

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ – 11 З
ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ «ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИЙ
ПЕРЕТВОРЮВАЧ – ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

Виконав: здобувач вищої освіти групи ЕЕМ- 20

Богдан ЛЕЛЕКА

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Нормоконтролер _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав

ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг

2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Лелека Богдан Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Електротехнічний комплекс електровоза ВЛ – 11 з використанням системи «широко-імпульсний перетворювач – двигун постійного струму»

2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2024 р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Мета роботи – розробка системи широко-імпульсного перетворювача – двигун постійного струму у комплексі електровоза ВЛ – 11. Завдання кваліфікаційної роботи: з'ясувати структуру існуючих типів перетворювачів; проаналізувати технічні засоби існуючих системи для роботи тягового електроприводу електровозу ВЛ-11; розробити концептуальні рішення щодо модернізації електротехнічного комплексу електровоза ВЛ-11

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

1. Загальні відомості та характеристики електровозу ВЛ 11 2. Характеристика електромеханічної системи, та розрахунок основних характеристик електроприводу 3. Симуляція розімкнутої та замкненої тягової електромеханічної системи електровозу ВЛ 11.

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

1. Загальний вигляд ВЛ 11 та його складових. 2. Силова схема електровозів ВЛ 11 3. Структурна схема математичної моделі привода 4. Результати моделювання роботи системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Пересунько І.І.		
II	Пересунько І.І.		
III	Пересунько І.І.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Визначити за нормативно-технічною документацією сфери використання <u>електровозів ВЛ 11</u></i>	<i>3 травня 2021 р.</i>
2	<i>Вивчити та описати основні типи систем керування електровозом</i>	<i>6 травня 2021 р.</i>
3	<i>З'ясувати структуру та типи електроприводу <u>електровозів ВЛ 11</u></i>	<i>11 травня 2021 р.</i>
4	<i>Вивчення особливостей роботи ШПП-ТД</i>	<i>13 травня 2021 р.</i>
5	<i>Визначення концептуальних напрямків розвитку систем керування</i>	<i>17 травня 2021 р.</i>
6	<i>Розрахунок основних параметрів схем заміщення електроприводу та систем керування</i>	<i>20 травня 2021 р.</i>
7	<i>Розрахунок та визначення основних параметрів системи підлеглого керування</i>	<i>27 травня 2021 р.</i>
8	<i>Моделювання розімкненої системи електроприводу ШПП-ТД</i>	<i>3 червня 2021 р.</i>
9	<i>Моделювання замкненої системи електроприводу ШПП-ТД</i>	<i>10 червня 2021 р.</i>

Дата видачі завдання 30.04.2024 р.

Здобувач вищої освіти
ЛЕЛЕКА.

(підпис)

Богдан

(ПІБ)

Керівник роботи

(підпис)

Ігор ПЕРЕСУНЬКО

(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Електротехнічний комплекс електровоза ВЛ – 11 з використанням системи «широотно-імпульсний перетворювач – двигун постійного струму»: 44 с., 23 рис., 19 літературних джерел.

Досліджуваний об'єкт - електромеханічна система тягового електровозу ВЛ – 11, з перспективою модернізації на більш сучасні системи керування тяговими електродвигунами.

У першому розділі обґрунтовано та вибрано систему електроприводу ШП – ДПС. При встановленні такої системи не потрібні значні зміни в конструкції візків, оскільки залишаються використовуватися наявні двигуни. Здійснюється лише невелике переобладнання та встановлення компактної системи управління двигуном, можливо, з внесенням змін у пульт керування водія.

У другому розділі було проведено розрахунок параметрів тягового електричного двигуна для електровозу ВЛ 11. Після цього були побудовані основні електромеханічні та енергетичні характеристики тягового двигуна ТЛ-2К1 для електромеханічної системи електровозу ВЛ 11.

У третьому розділі були розроблені імітаційні моделі управління за допомогою пакета Matlab. Ці моделі відтворюють принципову схему та процеси, що відповідають фізичним системам, і дозволяють досліджувати енергетичні характеристики тягового електроприводу постійного струму.

ЕЛЕКТРОВАЗ, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА,
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Лелека Б.І.			Реферат	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Пересунько І.І.					5	1
Н. Контр.		Пересунько І.І.				КНУ		
Затвердж.		Пересунько І.І.				гр. ЕЕМ-20		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОВОЗУ ВЛ 11	8
1.1. Призначення і технічна характеристика електровоза ВЛ – 11.....	8
1.2 Електрообладнання.....	14
1.3 Коротка характеристика тягового двигуна ТЛ-2К1.....	18
1.4. Напрямки модернізації електровозів постійного струму.....	20
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ, ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	22
2.1. Розрахунок параметрів електроприводу.....	22
2.2 Розрахунок енергетичних показників.....	28
РОЗДІЛ 3. СИМУЛЯЦІЯ РОЗІМКНУТОЇ ТА ЗАМКНЕНОЇ ТЯГОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОВОЗУ ВЛ11.....	31
3.1. Моделювання розімкненої системи	31
3.2 Моделювання замкненої системи	33
3.3 Системи тяги і тягового електропостачання.....	38
Висновки	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст			Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив	Лелека Б.І.							6	1	
Перевірів	Пересунько І.І									
Н. Контр.	Пересунько І.І							КНУ		
Затвердж.	Пересунько І.І							гр. ЕЕМ-20		

ВСТУП

Електрово́з (англ. electric locomotive; нім. Elektrolokomotive, E-Lok) — це локомотив, що приводиться в рух тяговими електродвигунами, які живляться електричним струмом від контактної мережі. Електровоз з'єднується з контактною мережею за допомогою струмознімача, а з рейками (зворотним проводом електричного кола) — через колісні пари. Рух від електродвигунів до коліс передається механічною передачею.

Існує кілька типів електровозів, включаючи кар'єрні електровози та тягові агрегати, маневрові електровози для внутрішньозаводського транспорту, а також для маневрово-вивізної роботи на підземних коліях великих промислових підприємств, спеціальні та рудникові електровози. Кар'єрні електровози можуть працювати як на змінному, так і на постійному струмі. Вони використовуються для перевезення технологічних і допоміжних вантажів на відкритих розробках.

У 1970-х роках на замовлення МПС СРСР проводилися роботи зі створення нового вантажного електровоза на базі ВЛ10, але з більшою потужністю. Спочатку намагалися пристосувати двосекційний ВЛ10 для роботи трьома секціями, а також були побудовані два дослідних двосекційних електровоза ВЛ12 з новими ТЕД. У результаті на Тбіліському електровозобудівному заводі (ТЕВЗ) було створено новий електровоз ВЛ11, секції якого могли працювати за системою багатьох одиниць.

Перший електровоз ВЛ11-001 був побудований у 1975 році і почав випробування на Сурамському перевалі Закавказької залізниці. З 1975 по 2015 роки було побудовано 1346 електровозів серій:

- ВЛ11 - 574 шт.

- ВЛ118 - 259 шт., разом з ВЛ11У8. Відрізняються зміненими

електричними схемами не можуть працювати спільно з серією ВЛ11.

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Лелека Б.І.			Вступ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Пересунько І.І.					7	1
Н. Контр.		Пересунько І.І.				КНУ		
Затвердж.		Пересунько І.І.				гр. ЕЕМ-20		

- ВЛ11У8 - збільшена зчїпна вага з 184 т до 200 т за рахунок баласту.
- ВЛ11М - 467 шт., модернізовані, з безразривними переходами між усіма трьома з'єднаннями. Випускалися з 1986 по 2006 роки.
- ВЛ11М/5 - кузов за габаритами як на ВЛ11М, передня маска від електровоза ВЛ15, прибрана СМЕ. Випускався в 2007-2008 роках. Випущено 13 шт., експлуатуються в Азербайджані та Україні.
- ВЛ11М/6 - новий кузов, змінені частини електровоза, статичний допоміжний перетворювач. Випускається на замовлення українських залізниць з 2008 року по теперішній час. Всього випущено 32 шт., експлуатуються на Придніпровській залізниці (28 шт.) та Залізниці Азербайджану (4 шт.).

Станом на 2013-2014 роки електровози сімейства ВЛ11 працюють на багатьох залізницях колишнього СРСР. В Україні вони служать на Донецькій, Львівській, Придніпровській та Південній залізницях. На перевальних ділянках Лавочне - Бескидський тунель - Воловець в Карпатах Львівської залізниці, що має ухили в 29 тисячних, використовується кратна тяга: часто 3 двосекційні електровози ВЛ11 тягнуть склад, а ще один додатковий двосекційний ВЛ11 використовується як локомотив-штовхач. На залізницях Грузії електровози цієї серії працюють також з пасажирськими поїздами (ВЛ11-279, ВЛ11-312, ВЛ118-779 та інші).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОВОЗУ ВЛ 11

1.1. Призначення і технічна характеристика електровоза ВЛ – 11

ВЛ11 (названий на честь Володимира Леніна, 11-та серія) — радянський двосекційний магістральний вантажний електровоз постійного струму, що вироблявся з 1975 по 2006 рік. Деякі модифікації цього електровоза продовжують випускатися невеликими серіями і до сьогодні.



Рис. 1.1 – Загальний вигляд вантажного електровозу ВЛ11

Електрово́з ВЛ11 — радянський вантажний магістральний електровоз постійного струму, призначений для експлуатації на електрифікованих ділянках магістральних залізниць з номінальною напругою 3000 В постійного струму та шириною колії 1520 мм. Цей електровоз був вперше випущений Тбіліським електровагонобудівним заводом у 1975 році, а серійне виробництво розпочалося у 1978 році. ВЛ11 випускався у двосекційному варіанті, однак може бути сконфігурований для роботи у трьох секціях або за системою багатьох одиниць, що забезпечує більшу гнучкість в експлуатації.

Електровоз ВЛ11 призначений для перевезення важких вантажів на магістральних лініях і здатний працювати в складних умовах, включаючи круті ухили та великі відстані. Він оснащений потужними тяговими електродвигунами, які забезпечують високу силу тяги та ефективну роботу

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розділ 1		
<i>Розробив</i>		<i>Лелека Б.І.</i>					
<i>Перевірів</i>		<i>Пересунько І.І</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Пересунько І.І</i>					
<i>Затвердж.</i>		<i>Пересунько І.І</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
					9	13	
					КНУ гр. ЕЕМ-20		

навіть при великих навантаженнях. Система управління електровоза дозволяє плавно регулювати швидкість і потужність, що забезпечує безпечну та надійну експлуатацію.

За час свого виробництва, електровози ВЛ11 отримали кілька модернізацій, що включали поліпшення електричних схем, збільшення зчіпної ваги, а також удосконалення конструкції для зменшення витрат на технічне обслуговування та підвищення надійності. Завдяки цим покращенням, електровози ВЛ11 використовуються не тільки на території колишнього СРСР, але й у інших країнах, де вони зарекомендували себе як надійні та ефективні машини для вантажних перевезень.

Технічні характеристики електровозу ВЛ 11

Таблиця 1.1

Рід струму	постійний 3 кВ
Рід служби	вантажни й
Осьова формула	2(2-2)
Маса з 2/3 запасу піску (т)	184
Навантаження на вісь (т)	23
Конструкційна швидкість (км / год)	100
Мінімальний радіус кривих (м)	125
Тривалий режим	
Сила тяги (кґс)	32000
Швидкість (км / год)	51.2
Дотична потужність (к.с.)	6060
Потужність на валах ТЕД (кВт)	4600
ККД	0.88
Часовий режим	
Сила тяги (кґс)	39450
Швидкість (км / год)	48.7
Дотична потужність (к.с.)	7110
Потужність на валах ТЕД	5360

					ЕТФ.КНУ.РВ.141.24.303-13	Арк. 9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(кВт)	
Конструкція	
Конструкція кузова	рамна
Уніфікація	ВЛ10, ВЛ80 ^С
Електричне гальмо	рекупера- тивний
Контролер машиніста	КМЭ-013
Кількість позицій контролера	37
Струмоприймач	Т-5М1
Довжина по осях автозчепів (мм)	32880
Ширина кузова (мм)	3160
Висота по пантограф (мм)	5120 - 7000
Ходова частина	
Передавальне число редуктора	3.826
Тягові електродвигуни	ТЛ-2К1
Тип ТЕД	колектор- ні
Підвішування ТЕД	опорно- осьовий
Привід рушійних колісних пар	індивідуа- льний
Візки	безщелеп- ні
Колеса	бандажні
Діаметр коліс (мм)	1250

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

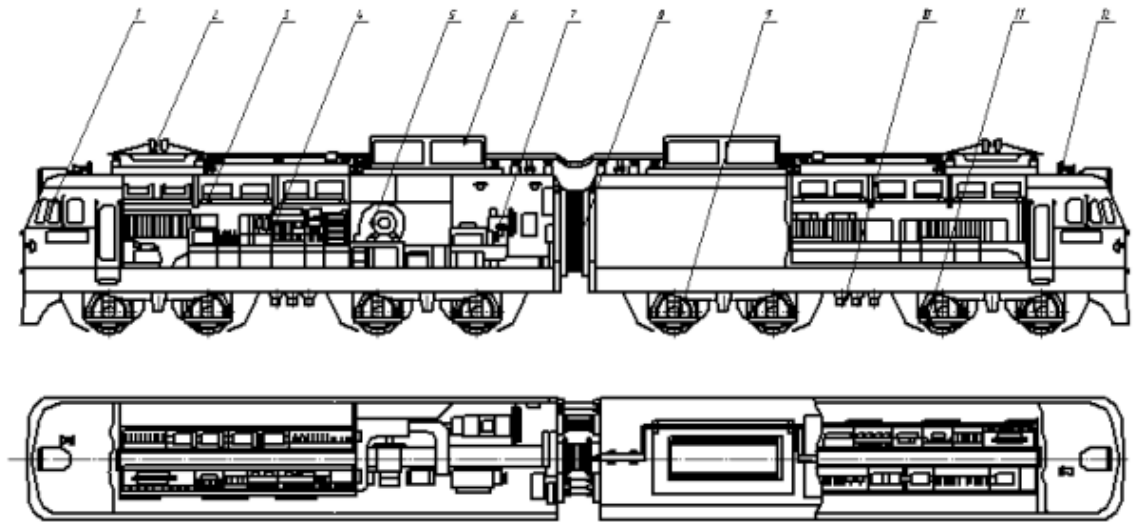


Рис 1.2 Розташування обладнання на секції електровоза ВЛ11

На зображенні (Рис 1.2) представлено компонування обладнання в секції електровоза ВЛ11. Пульт керування (1) розташований у кабіні машиніста і використовується для контролю та управління всіма системами електровоза. Струмopрoвідний кутник (2) забезпечує з'єднання струмоприймача (3) з контактною мережею. Пускові резистори (4) відповідають за регулювання струму при запуску двигунів. Блок апаратів (5) містить різні електричні пристрої, необхідні для функціонування електровоза. Акумуляторна батарея (6) забезпечує резервне живлення. Відцентровий вентилятор (7) використовується для охолодження електрообладнання. Панель керування (8) містить прилади та індикатори для моніторингу стану систем. Мотор-компресор (9) забезпечує стиснене повітря для пневматичних систем електровоза.

Розглянемо основні елементи електромеханічної системи, які є цікавими з точки зору тягового електроприводу.

Конструкція візка дозволяє проводити демонтаж тягового двигуна разом із колісною парою, знімати кожухи зубчастої передачі без підйому кузова та замінювати гальмівні колодки без необхідності використання оглядової канави. Складові частини візка (рис. 1.2) включають раму, колісні пари, зубчасті передачі, букси, ресорне підвішування, гальмівну систему, підвішування тягового двигуна та шаровий зв'язок.

					ЕТФ.КНУ.РВ.141.24.303-13	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Рама візка служить основною несучою конструкцією, яка об'єднує всі компоненти. Колісні пари забезпечують рух електровоза по рейках. Зубчасті передачі передають обертальний момент від тягового двигуна до колісних пар. Букси з'єднують колісні пари з рамою, забезпечуючи їхню рухливість. Ресорне підвішування амортизує навантаження та вібрації під час руху, покращуючи комфорт і стабільність. Гальмівна система забезпечує ефективне уповільнення і зупинку електровоза. Підвішування тягового двигуна дозволяє компенсувати рухи та вібрації, захищаючи двигун і передачі. Шаровий зв'язок забезпечує гнучкість і знижує напруження у конструкції візка під час руху на нерівних ділянках шляху.

Рама візка виконує ряд важливих функцій, включаючи передачу та розподіл вертикального навантаження між окремими колісними парами за допомогою ресорного підвішування. Вона також сприймає тягові зусилля, гальмівні сили та бокові горизонтальні та вертикальні сили, що виникають від колісних пар під час руху по нерівному шляху. Рама функціонує як ключове з'єднання між усіма елементами візка, утримуючи їх у відповідних позиціях та забезпечуючи оптимальну стабільність та надійність роботи електровоза.

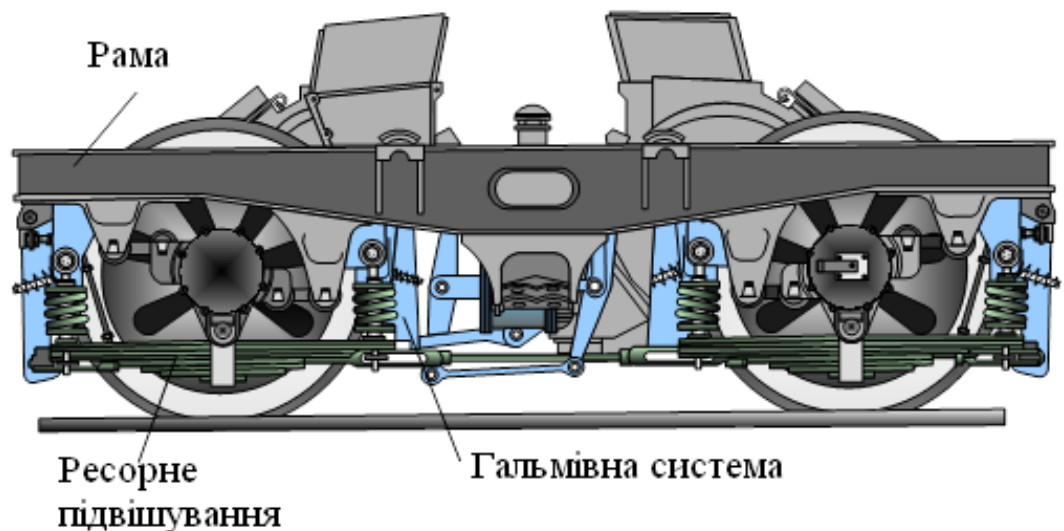


Рис. 1.2 - Візок

Технічні дані візка наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Технічні дані візка

Показники					Характеристики	
					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Арк. 12

Довжина, мм	4700
Ширина, мм	2830
База, мм	2900
Маса (з тяговими двигунами і КЗП), кг	22143
Число осей	2
Підвішування тягового двигуна	опорно-осьовий
Ресора система	індивідуальна

Важливою складовою візка є колісна пара з електродвигуном (див. рис. 1.3), яка відіграє ключову роль у перетворенні обертального моменту електродвигуна на поступальний рух електровоза.

Основними компонентами колісної пари з електродвигуном який і являється тяговим двигуном, підвіска тягового двигуна, сама колісна пара, зубчаста передача, букси та кожухи. Підвіска тягового двигуна призначена для закріплення його до рами візка, а також для амортизації статичних і динамічних навантажень, а також реактивних сил, що виникають від обертального моменту двигуна. Вона забезпечує поглинання ударів, що виникають при проходженні електровозом нерівностей шляху та при рушенні з місця.

Колісна пара направляє рух електровоза по рейковому шляху, передає силу тяги, що розвивається тяговим двигуном, а також силу гальмування. Зубчаста передача відповідає за передачу обертального моменту від вала якоря тягового двигуна до колісної пари, забезпечуючи ефективний рух електровоза по рейках.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

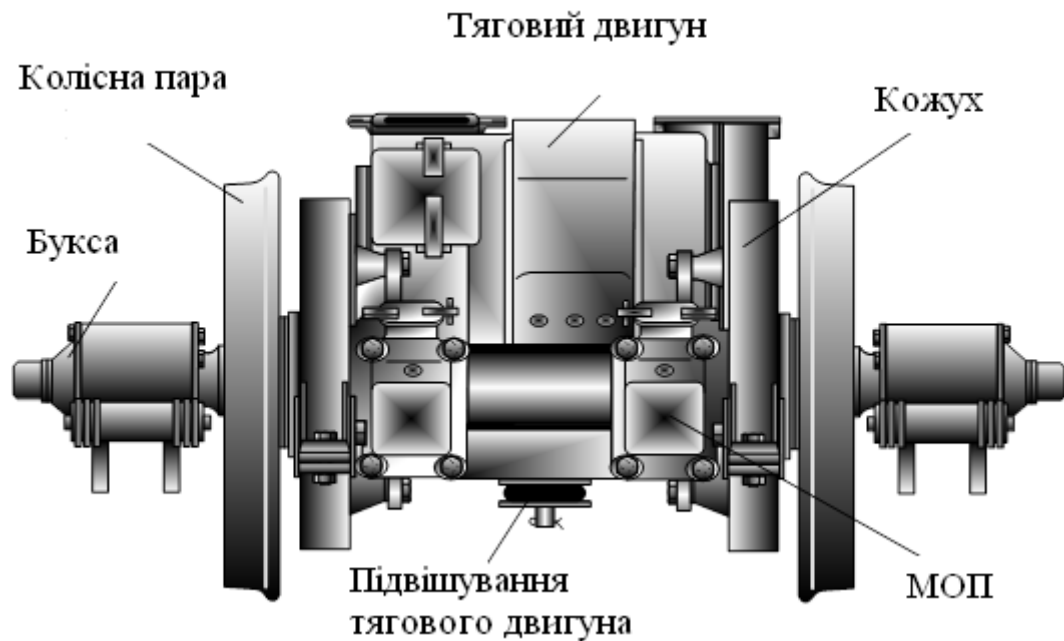


Рис. 1.3 – Колісна пара з ТД

Таким чином, у цьому розділі представлені ключові аспекти щодо електровоза ВЛ-11, включаючи огляд його режимів роботи та розгляд основних компонентів, які мають значення з точки зору тягового електроприводу.

1.2 Електрообладнання

На електровозі встановлено пантограф стандарту П5 для забезпечення електричного контакту між контактною мережею та колесами. Щоб роз'єднати силове коло та захистити його від короткого замикання, застосовано швидкодіючий вимикач БВП-5-02, який автоматично відключається при досягненні струму короткого замикання у 2500 ампер.

Також застосовано диференційні реле для захисту тягових двигунів: для тягових двигунів струм небалансу складає 100 ампер, а для допоміжних машин - 8,5 ампер. У разі перевищення цих значень, реле відключають контакт в колі утримувальної котушки швидкодіючого вимикача.

Кожна секція електровозу обладнана чотирма тяговими двигунами ТЛ-2К потужністю 670 кВт. Допоміжні машини, такі як мотор-компресор, мотор-

					ЕТФ.КНУ.РВ.141.24.303-13	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентилятор та двигун перетворювача, живляться напряму від контактної мережі з напругою 3000 В.

Гальмівний перемикач марки ТК-042 виконує перехід від моторного до гальмівного режиму та назад. Під час електричного гальмування обмотки збудження тягових двигунів живить перетворювач НБ-436В.

Схема електричної системи дозволяє електровозу працювати у трьох режимах: С, СП і П, при цьому передбачено послаблення поля тягових двигунів. Електровоз може працювати при напрузі в контактній мережі від 2200 до 4000 вольт.

Для живлення низьковольтних кіл використовуються акумуляторна батарея типу 40КН-125 та генератор керування НБ-110 (або ДК-405). Напруга генератора регулюється безконтактним регулятором напруги БРН, а акумуляторні батареї кожної секції об'єднані між собою, а для вирівнювання напруги між генераторами використовується блок вирівнювання напруги генераторів БВНГ.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

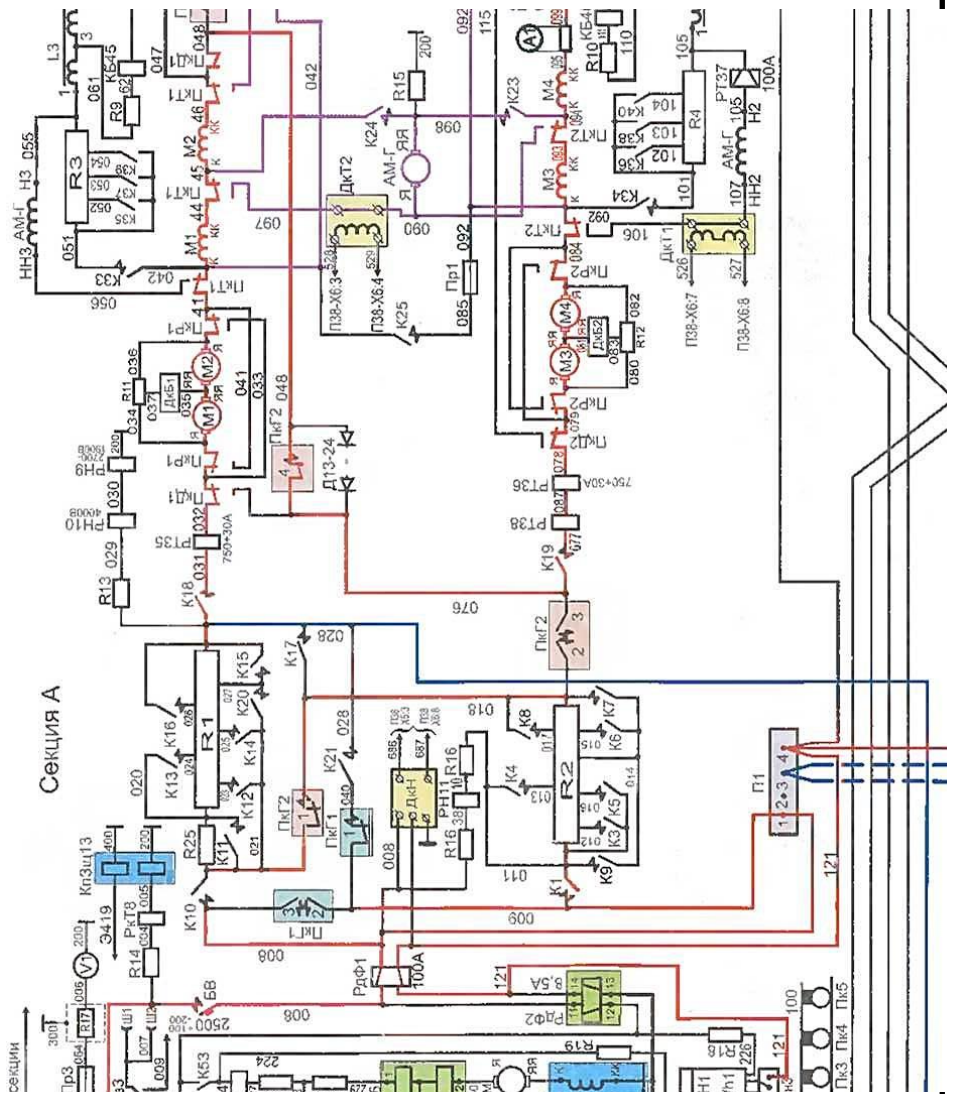


Рис 1.4 Силова схема електровозів ВЛ 11 (секція А)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13

Арк.

16

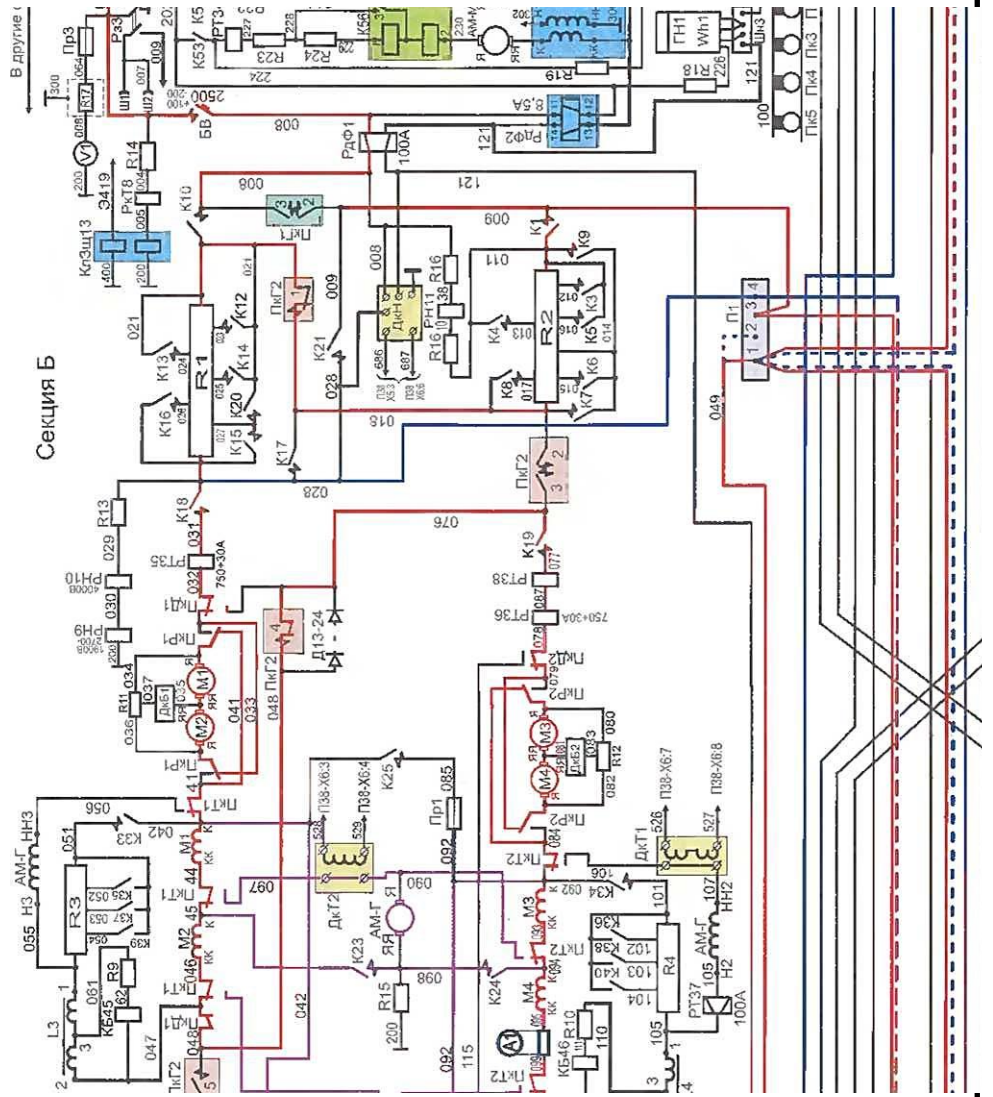


Рис 1.5 Силова схема електровозів ВЛ 11 (секція Б)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13

Арк.

17

Електрична схема спроектована таким чином, щоб забезпечити функціонування електровоза навіть у випадках аварій, таких як пошкодження тягових електродвигунів, швидкодіючого вимикача, пускових резисторів та допоміжних машин.

У разі пошкодження тягових електродвигунів в кожній секції встановлено по два перемикача електродвигунів ПкД1 і ПкД2, які дозволяють дистанційно їх відключити. В залежності від режиму роботи, різні групи тягових електродвигунів можуть бути відключені, щоб забезпечити безперебійну роботу електровоза.

У випадку пошкодження швидкодіючого вимикача, відключення проводиться за допомогою кнопки БВ на вимикачі БлКн7. Крім того, при пошкодженні ізоляції кнопки БВ, силові кабелі від цього вимикача також від'єднуються. Тягові електродвигуни секції з пошкодженим вимикачем на СП і П з'єднаннях не активуються.

При виключенні головної секції Б двохсекційного електровоза або середньої секції А або Б трисекційного електровоза, тягові електродвигуни всіх секцій можуть працювати на послідовному з'єднанні. У випадку відключення головної секції А трисекційного електровоза, ця можливість виключається.

1.3 Коротка характеристика тягового двигуна ТЛ-2К1.

Тяговий електродвигун ТЛ-2К1 постійного струму, як показано на рисунку 1.6, служить для конвертації електричної енергії, яку отримує він з контактної мережі, в механічну енергію. Момент, який створюється обертанням вала якоря електродвигуна, передається на колісну пару через двосторонню одноступінчасту циліндричну передачу. Ця передача моменту дозволяє уникнути додаткового навантаження на підшипники електродвигуна у напрямку осі колеса.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

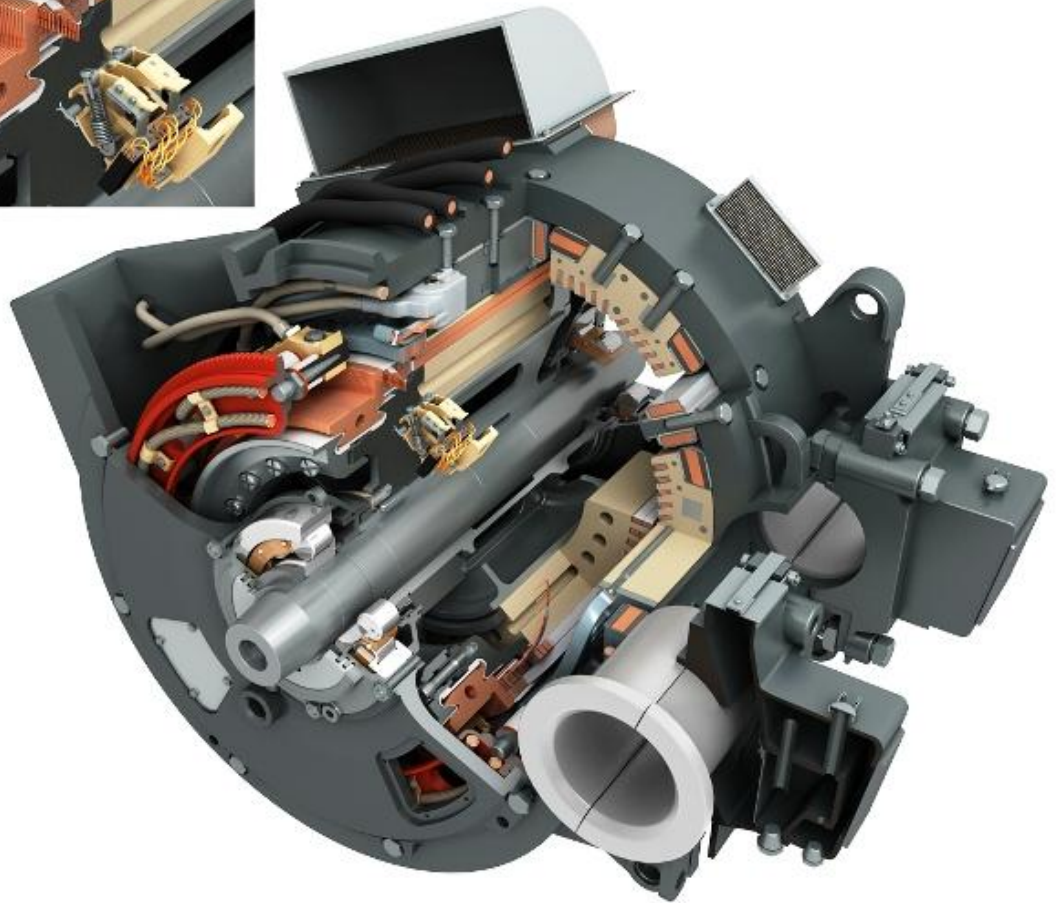


Рис 1.6 - Загальний вигляд тягового електродвигуна ТЛ-2К1

Технічні дані електродвигуна ТЛ-2К1

Таблиця 1.3

<i>Показники</i>	<i>Характеристики</i>
Напруга на затискачах електродвигуна, В	1500
Часовий режим	
Струм, А	480
Потужність, кВт	670
Частота обертання, об / хв	790
К. К. Д	0,931
тривалий режим	
Струм, А	410
Потужність, кВт	575
Частота обертання, об / хв	830
К. К. Д	0,93
Клас ізоляції по нагрівостійкості:	
обмотки якоря	В

полюсной системи	F
Найбільша частота обертання при середнєзномєнних бандажах, об / хв	1690
Передавальні відносини	88/23
Маса без шестерні, кг	5000

1.4. Напрямки модернізація електровозів постійного струму

Для вдосконалення характеристик існуючих локомотивів, підвищення їх надійності та забезпечення кращих тягових і гальмівних властивостей, Український завод залізничного машинобудування проводить систематичну модернізацію електровозів ВЛ 11, яка охоплює кілька напрямів:

Можливі напрямки модернізацій електровозу ВЛ -11

Таблиця 1.4

Напряв	Впроваджені рішення	Результати етапу
1 напрям	Розробка нової електричної послідовного збудження тягових двигунів мікропроцесорної системою управління	<ul style="list-style-type: none"> Електровоз з рекупєративним реостатним гальмуванням. Мікропроцесорна система управління. Покращення умов роботи локомотивних бригад.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 напрям	Впровадження нової схеми для трисекційного електровоза з проміжною секцією і підресореною кабіною управління	<ul style="list-style-type: none"> • Застосування широтно-імпульсного перетворювача для регульованого живлення двигунів вентиляторів а функції струму якоря ТЕД. • Модульні підресорені кабіни управління. • Можливість формування сплотку, що складаються з 2-х, 3'Х, 4-х секцій.
3 напрям	Запроваджено нову схему з незалежним збудженням ТЕД від статичного перетворювача	<ul style="list-style-type: none"> • Робота електровоза в режимах тяги, рекуперативного і реостатного гальмування з переходом в режим вибігу без перемикачів в схемі, • Зменшення схильності електровоза до боксування. • Виняток підбору колісних пар по діаметру бандажів

Переваги модернізованих електровозів:

1. Продовження терміну експлуатації на 15 років.
2. Покращення умов праці локомотивних бригад.
3. Підвищення тягових і гальмівних характеристик електровоза та застосування мікропроцесорної системи управління зменшує питому витрату електроенергії на 10-15%.
4. Збільшення надійності електровоза і зниження кількості відмов у системі управління дозволяє зменшити трудомісткість ремонтів на 15% і підвищити міжремонтні пробіги на 15-20%.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ, ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

2.1. Розрахунок параметрів електроприводу

Двигун постійного струму з послідовним збудженням має великий пусковий момент, що зумовлює його часте використання в електричному транспорті. Хоча він має деякі особливості, наприклад:

- цей тип двигуна не може бути запущений без навантаження через його електромеханічні властивості;
- магнітний потік у цьому двигуні є нелінійною функцією, що залежить від струму якоря.

Враховуючи ці особливості, ми можемо розрахувати додаткові параметри тягового приводу і побудувати механічні та швидкісні характеристики.

При проведенні розрахунків, які стосуються якірного кола тягового двигуна, можна спростити його структуру. Воно складається з таких послідовно з'єднаних елементів: самого якоря тягового двигуна, обмотки збудження, додаткових полюсів, компенсаційної обмотки, індуктивного шунту та реактора (пропускаючи опори та індуктивності трансформатора та силових ключів). За допомогою другого закону Кірхгофа ми отримуємо наступне:

$$U_d = I_a \cdot R_{kont} + L_{kont} \frac{dI_a}{dt} + E ,$$

де R_{kont} - сумарний опір зазначеного контуру.

$$R_{kont} = R_a + R_v + R_R + R_{sh} = 0,031 + 0,08 + 0,0068 + 0,0066 = 0,124 \text{ Ом,}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 2					
Розробив	Лелека Б.І.							Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів	Пересунько І.І							22	8	
Н. Контр.	Пересунько І.І							КНУ		
Затвердж.	Пересунько І.І							гр. ЕЕМ-20		

Вихідні дані, які необхідні для розрахунку, зведемо до таблиці:

Таблиця 2.1

Вихідні дані для розрахунку механічної та швидкісної характеристик

Параметр	Позначення	Величина
Сумарний активний опір якоря, компенсаційної обмотки та додаткових полюсів, ом	R_a	0,031
Активний опір обмотки збудження ТД, ом	R_v	0,08
Активний опір реактора, ом	R_R	0,0068
Активний опір індуктивного шунта, ом	R_{sh}	0,0066
Сумарна індуктивність якоря, компенсаційної обмотки та додаткових полюсів, Гн	L_a	0,001
Індуктивність обмотки збудження ТД, Гн	L_v	0,0015
Індуктивність реактора, Гн	L_R	0,004
Індуктивність індуктивного шунта, Гн	L_{sh}	0,0017
Номінальний струм двигуна, А	I_n	480
Приведений момент інерції механізму, кг·м ²	J_0	1500
Номінальна потужність двигуна, Вт	P_n	670000
Діюче значення напруги вторинної обмотки трансформатора, В	U_d	1500

L_{kont} - сумарна індуктивність зазначеного контуру, яку визначаємо аналогічним чином:

$$L_{kont} = L_a + L_v + L_R + L_{sh} = 1,5 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3} + 1,7 \cdot 10^{-3} = 0,0082 \text{ Гн,}$$

де E - проти ЕРС двигуна.

Момент на валу ТД в загальному випадку визначається, як:

$$M_D - M'_C = J_0 \frac{d\omega_D}{dt},$$

де M_D - момент двигуна;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

M'_c - статичний приведений момент двигуна;

ω_D - кругова частота обертання валу двигуна.

Вираз для проти ЕРС двигуна визначається наступним чином:

$$E = k\Phi(I_A) \cdot \omega.$$

Нагадаємо, що залежність потоку від струму двигуна є нелінійною. Існує декілька способів моделювання потоку, основні з них:

- заміна потоку намагнічування двома прямими.

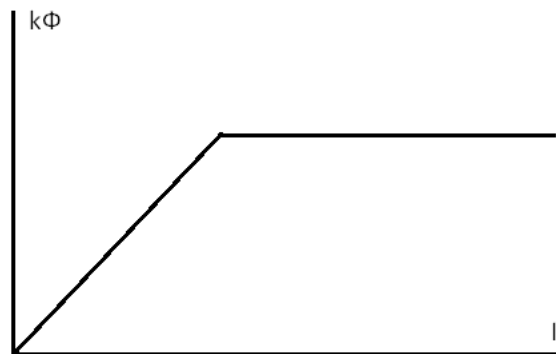


Рис. 2.1 – Приклад заміни кривої намагнічування двома прямими

- використання універсальних кривих (апроксимація за масивом точок)

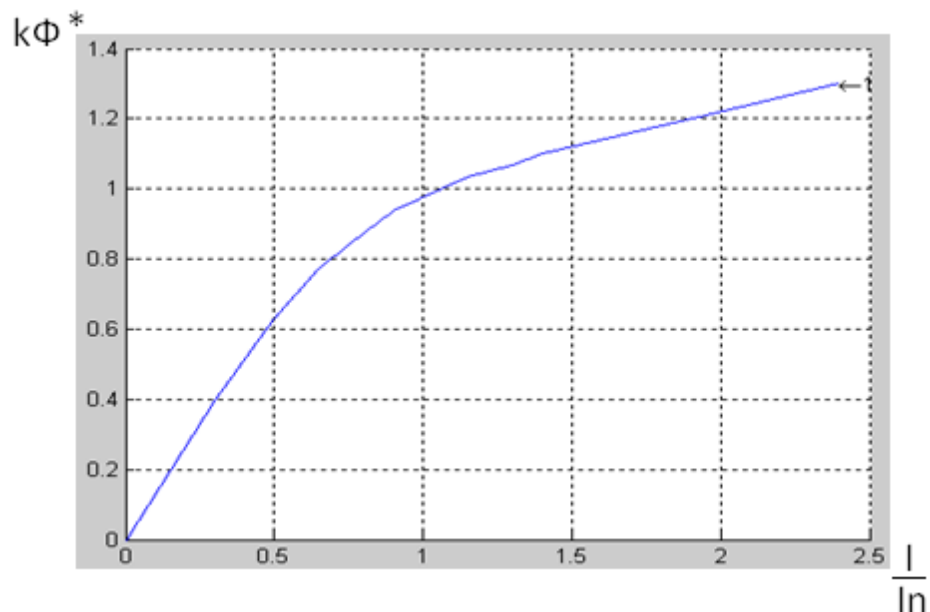


Рис. 2.2 – Апроксимація кривої намагнічування за масивом точок

В даній роботі обрано другий варіант використання залежності потоку від струму двигуна.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо інші необхідні параметри двигуна.

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 830}{30} = 86,6 \text{ рад/с,}$$

де ω_n - номінальна кругова частота обертання валу двигуна;

n - номінальна частота обертання двигуна в обертах за хвилину.

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{670 \cdot 10^3}{86,6} = 7740 \text{ Н} \cdot \text{м,}$$

Номінальний коефіцієнт моменту:

$$K_{Mn} = \frac{M_n}{I_n} = \frac{7740}{480} = 16,1 \text{ Н} \cdot \text{м/А.}$$

Номінальний коефіцієнт ЕРС :

$$K_{En} = \frac{U_{dn}}{\omega_n} = \frac{1500}{86,6} = 17,3 \text{ В} \cdot \text{с,}$$

де U_{dn} - номінальна напруга живлення двигуна.

Електромагнітна постійна часу T_E :

$$T_E = \frac{L_{Kont}}{R_{Kont}} = \frac{0,0082}{0,124} = 0,0661 \text{ с.}$$

Електромеханічна постійна T_M :

$$T_M = \frac{J_0 R_{Kont}}{K_{En} K_{Mn}} = \frac{1500 \cdot 0,043}{17,3 \cdot 9,74} = 1,85 \text{ с.}$$

Коефіцієнт підсилення широтно-імпульсного перетворювача $k_{ШИП}$:

$$k_{ШИП} = \frac{U_d}{10} = \frac{1500}{10} = 150.$$

На основі наведених рівнянь та після застосування перетворення Лапласа складаємо структурну схему електровоза. Її ключовою особливістю є наявність нелінійної залежності коефіцієнта намагнічування від струму якоря, що виникає внаслідок процесів намагнічування в обмотці збудження тягового двигуна. Для регулювання швидкості руху тягового двигуна встановлюється необхідне значення напруги живлення.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

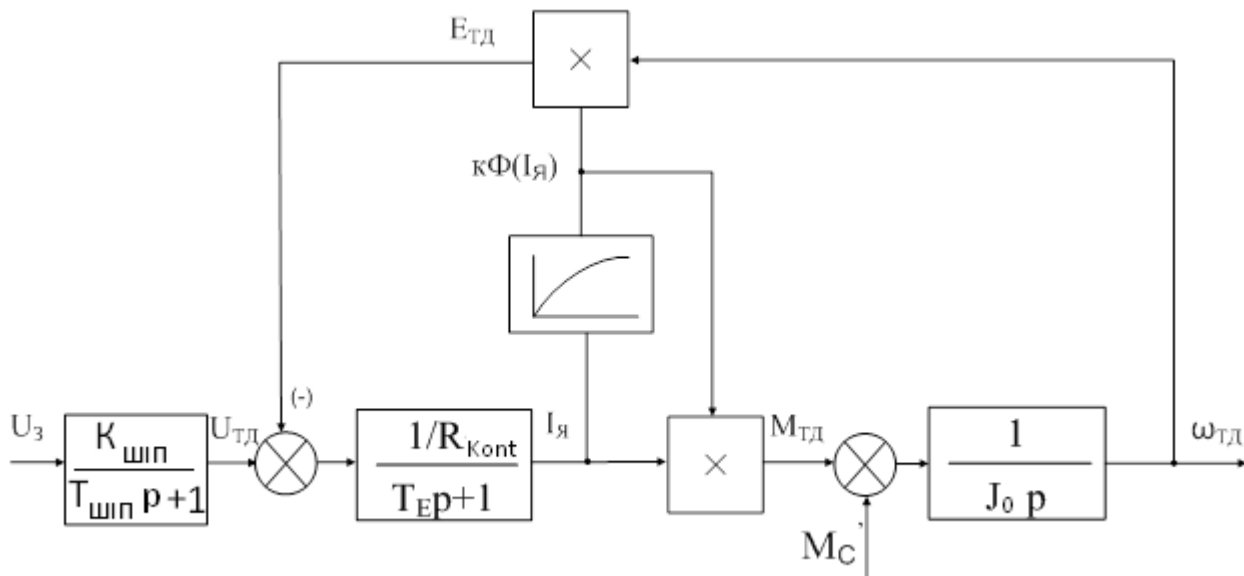


Рис. 2.3 – Структурна схема математичної моделі привода

Отже, маємо усі потрібні дані для обчислення статичних характеристик. При цьому регулювання буде здійснюватися шляхом зміни ширина імпульсів у широкосмуговому перетворювачі.

Швидкісна характеристика системи ШП–Д обчислюється за допомогою формули:

$$\omega = \frac{U_d \gamma - I_a R_{\text{конт}}}{k_{MD} I_a + k_z},$$

де γ - шпаруватість, що змінюється у межах $0 \leq \gamma \leq 1$.

k_{MD} – коефіцієнт моменту двигуна послідовного збудження,

$$k_{MD} = \frac{M_n}{I_n^2} = \frac{7740}{480^2} = 0.033,$$

k_z – коефіцієнт залишкової е.р.с. двигуна послідовного збудження.

$$k_z = \frac{U_{dn} - I_a R_a - k_{MD} I_n}{\omega_n} = \frac{1500 - 480 \cdot 0.035}{86.6} - 0.011 \cdot 843 = 0.747.$$

Побудова швидкісних характеристик виконується для 4-5 значень шпаруватості, наприклад, $\gamma = 1,0; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

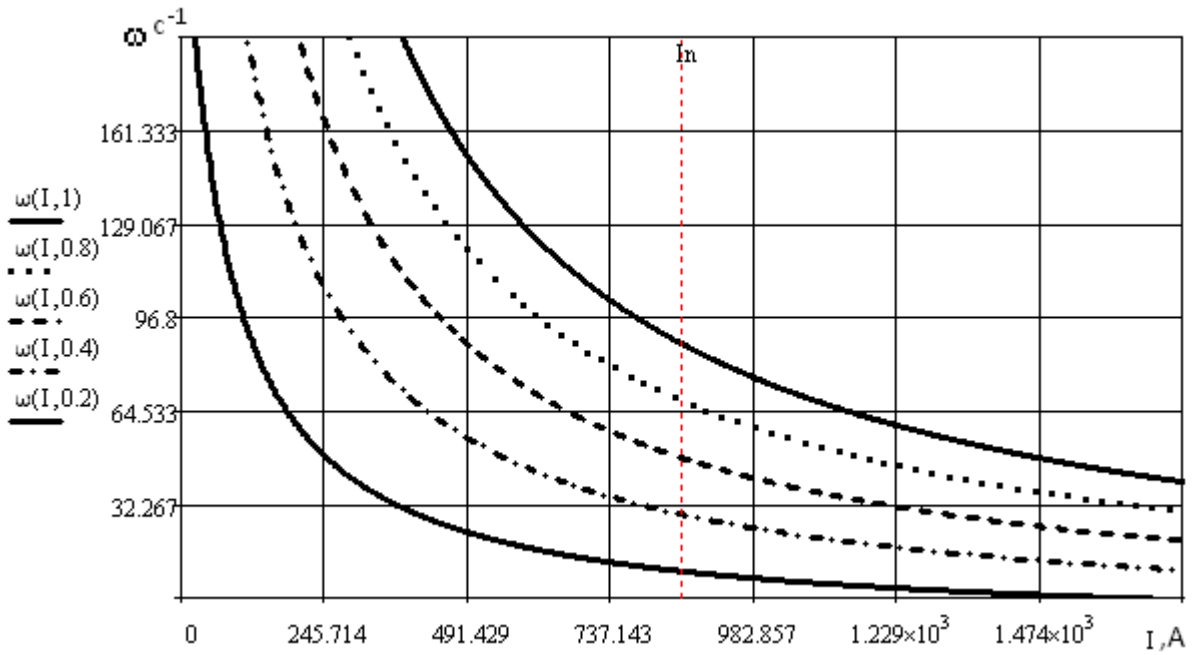


Рис. 2.4 – Швидкісна характеристика

Механічна характеристика:

$$\omega = \frac{U_d \gamma - \sqrt{\frac{M}{k_{MD}} R_{Kont}}}{k_{Kont} \sqrt{\frac{M}{k_{Kont}} + k_z}}$$

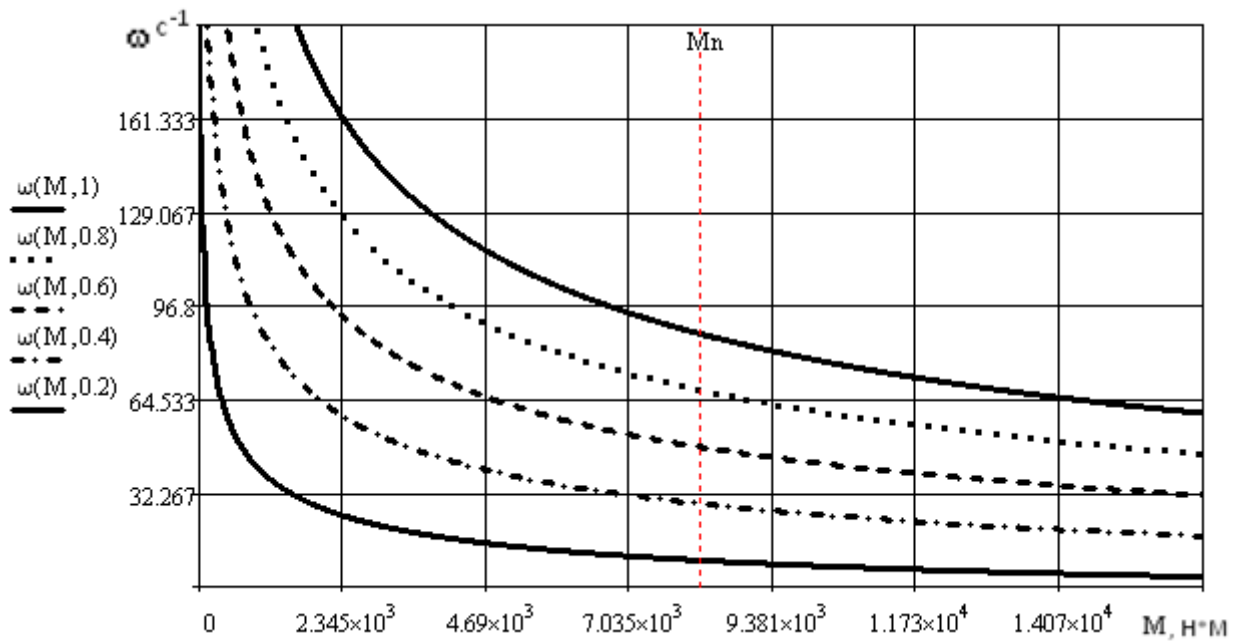


Рис. 2.5 – Механічна характеристика механізму

Похибка керування $\Delta\omega$:

$$\Delta\omega = \frac{I_a R_{Kont}}{K_{En}} = \frac{480 \cdot 0,124}{16,1} = 3,69 \text{ c}^{-1}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Давайте розрахуємо статичну похибку системи для верхньої та нижньої характеристик. Статична похибка визначається як різниця між вихідним значенням системи та його бажаним значенням у стаціонарному режимі:

$$\Delta = \frac{\Delta\omega}{\omega_n} 100\% = \frac{3.69}{86.6} 100\% = 4.2\% ,$$

де Δ - статична похибка за швидкістю на верхній характеристиці.

$$\Delta^* = \Delta \cdot D = 4.2 \cdot 4 = 16.8\% ,$$

де Δ^* - статична похибка за швидкістю на нижній характеристиці,

D - кратність діапазону регулювання.

Таким чином, зазначений аналіз вказує на те, що статична похибка суттєво виходить за межі встановленого обмеження.

$$\Delta^* = 16.8\% > \Delta_{zad}^* = 2\% .$$

Для вирішення даної проблеми необхідно оптимізувати систему.

2.2 Розрахунок енергетичних показників

Механічні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{Mech} = k_{mech} P_n \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 = 0.015 \cdot 670000 \cdot \left(\frac{\omega}{86.8} \right)^2 = 1.27 \cdot \omega^2 ,$$

де k_{mech} – коефіцієнт механічних втрат, $k_{mech} = 0,015$;

ω , ω_n - швидкість обертання, та номінальна швидкість обертання в обертах за хвилину.

Потужність, яка втрачається через електричні процеси, розраховується шляхом:

$$\Delta P_{El} = \left(\frac{M}{K_{Mn}} \right)^2 R_{Kont} .$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{Mech} + \Delta P_{El} .$$

де ΔP_{Σ} - загальні втрати потужності у системі електропривода.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні втрати потужності у системі електропривода включають різноманітні джерела енергії, що втрачаються під час перетворень та передачі електричної енергії. Ці втрати можуть включати втрати в провідниках, трансформаторах, електродвигунах, а також втрати на опір контактів та інші технічні аспекти, що зменшують ефективність системи електропривода.

Коефіцієнт корисної дії електропривода обчислюється за допомогою такого виразу:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_{\Sigma}} 100, \%$$

Побудуємо залежність коефіцієнта корисної дії (η) від швидкості обертання (ω) для різних значень моменту двигуна, наприклад $M = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 M_n$.

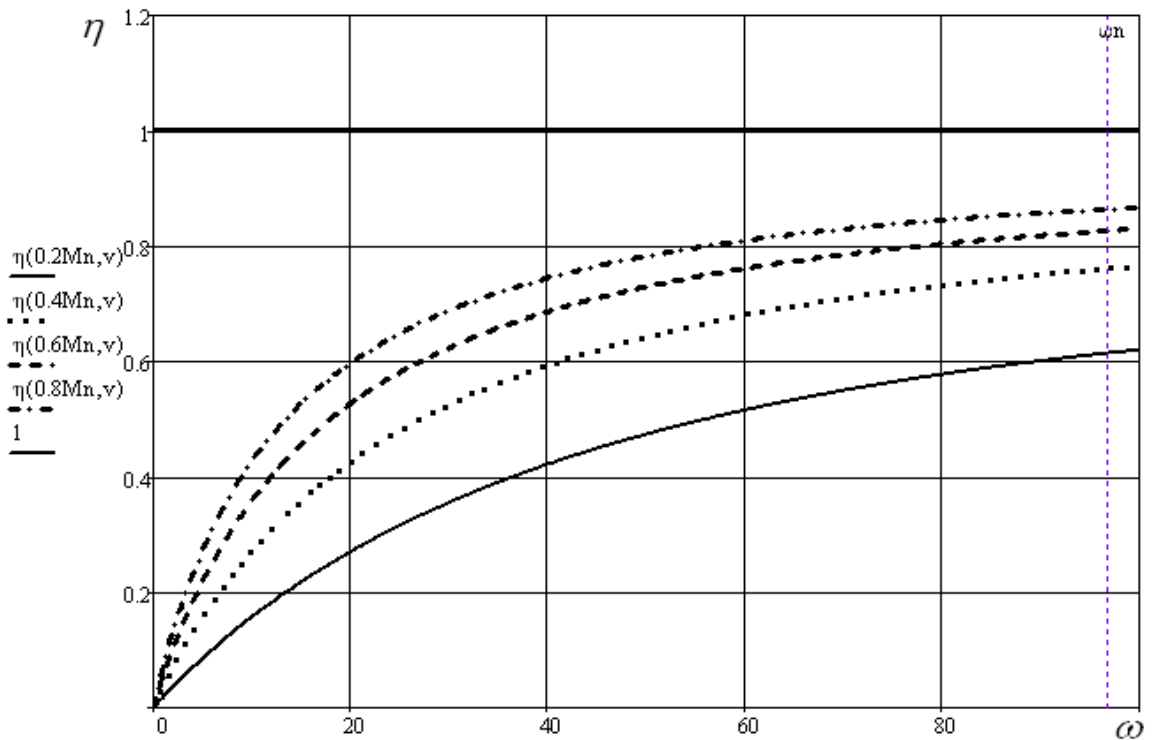


Рисунок 2.6 – Залежність ККД двигуна від швидкості обертання

Як можна бачити з рисунку 2.6, максимальний коефіцієнт корисної дії (ККД) системи відповідає роботі на швидкостях, близьких до номінальних. Крім того, зі зменшенням моменту спостерігається зниження ККД при відповідних швидкостях. Залежність ККД від моменту та швидкості є нелінійною і має форму параболи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

РОЗДІЛ 3. СИМУЛЯЦІЯ РОЗІМКНУТОЇ ТА ЗАМКНЕНОЇ ТЯГОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОВОЗУ ВЛ11.

3.1. Моделювання розімкненої системи

Моделювання проводиться за допомогою програмного пакету Matlab. Математичну модель системи, що вивчається, можна розбити на такі основні складові:

- об'єкт регулювання, що включає в себе електричний двигун, інерцію механічних частин на валу двигуна;
- широтно-імпульсний перетворювач;
- задатчик інтенсивності зворотніми зв'язками та регуляторами струму та напруги.

Нижче подана структурна схема об'єкту регулювання.

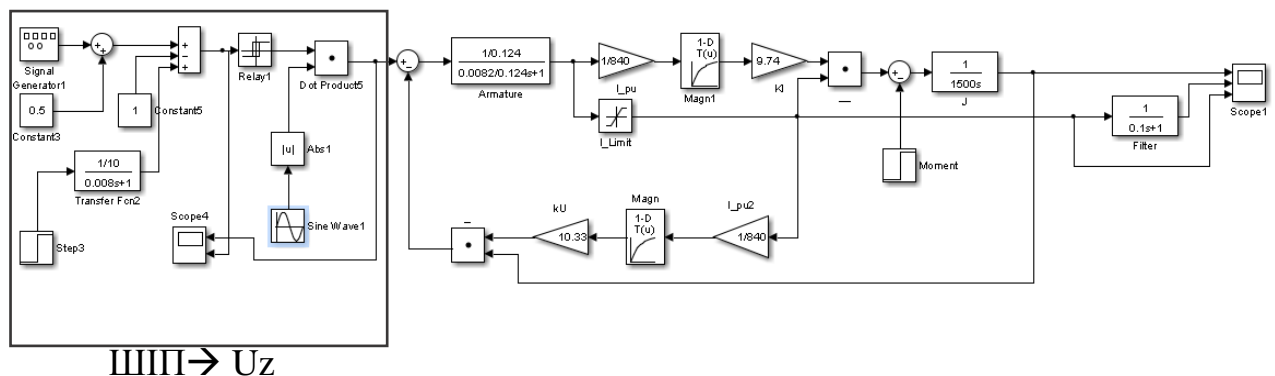


Рис. 3.1 – Структурна схема об'єкту регулювання в програмному пакеті Matlab

Як ми бачимо при моделюванні, система змодельовано таким чином, що враховує нелінійність кривої потоку машини, яку було апроксимовано за допомогою масиву даних.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
		Лелека Б.І.			Розділ 3		
		Пересунько І.І					
						30	12
		Н. Контр.	Пересунько І.І		КНУ гр. ЕЕМ-20		
		Затвердж.	Пересунько І.І				

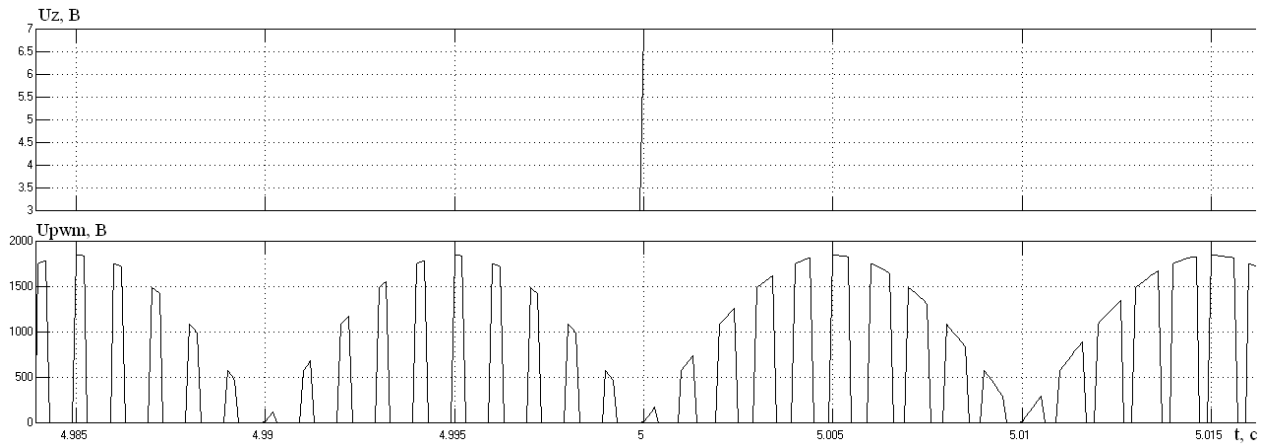


Рис. 3.2 – Результати симуляції широтно-імпульсного перетворювача (зміна модуляції з 30% до 70% на 5й секунді)

При моделюванні, загальна структурна схема розімкненої системи матиме параметри запуску електровоза зі шпаруванням на рівні 71%. Запуск буде здійснено з номінальним моментом. На 50-й секунді ми збільшимо момент на валу двигуна до рівня.

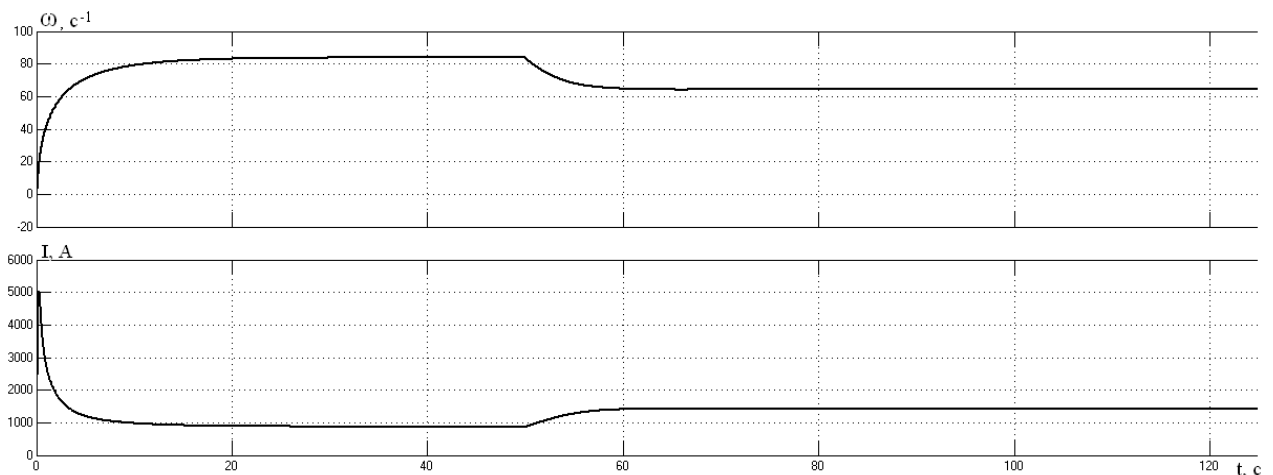


Рис. 3.3 – Параметри двигуна зі заповненням модуляції ШПІ - 70% та накид моменту на 45 секунді

Результати моделювання вказують на значний стрибок струму під час запуску двигуна, досягаючи приблизно 6 кА, що майже у 7 разів перевищує номінальний струм. Протягом приблизно 3 секунд струм входить в діапазон $2I_n$. Протягом цього часу двигун набирає швидкість, досягаючи приблизно 60% від ω_n . При максимальній швидкості за встановленою шпаруватістю,

$T_M = 0.641c > 4 \cdot T_E = 0.256c$, то можливий умовний розрив внутрішнього зворотного зв'язку по проти-ЕРС. При цьому передаточна функція об'єкта:

$$W_{oc}(p) = \frac{K_{шп} K_{dl}}{R_{kont} (T_E p + 1)} = \frac{10 \cdot 5.93 \cdot 10^{-3}}{0.124 (0.0661 \cdot p + 1)} = \frac{5.93 \cdot 10^{-2}}{0.0082 \cdot p + 0.124}$$

З метою підвищення швидкодії в системі, регулятор струму завжди синтезується на модульний оптимум:

$$W_{rc}^{MO}(p) = \frac{R_{kont} (T_E p + 1)}{K_{шп} K_{dl}} \cdot \frac{1}{2T_\mu p} = \frac{0.124 \cdot (0.0661 \cdot p + 1)}{10 \cdot 5.93 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.008 \cdot p} =$$

$$= 1.68 + \frac{25.4}{p}$$

де $W_{rc}^{MO}(p)$ - передаточна функція регулятора струму, який синтезовано на модульний оптимум;

T_μ - некомпенсована постійна часу (постійна часу широтног-імпульсного перетворювача), $T_\mu = 0.008$ с.

В результаті синтезу маємо ПІ регулятор. Передаточна функція оптимізованого контуру по струму

$$W_{opt}(p) = \frac{1/K_{dl}}{2T_\mu p + 1} \approx \frac{1}{K_{dl}} = \frac{1}{5.93 \cdot 10^{-3}} = 168.6.$$

Якщо віднести постійну часу $2T_\mu$ до зовнішнього контуру, контуру швидкості, некомпенсована постійна часу $T_{\mu c} = 2T_\mu = 0.016$ с.

Вважаємо контур струму оптимізованим.

Розрахунок обмеження струму

Оптимізований контур струму може бути зображений

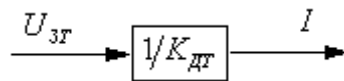


Рис. 3.5 – Спрощена схема контуру струму

Для випадку одержання максимального струму, U_{zr} повинно дорівнювати $U_{zr \max}$, таким чином розрахунок обмеження струму в системі підлеглого керування зводиться до регламентації вихідної напруги регулятора зовнішнього

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контур, в даному випадку контур швидкості. Для отримання на виході регулятора швидкості напруги меншої або рівної $U_{3T_{max}}$, ланцюг зворотного зв'язку вказаного регулятора шунтується двома зустрічнороз'єднаними стабілітронами. В цифровій системі регулювання вихідний сигнал регулятора напруги обмежується функцією:

$$\begin{aligned} \text{if } (U_{RegU} > U_{RegU_Max}) \{ U_{RegU} &:= U_{RegU_Max} \} \\ \text{if } (U_{RegU} < U_{RegU_Min}) \{ U_{RegU} &:= U_{RegU_Min} \} \end{aligned}$$

Оптимізація контуру швидкості

Враховуючи оптимізований контур струму розрахункова схема для синтезу регулятора швидкості матиме вигляд:

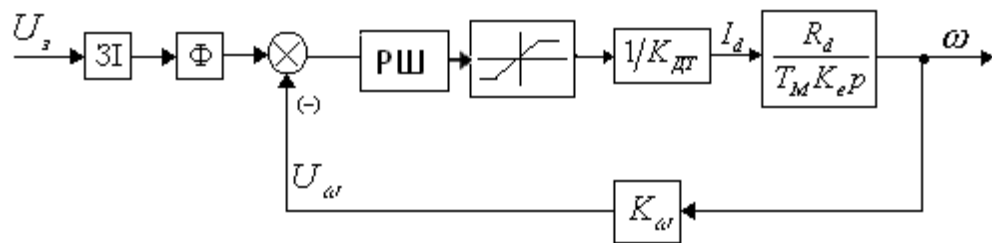


Рис. 3.6 – Структурна схема контуру швидкості зі спрощеним контуром струму

Виділяємо частину об'єкту, який відноситься до контуру швидкості

$$W_{o\omega}(p) = \frac{K_{d\omega} R_{Kont}}{K_{dl} T_M K_E p} = \frac{0,103 \cdot 0,124}{5,93 \cdot 10^{-3} \cdot 1,85 \cdot 10,33 \cdot p} = \frac{0,113}{p}$$

Зазвичай регулятор швидкості синтезують по модульному оптимуму через високу швидкодію (мінімальна тривалість перехідного процесу):

$$W_{r\omega}^{MO}(p) = \frac{K_{dl} T_M K_E p}{K_{d\omega} R_{Kont} 2 \cdot T_{\mu} p} = \frac{5,93 \cdot 10^{-3} \cdot 1,85 \cdot 10,33 \cdot p}{0,103 \cdot 0,124 \cdot 2 \cdot 0,016 \cdot p} = 277,$$

де $W_{r\omega}^{MO}(p)$ - регулятор швидкості, синтезований на модульний оптимум.

Після синтезу регулятора необхідно завжди виконувати перевірку оптимізованої системи за критерієм статизму.

$$\Delta^* = \Delta \cdot D \cdot \frac{2 \cdot T_{\mu}}{T_M} = 0,104 \cdot 4 \cdot \frac{2 \cdot 0,016}{1,85} = 0,7\% \geq \Delta^* = 2\%,$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Δ^* - статизм на нижній характеристиці;

Δ - статизм розімкненої системи при номінальних параметрах;

D - кратність діапазону регулювання.

Отже регулятор, синтезований по модульному оптимуму, задовольняє заданій умові статизму.

У внутрішній системі досліджуваного механізму використовуються вказівник інтенсивності зворотніх зв'язків та регулятори струму та напруги. У програмному пакеті Matlab ці компоненти представлені таким чином:

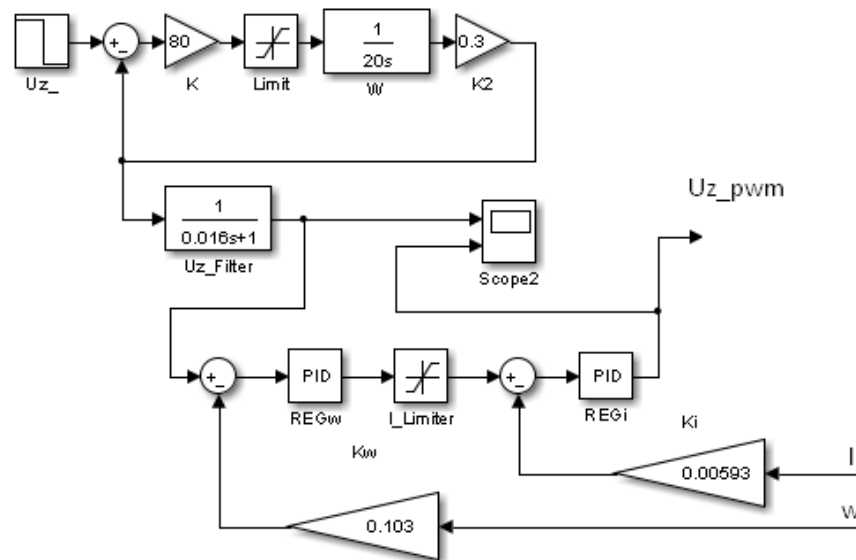


Рис. 3.7 – Компоненти досліджуваної системи включають задатчик інтенсивності, регулятори та зворотні зв'язки.

Задатчик інтенсивності відповідає за плавне розгінання тягового двигуна електровозу, як це буде показано нижче. Регулятор струму має структуру пропорційно-інтегральної (ПІ), а регулятор швидкості – пропорційну (П) структуру. Обидва регулятори розроблені з урахуванням модульного оптимуму. Сформований сигнал керування подається до раніше згаданої структури регулятора широти імпульсів (ШІМ). Загальна схема для моделювання замкненої та оптимізованої системи виглядає наступним чином:

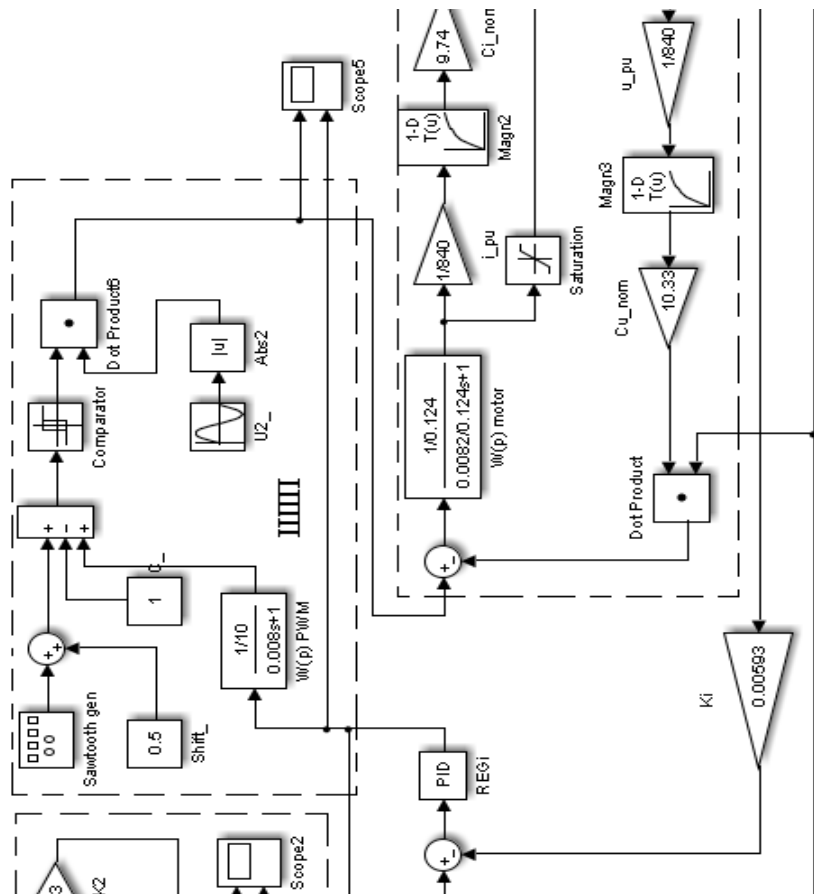


Рис. 3.8 – Структурна схема замкненої системи в програмному пакеті Matlab

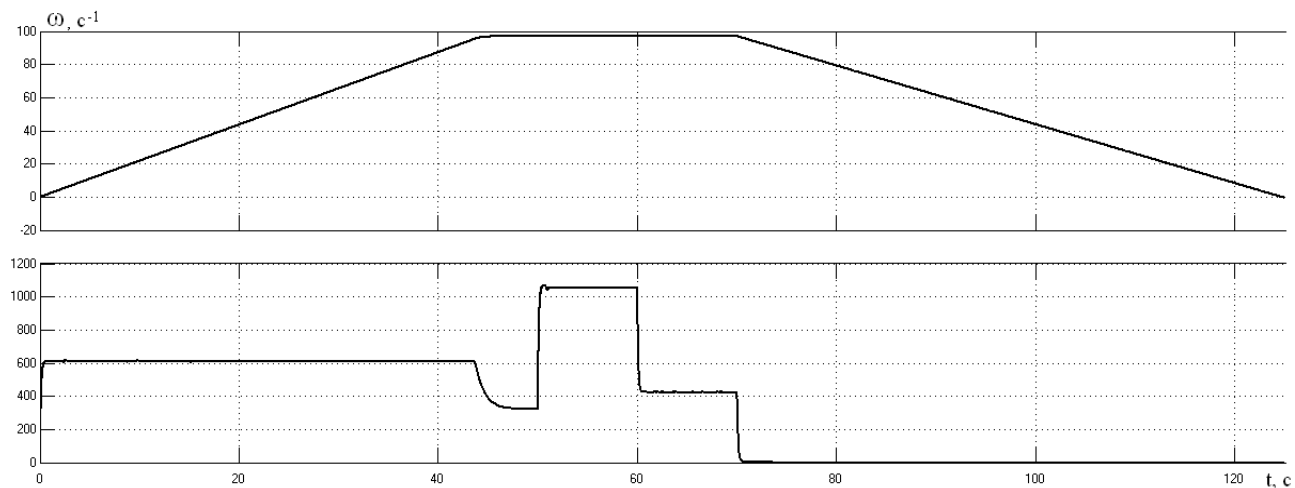


Рис. 3.9 – Графіки сигналів швидкості та струму замкненої системи

Розглянемо більш детально графіки кривих швидкості та струму пуску ТД з номінальним моментом на валу.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

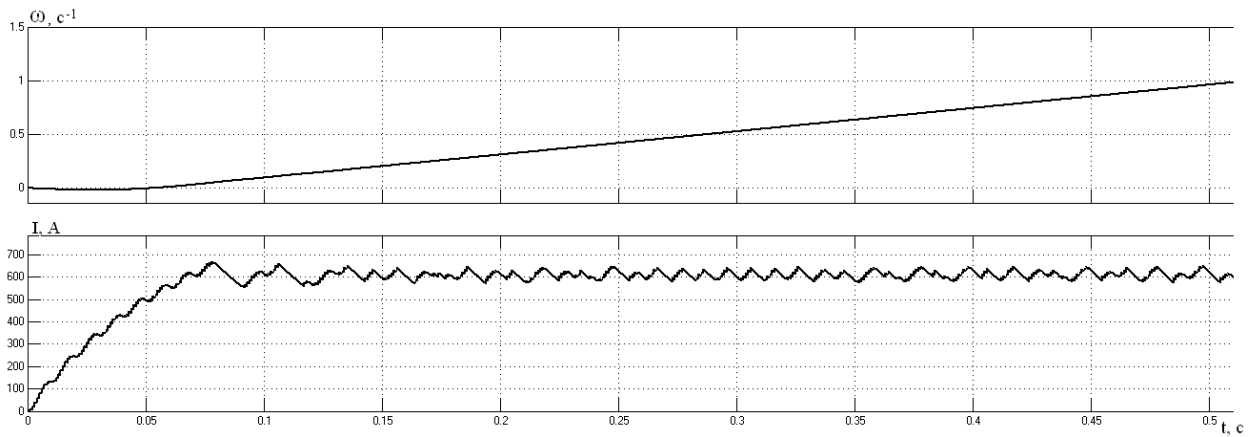


Рис. 3.10 – графіки кривих швидкості та струму двигуна на першому інтервалі роботи (пуск двигуна)

З отриманих результатів моделювання видно, що двигун розганяється плавно: швидкість монотонно зростає з першої до 46-ої секунди. Середнє значення струму при цьому стабілізується на рівні приблизно 480 А, що не перевищує номінальний струм. При досягненні номінальної швидкості середнє значення струму знижується до приблизно номінального рівня 330 А протягом 4 секунд. При навантаженні швидкість залишається стабільною, але на кривій струму спостерігається збільшення середнього рівня струму ТД протягом приблизно 0,5 секунди. Характер перехідного процесу збільшення струму під час навантаження – аперіодичний. При зниженні рівня напруги до 0 (гальмування) струм ТД зменшується і доходить до нуля. Перехідний процес, який має аперіодичний характер, триває приблизно 0,5 секунди. З 71-ої по 125-у секунду рівень струму майже не змінюється при монотонному спаді швидкості. Процес гальмування триває 56 секунд.

3.3 Системи тяги і тягового електропостачання

Загальні відомості

У нашій країні існують дві системи електричної тяги: система постійного струму з напругою 3 кВ та система змінного струму з напругою 25 кВ та частотою 50 Гц. Тип системи тяги визначається характером струму та

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значенням напруги в тяговій мережі. Для обох систем тяги існує різноманітний рухомий склад, що використовується (ЕПС).

Той самий рівень напруги в тяговій мережі можна отримати різними способами при встановленому типі струму, тому розрізняють системи тяги та системи тягового електропостачання, що їх реалізують. Під системою тягового електропостачання мається на увазі комплекс електротехнічних пристроїв, призначених для отримання необхідної напруги, яка подається в тягову мережу.

У нашій країні застосовуються три види систем тягового електропостачання: система постійного струму 3,3 кВ, система однофазного змінного струму 25 кВ та система однофазного змінного струму 2×25 кВ. Система змінного струму 25 кВ використовується при застосуванні останніх двох систем тягового електропостачання.

У деяких іноземних країнах, таких як Канада, США та ПАР, недавно була введена нова система тяги змінного струму 50 кВ та частотою 50 Гц, яка діє в системі тягового електропостачання тієї ж назви. У той же час у країнах Європи, таких як Німеччина, Швейцарія, Швеція, Австрія та Норвегія, довгий час використовується система тяги змінного струму з напругою до 15 кВ та зниженою частотою 162/3 Гц. Ця система реалізується в двох варіантах: з обертовими генераторами та перетворювачами, а також зі статичними перетворювачами.

У будь-якій системі тягового електропостачання основним споживачем енергії є ЕПС, який може отримувати енергію, підключаючись до тягової мережі, за умови, що вже є напруга в тяговій мережі. Тому важливо звертати увагу на спосіб подачі напруги в тягову мережу та її формування в системі тягового електропостачання.

Принципова схема ділянки залізниці, електрифікованої за системою постійного струму 3 кВ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

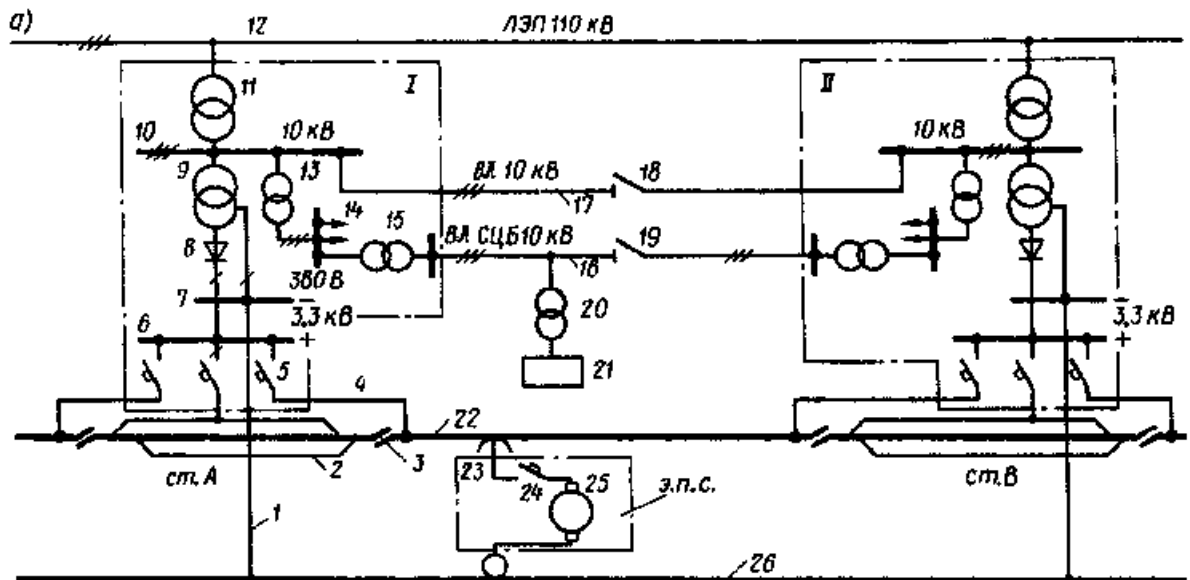


Рис. 3.11 - Принципова схема ділянки залізниці, електрифікованої за системою постійного струму 3 кВ, розрізи по ЛЕП 110 кВ

На схемі показана ділянка залізничної мережі завдовжки 20-25 км з двома сусідніми тяговими підстанціями I і II, які розташовані біля станцій А і В (Рисунок 3.11).

До лінії електропередачі (ЛЕП) трифазного змінного струму 110 кВ підключено трансформатор тягової підстанції 11, який знижує напругу з 110 кВ до 10 кВ. Після цього зниженого напругу подається на шини 10 розподільного пристрою тягової підстанції. Перетворювальний агрегат, що складається з перетворювального трансформатора 9 і випрямляча 8, підключений до цих шин. Напруга, знижена до 3 кВ на виході перетворювального трансформатора 9, випрямляється і подається на шини «плюс» 6 і «мінус» 7 тягової підстанції.

Тягова мережа між підстанціями утворена контактною мережею 22 і рейками 26. Контактна мережа 22 через вимикач 5 з'єднана з шини «плюс» 6, а рейки 26 через вимикач 1 з шини «мінус» 7 тягової підстанції. Таким чином, коли вимикач 5 фідера контактної мережі увімкнений, то між контактною мережею 22 і рейками 26 буде подано випрямлену напругу 3,3 кВ постійного струму. Піднявши струмоприймач 23 і ввімкнувши вимикач 24, машиніст створює ланцюг струму через тягові двигуни 25, і ЕПС рухається. Інші фідери

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тягової мережі з'єднані з шини «плюс» 3,3 кВ і використовуються для живлення різних ділянок залізниці.

Також є допоміжні лінії електропостачання для живлення нетягових споживачів вздовж траси залізниці. Вони підключені до двох сусідніх підстанцій I і II через трифазну повітряну лінію (ВЛ) 10 кВ. Ці лінії живлять різні служби дороги, механізми та інструменти, освітлення та інші об'єкти, розташовані по обидва боки залізниці. Для живлення цих споживачів в межподстанційній зоні є роз'єднувачі, що забезпечують живлення лише від однієї підстанції, якщо інша відключена.

Отже, тягові підстанції залізниць постійного струму відіграють ключову роль у процесі живлення системи електричної тяги. Вони забезпечують зниження напруги, що надходить від ліній електропередачі (ЛЕП), перетворення змінного струму на постійний та подальший розподіл електричної енергії по ділянках контактної мережі.

У випадку, коли залізниця електрифікована на змінному струмі промислової частоти, роль тягової підстанції полягає у зниженні напруги, що подається з ЛЕП, і розподілі електричної енергії по контактній мережі. На лініях змінного струму утворюється замкнутий контур струму, коли один кінець первинної обмотки трансформатора, розташованого на електровозі, з'єднаний з контактною мережею, а інший - з рейкою і через лінію до підстанції.

Принцип роботи тягових підстанцій змінного струму виявляється простішим, оскільки випрямлення напруги для живлення тягових двигунів здійснюється безпосередньо на електровозі.

Коефіцієнт корисної дії електричної тяги визначається добутком к. п. д. окремих елементів системи живлення електрифікованої залізниці, таких як електростанції, лінії електропередачі, тягові підстанції, контактна мережа та сам електровоз. Наприклад, якщо енергія надходить від теплової

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електростанції, к. п. д. якої становить приблизно 35%, то загальний к. п. д. електричної тяги складає близько 28%. Гідроелектростанції, к. п. д. яких досягає 85%, живлять приблизно одну п'яту частину електрифікованих залізниць, з коефіцієнтом корисної дії електротяги, що становить 60-62% при цьому.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

1. Обґрунтовано та обрано систему електроприводу ШПП – ДПС.
2. Виявлено, що система ПЧ – АД є більш економічною порівняно з системою ШПП – ДПС. Проте, головним недоліком системи ПЧ – АД є необхідність повної заміни та доопрацювання механічної частини візка для встановлення асинхронного двигуна, що може призвести до заміни багатьох ланок або їх доопрацювання для відповідності розмірам нового двигуна.
3. При встановленні системи ШПП – ДПС не потрібні будь-які зміни до конструкцій візків, оскільки будуть використані ті самі двигуни, що й на даному електровозі. Здійснюється лише невелике переобладнання і встановлення компактної системи управління двигуном. Можлива переробка пульта керування водія. Це призведе до покращення тягових і гальмівних характеристик електровоза. Використання мікропроцесорної системи управління дозволить знизити питому витрату електроенергії на 10-15%.
4. Був здійснений розрахунок параметрів тягового електричного двигуна для електровозу ВЛ 11. Потім були побудовані основні електромеханічні та енергетичні характеристики тягового двигуна ТЛ-2К1 для електромеханічної системи електровозу ВЛ 11.
5. Проведено моделювання розімкненої та замкненої системи керування ШПП-ТД за основними параметрами які були розраховані в 2 розділі роботи. Також обчислено основні контури зворотних зв'язків які полегшують роботу електроприводу електровоза ВЛ 11.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Лелека Б.І.			Висновки	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевірів		Пересунько І.І				42	1	
Н. Контр.		Пересунько І.І				КНУ		
Затвердж.		Пересунько І.І				гр. ЕЕМ-20		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вохмянин Э.С., Чумаков В.Ю. Электричні схеми електровозів ВЛ11 і ВЛ11м. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. — 235 с: іл.
2. ЕЛЕКТРОВАЗ ВЛ11. Посібник з експлуатації / Під ред. Г. І. Чиракадзе і О. А. Кикнадзе. — М.: Транспорт, 1983, 464 с.
3. Електроваз ВЛ11м: Посібник з експлуатації. — М.: Транспорт, 1994. 416 с.
4. Електровази ВЛ10 і ВЛ10у. Посібник з експлуатації / Під ред. О. А. Кикнадзе. — М.: Транспорт, 1981. — 519 с.
5. Пристрій і ремонт електровазів постійного струму. Підручник для технічних шкіл залізничного транспорту. М.; «Транспорт», 1977. 464 с. Авт.: С. А. Алябьев, Є. В. Горчаков, С.І.Осипов, Е.Е.Ридель, В.Н.Хлебников.
6. Электричні машини і преобразователі рухомого складу: Підручник для студ. закладів середньої проф. освіти / А. В. Грищенко, В. В. Стрекопытов. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 320 с.
7. Электроподвижный склад промислового транспорту: Довідник / Л. В. Балон, В. А. Браташ, М. Л. Бичуч і ін.; Під ред. Л. В. Балона.— М.: Транспорт, 1987,—296 с.
8. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу. Ю.П. Гончаров, М. В. Панасенко та ін. — Х.: НТУ «ХП», 2007. — 192 с.
9. Корнійчук, М. П. Технологія галузі і технічні засоби залізничного транспорту : Підручник. Ч. 1(розд. 1-6) / М.П. Корнійчук, Н.В. Липовець, Д.О. Шамрай. - К. : Дельта, 2006. - 500 с.
- 10.Г.М. Кірпа, О.М. Пшінько, І.В. Огієнко. Залізниці України: Історичний нарис. - Дніпропетровськ: АртПрес, 2001.-328 с.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Лелека Б.І.			Список використаних джерел	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Пересунько І.І					43	2
Н. Контр.		Пересунько І.І			КНУ гр. ЕЕМ-20			
Затвердж.		Пересунько І.І						

11. Теорія електропривода. / За ред. М.Г. Поповича, - Київ, Вища школа, 1993, 496 с.
12. Моделювання систем: Підручник для вузів/ В.М. Томашевський. - К.: ВНУ, 2005.-352 с.
13. Правила технічної експлуатації залізниць України - Київ : Поліграф сервіс, 2002 . 144 с.
14. Васильєва, Л. Д. Напівпровідникові прилади: підручник для вузів / Л. Д. Васильєва, Б. І. Медведенко, Ю. І. Якименко. - К. : ІВЦ "Вид-во "Політехніка", 2012. - 554 с.
15. C. Bae, D. Lee and T. H. Nguyen, "Detection and identification of multiple IGBT open-circuit faults in PWM inverters for AC machine drives," IET Power Electronics, vol. 12, no. 4, pp. 923-931, 10 4 2019.
16. R. Peugeot, S. Courtine and J. -. "Rognon. Fault detection and isolation on a PWM inverter by knowledge-based model, " IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, no. 6, pp. 1318-1326, Nov.-Dec. 1998.
17. A. J. Marques Cardoso and A. M. S. Mendes. "Semi-converter fault diagnosis in DC motor drives, by Park's vector approach, " 1996 Sixth International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives, Nottingham, UK, 1996, pp. 93-98.
18. Bae C J , Lee S M , Lee D C . "Diagnosis of multiple IGBT open-circuit faults for three-phase PWM inverters," Power Electronics & Motion Control Conference. IEEE, 2016.
19. Dong-Eok Kim and Dong-Choon Lee. "Fault diagnosis of three-phase PWM inverters using wavelet and SVM," 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Cambridge, 2008, pp. 329-334.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-13	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		