

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними процесами»

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Розробка випрямного перетворювача електропоїзда змінного струму»

за освітньою програмою: «Електричний транспорт»

зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент групи «ЕТ1811»

	_____	// Сергій Гриньов
	(підпис студента)	(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Керівник:	_____	// Дмитро Білухін
	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Нормоконтролер:	_____	// Дмитро Білухін
	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Консультант:	_____	//
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Energy Process Control»
Department «Electric rolling stock»

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic: «Development of a rectifier converter for an alternathing current electric train»

according to educational curriculum «Electrical Transport»

in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics»

Done by the student of the group ET1811: / Hrynov Serhii /

Scientific Supervisor: / Belukhin Dmitry /

Normative controller: / Belukhin Dmitry /

Supervisor

(Chapter title heading)

/ /
(position, name, surname)

Український державний університет науки і технологій;
Навчально-науковий інститут
"Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту"
Факультет «Управління енергетичними процесами»
Факультет «Управління енергетичними процесами» Кафедра «Електрорухомий склад залізниць»
Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри
_____ А.М. Афанасов

" ____ " _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

Студента групи ET1811 Гриньов Сергій Павлович
(П. І. Б.)

1 Тема дипломної роботи: _____

Розробка випрямного перетворювача

електропоїзда змінного струму.

затверджена наказом по університету № 85ст від «10» грудня 2021 р.

2 Термін подання студентом закінченої роботи: «12» червня 2022 р.

3 Вихідні дані до дипломної роботи: _____

Електропоїзд змінного струму приміський; тип тягових двигунів – колекторний

постійно-пульсуючого струму; прототип двигуна – 1.ДТ-012; напруга контактної мережі

$U_{\text{кнном}}=25$ кВ (19...29 кВ); базова схема випрямлення – мостова двопульсова;

регулювання напруги – ступеневе; гальмування – пневматичне, реостатне;

елементна база – напівпровідникові діоди.

РЕФЕРАТ

Дипломна кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Розробка випрямного перетворювача електропоїзда змінного струму» містить: 54 сторінок основного тексту, 3 таблиці, 14 рисунків, 18 літературних джерел, 1 додаток.

У роботі досліджується можливість розробки випрямного перетворювача електропоїзда змінного струму, який обладнано двигуном 1ДТ-012. Проаналізовано силові схеми електропоїздів змінного струму, розглянуто загальні характеристики електропоїздів. Розглянуто структурну схему тягового перетворювача та загальні вимоги до тягових перетворювальних перетворювачів. Розраховано елементи випрямляча та проектні параметри трансформатора. Виконано тепловий розрахунок схеми випрямлення. Визначено граничний струм при різних швидкостях повітря охолодження та вибрано напівпровідникові елементи. Метою виконання роботи є розробка випрямного перетворювача електропоїзда змінного струму.

Ключові слова: електрорухомий склад, тяговий перетворювач, структурна схема, випрямляч, трансформатор, діод, охолоджувач.

Зміст

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИЛОВИХ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ.....	
1.1 Загальні характеристики електропоїздів змінного струму.....	7
1.2 Аналіз силової схеми електропоїзда ЭР7.....	
1.3 Аналіз силової схеми електропоїзда ЭР29	
1.4 Аналіз силової схеми електропоїзда ЭР9	
1.5. Аналіз силової схеми електропоїзда ЭР9А з асинхронним тяговим приводом	
РОЗДІЛ 2 ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА... 19	
2.1 Загальні вимоги до тягових перетворювальних пристроїв.....	19
2.2 Структурна схема перетворення енергії на електропоїздах змінного струму.....	
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ВИПРЯМЛЯЧА ТА ВИБІР ПРОЕКТНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСФОРМАТОРА.....	25
3.1 Випрямна установка УВП-3.....	25
3.2 Розрахунок елементів випрямляча.....	27
РОЗДІЛ 4 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СХЕМИ ВИПРЯМЛЕННЯ	37
4.1 Нагрівання і теплові параметри напівпровідникових приладів.....	37
4.2 Розрахунок середнього струму приладів за умовами тепловідводу.....	39
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	45
ДОДАТКИ.....	
Додаток А Демонстраційні матеріали до захисту проекту «Розробка випрямного перетворювача електропоїзда змінного струму».....	

					Розробка випрямного перетворювача електропоїзда змінного струму				
Змм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					
Виконав		Гриньов С.П.			Розрахунково-пояснювальна записка		Лит.	Лист	Аркушів
Перевірив		Білухін Д. С.						5	54
Реценз.							УДУНТ; НІІ ДІП. ЕТ1811		
Н. Контр.		Білухін Д.С.							
Затверд.		Білухін Д.С.							

ВСТУП

Моторвагонний рухомий склад призначений для перевезення пасажирів в пригородньому сполученні на електрифікованих лініях залізничної дороги і є одним із затребуваних транспортних засобів, технічного рівня від якого залежить коефіцієнт рухомості населення.

На розробку нових типів електропоїздів вплинула електрифікація залізниць на змінному струмі.

В справжній час на залізничних дорогах експлуатується електрорухомий склад технічний рівень якого морально застарів, тому що технології, які використовуються на даних електропоїздах були запропоновані ще в 60- х роках минулого століття. Данні серії значно уступають зарубіжним аналогам по причині використання в даних електропоїздах застарілої елементної бази випрямляючої установки.

У даній роботі розробляється випрямний перетворювач електропоїзда змінного струму.

						Арк.
Змм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИЛОВИХ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

1.1 Загальні характеристики електропоїздів змінного струму

Електропоїзд призначений для приміського сполучення на електрифікованих ділянках залізниць із шириною колії 1524 (1520) мм при напрузі в контактній мережі 25 000 В змінного струму з частотою 50 Гц [1].

В даний час до електропоїздів, експлуатуючих на залізничних дорогах пред'являються особливі вимоги, з них основні [1]:

- забезпечення безпеки руху;
- низьке споживання електроенергії;
- наявність рекуперативного гальмування;
- забезпечення високих прискорень і уповільнень, внаслідок частих зупинок на коротких перегонах;
- забезпечення діагностики функцій машиніста і керуючих систем;

Вагони мають комбінований вихід, що дає змогу експлуатуватися на ділянках, які мають низьку та високу платформу. Управління поїздом машиніст здійснюється із кабіни перебуваючи у головному вагоні. Кожен моторний вагон має електричний привід від чотирьох електродвигунів, які отримують живлення від контактної мережі через трансформатор і напівпровідникову установку, яка перетворює змінний струм на постійний [1].

Салони електропоїздів забезпечені напівм'якими сидіннями, примусовою вентиляцією, пічним опаленням і радіо сповіщенням пасажирів. Вагони електропоїздів обладнані електропневматичним колодковим гальмом з двохстороннім натисненням колодок на колеса [1].

Пригородні поїзда формують із моторних, головних та прицепних вагонів. На моторних вагонах встановлені чотири тягових двигуна, тяговий трансформатор, що знижує і необхідний для роботи апаратури. Прицепні вагони пристосовані для роботи з моторними вагонами і мають допоміжне обладнання, а головні кабіни управління електропоїздом. Поїзд можна формувати з 4, 6, 8 та 12 вагонів. Зменшення числа вагонів досягається видаленням однієї, двох або

						Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

трьох секцій [1].

Одна з особливостей електропоїздів змінного струму з електропоїздами постійного струму є застосування на кожному моторвагонні напівпровідникової випрямної установки, перетворюючи однофазний змінний струм в постійний (пульсуючий) струм. Це дозволяє на електропоїздах застосовувати колекторні тягові двигуни постійного струму з послідовним збудженням, які мають оптимальні для моторвагонної тяги характеристики. Напруга 25 кВ подається на первину обмотку тягових понижуючих трансформаторів, які розташовані на кожному моторвагонні [2].

В силову схему входять апарати, які живляться від контактної мережі з номінальною напругою 25кВ. До них відносяться струмоприймач, пристрій захисту від радіоперешкод, розрядник, високовольний вимикач та первинна обмотка трансформатора [2].

До силової схеми входять також всі пристрої, які живляться від вторинної обмотки тягового трансформатора. До таких пристроїв відносять тягові двигуни, лінійні контакти, реактор, що згладжує, реверсор, випрямляюча установка, силовий контролер з допомогою якого випрямляюча установка підключається до виводів секцій вторинної обмотки трансформатора [2].

Трансформатори зменшують напругу контактної мережі до величини найбільш вигідної для роботи двигунів. Це дозволяє регулювати напругу підведену до тягових двигунів. Додаткове електрообладнання електропоїзда змінного струму обумовило зміну конструкції вагона. На електропоїздах випрямляюча установка розташована в під вагонних ящиках. Побудова силових схем змінного струму визначається за заданими умовами, компоновкою перетворювача тягових двигунів і реакторів, що згладжують. На мотор вагонах, які як правило працюють по системі кількісних одиниць, група тягових двигунів отримує живлення від одного випрямляча. При несправності випрямляча його відключають разом з тяговим двигуном і аварійний режим руху електропоїзда забезпечується справними мотор вагонами. Також при блочній компоновці обладнання в разі пошкодження випрямляча або тягового двигуна вимикають

						Арк.
						8
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

весь блок [2].

На електропоїздах змінного струму застосовують однофазну мостову схему підключення випрямлячів до трансформатора. В схемі (рис. 1.1) плечі I і II випрямляючого моста мають розчеплення ІА, ІБ, ІІА і ІІБ так названий вентильний перехід, які з допомогою контакторів 11, 12 підключаються до груп непарних і парних контакторів, з'єднаних з виводами нижчої обмотки трансформатора [3].

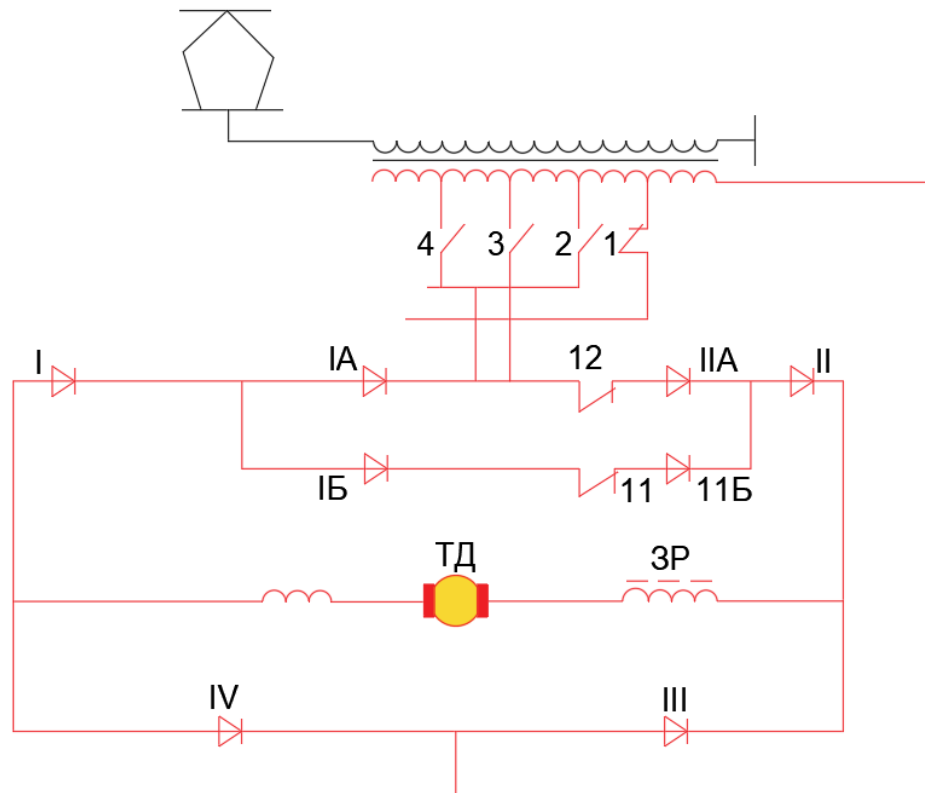


Рис.1.1. Однофазна мостова схема випрямляча електропоїзда змінного струму

Змінний струм в кожний півперіод протікає через секцію вторинної обмотки трансформатора по черзі то в одному, то в іншому напрямку. Ланцюг струму півперіоду замикається через замкнуті контакти 1, 1, вентилі ІБ, ІІ, реактор, що згладжує ЗР, тяговий двигун ТД, вентиль ІV і повертається до початку обмотки, а в другий півперіод – через вентиль ІІІ, реактор, що згладжує, тяговий двигун, вентилі І, ІБ, контактор 1 [3].

Для згладжування пульсацій випрямляючого струму в коло тягового двигуна вводять додаткову індуктивність у вигляді реактору, що згладжує ЗР [3].

Електричним реактором, що згладжує називають статичний електромагнітний пристрій, призначений для використання його індуктивності в електричному колі [3].

Наявність додаткової індуктивності у колі навантаження призводить до згладжування пульсації випрямного струму за рахунок виникнення ЕДС самоіндукції при зміні миттєвого значення пульсуючої напруги [3].

Основними частинами реактора являються магнітопровід, обмотка, кожух і виводи [3].

1.2 Аналіз силової схеми електропоїзда ЭР7

Перший електричний потяг змінного струму ЭР7-01 з випрямною установкою на базі ігнітронів ІС-400/5 з повітряним охолодженням, з'єднаних по мостовій схемі, живлячий тяговий електричний двигун РТ-51 номінальної потужності 200 кВт [4, 5].

Принципова силова схема електропоїзда ЭР7 з випрямною установкою на базі ігнітронів на рис. 1.2

Перевага випрямної установки на базі ігнітронів є забезпечення плавного регулювання випрямленої напруги, шляхом управління моментом запалення основної дуги вентиля. Незначне падіння напруги на вентилі, що забезпечує високий коефіцієнт корисної дії 98-99 % [4, 5].

Однак після декількох років експлуатаційної роботи електропоїзда ЭР7-01, було виявлено ряд недоліків в випрямній установці. При русі рухомого складу відбувалися часті пропуски запалення в ігнітронах, по причині сильних вібрацій електропоїзда. Також через деякий час інженери електропоїзда зіткнулися з проблемою фазування системи управління ігнітронами [4, 5].

Згодом використовувалися ртутні ігнітрони, які залишались найбільш масово поширеними випрямлячами, тому що відсутні інші альтернативи, маючи ряд суттєві недоліки: велика маса і габарити конструкції, труднощі забезпечення герметичності пів провідникових приборів в умовах вібрації рухомого складу, необхідність підтримки температури в межах 35-38 градусів за Цельсієм, що вимагало застосовувати громіздку систему масляного або водяного

						Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

охолодження, для роботи ігнітрона необхідне джерело достатньої потужності імпульсів запалення. Ще не менш суттєвий недолік, в разі прожогу корпусу ігнітрона випрямляч приводив до забруднення навколишнього середовища і можливості отруєння парами ртуті. Коефіцієнт потужності електропоїзда з даної випрямної установки становить 0,86 [4, 5].

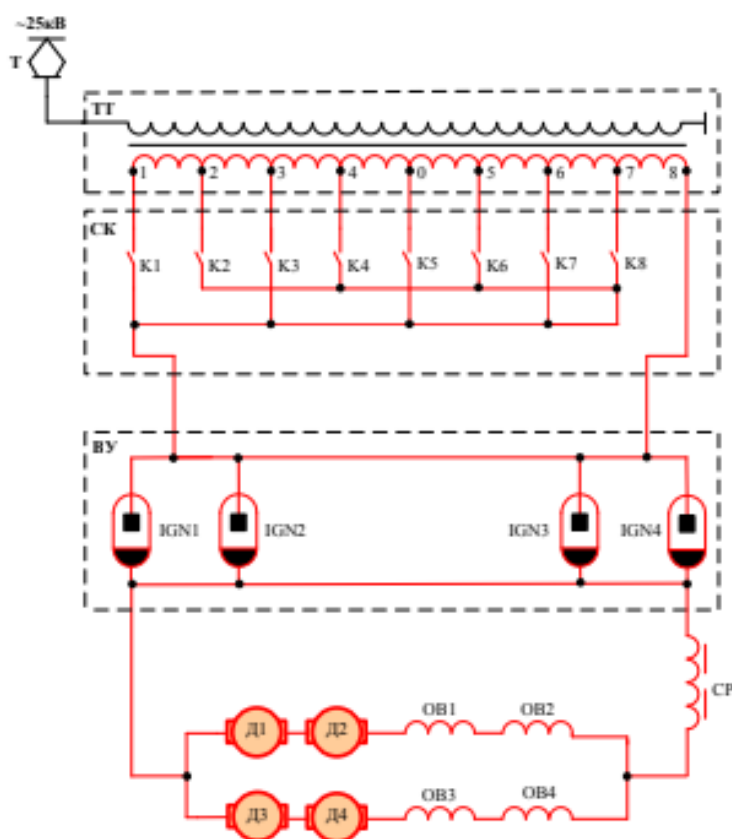


Рис. 1. 2. Принципова схема електропоїзда серії ЕР7 з випрямною установкою на базі ігнітронів.

При появі кремнієвих силових напівпровідникових діодів, ігнітрони випрямлячі стали неминуче витіснятися напівпровідниковими на базі кремнієвих діодів [5].

Згодом виконали модернізацію електропоїзда ЕР7-01 з замінною ігнітронів ІС-200/5 на кремнієві діоди ВЛ200-12-0.68 зі збереженням мостової схеми з'єднання випрямляча і основного електричного обладнання [5]. Принципова силова схема електропоїзда ЕР7 з випрямною установкою на базі кремнієвих діодів приведена на рис.1.3.

Переваги випрямної установки на базі діодів відносно ігнітронів являються: значне скорочення виходів із ладу випрямної установки за рахунок високої надійності діодів, а також менші масо габаритні показники [5].

З часом тяговий привід другого покоління з випрямляючою установкою на базі діодів показав наступні недоліки: відносно низька величина коефіцієнта потужності мотор вагона, яка становить 0,86 , що каже про значне споживання реактивної потужності з мережі, ступінчасте регулювання напруги, наявність габаритного силового контролера, для забезпечення плавного регулювання живлячої напруги на тягових двигунах при роботі необхідно більша кількість робочих позицій, що характеризується збільшеною кількістю виводів тягового трансформатора, внаслідок чого це призводить до збільшених масо габаритних показників, витрати міді, вартість [4,5].

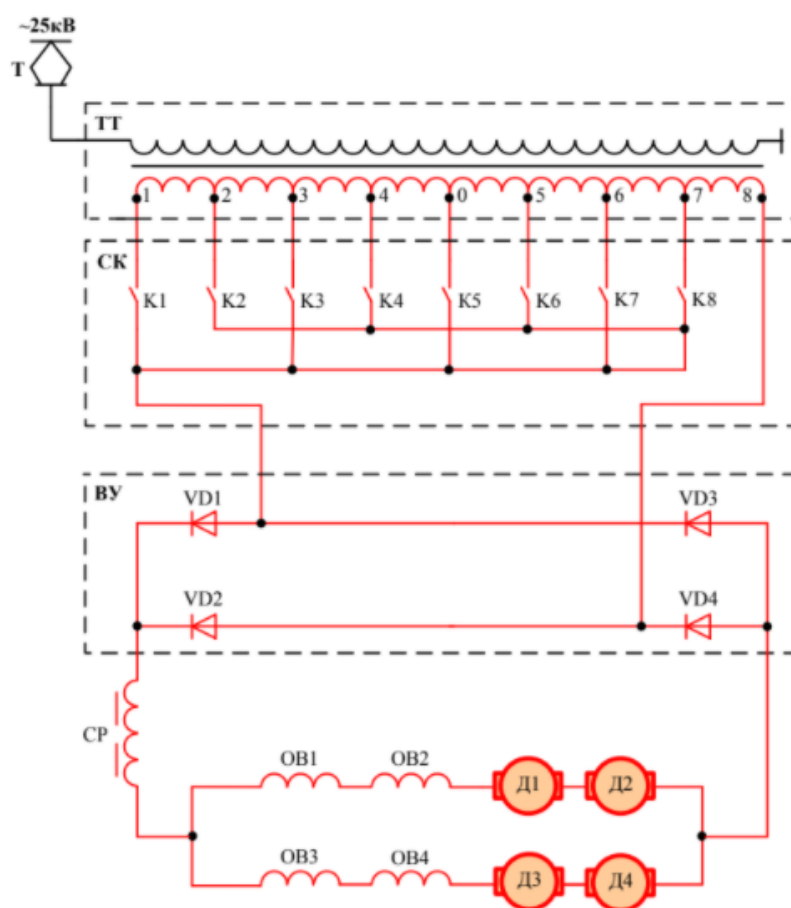


Рис. 1.3. Принципова схема електропоїзда серії ЕР7 з випрямною установкою на базі кремнієвих діодів

Третє покоління тягового приводу ґрунтується на появі тиристорів. Дані

силові напівпровідникові пристрої забезпечують не тільки випрямлення змінного струму, але й плавне регулювання напруги двигунів, а також зворотній випрямляючий процес – інвертування постійного струму у змінний, що дає змогу моторвагонному рухомому складу застосовувати ресурсозберігаючий режим – рекуперативне гальмування [4, 5].

Також ЕР7 був обладнаний для експериментальних цілей плавним безконтактним регулюванням випрямленої напруги і рекуперативного гальмування з використанням тиристорів. Для секції були розроблені силова схема, схема управління сортним вагоном, схема управління тиристорним збудником та система їх захисту. Були виготовлені і змонтований силовий перетворювач та перетворювач збудника, додаткові блоки управління та захисту [4, 5].

1.3 Аналіз силової схеми електропоїзда ЕР29

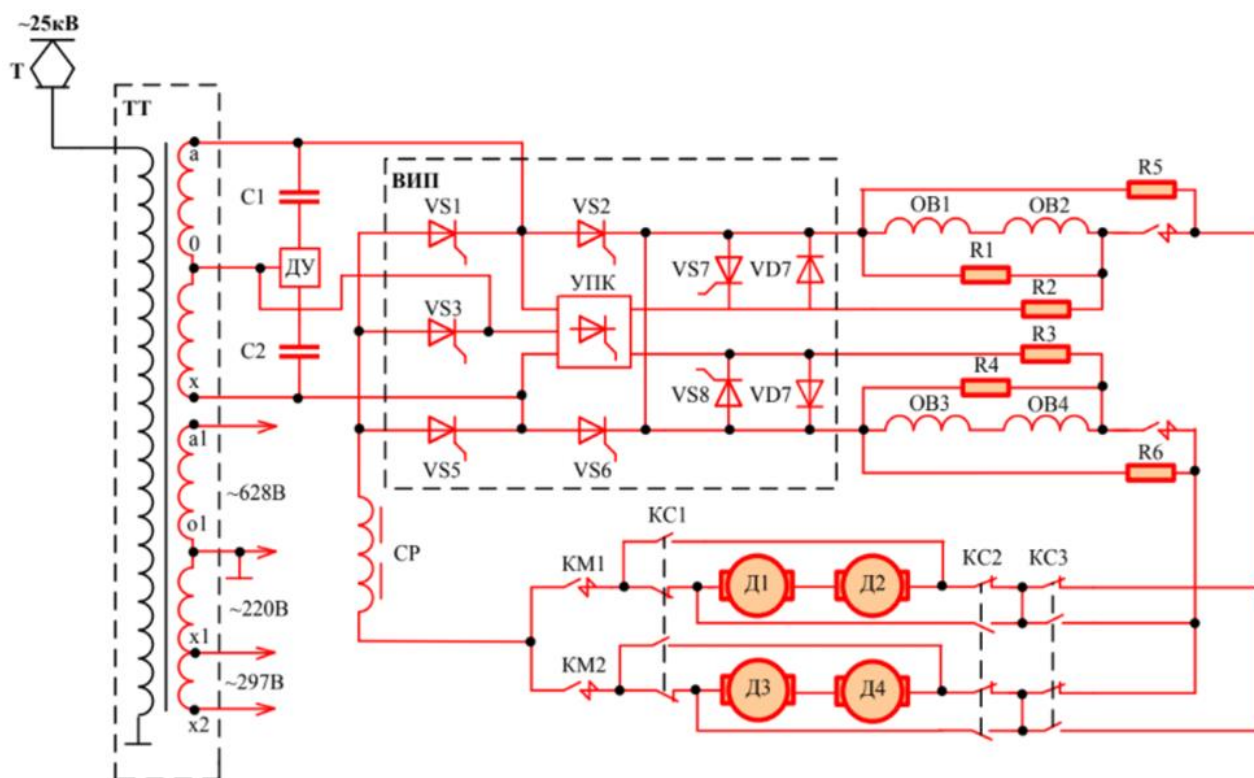


Рис. 1.4. Принципова схема електропоїзда ЕР29 з випрямно-інверторним перетворювачем на базі тиристорів при імпульсному фазовому регулюванні напруги

Головною особливістю електропоїзда було застосування імпульсного

фазного регулювання напруги на тягових двигунах. Дана схема перетворювання була розроблена з метою зниження спотвореного впливу на форму напруги в контактній мережі і зменшення реактивної потужності за рахунок штучної комутації тиристорів в кінці кожного півперіоду [5, 6].

Однак система імпульсного фазового регулювання на електропоїзді працювала нестійко. Внаслідок чого була зроблена заміна даної системи на тиристорні ВПП з компенсаторами реактивної потужності [5, 6].

Приблизно 60% часу електропоїзд ЕР 29 знаходився в експлуатації з пасажирями або в поїзних випробуваннях, 30% часу простоював в депо в результаті несправностей елементів силової схеми, системи управління, допоміжне обладнання і 10% часу – простої для виконання допоміжних робіт. За період експлуатації були замінені два тягові двигуни. Тричі зафіксовані несправності в колах КРМ (компенсатор реактивної потужності) в результаті чого вони були відключенні і в подальшому електропоїзд працював без КРМ. Середній коефіцієнт потужності склав з КРМ в режимі тяги 0,93-0,94 в режимі рекуперативного гальмування 0,79-0,8 без КРМ 0,72-0,76 і 0,44-0,50 відповідно, внаслідок чого роботи по впровадженню електропоїзда ЕР29 в серійному виробництві були припинені [5, 6].

1.4 Аналіз силової схеми електропоїздів ЕР9

Виробництво електропоїздів змінного струму серії ЕР9С з тиристорним ВПП та колекторними тяговими двигунами. За основу випрямного інертного перетворювача було використано технічне рішення подібно електровозу серії ВЛ80Р [6, 7].

Однак ВПП на базі тиристорів має ряд недоліків: значне споживання електроенергії на тягу електропоїздів, приблизно на 3% більше ніж на електропоїздах на базі діодів; викликає високочастотні спотворюючі вплив на контактну мережу, що знижує надійність роботи електрообладнання. Коефіцієнт потужності з тиристорною базою складає 0,84 в максимальному його прояві [6, 7]. Схема подана на рис.1.5

Електропоїзди с під вагонним розташуванням випрямляючої установки

						Арк.
Змм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

В подальшому при застосуванні лавинних вентилів їх число зменшилось до 84шт.,а при використанні на ЭР9Е таблеткових вентилів до 60шт [2].

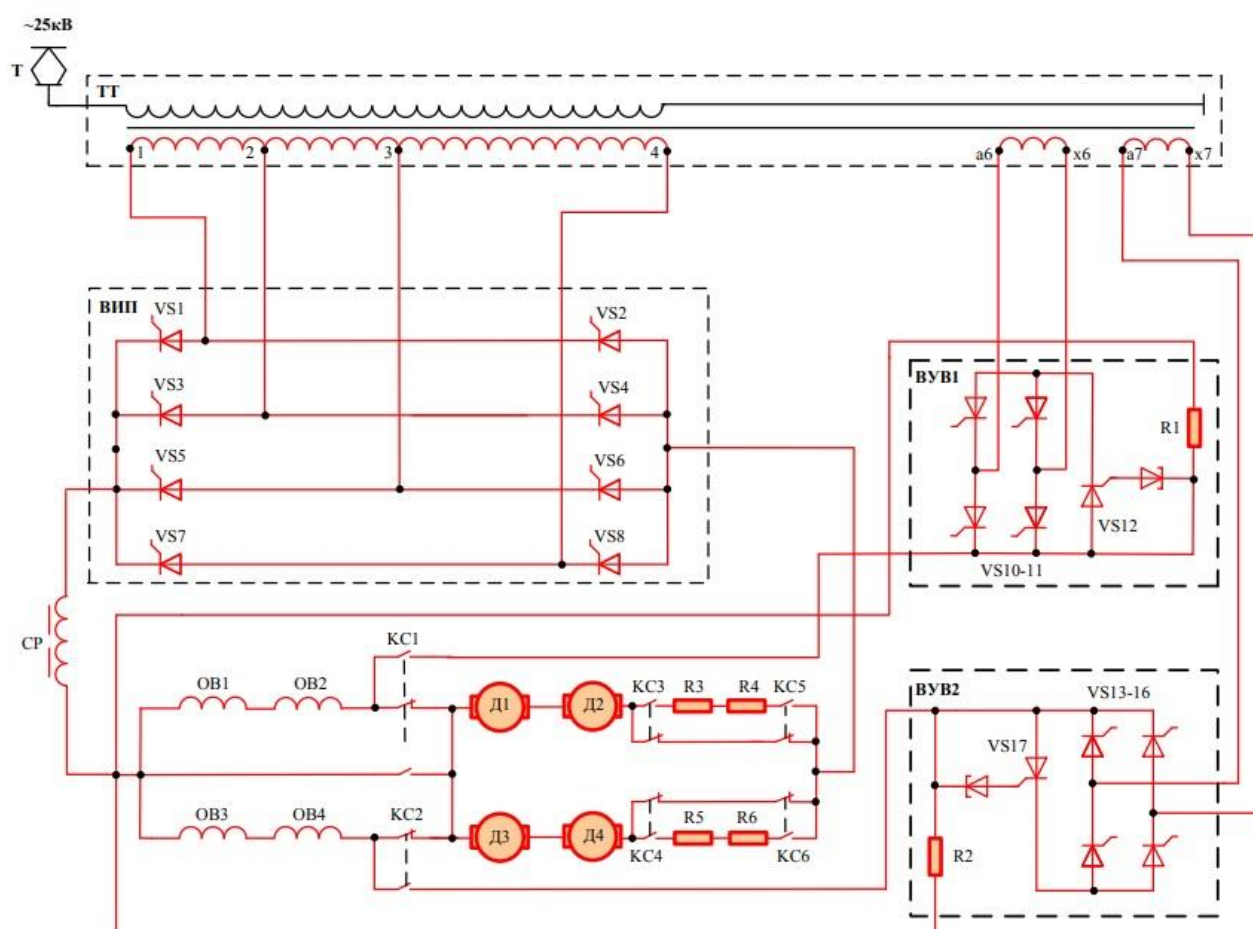


Рис. 1.5. Принципова схема електропоїзда ЕР9С з випрямно-інверторним перетворювачем на базі тиристорів при зоно-фазовому регулюванні напруги

1.5 Аналіз силової схеми електропоїзда ЕР9А з асинхронним тяговим приводом

В якості тягового двигуна застосовуються колекторні машини постійного або пульсуючого струму. Такі електродвигуни володіють хорошими пусковими і регулюючими властивостями, а також можливістю отримання частоти обертання

						Арк.
						15
Змм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На одному із візків моторної секції була зроблена заміна колекторних тягових двигунів на асинхронні машини ЕТА-200 зі збереженням зовнішніх габаритно-установочних розмірів остова попереднього електродвигуна РТ-51Д. У випрямну установку моделі УВП-1 були додані тиристорні плечі для реалізації плавного між ступінчастого регулювання випрямленої напруги. Далі однофазний струм надходив в автономний інвертор напруги, який в свою чергу перетворював його у трьохфазний струм змінної частоти (від 1 до 100 Гц) живлячий асинхронні тягові електродвигуни [8].

Електропоїзд не був випущений в експлуатаційну роботу із за складної системи перетворювання електричної енергії, а також труднощі забезпечення

паралельності роботи асинхронних ТЕД [8]. Схема зображена на рис.1.6

1.6 Аналіз силової схеми високошвидкісного електропоїзда «Сокіл250» подвійного живлення

Для високошвидкісного електропоїзда «Сокіл250» подвійного живлення був розроблений тяговий перетворювач з вбудованою діагностикою на два роду струму (25кВ, 50 Гц і 3 кВ постійного струму). Перетворювач створений на елементній базі – тиристорів, що замикаються. Вхідний перетворювач працював в режимі змінного струмі – чотириквadrантний перетворювач та в режимі постійного струму – імпульсний переривник. Виконаний на IGCT – тиристорах 4500 В, 4000 А [9]. Схема зображена на рис.1.7

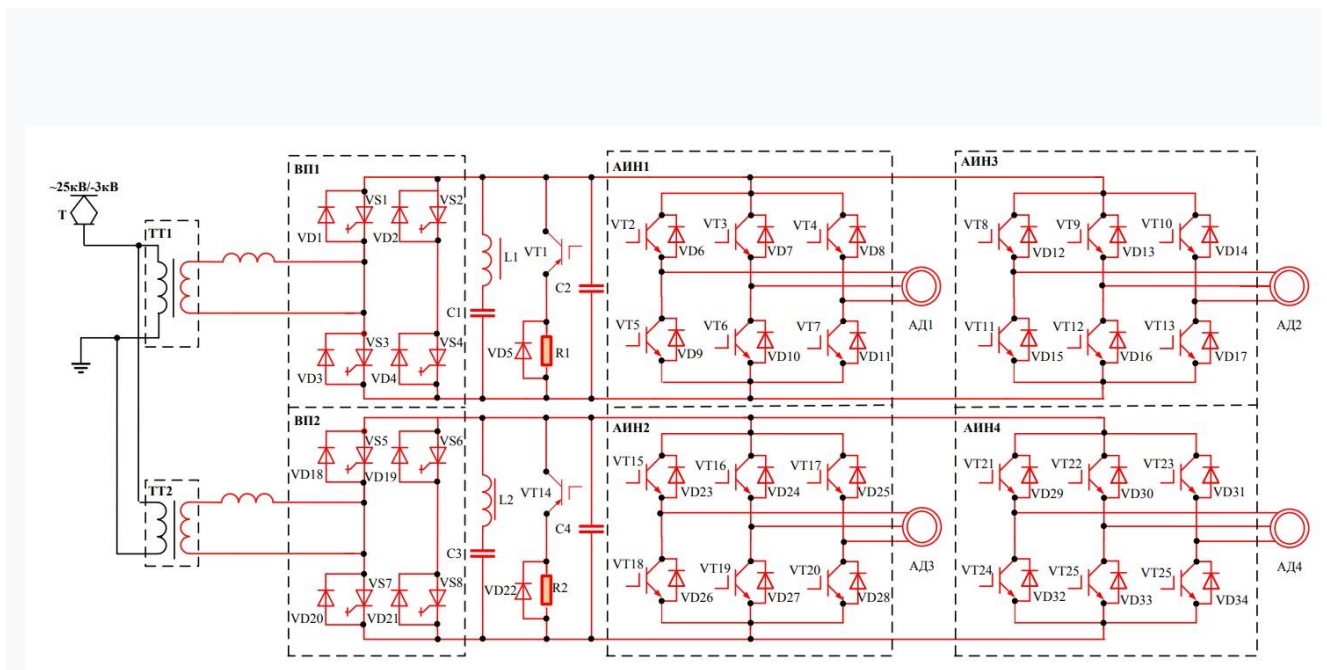


Рис. 1.7. Принципова схема високошвидкісного електропоїзда «Сокіл 250»

Інвертори виконані на IGBT транзисторах 3,3 кВ, 1200 А. Для перетворювача розроблено високоефективну рідинну систему охолодження, яка дозволяє реалізовувати на цій елементній базі потужність до 2700 кВт. Інвертори виконані на IGBT транзисторах фірми HITACHI. Перетворювачі 4QS виконані повністю керованих тиристорах IGCT фірми ABB. У зв'язку з використанням у перетворювачах 4QS тиристорів IGCT частота широтно-імпульсної модуляції прийнято порівняно низькою. Зокрема, під час виконання проектних робіт вона

була прийнята рівною 450 Гц. У процесі випробувань частота ШІМ була збільшена до 900 Гц. Коефіцієнт потужності електропоїздів з даними перетворювальними установками складає 0,96-0,98. Проте, даний МВПС має складні системи перетворення електричної енергії та керування тяговим приводом. В даний час асинхронний тяговий привід використовується в основному швидкісних та високошвидкісних електропоїздах закордонних виробників, таких як компанією Siemens AG та Alstom. Ціна на такі електропоїзда є дуже великою і до того ж для багатьох ділянок залізничних доріг середня швидкість складає 60 км/ч. Тому недоцільно купувати такі електропоїзда [9].

						Арк.
Змм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

РОЗДІЛ 2

ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

2.1. Загальні вимоги до тягових перетворювальних пристроїв

В склад перетворювачів агрегату входять: блоки силових напівпровідникових пристроїв, блоки управління, захисту та сигналізації; трансформаторне обладнання, конденсатори, система охолодження, силові шини, каркас, комутаційна апаратура [10].

Вимоги до конструкцій напівпровідникових перетворювачів. Загальні вимоги, які повинні задовольняти усі агрегати [10]:

1. Кожний вузол та елемент перетворювача має надійно працювати в нормальному режимі і безвідмовно виконувати функції в непередбачених режимах, відмінних від нормальних, а також відновлювати працездатність після відключення пристроїв захисту в аварійних режимах.

2. В нормальному режимі температура струмоведучих частин, ізоляційних і конструкційних деталей не повинна перевищувати значень, встановлених для відповідних матеріалів.

3. Струмоведучі частини повинні витримувати без остаточних деформацій термічні і електродинамічні перенавантаження, які можуть виникати в процесі роботи.

4. Ізоляція кожного елемента повинна витримувати можливі перенапруги з запасом, ураховуючи погіршення властивостей ізоляції із за старіння, забруднення, вологості.

5. Перетворювач повинен мати високу ступінь заводської готовності, бути виконаним у вигляді блоків, потребуючи мінімуму монтажних і налагоджувальних робіт при установці.

6. Конструкція кожного елемента повинна забезпечувати зручність і безпеку обслуговування і мінімальні затрати на ремонт і налагодження.

Перетворювача повинен бути технічно досконалим, економічно виправданим.

						Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Уніфікація вузлів перетворювачів розуміється раціональне скорочення числа типів, видів та розмірів виробів однакоого функціонального призначення. В основі лежить взаємозамінність, досягається завдяки стандартизації розмірів виробів, укомплектованості, нормалізації конструкції. Слід зазначити, що уніфікація не завжди дає економічний ефект, так як при її проведенні використовують принцип надлишкового запасу (міцності, ємності і т.д.). При серійному виробництві перетворювачів, як правило, уніфікація приносить більший економічний ефект [10].

Вимоги, які висуваються до статичних перетворювачів та приладів, які лежать в їх основі, повинні задовольняти умови роботи тягових перетворювачів в транспортних умовах виконання. Із основних вимог [10]:

1. Забезпечити мінімальні габаритні розміри та граничну масу.
2. Ремонтопридатність та забезпечення високої надійності в експлуатації.

Забезпечити дані вимоги до перетворювачів можна завдяки модернізації напівпровідникових приладів [10].

Коефіцієнт потужності контактної мережі та коефіцієнт корисної дії η дають змогу оцінити наскільки енергетично ефективний тяговий перетворювач та система керування електрорухомого складу. Тобто чим менше значення коефіцієнту, тим більший коефіцієнта потужності та коефіцієнт корисної дії буде мати електропоїзд. Коефіцієнт корисної дії електропоїзда змінного струму має дорівнює більше ніж значення 0,86. Експлуатація електрорухомого складу на електрифікованих залізничних дорогах змінним струмом виражається різкою змінною синусоїдальної напруги і струму. Ці різкі зміни несприятливо впливають на мережу радіозв'язку та телефонних ліній, систему сигналізації і на автоматичні блокування та приводять до збільшення температури струмопровідних елементів даної мережі [10].

Для електропоїздів зменшення маси та габаритів електричного обладнання дає можливість збільшити кількість пасажирів та зменшити вартість пасажирських перевезень [10].

Безперебійна робота та задовільний експлуатуючий стан тягового перетворювача впливає на роботу рухомого складу, тому що регулювання сил тяги реалізується в потрібних межах [10].

Кількість елементів тягового перетворювача впливає на ймовірність безперебійності роботи електропоїзда. Новітній електропоїзд є складним механізмом, що складається з 100-120 деталей. З урахуванням великої кількості деталей електрорухомий склад потрібно укомплектувати елементами, ці елементи повинні гарантувати довгочасну роботу в середовищі з вібрацією і підвищеною температурою [10].

Наявність значних напружень, які мають вплив на складові тягового перетворювача, які досягаються зміною напруги живлення, боксування та спрацюванням захисту. При веденні поїзда та боксуванні електропоїзда швидко змінюється навантаження перетворювальної техніки [10].

Апарати мають виконувати свої функції при регламентованій температурі середовища в межах мінус 70 до плюс 50 градусів за Цельсієм, а також за обставини коли навколишнє середовище сильно забруднене частинками пилу, при високій вологості повітря та при виникненні парів масла і палива, вимоги робочого процесу тягових перетворювачів зазначаються [11]. Агресивні умови та середовища не мають перешкоджати функціонуванню перетворювача, які повинні безперебійно працювати. Механічний вплив на обладнання електрорухомого складу, який досягає 3g, при виникненні несправності механічної частини електропоїзду або залізничної дороги, може суттєво збільшитися за амплітудою та частотою [10].

До усіх тягових обмоток має бути під'єднаний трансформатор струму, який під'єднаний до тягового перетворювача. Трансформатор струму виконує функцію вимірювання вхідного струму[10].

Властивості, щодо правил роботи тягових перетворювачів [10]:

1. Забезпечення можливості розташування перетворювальних пристроїв на відповідному рухомому складі.

2. Забезпечення необхідних ізоляційних проміжків, комплікація вентиляції напівпровідникових пристроїв.

3. Номінальна напруга значно перебільшує напругу контактної мережі(19...29 кВ, 2,4...4 кВ).

4. Тяговий двигун постійного струму при роботі в режимі рекуперації має напругу, яка значно перевищує номінальну напругу контактної мережі на 33%. Напруга для електрорухомого складу змінного струму дорівнює 1,16 номінальної напруги контактної мережі. Складові перетворювача проектується при максимальних межах напруги контактної мережі.

5. При коливаннях напруги та опускання струмоприймача, в робочому процесі електрообладнання виникає змінна струмів до 105 А/с, що має вплив на каскади приладів керування.

6. Контактна мережа має змінну величину індуктивності.

7. Збільшення напруги до 15-20 кВ.

8. Різка зміна напруги та при прослизанні колісних пар різко змінюється навантаження випрямного перетворювача електрорухомого складу.

9. Коли атмосфера має температуру в межах мінус 70 до плюс 50 градусів за Цельсієм, коли дрібні частинки пилу, що зависають у повітрі та забруднюють його, при високій вологості повітря та при виникненні парів масла і палива.

10. Динамічно-інерційні прискорення збільшуються до 25g при справному стані ЕРС.

2.2 Структурна схема перетворення енергії на електропоїздах змінного струму

З початку випуску перших електропоїздів їх технічний рівень постійно підвищується. Спрощуються схеми силових кіл і ланцюги управління, покращується електричне обладнання, у тому числі перетворювальні пристрої, проводиться модернізація механічного, пневматичного і гальмівного обладнання [10].

Як описувалося раніше, електропоїзда змінного струму типу ЕР9 всіх індексів відносять до першого покоління. На них використовують колекторні

						Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

тягові двигуни пульсуючого або постійного струму і ступінчасте контакторне регулювання напруги.

Електронні пристрої та вузли цих пристроїв для їх зображення використовують три типи схем [12]:

- структурна схема
- принципова схема
- функціональна схема

Ці три типи схем мають відмінність: перша – призначення, а друга, основне, це ступінь конкретизації зображення приладів.

Принципова схема – схема, більш розгорнута. Демонструє всі елементи приладу, які використовуються між елементами та зв'язок між цими елементами. Принципова схема повинна повністю реконструювати прилад. Принципова схема має позначення, які жорстко уніфіковані та не можуть бути відхилені від стандартів. До принципової схеми прикладається перелік [12].

Структурна схема відображає загальну структуру приладу, відображення основних частин, вузлів, блоків та основних зв'язків між цими елементами. Структурна схема дає змогу зрозуміти, як працює даний прилад та навіщо він потрібен і показує взаємодію частин приладу. В структурній схемі позначення довільні, але повинні бути дотримані загальноприйнятих позначень. Розробка структурної схеми є початком проектування електричного приладу [12].

Структурна і принципова схема є гібридом функціональної схеми. Функціональна схема дає змогу зрозуміти принцип роботи та відмінність серед інших схожих пристроїв. Функціональна та структурна схема повинна обов'язково наводитись у технічній документації, а принципова зі специфікацією. У науково-технічних книгах та статтях демонструють функціональну та структурну схему рідше принципову. Принципову загалом приводять лише для зображення окремих вузлів [12].

На рис. 2.1 представлена структурна схема перетворювання електроенергії на електропоїздах змінного струму першого покоління. До неї входять: тяговий трансформатор Т, випрямна установка ВУ, реактор, що згладжує ЗР.

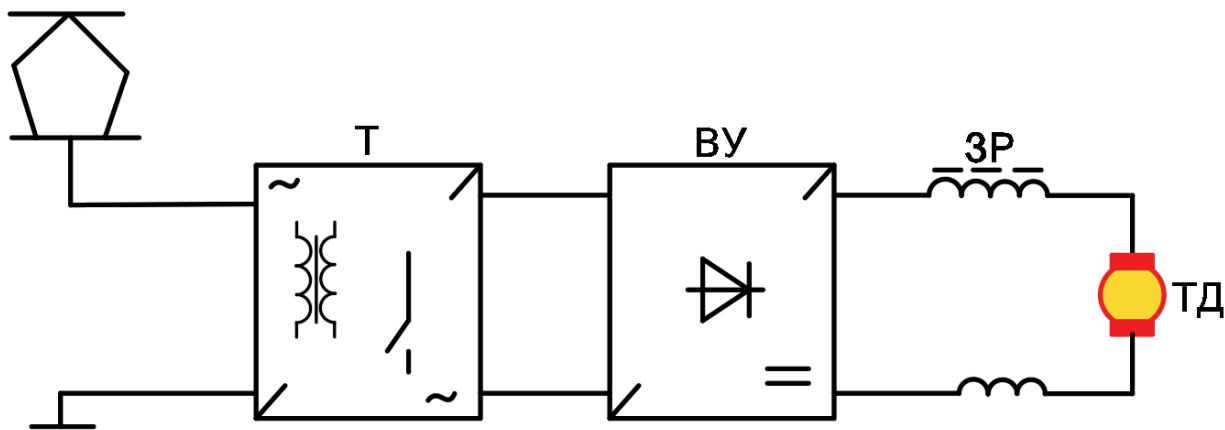


Рис. 2.1. Структурна схема перетворювання електроенергії на електропоїзді змінного струму.

Трансформатор називають електромагнітним пристроєм робота якого ґрунтується по принципу взаємної індукції для перетворювання електричної енергії змінного струму з однією величиною напруги в електричну енергію змінного струму з іншою величиною напруги. В основі дії трансформатора лежить явище електромагнітної індукції [3].

Трансформатор складається із одної первинної обмотки, одної або декілька вторинної обмоток і феромагнітний сердечник – магнітопровід. Всі обмотки розташовані на магнітопроводі та індуктивні з'єднанні між собою [3].

З обмоток до якої прикладається напруга змінного струму, називають первиною, другу, до якої електроенергія відводиться називають вторинною обмоткою [3].

Трансформатор виконує наступні функції: перетворення електроенергії контактної мережі до величин, необхідних для роботи тягових двигунів і допоміжних машин; зміну коефіцієнта трансформації для регулювання вихідної напруги в необхідних межах, електричного опалення кабін машиніста і пасажирських салонів. Основні частини трансформатора є активна частина (магнітопровід і обмотки), бак з кришкою та розширювачем, система охолодження [3]. На електропоїздах змінного струму застосовують трансформатори з регулюванням на стороні низької напруги [3]. Для зміни коефіцієнта трансформації обмотка нижчої напруги трансформатора забезпечена проміжними виводами [3].

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ВИПРЯМЛЯЧА ТА ВИБІР ПРОЕКТНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСФОРМАТОРА

3.1 Випрямна установка УВП-3

Випрямна установка призначена для перетворення змінного струму 50 Гц в постійний для живлення тягових двигунів [2].

Під вагонне розташування випрямної установки має ряд перевагу у порівнянні з касетним розташуванням в тамбурних шафах: зручніше доступ до вентилів під час чергового обслуговування та ремонтів; скорочення трудомісткості під час монтажу та обслуговування; спрощення схеми самої випрямної установки; підвищена пожежна безпека конструкції [2].

Випрямна установка УВП-3 складається з 84 вентиля та розташована у пилонепроникній камері, під рамою моторного вагону. Камера має дві кришки, з внутрішньої сторони, що знімається та зовнішньої сторони, що знімається. Камера містить шість блоків шість блоків, дані блоки мають 12 вентилів, ще два блоки, містять 6 вентилів (для розщеплених частин плечей), що розташовано в горизонтальних рядах [2].

В одному блоці розташовано дванадцять алюмінієвих охолоджувачів, які з'єднано вертикальними ізолюваними шпильками, на які насаджено кріплення за допомогою якого блок закріплюється до каркасу камери. Алюмінієві охолоджувачі ізолювані один від іншого гетинаксовими прокладками. В охолоджувачі вкручені вентиля. Гнучкі виводи вентилів та вушка відводу струму знаходяться зовні та мають легкий доступ для оглядів та ремонту. Клеми вводу для приєднання силових проводів розташовано на чотирьох гетинаксових панелях по краях установки. Блоки з вентилями підвішені в камері та закріплені на чотири болти. Блоки всередині камери створюють канал для охолоджуючого повітря [2].

На електропоїзді ЕР9М використовується система повітряного примусового охолодження трансформаторне-випрямного блоку та реактора [2].

						Арк.
						25
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Охолодження системи забезпечується встановленням вентилятора на валу розщеплювач фаз. Подача повітря вентилятора складає 5300 м/год. Система охолодження побудована таким чином, щоб від одного вентилятора, крім випрямної установки, охолоджуються також розщеплювач фаз, реактор, що згладжує та масло трансформатора. Зовнішній потік повітря всмоктується через жалюзі під вагоном в фільтрову камеру, де проходячи через фільтри очищується. Потім очищене повітря нагнітається вентилятором та подається по двом гілкам. Перша гілка: розщеплювач фаз, навколишнє середовище. Друга гілка: випрямна установка, реактор, що згладжує, радіатори системи охолодження трансформаторного масла далі через жалюзі і розсіюється в атмосферу. Між ребрами охолоджувачів випрямної установки середня швидкість повітря складає 10-12 м/с [1].

В зимній період часу перед жалюзіями, що всмоктують повітря встановлюють щиток для затримки снігу. В літній період він зберігається в фільтровій камері в спеціально відведеному місці для нього [1].

На рис. 3.1 показана схема випрямної установки. Електрична схема представлена у вигляді однофазного випрямного мосту, який має розщеплені кінці обох плечей, що забезпечує без струмову комутацію на перехідних ступенях. Кожне плече ВК – має три вітки, які розташовані паралельно, в кожній вітці – розташовано по шість вентилів, що з'єднані послідовно [1]. Для розрахунку необхідно прийняти вихідні дані.

Технічні дані випрямної установки УВП-3[1].

Номинальна випрямлена напруга, В..... 1650

Номинальний випрямлений струм, А..... 600

Пусковий струм протягом 1 хв., А..... 1000

Пікове значення пускового струму протягом 30 с, А..... 1200

Номинальна потужність, кВт 990

Максимальне зворотне амплітудне

значення напруги, В 3600

Схема випрямлення однофазна, мостова

Охолодження повітряне,
примусове

Витрати повітря, м³/год..... 5480

Маса, кг..... 370

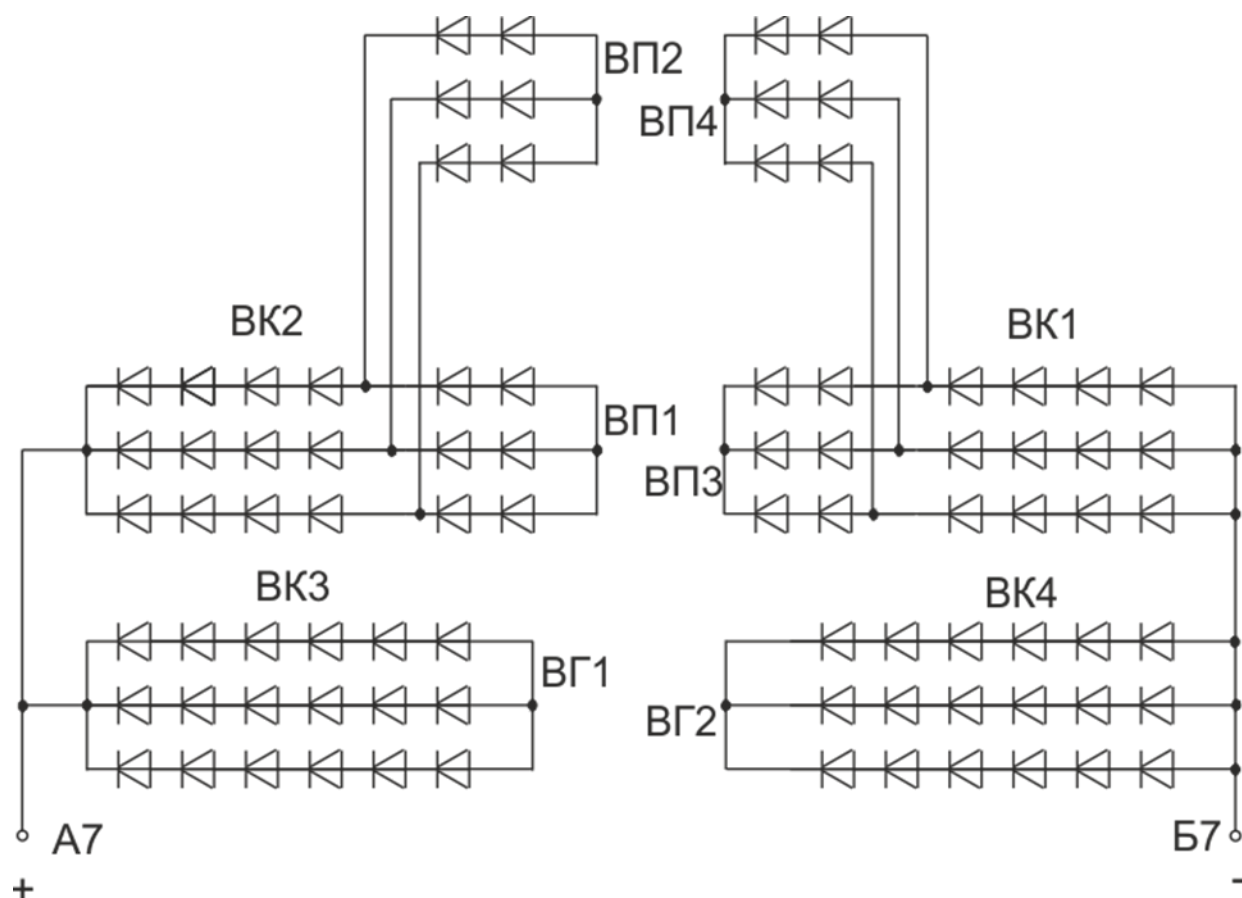


Рис. 3.1. Принципова схема перетворювача УВП–3

3.2 Розрахунок елементів випрямляча

За методикою виконуємо розрахунок [13].

Визначаємо вихідні дані для проектування. Базова схема випрямлення мостова двох пульсова.

Електродвигун типу 1ДТ-012 з основними параметрами[14]:

Номінальна напруга, В..... 825

Потужність годинного режиму, кВт 260

Частота обертів якоря:

при збудженні 28%, об/хв. 1200

Струм, А..... 350

Маса, кг..... 1900

Відповідно до існуючої практики формування перетворювачів електропоїздів вітчизняного виробництва застосовуємо схему перетворення на основі схеми з несиметричним навантаженням трансформатора (з вентильними пробками). На електропоїзді, який приймаємо за аналог використано трансформатор типу ОЦР-1000/25, який має вісім секцій, напруга секцій дорівнює $2208/8=276$ В. Але, слід відзначити, що йдеться про номінальні значення напруги, де живлення первинної обмотки здійснюється номінальною напругою 25 кВ. Максимальна напруга на струмоприймачі електропоїзда приймається 29 кВ. Це впливає і на збільшення напруги на вторинних обмотках трансформатора. Під час розрахунку слід прийняти до уваги цей фактор.

Однак слід звернути увагу, що двигун який пропонується до впровадження має більшу потужність та не може бути забезпеченим необхідною напругою та струмом від трансформатора ОЦР-1000/25

Тому виконуємо розрахунок базової схеми випрямлення для пропонованого навантаження.

Визначимо середнє значення прямого струму через плече діодів.

$$I_{vs} = \frac{I_d}{2} \quad (3.1)$$

де I_d – номінальний струм випрямляча. Приймаємо, виходячи з того, що до виходу випрямляча приєднано два паралельних кола з двох послідовно з'єднаних тягових двигунів 1ДТ-012.

$$I_{vs} = \frac{2 \cdot 350}{2} = 350 \text{ А.}$$

						Арк.
						28
Змм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середнє значення випрямленої напруги визначаємо за виразом, виходячи з того, що в нас з'єднано два двигуни послідовно:

$$U_d = 2 \cdot U_{\text{дв.ном}} \quad (3.2)$$

$$U_d = 2 \cdot 825 = 1650 \text{ В.}$$

Діюче значення напруги та струму вторинної обмотки трансформатора:

$$U_{2\min} = 1,11 U_d \quad (3.3)$$

$$U_{2\min} = 1,11_d \cdot 1650 = 1832 \text{ В.}$$

Виходячи з того, що напруга контактної мережі має суттєві коливання 19...29 кВ, приймаємо, що визначене значення напруги характерне для нижньої межі 19 кВ.

Визначимо напругу для верхньої межі.

$$U_{2\max} = U_{2\min} \cdot \frac{29}{19} \quad (3.4)$$

$$U_{2\max} = 1832 \cdot \frac{29}{19} = 2797 \text{ В.}$$

Визначимо напругу для номінального значення:

$$U_{2\text{ном}} = U_{2\min} \cdot \frac{25}{19} \quad (3.5)$$

$$U_{2\text{ном}} = 1832 \cdot \frac{25}{19} = 2411 \text{ В.}$$

Визначимо діючий струм вторинної обмотки:

$$I_2 = 1,11 \cdot I_d \quad (3.6)$$

$$I_2 = 1,11 \cdot 700 = 777 \text{ А.}$$

Розрахуємо коефіцієнт трансформації трансформатора.

$$k_T = \frac{U_1}{U_2} \quad (3.7)$$

$$k_T = \frac{25000}{2411} = 10,37.$$

Розрахуємо діюче значення струму первинної обмотки трансформатора.

$$I_1 = \frac{I_2}{k_T} = \frac{1,11 \cdot I_d}{k_T} \quad (3.8)$$

$$I_1 = \frac{1,11 \cdot 700}{10,37} = 75 \text{ A.}$$

Визначимо потужність на виході випрямляча.

$$P_d = U_d \cdot I_d \quad (3.9)$$

$$P_d = 1650 \cdot 700 = 1155 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо типову потужність трансформатора тягової обмотки.

Для цього необхідно визначити розрахункові потужності первинної та вторинної обмоток трансформатора:

$$S_T = 1,23 \cdot P_d \quad (3.10)$$

$$S_T = 1,23 \cdot 1155000 = 1420650 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Визначимо коефіцієнт використання трансформатора.

$$k_p = \frac{P_d}{S_T} = \frac{P_d}{1,23 \cdot P_d} \quad (3.11)$$

$$k_p = \frac{1155000}{1,23 \cdot 1155000} = 0,81$$

Обчислимо максимальне значення зворотної напруги на плечі діодів.

Максимальна зворотна напруга між анодом та катодом діода буде дорівнювати максимальному значенню напруги вторинної обмотки трансформатора:

$$U_{bmax} = \sqrt{2} U_{2max} = 1,41 \cdot U_{2max} \quad (3.12)$$

$$U_{bmax} = 1,41 \cdot 2797 = 3944 \text{ В.}$$

З кінцевих розрахунків для забезпечення найбільш задовільних показників пристрою випрямлення, варто застосувати вентилі одного плеча не нижче 40-го класу за напругою. Відповідно до рекомендацій електрорухомих склад залізничі

слід додати ще один діод, який матиме той самий клас. Надмірна кількість діодів з високим класом за напругою значно підвищує собівартість установки, яка розраховується. Розрахуємо потрібний клас діода за іншою методикою, яка є більш економічною [15].

Напругу, що повторюється, а подалі і клас силового напівпровідникового приладу визначається за формулою:

$$U_{RRM} \geq \frac{U_{EM}}{n \cdot K_{дн} \cdot \psi_{WU}} \quad (3.13)$$

де U_{EM} – найбільша амплітуда робочої напруги, що прикладається до еквівалентного вентиля;

n – кількість послідовно з'єднаних вентилів в еквівалентній схемі. Приймаємо 3 шт.;

$K_{дн}$ – коефіцієнт рівномірності ділення напруги між послідовно з'єднаних вентилях (якщо $n > 1$, то приймається 0,8);

ψ_{WU} – коефіцієнт навантаження, виходячи з положення погодженого оптимуму для пристроїв транспорту приймається 0,6

$$U_{RRM} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot 2797}{3 \cdot 0,8 \cdot 0,6} = 2747 \text{ В.}$$

Нам потрібно три послідовно з'єднанні діоди 28 класу за напругою.

Обираємо діоди. Головними параметрами для обрання діодів є клас за напругою – 28 та середній струм плеча – 350 А. Та приймаємо одне послідовне коло діодів.

Розглянемо таблеткові діоди оскільки вони мають ряд переваг перед вентилями штирьової конструкції. Вентилі штирьової конструкції, у яких з'єднання випрямного елемента з основою здійснюють пайкою, схильні до старіння. Старіння виникає під дією термомеханічних напружень, виникаючих при циклічному нагріванні та охолодженні місця пайки, між вольфрамовою пластиною та мідною основою, металами з неоднаковими коефіцієнтами лінійного розширення. На електропоїздах, робота яких відрізняється підвищеною циклічністю, процес старіння вентилів відбувається інтенсивніше, ніж на

електровозах. Вказаних недоліків позбавленні вентиля таблеткової конструкції, які володіють підвищеною цикlostійкістю. Випрямний елемент вмонтований в герметичний металокерамічний корпус, що запобігає від впливу навколишнього середовища. В якості зовнішніх електродів, які відводять струм, випрямного елемента використовують нікельовані вольфрамові пластини товщиною 1,5 мм, які припаяні до кремнієвої пластини. Діод герметизують холодною сваркою верхньої манжети з нижньою манжетою керамічного корпуса. Контактне з'єднання внутрішніх елементів вентиля здійснюється за допомогою зовнішнього механічного притиску із зусиллям (800-1200)9,8 Н [3].

Основні параметри діодів наведені в таблиці 3.1 [16, 17].

Таблиця 3.1

Тип діода	Д233-400	Д233-500	Д243-630	Д243-800
Максимальне значення середнього струму, А	400	500	630	800
Максимальна зворотна напруга діода, В	2800	2800	2800	2800
Постійний зворотній струм,мА	40	40	50	50
Верхня робоча частота, Гц	50	50	50	50
Інтервал робочих температур °С	-60...+160	-60...+160	-60...+160	-60..+160

Послідовне з'єднання діодів застосовують якщо зворотна напруга діода більша максимальної допустимої зворотної напруги для встановленого діода[15].

Використовуємо формулу для послідовного з'єднання:

$$n_{\text{посл}} \geq \frac{U_{b\text{max}} \cdot k_{\text{повт}}}{U_{VD\text{max}}} + 1, \quad (3.14)$$

де $U_{b\text{max}}$ – максимальна зворотна напруга плеча обраної схеми;

$k_{\text{повт}}=1,16$ – коефіцієнт можливого підвищення напруги кола живлення;

$U_{VD\text{max}}$ – максимальна допустима зворотна напруга конкретного діода.

Для діода Д233-400 маємо такий розрахунок:

$$n_{\text{посл}} \geq \frac{4392 \cdot 1,16}{2800} + 1 = 2,82$$

Приймаємо 3 шт. послідовно з'єднаних діодів Д233-400 в плечі схеми.

Для діода Д233-500:

$$n_{\text{посл}} \geq \frac{4392 \cdot 1,16}{2800} + 1 = 2,82$$

Приймаємо 3 шт. послідовно з'єднаних діодів Д233-500 в плечі схеми.

Для діода Д243-630:

$$n_{\text{посл}} \geq \frac{4392 \cdot 1,16}{2800} + 1 = 2,82$$

Приймаємо 3 шт. послідовно з'єднаних діодів Д243-630 в плечі схеми.

Для діода Д243-800:

$$n_{\text{посл}} \geq \frac{4392 \cdot 1,16}{2800} + 1 = 2,82$$

Приймаємо 3 шт. послідовно з'єднаних діодів Д243-800 в плечі схеми.

Параметри діодів наведені в таблиці 3.2 [16, 17].

Максимальне значення зворотної напруга діодів, що виконують роль вентиляційної пробки

$$U_{b\max} = \sqrt{2} \cdot \Delta U_{2\text{xx}} \cdot \frac{U_{\text{KM max}}}{U_{\text{KM ном}}}, \quad (3.15)$$

де $\Delta U_{2\text{xx}} = 2797 / 8 = 350 \text{ В}$ – напруга однієї секції обмотки трансформатора

$$U_{b\max} = \sqrt{2} \cdot 350 \cdot \frac{29}{25} = 575 \text{ В}.$$

Таблиця 3.2

Тип діода	Д233-400	Д233-500	Д243-630	Д243-800
Середній прямий струм, А	400	500	630	800
Ударний прямий струм, кА	7,7	7,7	11,6	13,8
Постійний струм у зачиненому стані не більш, мА	40	40	50	50
Імпульсна напруга, що повторюється, В	2400-4400	2400-4400	2400-4400	2400-4400
Імпульсна напруга у відчиненому стані, В	2,1	2,0	2,1	2,95
Порогова напруга, В	0,95	0,93	0,99	0,99
Динамічний опір в прямому напрямку, мОм	0,33	0,3	0,3	0,27
Середній прямий струм з охолоджувачем ОР143-150 при температурі навколишнього середовища 40°C та охолодженням, А	Природне - 195	Природне - 205	Природне - 305	Природне - 310
	Примусове v=6 м/с - 400	Примусове v=6 м/с - 500	Примусове v=6 м/с - 630	Примусове v=6 м/с - 655
Температура переходу, °C	-60...+160	-60...+160	-60...+160	-60...+160
Тепловий опір перехід-корпус, град/Вт	0,036	0,036	0,027	0,027
Тепловий опір корпус-охолоджувач, град/Вт	0,015	0,015	0,01	0,01
Конструктивне виконання				
Маса, кг	0,180	0,180	0,240	0,240
Рекомендовані охолоджувачі	ОР143-150	ОР143-150	ОР243-150	ОР243-150
Тепловий опір перехід-середовище з охолодженням, град/Вт	Природне - 0,551	Природне - 0,551	Природне - 0,317	Природне - 0,317
	Примусове v=6 м/с - 0,176	Примусове v=6 м/с - 0,176	Примусове v=6 м/с - 0,117	Примусове v=6 м/с - 0,117

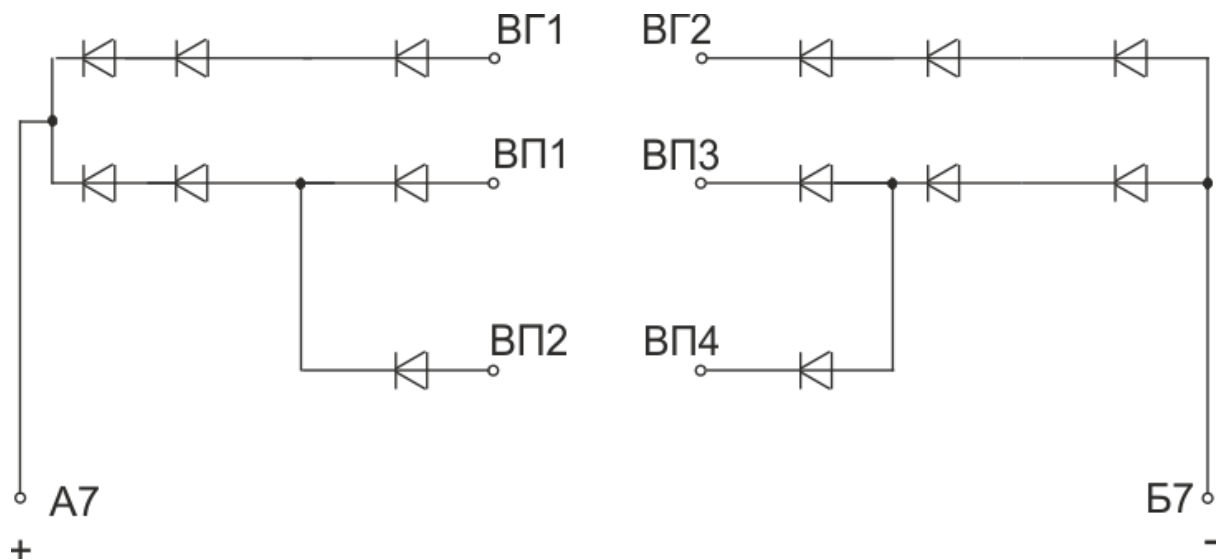


Рис. 3.2. Принципова схема проектованого перетворювача

Тип корпусу: PD32, D.B2

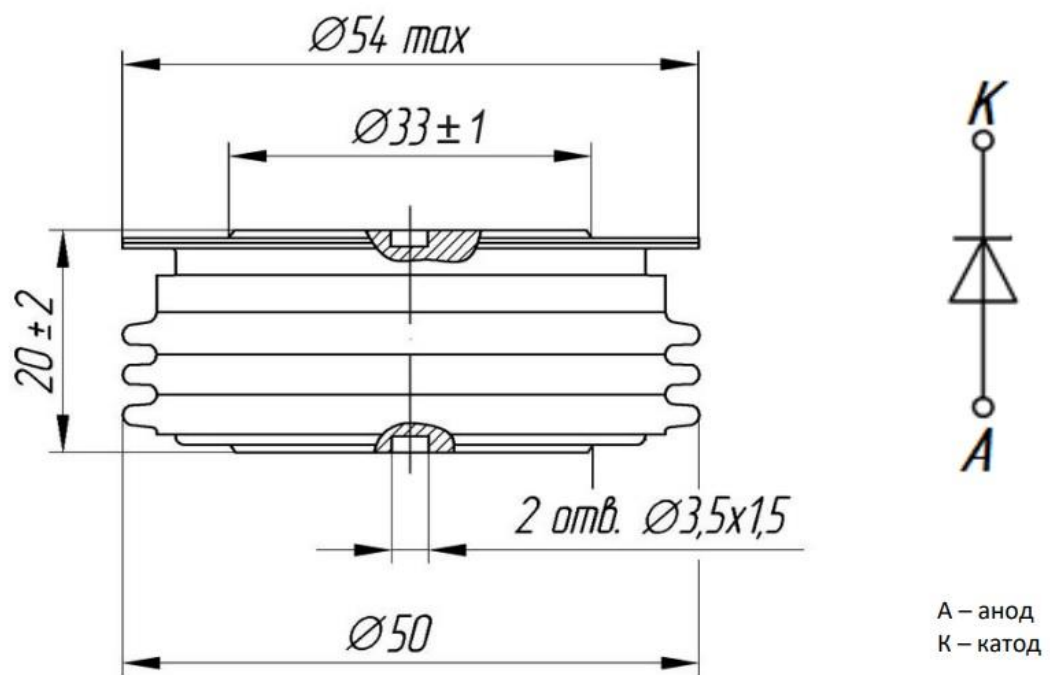


Рис. 3.3. Габаритні розміри діода Д233-400 та Д233-500

Тип корпусу: PD42

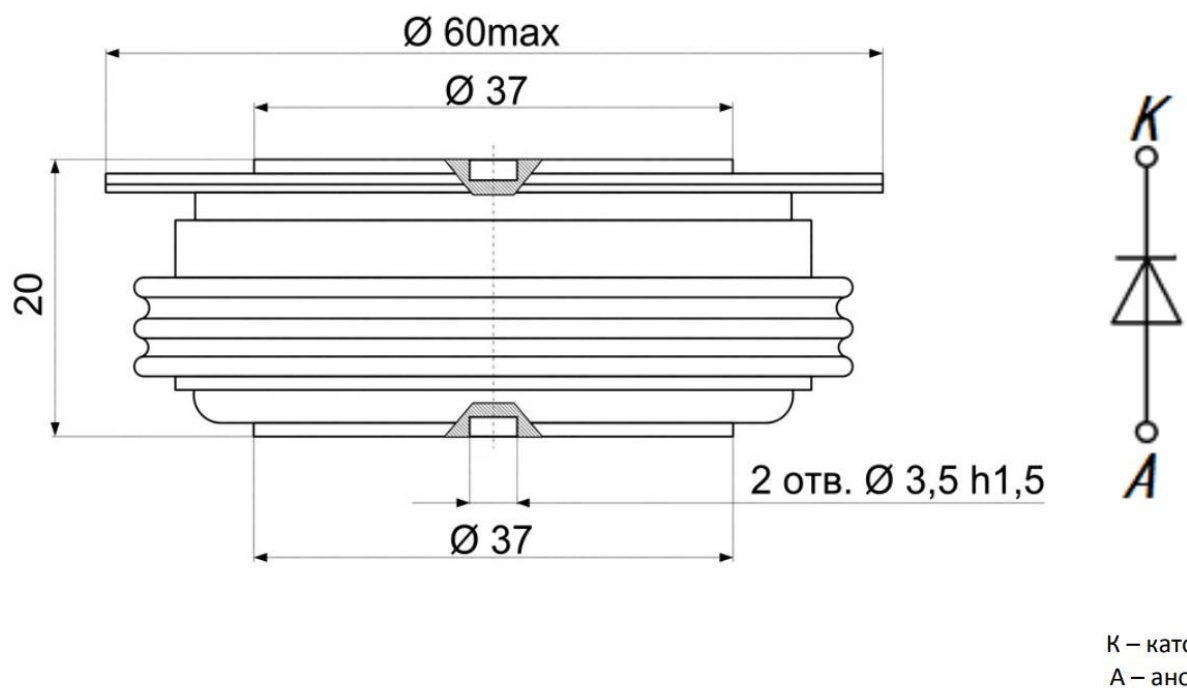


Рис. 3.4. Габаритні розміри діода Д243-630 та Д243-800

РОЗДІЛ 4

ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СХЕМИ ВИПРЯМЛЕННЯ

4.1 Нагрівання і теплові параметри напівпровідникових приладів

Електрична потужність, яка розсіюється має вигляд тепла. З підвищенням температури пряма напруга спадає при р-п переході при заданому значенні струму, тому значно збільшується значення зворотного струму при заданій величині напруги. Тобто, при збільшенні температури збільшується тепла генерація і концентрація не основних носіїв напівпровідників зростає, звідси зростає зворотній струм. Тому від р-п переходу тепло має бути відведено [10].

Показником надійності апарату є максимальна температура напівпровідника. Залежність температури від потужності визначається способом тепловідведення [10].

Із малого об'єму напівпровідникового кристалу виходить тепловий потік, в якому він виникає та проходить через певну кількість прошарків. Прошарки складаються з різних матеріалів, з яких створюються прокладки, які виготовляються із олова та срібла, термокомпенсатор з вольфраму та молібдену, основи з міді, охолоджувачі з алюмінію або силуміну та виводиться у атмосферу. Усі ці шари мають певну характеристику теплопередач та запобігає розповсюдженню теплового потоку, у слід чого відбувається зміна температур між кожним із шарів напівпровідникової структури та її самою. Багатосторонню та дуже складну задачу представляє собою тепловий розрахунок в якому враховуються теплові параметри абсолютно усіх неоднорідних шарів [10].

Для того, щоб характеризувати тепло передаючі властивості пристрою практичніше всього буде вести поняття теплового опору та користуватися при розрахунку моделями, які імітують відведення тепла, аналогію можна прослідкувати між законом Ома та рівнянням теплопередачі. Шлях теплового потоку через послідовну конструктивність елементів можна представити еквівалентним ланцюгом з послідовним з'єднанням теплових опорів, відповідних ділянок ланцюга[10].

Для підвищення навантажувальної здібності при заданій максимальній температурі структури прагнуть зменшити загальний тепловий опір. Для силових приладів основну частку в загальному тепловому опорі складає опір «охолоджувач-навколишнє середовище» досягає 70-80%; опір «напівпровідникова структура-корпус приладу» 15-25% та іншу частку - опір «корпус приладу-контактна поверхня охолоджувача» [10].

Для приладу таблеткової конструкції з двостороннім відведенням тепла тепловий опір «напівпровідникова структура-корпус приладу» визначається виходячи зі схеми паралельного включення теплових опорів зі сторони анода та катода приладу [10].

Опір «корпус приладу-контактна поверхня охолоджувача» є нестабільним і залежить від типу корпусу, площі контакту, сили стиснення корпусу з охолоджувачем, типу теплопровідної прошарки між корпусом та охолоджувачем. В якості цієї прошарки може бути застосований спеціальний силіконовий мастильний матеріал. Іноді це може бути електроізоляційна прокладка. В якості теплопровідних прокладок можуть використовуватися слюда, оксид алюмінію, оксид берилію [10].

Тепловий опір «охолоджувач-навколишнє середовище» залежить від типу охолоджувача та охолоджуючого навколишнього середовища. Найбільш часто використовується повітряні охолоджувачі які іноді називають радіаторами. На практиці для поліпшення тепловідводу прилади монтуються на спеціальних охолоджувачах (радіаторах), які, в свою чергу, піддаються інтенсивному охолодженню. У цьому випадку тепловий стан системи в цілому характеризується загальним сталим тепловим опором. Для зниження опору потрібно збільшити площу поверхні, тому охолоджувач виконують ребристим. Велике значення має стан поверхні: її слід виконувати матовою і чорненою. Розташування поверхні повинно бути вертикальним [10].

4.2 Розрахунок середнього струму приладів за умовами тепловідводу

Визначимо граничний струм через напівпровідникову структуру приладу для сталих режимів роботи. Граничний струм приладу в сталому режимі роботи при заданих умовах охолодження розраховується за формулою [10]:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{U_{T0}^2 + 9,8r_T \frac{[T_{jm}] - [T_a]}{R_{thja}}} - U_{T0}}{4,9r_T}, \quad (3.16)$$

де U_{T0} – порогова напруга вентиля;

r_T – динамічний опір вентиля;

$[T_{jm}], [T_a]$ – максимально припустимі температури напівпровідникової структури та охолоджуючого середовища;

R_{thja} – загальний встановлений тепловий опір системи «вентиль-середовище» при типовому охолоджувачі. Визначається за виразом

$$R_{thja} = R_{thjc} + R_{thjc} + R_{thja},$$

де R_{thjc} – тепловий опір «напівпровідникова структура-корпус приладу»;

R_{thjc} – тепловий опір «корпус приладу-контактна поверхня охолоджувача»

R_{thja} – тепловий опір «контактна поверхня охолоджувача-навколишнє середовище»

Такі параметри як U_{T0} , r_T , T_{jm} , R_{thja} вибираємо з технічних характеристик прийнятих діодів. Максимально припустиму температуру середовища охолодження приймаємо $+40^\circ\text{C}$ [18].

Виконаємо розрахунок для діода типу Д233-400 з охолоджувачем ОР143-150.

Розрахункові параметри для вказаного діода мають такі значення:

$$U_{T0} = 0,95 \text{ В}; \quad r_T = 0,33 \text{ мОм}; \quad T_{jm} = +160^\circ \text{ C};$$

$$R_{thja} = 0,176 \text{ град / Вт}; 0,551 \text{ град / Вт}.$$

Система охолодження при швидкості повітря 6 м/с:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{0,95^2 + 9,8 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160 - 40}{0,176}} - 0,95}{4,9 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3}} = 502,7 \text{ A}$$

Система охолодження при швидкості повітря 0 м/с:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{0,95^2 + 9,8 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160 - 40}{0,551}} - 0,95}{4,9 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3}} = 196,42 \text{ A}$$

Виконуємо розрахунок для діода типу Д233-500 з охолоджувачем ОР143-150.

Розрахункові параметри для вказаного діода мають такі значення:

$$U_{T0} = 0,93 \text{ В}; r_T = 0,3 \text{ МОм}; T_{jm} = +160^\circ \text{ C};$$

$$R_{thja} = 0,176 \text{ град / Вт}; 0,551 \text{ град / Вт}.$$

Система охолодження при швидкості повітря 6 м/с:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{0,93^2 + 9,8 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160 - 40}{0,176}} - 0,93}{4,9 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}} = 508,42 \text{ A}$$

Система охолодження при швидкості повітря 0 м/с:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{0,93^2 + 9,8 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160 - 40}{0,551}} - 0,93}{4,9 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ A}$$

Виконуємо розрахунок для діода типу Д243-630 з охолоджувачем ОР243-150.

Розрахункові параметри для вказаного діода мають такі значення:

$$U_{T0} = 0,99 \text{ В}; r_T = 0,3 \text{ МОм}; T_{jm} = +160^\circ \text{ C};$$

$$R_{thja} = 0,117 \text{ град / Вт}; 0,317 \text{ град / Вт}.$$

Система охолодження при швидкості повітря 6 м/с:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{0,99^2 + 9,8 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160 - 40}{0,117}} - 0,99}{4,9 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}} = 686,3 \text{ A}$$

Система охолодження при швидкості повітря 0 м/с:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{0,99^2 + 9,8 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160 - 40}{0,317}} - 0,99}{4,9 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}} = 310,7 \text{ A}$$

Виконаємо розрахунок для діода типу Д243-800 з охолоджувачем ОР243-150.

Розрахункові параметри для вказаного діода мають такі значення:

$$U_{T0} = 0,99 \text{ В}; r_T = 0,27 \text{ МОм}; T_{jm} = +160^\circ \text{ C};$$

$$R_{thja} = 0,117 \text{ град / Вт}; 0,317 \text{ град / Вт}.$$

Система охолодження при швидкості повітря 6 м/с:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{0,99^2 + 9,8 \cdot 0,27 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160 - 40}{0,117}} - 0,99}{4,9 \cdot 0,27 \cdot 10^{-3}} = 704,4 \text{ A}$$

Система охолодження при швидкості повітря 0 м/с:

$$I_{n0} = \frac{\sqrt{0,99^2 + 9,8 \cdot 0,27 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160 - 40}{0,317}} - 0,99}{4,9 \cdot 0,27 \cdot 10^{-3}} = 315,8 \text{ A}$$

Граничний струм діодів у сталому режимі наведений в таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Тип діода	Д233-400		Д233-500		Д243-630		Д243-800	
Тип охолоджувача	ОР143-150.		ОР143-150.		ОР243-150.		ОР243-150.	
Швидкість повітря охолодження, м/с	0	6	0	6	0	6	0	6
U_{T0} , В	0,95		0,93		0,99		0,99	
r_T , МОм	0,33		0,3		0,3		0,27	
T_{jm} , °С	+160		+160		+160		+160	
R_{thja} , град/Вт	0,551	0,176	0,551	0,176	0,117	0,317	0,117	0,317
I_{n0} , А	196,4	502,7	200	508,4	310,7	683,3	315,8	704,4

З розрахунків обираємо діод Д233-400 з радіатором ОР143-150 зі швидкістю охолоджуючого повітря 6 м/с забезпечує нормальне пропускання струму в 350 А при температурі середовища охолодження повітря +40°С для випрямної установки.

Тип корпусу: PD32, D.B2

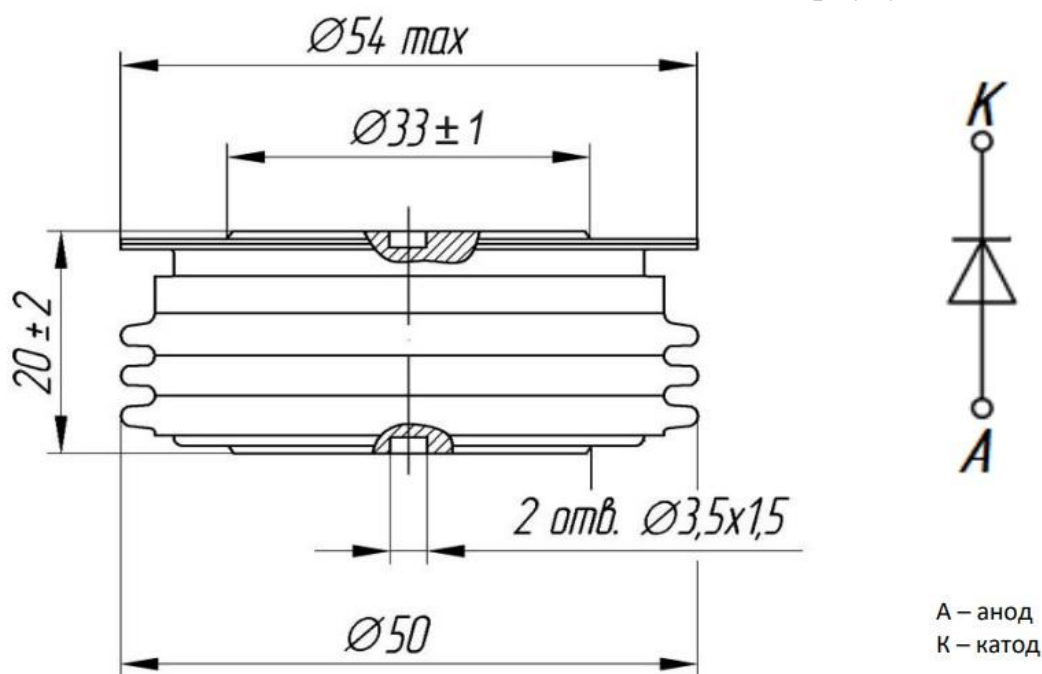


Рисунок 4.1 – Габаритні розміри діода Д233-400

A, мм	A1, мм	Fmax, мм
20±1	95±2	125
14±2	90±2	120

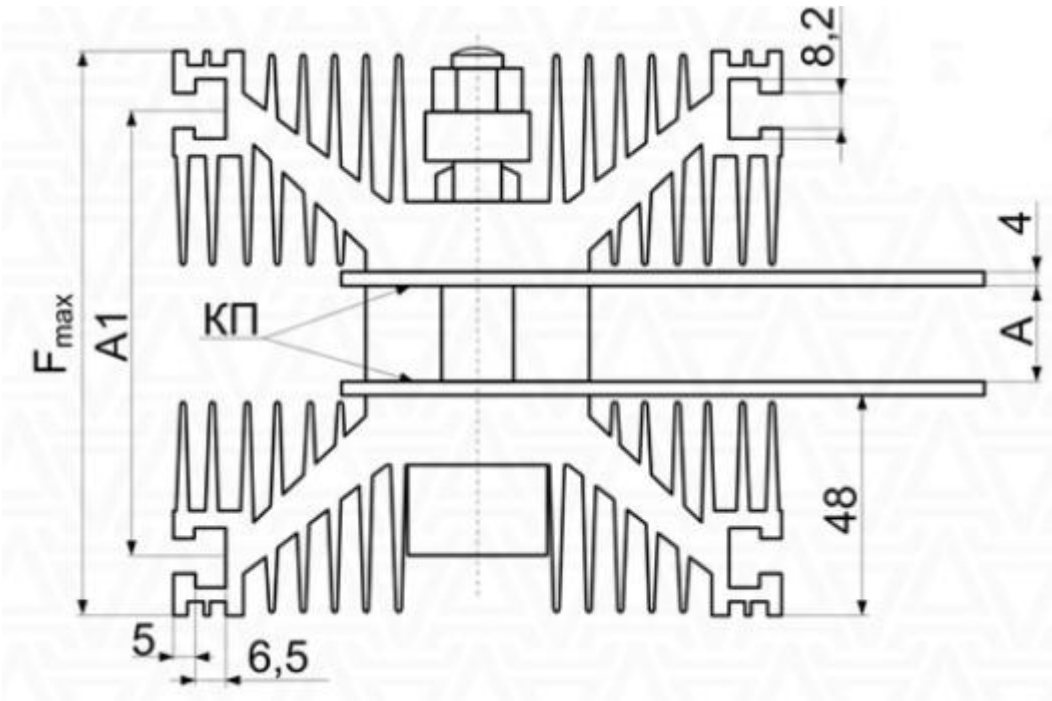
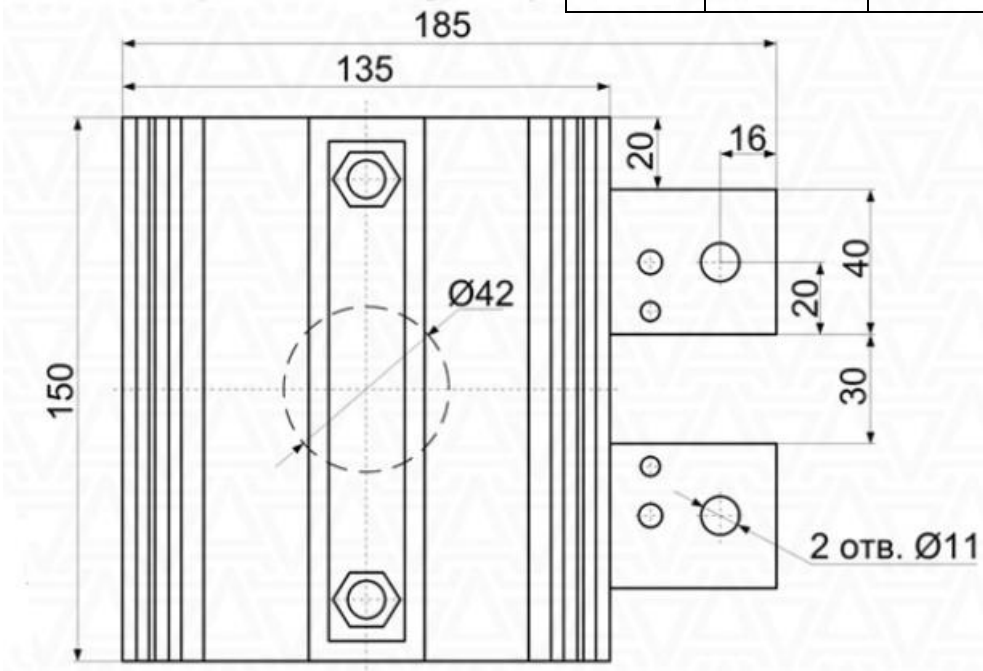


Рисунок 4.2. – Габаритні розміри радіатора ОР143-150

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Проектування випрямної установки електропоїзда змінного струму на базі напівпровідникових елементів є актуальним.
2. Електродвигун постійного струму типу 1ДТ-012 був проєктований лише для електропоїзда ЭР29. Даний тип двигунів знятий з виробництва, що ускладнює організацію ремонту.
3. Розрахунок класу діода за напругою, яка повторюється, є більш економічним. Ринкова собівартість напівпровідникових елементів, які розраховані є значно меншою. Обрано чотири діоди, середній струм яких сягає не менше 350А, та мають клас за напругою - 28.
4. Порівнявши діоди було обрано діод Д233-400 з радіатором ОР143-150.

						Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Электропоезд ЭР9М. Руководство по эксплуатации. М., «Транспорт», 1978. с. 328.
2. Авдеев, М. М. Электропоезда переменного тока [Текст] / М. М. Авдеев, В. А. Гут, В. И. Томчук, В. А. Хряев. – М.: Транспорт, 1985. – 368 с.
3. Гут В. А. Преобразовательные устройства электропоездов переменного тока: Учебное пособие для учащихся образовательных учреждений ж.-д. транспорта, осуществляющих профессиональную подготовку. – М.: Маршрут, 2006 – 54с.
4. ЭР7 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: [<https://ru.wikipedia.org/wiki/ЭР7#Литература>]
5. Тихменев Б.Н. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования: учебник [для студ. вузов]/ Б.Н. Тихменев, Л.М. Трахтман. – М.: Транспорт, 1980. – 471 с.
6. Калинин, В. К. Электровозы и электропоезда / В. К. Калинин. – М. : Транспорт, 1991. – 479 с.
7. Электромеханика: учебно-методический комплекс / сост.: Е.П. Брандина, О.М. Вальц, В.И. Рябуха, А.А. Томов. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. –193 с.
8. Опытный электропоезд переменного тока ЭР9А. [Электрон. ресурс] – Режим доступа: [<http://emupages.ru/trains-er9a.htm>]
9. ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПОЕЗД НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ "СОКОЛ" [Электрон. ресурс] – Режим доступа: [<http://www.emupages.narod.ru/biblio/publication/00hs0016.htm>]
10. Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Бурков А. Т. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
- 11 ГОСТ 4.139-85 Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Номенклатура показателей. Государственный комитет по стандартам. М.: Издательство стандартов, 1985. – 16 с.

12. Основні типи електричних схем [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [http://mcx.lab-101.org.ua/Тема4.htm#:~:text=Для%20зображення%20електронних%20пристроїв%20і%20їх%20вузлів%20застосовується%20три%20основні%20типи%20схем%3A&text=принципова%20схема%3B&text=структурна%20схема%3B&text=функціональна%20схема.]

13. М. М. Казачковський. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти. Д. : НГА України, 2000. – 196 с.

14. ЭР29 [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ЭР29].

15. Абрамович М. И. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках / М. И. Абрамович, В. М. Бабайлов, В. Е. Либер и др.— М.: Энергоатомиздат, 1992.—432 с.

16. Диоды таблеточного исполнения. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [http://promsouz.com/diody-tabletochnogo-ispolnenija-d233-630-d233-800-d233-1000.html].

17. Диоды таблеточного исполнения Д243-630, Д243-800 [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [http://promsouz.com/diody-tabletochnogo-ispolnenija-d243-630-d243-800.html]

18. ДСТУ 2773-94 (ГОСТ 9219-95) Апарати електричні тягові. Загальні технічні умови; Введ. 01.07.96. – К.: Держстандарт України, 1996. – 74 с.