \cdot \cos \alpha = 0.9 \cdot U_{2\text{ розр. ном}} + \Delta U_{\Sigma} = 0.9 \cdot 66 + 5.2 = 64.6 \text{ В} \quad (19)$$

$$E_{d0\text{ max}} \cdot \cos \alpha = 0.9 \cdot U_{2\text{ розр. max}} + \Delta U_{\Sigma} = 0.9 \cdot 72.6 + 5.2 = 70.54 \text{ В} \quad (20)$$

Виходячи з лінійності зовнішніх характеристик, визначимо значення кутів регулювання, що забезпечують стабілізацію вихідної напруги $U_d = 50 \text{ В}$ на рівні завдання при зміні вхідної напруги мережі живлення в діапазоні $U_1 = 187 \dots 242 \text{ В}$

$$\alpha_{\min} = \frac{E_{d0}}{E_{d0\min}} = \frac{55.2}{55.69} = 7.6 \text{ ел. град} \quad (21)$$

$$\alpha_{\text{ ном}} = \frac{E_{d0}}{E_{d0\text{ ном}}} = \frac{55.2}{64.6} = 31.3 \text{ ел. град} \quad (22)$$

$$\alpha_{\text{ max}} = \frac{E_{d0}}{E_{d0\text{ max}}} = \frac{55.2}{70.54} = 38.51 \text{ ел. град} \quad (23)$$

3.1.3 Розрахунок основних параметрів силової частини випрямляча

Діюче значення струму вторинних обмоток трансформатора

$$I_2 = \frac{I_d}{K_\phi} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230.94 \text{ A} \quad (24)$$

де $K_\phi = \sqrt{3}$ – коефіцієнт форми для шестифазного випрямляча з поріньовальним реактором.

Середнє значення струму вентилів

$$I_{a \text{ ср}} = \frac{I_d}{6} = \frac{400}{6} = 66.6 \text{ A} \quad (25)$$

Діюче значення струму вентилів

$$I_a = \frac{I_d}{2 \cdot K_\phi} = \frac{400}{2 \cdot \sqrt{3}} = 115.47 \text{ A}$$

Діюча напруга вторинних обмоток трансформатора визначена раніше (5) та округлена в більшу сторону (до найближчого цілого значення) і

становить $U_{2 \text{ розр. ном}} = 66 \text{ B}$

Коефіцієнт трансформації силового трансформатора

$$K_T = \frac{U_{i \text{ ном}}}{U_{2 \text{ розр. ном}}} = \frac{220}{66} = 3.33 \quad (27)$$

Діюче значення струму первинної обмотки трансформатора

$$I_1 = \frac{I_d}{K_T} = \frac{400}{3.33} = 120 \text{ A} \quad (28)$$

Амплітудне значення зворотної напруги, що прикладається до вентилів

$$U_{B\max} = \pi \cdot U_d = \pi \cdot 0.9 \cdot U_{2\text{розр.}\max} = \pi \cdot 0.9 \cdot 72.6 = 205.27 \text{ B} \quad (29)$$

Номінальна вихідна потужність проектованого джерела живлення

$$P_d = U_d \cdot I_d = 50 \cdot 400 = 20000 \text{ Вт} \quad (30)$$

Опір навантаження

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{50}{400} = 0.125 \text{ Ом} \quad (31)$$

Встановлена потужність вторинних обмоток трансформатора

$$S_2 = 1.48 \cdot P_d = 29600 \text{ ВА} \quad (32)$$

Встановлена потужність первинної обмотки трансформатора

$$S_1 = 1.045 \cdot P_d = 20900 \text{ ВА} \quad (33)$$

Встановлена (типова) потужність трансформатора

$$S_T = 1.33 \cdot P_d = 26600 \text{ ВА} \quad (34)$$

В результаті розрахунку обираємо трансформатор ТСП-25/0,7-УХЛ4(04), тиристори Т-123-200-4 з охолоджувачем О-123-100.

3.1.4 Перевірка вентилів по тепловому режиму

Для розрахунку теплового режиму тиристора Т123–200–4 необхідно отримати потужність втрат у вентилі

$$P_{\text{в}} = U_0 \cdot K_{\phi} \cdot I_{\text{cp}} + (K_{\phi} \cdot I_{\text{cp}})^2 \cdot R_d = 1.1 \cdot \sqrt{3} \cdot 66 \cdot (6) + (\sqrt{3} \cdot 66 \cdot (6))^2 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3} = 147 \text{ Вт} \quad (35)$$

Для розрахунку температури структури необхідно знайти тепловий опір «перехід-радіатор» напівпровідникового приладу R_{thja}

$$R_{\text{thja}} = R_{\text{thjc}} + R_{\text{thch}} + R_{\text{thha}} = 0.08 + 0.02 + 0.21 = 0.31 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (36)$$

Для розрахунків взяли тепловий опір охолоджувача О–123–100 при швидкості обдуву 6 м/с ($R_{\text{thha}} = 0.21 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$).

Знаючи потужність втрат у вентилі та значення теплового опору н/п приладу, знайдемо температуру структури

$$T_{\text{cmp}} = T_{\text{oc}} + R_{\text{thja}} \cdot P_{\text{в}} = 40 + 0.31 \cdot 147 = 85.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (37)$$

де $T_{\text{oc}} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура навколишнього середовища.

Умова $T_{\text{cmp}} < T_{\text{max}}$, де $T_{\text{max}} = 125 \text{ } ^\circ\text{C}$ виконується – розрахунок виконаний вірно.

3.1.5 Розрахунок захисних ланцюгів для тиристорів

При роботі тиристорного перетворювача внаслідок наявності індуктивних кіл з великою швидкістю зміни струмів (великих похідних струмів за

часом (di/dt) виникають викиди напруги мережі, що значно перевищують номінальну напругу (т.з. комутаційні перенапруги). Це може привести до виходу з ладу тиристорів. Окрім цього на ті кола змінного струму з боку мережі, що живлять тиристорний перетворювач, так само впливають перенапруги викликані відключеннями потужних індуктивних навантажень (силові трансформатори, реактори), і перенапруги, викликані атмосферними явищами (грозові розряди і т.д.).

Для обмеження комутаційних перенапруг застосовуються захисні RC-ланцюги, які вмикаються паралельно тиристорам. Для захисту від перенапруг з боку мережі застосовуються варистори, підключені паралельно фазам силових кіл змінного струму.

Розрахунок RC-ланцюга для захисту від комутаційних перенапруг:

1. Розраховуємо амплітуду зворотного струму в момент замикання тиристора. Для цього потрібно знати індуктивність комутаційного контура (L_k – [Гн]), швидкість зменшення анодного струму (di/dt – [А/с]), величину накопиченого заряду (Q_{rr} – [мкКл]), час зворотного відновлення t_{rr} – [мкс]).

$$L_k = \frac{2 \cdot X_a}{2 \cdot \pi \cdot f_c} = 74 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (38)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{\sqrt{6} \cdot U_{2\phi} \cdot 1.15}{L_k} = 939995.17 \text{ А/с} \quad (39)$$

Для знайденого di/dt по довіднику або по каталогах фірм-виготівників (що більш прийнятно) визначаємо Q_{rr} , t_{rr} .

$$Q_{rr} = 650 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} \quad (40)$$

$$t_{rr} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ с} \quad (41)$$

Після визначення цих параметрів знаходимо амплітуду зворотного струму в амперах:

$$I_{b \max} = 2 \cdot Q_{rr} / t_{rr} = 52 \text{ A} \quad (42)$$

2. Задаємося напругою на конденсаторі $U_{c \max}$. Ця напруга приймається рівною повторюваній зворотній імпульсній напрузі вибраного тиристора, (U_{RPM}).

$$U_{c \max} = U_{RPM} / 0.8 = 500 \text{ B} \quad (43)$$

3. Обчислюємо величину ємності C [Ф] захисного ланцюжка з умови, що енергія, накопичена в індуктивності L_k при вимиканні тиристора після його закриття накопичується в конденсаторі RC-ланцюга і до початку чергового вмикання тиристора напруга на конденсаторі не повинна перевищити $U_{c \max}$:

$$C \cdot U_{c \max}^2 / 2 = L_k \cdot I_{b \max}^2 / 2 \quad (44)$$

звідки знаходимо:

$$C = L_k \cdot I_{b \max}^2 / U_{c \max}^2 = 800 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \quad (45)$$

4. Обчислюємо опір резистора R [ом] захисного ланцюга: Розрахунок опору цього резистора виконується, виходячи з необхідності виконання наступних умов:

1) розрядний струм конденсатора не повинен перевищити допустимий струм тиристора;

2) за час відкритого стану тиристора конденсатор повинен встигнути розрядитися до початку моменту закривання тиристора.

Тому спочатку визначають резистор, виходячи з обмеження струму розряду:

$$R = U_{c \max} / I_{\text{тур}} = 7.5 \text{ Ом} \quad (46)$$

Потім перевіряють, щоб стала часу τ_p RC-ланцюга не перевищила $T_c/12$, де

T_c – період частоти мережі: $R \leq T_c/12 \text{ } ^\circ\text{C}$.

5. Потужність, що розсіюється в резисторі захисного ланцюга:

$$P_R = C \cdot U_{c \max}^2 \cdot f_c = 10.1 \text{ Вт} \quad (47)$$

де f_c – частота мережі.

3.1.6 Розрахунок вихідного фільтру

Коефіцієнт фільтрації K_ϕ Г-образного фільтра дорівнює відношенню амплітудного значення першої гармоніки випрямленої напруги до фільтра до амплітудного значення першої гармоніки випрямленої напруги після фільтра або відношенню відповідних коефіцієнтів пульсацій

$$K_\phi = \frac{K_\Pi}{K_{\Pi_1}} = \frac{0.057}{0.005} = 11.4 \quad (48)$$

Індуктивність згладжуючого дроселя Г-образного фільтра визначається за формулою

$$L \geq \frac{R_d}{\gamma} \quad (49)$$

де R_d – опір навантаження; γ – коефіцієнт, який визначається обраною схемою випрямлення і частотою мережі живлення.

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{50}{400} = 0.125 \text{ Ом} \quad (50)$$

$$\gamma = \frac{(q^2 - 1) \cdot q \cdot \omega}{2} = \frac{(36 - 1) \cdot 6 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 32986.7 \quad (51)$$

де q – пульсність схеми випрямляча, для шестифазної схеми випрямлення з порівнювальним реактором $q = 6$; ω - кругова частота живильної мережі.
 $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ (f – частота мережі живлення, $f = 50$ Гц).

$$L \geq \frac{0.125}{32986.7} = 3.8 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (52)$$

Вибираємо згладжуючий дросель індуктивністю 100 мкГн. Ємність конденсатора фільтра визначимо із співвідношення

$$L \cdot C = \frac{10 \cdot K_\phi}{q^2} \quad (53)$$

$$C = \frac{10 \cdot K_\phi}{L \cdot q^2} = \frac{10 \cdot 11.4}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 36} = 31666.67 \text{ мкФ} \quad (54)$$

В якості конденсатора фільтра вибираємо 6 конденсаторів ємністю 4700 мкФ кожний, що з'єднані паралельно, які призначені для роботи в колах постійного і пульсуючого струму в імпульсних режимах, з допустимим повторюваним імпульсним струмом конденсатора - не менше 10 А.

Результати розрахунків:

Для перетворення напруги обираємо понижуючий трансформатор Т1 ТСЗ-25/380/66 УХЛ4.

В якості силових керованих вентилів VS1-6 обираємо тиристори T123-200-4 з охолоджувачем О-123-100 (умова роботи — охолодження 6 зі швидкістю м/с).

Для забезпечення правильної роботи схеми порівняльним реактором обираємо СРОС-16 УЗ, що розрахований на 400 А та має 0.2 мГн індуктивності.

Для захисту тиристорів від перенапруг використовуємо резистори R4...9 - 12.5watt 7.5ohm 1% MKD 10watt Vishay та конденсатори C4...9 - B32651 0.8uF 250volts 5%.

Для згладжування вихідного сигналу використовуємо дросель L2 100 мкГн 400 А та шість конденсаторів C10-C15 B41231 50VDC 4700uF 20% PVC (6) фірми EPCOS.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Опис технології виготовлення деталі, складальної одиниці або функціонального вузла джерела живлення

Процес виготовлення друкованих плат.

Друкована плата (Printed Circuit Board або РСВ) діє як базис для майже всієї сучасної електроніки. Якщо пристрій потребує певних обчислень - як це відбувається навіть з простими елементами, такими як цифровий годинник, у ньому існує ймовірність наявності друкованої плати.

Існують три основні типи друкованих плат, які виготовляються у поточному виробництві:

- односторонні друковані плати: Ці плати, виконані з базою FR4, мають жорсткий ламінат зі скла епоксидного матеріалу, який потім покривається з однієї сторони мідним покриттям, яке застосовується в різній товщині залежно від застосування;
- двосторонні друковані плати: Двосторонні плати мають таку ж ткану скляну епоксидну основу як односторонні плати - однак у цьому випадку є мідне покриття з обох сторін дошки (також з різною товщиною залежно від програми);
- багатошарові дошки: вони використовують один і той же матеріал як одно- та двосторонні дошки, але виготовляються з мідної фольги замість мідного покриття - мідна фольга використовується для виготовлення «шарів», що чергуються між базовим матеріалом і мідною фольгою — таким чином досягається кількість бажаних шарів.

Існують чотири основні частини до друкованої плати:

- Субстрат: перший і найважливіший, зазвичай виготовлений зі скловолокна. Скловолокно використовується тому, що воно забезпечує міцність основної плати і допомагає протистояти обриву. Субстрат в деякому сенсі є «скелетом» друкованої плати.

- Мідний шар: Залежно від типу плати цей шар може бути виконаний мідною фольгою або повним мідним покриттям. Незалежно від того, який підхід використовується, функція залишається тією ж самою - переносити електричні сигнали в та з друкованої плати.

- Маска припою: являє собою шар полімеру, що допомагає захистити мідь від навколишнього середовища.

- Шовкографія: заключна частина плати. Шовкографія зазвичай знаходиться на стороні компонентів плати та використовується для відображення номерів деталей, логотипів, налаштувань перемикачів символів, опорних компонентів та контрольних точок. Шовкографія також може бути відома як легенда або номенклатура.

Етапи процесу виготовлення друкованих плат є такими:

1. Проектування друкованої плати

Початковим кроком будь-якого виготовлення друкованих плат — розробка проекту плати. Виготовлення та виготовлення друкованих плат завжди починається з плану: дизайнер розробляє план для друкованої плати, що відповідає всім викладеним вимогам. Найбільш часто використовуваним програмним забезпеченням, що використовується дизайнерами PCB, є програмне забезпечення, яке називається Extended Gerber - також відоме як IХ274Х. Також це є формат проекту під цією ж назвою.

2. Друк проекту друкованих плат

Після завершення всіх перевірок можна роздрукувати проект друкованої плати на плотері. Він робить «плівку» друкованої плати. Кінцевий продукт цього «фільму» схожий на прозорі плівки, які раніше використовувалися в школах - це, по суті, — фотонегатив самої плати.

Внутрішні шари друкованої плати представлені двома фарбами:

- Чорне чорнило: використовується для мідних слідів і схем друкованої плати.

- Світле чорнило: позначає непровідні ділянки друкованої плати.

- На зовнішніх шарах конструкції друкованої плати ця тенденція змінюється на протилежну сторону - світлі чорнила відносяться до лінії мідних шляхів, а чорна фарба відображає області, де мідь буде видалена.

Кожен шар друкованої плати і супроводжуюча маска припою отримувє власну плівку, тому простій двошаровій друкованій платі потрібні чотири аркуші - по одному для кожного шару і по одному для супровідної маски.

Після того, як “фільм” буде надруковано, їх вишиковують в ряд і через них пробивається отвір, відомий як реєстраційний отвір. Цей отвір використовується як точка для вирівнювання фільмів пізніше в процесі.

3. Друк внутрішніх шарів

Створення фільмів у попередньому кроці спрямоване на відображення фігури мідного шляху. Тепер друкується малюнок на плівці на мідну фольгу.

Цей крок у виробництві друкованих плат є підготовкою для вироблення фактичної друкованої плати. Основна форма друкованої плати містить ламіновану дошку, матеріалом якої є епоксидна смола і скловолокно, які також називають матеріалом підкладки. Ламінат служить ідеальним тілом для отримання міді, що структурує друковану плату. Матеріал підкладки забезпечує міцну і пилостійку стартову точку для друкованої плати. Мідь попередньо скріплена з обох сторін. Процес передбачає згортання міді, щоб розкрити дизайн з фільмів.

В конструкції друкованих плат, чистота має значення. Мідно-дво-сторонній ламінат очищається і переходить у дезактивоване середовище. На цьому етапі життєво важливо, щоб на ламінаті не утворилися частинки пилу - він може викликати короткочасне замикання або механічне пошкодження дорожки в платі.

Далі чиста панель отримувє шар фоточутливої плівки - фоторезист. Фоторезист містить шар фотореактивних хімічних речовин, які твердіють після впливу ультрафіолетового світла. Це забезпечує точну відповідність з фо-

топлівкою фоторезисту. Плівки прилягають до штифтів, які утримують їх над ламінованою панеллю.

Плівка і дошка вирівнюються і отримують випромінювання сплеск УФ-світла. Світло проходить через чіткі частини плівки, зміцнюючи фото опору на міді під ним. Чорне чорнило з плоттера запобігає потраплянню світла в зони, не призначені для затвердіння, і вони виведені назовні.

Після того, як дошка підготується, її промивають лужним розчином, який видаляє будь-який фотографічний резист, що залишився непошкодженим. Остаточний тиск при пранні видаляє все що залишилося на поверхні. Потім дошку сушать.

Плата отримує резистентне покриття мідних ділянок, які мають залишатися в остаточному вигляді. Технік перевіряє плати, щоб упевнитися, що на цій стадії не виникають помилки. Весь резист, наявний в цей момент часу, позначає мідь, яка з'явиться в готовій друкованій платі.

Цей крок застосовується тільки до дощок з більш ніж двома шарами. Прості двошарові дошки пропускають інші етапи до сверління. Багатошарові плати вимагають більше кроків, які розглядатися не будуть.

4. Свердління отворів

Нарешті, в дошку стека просвердлюють отвори. Всі компоненти, які будуть монтуватися на плату пізніше, такі як мідне з'єднання отворів, покладаються на точність свердловин.

Щоб знайти розташування цілей буріння, локатор рентгенівських променів ідентифікує належні місця цільового буріння. Потім, належні реєстраційні отвори просвердлюють, щоб закріпити стек для ряду більш конкретних отворів.

Перед свердлінням технік поміщає дошку з буферного матеріалу під ціль свердловини, щоб забезпечити чистий отвір. Матеріал виходу запобігає будь-якому непотрібному розриву на виході з бура.

Комп'ютер керує кожним мікро-переміщенням свердла. Машина, керована комп'ютером, використовує файл буріння з оригінальної конструкції, щоб визначити відповідні місця для розточування.

Свердла використовують шпинделі з повітряним приводом, які обертаються на 150 000 об / хв. У отворах розміщуються відсіки і механічні отвори для кріплення друкованої плати. Остаточне прикріплення цих частин відбувається пізніше, після покриття.

Після того, як свердління завершиться, додаткова мідь, що з'єднує краї виробничої панелі, піддається видаленню інструментом профілювання.

5. Покриття та осадження міді

Після свердління панель переходить на обшивку. Процес зливає різні шари разом за допомогою хімічного осадження. Після ретельного очищення панель проходить серію хімічних ванн. Під час ванн процес хімічного осадження накладає тонкий шар - товщиною близько одного мікрона - міді над поверхнею панелі. Мідь переходить у нещодавно просвердлені отвори.

До цього етапу внутрішня поверхня отворів просто відкриває матеріал скловолокна, який містить внутрішню поверхню панелі. Мідні ванни повністю покривають стіни отворів. До речі, вся панель отримує новий шар міді. Найголовніше, що нові отвори покриваються. Комп'ютери контролюють весь процес занурення, видалення і процесії.

6. Візуалізація зовнішнього шару

На цьому кроці ми знову застосуємо фоторезист на панелі – проте зараз ми зображуємо зовнішні шари панелі з проектом друкованої плати. Спочатку накладаються шари в стерильному приміщенні, а потім наносять шар фоторезисту на панель. Підготовлена панель переходить у жовту кімнату. УФ-вогні впливають на фоторезист.

Прозорості з чорним чорнилом закріплені шпильками для запобігання зсуву панелі. Завдяки контакту панелі та трафарету генератор вибиває їх з високим рівнем ультрафіолетового випромінювання, що затверджує фоторе-

зист. Потім панель переходить у машину, яка видаляє непрокалений резист, захищений чорною фарбою.

Цей процес є інверсією того ж самого для внутрішнього шару. Нарешті, зовнішні пластини піддаються перевірці, щоб переконатися, що весь небажаний фоторезист був видалений під час попередньої стадії.

7. Покриття

Відбувається в кімнаті для обшивки. Як і в 5 кроці, ми обробляємо панель тонким шаром міді. Виділені ділянки панелі з поверхні зовнішнього шару фоторезиста отримують мідне гальванічне покриття. Після первинної ванни з мідним покриттям панель зазвичай отримує олов'яну обшивку, яка дозволяє видалити всю мідь, що залишилася на дошці, що накривається для видалення. Олово охороняє ділянку панелі, призначену для того, щоб залишитися покритою міддю під час наступної стадії травлення. Травлення видаляє небажану мідну фольгу з панелі.

8. Остаточне травлення

Олово захищає бажану мідь на цьому етапі. Небажана експонована мідь і мідь під решту шару опору піддаються видаленню. Знову ж таки, хімічні розчини застосовуються для видалення надлишку міді. Тим часом на цьому етапі олово захищає цінну мідь.

Тепер провідні зони та з'єднання тепер встановлені належним чином.

9. Застосування маски припою

Перед тим, як маска припою наноситься на обидві сторони дошки, панелі очищаються і покриваються чорнилом епоксидної маски припою. Дошки отримують спалах ультрафіолетового світла, який проходить через фотопанель маски припою. Покриті частини залишаються незатверділими і піддаються видаленню.

Нарешті, дошка переходить у піч, щоб загартувати маску припою.

10. Поверхнева обробка

Щоб додати додаткову паяльну здатність до друкованої плати, відбувається хімічне напилення їх золотом або сріблом. Деякі друковані плати також отримують гарячі повітряні прокладки на цій стадії. Вирівнювання гарячого повітря призводить до однорідних прокладок. Цей процес призводить до генерації поверхні.

11. Шовкографія

Майже завершена дошка отримує друк на струменевому струмі на своїй поверхні, використовуючи для позначення всієї важливої інформації, що відноситься до друкованої плати. Друкована плата нарешті переходить на останній етап нанесення покриттів і затвердіння.

12. Електричний тест

В якості останньої запобіжної дії, технік виконує електричне випробування друкованої плати. Автоматизована процедура підтверджує функціональність друкованої плати та її відповідність оригінальній конструкції.

[20]

4.2 Опис шкідливих факторів і заходів з охорони праці при виготовленні виробу

Охорона праці при пайці і випалюванні ізоляції.

Нині майже усі електромонтажні з'єднання РЕА здійснюються пайкою. Технологічний процес пайки включає випалювання ізоляції і лудіння. При виконанні пайки на працюючих можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники: запиленість і загазованість повітря робочої зони; наявність інфрачервоних випромінювань від розплавленого припою у ванні або від паяльника; наявність електромагнітного випромінювання високої частоти; дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, яка утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій; дія електростатичного заряду; незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість; незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні; дія бризок і

крапель розплавленого припою; поразка електричним струмом; а також група психофізіологічних шкідливих виробничих чинників: фізичні перевантаження (статичні і динамічні) і нервовопсихічні (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Операції пайки, лудіння і випалення ізоляції супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами свинцю, олова, сурми і інших елементів, що входять до складу припою; парами каніфолі і різних рідин, вживаних для флюсу, змиву і розчинення різних лаків, які застосовуються для покриття друкованих плат; парами соляної кислоти; газами(окисел вуглецю, вуглеводня) і т. д. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються на аерозоль такої конденсації, частки якої по своїй дисперсності наближаються до димів.

Знаходячись в запиленій атмосфері, робітники піддаються дії пилу і пари; шкідливі речовини осідають на поверхні шкірного покриву, потрапляють на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, із слиною заковтуються в травний тракт, вдихаються у легені. Разом із забрудненням повітряного середовища забруднюються робочі поверхні, одяг і шкірні покриви працюючих.

Особливо шкідливі при пайці олов'яно-свинцевими припоями пари свинцю. Свинець і його з'єднання отруйні. Частина свинцю, що поступила в організм, виводиться через кишечник і нирки, а частина затримується в кістковій речовині, м'язах, мозку, печінці. За несприятливих умов свинець починає циркулювати в крові, викликаючи явища свинцевого отруєння. Свинець викликає зміни у складі крові, вражає нервову систему, нирки і печінку. Властивість свинцю накопичуватися в організмі призводить до хронічного отруєння при систематичному надходженні в організм навіть малих його кількостей. Для запобігання гострим і професійним захворюванням вміст свинцю в повітряному середовищі не повинен перевищувати гранично допустимої концентрації – $0,01 \text{ мг/м}^3$.

У виробництві радіоелектронної апаратури окрім олов'яно-свинцевих припоїв знаходять застосування припої, до складу яких входять мідь, літій, срібло, кадмій і інші метали. В деяких випадках пайка здійснюється шляхом занурення в розплавлені хлористі солі кадмію, натрію, бору, літію з додаванням активних присадок – фтористих солей. Пари більшості з перерахованих речовин, що утворюються при пайці, можуть чинити шкідливу дію на організм працюючих. Найбільш небезпечні пари окислу кадмію, міді і фтористі сполуки. Шкідливим для організму також є літій і хлористий цинк, що чинять подразливу дію на шкіру і дихальні шляхи.

Пайка в атмосфері звичайними припоями робиться із застосуванням флюсів. Біологічна дія флюсів на організм людини залежить від компонентів, що входять до складу паяльних флюсів. Одні компоненти (каніфоль соснова, етилацетат, олеїнова кислота та ін.) мають подразливу дію; інші (спирт етиловий) – наркотичним; треті (семікарбазид гідрохлорид, етилгліколь) – високою токсичністю; дія четвертих (кремнійорганічна рідина) на організм ще не вивчена достатньо. Деякі марки флюсів (ФГСП, ФДФс, ФСКСП та ін.) через високу токсичність рекомендується не застосовувати або обмежувати їх застосування. У усіх флюсах варто замінювати етилгліколь (оскільки він здатний проникати в організм навіть через неушкоджену шкіру) гліцерином,.

Для видалення залишків флюсів після пайки залежно від марки флюсу застосовуються різні миючі середовища, які мають токсичні властивості.

Кожному різновиду процесів пайки і лудіння притаманні певні шкідливі і небезпечні фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні фактори, що відрізняються як кількісними, так і якісними характеристиками. При цьому деякі види паяння і лудіння утворюють одночасно кілька таких виробничих факторів, які можуть призвести до травмування та профзахворювань або виникнення пожеж і вибухів.

Такими потенційними небезпечними і шкідливими виробничими факторами можуть бути:

- запиленість і загазованість повітря робочої зони;

- наявність інфрачервоних випромінювань від розплавленого припою у ванні або паяльника;
- наявність електромагнітного випромінювання високої частоти;
- дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, яка утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій;
- вплив електростатичного заряду;
- незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість;
- незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;
- впливу бризок і крапель розплавленого припою;
- ураження електричним струмом;
- група психофізіологічних шкідливих виробничих факторів: фізичні перевантаження (статичні і динамічні), нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Всі різновиди процесів пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища аерозолем припою і флюсу, парами різних рідин, застосовуваних для флюсу, змивки і розчинення лаків, парами соляної кислоти, газами (окис вуглецю, вуглеводні) і т.д.

Операції пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами оксиду свинцю, олова, сурми та інших елементів, що входять до складу припою, а також парами каніфолі. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються в аерозоль конденсації.

Більшість елементів, що входять до складу застосовуваних припоїв, є небезпечним для здоров'я та життя людини.

Питоме утворення аерозолу свинцю при лудіння і паяння олов'яно-свинцевими припоями наступне:

- при пайці електропаяльником потужністю 20-60 Вт 0.02-0,04 мг/100 пайок;

- при лудінні зануренням у припій (відносно до поверхні ванни) 300-500 мг / (м².ч);
- при лудінні і паяння хвилею (відносно до поверхні хвилі) .. 3000-5000 мг / (м².ч).

Залишки паяльного флюсу після операції лудіння і паяння містять свинець, який може надходити в повітря приміщення. Залишки флюсу від 1000 пайок, проведених електропаяльником, містять 0,4 мг свинцю.

Враховуючи шкідливість початкових компонентів, що входять до складу припоїв, флюсів, миючих середовищ, і забруднення атмосфери виробничих приміщень пилом, парами і газами, для досягнення сприятливих умов праці необхідно провести комплекс наступних заходів:

1. Ділянки, на яких зосереджені операції пайки, виділяють в окремі приміщення. Якщо пайка проводиться на потоковій лінії при чергуванні з іншими технологічними операціями, виробничі приміщення в цьому випадку розглядають як приміщення, призначені для пайки.

2. Стіни, віконні рами, опалювальні прилади, повітропроводи мають бути гладкими і покриваються масляною фарбою світлих тонів (панелі на рівні 1,5...2 м від підлоги краще облицьовувати плиткою). Підлоги мають бути водонепроникними, мати підвищену міцність і опір стиранню і займанню, без щілин і мати ухили до трапів каналізації. На ділянках пайки їх миють після кожної зміни. Не рідше за один раз в тиждень роблять вологе прибирання усього приміщення.

3. При ручній пайці і випалюванні ізоляції в цілях захисту від поразки електричним струмом електропаяльник та електровипалювалька мають працювати від електромережі напругою не вище 42 В.

4. Прибирання устаткування робиться із застосуванням пневмоприбиральної системи. Робочі поверхні столів, ящиків для зберігання інструментів і тара у кінці зміни очищаються і обмиваються гарячим мильним розчином.

5. Використані серветки і ганчір'я після зміни повинні спалюватися, повторне їх використання не допускається.
6. Шафи для зберігання робочого одягу і особистих речей щотижня усередині і зовні обмиваються гарячою водою з милом.
7. Експлуатація ділянок пайки, не обладнаних витяжною вентиляцією, забороняється. Вентиляційні установки повинні вмикатися до початку робіт і вимикатися після їх закінчення.
8. Приміщення, в яких розміщуються ділянки пайки, обладнуються відосбленою приточно-витяжною вентиляцією. Приплив повітря повинен складати 95% об'єму витягу. Бракуючі 5% приточного повітря поступають з суміжних, чистіших приміщень.
9. Особи, що не досягли 18-літнього віку, до постійної роботи з припоями, що містять свинець і кадмій, не допускаються.
10. Жінки, зайняті пайкою, в період вагітності і годування дітей перекладаються на роботу, не пов'язану з пайкою.
11. Усі, хто поступають на роботу мають бути проінструктовані про запобіжні заходи при поводженні з припоями і флюсами. Особлива увага при інструктажі слід приділяти питанням особистої гігієни.

Місця, відведені для паління, а також кімнати для прийому їжі і виробничі ділянки обладнуються умивальниками, до яких безперебійно повинна подаватися гаряча і холодна вода. У умивальників передбачаються банки з 1% -им розчином оцтової кислоти або змивочної пасти на основі ОП-7 для попереднього обмивання рук з подальшим миттям їх теплою водою з милом. Перед їдою і палінням обов'язково необхідно мити руки і полоскати порожнину рота. Для обтирання рук застосовуються разові серветки. Застосування рушників загального користування не дозволяється.

Для захисту шкіри рук від дії сенсibiliзуючих речовин, що входять до складу флюсів, застосовують захисні мазі і пасти типу «Миколан», пасти ИЕР-1, ХИОТ-14, казеїнову пасту і біологічні рукавички, які наносять на

шкіру перед початком роботи і після обідньої перерви. Після роботи для шкіри рук необхідно застосовувати жирні поживні креми.

Питну воду для працюючих на ділянках пайки слід подавати через фонтанчики, які встановлюються за межами паяльних ділянок, але поблизу них. Паяльні роботи повинні виконуватися робітниками в передбаченому для цього спецодязі, який забороняється відносити додому.

У приміщеннях, де виконується пайка, забороняється зберігати спецодяг, особисті речі, приймати і зберігати їжу, питну воду, а також палити. Знаходиться в приміщеннях для їди, їдальнях і буфетах в робочому одязі забороняється.

Після закінчення роботи необхідно прийняти теплий душ, почистити зуби зубним порошком і прополоскати порожнину рота водою. Цій категорії працівників не рекомендується видавати молоко, оскільки воно містить легко засвоюваний кальцій, підвищене введення якого в організм викликає негативний вплив на течію свинцевої інтоксикації. Тому при роботі зі свинцем і його з'єднаннями замість молока робітникам необхідно видавати 8...10 г пектину у вигляді мармеладу або концентрату пектину з чаєм.

Деякі з речовин і матеріалів, вживаних на ділянках пайки, пожежовибухонебезпечні. Пожежа може виникнути на операціях приготування флюсів (етиловий спирт, етилацетат), припоїв, при видаленні залишків флюсів після пайки (спиртобензинова суміш, ацетон) і при проведенні робіт по захисту дзеркала розплавленого припою в агрегатах пайки (займання олії). [21]

4.3 Розрахунок заземлюваного пристрою

Розрахунок захисного заземлення виконують для визначення основних параметрів заземлювального пристрою - кількості, розмірів і порядку розміщення одиночних заземлювачів і заземлюючих провідників, при яких напруга дотику і крокова напруга під час замикання фази на заземлений корпус електроустановки не перевищують допустимих значень. Зазвичай

розрахунок роблять по допустимому опору заземлювача розтіканню струму. Для спрощення розрахунку допускають, що заземлювач розміщений в одношаровому ґрунті (існують методики розрахунку, що враховують багатошарова будова землі, наприклад, двошарова модель).

Принцип розрахунку захисного заземлення в електроустановках напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю зводиться до визначення числа заземлювачів через знаходження необхідного опору заземлювального пристрою (що складається з одиничних заземлювачів, з'єднаних металевією смугою та розташованих в ряд або по контуру).

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку пристрою заземлення

Допустимий опір заземлювального пристрою розтіканню струму, Ом	4
Вид ґрунту	Мергель
Кліматична зона	1
Розташування вертикальних заземлюючих електродів	В контур

Послідовність розрахунку заземлення в одношаровому ґрунті наступна:

1. Визначити значення питомого опору ґрунту в місті встановлення приладу заземлення.

$$\rho_{\text{мергель}} = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (55)$$

2. Отримати розрахунковий питомий опір ґрунту.

$$\rho_{\text{розр}} = \rho \cdot \Psi_{\text{с}} \quad (56)$$

$$\rho_{\text{розр}} = 150 \cdot 1.9 = 270 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

де $\Psi_{\text{с}}$ – коефіцієнт сезонності, що враховує можливості підвищення опору ґрунту для даного типу заземлювача протягом року.

3. Визначити опір одиночного заземлювача. Так як верхні шари ґрунту мають великі сезонні коливання в залежності від вологості і температури, заземлювачі слід забивати нижче поверхні землі. Тоді опір одиночного заземлювача можна визначити за формулою

$$R_{o.з} = \frac{\rho_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right) = 106.21 \text{ Ом} \quad (57)$$

де t – глибина закладення заземлення (відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту), м; l , d – довжина і діаметр заземлювача, м.

4. Визначити орієнтовну кількість одиночних заземлювачів в пристрої

$$\eta' = \frac{R_{o.з}}{R_n \cdot \eta_в} = 26.55 \quad (58)$$

де η' – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів. Для орієнтовного розрахунку приймаємо $\eta' = 1$

Значення $\eta_в$ залежить від форми, розмірів і розміщення електродів, що становлять груповий заземлювач, а також від їх числа n , відстані a між окремими заземлювачами і від відношення відстані між окремими заземлювачами до їх довжини.

5. Визначити дійсне значення коефіцієнта використання $\eta_в$ для вертикальних заземлювачів, виходячи з прийнятої схеми розміщення вертикальних заземлювачів

$$\eta_в = 0.38 \quad (59)$$

6. Визначити дійсне значення коефіцієнта використання η_v для вертикальних заземлювачів, виходячи з прийнятої схеми розміщення вертикальних заземлювачів

7. Визначити необхідну кількість вертикальних заземлювачів
Кількість заземлювачів округляємо в більшу сторону.

$$n = \frac{106.21}{4 \cdot 0.38} = 69.88 \Rightarrow n = 70 \quad (60)$$

8. Визначити довжину лінії, що з'єднує одиничні заземлювачі
9.

$$L = 1.05 \cdot a \cdot n \quad (61)$$

$$L = 1.05 \cdot 2.5 \cdot 70 = 183.75 \text{ м}$$

10. Визначити розрахунковий питомий опір ґрунту для розрахунку опору горизонтального заземлювача

$$\rho'_{розр} = \rho \cdot \Psi_z \quad (62)$$

$$\rho'_{розр} = 150 \cdot 4.5 = 675 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

11. Визначити опір сталевій полосі, яка з'єднує вертикальні заземлювачі

$$R_n = \frac{\rho'_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left(\frac{L^2}{b_n \cdot t_n} \right) \quad (63)$$

$$R_n = 8.19 \text{ Ом}$$

де b_n, t_n – ширина полоси та глибина залягання полоси, м.

12. Визначити загальний опір заземлювального пристрою з урахуванням смуги з'єднання

$$R = \frac{R_{o.z} \cdot R_n}{R_{o.z} \cdot \eta_z + R_n \cdot \eta_b \cdot n} \quad (64)$$

$$R = 3.64 \text{ Ом}$$

13. Правильно розрахований прилад заземлення повинен відповідати умові

$$R < R_z \quad (65)$$

де $R = 3.64 \text{ Ом}$, $R_z = 4 \text{ Ом}$

Результати розрахунку заземлювального пристрою відображені на листі 5 (повний шифр ЕІСПЗ.ДП.261-21.00.00.00.00 ДЗ).

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИРОБУ, ЩО РОЗРОБЛЕНО

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.

5.1 Підсумок витрат за статтям кошторису

Зарплата розробників по етапам

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 добутоків 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).

В таблиці 5.1 приведений розрахунок зарплати розробників технічної документації на розробку джерела живлення електролізної установки для водоочищення. Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15-20% цієї трудомісткості.

Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка

Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробовується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку зарплати на розробку документації (див. Табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапів розробки	Формат	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю, нормо - годин	Трудо-місткість етапу, люд.- година	Число ви-конавців	Три-валість етапу, днів	Денна ставка ви-конавці в	Зарплата на етап, грн.
1	Схема електрична принципова	ф.А1	1	18,00	18,00	1,00	2,3	140,00	322,00
2	Схема електрична структурна	ф.А1	1	16,50	16,50	1,00	2,10	120,00	252,00
3	Специфікація	ф.А4	3	0,40	1,20	1,00	0,20	90,00	18,00
4	Розрахунки	ф.А4	6	7,40	74,00	1,00	7,40	100,00	740,00
5	Записка пояснення	ф.А4	88	1,95	160,00	1,00	20	140,00	2800,00
	Разом								4132,00

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
Монтажні	6	120	20,5	2460
Регульовальні	6	90	15,5	1395
Разом				3855

Матеріальні витрати на зразок

Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (див. Табл.5.3) і комплектуючих виробів (див. 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 вимі- ру	К-ть на виріб	Ціна за оди- ницю	Сума, грн
1	Ізоляційні матеріали	кг	1,20	1,25	1,50
2	Дріт 16mm ²	м	8	45	360
3	Дріт 0.5mm ²	м	10	5	50
	Разом:				411,5

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Джерело живлення	1	325,00	650,00
2	Реле повітряного потоку	1	2009,31	2009,31
3	Тепловентилятор	1	920,00	920,00
4	Комутаційна лампа	3	62,34	225,00
5	Контактор 3ф	1	550	550
6	Вимикач 3ф 125А	1	818,46	818,46
7	Пускач 3ф	1	5090	5090
8	Кнопка	2	76,00	152,00
14	Трансформатор	1	30000,00	30000,00
15	Тиристор T123-200-4	6	265	1590
16	Клемне з'єднання	3	635,5	1906,5
17	Датчик струму	1	567	567
18	Датчик напруги	1	567	567
	Разом:			45045,27

Накладні витрати

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

Собівартість дослідного зразка

Собівартість дослідного зразка визначається за формою таблиці 5.5.

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

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	2	3
1.	Матеріали (табл. 3)	411,5
2	Куповані комплектуючі вироби (табл. 4)	45045,27
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	2272,83
4	Заробітна плата виробничих робочих (табл.2)	3855
5	Нарахування на зарплату (36,9%)	1422,5
6	Накладні витрати(120% п.4)	4626
	Разом собівартість	57632,82

Інші витрати

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)	4132
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (20% п.1)	826,4
3	Разом ФЗП (п.1 +п.2)	4958,4
4	Нарахування на зарплату (36,9% п.3)	1829,65
5	Накладні витрати (120% п. 3)	5950,08
6	Собівартість дослідного зразка (табл. 5.5)	57632,82
7	Інші витрати	1000
	Всього вартість розробки	76329,35

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.

Розрахунок приведений в таблиці 5.7.

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	13,49	269,80
2 Монтажні	5	12	14,57	174,84
3 Регулювальні	5	8	16,20	129,60
Разом				574,24

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

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	Матеріали	411,5
2	Куповані комплектуючі вироби	45045,27
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	777,11
4	Основна заробітна плата виробничих робочих (табл. 7)	574,24
5	Додаткова заробітна платня виробничих робочих (20% п.4)	114,85
6	Разом ФЗП (п.4+п.5)	689,09
7	Нарахування на зарплату (36,9% п.6)	254,27
8	Накладні витрати (140% п.4)	803,94
9	Разом собівартість (п.1+п.2+п.3+п.6+п.7)	47177,24
10	Прибуток (30% собівартості)	14153,17
11	Ціна виробника	61330,41

Розрахунок критичного обсягу виробництва

Критичний обсяг виробництва визначається по наступній формулі:

$$V_{кр} = \frac{\Pi \cdot V}{Ц - C_{п}} \quad (66)$$

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

V – планований обсяг виробництва, $V = 5$ шт.; Π – постійні витрати, $\Pi = 47177,24$ грн.;

$Ц$ – ціна виробу, $Ц = 61330,41$ грн.;

$C_{п}$ – середньозмінні витрати, $C_{п} = 14153,17$ 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:

$$V_{кр} = \frac{47177,24 \cdot 5}{61330,41 - 14153,17} = 5$$

Критичний обсяг виробництва виробу складає 5 шт.

Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі:

$$E_p = (\Pi - E_H \cdot K_y) \cdot A_p \quad (68)$$

де Π – прибуток на одиницю продукції; E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_H = 0,15$); A_p – річний об'єм випуску продукції. Для серійного виробництва $A_p = 5$ шт/рік; K_y – питомі капі-

таловкладення на одиницю річного об'єму продукції $K_y = K/A_p = 120000,00/5 = 24000,00$ грн/шт, де K – капіталовкладення в розробку виробу = витрати на $KПВ$ + вартість основних фондів = 120000,00грн.

Передбачуваний річний економічний ефект :

$$E_p = (14153.17 - 0.15 \cdot 24000.0) \cdot 5 = 52765.86 \text{ грн} \quad (69)$$

Ефективність E розробки дорівнює річному прибутку, що ділиться на капіталовкладення:

$$E = 52765.86 \cdot 5 / 120000.0 = 2.2 \text{ грн/грн} \quad (70)$$

Термін окупності продукції T рівний зворотній величині ефективності:

$$T = 1/E = 1/2.2 = 0.45 \text{ р} \quad (71)$$

Таблиця 5.9 – Основні економічні показники

Найменування показника	Одиниці вим.	Величина показника
Вартість капітальних вкладень	грн.	120000,00
Річний прибуток	грн.	52765,86
Економічна ефективність	грн./грн.	2,2
Термін окупності	рік	0,45

Економічні розрахунки підтвердили доцільність виготовлення проектного виробу. [23]

ВИСНОВОК

В ході виконання дипломного проекту були розглянуті аналоги джерел живлення для енергопостачання аеродромного обладнання.

В дипломному проекті було проведено розробку джерела живлення постійного струму промислового призначення для аеродромного обладнання на базі трьохфазного тиристорного випрямляча.

Був проведений аналіз існуючих джерел живлення промислового призначення. Проаналізувавши ринок, бачимо, що немає блоків живлення які б чітко підійшли до наших вимог. На ринку представлений лише один екземпляр зі схожими властивостями від вітчизняних виробників. Цінова політика на серію приладів в залежності від комплектування — від 100 тисяч до 500 тисяч гривень, вартість екземпляру — 145 тисяч гривень.

В результаті даного аналізу та ТЗ була запропонована функціональна схема пристрою, на основі якої була розроблена електрична принципова схема.

Виконаний розрахунок силової частини проектованого виробу та математичне моделювання поведінки силової частини в частині відпрацювання нею значень кута управління $\alpha = 0$ та $\alpha = 20$. Моделювання проводилось у програмному середовищі PLECS 3.7 (Standalone).

Виконаний розрахунок приладу захисного заземлення для джерела живлення випрямляча.

В результаті розрахунку економічного обґрунтування виробу переконалися, що виріб є доцільним для виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Сайт фірми ООО "ПО "УКРСПЕЦКОМПЛЕКТ" <http://usk.ua/vuprjamiteli-v-tpe-25-400-01-v-tpe-75-400-01-v-tpe-250-400-01.html>
- 2 Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамола О. Є. С 77 Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Підручник для студентів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів. — Львів: : «Новий Світ—2000»; «Магнолія плюс».—2003. —208 с. ISBN 966-7827-27-25 «Новий Світ - 2000»
- 3 Колонтаєвський Ю.П., СосковА.Г. Електроніка і мікросхемотехніка:Підручник. 2-е вид. /За ред. А.Г. Соскова. —К.: Каравела, 2009. —416 с. ISBN 966-8019-38-5
- 4 Электричні апарати : навч. посіб. / В. О. Лесько, В. О. Комар, С. В. Кравчук, О. В. Сікорська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 102 с. УДК 621.311(076.5)
5. Коммутационные аппараты [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/177-kommutacionnye-apparaty-ruchnogo.html>.
6. Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп'ютерних технологій: Навч. посіб. /Щерба А.А., Рябенький В.М., Кучеренко М.Є. та ін. – К.: "Корнійчук", 2007, - 488 с. з іл.
7. Сайт фірми ООО "ПО "УКРСПЕЦКОМПЛЕКТ" http://usk.ua/elektromagn_puskateli.html
8. Автоматические выключатели: Конструкция и принцип работы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://elektrik-sam.info/avtomaticheskie-vyklyuchateli-konstrukciya-i-princip-raboty/>.
9. Автоматические выключатели: Технические характеристики [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://elektrik-sam.info/avtomaticheskie-vyklyuchateli-tehnicheskie-harakteristiki/>.

10. Кириленко О.В. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. К.: "Текст", 2006. 488 с.
11. Види трансформаторів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1714-vidy-transformatorov.html>.
12. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. -К.: Вища шк., 1983.-431 с.
13. Тиристор (принцип действия) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://electricalschool.info/main/electroshemy/455-tiristory-princip-dejstvija.html>.
14. Основные параметры тиристорov [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://studopedia.su/18_83_osnovnie-parametri-tiristorov.html.
15. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки : курс лекцій : [навчальний посібник] / [Д. М. Фреїк, В. М. Чобанюк, З. Ю. Готра та ін. ; за заг. ред. заслуженого діяча науки і техніки України, доктора хімічних наук, проф. Д. М. Фреїка]. – Івано-Франківськ : Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 263 с. ISBN 978-966-640-275-5
16. Силові напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії: навч. посіб. / К.К. Победаш, В.А. Святненко - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 244 с.
17. УДК 621.314.6 Керовані випрямлячі: Навчальний посібник/ М.М.Казачковський. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 229 с.
18. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник. 2-е вид. / За ред. А.Г. Соскова. - / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков. – Київ: Каравела, 2009. – 416 с.

19. Назначение и основные требования, предъявляемые к системам управления выпрямителями [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/4289654/page:3/>.
20. The PCB Manufacturing Process [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.mclpcb.com/pcb-manufacturing-process/>.
21. С.С. Козлов. Методичні вказівки до виконання розділу – Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в дипломних проектах для підготовки студентів факультету електроніки за освітньо-кваліфікаційним рівнем – Спеціалісти та Магістри. – «ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ»/–К.:НТУУ КПІ, 2013, – 44с.
22. Чиженко И. М. Основы преобразовательной техники / И. М. Чиженко, В. С. Руденко, В. И. Сенько. – Киев: Высшая школа, 1980. – 431 с.
23. Підсумкова атестація здобувачів вищої освіти першого рівня «бакалавр». Методичні рекомендації до виконання дипломних проектів з напрямку підготовки 171 «Електроніка»/ Укл.: С.Л. Шмалій, О.Г. Алексеев – Запоріжжя: 2017. –25с.