

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними процесами»


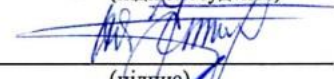

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Вибір та обґрунтування схемного рішення для стенду з випробування тягових двигунів рухомого складу метрополітену»
за освітньою програмою: «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент групи «ЕП19120»

	 _____ (підпис студента)	/Іван ГУРБІЧ/ _____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Керівник:	 _____ (підпис)	/доц. Дмитро УСТИМЕНКО/ _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Нормоконтролер:	 _____ (підпис)	/доц. Оксана КАРЗОВА/ _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Консультанти:		//
_____ (назва розділу)	_____ (підпис)	// _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
_____ (назва розділу)	_____ (підпис)	// _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
_____ (назва розділу)	_____ (підпис)	// _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
_____ (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 «Electrical engineering and electromechanics»

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic: «Selection and substantiation of the circuit solution for the stand for testing traction engines of subway rolling stock»

according to educational curriculum «Electromechanical automation systems and electric drive»

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

Done by the student of the group ЕП19120: /Ivan HURBICH/

Scientific Supervisor:

/Dmytro USTYMENKO/

Normative controller:

/Oksana KARZOVA/

Supervisors

(Chapter title heading)

//

(position, name, surname)

(Chapter title heading)

//

(position, name, surname)

(Chapter title heading)

//

(position, name, surname)

(Chapter title heading)

//

(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Факультет «Управління енергетичними процесами»

Кафедра: «Електротехніка та електромеханіка»


Рівень вищої освіти: бакалавр

Освітня програма: «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТЕМ

 /Андрій МУХА/
(підпис)

Дата 06.06.22

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра
студенту Гурбіч Іван Сергійович

1. Тема роботи: «Вибір та обґрунтування схемного рішення для стенду з випробування тягових двигунів рухомого складу метрополітену»

Керівник роботи: Устименко Дмитро Володимирович, доцент
затверджені наказом № 725 ст від 29.10.2021

2. Строк подання студентом роботи: 06.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Паспортні дані тягового електродвигуна типу ДК117
ДМ/ВМ для вагонів метрополітену;

ДСТУ ГОСТ 2582:2017 Машини електричні обертові тягові. Загальні технічні умови.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Вступ. Аналіз літературних джерел та нормативної документації із вказаного питання. Види та методи випробувань тягових електродвигунів (ТЕД). Вибір та обґрунтування схемотехнічного рішення для стенду взаємного навантаження ТЕД в рамках програми його приймально-здавальних випробувань.

4.2 Основна частина: Розробка схемних рішень для реалізації лінійного генератора та вольтододавної машини, розрахунок їх основних вузлів. Вибір елементів та пристроїв, що становлять основу перетворювачів. Підбір захисної та комутаційної апаратури.

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: Вимоги охорони праці при експлуатації стенду. Захисні блокування в системі керування стендом.

4.4 Економічна частина: –

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Сучасні тенденції розвитку способів післяремонтних випробувань тягових електродвигунів (1 лист);

2. Вибір та обґрунтування схемного рішення стенду для випробування тягових двигунів типу ДК117 ДМ/ВМ (2 листи);

3. Розрахунок та вибір елементів вольтододавної машини та лінійного генератора (1 лист).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Аналіз літературних джерел та нормативної документації.	01.02. – 20.02.2022	
2	Види та методи випробувань тягових електродвигунів (ТЕД).	21.02. – 13.03.2022	
3	Вибір та обґрунтування схмотехнічного рішення для стенду взаємного навантаження ТЕД в рамках програми його приймально-здавальних випробувань.	14.03. – 10.04.2022	
4	Розрахунок основних вузлів та вибір елементів стенду.	11.04. – 08.05.2022	
5	Захист персоналу при роботі з установкою (схмотехнічні рішення).	09.05. – 22.05.2022	
6	Загальні висновки. Бібліографічний список.	23.05. – 31.05.2022	
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	06.06.2022	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	16.06.2022	

Студент


(підпис)

Іван ГУРБІЧ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

доц. Дмитро УСТИМЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Відгук керівника
кваліфікаційної роботи бакалавра

Студент групи «ЕП19120» Гурбіч Іван Сергійович

Тема випускної роботи: «Вибір та обґрунтування схемного рішення для стенду з випробування тягових двигунів рухомого складу метрополітену»

1. Якісні відмінності кваліфікаційної роботи: автор провів аналіз існуючих підходів при побудові стендів з випробування електричних машин. Встановив, що енергетичним критерієм працездатності схеми взаємного навантаження є умова компенсації усіх втрат в схемі зовнішніми джерелами. Запропонував енергоефективне схемне рішення стенду взаємного навантаження для випробування тягових електричних машин (ДК117ДМ/ВМ) вагонів метрополітену, лінійний генератор та вольтододаткова машина якого виконані за схемою статичного керованого напівпровідникового перетворювача, що має в своїй структурі ланку змінного струму (регулятор напруги, трансформатор) та ланку постійного струму (некерований випрямляч). Такий підхід дозволив суттєво покращити масо-габаритні показники стенду, знизити рівень шуму та вібрацій, мати більш високий ККД установки.

2. Зауваження: в системі керування стендом окрім світлової сигналізації доречно було використати і звукову сигналізацію. Проте, вказане зауваження ні в якій мірі не знижує цінності і роботи і загального позитивного враження від неї.

3. Висновок щодо дотримання академічної доброчесності в роботі для виконання поставленої задачі використовуються стандартні методики та підходи, які висвітлені у відкритих джерелах, робота не містить запозичень без відповідних посилань, всі висновки і рекомендації отримано автором власноруч.

Комплексна оцінка кваліфікаційної роботи: В цілому робота виконана на високому рівні у відповідності до завдання і вимог стосовно кваліфікаційних робіт, містить всі необхідні розділи і заслуговує на оцінку «відмінно», а її автор, Гурбіч Іван Сергійович, присудження кваліфікації бакалавр з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Керівник: доц. Дмитро УСТИМЕНКО



Дата: 06.06.22р.

№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кільк. арк.	№ екз.	Прим
1			<u>Документація загальна</u>			
2			Заново розроблена			
3	A4	6.141.190040.ПЗ	Пояснювальна записка	51		
4						
5			Запозичена			
6						
7			<u>Графічна частина</u>			
8			Заново розроблена			
9	A4	6.141.190040.01	Сучасні тенденції розвитку			
10			способів післяремонтних	1		
11			випробувань тягових			
12			електродвигунів			
13	A4	6.141.190040.02	Вибір та обґрунтування	2		
14			схемного рішення стенду для			
15			випробування тягових			
16			двигунів типу ДК117ДМ/ВМ			
17	A4	6.141.190040.03	Розрахунок та вибір	1		
18			елементів вольтододадкової			
19			машини та лінійного ген-ра			
20						
21			Запозичена			
22						
23			<u>Електронна частина</u>			
24						

6.141.190040.ВР

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Гурбіч І.С.		06.06.22р.
Осн. керів.		Устименко Д.В.		06.06.22р.
Консульт.				
Н. контр.		Карзова О.О.		
Зав. кафедр.		Муха А.М.		

Відомість
кваліфікаційної роботи

Стад.	Аркуш	Аркушів
		1
МОН України. УДУНТ Кафедра «ЕТЕМ» Група ЕП19120		

РЕФЕРАТ

Дипломна бакалаврська робота на тему «Вибір та обґрунтування схемного рішення для стенду з випробування тягових двигунів рухомого складу метрополітену» складається з 5 розділів та містить: 51 сторінку основного тексту, 10 таблиць, 16 рисунків, 16 літературних джерел, додаток.

Мета роботи – аналіз тенденцій розвитку способів та засобів післяремонтних випробувань тягових електродвигунів вагонів метрополітену та обґрунтований вибір схемного рішення для стенду з їх випробування.

В розділі 1 розглядається сучасний стан питання випробувань електричних двигунів, описані типи випробувань та указані їх особливості, сформульовано енергетичні принципи забезпечення взаємного навантаження.

Розділ 2 присвячений аналізу можливих схемних рішень реалізацій стенду взаємного навантаження електричних двигунів. Вибрано та обґрунтовано використання методу взаємного навантаження для проведення випробувань тягових електричних двигунів вагонів метрополітену. Запропоновано у якості оптимального схемного рішення схему стенду взаємного навантаження з електростатичним способом покриття втрат.

В розділі 3 представлені результати розрахунку та вибору елементної бази вольтододаткової машини.

В розділі 4 представлені результати розрахунку та вибору елементної бази лінійного генератора. Для розрахунків застосовується стандартна методика.

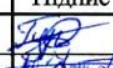
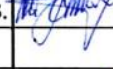


В розділі 5 сформульовані основні вимоги охорони праці при експлуатації стенду з випробувань тягових електричних машин. Розроблена схема керування стендом має додаткові блокування, що забезпечує високий рівень захищеності персоналу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИПРОБУВАННЯ, ВОЛЬТОДОДАТКОВА МАШИНА, ЛІНІЙНИЙ ГЕНЕРАТОР, ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ДІОД, РЕГУЛЯТОР НАПРУГИ.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....	13
1.1 Сучасні тенденції розвитку способів післяремонтних випробувань електродвигунів	13
1.2 Енергетичні принципи забезпечення взаємного навантаження	16
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМНОГО РІШЕННЯ СТЕНДУ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ТИПУ ДК117 ДМ/ВМ.....	20
2.1 Технічні дані об'єкту випробувань.....	20
2.2 Схема стенду взаємного навантаження з електромеханічним способом покриття втрат	21
2.3 Схема стенду взаємного навантаження з комбінованим способом покриття втрат.....	22
2.4 Схема стенду взаємного навантаження з електростатичним способом покриття втрат	24
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ВОЛЬТОДОДАТКОВОЇ МАШИНИ.....	26
3.1 Розрахунок та підбір елементів випрямного моста VD1 ВДМ.....	26
3.2 Розрахунок та вибір трансформатора TV1 ВДМ.....	29
3.3 Розрахунок та підбір елементів регулятора напруги G1 ВДМ	33
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЛІНІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА.....	37

					Пояснювальна записка			
					Вибір та обґрунтування схемного рішення для стенду з випробування тягових двигунів рухомого складу метрополітену			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Літ.	Маса	Масштаб
								1:1
Розробив		Гурбич І.С.		06.06.20				
Перевірив		Устименко Д.В.		06.06.20				
Т. контр.					Арк. 8		Аркушів 51	
Реценз.					6.141.190040.ПЗ			
Н. контр.		Карзова О.О.						
Затвердив		Муха А.М.						
						Український державний університет науки і технологій, група ЕП19120		

4.1	Розрахунок та підбір елементів випрямляча VD2 ЛГ	37
4.2	Розрахунок та вибір трансформаторів TV2-1, TV2-2 ЛГ.....	40
4.3	Розрахунок та підбір елементів регулятора напруги G2 ЛГ	41
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....		44
5.1	Вимоги охорони праці при експлуатації стенду взаємного навантаження	44
5.2	Захисні бокування в схемі керування стендом	45
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....		48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		50
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ		52
ДОДАТОК А.....		53

ВСТУП

Тяговий електродвигун постійного струму типу ДК117ДМ/ВМ застосовується в моторних вагонах метрополітену з релейно-контакторною системою керування. Основними нормативно технічними документами для даного електротехнічного виробу є технічні умови ТУ 16.515.199-76 та Державний стандарт ДСТУ ГОСТ 2582:2017 [1].

Одним з найважливіших показників, що характеризує якість електричних машин є їх надійність. Перевірка робочих властивостей електричних машин на відповідність заданим вимогам, у тому числі і вимогам надійності, відбувається шляхом проведення випробувань у процесі їх виготовлення та експлуатації [2]. За результатами випробувань також ведеться непрямий контроль за дотриманням технології виробництва.

Таким чином, випробування – це експериментальне визначення (оцінювання) і контроль кількісних і якісних характеристик властивостей об'єкта випробувань як результат впливу на нього при його функціонуванні.

Умовно випробування можна поділити на промислові та дослідницькі. Основна задача промислових випробувань полягає у підтвердженні (або не підтвердженні) закладених в машину на етапі проектування якостей та характеристик. Проведення дослідницьких випробувань дозволяє уточнювати фізичні процеси, що відбуваються в електричних машинах, і відповідні їм фізичні та математичні моделі.

Для перевірки відповідності вимогам ДСТУ ГОСТ 2582:2017 електричні машини піддаються приймально-здавальним, періодичним та типовим випробуванням, а для перевірки на відповідність вимогам технічного завдання на розробку ТУ 16.515.199-76 електричні машини піддаються попереднім, приймальним і кваліфікаційним випробуванням [1].

Приймальні випробування проводять по найбільш детальним програмам, їх метою є перевірка відповідності електричних машин, що випускаються усім технічним вимогам.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кваліфікаційні випробування проводять після приймальних випробувань на зразках з установчої серії нових типів електричних машин, а також під час освоєння новим виробником виробництва машин. Часто їх суміщають з приймальними випробуваннями. Рекомендований об'єм кваліфікаційних випробувань наведено в таблиці А.1 та таблицях Б.1-Б.3 ДСТУ ГОСТ 2582:2017 [1].

Приймально-здавальні випробування проходять усі електричні машини, що виготовлюються або ремонтуються підприємством. Якщо в процесі випробувань будуть отримані негативні результати по одному з показників, то в обов'язковому порядку визначаються причини, що їх викликають, і приймаються міри по їх усуненню. Потім випробування повторюють за цим показником, якщо і повторні випробування дають негативний результат, то електрична машина вибраковується. Порядок і об'єм випробувань для машин постійного, пульсуючого і змінного струму наведені в таблицях Б.1-Б.3 ДСТУ ГОСТ 2582:2017 [1].

Періодичні випробування електричних машин проводять не рідше одного разу на два роки. Зразки для випробувань відбираються з тих, що є у наявності у виробника електричних машин. Електричні машини, що були відібрані для періодичних випробувань, попередньо проходять приймально-здавальні випробування. Якщо зразки не витримали періодичних випробувань, то відвантаження продукції замовнику призупиняють до встановлення причин виникнення дефектів, їх ліквідації та отримання позитивних результатів повторних випробувань. Повторні періодичні випробування проводяться у повному обсязі на доопрацьованих (або наново виготовлених) зразках.

Типові випробування проводять у випадку внесення змін в конструкцію чи технологію виготовлення електричних машин. Мета таких випробувань – оцінка ефективності і доцільності змін, що були внесені.

Найбільш характерним завданням дослідних випробувань є: отримання вихідних даних для створення нових або удосконалення існуючих типів технічних виробів та систем; встановлення можливих напрямків економії витратних матеріалів та енергії; розробка нових методів розрахунку або уточнення існуючих; перевірка впливу технології на якість кінцевого продукту.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

При проведенні випробувань використовуються випробувальні стенди, які дозволяють отримувати один чи декілька контрольованих параметрів в рамках відповідного випробування. Основні вимоги, що пред'являються до випробувальних стендів: універсальність, енергоефективність, простота управління процесом випробувань, автоматизація обчислення виміряних величин і розробки протоколів випробувань.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

1.1 Сучасні тенденції розвитку способів післяремонтних випробувань електродвигунів

Випробування – обов’язкова і досить відповідальна частина виробничого процесу як при виробництві нової техніки, так і при її ремонті. Багато видів випробувань електричних тягових машин проводяться під навантаженням (випробування на нагрів, надійність, для визначення енергетичних характеристик), враховуючи, що потужність тягових електричних машин вагонів метрополітену перевищує 100 кВт, актуальним є пошук схем і методів, які дозволяють скорочувати витрату електричної енергії на випробування [3]. Особливо гостро це питання стоїть в рамках післяремонтних випробувань тягових двигунів постійного струму в умовах ремонтних майстерень метрополітену.

Загально відомо, що випробування можна проводити використовуючи методи з безпосереднім чи опосередкованим навантаженням. При використанні методу з безпосереднім навантаженням випробування проводяться в номінальному режимі роботи, який не відрізняється від роботи в реальних умовах. Метод безпосереднього навантаження може реалізовуватись трьома способами: без повернення енергії в мережу; з поверненням енергії в мережу; шляхом взаємного навантаження.

При безпосередньому навантаженні без повернення енергії в мережу (рис. 1) двигун Д, який навантажується, підключається до джерела електричної енергії напругою U_k , а

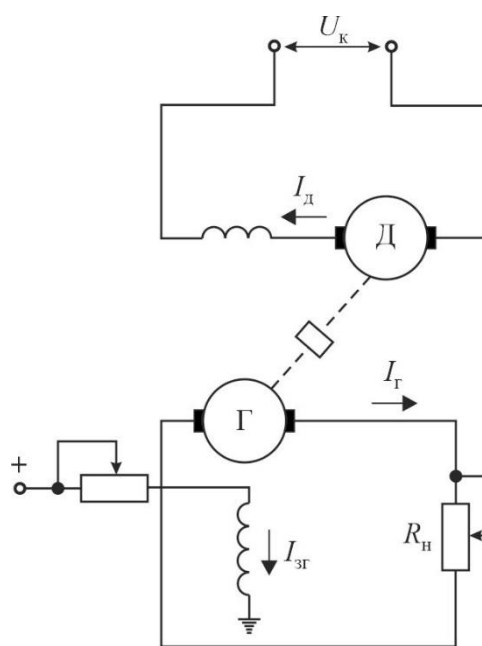


Рисунок 1.1 – Схема безпосереднього навантаження без повернення енергії в мережу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

його вал спеціальною муфтою з'єднується з валом другої електричної машини Г (такої ж або більшої потужності), яка працює в генераторному режимі створюючи навантаження для указанного двигуна [4]. Електричну енергію, що генерується генератором Г, розсіюють в навантажувальних резисторах R_H . Зміна навантаження для Д досягається за рахунок зміни величини R_H та/або струму в обмотці збудження генератора $I_{зг}$. Для створення навантаження можуть використовуватись замість генератора з реостатом будь-які інші гальмівні установки (в тому числі і фрикційні системи), які мають достатню потужність та прийнятні регульовальні властивості.

Недолік такого способу навантаження полягає в значних втратах електричної енергії, оскільки вся енергія, що підводиться до двигуна Д, за виключенням втрат у ньому, розсіюється у вигляді тепла на резисторах R_H .

Другий спосіб реалізації навантаження фактично базується на схемі рис. 1.1 але має суттєву відмінність, яка полягає у тому, що енергія не розсіюється в навантажувальних резисторах, а повертається у мережу. Для цього в схему вводиться деяка перетворювальна установка, що і забезпечує узгодження та передачу електричної енергії в мережу. До недоліків такого способу можна віднести складність додаткового обладнання по перетворенню та узгодженню електричної енергії генератора Г з мережею; певні технічні проблеми по керуванню процесом випробувань; збільшення установленної потужності обладнання (перетворювальна установка повинна мати не меншу потужність ніж генератор Г).

Третій спосіб реалізується через взаємне навантаження машин, що випробовуються. Схема вмикання машин для їх випробування способом взаємного навантаження наведена на рис. 1.2. Схема щонайменше містить дві машини, що випробовуються, а також додаткові машини або статичні перетворювачі.

Особливість цього способу полягає в тому, що електричну енергію генератора Г на гасять в навантажувальних резисторах, а віддають тому ж двигуну Д, який навантажений цим генератором [4]. Таким чином об'єм енергії, що споживається двигуном Д з мережі буде визначатись тільки сумарними втратами в двигуні та генераторі. Це дозволяє значно підняти енергетичні характеристики процесу випробування електричних машин. До того ж така схема передбачає використання

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у якості генератора машини того ж типу, як і двигун, що призначений для випробування.

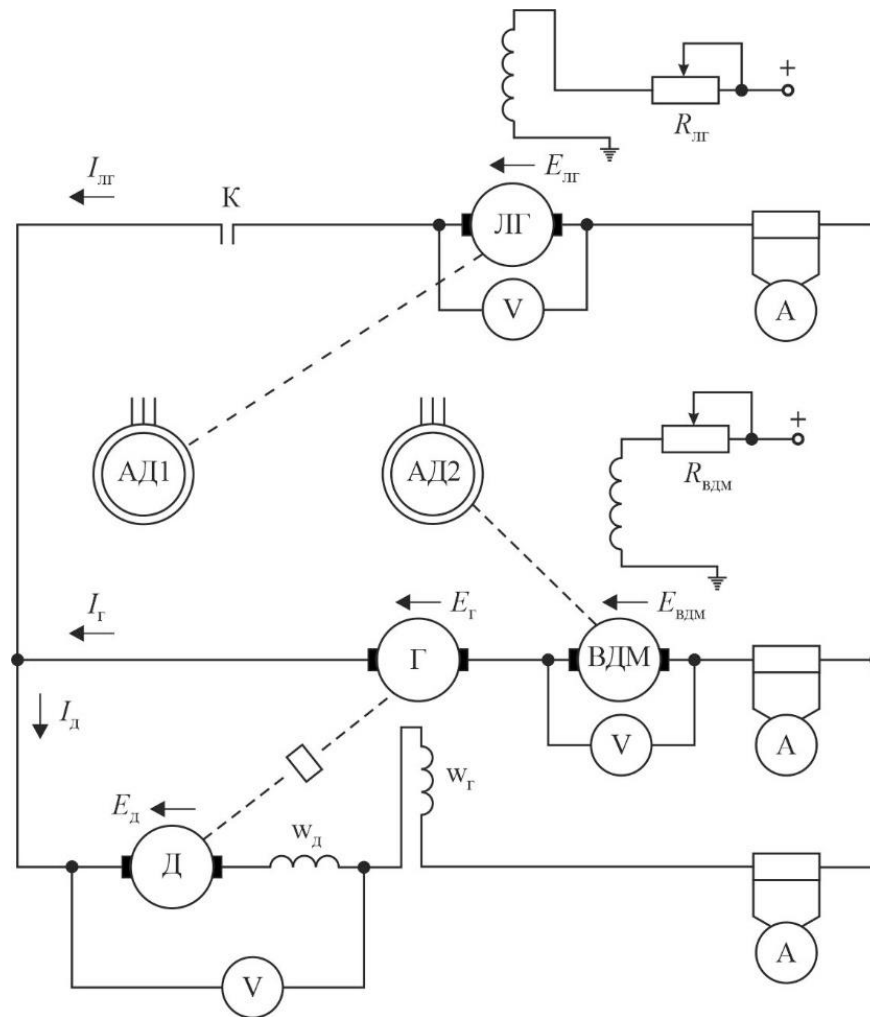


Рисунок 1.2 – Схема взаємного навантаження тягового електродвигуна

Для покриття втрат у двигуні Д та генераторі Г використовують спеціальний лінійний генератор ЛГ, який в свою чергу приводиться в рух від окремого асинхронного електродвигуна АД1. Для того аби машина Г працювала в генераторному режимі, її е.р.с. (електрорушійна сила) обертання (E_{Γ}) повинна бути більше е.р.с. обертання двигуна Д ($E_{\text{д}}$). Цього досягають посиленням магнітного потоку машини Г шляхом збільшення її збудження струмом від стороннього джерела. Але можливості регулювання магнітного потоку та е.р.с. машини Г в даному випадку будуть обмежені насиченням її магнітної системи або нагріванням обмотки збудження до небезпечних температур. Для зняття цих обмежень послідовно в електричне якорне коло машини Г вмикається спеціальний вольтододаткова машина ВДМ, яка приводиться в рух асинхронним двигуном АД2.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Генератор ЛГ і вольтододаткова машина ВДМ мають обмотки незалежного збудження. Повільне регулювання струму в цих обмотках реостатами $R_{ЛГ}$ та $R_{ВДМ}$ дає можливість плавно регулювати їх е.р.с. обертання, тобто напругу на їх виводах.

Сучасні тенденції в енергетиці формують одну з основних вимог до способів організації технологічних процесів та електрообладнання, що в них використовується – енергоефективність. Сучасні випробувальні стенди повинні бути енергозберігаючими, тобто в них в тій чи іншій мірі повторно має використовуватись затрачена в процесі випробувань енергія за виключенням втрат в вузлах стенду.

Вибір способу навантаження, а значить і схеми випробувань електричної машини визначається параметрами електрообладнання випробувальної станції але усі їх можна охарактеризувати рядом кількісних і якісних параметрів, які дозволяють визначити ефективність даного технологічного процесу. Одним із кількісних параметрів є потужність додатково встановленого електрообладнання, яка виражається кратністю її по відношенню до потужності машини, що випробовується. Цей параметр також визначає площу, яка потрібна для випробувального поля. Іншим параметром є кількість електроенергії, що споживається на випробування.

Ефективність енергозберігаючих технологій в промисловості в значній мірі визначається ефективністю електропривода, що входить до складу стенду. Таким чином, розробка високопродуктивних і економічних систем проводу є пріоритетним напрямком розвитку сучасних випробувальних стендів [5]. Технічна складність проведення того чи іншого виду випробувань сучасних тягових електричних двигунів пов'язана з їх значною потужністю. Тому для таких машин найбільш розповсюдженим і визнаним методом навантаження та економічного живлення є спосіб взаємного навантаження [6].

1.2 Енергетичні принципи забезпечення взаємного навантаження

Оптимізація структури схеми взаємного навантаження є основним напрямком в загальній задачі зниження енергетичних затрат на випробування тягових електричних машин постійного і пульсуючого струму. Першим необхідним етапом

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в рамках указаної задачі є визначення усіх можливих варіантів енергетичних співвідношень в схемі взаємного навантаження невизначеної структури [7]. На рис. 1.3 наведена універсальна схема перетворення потужностей в основному контурі схеми взаємного навантаження невизначеної структури.

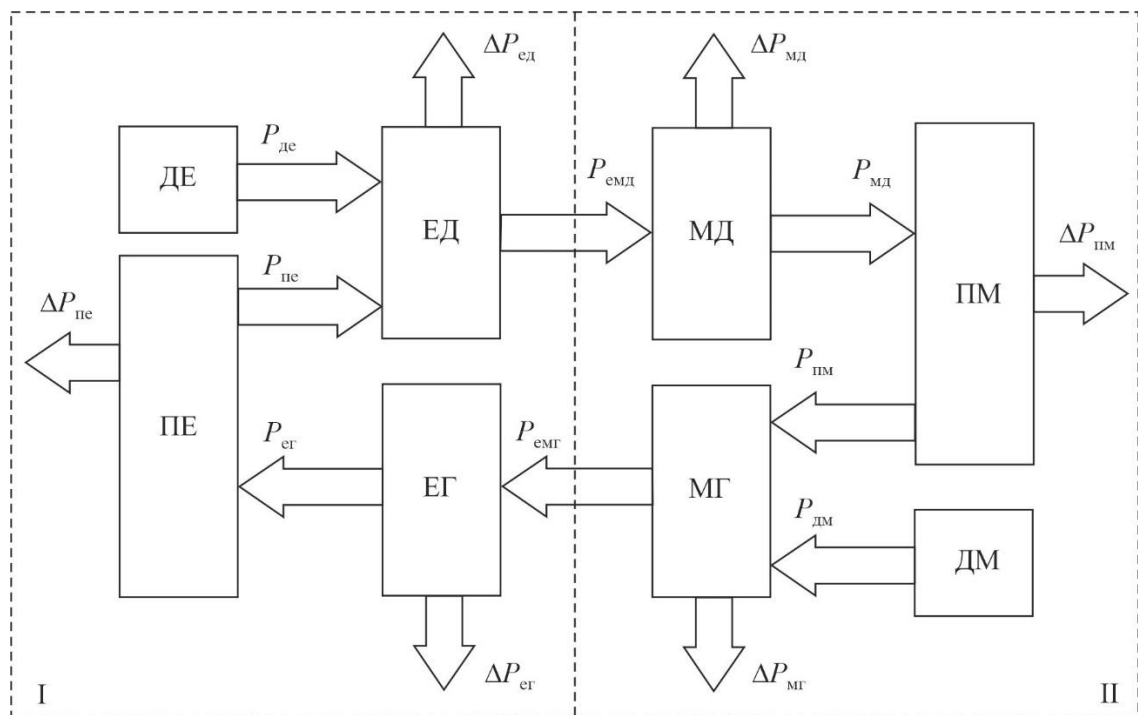


Рисунок 1.3 – Універсальна схема перетворення потужностей в основному контурі схеми взаємного навантаження

Даний контур включає в себе: електричні частини двигуна ЕД та генератора ЕГ; механічні частини двигуна МД та генератора МГ; перетворювачі електричної та механічної потужностей ПЕ та ПМ відповідно; джерела електричної і механічної потужностей ДЕ та ДМ відповідно. Під електричними частинами машин потрібно розуміти їх обмотки, а під механічними частинами – їх ротори. Електрична частина двигуна є споживачем електричної потужності, а його механічна частина – джерелом механічної потужності $P_{мд}$. Механічна частина генератора виступає споживачем механічної потужності, а його електрична частина є джерелом електричної потужності $P_{ег}$. Відповідні перетворення потужностей в двигуні та генераторі відбуваються через електромагнітні потужності $P_{емд}$, $P_{емг}$, що циркулюють через їх повітряні зазори. Загальна електрична потужність $P_{ед}$, що споживається двигуном, представляє суму потужностей $P_{де}$ і $P_{пе}$ джерела ДЕ і

перетворювача ПЕ відповідно. Загальна механічна потужність, що споживається генератором $P_{\text{мг}}$, є сумою потужностей $P_{\text{дм}}$ і $P_{\text{пм}}$ джерела ДМ і перетворювача ПМ відповідно. $\Delta P_{\text{пе}}$, $\Delta P_{\text{пм}}$ – втрати потужності в ПЕ та ПМ; $\Delta P_{\text{ед}}$, $\Delta P_{\text{ег}}$ – втрати потужності в електричних частина Д та Г (електричні втрати); $\Delta P_{\text{мд}}$, $\Delta P_{\text{мг}}$ – втрати потужності в механічних частина Д та Г (механічні і магнітні втрати).

Енергетичним критерієм працездатності схеми взаємного навантаження є умова компенсації усіх втрат в схемі зовнішніми джерелами (ДЕ, ДМ). Принципово можливі наступні варіанти компенсації втрат потужності в двигуні, генераторі і перетворювачах [7]:

- 1) компенсація усіх видів втрат двома окремими джерелами електричної потужності;
- 2) компенсація окремих видів втрат двома окремими джерелами електричної потужності;
- 3) компенсація усіх втрат одним джерелом механічної потужності;
- 4) компенсація окремих видів втрат двома окремими джерелами механічної потужності;
- 5) компенсація електричних втрат джерелом електричної потужності, а механічних і магнітних – джерелом механічної потужності
- 6) компенсація електричних втрат джерелом механічної потужності, а механічних і магнітних – джерелом електричної потужності.

Замкнений контур перетворення потужностей в схемі взаємного навантаження (рис. 1.3) умовно можна розділити на дві частини, показані на схемі пунктиром. Частина I представляє собою електричну частину стенда, в якій відбуваються перетворення електричних потужностей. Відповідно в цій частині присутні тільки електричні втрати, компенсувати які можливо лише створенням в послідовному колі електричних перетворень додаткової електрорухомої сили. Оскільки коло даних перетворень послідовне, то створення додаткових е.р.с. для окремої компенсації електричних втрат двигуна та генератора недоцільно.

Частина II представляє собою механічну частину стенда взаємного навантаження, в якій відбувається послідовне перетворення механічних

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужностей. Окрема компенсація механічних і магнітних втрат двигуна та генератора двома джерелами моменту, що увімкнені в дане послідовне механічне коло, недоцільно з тих же міркувань, що і компенсація електричних втрат двома джерелами е.р.с.

В роботах [7-9] представлено результат аналізу умов забезпечення взаємного навантаження, отриманий для кожного з варіантів компенсації втрат, який дозволяє визначити усі принципово можливі варіанти схеми взаємного навантаження тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму. В варіантах 1, 2 і 5 компенсація електричних втрат здійснюється безпосередньо джерелом електричної потужності без перетворення в інший вид енергії. В варіантах 3, 4, 5 компенсація магнітних і механічних втрат здійснюється джерелом механічної потужності, безпосередньо і також без перетворення в інший вид енергії. В варіантах 3, 4 і 6 компенсація електричних втрат здійснюється джерелом механічної потужності ДМ шляхом перетворення її в електричну за допомогою генератора, що випробовується. При цьому електромагнітна потужність генератора $P_{емг}$ і втрати в ньому $\Delta P_{мг}$ і $\Delta P_{ег}$ збільшуються. В варіантах 1, 2 і 6 компенсація механічних втрат здійснюється джерелом електричної потужності ДЕ шляхом перетворення її в механічну за допомогою двигуна, що випробовується. При цьому електромагнітна потужність двигуна $P_{емд}$ і втрати в ньому $\Delta P_{ед}$ і $\Delta P_{мд}$ також збільшуються.

Найбільш раціональним з точки зору рівномірності навантаження машин, що випробовуються є варіант 5, за якого електромагнітні потужності двигуна і генератора рівні. Але при вирішенні задач оптимізації схеми взаємного навантаження може бути, що з точки зору мінімізації енергозатрат на випробування чи собівартості випробувальної станції раціональним виявиться варіант, що відрізняється від варіанту 5.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМНОГО РІШЕННЯ СТЕНДУ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ТИПУ ДК117 ДМ/ВМ

2.1 Технічні дані об'єкту випробувань

Випробувальна станція знаходиться у блоці ремонтних дільниць цеху ТР-3 електродепо метрополітену у м. Дніпро. До складу станції входить стенд, що призначений для випробування тягових електричних двигунів типу ДК117 ДМ/ВМ в рамках проведення приймально-здавальних випробувань. Даний стенд дозволяє проводити: одночасне випробування двох тягових електродвигунів на нагрів під навантаженням; випробування в режимі холостого ходу; перевірку частоти обертання якоря у прямому та зворотному напрямку (у тому числі підвищену частоту); перевірку електричної міцності ізоляції.

Технічні дані тягового електродвигуна типу ДК117ДМ/ВМ наведені у табл. 2.1, а його габаритні розміри на рис. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні дані тягового двигуна типу ДК117ДМ/ВМ

Параметр	Значення
Режим роботи	S2 (60 хв.)
Номінальна потужність, кВт	114
Номінальний струм, А	295
Струм обмотки якоря (60 хв.), А	340
Номінальна напруга, В	375
Частота обертання, об/хв	1500
Максимальна частота обертання, об/хв	3400
Система збудження	Послідовна
Спосіб охолодження	самовентиляція
Маса (не більше), кг	760

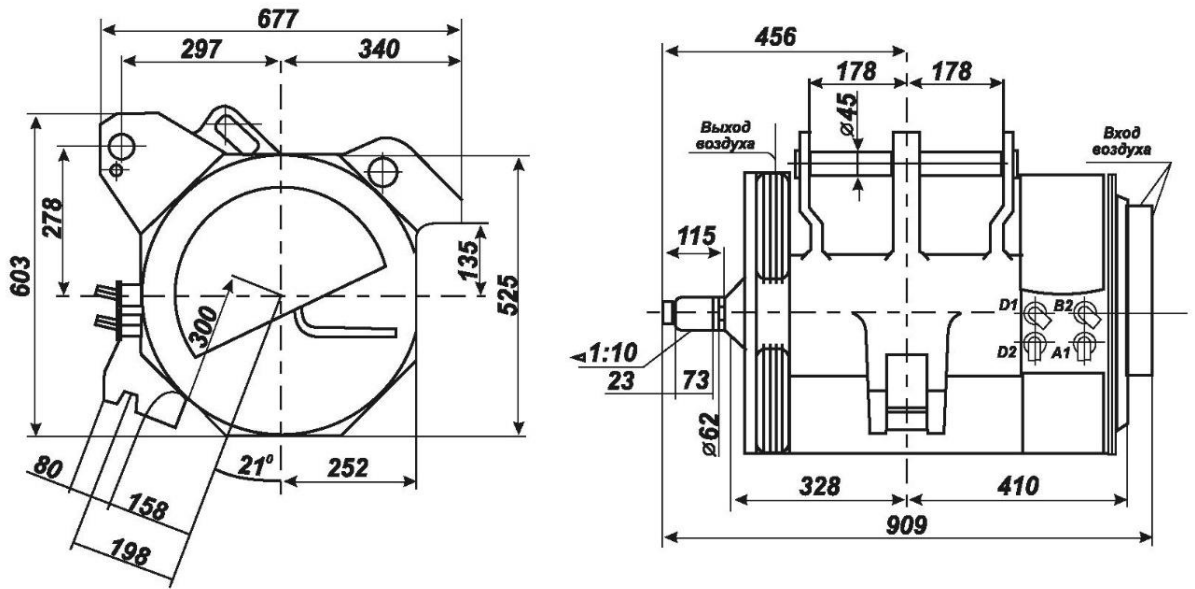


Рисунок 2.1 – Габаритні та установочні розміри двигуна типу ДК117ДМ/ВМ

2.2 Схема стенду взаємного навантаження з електромеханічним способом покриття втрат

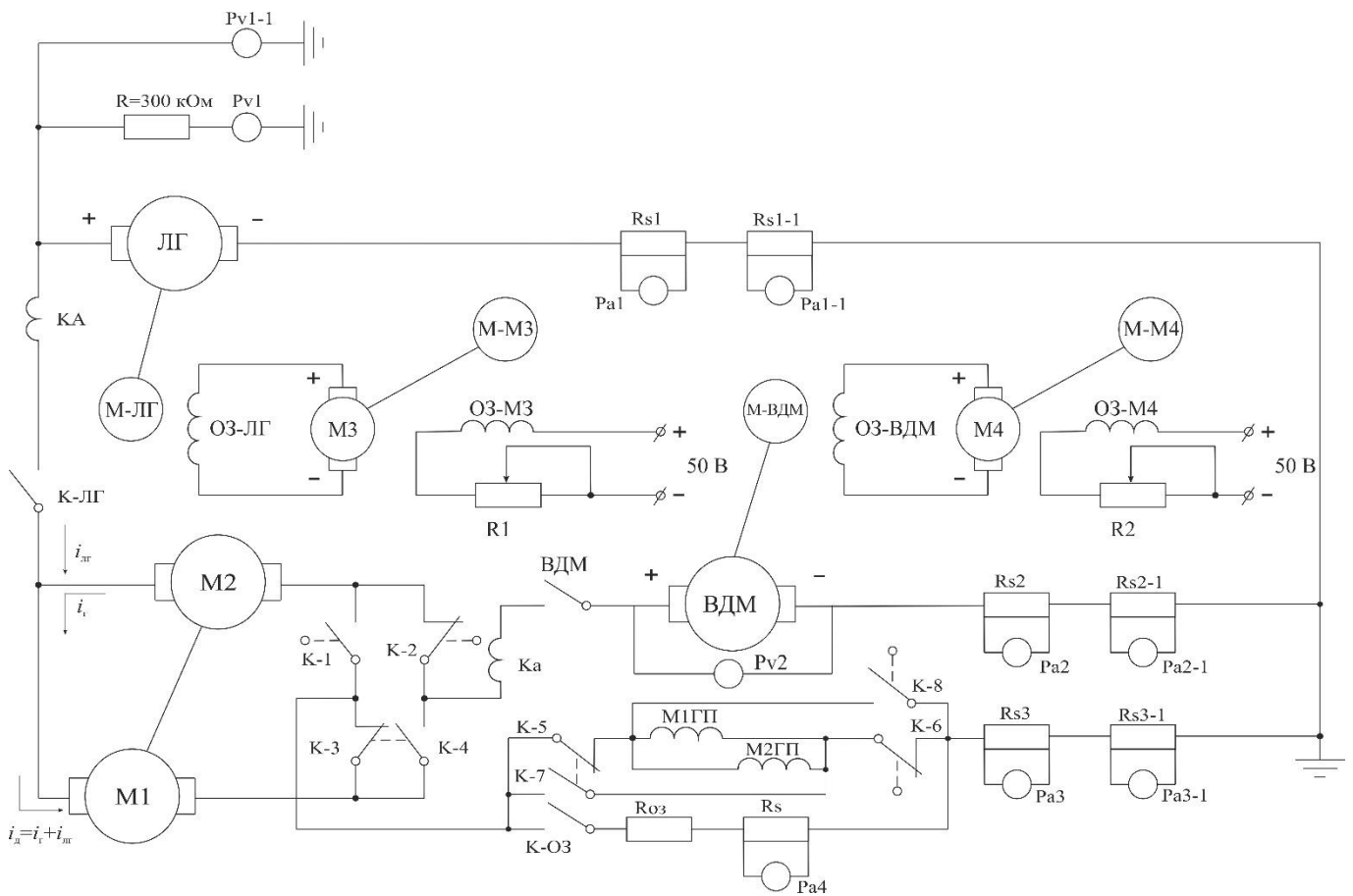


Рисунок 2.2 – Схема стенду взаємного навантаження з електромеханічним способом покриття втрат

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

В даному варіанті схемного рішення (рис. 2.2) вольтододаткова машина ВДМ призначена для регулювання сили струму в обмотках якорів та послідовних обмотках електричних машин М1 і М2, а лінійний генератор ЛГ – для регулювання частоти обертання валу М1 (працює в режимі двигуна). І ВДМ і ЛГ мають обмотки незалежного збудження, які підключені до якірних обмоток окремих генераторів-збудників М3 і М4. Збудники у даній схемі могли би бути відсутні, але тоді регулятори R_1 та R_2 мали б більші габарити і для нижніх меж діапазону регулювання напруги ЛГ і струму ВДМ у регуляторах R_1 і R_2 були б значні втрати електроенергії, а також було б потрібно окреме джерело постійного струму для збудження ЛГ і ВДМ значної потужності.

Для ЛГ, ВДМ, М3 і М4 необхідні окремі приводні двигуни: М-ЛГ; М-М3; М-М4, тобто чотири асинхронні коротко замкнуті електродвигуни. Кількість приводних двигунів може бути зменшено до двох, якщо використовувати для М-ЛГ і М-ВДМ асинхронні двигуни з двома кінцями валу. У цьому випадку двигун М-ЛГ буде обертати ЛГ і М3, а двигун М-ВДМ буде обертати ВДМ і М4. Такий варіант більш економний ніж варіант з чотирма приводними двигунами, але потребує спеціальних двигунів з двома кінцями валу.

У схемі передбачена можливість:

- переводу будь-якого із випробовуваних тягових електродвигунів (М1 або М2) у режим роботи «двигун» або «генератор» (перемиканням контакторів К1...К4);
- реверс напрямку обертання М1 і М2 за допомогою контакторів К5...К8;
- перехід машин М1 та М2 на роботу з підвищеною частотою обертання валу шляхом ослаблення магнітного потоку (відповідає контактор К-ОЗ та резистор R_{03}).

2.3 Схема стенду взаємного навантаження з комбінованим способом покриття втрат

В даному варіанті (рис. 2.3) схемного рішення випробувального стенду зберігаються лінійний генератор ЛГ та вольтододаткова машина ВДМ але замість

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Схема стенду взаємного навантаження з електростатичним способом покриття втрат

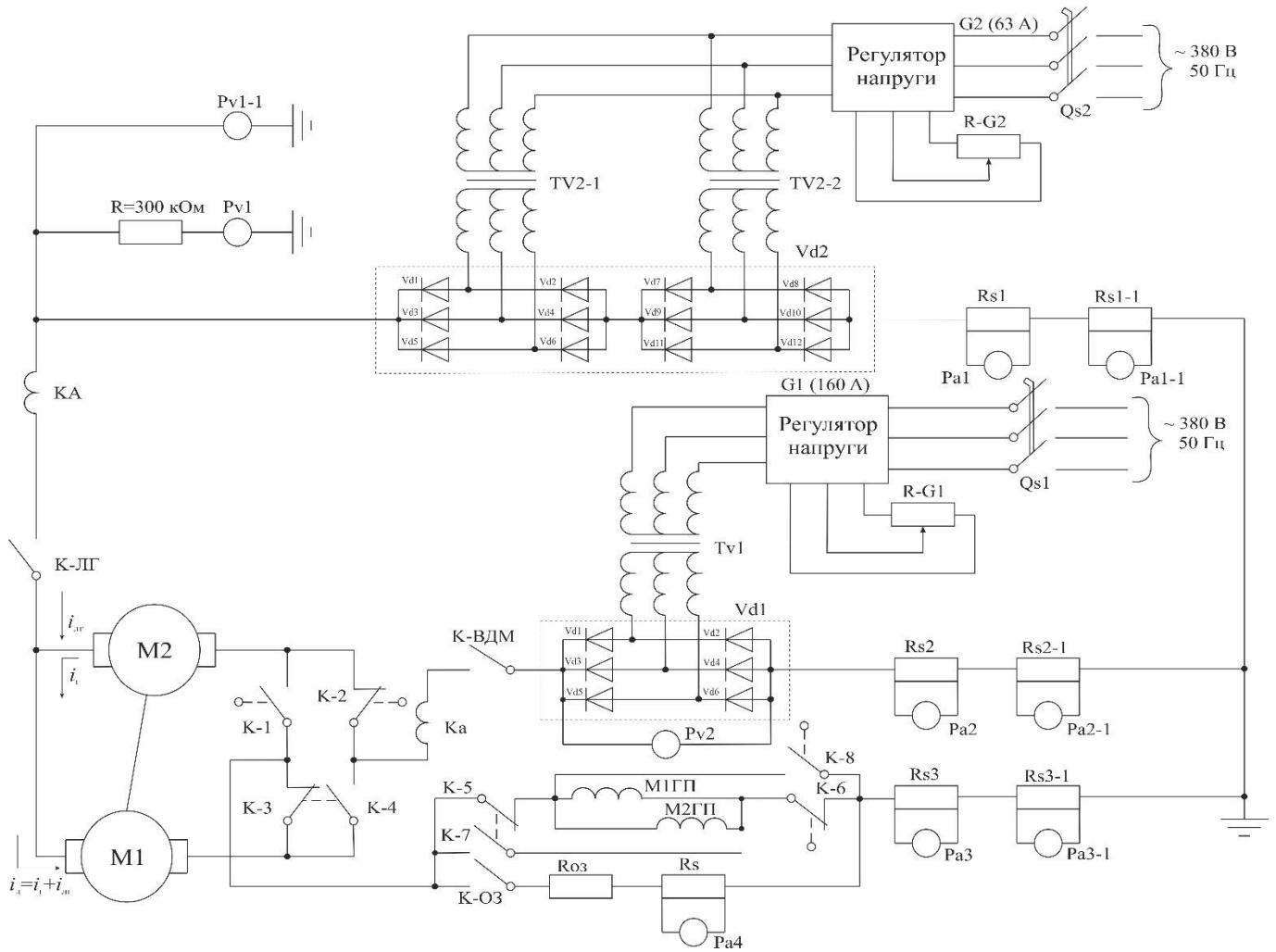


Рисунок 2.4 – Схема стенду взаємного навантаження з електростатичним способом покриття втрат

Варіант схеми стенду взаємного навантаження з електростатичним способом покриття втрат (рис. 2.4) структурно аналогічний першому варіанту, але замість обертаючих електричних машин ЛГ і ВДМ застосовуються статичні напівпровідникові випрямні пристрої, які складаються з трансформаторів (TV1, TV2-1, TV2-2), регуляторів напруги (G1 і G2) і випрямних трифазних мостів (Vd1, Vd2).

Основним активним елементом кожного пристрою є регулятор напруги (G1 і G2), який дозволяє регулювати величину напруги що підводиться до первинних обмоток трансформаторів. Відповідно змінюється і випрямлена напруга на Vd1, Vd2, що дозволяє забезпечити узгодження всіх параметрів схеми випробування.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Інші частини схеми випробування (машини: M1 і M2, обмотки головних полюсів M1ГП, M2ГП, перемикачі, вимірювальні пристрої) залишаються однаковими, як і в першому варіанті.

Перевага наведеного варіанту (рис. 2.4) над першим (рис. 2.2) та другим (рис. 2.3) варіантами у тому, що замість великої кількості обертових машин застосовуються більш надійні статичні напівпровідникові пристрої, які до того ж мають і більш високий ККД.

У даному варіанті значно легше отримати регульоване джерело постійного струму 0...1000 В, що становило певні труднощі для ЛГ у першому та другому варіантах. З цією метою у складі Vd2 застосовують два послідовно увімкнених випрямних моста, підключених від гальванічно розділених обмоток трансформаторів TV2-1 і TV2-2. Ці трансформатори повинні бути прийняті з коефіцієнтом трансформації 380/380 В. Кожен випрямний міст на виході буде мати напругу $1,35 \cdot 380 = 500$ В. Оскільки обидва мости увімкнені послідовно, то сумарна напруга встановить приблизно 1000 В. За допомогою регулятора G2 напруга може регулюватись униз від 1000 В у широкому діапазоні.

Застосування у складі Vd1 і Vd2 некерованих напівпровідникових елементів (діодів), забезпечує високий рівень згладжування випрямленої напруги. У трифазній мостовій схемі випрямлення, коефіцієнт пульсації випрямленої напруги складає 0,057. Відповідно коефіцієнт пульсації струму навантаження не буде перевищувати величини 0,1.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ВОЛЬТОДОДАТКОВОЇ МАШИНИ

Виходячи з аналізу схемних рішень випробувального стенду проведеного у розділі 2 найбільш прийнятним варіантом для реалізації є варіант стенду взаємного навантаження з електростатичним способом покриття втрат (рис. 2.4). Для такого варіанту вольтододаткова машина представляє собою напівпровідниковий перетворювач, який складається з діодного моста VD1, трансформатора TV1 та керованого перетворювача напруги G1 (рис. 3.1).

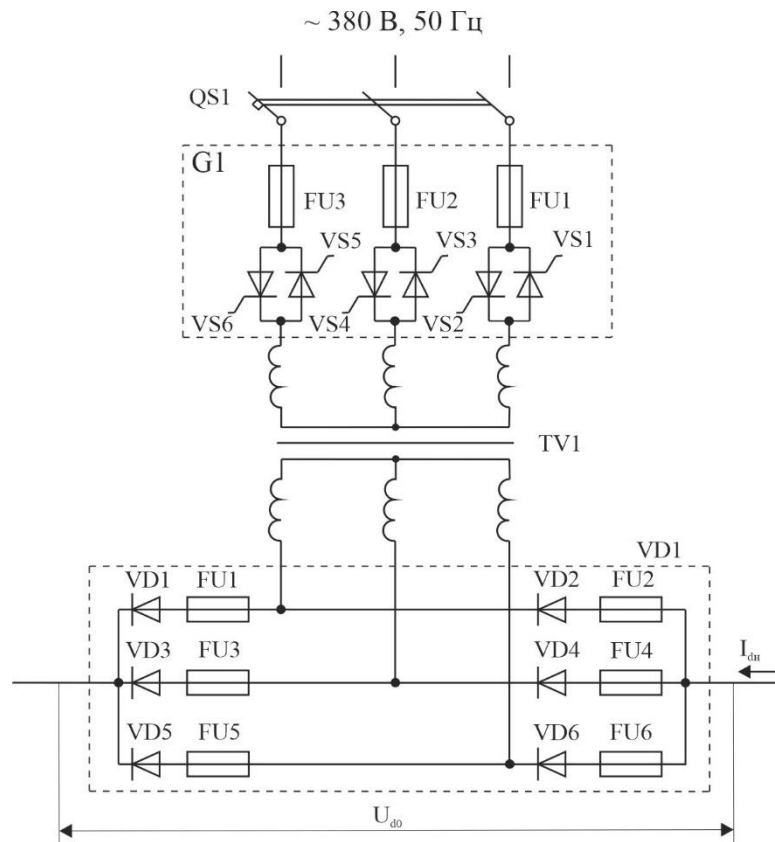


Рисунок 3.1 – Електрична схема вольтододаткової машини

3.1 Розрахунок та підбір елементів випрямного моста VD1 ВДМ

На виході моста VD1 (рис. 3.1) має забезпечуватись рівень напруги 115 В але для забезпечення навантаження електричних машин M1 та M2 (рис. 2.4) двократним струмом, при граничному перевищенні температури їх обмоток, напруга повинна бути на рівні 150 В. Тобто, номінальне значення випрямленого

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

струму $I_{dH} = 680$ А та напруга на виході моста в режимі холостого ходу $U_{d0} = 150$ В.

Максимальне значення зворотної напруги фази [10]:

$$U_{m.зв} = \sqrt{6} \cdot \frac{U_{d0}}{2,34}, \quad (3.1)$$

$$U_{m.зв} = \sqrt{6} \cdot \frac{150}{2,34} = 157 \text{ В.}$$

Середній струм фази перетворювача [10]:

$$I_v = \frac{1}{3} \cdot I_{dH}, \quad (3.2)$$

$$I_v = \frac{1}{3} \cdot 680 = 227 \text{ А.}$$

За знайденими значенням $U_{m.зв}$ та I_v необхідно вибрати напівпровідниковий діод, що відповідає умові [10]:

$$\begin{cases} U_{\text{доп}} \geq \frac{U_{m.зв}}{0,75}, \\ I_{v.\text{max}} \geq 2 \cdot I_v \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\begin{cases} U_{\text{доп}} \geq \frac{157}{0,75} = 209,35 \text{ В} \\ I_{v.\text{max}} \geq 2 \cdot 227 = 454 \text{ А} \end{cases}$$

В результаті вищенаведених розрахунків обирається напівпровідниковий кремнієвий діод типу В500 [11], технічні дані якого наведено у табл. 3.1.

Напівпровідниковий діод типу В500 призначений для застосування в статичних напівпровідникових перетворювачах електроенергії, а також у колах постійного та змінного струму різних силових установок з частотою напруги живлення до 500 Гц.

Для напівпровідникового діоду В500 рекомендується охолоджувач типу О243-150 [11].

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Гранично допустимі значення параметрів діоду В500

Параметр	Значення
Повторна імпульсна зворотна напруга, В	150...3800
Максимально допустимий середній прямий струм, А	500
Діючий прямий струм, А	780
Ударний прямий струм що не повторюється, кА	9,0
Імпульсна пряма напруга, В	2,0
Порогова напруга, В	1,1
Диференціальний опір, мОм	0,62
Тепловий опір перехід – корпус, ° С/Вт, не більш (постійний струм)	0,04
Ймовірність безвідмовної роботи за 25000 год.	0,98
Маса, кг, не більш	0,31

Габаритні та монтажні розміри діода В500 наведено у табл. 3.2, рис. 3.2.

Таблиця 3.2 – Габаритні розміри діоду В500

Параметр	Значення, мм	Параметр	Значення, мм
D	40±1	D	73
d ₁	2,7	D ₂	46±1
h	1,3±0,2	O ₁	76
A	22±1	-	-

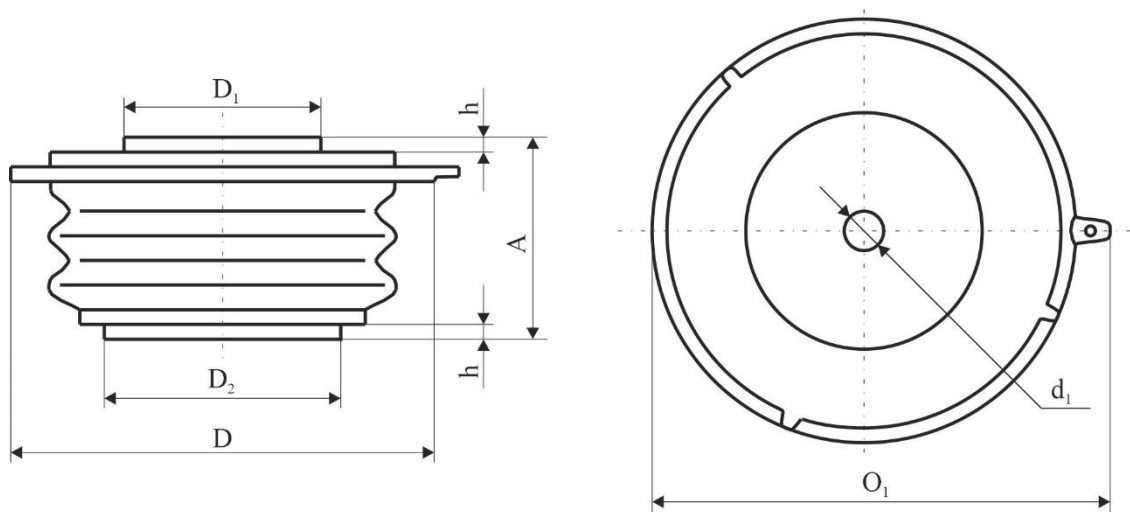


Рисунок 3.2 – Габаритні розміри діода В500

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У плечі мосту VD1 вмикаються запобіжники (FU1...FU6), які повинні спрацювати у разі електричного пробою напівпровідника, а також при відмові автомату QS1.

Номінальний струм запобіжника з урахуванням можливих робочих перенавантажень:

$$I_{\text{пвн}} = 1,2 \cdot k_{\text{пл}} \cdot I_v, \quad (3.4)$$

де $k_{\text{пл}} = 2$ – коефіцієнт перенавантажень.

$$I_{\text{пвн}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 227 = 544,8 \text{ А.}$$

В результаті обирається запобіжник типу ПП71 [12], який має наступні параметри:

- струм 550 А;
- інтеграл квадрату струму $W_{\text{п}} = 300 \text{ А} \cdot \text{с}^2$;
- відносне перевантаження 1,5.

3.2 Розрахунок та вибір трансформатора TV1 ВДМ

Діюче значення струму фази вторинної обмотки трансформатора TV1 [13]:

$$I_2 = I_{dH} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad (3.5)$$

$$I_2 = 680 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} = 555,2 \text{ А.}$$

Діюче значення струму фази первинної обмотки трансформатора TV1 [13]:

$$I_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{d0} \cdot I_{dH}}{2,34 \cdot U_1} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad (3.6)$$

$$I_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot 150 \cdot 680}{2,34 \cdot 380} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} = 163,3 \text{ А.}$$

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт трансформації трансформатора TV1 [13]:

$$K = \frac{2,34 \cdot U_1}{\sqrt{3} \cdot U_{d0}}, \quad (3.7)$$

$$K = \frac{2,34 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 150} = 3,4.$$

Розрахункова потужність вторинної обмотки трансформатора TV1 [13]:

$$S_2 = \sqrt{6} \cdot \frac{U_{d0}}{2,34} \cdot I_2, \quad (3.8)$$

$$S_2 = \sqrt{6} \cdot \frac{150}{2,34} \cdot 555,2 = 87173,2 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Розрахункова потужність первинної обмотки трансформатора TV1 [13]:

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1, \quad (3.9)$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 163,3 = 107480,7 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Типова потужність трансформатора TV1 [13]:

$$S_T = \frac{S_1 + S_2}{2} \text{ В}\cdot\text{А}. \quad (3.10)$$

$$S_T = \frac{107480,7 + 87173,2}{2} = 97326,95 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

За результатами розрахунків обирається трансформатор силовий трифазний сухий захищений загального призначення ТСЗ–100/0,66 [14] з наступними паспортними даними:

- номінальна потужність $S_{\text{ном}} = 100 \text{ кВ}\cdot\text{А}$;
- номінальна напруга $U_{\text{ном}} = 660 \text{ В}$;
- напруга короткого замикання $u_k = 4,5\%$;

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- струм холостого ходу $i_0 = 2,7\%$;
- втрати потужності холостого ходу $p_x = 500$ Вт;
- втрати потужності короткого замикання $p_k = 1500$ Вт.

Індуктивність навантаження заважає різким змінам струму і затягує тривалість протікання струму через тиристор (рис. 3.3) [15]

$$\lambda > \pi - \alpha, \quad (3.11)$$

де α – кут керування тиристором;

λ – кут, який характеризує тривалість протікання струму через тиристор.

Фазовий зсув основної гармоніки струму:

$$\varphi = \arctg \frac{x_{тр}}{R_{тр}}, \quad (3.12)$$

де $x_{тр}$ – реактивний опір обмоток трансформатора, Ом;

$R_{тр}$ – активний опір обмоток трансформатора, Ом.

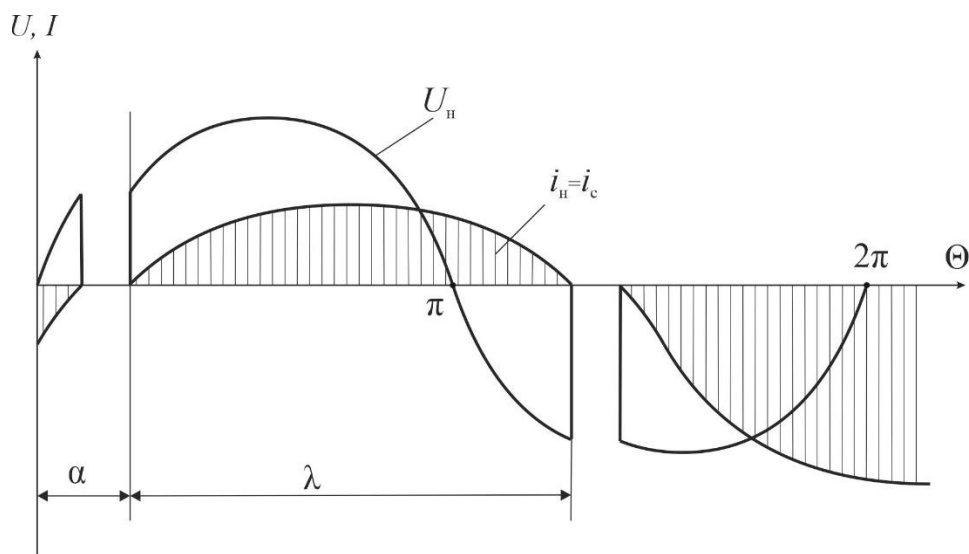


Рисунок 3.3 – Часова діаграма при фазовому регулюванні

Якщо $\alpha > \varphi$, то φ визначається за виразом (3.12), у випадку коли $\alpha < \varphi$, змінити величину і форму струму не можливо, оскільки в будь-який момент часу навантаження пов'язане з мережею (безструмова пауза відсутня).

Повний опір трансформатора [13]:

$$Z_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{\left(\sqrt{3} \cdot \frac{U_{d0}}{2,34} \right)^2}{S_{\text{т}}}, \quad (3.13)$$

$$Z_{\text{тр}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{\left(\sqrt{3} \cdot \frac{150}{2,34} \right)^2}{100000} = 0,0055 \text{ Ом.}$$

Активне та реактивне значення опорів трансформатора [13]:

$$R_{\text{тр}} = p_{\text{к}} \times \left(\frac{\sqrt{3} \cdot \frac{U_{d0}}{2,34}}{S_{\text{т}}} \right)^2, \quad (3.14)$$

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{Z_{\text{тр}}^2 - R_{\text{тр}}^2}, \quad (3.15)$$

$$R_{\text{тр}} = 1500 \cdot \left(\frac{\sqrt{3} \cdot \frac{150}{2,34}}{100000} \right)^2 = 0,00185 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{0,0055^2 - 0,00185^2} = 0,0052.$$

Фазовий зсув основної гармоніки струму визначається за виразом (3.12):

$$\varphi = \arctg \frac{0,0052}{0,00185} = 70,4^\circ.$$

Значення кута, що характеризує тривалість протікання струму через тиристор може бути визначено за наступним виразом:

$$\lambda = \pi - \alpha + \varphi. \quad (3.16)$$

Діюче значення напруги на навантаженні при роботі на активно-індуктивне навантаження обчислюється за формулою:

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_H = \sqrt{\frac{E_M^2}{180^\circ} \cdot \int_{\alpha}^{\alpha+\lambda} \sin^2 \Theta \cdot d\Theta} = \sqrt{\frac{E_M^2}{180^\circ} \cdot \left[(\alpha + \lambda) - \frac{\sin 2(\alpha + \lambda)}{2} - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]} \quad (3.17)$$

3.3 Розрахунок та підбір елементів регулятора напруги G1 ВДМ

Регулятор напруги G1 (рис. 3.1), будується по симетричній трифазній схемі, що забезпечує на вході трансформатору TV1 регульовану напругу від 0 до 380 В. Діючим значенням струму навантаження для G1 є діюче значення струму фази первинної обмотки трансформатору TV1, тобто $I_1 = 163,3$ А.

Допустиме середнє значення струму через тиристор буде не менш ніж [10]:

$$I_{T.\max} = 2 \cdot I_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi}, \quad (3.18)$$

$$I_{T.\max} = 2 \cdot 163,3 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi} = 147 \text{ А.}$$

Максимальна зворотна напруга тиристора [10]:

$$U_{зв} \geq \sqrt{2} \cdot k_{зап} \cdot U_M, \quad (3.19)$$

де $k_{зап} = 1,2 \dots 1,5$ – коефіцієнт запасу;

$U_M = 220$ В – діюче значення фазної напруги мережі.

$$U_{зв} \geq \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 220 = 435,6 \text{ В.}$$

За отриманими значеннями $U_{зв}$, $I_{T.\max}$ обирається тиристор T161-160 [11].

Таблиця 3.3 – Габаритні розміри тиристора T161-160

Параметр	Значення, мм	Параметр	Значення, мм
D	35,5	O ₁	200±15
E	32	O ₂	215±10
I	85	T ₁	10,5±0,43
M	20	W	M20x1,5
N	16	-	-

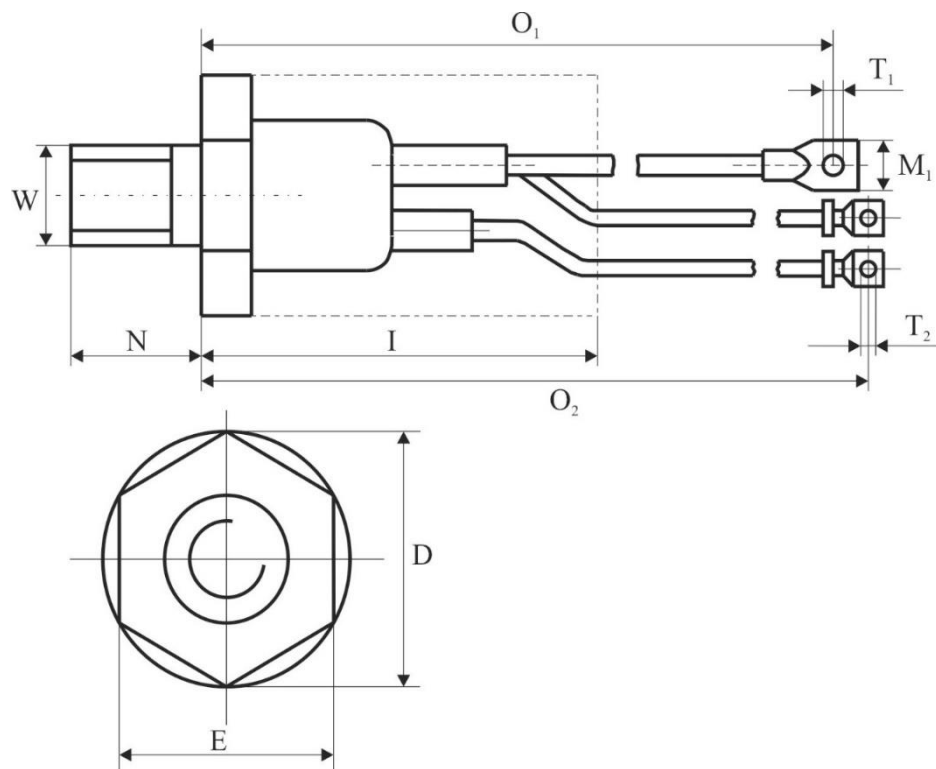


Рисунок 3.4 – Габаритні та установочні розміри тиристора T161-160

Габаритні та монтажні розміри напівпровідникового тиристора T161-160 наведено у табл. 3.3, рис. 3.4. Технічні дані напівпровідникового тиристора типу T161-160 наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Гранично допустимі значення параметрів тиристора T161-160

Параметр	Значення
Повторна імпульсна зворотна напруга в закритому стані, В	300...1600
Максимально допустимий середній струм, А	160
Діючий струм у відкритому стані, А	196
Критична швидкість наростання струму, А/мкс	80
Порогова напруга, В	1,15
Диференціальний опір у відкритому стані, мОм	1,4
Час відключення, мкс	250
Критична швидкість наростання напруги, В/мкс	20...1000
Маса, кг, не більш	0,298

Для тиристора T161-160 рекомендовано використовувати охолоджувач типу O171-80 [11].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

З формулою 3.17 розраховується зовнішня характеристика регулятора напруги G1. Результати розрахунків зведено до табл. 3.5, а сама характеристика представлена на рис. 3.5.

Таблиця 3.5 – Діюче значення напруги на навантаженні

α , град	70,4	90	120	150	180
U_H , В	220	207,5	186,7	163,7	137,3

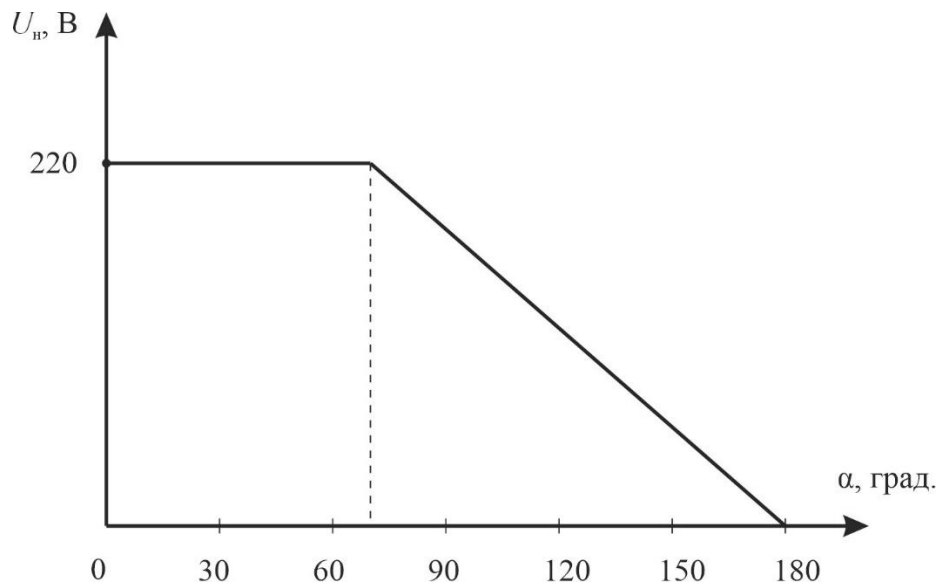


Рисунок 3.5 – Регульовальна характеристики регулятора напруги G1

Для захисту тиристорного регулятора напруги (G1) від робочих і аварійних перенавантажень використовуються запобіжники FU1...FU3 та автоматичний вимикач QS1.

Номінальний струм запобіжника з урахуванням максимального значення робочого струму та перевантажень визначаємо за формулою (3.4):

$$I_{\text{пвн}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 73,5 = 176,4 \approx 180 \text{ А.}$$

В результаті обирається запобіжник типу ПР-2-200 [12], який має наступні параметри:

- струм 200 А;
- граничний струм відключення 11000 А (при напрузі 380 В), 10000 А (при напрузі 500 В).

Обирається автоматичний повітряний вимикач А3710Б, з наступними параметрами [12]:

- номінальний струм 160 А;
- напруга 440 В;
- граничний струм відключення 40 кА;
- струм уставки розщеплення 250 А;
- час відключення 0,03 с.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЛІНІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА

Лінійний генератор представляє собою напівпровідниковий перетворювач, який складається з двох послідовно увімкнених напівпровідникових мостів VD2, трансформаторів TV2-1, TV2-2 та керованого перетворювача напруги G2 (рис. 4.1).

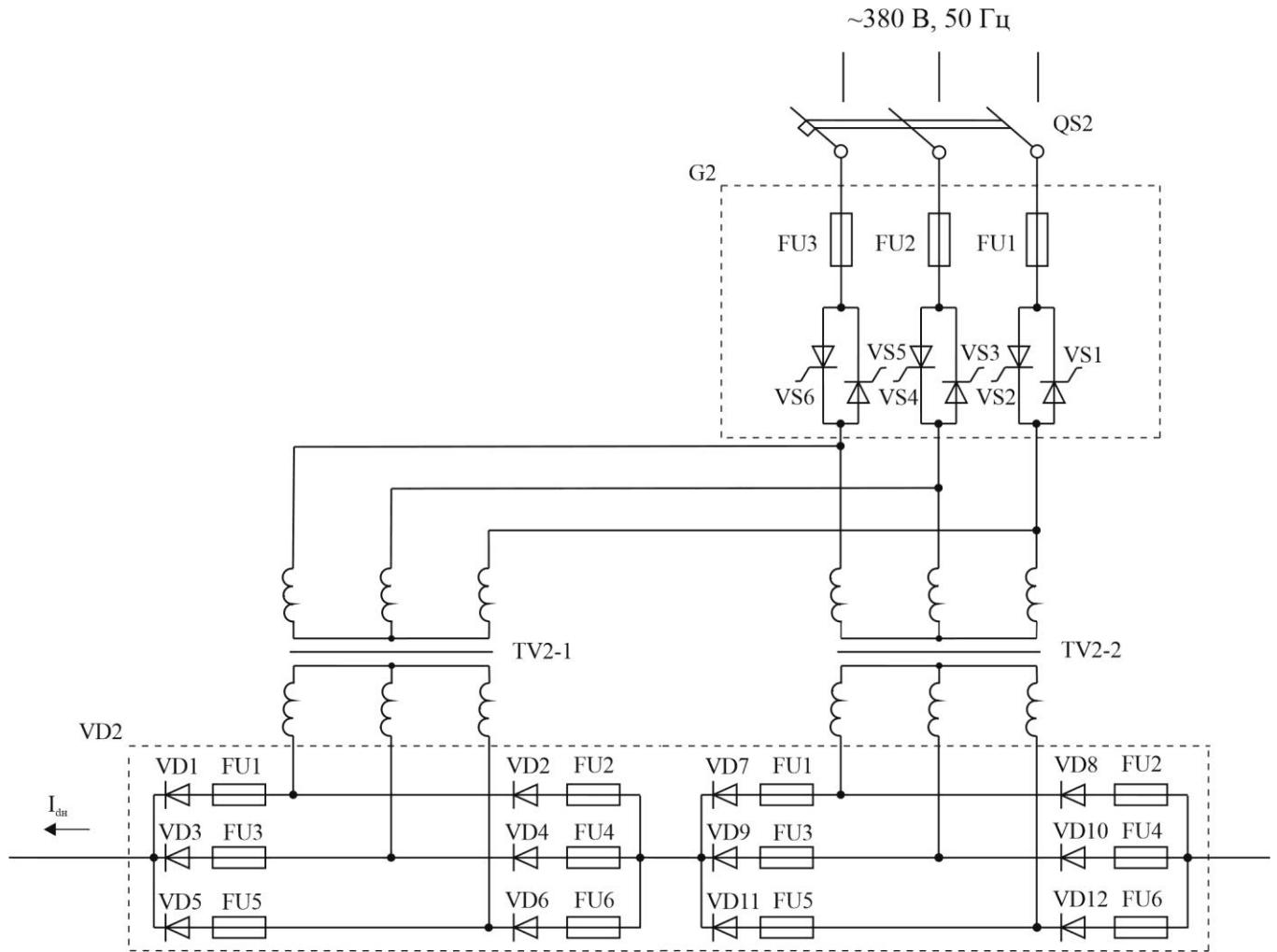


Рисунок 4.1 – Електрична схема лінійного генератора

4.1 Розрахунок та підбір елементів випрямляча VD2 ЛГ

Для забезпечення на виході кожного з випрямних мостів перетворювача VD2 напруги 500 В (рис. 4.1) вторинні обмотки трансформаторів (TV2-1, TV2-2) повинні мати лінійну напругу 380 В. Навантаження на стороні постійного струму не перевищує 20 А. Таким чином, номінальне значення випрямленого струму

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$I_{dH} = 20$ А та напруги $U_{dH} = 500$ В. Відповідно напруга холостого ходу на виході випрямних мостів перетворювача VD2 буде складати:

$$U_{d0} = 1,1 \cdot U_{dH}, \quad (4.1)$$

$$U_{d0} = 1,1 \cdot 500 = 550 \text{ В.}$$

Максимальне значення зворотної напруги фази [10] за формулою (3.1):

$$U_{m.зв} = \sqrt{6} \cdot \frac{550}{2,34} = 575,6 \text{ В.}$$

Середній струм фази перетворювача [10] за формулою (3.2):

$$I_v = \frac{1}{3} \cdot 20 = 6,7 \text{ А.}$$

За знайденими значенням $U_{m.зв}$ та I_v вибирається напівпровідниковий діод, що відповідає умові (3.3):

$$\begin{cases} U_{\text{доп}} \geq \frac{575,6}{0,75} = 767,5 \text{ В} \\ I_{v.\text{max}} \geq 2 \cdot 6,7 = 13,4 \text{ А} \end{cases}.$$

В результаті для напівпровідникового випрямляча VD2 необхідно 12 діодів (VD1...VD12, рис. 4.1) типу Д112-16 [11].

Напівпровідниковий пристрій типу Д112-16 призначено для застосування у колах постійного та змінного струму і від аналогів його вирізняють покращені робочі, температурні та масо-габаритні показники. Технічні дані діоду Д112-16 наведено у табл. 4.1.

Для напівпровідникового кремнієвого діоду Д112-16 рекомендується охолоджувач типу О111-60 [11]. Охолоджувачі такого типу представляють собою алюмінієвий радіатор і використовуються для охолодження силових діодів, тиристорів штиркового виконання з типом корпусу SD1, ST1. Потужність, що розсіюється радіатором, за умови природного охолодження, складає 10 Вт.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Гранично допустимі значення параметрів діоду Д112-16

Параметр	Значення
Повторна імпульсна зворотна напруга, В	100...1400
Максимально допустимий середній прямий струм, А	16
Діючий прямий струм, А	270
Ударний прямий струм що не повторюється, А	270
Імпульсна пряма напруга, В	1,35
Порогова напруга (не більше), В	0,9
Диференціальний опір (не більше), мОм	10,5
Тепловий опір перехід – корпус, ° С/Вт, не більш (постійний струм)	2,5
Ймовірність безвідмовної роботи за 1000 год.	0,999
Маса, кг, не більш	0,06

Габаритні та монтажні розміри діода типу Д112-16 наведено у табл. 4.2, рис. 4.2.

Таблиця 4.2 – Габаритні розміри діода Д112-16

Параметр	Значення, мм	Параметр	Значення, мм
D	12	N	11
E	11	T ₁	2,2
I	18	W	M5
M ₁	4	-	-

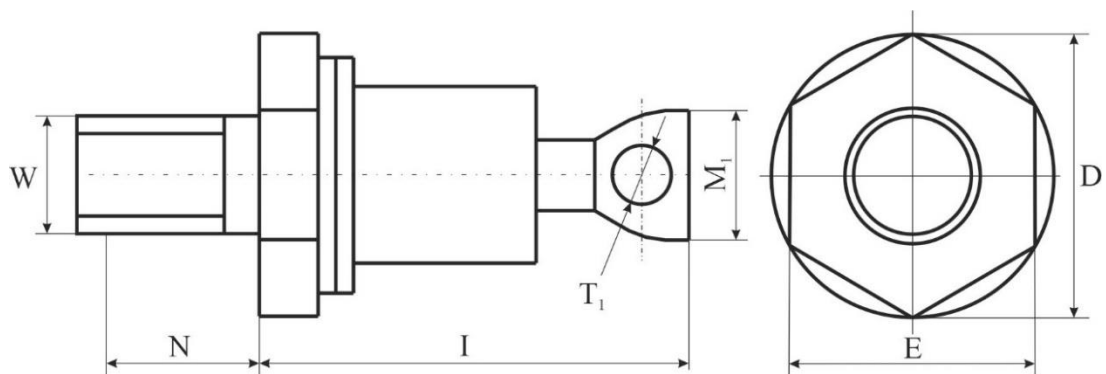


Рисунок 4.2 – Габаритні розміри діода Д112-16

У плечі напівпровідникових мостів перетворювача VD1 вмикаються запобіжники (FU1...FU6), які повинні спрацювати у разі електричного пробоя

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

напівпровідника, а також при відмові автомату QS2. Номінальний струм запобіжника з урахуванням можливих робочих перенавантажень визначається за формулою (3.4):

$$I_{\text{пвн}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 13,4 = 32,16 \text{ А.}$$

В результаті обирається запобіжник типу ПР-2-60 [12].

4.2 Розрахунок та вибір трансформаторів TV2-1, TV2-2 ЛГ

Скориставшись формулою (3.5) визначається діюче значення струму фази вторинної обмотки трансформатора [13]:

$$I_2 = 20 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} = 16,3 \text{ А.}$$

Діюче значення струму фази первинної обмотки трансформатора у випадку коли коефіцієнт трансформації дорівнює одиниці $I_1 = I_2 = 16,3 \text{ А}$.

Типова потужність трансформатора [13] обраховується за формулою (3.10):

$$S_{\text{т}} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 16,3 = 10728,3 \text{ В}\cdot\text{А.}$$

За результатами розрахунків обирається трансформатор силовий трифазний сухий захищений загального призначення ТСЗ–10/0,66 [14] з наступними паспортними даними:

- номінальна потужність $S_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}\cdot\text{А}$;
- номінальна напруга $U_{\text{ном}} = 660 \text{ В}$;
- напруга короткого замикання $u_{\text{к}} = 4,5\%$;
- струм холостого ходу $i_0 = 7\%$;
- втрати потужності холостого ходу $p_{\text{х}} = 90 \text{ Вт}$;
- втрати потужності короткого замикання $p_{\text{к}} = 280 \text{ Вт}$.

Обмотки трансформаторів серії ТСЗ виконуються із алюмінієвого проводу з ізоляцією класу нагрівостійкості В. Ці трансформатори мають природне повітряне охолодження в захищеному виконанні, а також захисний кожух, що оберігає

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

активну частину трансформатора від попадання сторонніх предметів та допускаючи доступ охолоджуючого повітря.

4.3 Розрахунок та підбір елементів регулятора напруги G2 ЛГ

Регулятор напруги G2 (рис. 4.1), будується по симетричній трифазній схемі і дозволяє регулювати напругу від 0 до 380 В, його типова потужність розраховується виходячи з режиму роботи стенду:

1. використання в складі стенду випробувань за методом взаємного навантаження з паралельним з'єднанням мостів. У цьому випадку струм навантаження на кожен міст випрямляча VD2 приймається рівним 10 А (тобто загальний струм навантаження на регулятор складатиме $I_{дн} = 20$ А), а напруга на виході кожного моста складає $U_{дн} = U_{дн1} = U_{дн2} = 500$ В (фактично потрібно 375 В). Типова потужність регулятора буде складати:

$$S_p = 1,05 \cdot I_{дн} \cdot U_{дн} \cdot 10^{-3}, \quad (4.2)$$

$$S_p = 1,05 \cdot 20 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 10,5 \text{ кВт.}$$

2. використання в складі стенду випробувань за методом взаємного навантаження з послідовним з'єднанням мостів випрямляча VD2, то типова потужність регулятора G2 повинна бути не меншою ніж:

$$S_p = 1,05 \cdot I_{дн} \cdot (U_{дн1} + U_{дн2}) \cdot 10^{-3}. \quad (4.3)$$

Діюче значення струму навантаження для регулятора G2 дорівнює діючому значенню струму фази первинної обмотки трансформатора, тобто $I_1 = 16,3$ А. Оскільки регулятор G2 працює на два трансформатори (VT2-1, VT2-2), то його потужність подвоюється:

$$S_{G2} = 2 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{3} \text{ В}\cdot\text{А}. \quad (4.4)$$

$$S_{G2} = 2 \cdot 380 \cdot 16,3 \cdot \sqrt{3} = 21456,6 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Допустиме середнє значення струму через тиристор визначається за формулою (3.18) буде не менш ніж [10]:

$$I_{T.\max} = 2 \cdot 2 \cdot 16,3 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi} = 29,4 \text{ А.}$$

Максимальна зворотна напруга тиристора визначається за формулою (3.19):

$$U_{зв} \geq \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 220 = 435,6 \text{ В.}$$

За отриманими значеннями $U_{зв}$, $I_{T.\max}$ для побудови регулятора напруги G2 обирається тиристор типу T161-160 [11] у кількості 6 штук, на схемі має позначення VS1...VS6 (рис. 4.1).

Габаритні та монтажні розміри напівпровідникового тиристора T132-40 наведено у табл. 4.3, рис. 4.4.

Таблиця 4.3 – Габаритні розміри тиристора T132-40

Параметр	Значення, мм	Параметр	Значення, мм
D	19	N	14
E	17	T ₁	4,3
I	33	T ₂	1,5
M ₁	6,3	W	M8

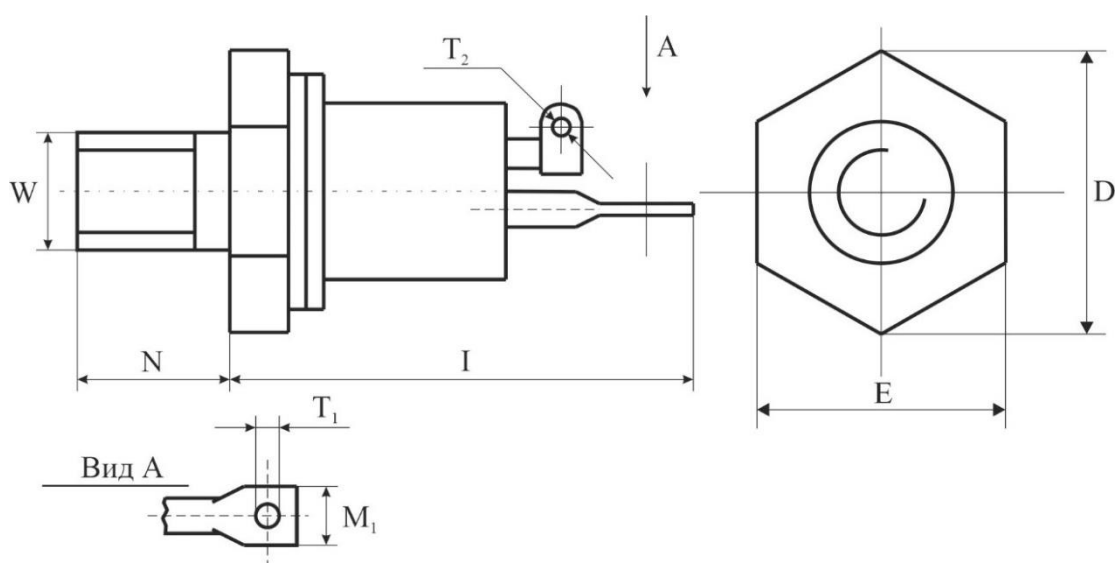


Рисунок 4.4 – Габаритні та установочні розміри тиристора T132-40

Технічні дані тиристорів Т132-40 наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Гранично допустимі значення параметрів тиристорів Т132-40

Параметр	Значення
Повторна імпульсна зворотна напруга в закритому стані, В	100...1200
Максимально допустимий середній струм, А	40
Діючий струм у відкритому стані, А	62,8
Критична швидкість наростання струму, А/мкс	100
Порогова напруга, В	1,05
Диференціальний опір у відкритому стані, МОм	5,6
Час відключення, мкс	10
Критична швидкість наростання напруги, В/мкс	50...1000
Маса, кг, не більш	0,027

Для напівпровідникового тиристора Т132-40 рекомендовано використовувати охолоджувач типу О231-80 [11].

Для захисту тиристорного регулятора напруги (G2) від робочих і аварійних перенавантажень використовуються запобіжники FU1...FU3 та автоматичний вимикач QS2.

Номінальний струм запобіжника з урахуванням максимального значення робочого струму та перевантажень визначається за формулою (3.4):

$$I_{\text{пвн}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 14,7 \approx 35 \text{ А.}$$

В результаті обирається запобіжник ПР-2-60 [12], який має наступні параметри:

- номінальний струм 60 А;
- граничний струм відключення 4500 А (при напрузі 380 В).

Автоматичний вимикач з електромагнітним розчіплювачем типу АС-25, [12]:

- номінальний струм 25 А;
- напруга 220-380 В;
- граничний струм відключення 2 кА;
- струм уставки розщеплення 1-20 А;
- час відключення 0,02 с.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги охорони праці при експлуатації стенду взаємного навантаження

Усі працівники на території випробувальній станції, у тому числі обслуговуючий персонал стенду взаємного навантаження, повинні пройти інструктаж з техніки безпеки, знати і виконувати правила внутрішнього розпорядку.

Зборка схем на випробувальних стендах проводиться при повному знятті напруги живлення. У схемі обов'язково повинен бути видимий розрив кола живлення, для видимого контролю і впевненості у відсутності живлення на вводах у схему.

Корпуси електричних машини заземлюють. Оскільки захисне заземлення являється основним технічним засобом захисту людини від ураження електричним струмом.

Під час проведення випробувань, на вході до випробувального посту повинний горіти напис «Ідуть випробування», або висіти табличка з таким написом, також повинна бути табличка з написом «Стороннім вхід заборонено». Ці написи застерігають людей, які можуть випадково зайти на територію випробувальної станції, про існуючу небезпеку.

Подачу і зняття напруги виконують контакторами з механічним, електропневматичним, електромагнітним приводом або роз'єднувачем з ізолюваною тягою, оснащеним запобіжним щитом.

Усі оперативні переключення повинні здійснюватися з використанням діелектричного покриття полу, що є засобом захисту від ураження електричним струмом. Також під час роботи підходити до випробувальних машин персоналу можна тільки у випадку, якщо цього вимагає програма випробувань. При цьому необхідно прийняти міри, які застерігають від захвату одягу машиною, так як при випробуванні методом взаємного навантаження вали машин обертаються.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Під час випробувань не допускається виконувати на випробувальному полі роботи, непередбачені програмою випробувань. Так як можливий контакт з випробувальними машинами, що можуть призвести до ураження електричним струмом, або механічним ураженням.

При виникненні аварійної ситуації необхідно відключити напругу живлення стенду і прийняти всі необхідні заходи по усуненню причини та наслідків аварії.

При замірі параметрів електричної машини, які знаходяться під високою напругою, застосовують діелектричні засоби безпеки, щоб запобігти попаданню людини під високу напругу. Вимірювати опір ізоляції, контролювати нагрів підшипників, перевіряти стан електрощіткового апарату можна тільки після відключення напруги і повної зупинки обертання якоря. Це застереження виключає можливість ураження електричним струмом людини, а також виключає небезпеку механічного фактору.

5.2 Захисні бокування в схемі керування стендом

Схема, що зображена на рис. 5.1, має у своєму складі автоматичний вимикач QF4 який виконує дві функції:

- захист від струмів короткого замикання;
- захист від теплових перенавантажень.

Для підключення стенду, необхідно натиснути кнопку вимикача SA2 при цьому загориться лампа контролю подачі напруги. Живлення буде подано на електричне коло з контактором KM1, але тільки у тому випадку, якщо будуть закриті двері шафи лінійного генератора (SQ1), двері шафи вольтододаткової машини (SQ2), двері шафи керування (SQ3), ворота випробувальної станції (SQ4), панель пульта (SQ5). Якщо ці блокувальні контакти замкнені, то контактор KM1 замкне свій контакт K1.1, що призведе до включення котушки контактора KM2. Силкові контакти KM2 замикаються і включають живлення вольтододаткової машини, а слабкострумний контакт K2.1 замикаючись призведе до подачі напруги на контактор KM3, який вмикає лінійний генератор. Така конструкція схеми виключає можливість неправильної послідовності спрацювання апаратури при пуску.

Також у схемі передбачено захист від струмових перенавантажень.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

У силовому колі стоїть струмове реле КА, з його слабкострумівим замикаючим контактом у колі контактора КМ5. При великих струмах контакт КА замикається, що призведе до включення котушки КМ5, нормально замкнений контакт якого розмикає електричне коло, яке включає КМ2; що призводить до розбирання кола а також відключення живлення вольтододаткової машини і лінійного генератора.

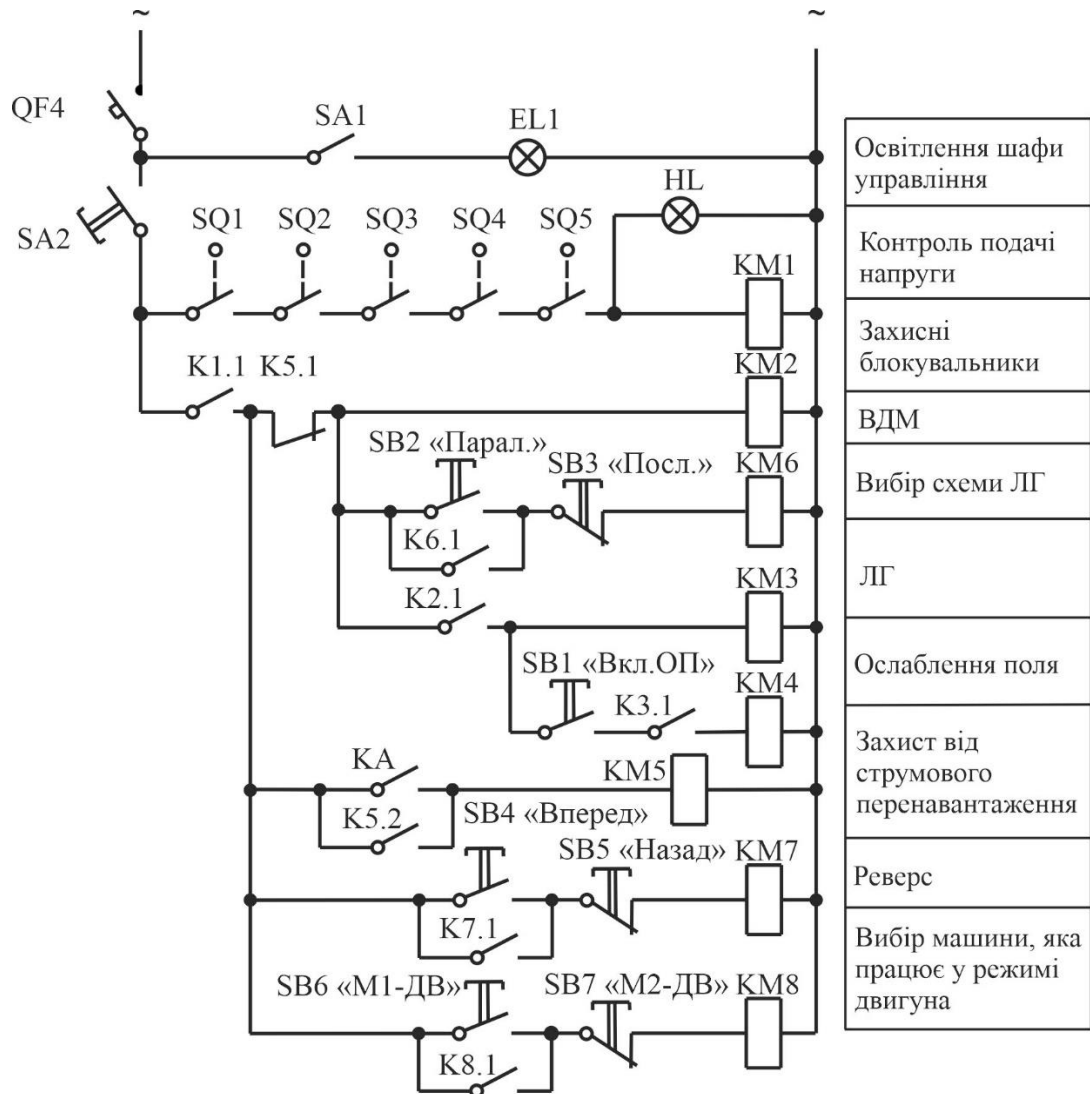


Рисунок 5.1 – Схема керування стендом електрична принципова

Контактор КМ1 замикає своїм контактором панель світлової сигналізації «Ідуть випробування».

SQ1 – контроль закритої двері шафи лінійного генератора;

SQ2 – контроль закритої двері шафи вольтододаткової машини;

SQ3 – контроль закритої двері шафи управління;

SQ4 – контроль закритої двері шафи випробувальної станції;

SQ5 – контроль закритої панелі пульта.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Компонувальні рішення.

Обладнання випробувальної станції розташовується на окремому відокремленому сітчастою огорожею ділянці цеху. Площа для станції 12×6 метрів квадратних.

Станція керування встановлюється у шафах які розташовані у огорожі в одну лінію. Пульти управління, установка для високовольтних випробувань встановлюються у пості управління, яке представляє приміщення, що зачиняється з комфортними умовами для оператора випробувальної станції габаритами 1,7×3×2,5 м. В окремій загорожі розташовані ємності для кисню. Кабелі розташовуються у кабельних каналах, які розташовані у полі станції. Вихід кабелів до обладнання із кабельних каналів передбачені через короткі ділянки сталевих труб.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі проведений аналіз сучасних підходів при випробуваннях тягових електричних машин вагонів метрополітенів на відповідність вимогам ДСТУ ГОСТ 2582:2017 в процесі їх виготовлення так і після їх ремонту. Встановлено, що з погляду енергоефективності процесу випробувань найбільш доцільним є спосіб організації випробувань опосередкованим методом, а точніше методом взаємного навантаження тягових електродвигунів з електростатичним покриттям втрат в схемі. Для покриття втрат у схемі використовують спеціальний лінійний генератор, а для зняття обмежень пов'язаних з насиченням магнітної системи машин або нагріванням обмоток збудження до небезпечних температур в схему включається вольтододаткова машина.

Енергетичним критерієм працездатності схеми взаємного навантаження є умова компенсації усіх втрат в схемі зовнішніми джерелами. Принципово можливі наступні варіанти компенсації втрат потужності в двигуні, генераторі і перетворювачах:

- 1) компенсація усіх видів втрат двома окремими джерелами електричної потужності;
- 2) компенсація окремих видів втрат двома окремими джерелами електричної потужності;
- 3) компенсація усіх втрат одним джерелом механічної потужності;
- 4) компенсація окремих видів втрат двома окремими джерелами механічної потужності;
- 5) компенсація електричних втрат джерелом електричної потужності, а механічних і магнітних – джерелом механічної потужності
- 6) компенсація електричних втрат джерелом механічної потужності, а механічних і магнітних – джерелом електричної потужності.

Найбільш раціональним з точки зору рівномірності навантаження машин, що випробовуються є варіант 5, за якого електромагнітні потужності двигуна і генератора рівні.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

При розв'язанні задач оптимізації схеми взаємного навантаження може виявитись, що з точки зору мінімізації енергозатрат на випробування чи собівартості випробувальної станції раціональним буде інший варіант. Для зменшення негативного впливу фактору недовантаження машини, необхідно вибирати такі методи забезпечення взаємного навантаження, при яких різниця теплової завантаженості машин, що випробовуються буде мінімальною.

Автором запропоновано технічне та схемне рішення для реалізації лінійного генератора та вольтододаткової машини з урахуванням специфіки випробувань тягових електродвигунів вагонів метрополітену. Проведені усі необхідні розрахунки та вибір силового електричного обладнання, апаратури захисту та апаратури керування для стенду взаємного навантаження.

Розроблені основні положення щодо безпечної експлуатації стенду взаємного навантаження.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2582:2017. Машини електричні обертові тягові. Загальні технічні умови (ГОСТ 2582-2013, IDT; IEC 60349-1:2010, NEQ; IEC 60349-2:2010, NEQ). [Чинний від 2017-03-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 55 с.
2. Сінчук О. М., Сушко Д. Л. До проблеми побудови комплексної, безперервної системи діагностики тягових електричних машин рухомого складу // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганськ, 2003. № 9(67). С. 25–28.
3. Буряк В. М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання: навч. посіб. Харків: ХДАМГ, 2001. 386 с.
4. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. Ленинград: Энергоатомиздат, 1984. 408 с.
5. Юхимчук В. Д. Технологія виробництва електричних машин. Харків: Тім Пабліш Груп, 2014. 750 с.
6. Афанасов А. М. Теоретический анализ энергетических процессов при взаимной нагрузке тяговых электрических машин постоянного тока // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Наука та прогрес транспорту. Днепропетровск, 2009. № 25. С. 258–262.
7. Афанасов А. М. Енергетичні принципи забезпечення взаємного навантаження електричних машин постійного струму // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Наука та прогрес транспорту. Дніпропетровськ, 2009. № 26. С. 34–38.
8. Афанасов А. М. Компенсація електричних втрат при взаємному навантаженні тягових електромашин за схемою Гопкінсона // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Наука та прогрес транспорту. Дніпропетровськ, 2009. №28. С. 34–37.
9. Афанасов А. М. Умови компенсації механічних та магнітних втрат потужності при взаємному навантаженні тягових електричних машин по схемі Потье // Вісник Дніпропетровського національного університету

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

залізничного транспорту. Наука та прогрес транспорту. Дніпропетровськ, 2009. №29. С. 59–62.

10. Шавьолкін О. О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 403 с.
11. Чебовский О. Г., Моисеев Л. Г., Недошивин Р. П. Силовые полупроводниковые приборы: справочник. Издание 2-е, переработанное и дополненное. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 400 с.
12. Электротехнический справочник: в 3 т. Издание 7-е, переработанное и дополненное / гл. ред. И. Н. Орлов. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 712 с.
13. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для вузов. Издание 5-е, переработанное и дополненное. Москва: Энергия, 1986. 528 с.
14. Справочник по проектированию электроснабжения. Издание 3-е, переработанное и дополненное / Под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовара. Москва: Энергия, 1980. 456 с.
15. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум: навчальний посібник. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
16. Правила улаштування електроустановок. [Чинний від 2017-07-21]. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

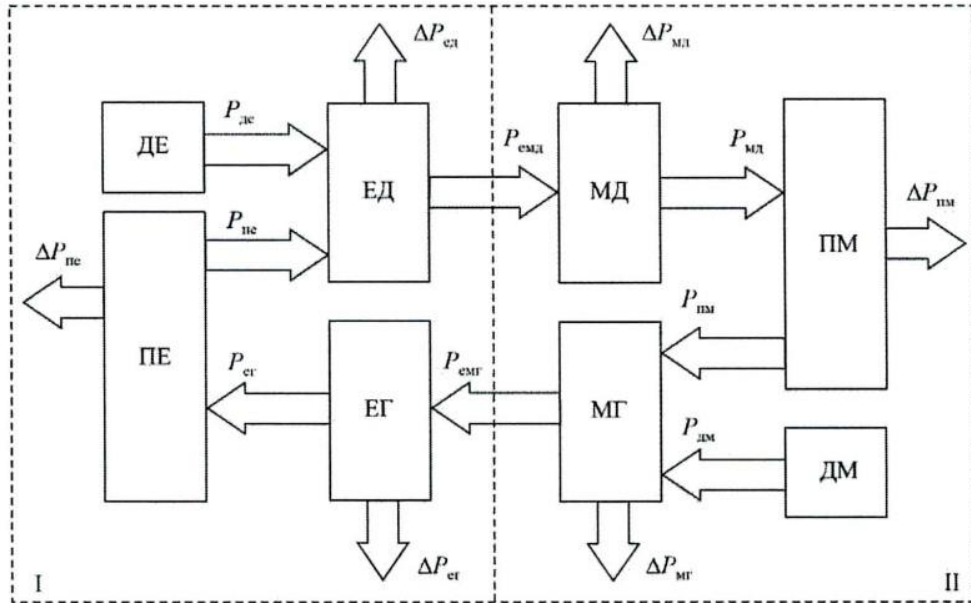
- 1) Сучасні тенденції розвитку способів післяремонтних випробувань тягових електродвигунів;
- 2) Вибір та обґрунтування схемного рішення стенду для випробування тягових двигунів типу ДК117 ДМ/ВМ (лист 1);
- 3) Вибір та обґрунтування схемного рішення стенду для випробування тягових двигунів типу ДК117 ДМ/ВМ (лист 2);
- 4) Розрахунок та вибір елементів вольтододадкової машини та лінійного генератора;

					6.141.190040.ПЗ	Лист
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А
Графічні роботи

					6.141.190040.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Універсальна схема перетворення потужностей в основному контурі схеми взаємного навантаження



Енергетичним критерієм працездатності схеми взаємного навантаження є умова компенсації усіх втрат в схемі зовнішніми джерелами (ДЕ, ДМ).

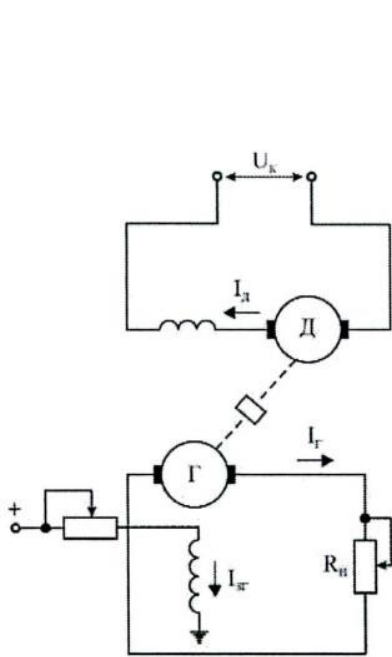


Схема безпосереднього навантаження без повернення енергії в мережу

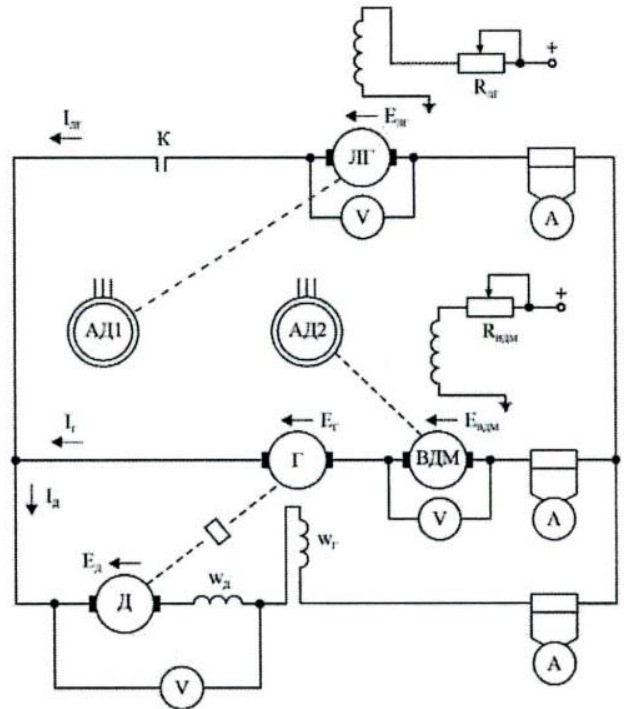


Схема взаємного навантаження тягового електродвигуна

Сучасні тенденції розвитку способів післяремонтних випробувань тягових електродвигунів				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
			<i>[Signature]</i>	
Зав. кафед.	Муха А.М.		<i>[Signature]</i>	
Н. контр.	Карзова О.О.		<i>[Signature]</i>	
Осн. керів.	Устименко Д.В.		<i>[Signature]</i>	06.06.24р.
Розробив	Гурбіч І.С.		<i>[Signature]</i>	06.06.24р.
Додаток А 6.141.190040.01				
		Стад.	Аркуш	Аркушів
			54	57
Український державний університет науки і технологій, група ЕП19120				

Технічні дані тягового двигуна
типу ДК117ДМ/ВМ

Параметр	Значення
Режим роботи	S2 (60 хв.)
Номінальна потужність, кВт	114
Номінальний струм, А	295
Струм обмотки якоря (60 хв.), А	340
Номінальна напруга, В	375
Частота обертання, об/хв	1500
Максимальна частота обертання, об/хв	3400
Система збудження	Послідовна
Спосіб охолодження	самовентиляція
Маса (не більше), кг	760

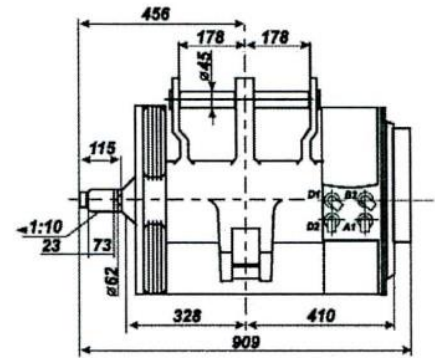
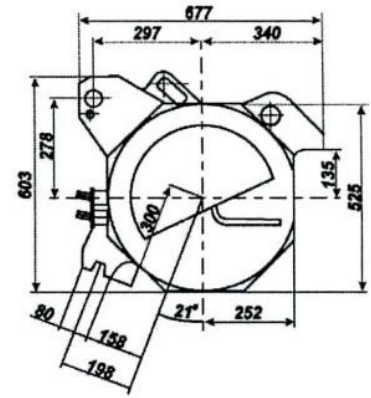
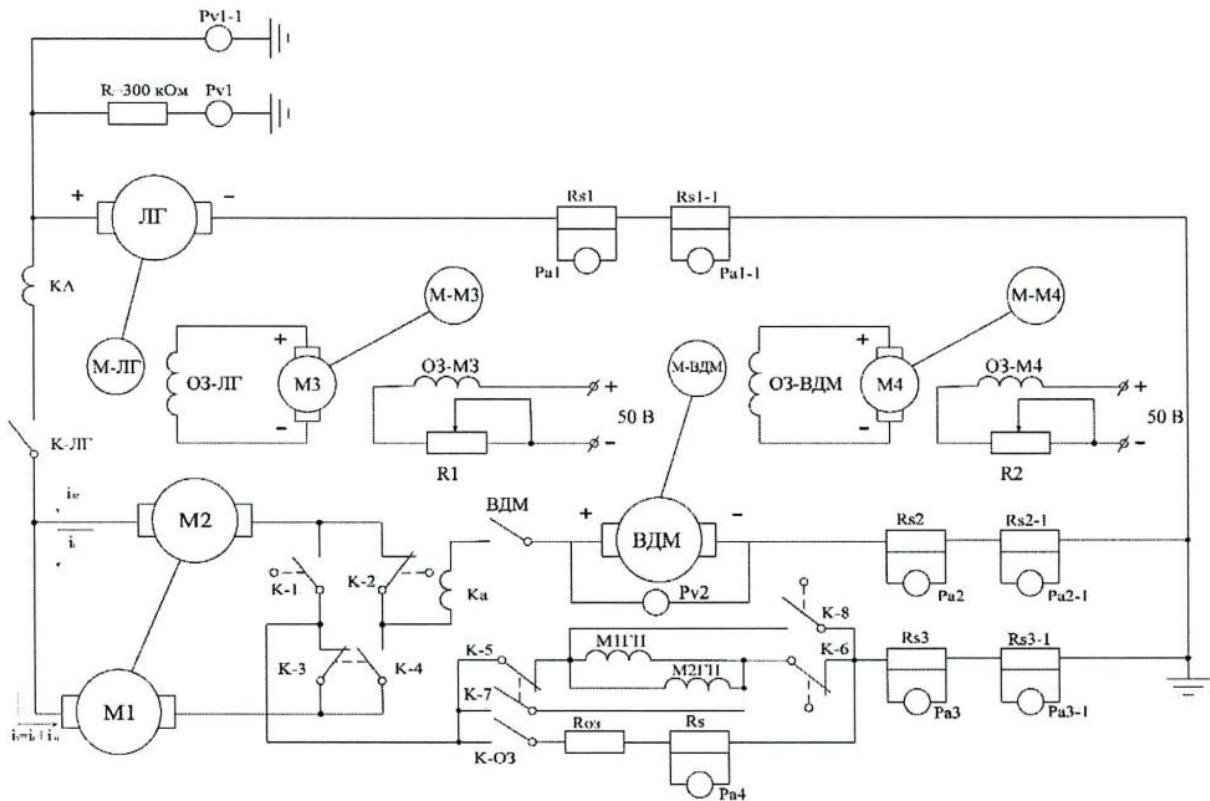


Схема стенду взаємного навантаження з електромеханічним способом покриття втрат



				Вибір та обґрунтування схемного рішення стенду для випробування тягових двигунів типу ДК117 ДМ/ВМ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Стад.	Аркуш
						55
Зав. кафедр.	Муха А.М.		<i>[Signature]</i>		Аркушів	
Н. контр.	Карзова О.О.		<i>[Signature]</i>		57	
Осн. керів.	Устименко Д.В.		<i>[Signature]</i>	06.06.22р	Український державний університет науки і технологій, група ЕП19120	
Розробив	Гурбіч І.С.		<i>[Signature]</i>	06.06.22р		
Додаток А 6.141.190040.02						

Схема стенду взаємного навантаження з комбінованим способом покриття втрат

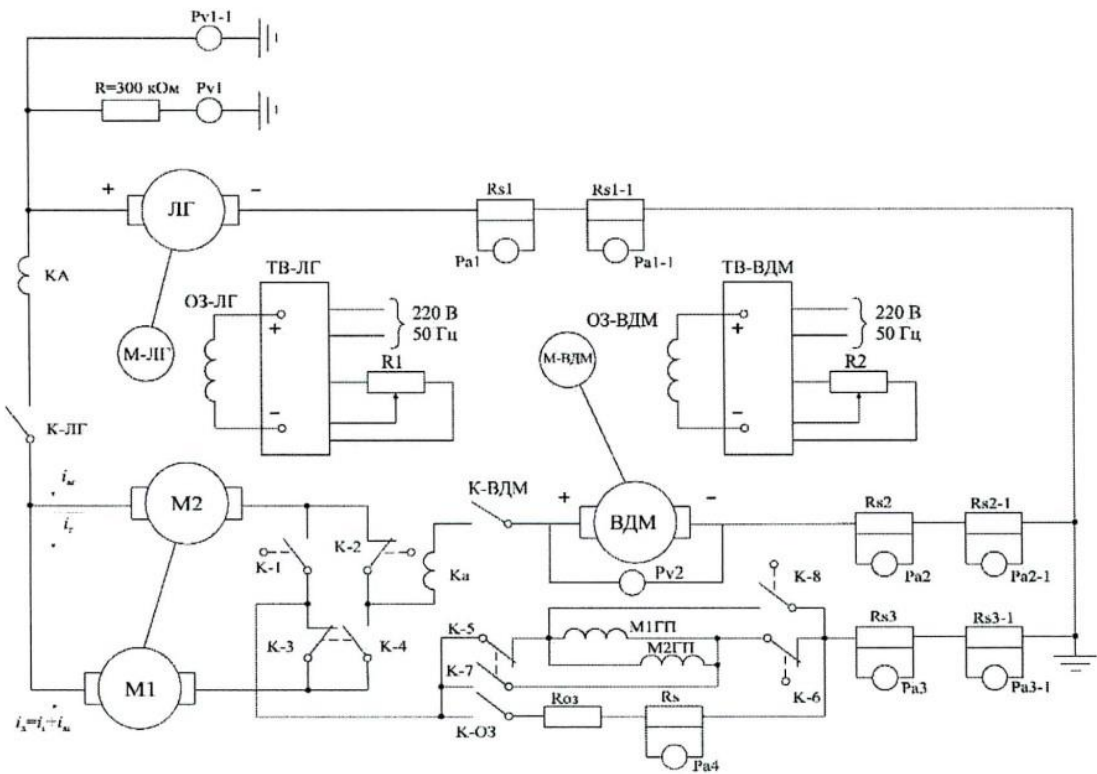
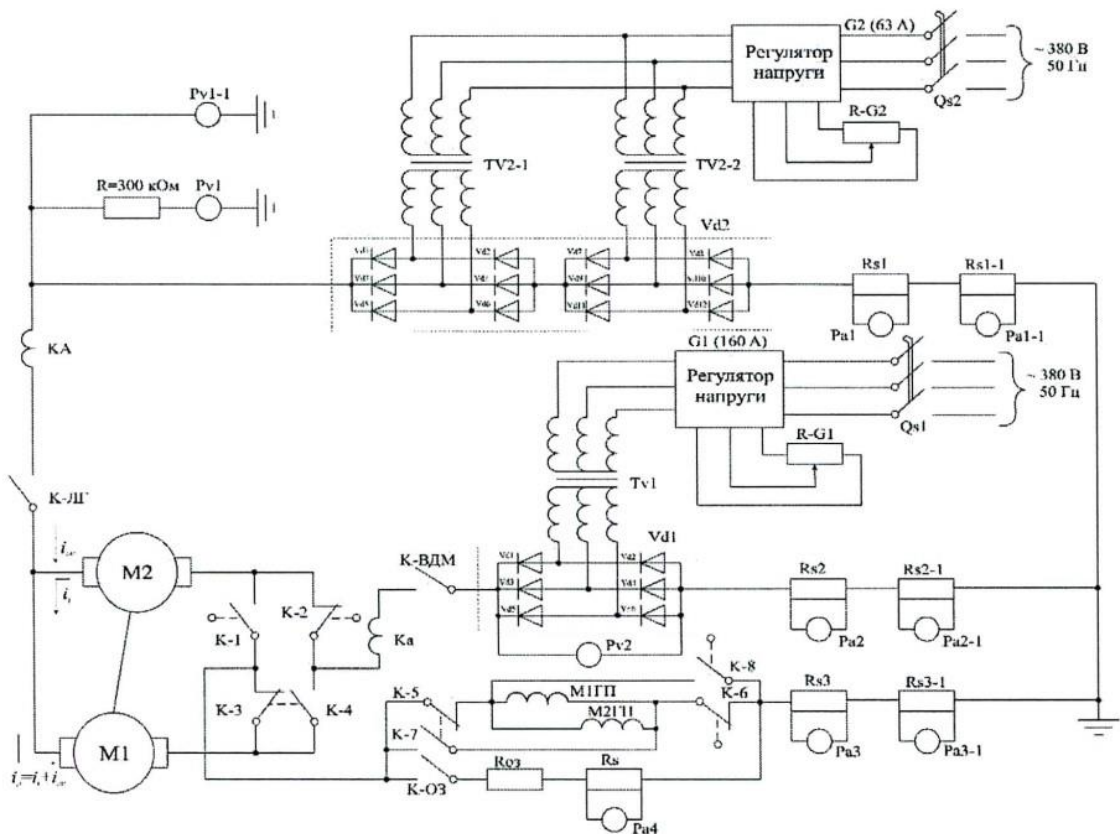
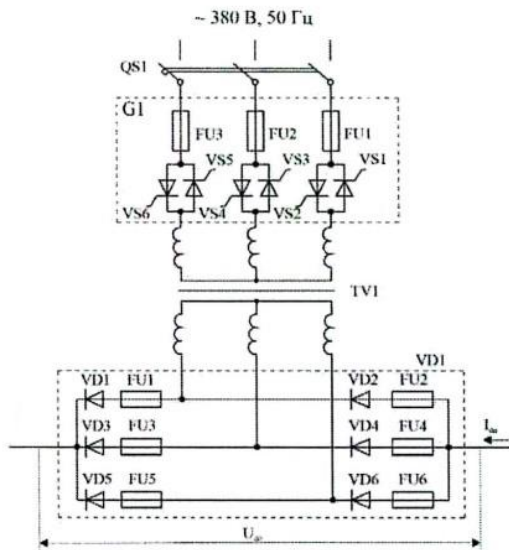


Схема стенду взаємного навантаження з електростатичним способом покриття втрат

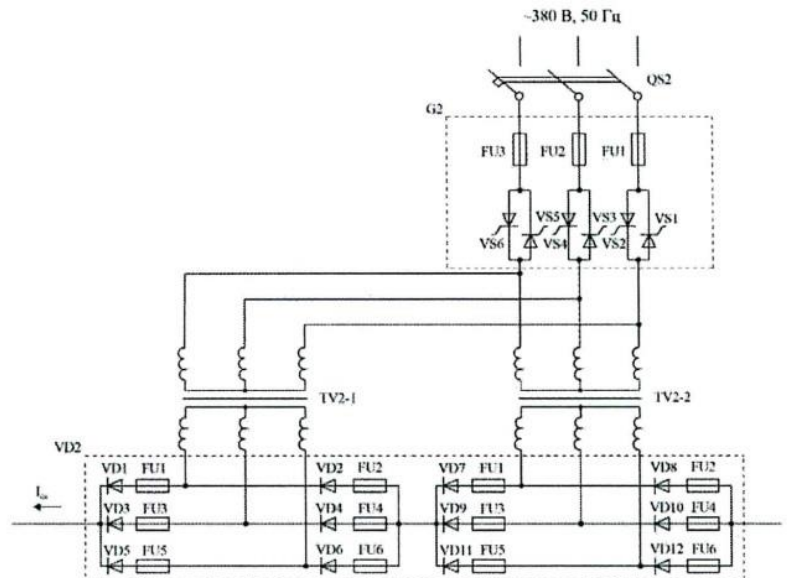


Вибір та обґрунтування схемного рішення стенду для випробування тягових двигунів типу ДК117 ДМ/ВМ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
			<i>[Signature]</i>	
Зав. кафедр.	Муха А.М.		<i>[Signature]</i>	
Н. контр.	Карзова О.О.		<i>[Signature]</i>	
Осн. керів.	Устименко Д.В.		<i>[Signature]</i>	06.06.2017
Розробив	Гурбіч І.С.		<i>[Signature]</i>	06.06.2017
Додаток А 6.141.190040.02			Стад.	Аркуш
				56
			Український державний університет науки і технологій, група ЕП19120	

Електрична схема ВДМ



Електрична схема ЛГ



Специфікація обладнання ВДМ

№ п/п	Обладнання	Позначення на схемі	Кількість
1	Діод типу В500	VD1...VD6	6
2	Охолоджувач типу О243-150	-	6
3	Запобіжник типу ПП71 для захисту діодного мосту VD1	FU1...FU6	6
4	Трансформатор силовий трифазний сухий типу ТС3-100/0,66	TV1	1
5	Тиристор типу Т161-160	VS1...VS6	6
6	Охолоджувач типу О171-80	-	6
7	Запобіжник типу ПР-2-200 для захисту регулятора напруги G1	FU1...FU3	3
8	Автоматичний повітряний вимикач типу А3710Б	QS1	1

Специфікація обладнання ЛГ

№ п/п	Обладнання	Позначення на схемі	Кількість
1	Діод типу Д112-16	VD1...VD12	12
2	Охолоджувач типу О111-60	-	12
3	Запобіжник типу ПР-2-60 для захисту діодних мостів VD2	FU1...FU6 2 комплекти	12
4	Трансформатор силовий трифазний сухий типу ТС3-10/0,66	TV2-1, TV2-2	2
5	Тиристор типу Т132-40	VS1...VS6	6
6	Охолоджувач типу О231-80	-	6
7	Запобіжник типу ПР-2-60 для захисту регулятора напруги G2	FU1...FU3	3
8	Автоматичний вимикач з електромагнітним розчіплювачем типу АС-25	QS2	1

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата					Розрахунок та вибір елементів вольтододавкової машини та лінійного генератора					
								Стад.	Аркуш	Аркушів
Зав. кафед.	Муха А.М.				Додаток А 6.141.190040.03			57	57	
Н. контр.	Карзова О.О.							Український державний університет науки і технологій, група ЕП19120		
Осн. керів.	Устименко Д.В.									
Розробив	Гурбіч І.С.									