

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

_____ магістр

(освітній ступінь)

на тему: «Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів»

Виконав: ст. __ курсу, гр. ЕПА-18мз
галузь знань 14 – Електрична інженерія
спеціальність 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод»

_____ Кирничний В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Кутін В.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2020 року

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітній ступінь магістр
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

д.т.н., проф.

В. М. Кутін

“ ___ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кирничному Володимиру Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів
керівник роботи Кутін Василь Михайлович, д.т.н., проф. каф. ЕМСАПТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 20__ року № ___
2. Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи: тип електровозу – постійного струму К14; вага зчеплення – 14 т, сила тяги – 24 кН; потужність тягових двигунів – 2x45 кВт; швидкість (годинний режим) – 12,8 км/год; швидкість тривалий режим) – 18,4 км/год; тягові двигуни – ЭТ-46; напруга живлення – 250 В постійного струму; перевантажувальне відношення редуктора – 14,75;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; 1 Обґрунтування системи контролю та захисту елементів тягового електропривода постійного струму рудникових електровозів; 2 Вибір і теоретичне обґрунтування методу вдосконалення системи діагностування та захисту від аварійних режимів елементів тягового електропривода; 3 Вибір засобів системи діагностування та захисту і оцінювання її ефективності; 4 Економічна частина; 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1 Вступ, об'єкт, предмет, мета, задачі дослідження. 2 Загальна характеристика об'єкту дослідження . 3 Аналіз відмов електромеханічного обладнання. 4 Аналіз функціонування контактного електровоза К14. 5 Функціональна схема системи захисту ТЕП. 6 Вибір структури системи діагностування параметрів ТЕП. 7 Моделі мереж Петрі системи контролю параметрів ТЕП. 8 Моделювання засобів діагностування та захисту. 9 Пристрій безконтактного контролю і захисту тягових електричних двигунів. 10 Засоби безсенсорного контролю швидкості руху. 11. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	д. т. н., проф. каф. ЕПСАПТ Кутін В.М.		
Економічна частина	Мельничук Л.М. к.е.н., доц. каф. ЕПСАПТ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
9	Захист МКР		

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)**Керівник роботи**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кирничний В.А. "Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів". Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця.: ВНТУ. 2020 – 125 с. Бібліогр.:29. Іл.:32. Табл.:16.

Вирішена актуальна наукова задача підвищення ефективності функціонування тягового електричного привода постійного струму шахтних контактних електровозів шляхом застосування обґрунтованих технічних рішень їх електромеханічної частини з комплексним рівнем електричного захисту та без сенсорною системою контролю температурних та швидкісних режимів функціонування електричних двигунів. Створено нову структуру комплексної підсистеми захисту і контролю елементів рудникових контактних електровозів від нештатних режимів роботи. Визначено заходи безпечної експлуатації системи електроприводу та правила безпеки для персоналу, який обслуговує та експлуатує електровоз.

Ключові слова: електропривод, електровоз, регулювання, тяговий електричний двигун, контроль, захист, діагностування, електротехнічний комплекс.

АННОТАЦИЯ

Кырнычный В.А. "Контроль и защиту технического состояния тягового электропривода постоянного тока рудничных контактных электровозов". Магистерская квалификационная работа. – Винница.: ВНТУ. 2020 – 125 с. Библиогр.:29. Ил.:32. Табл.:16.

Решена актуальная научная задача повышения эффективности функционирования тягового электрического привода постоянного тока шахтных контактных электровозов путем применения обоснованных технических решений их электромеханической части с комплексным уровнем электрической защиты и без сенсорной системой контроля температурных и скоростных режимов функционирования электрических двигателей. Создана новая структура комплексной подсистемы защиты и элементов рудничных контактных электровозов от нештатных режимов работы. Определены меры безопасной эксплуатации системы электропривода и правила безопасности для персонала, обслуживающего и эксплуатирующего электровоз.

Ключевые слова: электропривод, электровоз, регулирования, тяговый электрический двигатель, контроль, защита, диагностирования, электротехнический комплекс.

ANNOTATION

Kyrnychnyi V.A. "Control and protection of the technical state of the electric traction DC electric contact mine" Master's qualification work. - Vinnitsa.: VNTU. 2020 – 125 p. Bibliogr .:29. Il .:32. Table .:16.

Actual scientific problem solved improve the efficiency of electric traction DC drive shaft electric contact by applying reasonable technical solutions to their complex electromechanical parts of electric protection level without touch control system temperature and high-speed modes of operation of electric motors. A new integrated structure protection and control subsystem elements of mine contact electric emergency modes. The measures safe operation of the electric system and the safety rules for staff maintains and operates electric.

Keywords: electric, electric, control, traction electric motor, control, protection, diagnostics, electrical complex.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ.....	9
1.1 Загальна характеристика та класифікація контактних електровозів рудничної галузі	9
1.2 Характеристика технології видобутку підземним способом і транспортування залізної руди	12
1.3 Тягові електромеханічні комплекси рудникових двоосних електровозів, нормальні і аварійні режими їх роботи	14
1.4 Аналіз існуючих методів і засобів підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності використання за призначенням електромеханічних комплексів рудникових електровозів	20
1.5 Мета та задачі дослідження.....	30
2 ВИБІР І ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	32
2.1 Теоретичне обґрунтування методу діагностування та захисту елементів ТЕП постійного струму рудникових електровозів	32
2.2 Вибір структури системи діагностування параметрів тягового електропривода	39
2.3 Вибір методу захисту елементів тягового електропривода	42
2.4 Моделювання засобів діагностування та захисту електрообладнання тягового електровоза.....	48
2.4.1 Максимальний струмовий захист.....	48
2.4.2 Захист від короткочасного перевищення та зникнення напруги живлення.....	55

3 ВИБІР ЗАСОБІВ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ І ОЦІНЮВАННЯ ЇЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	59
3.1 Аналіз методів дослідження теплових режимів тягових двигунів	59
3.2 Розробка способів і пристроїв безконтактного контролю і захисту тягових електричних двигунів електровоза від перевищення температури їх нагрівання	66
3.3 Розробка способів і засобів безсенсорного контролю швидкості руху рудникових контактних двоосних електровозів.....	70
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	76
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	84
ВИСНОВКИ.....	103
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	105
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	109
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	113

ВСТУП

Електричним називають такий вид транспорту, рух якого відбувається за допомогою тягових електричних двигунів.

Електровоз (рос. электровоз; англ. electric locomotive; нім. Elektrolokomotive, E-Lok) – це локомотив, що приводиться в рух тяговими електродвигунами, які отримують електричну енергію через струмоприймач від контактної мережі [1]. У контактну мережу електроенергія поступає від тягової підстанції. В залежності від призначення електровози класифікуються на пасажирські, вантажні та маневрові. А за видом струму – постійного та змінного струму. Електровоз повинен забезпечувати: високу надійність та безпеку руху при мінімальній вартості перевезення вантажу; високу швидкість сполучень та достатню перевізну здатність; мінімальний шум (комфортабельність перевезень) [1, 2].

Загальна протяжність електричних залізничних сполучень у всьому світі складає понад 200 тис. км, що становить приблизно 20% загальної їх довжини. Це, як правило, найбільш вантажонапружені лінії, гірські ділянки з крутими підйомами і численними кривими ділянками шляху, приміські вузли великих міст з інтенсивним рухом електропоїздів.

Загалом, техніка електричних залізниць за час їх існування змінилася докорінно. Зберігся тільки принцип її дії. Наразі вже застосовується привід осей локомотива від електричних тягових двигунів, які використовують енергію електростанцій. Ця енергія підводиться від електростанцій до залізниці по високовольтних лініях електропередачі, а до електрорухомого складу - по контактної мережі. Зворотній ланцюгом служать рейки і земля.

Варто відзначити, що в цілому розрізняють та використовують три різні системи електричної тяги – постійного струму, змінного струму низької частоти і змінного струму стандартної промислової частоти 50 Гц. У першій половині цього століття до другої світової війни застосовувалися дві перші системи, треті отримала визнання в 50-60-х роках, коли почався інтенсивний

розвиток перетворювальної техніки і систем управління приводами. У системі постійного струму до струмоприймачів електрорухомого складу підводиться струм напругою 3000 В (в деяких країнах 1500 В і нижче). Такий струм забезпечують тягові підстанції, на яких змінний струм високої напруги загальнопромислових енергосистем знижується до потрібного значення і випрямляється потужними напівпровідниковими випрямлячами.

Локомотивний транспорт є основним видом транспорту на шахтах гірничодобувної промисловості і служить для перевезення основних і допоміжних вантажів, перевезення людей і виробництва маневрових робіт. Локомотивна відкочування застосовується в виробках з нахилом до $5^\circ / 00$.

Застосовуються наступні види локомотивів:

- акумуляторні і контактні електровози постійного струму;
- електровози змінного струму підвищеної частоти з безконтактним зніманням енергії з лінії живлення (неправильно звані «високочастотними електровозами»);
- інерційні локомотиви (гіровоз);
- дізелевози [3, 4].

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є електромеханічні та теплові процеси в елементах тягового електромеханічного комплексу шахтного контактного електровоза.

Предметом дослідження роботи є контроль та захист елементів тягового електропривода.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності та надійності функціонування тягового електричного привода постійного струму шахтних контактних електровозів шляхом вдосконалення структури електромеханічної частини в напрямку включення в неї підсистем контролю та захисту електрообладнання від позаштатних режимів роботи.

В процесі досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити наступні наукові задачі:

- аналіз існуючих та дослідження перспективних структур тягового електричного привода постійного струму рудникових електровозів, формалізація параметрів, які впливають на надійність та працездатність тягових електромеханічних комплексів;
- дослідження причин та характеру пошкодження елементів тягового електричного привода, моделювання нештатних (аварійних) ситуацій в ньому, аналіз та розробка методів, структурних схем підсистем комплексного захисту тягового електрообладнання рудникових електровозів із залученням до цього процесу математичного апарату мереж Петрі;
- аналіз та оцінка реального діапазону зміни температури нагріву елементів тягового електричного двигуна, розробка способів мінімізації наслідків перевищення реальних значень температури.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої в роботі мети використовувалися складові теорії тягового електропривода постійного струму та напівпровідникових перетворювачів. Аналіз структурних схем підсистем захисту тягового електропривода постійного струму проведений із використанням методу мереж Петрі. Для аналізу теплових процесів в тягових електричних двигунах постійного струму використані елементи математичного аналізу. Аналіз електромагнітних процесів в колі тягового електричного двигуна проведений із залученням методів математичного та фізичного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

На основі мереж Петрі побудовано мережеву модель та створено нову структуру комплексної підсистеми захисту і контролю елементів рудникових контактних електровозів від нештатних режимів роботи. Розроблено в структурі тягового електропривода постійного струму нову структуру комплексної системи з реальними захисними параметрами тягових електромеханічних модулів від надструмів та перенапруг.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в тому, що:

- розроблені до застосування в загальних структурах ТЕМК рудникових контактних електровозів функціональні схеми комплексного захисту від нештатних ситуацій;
- розроблені схемотехнічні рішення по безконтактному контролю та захисту тягових електричних двигунів рудникових електровозів від перевищення температурних режимів функціонування, по безконтактному контролю швидкості руху рудникових електровозів.

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2020).

1 ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

1.1 Загальна характеристика та класифікація контактних електровозів рудничної галузі

Рейковий підземний транспорт широко застосовується в гірничорудній промисловості зважаючи на свою високу ефективність для перевезення вантажів на великі відстані. Нові технологічні рішення, модернізація шахтних транспортних ліній, дозволяють говорити про актуальність і затребуваності даного напрямку.

Модернізація галузі проходить в ключі поліпшення показників продуктивності, шляхом зміни конструкції вагонеток, впровадженням двосистемних контактано-акумуляторних електровозів, монорейкових транспортних систем. Фактором, що стримує розвиток локомотивної відкатки, є застосування двигунів постійного струму послідовного збудження з реостатно-контакторною схемою управління. Незважаючи на всі переваги, використовуваного рішення і великий досвід роботи на шахтному підземному транспорті у даного рішення є ряд недоліків:

- втрата енергії в силовому режимі, як в режимах пуску, так і при гальмуванні через неможливість використовувати рекуперативне гальмування.

- м'яка механічна характеристика характерна для тягового приводу в сукупності з реостатно-контакторною схемою управління ускладнює завдання підтримки стабільності швидкості електровоза в статичних режимах роботи;

- конструктивний недолік тягових двигунів постійного струму в вигляді щітково-колекторного вузла, обмежує надійність, ускладнює технічне обслуговування, та робить складним їх застосування в шахтах з

вибухонебезпечною атмосферою.

- відсутність ефективних рішень від пробуксовки і юза [3 - 6].

Шахтні локомотиви мають такі види виконання: рудничне нормальне РН (контактні електровози); рудничне підвищеної надійності РП (акумуляторні електровози і електровози змінного струму); рудничне вибухобезпечне РВ (гіровоз, вибухобезпечні акумуляторні електровози, вибухобезпечні дизелевози). Область застосування локомотивів різних рівнів вибухозахисту визначається ПБ.

За зчіпною вагою локомотиви поділяють на: легкі - до 50кН, середні - 50-140кН, і важкі понад 140 кН.

Залежно від умов відкатки доцільно застосовувати локомотиви різної маси:

- по вентиляційних виробках і горизонтів і по дільничним виробках (підповерхового і поверхові штреки) - локомотиви масою 7-10 т;

- по виробках основних горизонтів - масою 14-28 т при ширині колії рейкового шляху 750 і 900 мм і 7-10 т при ширині колії 600 мм.

Переваги локомотивного транспорту: багатофункціональність; практично необмежена продуктивність, що залежить від числа локомотивів; висока економічність; маневреність; можливість роздільного і безперевантажувальних транспортування по розгалуженій трасі практично на необмежені відстані; високий коефіцієнт готовності відкатки.

Недоліки локомотивного транспорту: циклічність; залежність продуктивності від рівня організації; обмеженість застосування по кутах нахилу; утруднення в забезпеченні безпеки роботи при підвищених профілях шляху; наявність складного акумуляторного господарства при використанні акумуляторних електровозів.

Вибір локомотива, відповідного категорії вибухобезпеки шахт, проводиться па підставі техніко-економічного розрахунку за умовою мінімуму приведених витрат на локомотивну відкатку. Виробнича потужність

шахти (горизонту) і відстань транспортування є основними факторами, що впливають на вибір маси локомотива, а також типу і вантажопідйомності відкатувального судини.

Рудничні електровози постійного струму.

Контактні електровози набули найбільшого поширення на рудниках чорної і кольорової металургії, акумуляторні електровози застосовуються на вугільних шахтах і складають 80% від загального числа працюючих локомотивів.

Контактні електровози працюють від контактної мережі постійного струму на напругу $U = 250$ В. Акумуляторні електровози від тягових шахтних акумуляторних батарей.

На основі аналізу переваг і недоліків різних видів локомотивів, гірничо-геологічних умов шахти і прогнозу розвитку гірничодобувної промисловості визначено типорозмірний ряд шахтних локомотивів по категорії вибухобезпеки.

До типорозмірного ряду належать такі типи електровозів:

- акумуляторні АК-2У, 4,5АРП-2М, 5АРВ2М, АРП7, АРВ7, АМ-8Д, 2АМ-8Д, АРП10, АРП14, АРП28;

- контактні електровози 3кр-600, 4КР1, 7КР-1У, К10, К14, КТ14, КТ28.

В останні роки електровози модернізувалися, а також різними заводами створювалися нові моделі. Наприклад, Олександрівський машзавод випускає рудничні контактні електровози К4, 7КРМ1, К10, К14. Новочеркаський електровозобудівний завод: електровоз контактний шахтний КН10, електровоз контактний рудничний екран-600 (масою 3,3 т, колія 600 мм).

Ясногорський машзавод: електровози акумуляторні серії АРП-7 і АРВ - 7, електровози акумуляторні серії А5,5 (маса 5,5 т, сила тяги 9-9,5 кН, виконання РП), А8 (виконання РП), В8 (виконання РВ), електровози спарені акумуляторні серії 2А8, 2В8.

Дружківський машзавод: електровози акумуляторні серії АМ8Д,

2АМ8Д, АРП-10 та АРП-14, і електровози контактні ЕК10Т (тиристорна система управління), ЕК10Р (реостатна система управління) [5, 6].

1.2 Характеристика технології видобутку підземним способом і транспортування залізної руди

Стратегічно важливим та перспективним напрямком розвитку економіки України є добування вітчизняної залізної руди (ЗРС). Україна досі стійко знаходиться в числі світових лідерів по розвіданим запасам залізних руд серед світових експортерів по об'ємам розвіданих запасів та видобутку цього виду корисних копалин. (див. рисунок 1.1).

Разом з тим, як показують дослідження, в найближчі 50-100 років відчутні змін в стратегії побудови технології видобутку ЗРС як у світі, так і в Україні, не очікується [2].

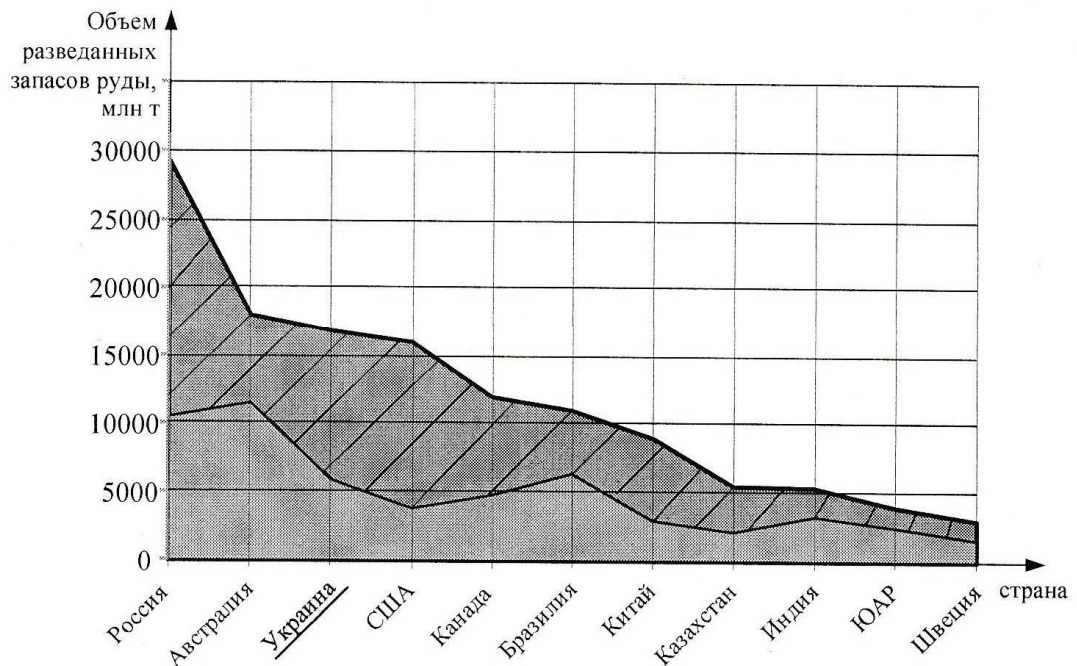


Рисунок 1.1 – Показники розвіданих запасів залізних руд у світі

Не менш важливим є той факт, що об'єми видобутку ЗРС на вітчизняних залізнорудних підприємствах в останні роки набули стійкої тенденції до збільшення та вже досить щільно наближаються до показників

найкращих років для даної галузі (див. рисунок 1.2) [3].

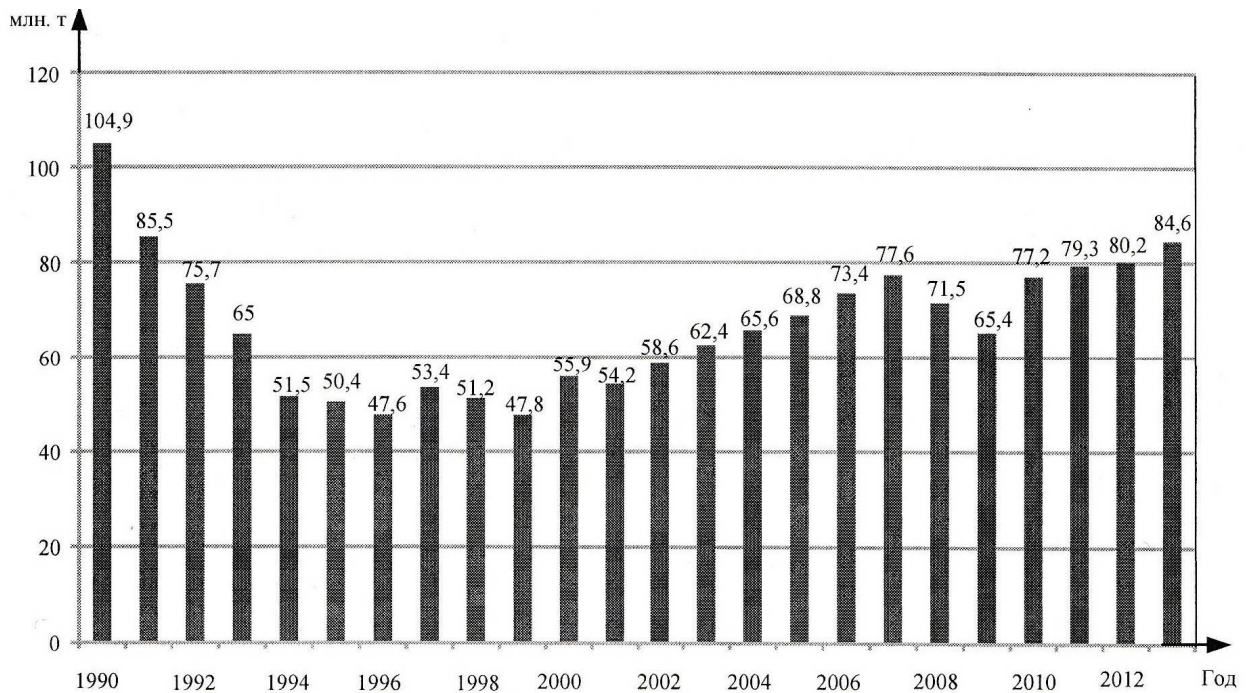


Рисунок 1.2 – Показники об'ємів видобутку залізорудної сировини в Україні

Пріоритет першості по видобутку вітчизняної залізорудної сировини належить підприємствам м. Кривий ріг, де залізна руда добувається, починаючи з 18-го століття. В теперішній час на шахтах і кар'єрах Криворізького залізорудного басейну зараз добувається більше ніж 90% всієї ЗРС та виробляється біля 80% чавуна та прокату [2].

1.3 Тягові електромеханічні комплекси рудникових двоосних електровозів, нормальні і аварійні режими їх роботи

Як відмічалось раніше, з існуючого вітчизняного типорозміру рудникових контактних електровозів в рудних шахтах експлуатуються 10-ти та 14-ти тонні машини: К10 та К14. Обидва цих види електровозів обладнані двухмодульними тяговими електроприводами постійного струму із потужністю тягових двигунів відповідно 33 та 45 кВт. На рисунку 1.3 приведена силова схема електровозу К14.

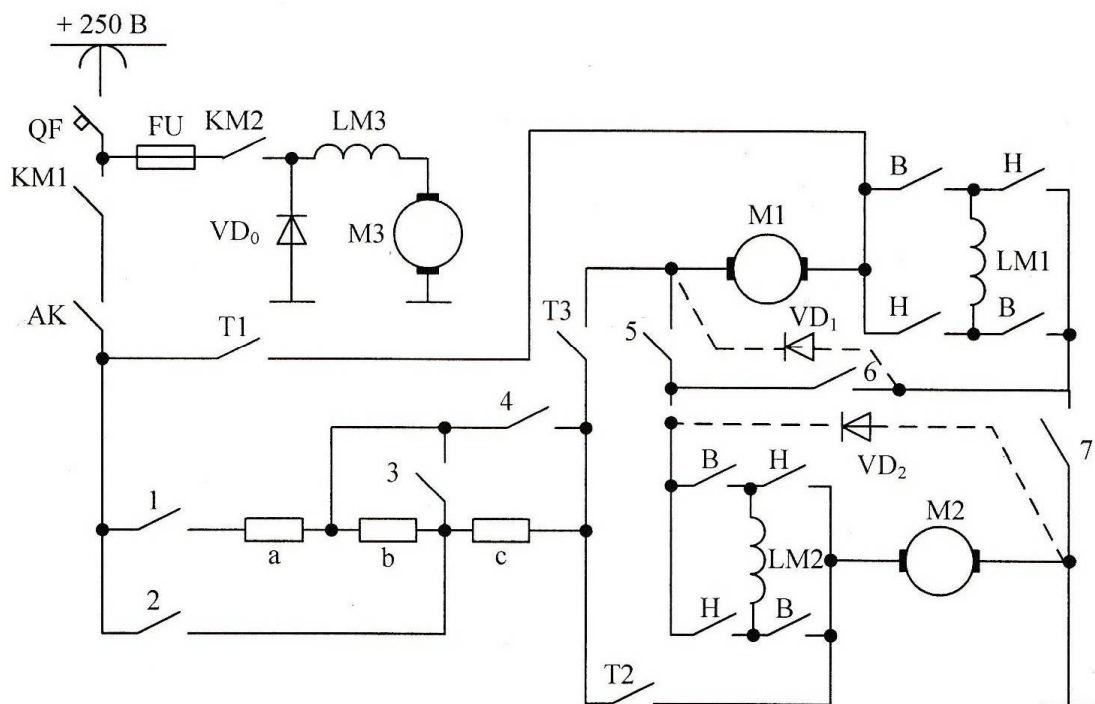


Рисунок 1.3 – Принципова схема силової частини тягового електрообладнання шахтного контактного електровоза К14

Аналіз пошкоджень, проведений для 500 одиниць електровозів К14, які експлуатуються в шахтах Криворізького залізнорудного басейну, приведений на рисунку 1.4.

Аналіз схеми (рисунок 1.4), проведений автором, показав, що і сама

структура ТЕМК даного типу електровозів в тій чи іншій степені є причиною таких пошкоджень.

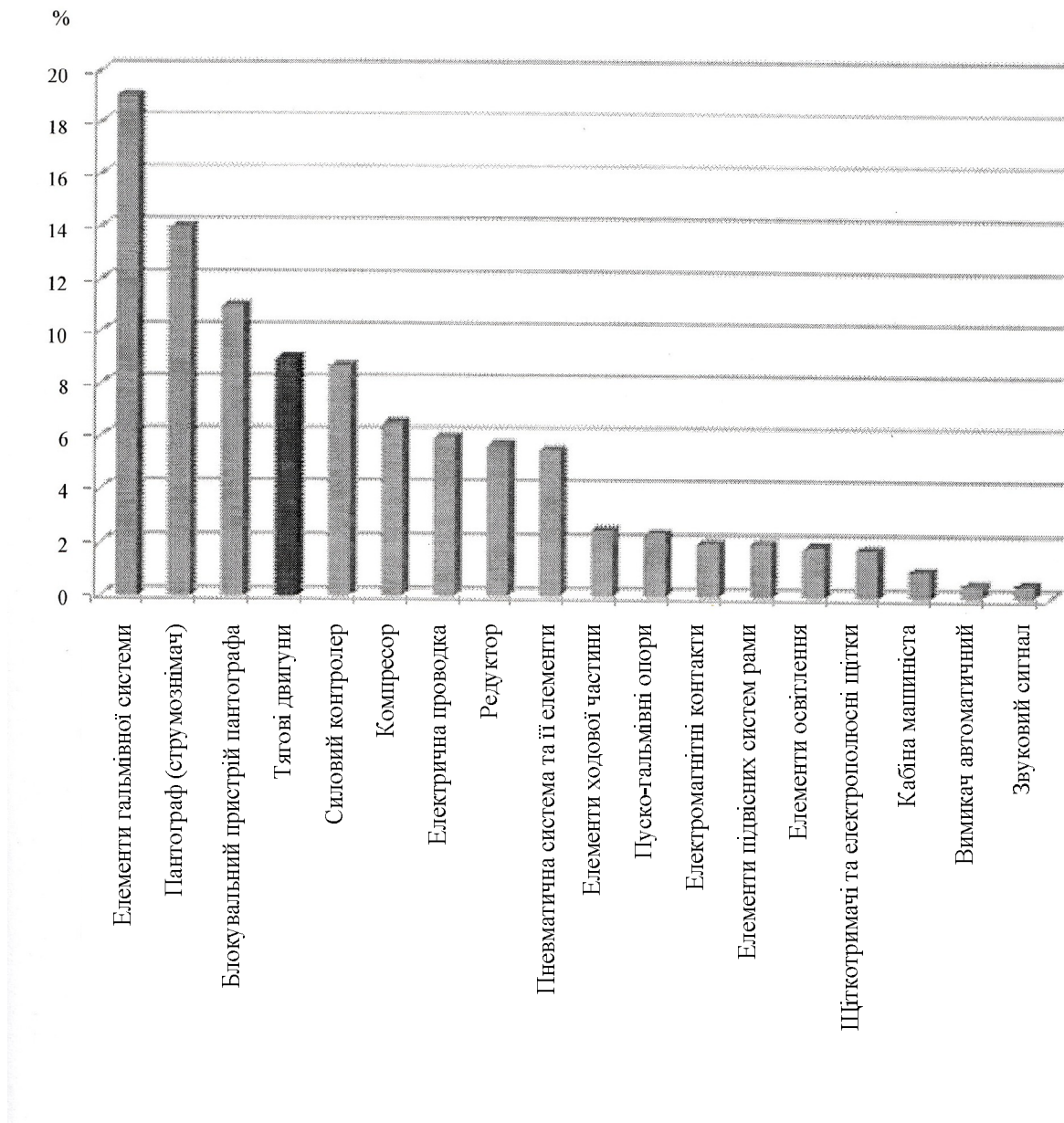


Рисунок 1.4 – Аналіз відмов електромеханічного обладнання рудникових електровозів K14

В зв'язку з цим було запропоновано авторський варіант вдосконалення схеми по рисунку 1.3, запропонований на рисунку 1.5. Однак, це не було рішенням проблеми надійності ТЕМК, а лише частковий підхід як часово-перехідне-рішення, оскільки не було вирішене питання мінімізації різниці параметрів при паралельному функціонуванні тягових модулів електровозів.

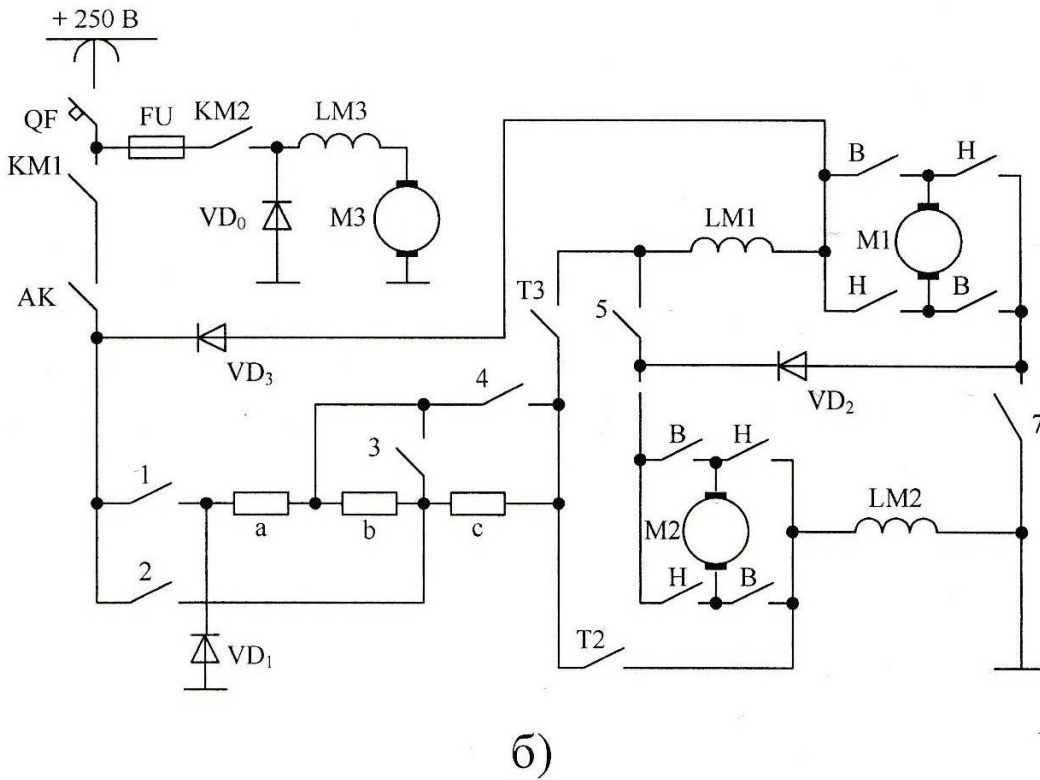
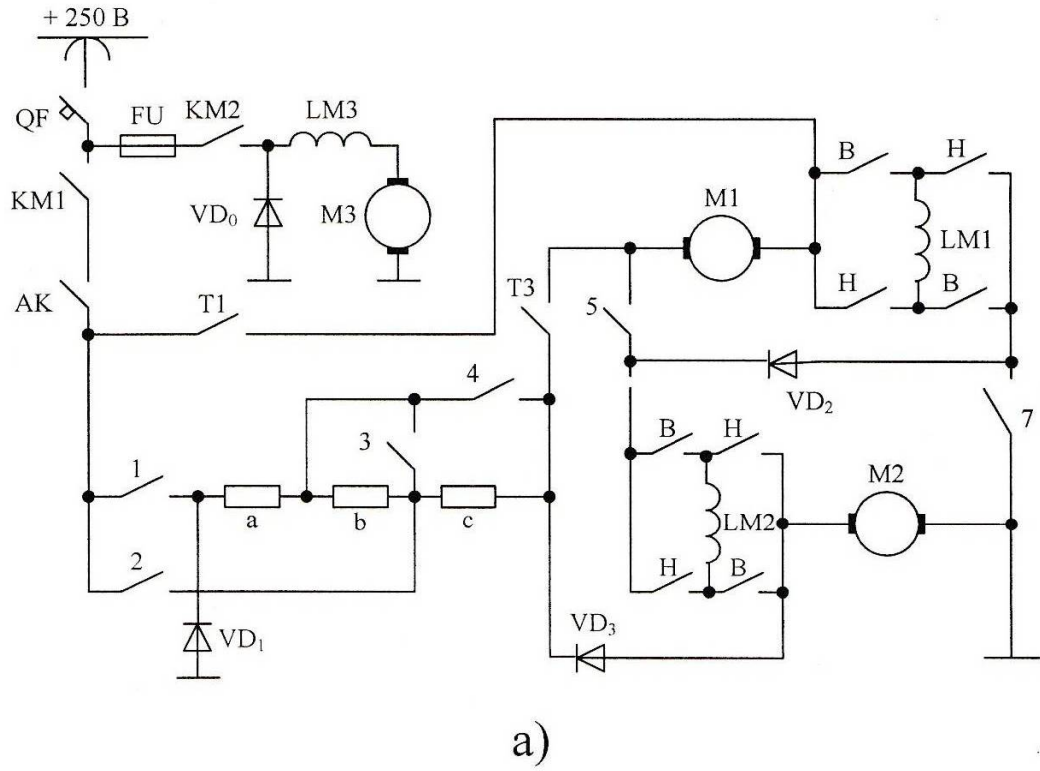


Рисунок 1.5 – Скоригована схема контактеного електровоза К14:

а) з реверсом обмотко збудження;

б) з реверсом обмоток якорів

На рисунку 1.6 для наочності представлені параметри режимів функціонування ТЕП цих електровозів при паралельному функціонуванні ТЕД. З графіків можна зробити важливі висновки, які полягають в тому, що що режими функціонування тягових модулів, в тому числі ТЕД одного і того ж електровоза, не дивлячись на те, що вони працюють на одне навантаження, далеко не однакові. Ця невідповідність відноситься і до рівня струмів, які протікають в їх обмотках, і до частоти обертання роторів. Поза сумнівом, що такий стан в різності параметрів ТЕД в сукупності з іншими факторами і є причиною передчасних пошкоджень, і перш за все ТЕД.

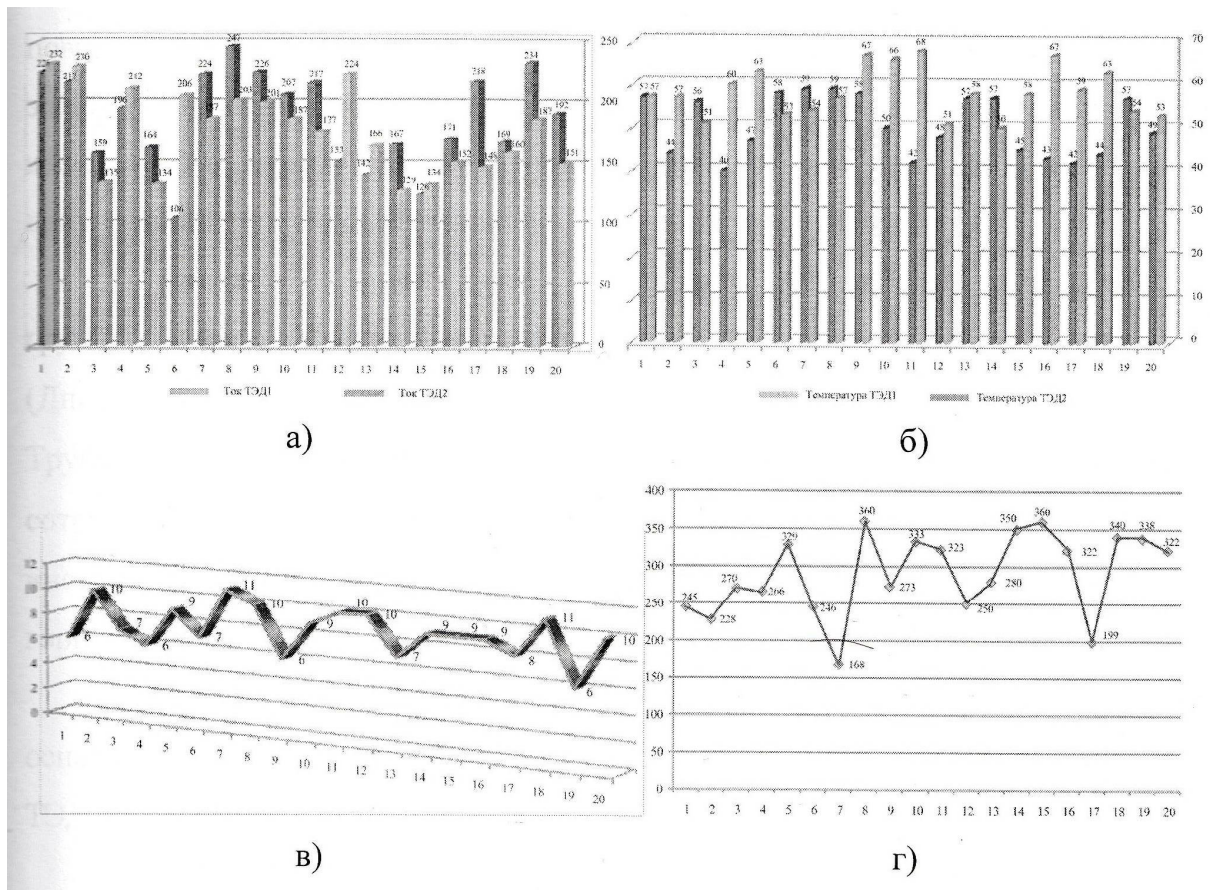


Рисунок 1.6 – Параметри функціонування контактної електровоза К14 при русі по вантажному квершлагу 1320 м.:

- а) струм тягових двигунів;
- б) температура тягових двигунів;
- в) швидкість руху електровоза;
- г) напруга контактної мережі

Оцінка можливостей усунення даної диспропорції самої СУ ТЕП в даному варіанті побудови ТЕМК нереально, тобто необхідними є нові сучасні системи із адаптацією режимів при паралельній роботі модулів на одне навантаження, тобто необхідною є нова СУ ТЕП.

Разом з тим, для отримання комплексності рішення поставленої задачі, поставленої в даній роботі, в якості першого кроку є цікавим дослідження причин пошкодження.

Як слідує з рисунку 1.4, зі всього комплексу складових ТЕП шахтних контактних електровозів найбільш ємким по факту наслідків ненадійності та передчасному виходу з ладу є система керування і тягові електричні двигуни. Адже саме ці складові, в першу чергу, призначені для забезпечення живучості всього електровозу як рухомої одиниці.

Тому першим кроком до оцінки причин поломок окремих складових елементів ТЕП був аналіз пошкоджень ТЕД, а в подальшому – пошук способів та методів мінімізації цього факту до оптимального рівня за допомогою СУ ТЕП.

Перші дослідження по аналізу та спробі узагальнення причин пошкодження ТЕД постійного струму, які експлуатуються в тягових електротехнічних комплексах контактних електровозів залізничних шахт, відносяться ще до 30-м рокам минулого століття та належать групі дослідників на чолі з проф. Шклярським Ф.Н. [7].

В ході вище приведених досліджень був встановлений основоположний тезис: надійність або терміни міжремонтної експлуатації ТЕД визначаються в основному режимами функціонування останніх.

Опираючись на результати цих досліджень та оцінюючи рівень відповідних похідних змін в сучасних вітчизняних залізничних шахтах, були проведені додаткові дослідження.

Узагальнюючи результати цих досліджень з акцентом на необхідність деталізації окремих дослідницьких процесів, відзначимо, що аналіз режимів

функціонування ТЕД в умовах сучасних залізорудних шахт показав:

- час роботи ТЕД, як і самих електровозів, на відміну від 90-х років минулого століття, на протязі доби зменшився в середньому на 30-40%;
- невстановлені режими функціонування ТЕД на протязі одного циклу руху за цей же час скоротились незначно – на 2-4%;
- міжремонтні терміни експлуатації ТЕД скоротились майже в 5-6 разів і складають зараз в середньому 2-4 місяці.

Аналіз факторів, які дозволили сформувавши вище приведені дані, показав наступне. Перший та другий пункти мають об'єктивний характер в силу зниження глибин видобутку та напряду пов'язані із змінами технологічних умов видобутку ЗРС підземним способом. А ось причини підвищення за собою третього пункту мають комплексний характер, в тому числі наступне.

На строки міжремонтної експлуатації елементів ТЕК шахтних контактних електровозів і ТЕД зокрема впливають:

- недосконалість конструкцій як самих ТЕД, так і окремих елементів;
- недостатня кваліфікація та технічна культура машиністів електровозів для керування рухом;
- технологічні недосконалості схемотехнічних рішень тягових електроприводів;
- відсутність достатньо ефективних систем штучного відведення тепла (охолодження) від елементів ТЕД;
- відсутність в структурах систем управління тяговим електроприводом систем (підсистем) контролю, моніторингу, захисту та оцінки «життєвого потенціалу» при реальному підвищенні температури нагріву елементів ТЕД;
- недосконалість систем технічного обслуговування та методів оцінки технічного стану обладнання електровозів в реальному часі;

- недосконалість розрахункових методів визначення електричних навантажень ТЕД.

Відзначимо, що оцінка видів пошкоджень та визначення основоположних причин (факторів) виходу з ладу складових ТЕТК шахтних електровозів, яка дозволяє побудувати тактику побудови системи контролю параметрів тягового обладнання, одночасно має бути спрямована і на перспективу виготовлення нового електрообладнання.

1.4 Аналіз існуючих методів і засобів підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності використання за призначенням електромеханічних комплексів рудникових електровозів

Питанням вдосконалення тягових електротехнічних комплексів (ТЕТК) рудникових електровозів як вельми специфічного виду електровозів, які суттєво відрізняються від своїх аналогів – магістральних та промислових, - завжди приділялась належна увага.

Очевидно, що в останні 10-15 років після тривалого застою знову спостерігається відродження досліджень в двох напрямках вдосконалення тягових електроприводів та систем управління ними [3] – з традиційними двигунами постійного струму та імпульсними регуляторами, а також із двигунами змінного струму, зазвичай асинхронними, з коротко замкнутим ротором, та перетворювачами частоти.

Обидва цих напрямки не є такими, що взаємно виключають, а навпаки, які доповнюють одне одного. При цьому в першому випадку замість неефективних та малоекономічних реостатних систем управління рівнем напруги ТЕД постійного струму використовується імпульсний регулятор на базі напівпровідникових елементів (тиристорів або транзисторів), що дозволяє виключити втрати в пускорегулювальних реостатах та зекономити біля 30% електроенергії на тягу поїздів.

В другому варіанті – перехід на системи управління із асинхронними ТЕД, які володіють рядом переваг перед приводом постійного струму, є, безумовно, ефективною перспективою, однак поки-що перспективою. Пов'язано це, головним чином, з тим, що заміна існуючих тягових машин постійного струму на машини змінного струму потягне за собою необхідність заміни всього комплексу тягового обладнання майже 4-х тисяч одиниць електровозів. Вартість такої «повної заміни» тягового електротехнічного обладнання окрім матеріальних затрат (на що немає фінансування) вимагатиме і тривалого періоду на конструкторську роботу та виготовлення нових зразків [8, 9].

Більше того, перший варіант може проходити як етап модернізації ТЕМК рудникових електровозів та виконуватись навіть в умовах діючих шахт. Тим більше, що сучасні розробки потужних силових напівпровідникових приладів спеціальних видів виконання, які володіють комутаційними характеристиками, близькими до ідеального ключа, дозволяють створити енергоефективні та надійні структури ТЕП постійного струму при одночасному зниженні габаритів та витрат на обслуговування.

Серед різноманіття пропонованих до виробництва схемо технічних рішень ТЕТК постійного струму для умов аналізованого варіанту рудникового контактного двоосного електровоза особливої уваги заслуговує одно блочна схема (див. на рисунку 1.7), яка містить три чопери ($UM1$, $UM2$, UB), чим пояснюється його висока надійність в порівнянні з іншими схемами [8-10]. Перетворювачі виконують функції регулювання тягового та гальмівного струмів, послаблення збудження, реверсування напрямку обертання двигуна. Втрати електроенергії в цій схемі визначаються тільки двома напівпровідниковими приладами: діодом DB і транзистором TB . Проте схема має недолік – наявність втрат потужності в гальмівному діоді DB в тяговому режимі.

Крім того, існує схема двоблочного здвоєного ТЕП, принципова

електрична схема якого запропонована на рисунку 1.8. Відмінною рисою даної схеми є наявність загороджувального діоду DF в гальмівному колі, який попереджає порив струму по колу $P(+)\rightarrow 2MM\rightarrow$ зворотний діод $TB\rightarrow DB\rightarrow IDD\rightarrow M(-)$ при первинній подачі напруги на перетворювач.

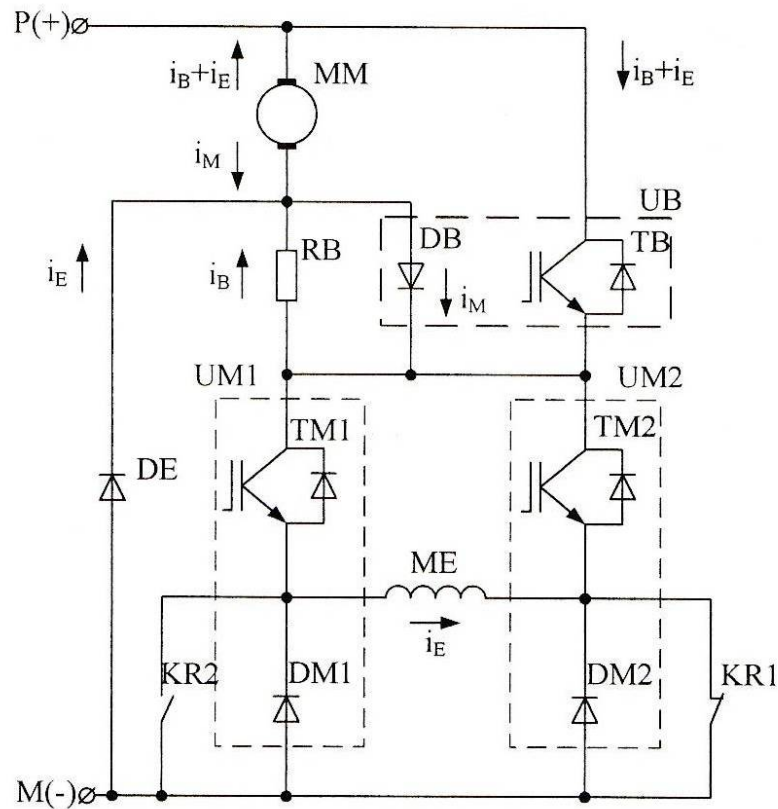


Рисунок 1.7 – Принципова схема перетворювача

Позитивними факторами схем здвоєних перетворювачів є:

- мінімальна кількість IGB-транзисторних хоперів (5-6 на два блоки);
- висока надійність;
- найбільш високий ККД – в порівнянні з одиночним блоком в здвоєному є відсутніми діоди DB в тяговому колі, відповідно, відсутніми є і втрати потужності в них в тяговому режимі.

Однією з головних задач створення ефективно працюючого ТЕП є усунення впливу зовнішніх факторів на роботу комплексу.

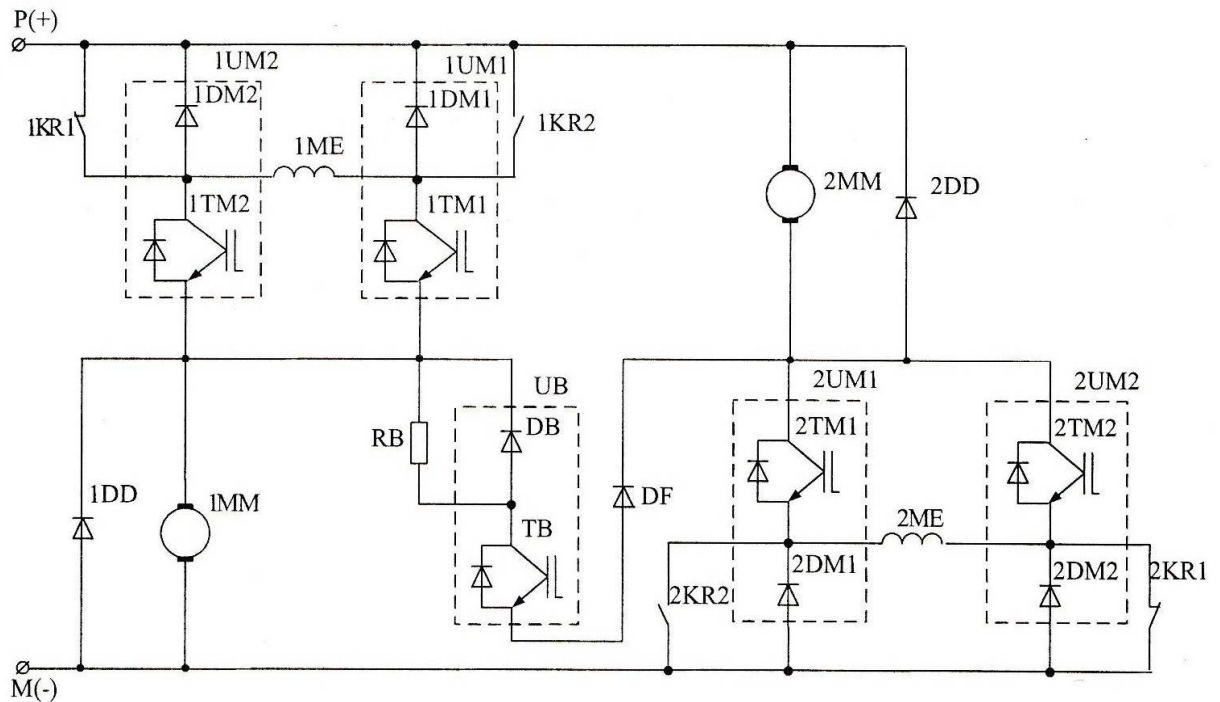


Рисунок 1.8 – Принципова схема двоєного перетворювача

Нажаль, в структурах ТЕП, які знаходяться в експлуатації на вітчизняному рухомому складі залізничних шахт, в схемах, які представлені вище, відсутні елементи захисту окремих вузлів ТЕТК від аварійних ситуацій, що впливає на надійність комплексу рудникової відкатки. В свою чергу, надійність функціонування ТЕТК полягає в забезпеченні виконання в повному обсязі покладених на нього функцій по транспортуванню ЗРС. Зриви в роботі залізничного транспорту можуть призвести до зриву та невиконання виробничої програми і, як наслідок, до економічних збиткам для підприємства.

Тому при розробках схем ТЕП необхідно передбачити не тільки можливість забезпечення плавності та економічності регулювання, можливість дистанційного контролю та мінімізації втрат енергії, але і захисту електричної частини ТЕТК від зовнішніх та внутрішніх впливів.

Позаштатні та аварійні режими функціонування ТЕП з імпульсними перетворювачами напруги живлення ТЕД можуть бути викликані різними факторами, в тому числі:

- коротким замиканням електричного кола;
- розривом електричного кола;
- відхиленням параметрів ТЕП від допустимих;
- відмовами елементів ТЕП і т.д.

Фактори, які викликають позаштатні режими функціонування ТЕП, взаємопов'язані, їх прояви різноманітні і не обмежуються приведеним вище переліком. Створення підсистем захисту, реагуючих на виникнення кожної аварійної ситуації, є недоцільним, виходячи з міркувань ускладнення та збільшення габаритів системи керування ТЕП. В зв'язку з цим прийнятним є аналіз особливостей функціонування ТЕП рудникових електровозів з точки зору можливості виникнення позаштатних ситуацій та реально можливих способів захисту від них вузлів ТЕП.

В мережі, яка живить ТЕП рудникового контактного електровоза, напруга змінюється в залежності від віддаленості електровоза від підстанції, що обумовлено наявністю активних опорів мережі та рейкового шляху. Зміна напруги відбувається плавно по мірі руху електровоза на ділянці. Скачки напруги в мережі мають місце при підключенні до неї або відключенні від неї інших споживачів електроенергії [11].

Небезпечним для ТЕП електровоза є відключення інших споживачів електроенергії від мережі, оскільки при цьому в мережі виникають імпульси перенапруг, викликаних розрядом електроенергії, накопиченої в розподільчій індуктивності мережі. Можливими також є перенапруги при відключенні автоматичного вимикача QF. Для захисту від зверх імпульсів напруги служить потужний напівпровідниковий обмежувач напруги RU. Оскільки кількість спрацювань обмежувача напруги є обмеженою, в системі захисту необхідним є підрахунок кількості його спрацювань. При досягненні кількості спрацювань критичної кількості система захисту повинна видавати попереджувальний сигнал.

Крім описаних режимів в тяговій мережі можливий ріст напруги (на

фільтровому конденсаторі), викликаний різноманітними причинами:

- багаторазовими імпульсами перенапруг в контактній мережі;
- частими пошкодженнями фільтрового конденсатора CZ;
- через само відключення одного з двох хоперів в тяговій мережі в силу яких-небудь причин.

Перший випадок є полегшеним варіантом третього випадку та зводиться до нього.

Баланс енергії в тяговій мережі визначається зі співвідношення:

$$\Delta W_{CZ} = \Delta W_{LZ}, \quad (1.1)$$

Перевищення напруги ΔU_d обумовлене перевантажувальною характеристикою конденсатора та визначається зі співвідношення [16]:

$$\Delta U_d = I_d \sqrt{\frac{L_{LZ}}{C_{CZ}}} = I_d \cdot \rho_z, \quad (1.2)$$

де $\rho_z = \sqrt{\frac{L_{LZ}}{C_{CZ}}}$ – хвильовий опір фільтра.

Амплітуда перенапруги U_{dm} перевищує допустимий рівень U_{df} , який зазвичай приймається рівним $1,2 \cdot U_{dmax}$. Зниження U_{dm} за рахунок збільшення ємності конденсатора CZ або зменшення індуктивності LZ є неприпустимим.

При досягненні значення $U_d = 1,2 \cdot U_{dmax}$ до фільтрового конденсатора підключається резистор RC. Схема заміщення приймає вигляд, приведений на рисунку 1.9.

Початкові умови:

$$i_{d0} = I_d, U_{d0} = U_d = U_N. \quad (1.3)$$

Рівняння, які описують перехідний процес:

$$u_c = u_d = U_d \cdot \left[1 + \exp(-\delta \cdot t) \cdot \left(\cos \omega_0 t - \frac{\delta}{\omega_0} \sin \omega_0 t \right) \right]; \quad (1.4)$$

$$i_d = \frac{U_d}{R_{RC}} - I_d \cdot \exp(-\delta \cdot t) \cdot \left[\cos \omega_0 t - \frac{\delta}{\omega_0} \sin \omega_0 t \right]; \quad (1.5)$$

$$i_R = \frac{u_c}{R_{RC}} = \frac{u_d}{R_{RC}}, \quad (1.6)$$

де $\delta = \frac{1}{2RC}$ - коефіцієнт затухання контура;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2}$ - частота власних коливань

$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - хвильовий опір контура.

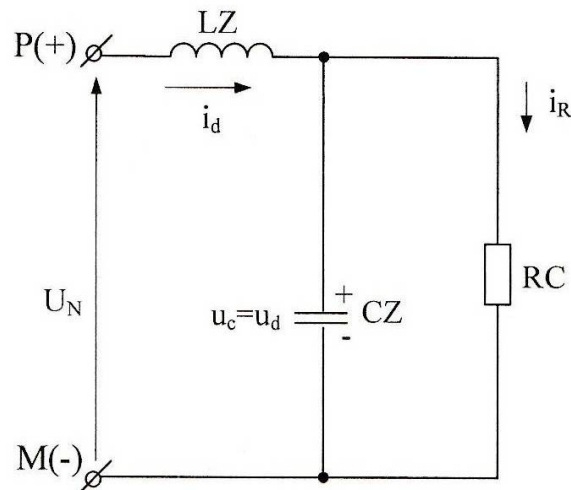


Рисунок 1.9 – Схема заміщення розряду конденсатора фільтра

З можливих причин зникнення напруги контактної мережі на вході електропривода можна виділити наступні:

- коротке замикання мережі;
- обрив провода контактної мережі;
- тривалий відрив пантографу від контактної мережі.

Серйозною аварійною ситуацією вважається пошкодження фільтрового конденсатора, не дивлячись на те, що сучасні конденсатори спеціального транспортного виконання мають властивості самовідновлення. Дана властивість досягається за рахунок часткового вигорання обкладок конденсатора, при цьому знижується ємність конденсатів і, відповідно, збільшуються пульсації напруги в тяговому колі і на ТЕД, що загрожує його пошкодженням при недопустимій величині пульсації. Система захисту по сигналу датчика напруги SUD повинна реагувати на перевищення пульсації напруги на конденсаторі більше допустимої і видавати попереджувальний сигнал. Якщо ж вигорання обкладок конденсатора є незначним, пульсації напруги в допустимих на протязі певного часу межах, то електровоз може своїм ходом добратися в депо.

Аварійний стан дроселя LZ зазвичай викликається витковим замиканням, місцевим перегрівом та розривом або спіканням кола. Робота електропривода природно припиняється, необхідно відключити автомат QF.

Пошкодження перетворювача зазвичай пов'язано з IGB-транзистором. Оскільки модулі IGB-транзисторних чоперів обладнані елементами виявлення порушення роботи модуля, то слідує само відключення чопера та сигналізація в систему керування. В гіршому випадку розривається тягова мережа через розрив IGBT. В найгіршому випадку пошкоджений IGBT закорочує коло. На двигуні тривалий час встановлюється напруга U_d , яка перевищує задану напругу на даній позиції, збільшується струм двигуна, росте момент, що може викликати буксування. Автоматичний вимикач QF має відключатися як тільки аварійний струм досягне уставки. При цьому уставка повинна бути не постійною, а перевищувати заданий струм на даній позиції на 20-30%.

На сучасному етапі розвитку техніки широтно-імпульсні перетворювачі будуються на базі IGBT-модулів, найбільш досконалими серед яких є інтелектуальні IGBT-модулі [4-5]. Однією з особливостей є

наявність вузла самозахисту від надмірних струмів, а також вузла плавного відключення IGBT при понадструмі. Для виявлення понадструму в інтелектуальних IGBT є сенсор струму, по сигналу якого здійснюється плавне відключення приладу, що дозволяє уникнути понаднапруг в силовому колі, які викликані наявністю в ній розподіленої індуктивності. Наявність вузлів самозахисту в інтелектуальних IGBT робить їх вельми дорогими, тому в багатьох випадках застосовують більш прості типи IGB-транзисторів, які мають тільки сенсор понадструму, по сигналу якого система захисту здійснює блокування приладів та відключення перетворювача. Однак, не дивлячись на наявність самозахисту IGBT, можливим є загрозовий розвиток аварій і тоді автономно відключається вхідний автомат QF.

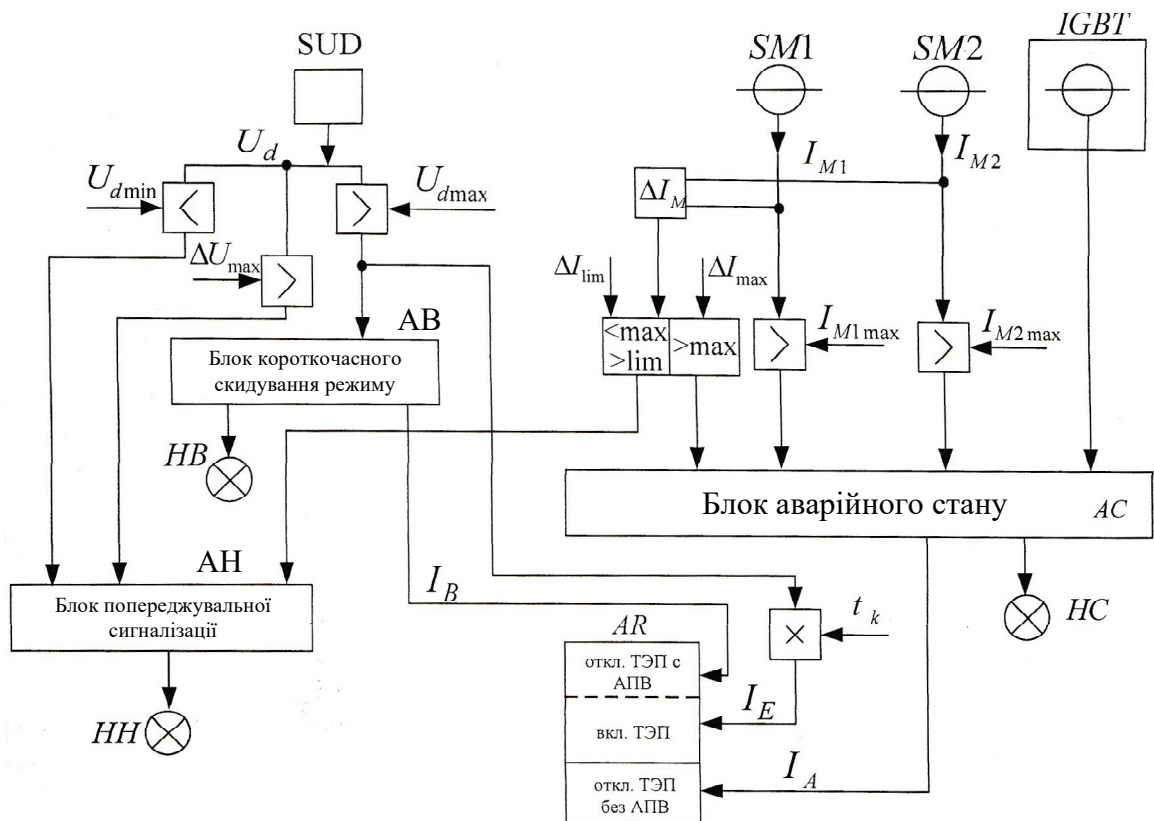
Узагальнюючи необхідні напрямки дій системи захисту ТЕП рудникових електровозів при виникненні позаштатних ситуацій, описаних раніше, формалізуємо їх наступним чином:

1. При автономному спрацюванні автомату QF (по стану його блокувань), при сигналах сенсорів струму SM1 та SM2, які перевищують допустимі значення $I_{M1,2} > I_{max}$, при недопустимому розкиді сигналів сенсорів SM1 та SM2 $\Delta I_M > I_{max}$, при спрацюванні елементів захисту IGBT-модулів, при неуспішному автоматичному повторному включенні ТЕП в роботу блок аварії АС в системі захисту видає операційний сигнал I_A на відключення перетворювачів UM1, UM2 та автомату QF, забороняє автоматичне повторне включення ТЕП в роботу, видає світловий аварійний сигнал НА.

2. При сигналі сенсора напруги SUD, який перевищує гранично допустимий максимальний рівень $U_d > U_{dmax}$, система захисту видає сигнал I_B на відключення автоматичного вимикача QF. Далі при сигналі датчика напруги SUD менше допустимого максимального рівня і по вичерпані контрольного часу t_k дозволяє автоматичне повторне включення автомату QF та включення в роботу електропривода (сигнал I_E), про що свідчить загорання сигнальної лампи НВ.

3. При сигналі сенсора напруги SUD менше допустимого мінімального рівня (навіть до нуля $U_d < U_{d\min}$), при різності миттєвих значень найбільшого та найменшого сигналів сенсорів напруги SUN, яка перевищує задане значення $\Delta U_d > U_{d\max}$, при розкиді сигналів сенсорів струму тягових двигунів SM1 та SM2 більше заданого рівня, але в допустимих межах ($\Delta I_{M\lim} < \Delta I_M < \Delta I_{M\max}$) та нетривало система захисту видає попереджувальний сигнал НН.

На рисунку 1.10 приведена розроблена та обґрунтована функціональна схема системи захисту ТЭП постійного струму, яка реалізує всі вище перераховані дії.



Рисунком 1.10 – Функціональна схема системи захисту тягового електропривода постійного струму

Блоки та вузли попереджувальної сигналізації, короткочасного скиду заданого оператором (машиністом електровозу) та системою управління та

регулювання AR режиму роботи електропривода, аварійного стану електропривода по суті виконують логічну функцію «АБО», тобто повторюють на виході будь-який вхідний сигнал.

Система управління та автоматичного регулювання AR ТЕП може знаходитись в аварійному режимі або в позаштатному аномальному режимі.

В аварійному режимі система AR відключає ТЕП і не дозволяє його повторного включення до втручання оператора. В зовнішньому режимі система AR короткочасно вимикає ТЕП, тобто на заданий час t_k скидає програмований режим електропривода, а потім знову автоматичного повторно включає його функціонування.

Функціональна схема прийнята в якості базової при структурному аналізі системи захисту ТЕП постійного струму рудникового контактного електровоза з послідуочим виходом на вирішення задачі створення комплексного ТЕМК із системою контролю та захисту його елементів.

1.5 Мета та задачі дослідження

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності та надійності функціонування тягового електричного привода постійного струму шахтних контактних електровозів шляхом вдосконалення структури електромеханічної частини в напрямку включення в неї підсистем контролю та захисту електрообладнання від позаштатних режимів роботи.

В процесі досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити наступні наукові задачі:

- аналіз існуючих та дослідження перспективних структур тягового електричного привода постійного струму рудникових електровозів, формалізація параметрів, які впливають на надійність та працездатність тягових електромеханічних комплексів;
- дослідження причин та характеру пошкодження елементів тягового електричного привода, моделювання нештатних (аварійних)

ситуацій в ньому, аналіз та розробка методів, структурних схем підсистем комплексного захисту тягового електрообладнання рудникових електровозів із залученням до цього процесу математичного апарату мереж Петрі;

- аналіз та оцінка реального діапазону зміни температури нагріву елементів тягового електричного двигуна, розробка способів мінімізації наслідків перевищення реальних значень температури.

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є електромеханічні та теплові процеси в елементах тягового електромеханічного комплексу шахтного контактного електровоза.

Предметом дослідження роботи є контроль та захист елементів тягового електропривода.

Висновок:

В результаті наповнення даного розділу було виконано обґрунтування системи контролю та захисту елементів тягового електропривода постійного струму рудникових електровозів, зокрема розглянуто нормальні та аварійні режими роботи тягових електромеханічних комплексів рудникових двоосних електровозів, виконано аналіз існуючих методів і засобів підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності використання за призначенням електромеханічних комплексів рудникових електровозів, крім того сформовано задачі дослідження магістерської кваліфікаційної роботи.

2 ВИБІР І ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Теоретичне обґрунтування методу діагностування та захисту елементів ТЕП постійного струму рудникових електровозів

Аналіз аварійних та позаштатних ситуацій та способів їх запобігання і ліквідації, виконаний раніше, дозволяє визначитись із вибором методу їх дослідження та порівняння.

Аварійні та позаштатні ситуації виникають при підвищенні (пониженні) гранично допустимих параметрів [11, 18].

В системі ТЕП постійного струму вимірюються наступні параметри:

- струми якоря та збудження двигуна;
- струми захисних та контролюючих пристроїв;
- напруги живлення, фільтрового вхідного конденсатора;
- параметри самозахисту IGB-транзисторного чопера;
- температура елементів.

Перевищення (пониження) цих параметрів від заданих є вихідною умовою спрацювання системи захисту, тобто вони засновані на факторах подій без врахування часових зв'язків та на дії включаючи (виключаючи) елементи систем електропривода.

Процес подальших досліджень приводить до необхідності систематизації пошуку вихідних причин (джерел) виникнення псевдо аварійних режимів шляхом встановлення зв'язків та оцінки взаємодії впливаючих факторів.

Імпульсні системи управління рудниковими електровозами відносяться до класу «алгоритмічних паралельних» систем з не детермінованою поведінкою, коли окремі елементи або процеси функціонують, в основному,

незалежно один від одного та асинхронно в часі. Системи такого роду, як відомо, недоцільно описувати адекватно в термінах класичних теорій через незручності для наглядної та економної характеристики не детермінованої динаміки поведінки системи з локальними зв'язками між незалежними або обмежено залежними процесами.

Приклад подібної ситуації для імпульсних систем – виникнення перешкод (збоїв) в роботі [16]. В даному випадку нас цікавлять не тільки і не стільки кінцева функція, яка реалізується системою при появі аварійних ситуацій, а їх структурна характеристика та властивості.

Очевидно, що тут ефект може бути максимальним, якщо модель системи буде структурно подібною самій системі. Це означає, що модель, як і систему, можна і необхідно будувати по частинам або етапам в функції часової взаємодії процесів. Зв'язки та відношення між фрагментами моделі повинні бути подібними зв'язкам та відношенням між фрагментами аналізованої системи.

Аналіз відомих методів [21-23] показав, що в достатній мірі серед їх різноманіття при описанні та аналізі дискретних процесів, які протікають паралельно в системах з імпульсними перетворювачами виділяють підхід, заснований на використанні мережевих моделей, які використовують спеціальні мережі, запропоновані К. Петрі для моделювання асинхронних інформаційних потоків в системах перетворення даних.

Застосування теорії мереж Петрі для вирішення прикладних задач, в основному задач, пов'язаних з моделями та засобами паралельної обробки інформації, почалось на рубежі 60-х і 70-х років [23].

В області застосування та розробки імпульсних систем управління ця теорія в останні десятиліття знаходить широке застосування. Вперше прикладне застосування мережі Петрі знайшли при аналізі роботи імпульсних переривачів рудникових електровозів в працях Синчука О.М. та його учнів.

Тобто, в якості апарату для подальших досліджень ТЕП рудникових електровозів вибраний метод мереж Петрі, який замість часових зв'язків розширює причинно-наслідкові, що дозволяє досліджувати структурні особливості дії систем.

Класичне послідовне програмування більше не приводить до створення програм, які ефективно використовують ресурси сучасних обчислювальних систем. Багатопоточні програми, які працюють із даними у спільній пам'яті, часто не достатньо ефективні, оскільки вони надлишково використовують примітиви синхронізації. Якщо ви не використовуєте примітиви синхронізації достатньо, ви ризикуєте отримати програму, яка має якусь проблему синхронізації. Динамічні аналітичні засоби для паралельних програм не завжди можуть вирішити ці проблеми. Ряд програм вимагають статичного аналізу паралельних алгоритмів. Найскладнішою проблемою є діагностування можливих тупиків.

Подія – це перехід параметра або елемента з одного стану в інший. Дія – це реалізація події, може повторюватися неодноразово, може не відбуватися. Процес – це сукупність дій. Умови реалізації подій – це ситуації, в яких формуються події.

Для опису математичної моделі мережі Петрі використовуються наступні позначення. В мережах Петрі події та умови представляють символами відповідно переходів та місць. Переходи зображуються «бар'єрами», а місця – кружочками. Умови-місця P та події-переходи t пов'язані між собою, що зображується за допомогою направлених дуг, які ведуть з місця в переходи та з переходів в місця [23, 24].

Звичайна мережа Петрі $C = (P, T, F, \mu_0)$, де P є множиною позицій, T є множиною переходів, $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ є множина направлених дуг і $\mu_0 : P \rightarrow \mathbb{N}$ є початкове маркування, $\mathbb{N} \in \{0.. \infty\}$. Множина вхідних (відповідно, вихідних) переходів з позиції p позначається як $\star p$ (відповідно p). Подібно цій множині вхідних (відповідно вихідних) позицій для переходу t

позначається як $\star t$ (відповідно $t \star$). Для будь-якої підмножини позицій S , $\star S$ (відповідно $S \star$ позначає множину переходів, які містять щонайменше одну вихідну (відповідно вхідну) позицію, яка належить S . Перехід t дозволений або запускаємо в μ_0 , якщо для всіх $\rho \in \star t$, $\mu_0(\rho) \geq 1$. Перехід можна запустити, якщо він дозволений. Нове маркування μ' виконується видаленням одного маркера з кожної вхідної позиції та переміщенням одного маркера в кожну вихідну позицію переходу. Цей процес позначається як $\mu[t > \mu'$. Розширення запуску позначається як $\mu[\sigma > \mu'$, де σ — послідовність переходів, які переводять μ в μ' . Множина всіх маркувань, які можна досягнути з μ_0 , позначається як $R(\mu_0)$.

Робота мережі Петрі – це сукупність локальних дій, які називається спрацюванням переходів. Вони відповідають реалізаціям подій та приводять до розмітки місць, тобто до локальної зміни умов в системі. Перехід може працювати, якщо виконані всі умови реалізації події. Наприклад, всі вихідні місця переходу мають хоча б по одній фішці (див. рисунок 2.1).

Таким чином, мережа Петрі – це набір $N=(PTF)$. Функціонування мережі Петрі описується послідовністю спрацювань та досягненням розміток.

Для спрацювання переходу в ординарній мережі Петрі необхідно, щоб кожне його вхідне місце містило хоча б одну фішку, а після спрацювання переходу кожне його вихідне місце отримувало додатково по одній фішці.

Мережа Петрі із множиною переходів T називається автоматною, якщо кожен перехід мережі має рівно одне вхідне і рівно одне вихідне місце (рисунок 2.2).

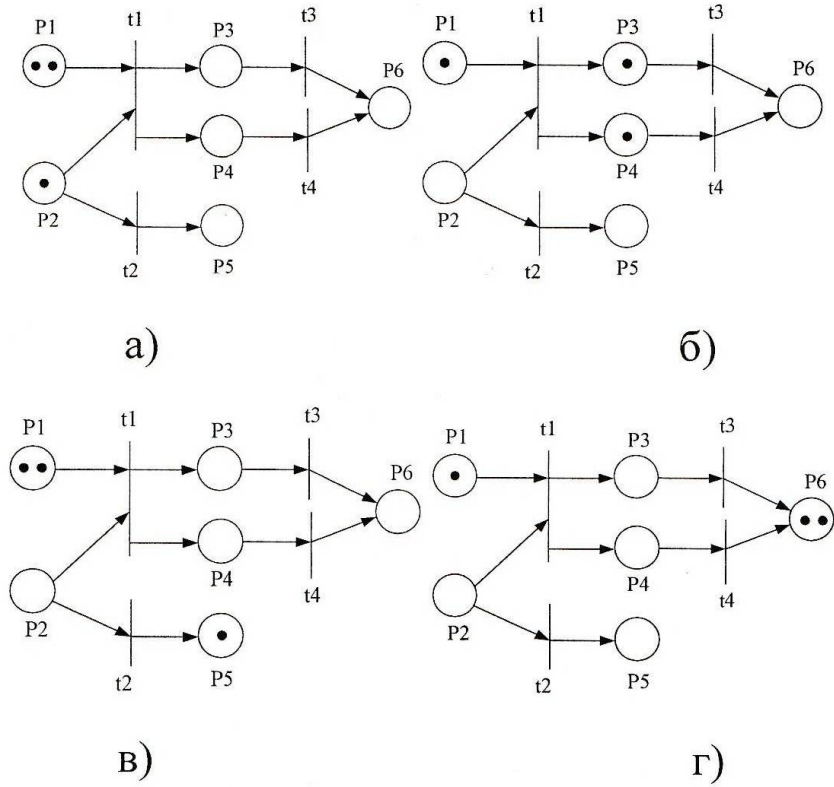


Рисунок 2.1 – Приклади мереж Петрі:

- а) вихідний стан;
- б) після спрацювання t1;
- в) після спрацювання t2; мережа зупинена;
- г) t1, t2 не спрацьовують, t3, t4 спрацьовують

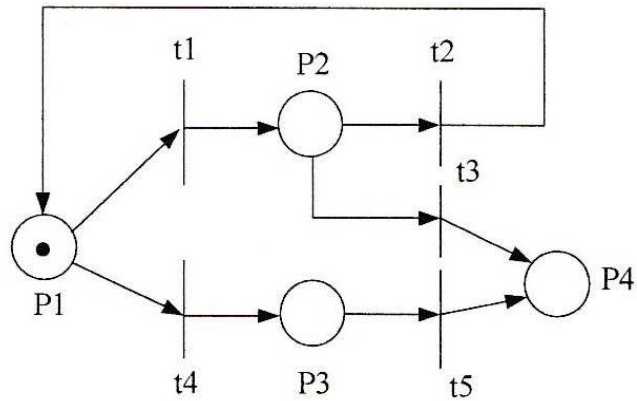


Рисунок 2.2 – Приклад автоматної мережі Петрі

Мережі Петрі із множиною місць P називаються синхрографом, якщо в кожне місце мережі входить рівно одна дуга та з кожного місця виходить рівно одна дуга (див. рисунок 2.2) [24, 25]. В схемі рисунку 2.2 є $P1, t1, P2, t2, P1$ є повним циклом, а $P3, t3, P4, t2, P3$ – пустий цикл.

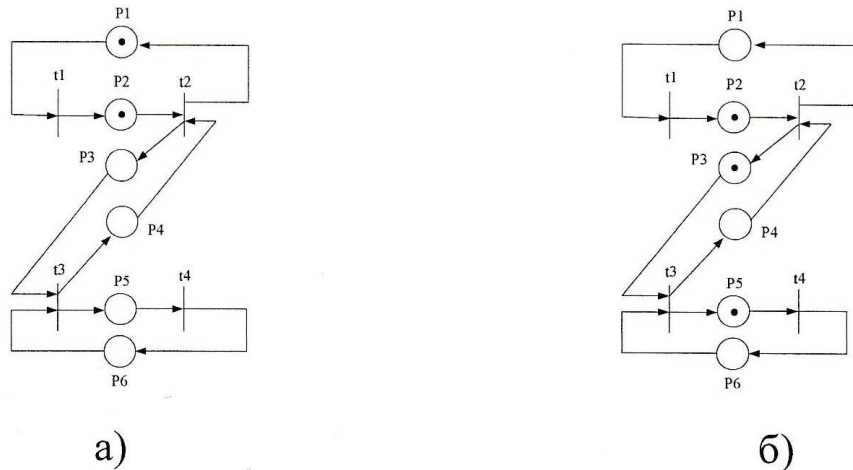


Рисунок 2.3 – Приклад синхрографа:

а) не живий;

б) живий

Синхрограф по рис. 2.3, а не є живим, оскільки містить пустий цикл ($t1, t4$ – потенційно живі переходи, $t2, t3$ – мертві переходи), по рис. 2.3, б – живим, оскільки всі його цикли не є пустими.

В якості прикладу розглянемо імпульсний перетворювач в структурі ТЕП рудникового електровозу по рисунку 1.8, працюючого в гальмівному режимі. Раніше розглянуті схеми моноблочного та здвоєного ТЕП ідентичні в тяговому режимі, тому не підлягають порівнянню. Мережа Петрі IGBT чопера UM1 приведена на рисунку 2.4 у вихідному стані.

Сигнал від системи регулювання $j_U = 0$, сигнал перемикання IGBT чопера в режимі ШІМ напруги $j_{TM} = 0$, транзистор ТМ відключений, $P2=0$, $P4=0$, вихідний сигнал вузла самозахисту $j_F = 0$ (вузол вбудований в модуль IGBT), $P3=0$; $j_{TB} = 0$ гальмівний транзистор ТВ відключений, $P1=0$.

Робота мережі на рисунку 2.4, а протікає наступним чином. Система регулювання видає сигнал завдання роботи чопера. При цьому встановлюються $j_{ТВ} = 1$, ТВ постійно включений, $P1=1$; $j_{ТМ}$ приймає значення 0 або 1 на періоді модуляції у відповідності із сигналом ШІМ напруги $j_{ШІМ}$; вузол самозахисту видає сигнал $j_F = 1$ (готовність); $P3=1$ (рисунок 2.4, б).

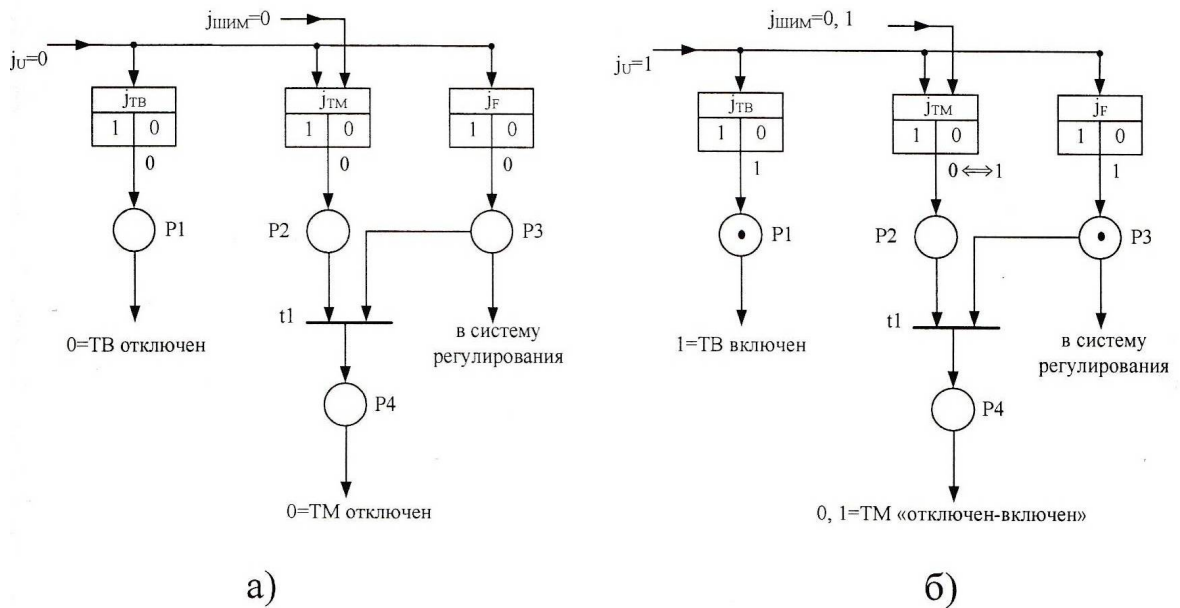


Рисунок 2.4 – Мережа Петрі IGB-транзисторного чопера UM1:

а) у вихідному стані;

б) при спрацюванні

При наявності $P2=1$ та $P3=1$ спрацьовує перехід $t1$, встановлюється $P4=1$ і ТМ включається; при $P2=0$, $P3=1$ перехід $t1$ не спрацьовує, $P4=0$, ТМ відключений.

При якому-небудь порушенні режиму роботи IGBT чопера – перевищення допустимого рівня струму, зниження напруги живлення мережі кіл управління IGBT-модуля, перевищення температури та ін.. – спрацьовує вузол самозахисту IGBT-модуля, сигнал $j_F = 0$, $P3=0$, $t1$ не спрацьовує, в систему регулювання надходить $j_F = 0$, в результаті чого $j_U = 0$, $j_{ШІМ} = 0$, мережа зупиняється.

2.2 Вибір структури системи діагностування параметрів тягового електропривода

Структурна схема бортової системи контролю параметрів тягового електропривода рудникового електровоза приведена на рисунку 2.5. Завантаження програм в комп'ютер, який обслуговує систему контролю та захисту, виконується виробником в умовах стаціонару. Так же відбувається передрейсова перевірка системи в умовах депо за допомогою імітатора, який опитує контрольовані елементи та встановлює їх придатність до роботи. Крім того перевіряється система управління ТЕП та електровозом в цілому.

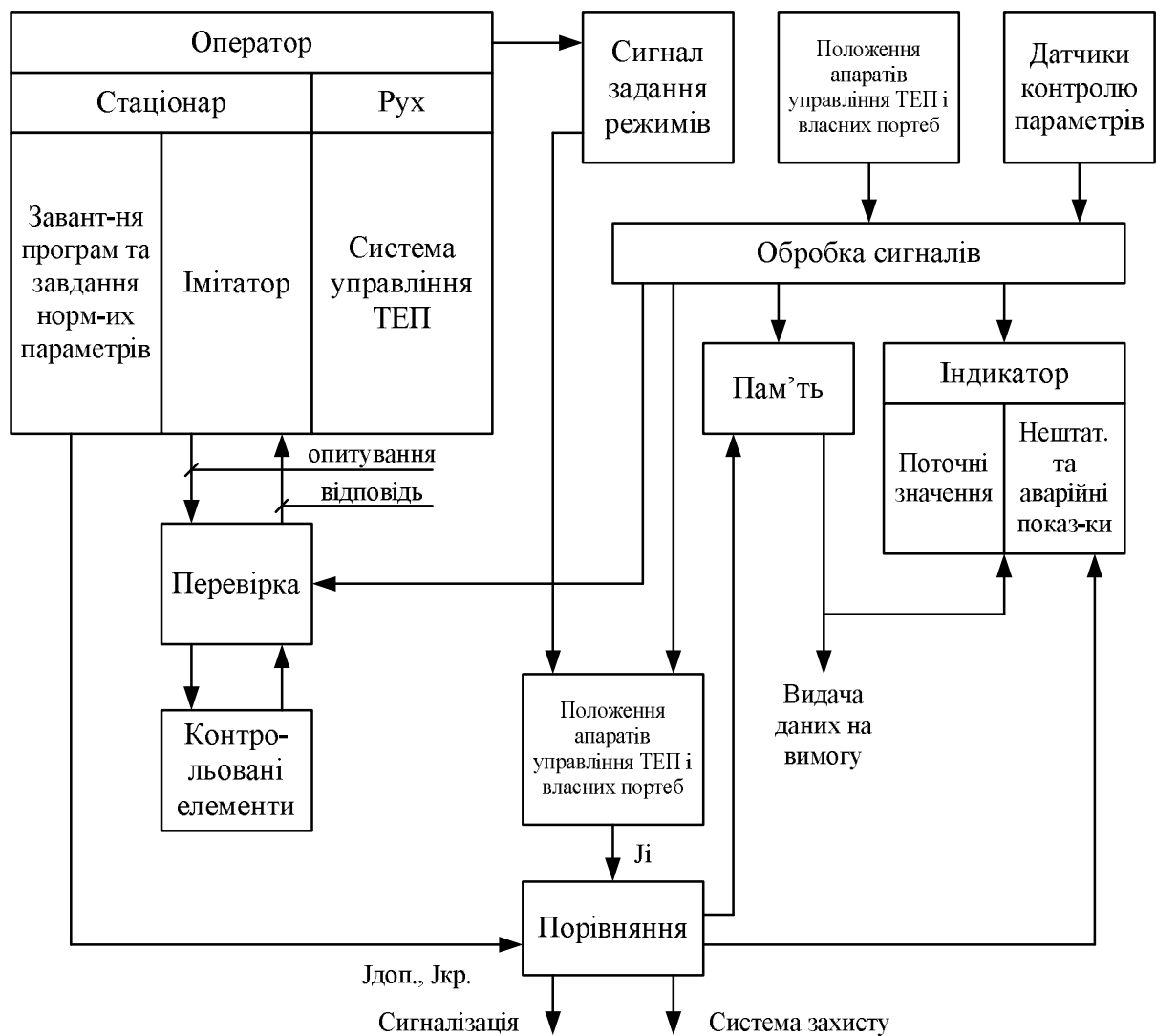


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи контролю параметрів тягового електропривода рудникового електровоза

При русі електровоза система керування ТЕП видає всистему контролю сигнали про задані режими. Також в систему контролю надходять сигнали положення апаратів управління ТЕП (вхідного автомату, реверсора та ін..) та власних потреб, сигнали сенсорів струму, напруги, температури та ін.. Узгодження та відпрацювання сигналів приводить їх до уніфікованого вигляду, придатному до використання всіма блоками. Оброблені сигнали надходять в блоки пам'яті та індикації (світлове табло на пульті машиніста). В блоці пам'яті сигнали фіксуються на протязі певного часу та можуть бути вилучені при перевірках, - свого роду «чорний ящик». Індикатор висвічує діючий режим та поточне значення параметрів, необхідних машиністу для управління електровозом (тяга-гальмування, вперед-назад, напруга мережі, позиція, струм двигуна, напруга в системі власних потреб та ін..

Основна функція системи контролю полягає в порівнянні поточних значень параметрів з нормальними для заданого режиму роботи ТЕП та визначенні рівня відхилення від нормального режиму. При відхиленні в межах допустимого $|j_i - j_{дон}| = \Delta_{дон} > 0$, де j_i - поточне значення параметра, система контролю встановлює режим «Сигналізації» та проводить детальний аналіз параметра, який перевищив допустимі межі. При відхиленні параметру більше критичного значення $|j_i - j_{кр}| = \Delta_{кр} > 0$ система контролю встановлює режим «Аварія» і видає сигнал в систему захисту для її спрацювання.

Мережа Петрі для порівняння приведена на рисунку 2.6 із розшифруванням позначень в таблиці 2.1.

Робота мережі Петрі протікає наступним чином. Поточне значення контрольованого сигналу j_i порівнюється з нормальним допустимим значенням для даного режиму $j_{дон}$ та у випадку $|j_i - j_{дон}| = \Delta_{дон} > 0$ в місці P1 встановлюється фішка n=1. При цьому спрацьовує перехід t1, який здійснює затримку проходження сигналу для відлагодження від фону перешкод, в результаті в місці P2 встановлюється фішка n=1. При цьому при переході t2

встановлюється дозвіл на проходження контролюючого сигналу j_i про сигналізацію.

В аварійній ситуації $|j_i - j_{кр.}| = \Delta_{кр.} > 0$ в місці P5 встановлюється фішка $n=1$. При цьому спрацьовує перехід $t3$ та діє «зацібка»: $t3$ -P6- $t4$ -P7- $t3$, завдяки чому аварійний сигнал з P8 діє навіть при зникненні аварійних сигналів. Наприклад, при короткому замиканні в якому-небудь колі сенсор струму видав критичний сигнал, спрацювала мережа P5- $t3$ -P6- $t4$ -P8, але коротке замикання припинилось (вигоріло коло) і сигнал сенсора зник, проте, аварійний сигнал продовжує діяти. Для скидання «зацібки» оператор зміни фішки $n=1$ в місці P9 на фішку $n=0$ зупиняє дію сигналу «Аварія». Дія мережі Петрі підтверджує працездатність вузла порівняння контрольованих параметрів в цілому.

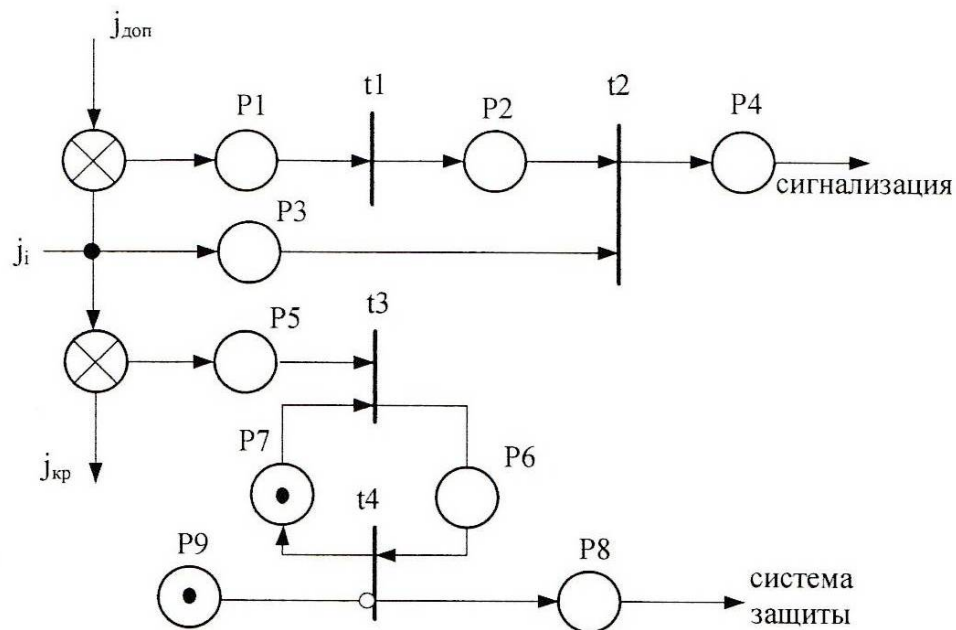


Рисунок 2.6 – Мережа Петрі вузла порівняння

Таблиця 2.1 – Позначення по схемі рис. 2.6

Позиція	Умова-місце	Позиція	Умова-місце
P1	$\Delta_{доп.} = j_i - j_{доп.} > 0$	P6	Аварія (защібка)
P2	Затримане $\Delta_{доп.}$	P7	Аварія (защібка)
P3	j_i	P8	Сигнал аварії
P4	j_i (сигналізація)	P9	Зняття сигналу аварії
P5	$\Delta_{кр.} = j_i - j_{кр.} > 0$	Позиція	Подія-перехід
Позиція	Подія-перехід	t3	Аварійне спрацювання
t1	Часова затримка	t4	Продовження дії сигналу аварії
t2	Пройходження j_i		

2.3 Вибір методу захисту елементів тягового електропривода

Виходячи з досліджень аварійних ситуацій в ТЕП, проведених раніше, розроблені структури та мережі Петрі каналів (підсистем) різноманітних видів захисту, на базі яких розроблена єдина структурна схема та мережа Петрі системи захисту в цілому.

Можливий набір підсистем захисту:

- а) захист від понадструмів в силовому колі перетворювача, тягового двигуна, мережі власних потреб та в інших колах;
- б) самозахист IGB-транзисторного модуля;
- в) захист від над імпульсів напруги в контактній мережі живлення;
- г) захист при зникненні та послідуєчому відновленні напруги контактної мережі та мережі власних потреб;
- д) захист від перенапруг на конденсаторі вхідного фільтра;
- е) захист при пошкодженнях конденсатора вхідного фільтра;
- ж) захист при пошкодженні дроселя вхідного фільтра;
- и) захист снаберів;
- к) захист при перегріві елементів електрообладнання.

Захист по пунктам а) і б) діє по сигналам сенсорів струму на відключення пошкодженого чопера або двигуна вхідним автоматом QF.

Мережа Петрі каналу захисту від надструму в загальному вигляді представлена на рисунку 2.7. При виникненні аварійної ситуації місце P1 отримує фішку $n=1$, спрацьовує перехід t1, місце P2 отримує фішку $n=1$, в результаті чого спрацьовує перехід t2 і місце P2 отримує фішку $n=1$. Таким чином, в системі управління ТЕП видається сигнал на відключення вхідного автомату QF та перетворювачів UM (таблиця 2.2). Для утримання апаратів у відключеному стані режим «Аварія» зациклюється через P3, мережа спрацьовує до упору та зупиняється. Вихід мережі зі стопоу виконується оператором шляхом зняття фішки $n=1$ з P4, що дає заборону на режим «Аварія».

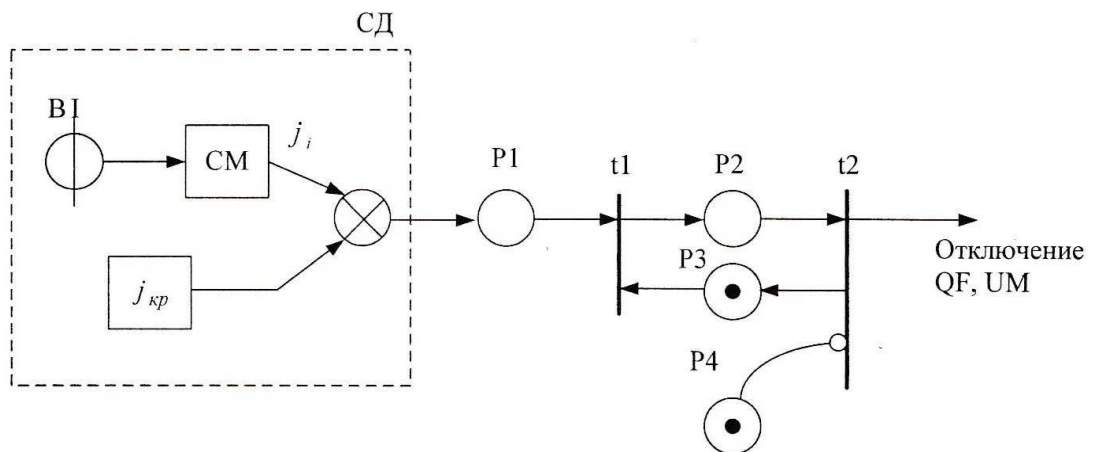


Рисунок 2.7 – Мережа Петрі каналу захисту від надструму

Таблиця 2.2 – Позначення по схемі рис. 2.6

Позиція	Умова-місце	Позиція	Умова-місце
P1	При $j_i > j_{доп. n=1}$	P3	Зацібка
P2	Аварійний режим	P4	Оператор
Позиція	Подія-перехід	Позиція	Подія-перехід
t1	Спрацьовує захист	t2	Відключення QF, UM

Раніше розглянуто, що від вузла самозахисту IGBT інтелектуального модуля використана тільки мережа захисту IGBT від надструму. Однак, вузол самозахисту виконує декілька функцій:

- відключення IGBT при пониженні напруги живлення кіл управління;
- плавне відключення IGBT при надстрімі, тобто система захисту дублює самозахист IGBT та попереджає повторне включення чопера;
- відключення IGBT при перегріві корпусу модуля та ін.

Захист від над імпульсів перенапруг в контактній мережі (по пункту в) здійснюється потужним напівпровідниковим обмежувачем RU, для контролю спрацювання якого використовується сенсор струму SIN, по сигналу якого обчислюється інтегральний показник і якщо він по потужності перевищує допустиму для RU, то відключається QF по схемі рис. 2.7. При цьому якщо спрацювання RU відбувається без відключення системи, враховується кількість спрацювань обмежувача в системі контролю і при досягненні допустимого видається попереджувальний сигнал.

Захист при зникненні та послідуячому встановленні напруги контактної мережі або мережі власних потреб представлена мережею Петрі на рисунку 2.8, а. Там же приведена мережа Петрі кіл розряду конденсатора CZ вхідного фільтра при перенапрузі на ньому і для повного зняття напруги зі схеми при її відключенні.

В системі на рис. 2.8 передбачений також розряд конденсатора CZ фільтра до нуля при відключенні системи ТЕП для запобігання ураження струмом обслуговуючого персоналу при проведенні профілактики. Для цього оператору достатньо на жаттям кнопки привести до спрацювання переходу t_4 оскільки P9 та P10 вже мають фішки $n=1$ (замкнуті блок-контакти 1). При цьому в P11 встановлюється $n=0$, забороняючи спрацювання переходу t_2 . Спрацювання переходу t_4 приводить до розряду CZ через RC.

В системі на рис. 2.8 передбачений також захист від перенапруг на конденсаторі CZ, представлена в розгорнутому вигляді на рис. 2.8, б.

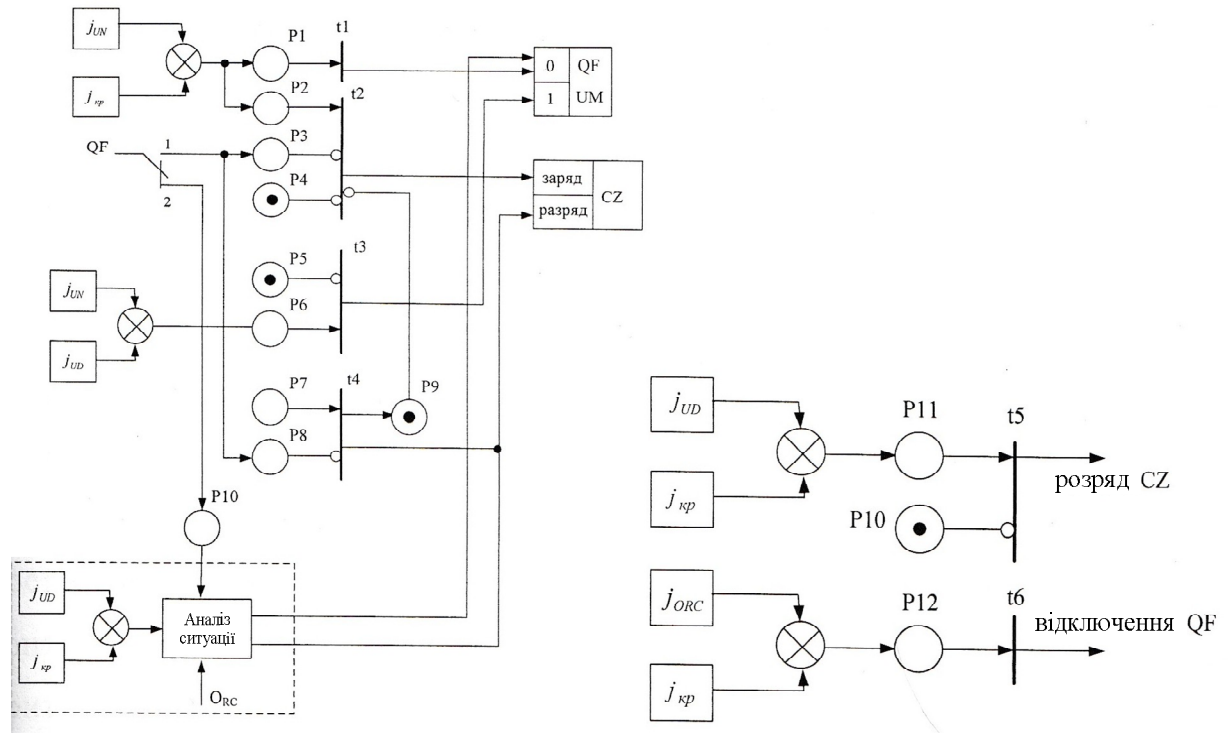


Рисунок 2.8 – Мережа Петрі захисту:

- а) при зникненні та відновленні напруги контактної мережі;
- б) при перенарузі на конденсаторі вхідного фільтра CZ

Мережа Петрі для захисту при пошкодженні фільтрового конденсатора CZ побудована по типу рис. 2.9. В системі контролю здійснюється поточний контроль рівня пульсації напруги на конденсаторі і, якщо він перевищує критичне значення, видається сигнал $j_{\Delta U} = 1$ і відключається автомат QF. Аналогічним чином організований захист при пошкодженні фільтрового дроселя LZ.

Обмежувач градієнту ШІМ напруги, яка підводиться до двигуна, теоретично можна контролювати порівнянням реального з критичним. Однак, для цього необхідним є надчутливий сенсор напруги, що дорого та нереально. На практиці обмежуються контролем параметрів елементів обмежувача при профілактиці обладнання.

Захист IGBT від імпульсів перенапруги при пошкодженні елементів снабера по величині сигналу j_{UT} здійснюється напівпровідниковим обмежувачем.

Порушення алгоритму роботи ТЕР, в першу чергу, виявляється системою захисту системи управління. В силовій схемі порушення алгоритму проявляється у відхиленні контрольованих параметрів від норми, тому розробляти спеціальні захисти в силовому колі не потребується. Синтез каналів захисту тягового кола приведений на рисунку 2.9.

Аналіз запропонованих каналів захисту ТЕР рудникового контактного електровоза проведений за рахунок імітаційного моделювання в програмі СИМ 1.2. Порівняльний аналіз існуючих програмних засобів для моделювання обчислювальних мереж дозволив виявити ряд переваг вибраного пакету, серед яких простота застосування, гнучкість, достатній рівень візуалізації, простота аналізу інформації.

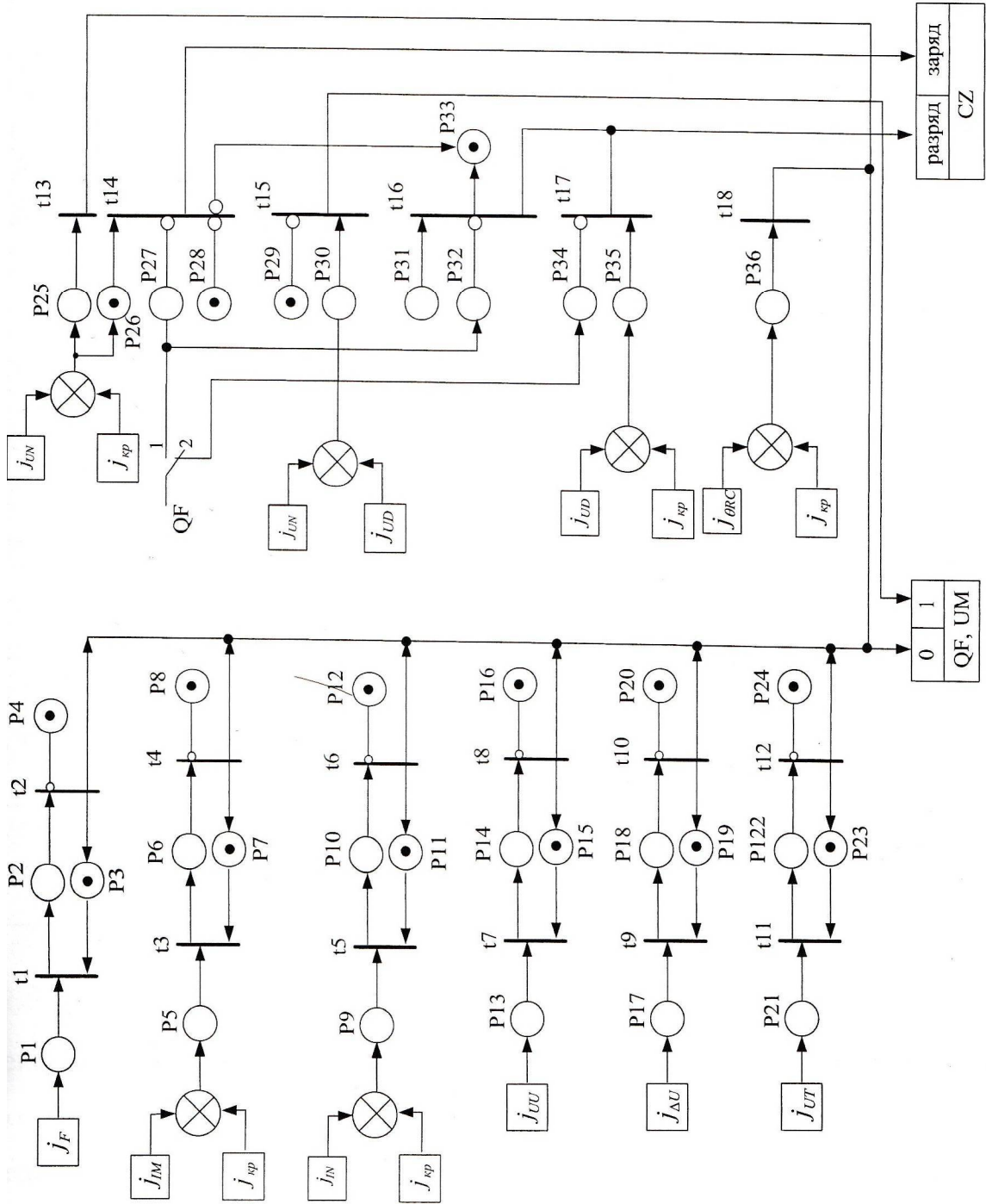


Рисунок 2.9 – Узагальнена мережа Петрі тягового кола рудникового контактної електровоза

2.4 Моделювання засобів діагностування та захисту електрообладнання тягового електровоза

2.4.1 Максимальний струмовий захист

Як відомо, максимальний струмовий захист (МСЗ) – це вид швидкодіючого захисту, який покликаний спрацьовувати при перевищенні значень миттєвого струму в навантаженні або силових IGBT-модулях перетворювача. Сучасні види МСЗ мають два рівня реалізації.

- На рівні мікропроцесорної системи керування.

Вихідний струм перетворювача відноситься до числа обов'язково вимірюваних координат електропривода (як для реалізації контуру регулювання струму в системі керування електроприводом, так і для реалізації струмових захистів). Мікропроцесорна СУ в певні дискретні моменти часу виконує аналогово-цифрові перетворення величини вихідного струму перетворювача. При перевищенні заданого струму блокується управління всіма ключами перетворювача.

- На рівні управляючих драйверів IGBT.

Оскільки мікропроцесорна система керування є дискретною в часі, тому вона має обмежену швидкодію. Крім того, як правило, до її функцій не відноситься вимірювання струму кожного окремого ключа. В такому варіанті немає можливості захистити перетворювач від наскрізних струмів, які можуть виникнути, наприклад, при пробі одного з IGBT. Тому управляючі драйвери транзисторів повинні містити функцію захисту ключів від перевищення значень рівнів струму.

Захист IGBT ключів ШІМ-перетворювача є однією з найважливіших функцій, яка забезпечує їх високу надійність. Ключі перетворювачів в тягових структурах ТЕП можуть бути пошкоджені при виникненні пошкоджень в тягових двигунах, з'єднувальних кабелях, які з'єднують перетворювач та двигун, а також при помилкових включеннях двох ключів, що призводить до виникнення наскрізного струму. При таких несправностях

струм через транзистори дуже швидко зростає, що у випадку відсутності відповідних швидкодіючих захистів неодмінно приведе до їх виходу з ладу. Таким чином, тільки превентивно своєчасне виявлення несправності дозволить своєчасно закрити транзистор до виникнення факту пробою, «стримавши» зростання струму к.з. Можливість запирання транзистора обумовлена моментом часу подачі імпульсу виключення.

Найбільш небезпечним типом коротких замикань в таких перетворювачах є наскрізне замикання одного плеча, оскільки в такому випадку струм к.з. проходить по колу з дуже низьким опором. В таких умовах струм дуже швидко досягає значень, які в декілька разів перевищують допустимий струм ключа.

Існуючі способи захисту IGBT базуються на вимірюванні струму колектора, напруги колектор-емітер і напруги на затворі. Найбільш надійним способом є підключення сенсора струму (трансформатора струму або шунта) послідовно із силовим вентиляем. Недоліком використання трансформатора струму є відсутність можливості вимірювання постійної складової струму, а також необхідність використання магнітного осердя з широкою полосою пропускання в зв'язку з швидким наростанням струму к.з. Недолік використання шунта – неефективне енергоспоживання, а також потенційна можливість збільшення паразитної ємності силового кола. Крім того, дороге вартісні додаткові сенсори збільшують габарити силової частини перетворювача, особливо при використанні плоских шин.

Інший існуючий спосіб захисту базується на використанні струмового дзеркала та реалізується за рахунок інтеграції іншого чуттєвого транзистора в силовий модуль [26]. Струмове дзеркало може ініціювати наявність перевантаження по струму, оскільки струм через дзеркало є пропорційним струму в основному IGBT. Основний недолік способу – це підвищена складність виробництва силових модулів, додаткові втрати енергії, а також збільшення загальної вартості модуля.

Один з відомих способів заснований на використанні чуттєвого діода для визначення напруги емітер-колектор при перевищенні максимально допустимого струму. Даний спосіб не потребує використання чутливого струмового елемента. Однак, з метою усунення помилкових спрацювань необхідно введення програмованої затримки (біля 1-5 мкс), що дозволяє напрузі на колекторі зменшитись нижче порогового рівня, завершивши перехідний процес включення транзистора. Струм к.з. може досягнути дуже великого значення за час комутації, що може призвести до пошкодження пристрою через локальний перегрів.

Ще одна група сучасних способів аналізує зміну напруги на затворі та похідну струм di/dt для визначення несправностей.

Ці способи потребують складної системи захисту та є чутливими до паразитної індуктивності, що викликає шум в напрузі затвору транзистора, а також до струму зворотного діода. Це суттєво ускладнює практичне застосування даного способу [27, 28].

Основна ідея способу, який є найбільш раціональним для захисту ключів ШПП постійного струму від к.з., полягає у використанні вимірювання струму за допомогою індуктивного опору (рис. 2.10).

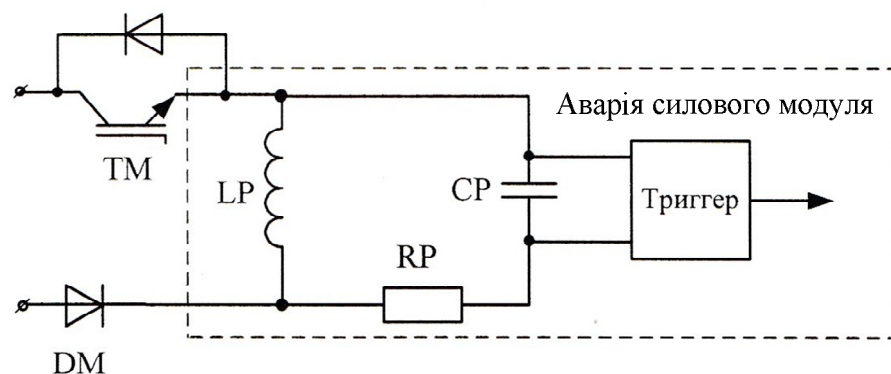


Рисунок 2.10 – Схема захисту силових модулів тягового перетворювача від перевищень значень рівня струму

При перевищенні напруги на конденсаторі CP вище допустимого рівня спрацьовує тригер, який встановлює аварійний сигнал, який блокує управління всіма ключами перетворювача.

Моделювання роботи імпульсного перетворювача (ІП) проведено в ППП Matlab Simulink. Модель ШІП для проведення досліджень приведена на рисунку 2.11, модель системи захисту транзисторного модуля – на рисунку 2.12. На рисунках 2.13-2.14 приведені результати моделювання процесів при пробіє силового ключа та спрацюванні миттєвого струмового захисту (МСЗ).

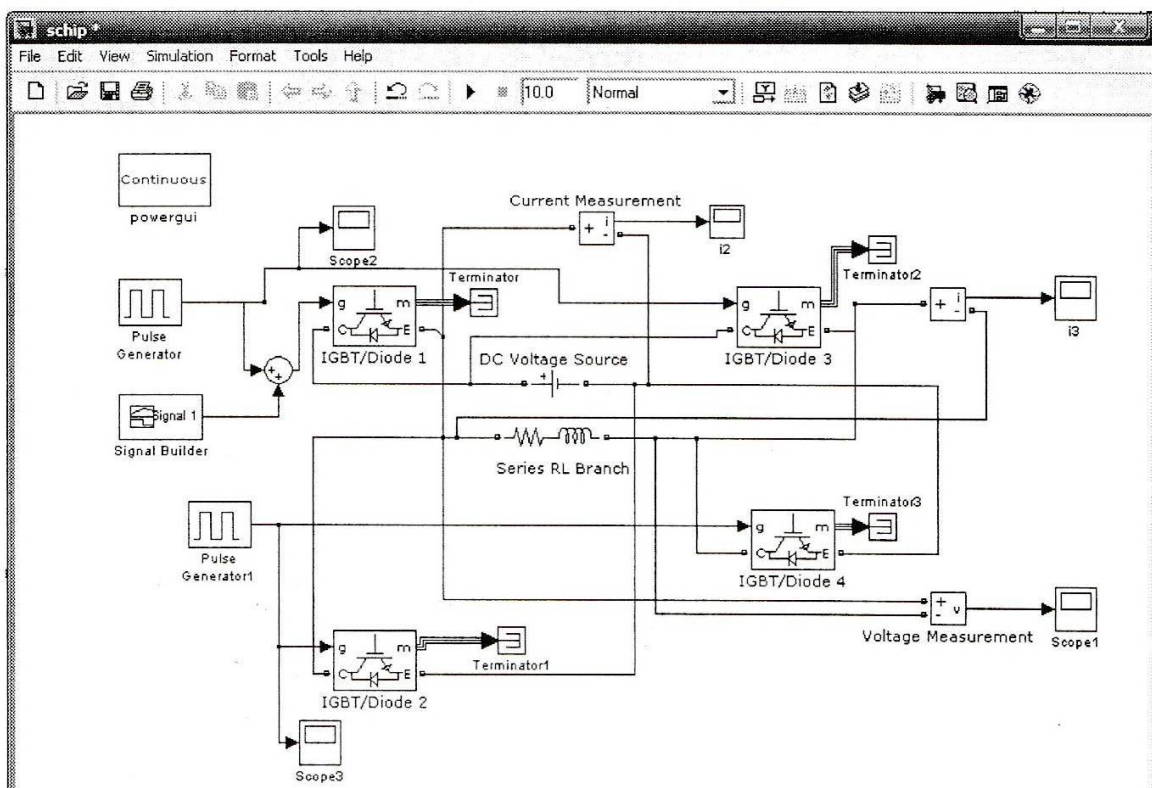


Рисунок 2.11 – Математична модель ШІП

Рисунок 2.13 показує результати моделювання роботи схеми МСЗ ключів. Пробій транзистора створюється в момент часу, рівний 1 с. При перевищенні величини струму, який є максимально допустимим короточасним струмом для ключа, відбувається блокування роботи схеми.

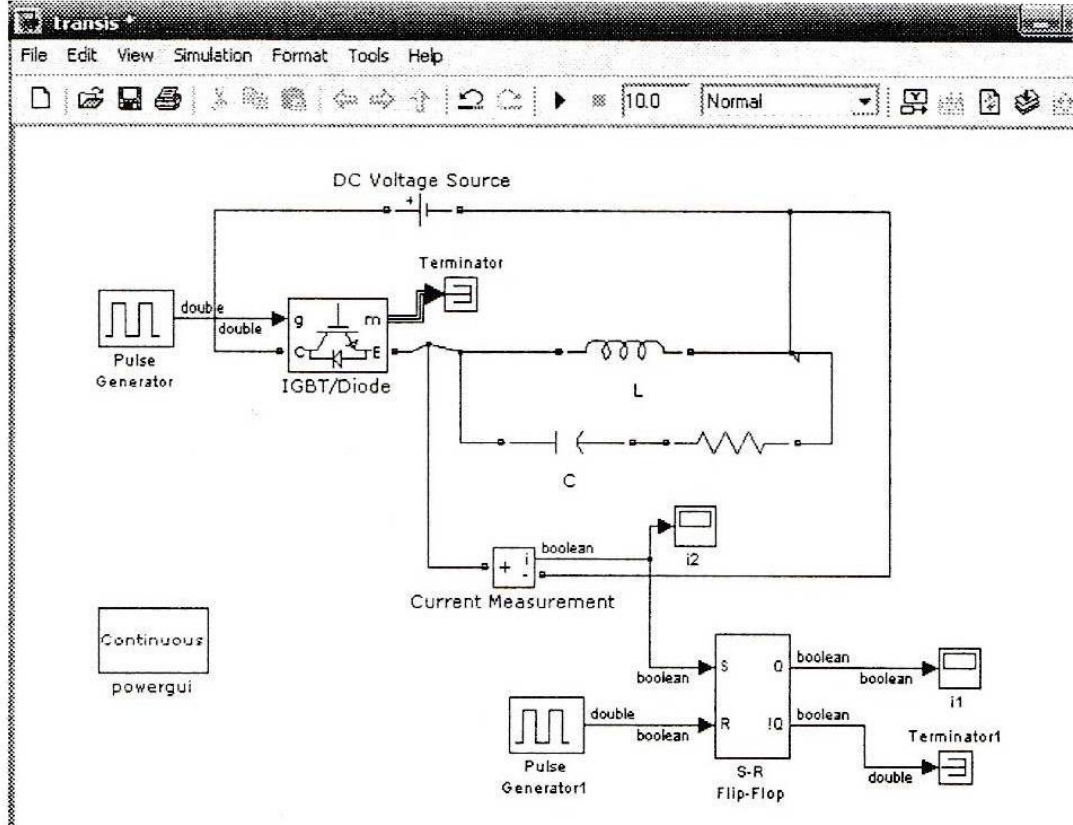


Рисунок 2.12 – Математична модель схеми захисту транзисторного модуля

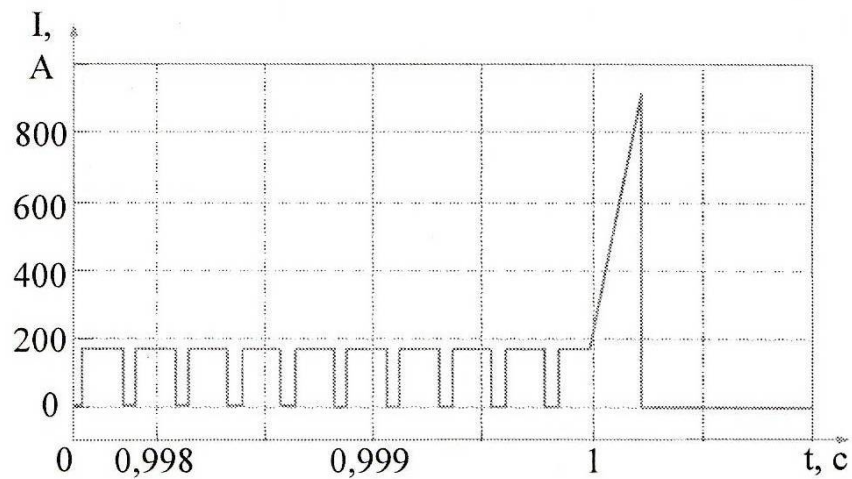


Рисунок 2.13 – Результати моделювання схеми МСЗ транзисторів при пробої ключа в момент часу 1 с

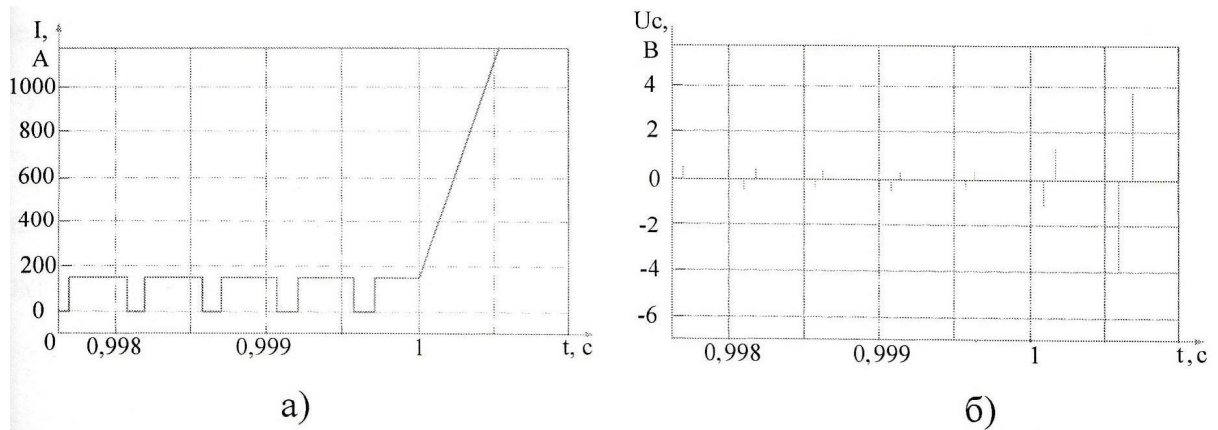


Рисунок 2.14 – Результати моделювання при пробіі ключа:

а) струм через транзистор;

б) напруга на конденсаторі схеми захисту

Зокрема, на рисунку 2.14 показаний струм через ключ ІІ та напруга на конденсаторі при пробіі при відсутності відповідного захисту. Як видно з результатів моделювання, величина струму збільшується на кожному інтервалі часу, коли відкривається другий ключ того ж плеча, в якому знаходиться пробитий транзисторний модуль. На рисунку видно, що такий неконтрольований процес спровокує швидкий вихід транзистора з ладу. При цьому вхідна захисна апаратура ІІ може не встигнути спрацювати, а навіть якщо запропонувати своєчасне відключення ІІ від мережі, то це не зупинить надструм через ІІ через наявність ємностей. Таким чином, аварійний режим роботи буде спостерігатись до повного розряду ємностей.

Збільшення струму, який протікає через транзистори, приводить до збільшення величини імпульсу напруги на конденсаторі. Задача схеми МСЗ полягає у фіксуванні моменту, в який величина напруги на конденсаторі перевищує задане значення, що свідчить про перевищення струму в силовому модулі. В цьому випадку схема генерує аварійний сигнал, який блокує управління всіма ключами ІІ.

Отримані результати свідчать про те, що захист, який реалізований по вказаній схемі, дозволить при наявності аварійних режимів, закрити транзистор до виникнення його пробією.

2.4.2 Захист від короткочасного перевищення та зникнення напруги живлення

Живлення ШІМ перетворювачів ТЕР шахтних електровозів здійснюється від тягової мережі, які відносяться до мереж з обмеженою потужністю, що створює реальну можливість короткочасного підвищення або зникнення напруги через наявність аномальних режимів роботи контактної мережі. Це приводить до підвищення або зниження напруги на вході ІІ. Таким чином, СУ має блокувати роботу ІІ та інформувати машиніста щодо відхилення напруги нижче допустимого рівня, який задається відповідними параметрами налаштування системи. Підвищення напруги вище допустимого рівня може викликати пошкодження ізоляції конденсаторів або навіть силових модулів, пониження напруги нижче допустимого рівня може свідчити про наявність аварійних ситуацій у випрямній частині ІІ.

Оскільки при роботі ІІ напруга на вході може змінюватись, то це приведе до зміни рівня вихідної напруги, що може викликати несанкціоновані коливання частоти обертання ТЕР, а, як наслідок, і швидкості руху електровозу. З метою усунення вказаних недоліків система управління ТЕР має виконувати функції стабілізації вихідної напруги, компенсуючи зміни напруги на вході ІІ. Оскільки ця напруга є вимірюваним сигналом для реалізації вищезазваних захистів, то реалізація такої функції потребує лише корекції ширини активного імпульсу вихідної напруги в залежності від співвідношення між поточною величиною вхідної напруги та її номінальним значенням.

На рисунку 2.15 приведені результати моделювання роботи системи при відсутності функції компенсації зміни напруги на вході ІІ. З графіків на рисунку 2.15 видно, що при цьому спостерігається поступовий розряд конденсаторів на вході ІІ, що викликає зменшення вихідно напруги ІІ, а також падіння частоти обертання ТЕР.

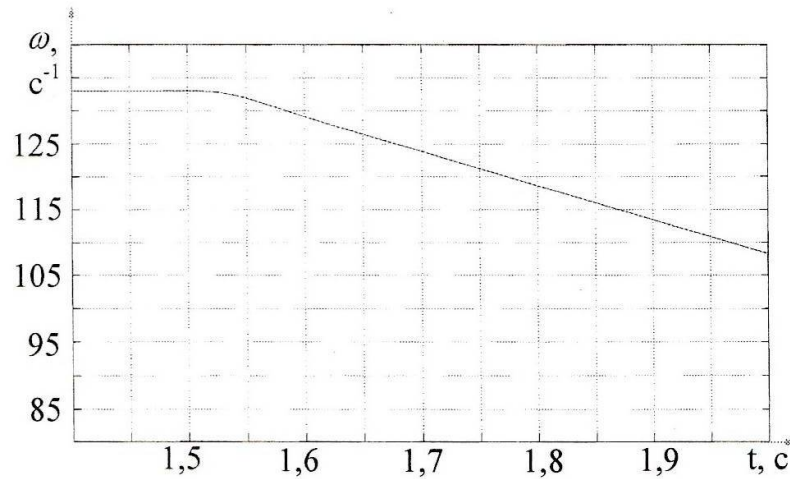


Рисунок 2.15 – Результати моделювання при зникненні напруги живлення та відсутності компенсації зміни напруги
 Ud: графік зміни швидкості ТД

У випадку перевищення напруги на вході ІІІ система управління повинна відстежувати два рівня уставки захисту: рівень включення гальмівного транзистора, а також аварійний рівень напруги, при якому слід виконувати відключення вхідної контактної апаратури з метою захисту елементів ІІІ.

На рисунку 2.16 приведені результати моделювання роботи системи при наявності компенсації зміни напруги.

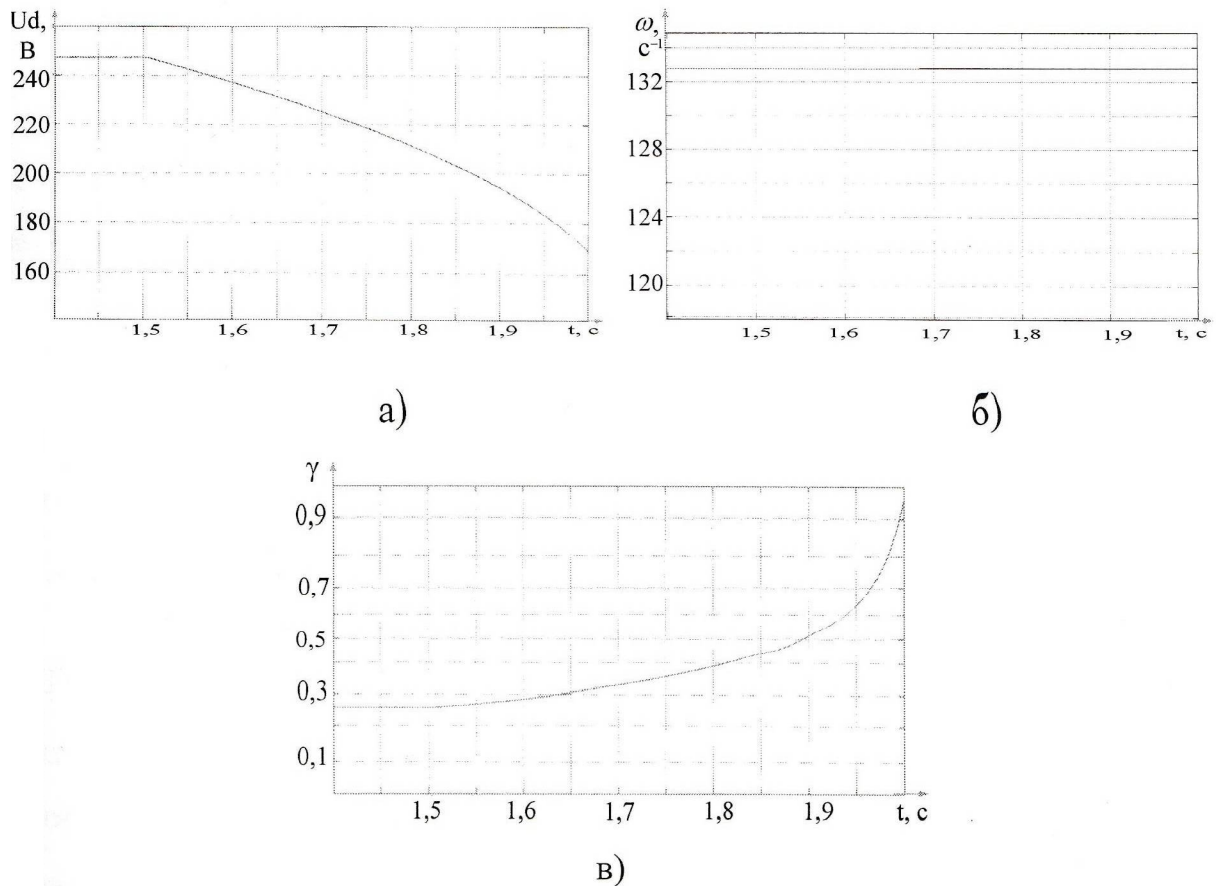


Рисунок 2.16 – Результати моделювання при зникненні напруги живлення та компенсації зміни напруги U_d :

а) графік зміни напруги на вході ПІ;

б) графік зміни швидкості ТД;

в) графік зміни скажності імпульсів вихідної напруги

По рисунку 2.16 можна зробити висновок про те, що не дивлячись на падіння вхідної напруги ПІ, за рахунок збільшення шпаруватості імпульсів зберігаються ті ж значення середньої за період вихідної напруги, а значить і частота обертання ТЕД.

Висновки:

В результаті наповнення розділу було виконано аналіз існуючих схем технічних рішень та структур ТЕТК на основі імпульсних регуляторів напруги живлення ТЕД, виконано аналіз пошкодження елементів ТЕТК по способам і методам побудови захистів електрообладнання шахтних контактних електровозів при аварійних та нештатних ситуаціях, розроблена функціональна схема підсистеми захисту від аномальних ситуацій в ТЕП, на базі якої є можливим проведення структурного аналізу системи захисту і електропривода в цілому. Аналіз системи захисту ТЕП постійного струму за допомогою метода мереж Петрі дозволив розробити моделі мереж Петрі окремих каналів підсистем захисту. Була синтезована узагальнена мережа Петрі системи захисту рудникового ТЕТК. Теоретично обґрунтований аналіз розроблених та рекомендованих до застосування структур систем комплексного захисту ТЕП шахтних електровозів за допомогою теорії мереж Петрі підтверджує надійність роботи ТЕП та гарантує його захищеність в аварійних ситуаціях.

3 ВИБІР ЗАСОБІВ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ І ОЦІНЮВАННЯ ЇЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

3.1 Аналіз методів дослідження теплових режимів тягових двигунів

Узагальнюючи результати аналізу пошкоджень ТЕД постійного струму шахтних електровозів (таблиця 3.1) відмітимо, що вихід з ладу вищезазначених двигунів відбувається в основному через втрати ізоляційних властивостей обмотки якоря та полюсів.

Таблиця 3.1 – Дані про пошкодження елементів ТЕД типу ДТН-45 при експлуатації на електровозах К14

№ п/п	Вузол ТЕД	Пошкодження, %
1.	Головні та додаткові полюси	44,7
2.	Якір	39,1
3.	Щіткотримач та їх кронштейни	6,8
4.	Вивідні кабелі	3,9
5.	Підшипники	3,1
6.	Інше	2,4

Як свідчать багато численні дослідження вчених, основною причиною пошкодження ТЕД шахтних електровозів при роботі їх в залізорудних шахтах є перевищення реальних теплових режимів над розрахунковими. Пов'язано це, перш за все, з фактом превалюючого в часі циклу руху рухомих одиниць режимів роботи тягових двигунів в перехідних режимах. Тому особливе значення набуває питання щодо надійного теплового захисту ТЕД, яка дозволяє судити про їх стан в умовах змінного навантаження [27].

Для аналізу теплових процесів в тягових електричних двигунах використовуються:

- розрахункові методи;

- фізичне та математичне моделювання;
- експериментальні.

Відомий підхід для оцінки теплового режиму з використанням величини середньоквадратичного струму, яка визначається по формулі:

$$I_c = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3 + \dots + I_n^2 \cdot t_n}{\sum_1^n t_i}}, \quad (3.1)$$

де I_c - середньоквадратичний струм, А;

$I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ - струми навантаження відповідно в поміжки часу $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, сек.

Проте в результат численних експериментів було встановлено, що розрахунок температур ТЕД, який виконується по формулі (3.1), є далекими від реальних значень, оскільки і температура обмоток якоря, і полюсів, визначена по середньоквадратичному значенню струму, є нижчою реальною.

Крім того, існує метод фізичного моделювання. Проте, при всіх його перевагах цей метод потребує великих затрат засобів та часу, оскільки при побудові фізичної моделі мають бути дотримані критерії подібності, крім того, фізична модель не може бути універсальною і будь-який конструктивний варіант об'єкту буде потребувати засобів та уваги для виготовлення моделі.

В рамках досліджень теплових режимів ТЕД існує чимала кількість і розрахункових теплових моделей. Як правило, ці моделі базуються на представлені досліджуваних процесів в окремих елементах конструкції ТЕД, що у всіх випадках спряжене зі значним об'ємом обчислень і робить нераціональним їх використання в складі комплексної моделі шахтного електровоза з її непередбачуваними та, більшою мірою, невстановленими режимами функціонування [27, 28].

Тобто яким би способом не виконувались вентиляційний та тепловий розрахунки даних типів ТЕД, критерієм точності їх результатів можуть служити тільки дані експериментального дослідження.

Тому, із врахуванням особливостей досліджуваної задачі був запропонований та застосований комбінований підхід до оцінки аналізованих процесів, заснований на теоретичній обробці реальних експериментальних залежностей нагрівання та охолодження ТЕД в функції всього діапазону їх функціонування в часі рейсів.

Як відомо, рівень правильності вибору вантажопідйомності рухомих одиниць електровозів, як і режими їх функціонування, визначає режим навантаження ТЕД електровозів.

При функціонуванні електровозів в умовах залізничних шахт встановлено як факт два основоположних моменти:

- ТЕД контактних електровозів працюють. Як правило, (в 60%) в невстановлених перехідних режимах, коли їх енергетичні і тягові параметри не досягають номінальних;
- Основною причиною передчасного виходу з ладу ТЕД даних типів електровозів в аналізованих видах шахт є неконтрольовані теплові режими.

Основною причиною таких явищ є:

- особливість технології ведення гірських робіт у вітчизняних залізничних шахтах;
- варварське відношення до керування електровозами зі сторони машиністів електровозів, коли керування їх рухом виконується не командо контролером, як передбачено, а відривом або приєднанням пантографа електровоза до контактного проводу машиністом;
- недосконалістю конструкції ТЕД.

Навіть поверхневий аналіз вихідних причин цих факторів переконує в тому, що їх усунення не може бути досягнути звичайним тривіальним шляхом розробки типових ТЕП та систем управління ними. Тактика

побудови ТЕП має включати в себе необхідний комплекс досліджень реально впливаючих факторів на роботу ТЕД тягових приводів і на цій основі розробку відповідних способів контролю та захисту не тільки при виникненні аварійних ситуацій, але і перш за все для превентивної оцінки стану параметрів двигунів та їх температурних режимів.

Першим кроком в цьому напрямку повинні бути оцінка спроможності методів розрахунку електровозної відкатки, у відповідності з якими вибираються параметри составу і в тому числі складових ТЕП електровозу.

При загальноприйнятому методі розрахунку електровозної відкатки на основі загальних міркувань, як правило, керуються аналогіями і наявним типом обладнання та вибирають той чи інший тип електровозу. Далі по його вазі зчеплення вибирають максимальну вантажопідйомність составу з послідуною перевіркою по умовам: пуску електровозу на головному підйомі, гальмуванні завантаженого составу на тій же найбільш крутій ділянці спуску, нагрівання тягових двигунів.

На завершення визначаються елементи руху та будується графік відкатки, який має бути основним виробничим оперативним документом для організації робіт.

Для визначення ваги составу електровоза, відповідно вище перерахованим умовам рекомендується користуватися наступними формулами:

$$P + Q_{\text{гр}} = \frac{1000 \cdot P_c \cdot \psi}{\omega_{\text{сп}} + i_{\text{сп}} + 110 \cdot j_0}, \quad (3.2)$$

$$P + Q_{\text{гр}} = \frac{1000 \cdot P_T \cdot \psi}{110 \cdot j_T - \omega'_{\text{сп}} + i_{\text{сп}}}, \quad (3.3)$$

$$P + Q_{\text{гр}} = \frac{F_{\text{ЕЛ}}}{\alpha \cdot \sqrt{\tau} + (\omega'_{\text{сп}} + i_{\text{п.о.}})}, \quad (3.4)$$

де $P + Q_{гр}$ – вага завантаженого составу електровоза;

ψ – коефіцієнт зчеплення коліс електровозу з рейками;

P_C – зчїпна вага електровозу;

$\omega_{сп}$ – пусковий опір руху завантаженої вагонетки;

$i_{сп}$ – опір від середнього ухилу;

j_0 – пускове прискорення;

$F_{ЕЛ}$ – тривала сила тяги;

α – коефіцієнт маневрового режиму;

$\omega'_{сп}$ – ходовий опір руху завантаженої вагонетки;

τ – відносна тривалість руху;

$i_{р.о.}$ – нахил рівного опору;

R_T – гальмівна вага електровозу;

j_T – гальмівне сповільнення.

Маючи на увазі, що по приведеним вище формулам визначення величини составу не залежить від продуктивності добувальних ділянок, знаходиться максимально допустима величина составу електровозу.

При розрахунках приймаються $\omega_{сп} = 6 \text{ кг} / \text{м}$, $\omega'_{сп} = 8 \text{ кг} / \text{м}$, $i_{сп} = 3^\circ / 00$.

Результати розрахунків зведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Оцінка степеня впливу різних факторів на нагрівання тягового двигуна

№ п/п	Умови, які обмежують величини составу	Вага составу, т	
		Тип електровозу	
		К10	К14
1.	Пуск електровозу на підйомі з вантажем при $\psi = 0,2$	130	182
2.	Сповільнення гальмуванням на довжині 40 м.	83	80,5
3.	Допустима величина нагріву ТЕД при $\alpha = 1,4$ та $z = 1000$ м.	153	282

З таблиці видно, що для одного і того ж електровоза максимальна величина складу по рівним обмеженням отримується досить різною.

Багаторічний досвід експлуатації електровозного транспорту в залізничних шахтах дозволяє встановити, що рекомендовані проектами графіки руху складів електровозів в тих чи інших підземних горизонтах тих чи інших шахт ніколи не виконуються на практиці, а фактичні величини складу значно відрізняються від розрахункових.

Оцінюючи показники різних методів розрахунків можна зробити висновок, що технічна вантажопідйомність складу електровозу по основному фактору – нагріву тягових двигунів – отримується найбільшою (таблиця 3.2).

Проведений аналіз показує, що для умов залізничних шахт формула (3.1) дає значний розрив між фактичною та розрахунковою вантажопідйомністю складу, визначаючи недовикористання ТЕД по потужності.

Варто відзначити, що гірські геологічні особливості досліджуваних шахт є характерними як для досліджуваного залізничного басейну, так і для інших вітчизняних залізничних шахт по продуктивності та схемам транспортування руди.

В зв'язку з цим логічно буде стверджувати, що результати досліджень, проведених для цих шахт, можна поширити і на інші вітчизняні залізничні шахти.

Характерною особливістю протікання теплових процесів тягових двигунів при змінному навантаженні є значна відмінність кривої нагрівання від експоненти, що сильно ускладнює перевірку двигунів на нагрівання. Аналіз експериментальних кривих нагрівання показує, що найбільше перевищення температури відбувається при подачі вагонеток в перекидач та інтенсивному завантаженні в ортах, оскільки реалізація електричної потужності відбувається в тяжких умовах з точки зору нагріву тягових

двигунів. Встановлено, що саме навантаження є випадковою величиною, відповідно, крива нагріву, яка її відображає, не може описуватись рівняннями класичної теорії нагрівання.

На рисунку 3.1 приведено графік зміни температури обмотки якоря тягового двигуна за час однієї типової робочої зміни, а на рисунку 3.2 – за дві зміни.

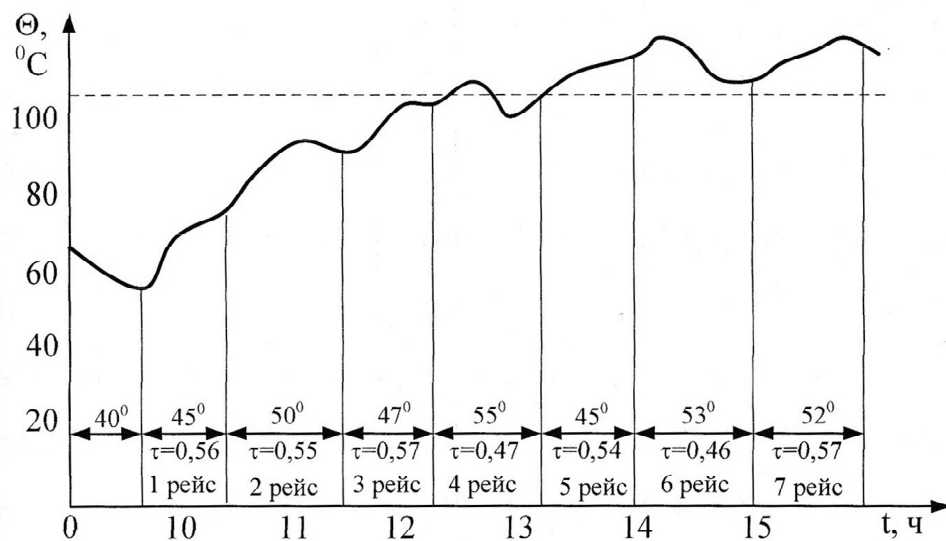


Рисунок 3.1 – Діаграма зміни температури обмотки якоря ТЕД ДТН-45 за зміну

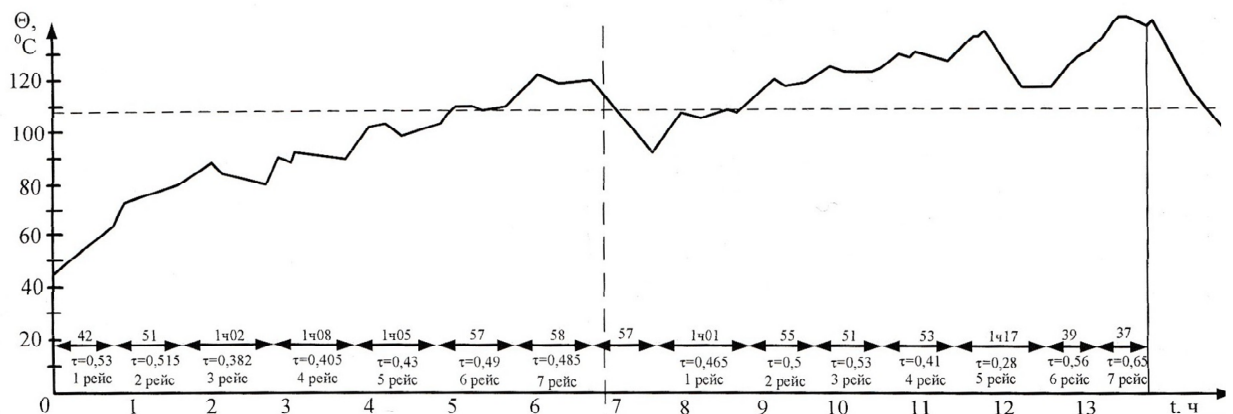


Рисунок 3.2 – Діаграма зміни температури обмотки якоря ТЕД ДТН-45 електровоза К14 за 2 робочих зміни

Як свідчить аналіз приведених діаграм, загальною тенденцією рейсів електровозів в залізничних шахтах є коливальний процес зміни температури нагрівання ТЕД, а не поступове зростання її до кінця рейсу.

3.2 Розробка способів і пристроїв безконтактного контролю і захисту тягових електричних двигунів електровоза від перевищення температури їх нагрівання

Тягові електричні двигуни, а точніше їх обмотки, по класу ізоляції та способу просочення випускаються на певні температурні режими функціонування. Перевищення допустимих температурних показників є першопричиною більшості пошкоджень ізоляції тягових електричних двигунів рудникових контактних електровозів. Тому актуально в комплекті ТЕП для підвищення його ефективності та надійності застосування ефективного захисту від перегріву тягових двигунів.

Реально можливими є ряд способів контролю температури тягових двигунів та побудови відповідних захистів:

- закладання в двигун сенсорів температури;
- застосування теплових реле;
- непряма оцінка по опорі обмоток двигунів або по розрахунковим втратам в двигуні.

Метод закладання в двигун сенсорів для контролю температури є найбільш точним, оскільки дає безпосередню оцінку температури, застосовується найбільш часто. Разом з тим, головними недоліками застосування температурних сенсорів є необхідність їх закладки в обмотки двигуна, що в умовах експлуатації без розбору двигуна є неможливим, необхідність виведення з двигуна додаткових провідників, що в умовах жорсткої вібрації ТЕД може привести до їх пошкодження та відмовам захисту.

Теплові реле гарно себе зарекомендували себе при захисті двигунів з постійним або мало змінним навантаженням. При перевищенні струмів тривалого режиму теплові реле спрацьовують занадто швидко (в 12 разів швидше) та непридатні для захисту тягових двигунів від перегріву.

По розрахунковим втратам енергії в тяговому двигуні за розрахунковий період може бути подана непряма оцінка його нагрівання. Перевагою даного способу є відсутність яких-небудь додаткових елементів. До недоліків методу відноситься більш низька точність контролю нагрівання обмоток двигуна в порівнянні з методами, які використовують безпосередній контроль температури.

По опорі обмоток може бути визначена середня температура обмотки. Метод заснований на зміні опору обмотки в залежності від її температури [27].

Температура гарячої обмотки визначається по формулі:

$$\tau_r = \frac{R_r - R_x}{R_x} \cdot (\kappa + \tau_x) + \tau_x, \quad (3.5)$$

де $R_r - R_x$ – опори обмоток, виміряні відповідно в гарячому та холодному станах;

τ_x – відома температура обмотки в холодному стані, при якому вимірювався опір R_x ;

κ – коефіцієнт, рівний для міді 235, а для алюмінію 245.

Для мідних обмоток можна записати:

$$\tau_r = \frac{R_r - R_x}{R_x} \cdot (235 + \tau_x) + \tau_x. \quad (3.6)$$

При реальній похибці вимірювання опорів 1% та температурі гарячої обмотки 130 С похибка вимірювання температури методом опору складає 2,8% або 3,6%, що цілком прийнятно.

Як виявилось, найбільш небезпечний нагрів відбувається в обмотці якоря. Але контроль її опору та відповідної температури зустрічає великі труднощі, пов'язані зі щітковими контактами. Опір щіткових контактів, який включений послідовно до обмотки якоря, є нестабільним і може змінюватись в десятки разів в залежності від марки щіток, контакту щіток, стану поверхні колектора, температури колектора, швидкості обертання. До того ж щітки перекривають декілька колекторних пластин, шунтуючи секції обмотки якоря. Саме тому достатньо точно визначення температури обмотки якоря по її опору є неможливим. Але є інший шлях, можна контролювати температуру обмотки збудження по її опору. Обмотки збудження тягових двигунів включаються послідовно з обмотками якоря, по ним протікає один струм, обмотки знаходяться в одній машині і їх нагрівання та охолодження взаємопов'язані. Це дозволяє по температурі обмотки збудження достатньо точно визначити температуру якоря.

Враховуючи, що допустима температура для обмотки якоря з ізоляцією класу F складає 155 С, максимально допустима по нагріванню якоря температура обмотки збудження рівна $155 - 25 = 130$ С. Таким чином, хоча обмотка збудження допускає і більш високу температуру, захист від перегріву двигуна має спрацьовувати при досягненні температури обмотки збудження в 130 С, що відповідає значенню її опору:

$$R_r = R_x \cdot \frac{235 + \tau_r}{235 + \tau_x}, \quad (3.7)$$

або при $\tau_r = 130$ °С,

$$R_r = R_x \cdot \frac{365}{235 + \tau_x} \text{ (Ом)}. \quad (3.8)$$

Таким чином можна зробити висновок про те, що для контролю опору обмотки збудження в процесі роботи двигуна зручно використовувати метод

вольтметра-амперметра, при опорі обмотки, який рівний відношенню U/I . З цією метою пропонується схема, приведена на рисунку 3.3.

В схемі передбачено вимірювання середнього значення струму та напруги, які не залежать від частоти перемикавання робочого вентиля перетворювача та постійної часу обмотки збудження. Причому середнє значення напруги «знімається» з обмотки збудження через коло, яке складається з R1-3 та C, які обмежують імпульси напруги пристрої захисту при перемиканнях в силовому колі. Середнє значення струму через обмотку збудження визначаємо за допомогою шунта RS. Налаштування захисту на необхідний опір та відповідну температуру виконується підстроєчним резистором R3. Блок захисного пристрою містить аналоговий інтегральний подільник, який виконує функцію ділення $U_{ср}/I_{ср}$ – тобто неперервно визначає значення опору обмоток. При досягненні значення опору, яке відповідає температурі обмотки збудження 130 С, захист спрацьовує, температура обмотки якоря при цьому досягає гранично допустимого значення 155 С.

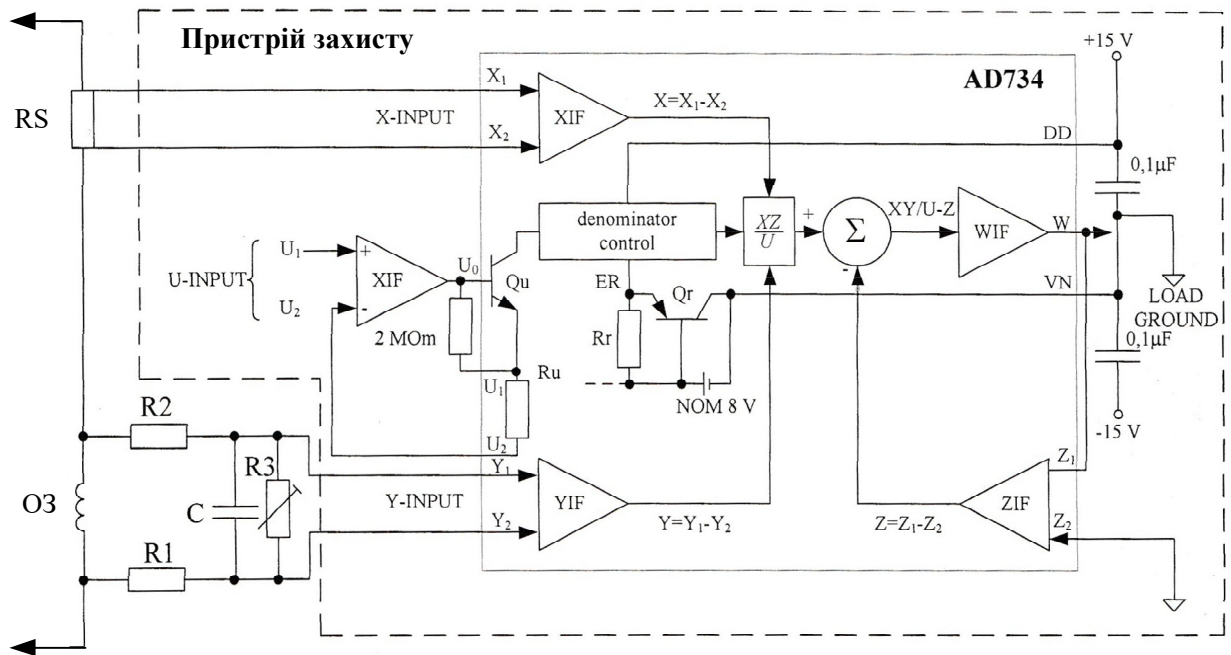


Рисунок 3.3 – Структурна схема захисту тягового двигуна шахтного електровоза від перегріву

Схема не потребує встановлення в двигуні сенсорів температури, – безпосередньо обмотка збудження двигуна є сенсором опору/температури. Це робить захист простим та надійним.

В даній структурі як реальний варіант подільника для практичної реалізації може виступати мікросхема 4-Quadrant Multiplier/Divider AD734 (Analog Devices, Inc). Схема підтримує два режими аналогового ділення. Перший режим заснований на використанні помножувача в зворотному зв'язку. Це стандартний режим, рекомендований для помножувачів з фіксованою шкалою напруги, таких як AD 534. Другий режим використовує унікальну можливість – це безпосереднє регулювання напруги подільника.

AD734 рекомендується використовувати в якості аналогового подільника, який працює в режимі безпосереднього регулювання напруги знаменника. Це режим є більш точним, гнучким та дозволяє підвищити частоту роботи мікросхеми, оскільки всі виводи є доступними.

3.3 Розробка способів і засобів безсенсорного контролю швидкості руху рудникових контактних двоосних електровозів

Одним з параметрів, який необхідно контролювати і, більше того, при необхідності відтворити по запису, є швидкість руху составу електровозу. Цей параметр жорстко регламентований залежно від ділянки підземного технологічного маршруту руху електровозу.

В залізорудних шахтах швидкості руху електровозів обмежуються наступними значеннями, км/год:

- по квершлагу для завантажених составів – 10;
- по штреку лежачого боку – 5;
- висячого боку – 3;
- на стрілках та заокругленнях – 3;
- біля перекидача – 2.

Важливою умовою забезпечення безпеки є обмеження швидкості складу електровозу по умові допустимої довжини гальмівного шляху, яка при перевезенні вантажів не повинна перевищувати 40 м., а при перевезенні людей – 20 м. Гальмівний шлях розраховується для умов найгіршого варіанту – рух завантаженого складу під нахилом до стволу шахти. Це найбільш небезпечна частина маршруту, де швидкість руху обмежується до 10 км/год, хоча по тяговим можливостям електровоз може розвивати набагато більшу швидкість. Таким чином для безпечної експлуатації транспорту в підземних шахтних умовах необхідний постійний контроль швидкості руху.

Для контролю швидкості руху вітчизняних електровозів в теперішній час використовується ряд пристроїв, в основі яких, по суті, покладений принцип контролю частоти обертання тягових електричних двигунів або колісних пар з послідуєчим перерахунком в швидкість руху електровозу. Розроблені також і більш досконалі вимірювачі швидкості, які використовують сенсори Холла і не вимагають безпосереднього зв'язку з рухомими елементами тягової передачі електровозу. Проте ефективність їх застосування суттєво зменшується в умовах функціонування ТЕП під землею. Це пов'язано з тим, що, перш за все, ремонт та обслуговування таких систем в умовах шахт вельми ускладнений, а часто і взагалі неможливе. Тобто очевидною є необхідність розробки нових сучасних способів контролю швидкості руху електровозів для умов шахт та рудників.

Надійність швидкостеміра можна багаторазово підвищити, застосувавши метод без сенсорного контролю швидкості, використовуючи тільки електричні параметри режимів роботи ТЕД.

Для двигунів послідовного збудження значення струму та напруги однозначно визначають швидкість обертання. В загальному випадку частота обертання тягового електричного двигуна визначається:

$$\omega = \frac{U_{\text{я}} - I \cdot r_{\text{я}}}{C_{\omega} \cdot \Phi}, \quad (3.9)$$

де $U_{\text{я}}$ – напруга на якорі;

I – струм якоря та обмотки збудження;

$r_{\text{я}}$ – опір обмотки якоря;

Φ – магнітний потік;

C_{ω} – конструктивний коефіцієнт.

В електричній тязі прийнято використовувати лінійну швидкість електровозу:

$$v = \frac{U_{\text{я}} - I \cdot r_{\text{я}}}{C_v \cdot \Phi}. \quad (3.10)$$

В цьому виразі змін зазнало лише значення коефіцієнта C_v .

Для ТЕД послідовного збудження магнітний потік визначається $\Phi = f(I)$, тоді

$$v = \frac{U_{\text{я}} - I \cdot r_{\text{я}}}{C_v \cdot f(I)}. \quad (3.11)$$

Введемо деякі спрощення, які є прийнятними для робочого діапазону режимів. Магнітний потік має складну залежність від струму в зв'язку із насиченням сталі, проте з достатньою точністю ця залежність може бути представлена гіперболою із показником степеня $x < 1$, тобто $\Phi \approx I^x$. Можна також знехтувати величиною $U_{\text{я}} \gg I \cdot r_{\text{я}}$. Тоді вираз (3.11) перетворюється до вигляду:

$$v = \frac{U_{\text{я}}}{k \cdot I^x}. \quad (3.11)$$

Використовуючи електромеханічну характеристику тягового двигуна та задаючись значеннями струму I можна визначити відповідні швидкості та обчислити значення $k \cdot I^x$. Розрахунки показують, що для різноманітних характеристик показник степеня $x=0,4-0,6$.

Для ілюстрації на рисунку 3.4 приведені електромеханічні характеристики тягового електричного двигуна ДТН-45/27 електровозу К14.

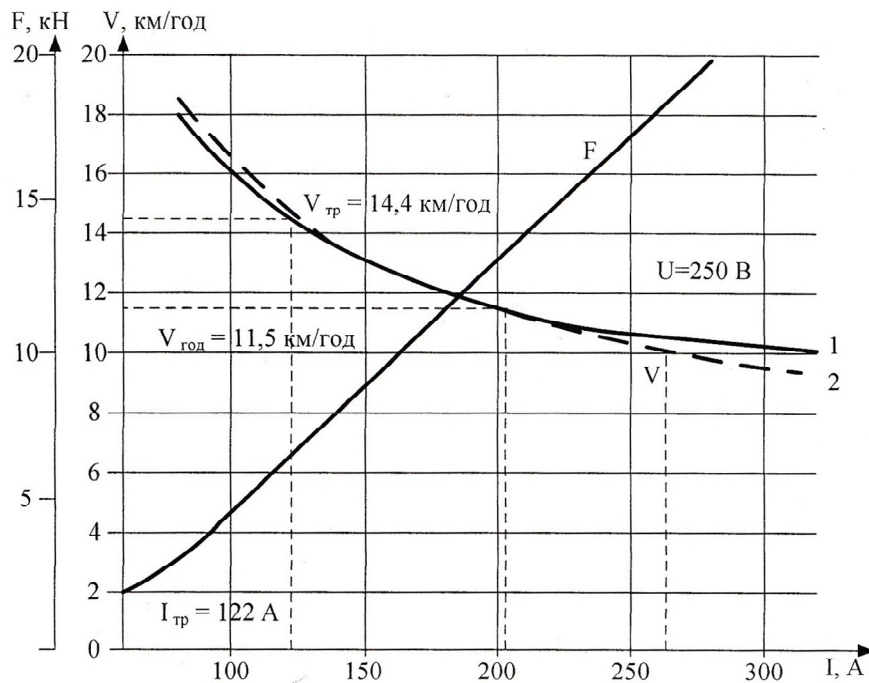


Рисунок 3.4 – Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДТН-45/27 електровоза К14:

- а) фактична;
- б) розрахована по запропонованій методиці

В ході розрахунків встановлено, що в робочому діапазоні струмів та швидкостей похибка, яка обумовлена неточністю методики, не перевищує 5%, що в даному випадку є прийнятним. При струмах більше 260 А тягові зусилля перевищують допустимі по умовах зчеплення і цей діапазон може викликати лише теоретичний інтерес. Запропонований спосіб без сенсорного контролю швидкості може бути реалізований за допомогою вимірювального блоку, який може виконувати обчислювальні функції (див. рисунок 3.5).

На вхід вимірювального блоку пульта керування машиніста електровоза подається напруга на якорі і значення струму кожного з двох тягових двигунів. В якості сенсора швидкості може використовуватись вимірювальний шунт або інший вид сенсора. Вимірювальний блок приводить

обчислення поточної швидкості електровоза відповідно до рівняння (3.11) і видає значення швидкості на табло або іншій пристрій реєстрації. При перевищенні швидкості вище допустимого значення загоряється сигнальна лампа. Також на екран виводиться значення струму двигуна з метою інформування машиніста про поточне навантаження електровозу.

Приєднання без сенсорного швидкостеміра здійснюється в кабіні машиніста і при цьому не вимагається доопрацювання механічних конструкцій тягової передачі та регулювання елементів редуктора.

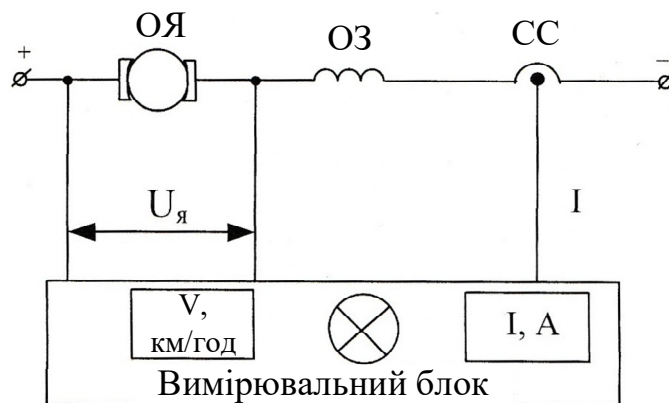


Рисунок 3.5 – Структурна схема безсенсорного швидкостеміра

Точне налаштування швидкостеміра необхідно виконувати лише для діапазону середніх швидкостей (швидкість тривалого режиму) на випробувальному стенді заводу-виробника електровозів або ремонтного підприємства. Під час експлуатації швидкостемір не потребує регулювань та обслуговування. Очікуваною є висока надійність безсенсорного швидкостеміра.

Висновок:

В результаті наповнення розділу було запропоновано спосіб безконтактного контролю та захисту ТЕД від недопустимих перевищень рівнів температури в елементах ТЕД без необхідності застосування додаткових сенсорів температури, запропонована структурна схема швидкостеміра для вимірювання та індикації швидкості руху струмів тягових електричних двигунів, який включає в себе вимірювальний шунт, сенсор струму та вимірювальний блок.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення величини витрат запропонованого варіанту

Для реалізації технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода шахтного рудникового електровоза постійного струму шляхом проведення своєчасного діагностування та своєчасного обслуговування електротехнічного тягового комплексу виробник залучає власні кошти. Він несе витрати на розробку, впровадження та експлуатацію нової розробки.

Капітальні вкладення – витрати, які передбачаються для реалізації проекту. Капітальні вкладення включають в себе витрати на проектування системи діагностування та контролю електрообладнання рудникового електровоза, придбання необхідного обладнання, доставку на підприємство, монтаж і налагодження.

Вартість витрат на доставку враховують масу вантажу, відстань і тарифи залізничних перевезень. Витрати на монтаж обладнання визначають розрахунковим методом, але для загальних розрахунків ці витрати приймають рівними 10 % від вартості обладнання.

Витрати на будівельні роботи теж визначаються розрахунковим методом і для загальних розрахунків приймаються рівними 10 % вартості обладнання.

До інших капітальних вкладень відносяться витрати на технічні заходи з охорони навколишнього середовища, покращення умов праці персоналу, навчання персоналу та ін. До них включається також залишкова вартість не повністю зношеного обладнання, що ліквідується.

Метою функціонального діагностування електрообладнання шахтного електровоза є забезпечення найбільш економічної його експлуатації при заданому рівні надійності і скороченні до мінімуму витрат на технічне обслуговування та ремонт. Ця мета досягається шляхом відслідковування

технічного стану електрообладнання в процесі експлуатації, що дозволяє своєчасно запобігати відмовам, скорочувати простої через пошкодження, проводити комплекс заходів для підтримки його працездатності відповідно до даних діагностування.

В таблиці 4.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на впровадження системи діагностування та контролю електрообладнання рудникового електровоза.

Таблиця 4.1 – Капітальні витрати на електроустаткування

№ п/п	Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
1.	Блок попереджувальної сигналізації.	3400
2.	Блок короткочасного скидування режиму роботи ТЕП	3500
3.	Блок аварійного стану	4000
4.	Система індикації поточних значень, нештатних та аварійних показників.	2200
5.	СРУ (центральний процесор) обробки сигналів	10800
6.	Сенсори контролю параметрів (струму, напруги, положення, швидкості)	6200
7.	Нормуючий перетворювач	2100
8.	Мультиплексор	4800
9.	Кабелі, апарати захисту та інше обладнання	3200
10.	Вимірювальні прилади, показчики, реєстратори захищеного виконання	7200
11.	Спеціалізований інструментарій	4150
	Всього	51550
	Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	5155
	Всього капітальні вкладення	56705

Отже, капітальні витрати $E_k = 56705$ грн.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік.

Експлуатаційні витрати E включають:

- 1) амортизаційні відрахування E_a ;
- 2) заробітна плата E_{zn} обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);
- 3) витрати на силову електроенергію E_e ;
- 4) витрати на поточний ремонт E_{np} ;
- 5) інші витрати $E_{ін}$.

Тобто:

$$E = E_a + E_{zn} + E_e + E_{np} + E_{ін} \quad (4.1)$$

4.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування становлять (норма амортизації 10 % в рік):

$$E_a = 10\% \cdot E_k, \quad (4.2)$$

$$E_a = 0,1 \cdot 56705 = 5670 \text{ (грн)}.$$

4.4 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці. Тарифна сітка робітників, які працюють погодинно, приведена в таблиці 4.2.

Таблиця 10.1 – Тарифна сітка погодинників

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$E_{zn} = E_{zo} + E_{zd} + E_{zn}, \quad (4.3)$$

де E_{zo} – основна заробітна плата по тарифу;

E_{zd} – додаткова заробітна плата;

E_{zn} – нарахування на заробітну плату.

$$E_{zo} = NT_I K \Phi_{ef} K_c \beta, \quad (4.4)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 1$ чол.);

T_I – погодинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_I = 22$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт ($K = 2,33$);

Φ_{ef} – ефективний фонд робочого часу на обслуговування системи діагностування та контролю електрообладнання рудникового електровоза за рік (приймаємо $\Phi_{ef} = 120$ год);

K_c – коефіцієнт співвідношення, встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування системи діагностування та контролю електрообладнання рудникового електровоза в загальному часі своєї роботи ($\beta = 0,8$).

Розраховуємо основну заробітну плату по тарифу:

$$E_{zo} = 22 \cdot 2,33 \cdot 120 \cdot 1 \cdot 0,8 = 4921 \text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата E_{zd} становить 10% основної заробітної плати:

$$E_{zd} = 4921 \cdot 0,1 = 492 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата $E_{зо}$, грн.	4921
Додаткова заробітна плата $E_{зд}$, грн.	492
Разом основна і додаткова заробітна плата, $(E_{зо} + E_{зд})$, грн.	5413
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%), грн.	1191
Всього нарахування, грн	6604

Таким чином, маємо:

$$E_{zn} = 4921 + 492 + 1191 = 6604 \text{ (грн.)}$$

4.5 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} \cdot B \cdot \Phi_{E\phi} \cdot K_{\text{вм}} \cdot K_3, \quad (4.5)$$

де B – вартість електроенергії. Ціна на універсальні послуги для малих побутових споживачів (Постанова НКРЕКП від 11.12.2018 №1863), електроустановки яких приєднані до електричних мереж згідно з класом напруги з ПДВ складає приблизно 3,44 грн/кВт·год.

P – номінальна потужність;

η – коефіцієнт корисної дії ($\eta = 0,85$);

$T_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом $K_{\text{вм}} = 0,8$);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Номінальна потужність системи контролю та захисту електрообладнання складає 0,3 кВт.

Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0,8, а коефіцієнт завантаження рівний 0,84.

Ефективний фонд робочого часу при режимі роботи в 1 зміну протягом 95% часу за рік становить:

$$\Phi_{ef} = 220 \cdot 8 \cdot 0,95 = 1672 \text{ (год.)}$$

Після підстановки всіх відомих показників у вираз отримаємо:

$$E_e = \frac{P}{\eta} \cdot B \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{vm} \cdot K_3 = \frac{0,3}{0,85} \cdot 3,44 \cdot 1672 \cdot 0,8 \cdot 0,84 = 1364 \text{ (грн.)}$$

4.6 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою, силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів (таблиця 4.4), у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер шостого розряду. Із врахуванням того, що відомою є трудомісткість робіт ремонтного працівника (таблиця 4.4), основну заробітну плату розрахуємо за формулою:

$$E_{zo} = T_I K \Phi_{ef}, \quad (4.6)$$

$$E_{zo} = 22 \cdot 27 \cdot 112 = 6653 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.4 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд/год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Блоки режимів роботи			6				7				7		20
Система індикації		3				3					3		9
Мультиплексор				4				4				5	11
СРУ		6				6				8			20
Сенсори параметрів	4				5				6				15
Нормуючий перетворювач			3				3				3		9
Вимірювальні прилади		5				5					5		15
Кабелі, апарати захисту				4				4				5	13
Загальна трудомісткість												112	

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$E_{zn} = 6653 \cdot 0,22 = 1464 \text{ (грн).}$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять:

$$E_{zp} = 6653 + 1464 = 8117 \text{ (грн).}$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати. Тобто, витрати на матеріали для ремонтів становить:

$$E_m = 6653 \cdot 0,15 = 998 \text{ (грн).}$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{np} = E_{зр} + E_{м}, \quad (4.7)$$

$$E_{np} = 8117 + 998 = 9115 \text{ (грн.)}$$

4.7 Інші витрати

Розмір інших витрат приймаємо рівним 5% від загальної суми попередніх витрат. Тобто:

$$E_{ін} = (E_a + E_{зп} + E_e + E_{np}) \cdot 5\%, \quad (4.8)$$

$$E_{ін} = (5670 + 6604 + 1364 + 9115) \cdot 0,05 = 1138 \text{ (грн.)}$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведемо в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок сумарних експлуатаційних витрат

Найменування витрат	Сума витрат, грн.
Амортизаційні відрахування E_a , грн.	5670
Заробітна плата $E_{зп}$ обслуговуючого персоналу, грн.	6604
Витрати на електроенергію E_e , грн.	1364
Витрати на поточний ремонт $E_{пр}$, грн.	9115
Інші витрати $E_{ін}$, грн.	1138
Всього експлуатаційні витрати E , грн.	23891

Висновок:

В даному розділі було проведено розрахунок капітальних вкладень створення системи діагностування та контролю електрообладнання рудникового електровоза. Була розрахована основна заробітна плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток або ефект від впровадження системи невідомий або не розраховується як такий, тому термін окупності наразі неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці належить до соціально-економічних систем, головним завданням яких є врахування громадських та особистих інтересів людей. Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань. Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів з покращення умов і підвищення безпеки праці та є економічним виразом соціальної значущості охорони праці.

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Це забезпечить не лише безпечність умов праці, а й створить відповідний настрій всередині колективу.

У випусковій магістерській роботі розробляється система контролю та захисту технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює контроль та обслуговування силового обладнання тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів, згідно ГОСТ 12.0.003-74:

фізичні:

- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена та понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;

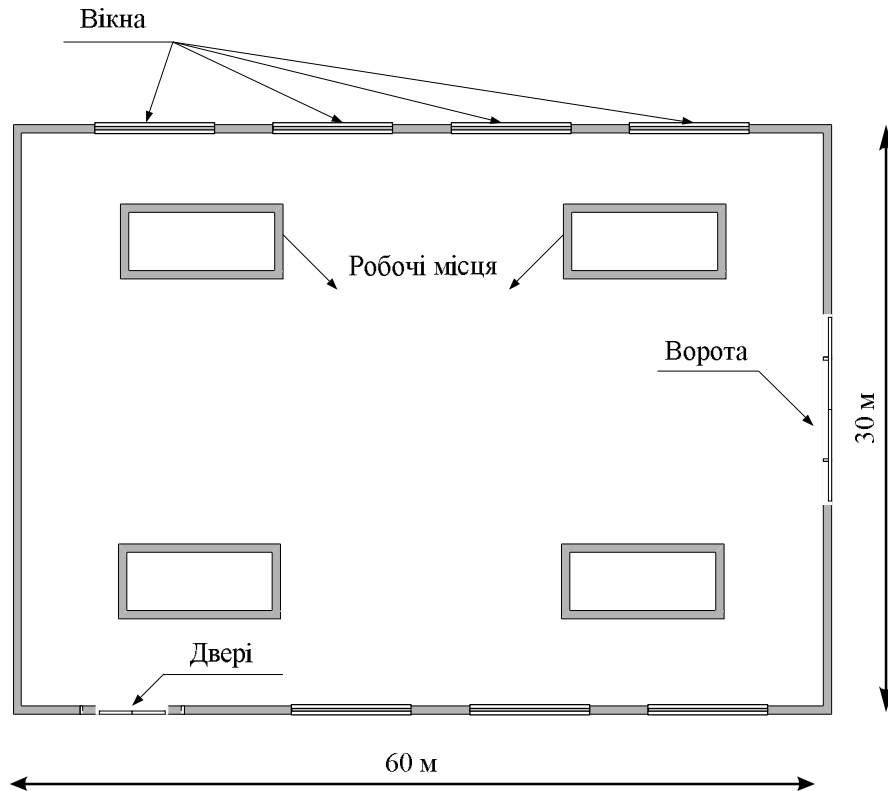
- недостатнє освітлення робочої зони;
 - недостатність природного освітлення;
 - небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якого може відбутися через тіло людини;
 - підвищений рівень шуму на робочому місці;
 - підвищена вологість повітря;
- психофізіологічні небезпечних та шкідливих виробничих фактори:
- фізичні перевантаження (динамічні);
 - нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Організація робочих місць електротехнічного оперативно-ремонтного персоналу підприємства, який здійснює впровадження заходів з енергоефективності електричного обладнання має відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.28-10.

Приміщення, в якому знаходять робочі місця персоналу, має площу 27 м², при висоті стелі 3,0 метри. У приміщенні є 2 вікна шириною 2,3 м і висотою 1,5 м і двері шириною 1,5 м. У приміщенні працює 4 особи (див. рисунок 5.1). Тобто площа на одного працівника складає 6,75 м², що повністю відповідає встановленим нормам. Крім того, передбачається наявність таких побутових приміщень як роздягальня, кімната особистої гігієни, медпункт.



■ Рисунок 5.1 – Схема виробничого приміщення, де розташоване силове обладнання, що діагностується

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим трансформатором, який діагностується. Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах струмопровідної підлоги.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

- при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

- електрозахисні засоби захисту. Електротехнічний персонал повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Забороняється користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин, необхідно вимкнути його і повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Категорія робіт – розмежовування робіт за тяжкістю на основі загальних енерговитрат організму (Вт).

Головним завданням будь-якої галузі промисловості є збільшення продуктивності праці. Разом з тим, людина, що працює, проводить на виробництві значну частину свого життя. Тому для її нормальної життєдіяльності в умовах виробництва треба створити санітарні умови, які б дали змогу їй плідно працювати, не перевтомлюючись, та зберігати своє здоров'я.

Для цього треба, щоб енергетичні витрати при праці компенсувалися відпочинком та умовами оточуючого середовища. Ці умови створюються забезпеченням для працюючого: зручного робочого місця; чистого повітря; нормованої освітленості; захисту від шуму та вібрації; робочим одягом та різними засобами індивідуального захисту.

У відповідності з наведеними енерговитратами на базі вимог даний тип роботи відносять до категорії Пб.

5.2.1 Мікроклімат

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючою на організм людини сукупністю температури, вологості, руху повітря та теплового випромінювання нагрітих поверхонь.

На відміну від мікроклімату житла та громадських споруд мікроклімат виробничих приміщень характеризується значною динамічністю і залежить від коливань зовнішніх метеорологічних умов часу доби та пори року, теплофізичних особливостей технологічного процесу, умов опалення та вентиляції.

Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм. Якщо температура поверхонь вище чи нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

Основні джерела теплоти бажано розміщувати безпосередньо під аераційним ліхтарем, біля зовнішніх стін будівлі і в один ряд на такій відстані один від одного, щоб теплові потоки від них не перехрещувались на робочих місцях. Для охолодження гарячих виробів необхідно передбачити окремі приміщення. Найкращим рішенням є розміщення тепловипромінюючого обладнання в ізольованих приміщеннях або на відкритих ділянках.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення приводяться в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень з категорією робіт 1б

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря не >, м/с
Холодний	Пб	17-25	75	0,2
Теплий	Пб	19-30	60	0,2

Вентиляція повітря робочої зони відповідно до відбувається через нещільно закриті вікна і через встановлену в лабораторії вентиляційну шахту.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м.

Можливі забруднювачі повітря і їх ГДК наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря і їх ГДК

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню області. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

5.2.3 Виробниче освітлення

Світло впливає не лише на функцію органів зору, а й на діяльність організму в цілому. При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Згідно з статистичними даними, до 5% травм можна пояснити недостатнім або нераціональним освітленням, а в 20% воно сприяло виникненню травм. Врешті, погане освітлення може призвести до професійних захворювань, наприклад, таких як робоча мнопія (короткозорість), спазм акомодатції.

Виробниче освітлення використовується природне, штучне та суміщене. Природне та штучне освітлення нормується згідно в залежності від характеру зорової роботи, найменшого розміру об'єкта розрізнення, розряду і підрозряду зорової роботи, фона і контрасту об'єкта з фоном. Згідно діючим нормам в промислових приміщеннях з постійним перебуванням працівників повинні бути передбачені світлові прорізи в стіні, для забезпечення природного освітлення:

- характер зорової роботи – середня точність;
 - розряд зорової роботи – IV;
 - підрозряд зорової роботи – б;
 - контраст об'єкта розпізнавання – середній;
 - характеристика фону – темний;
 - штучне освітлення, лк: загальне – 200; бокове КПО – 1,5 %;
- природне – 1,5; суміщене – 0,9.

Нормовані значення параметрів приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Норма освітленості

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір б'єкта розпізнання, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Характер фону	Контраст об'єкта розпізнання з фоном	Штучне освітлення	
						Освітленість, лк	
						Комбіноване	Заг-не
Середня точність	Від 0,5 до 1	IV	б	темний	середній	400	200

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КПО для бічного і верхнього освітлення. Нормовані значення КПО для будинків, розташованих у IV поясах світлового клімату, визначаються по формулі:

$$E = e_i \cdot m, \quad (5.1)$$

де e_i – визначення КПО по таблиці;

m – коефіцієнт світлового клімату ($m = 0,9$);

$$E = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35 \text{ \%}.$$

Надійність та ефективність природного і штучного освітлення залежить від своєчасності і ретельності їх обслуговування. Забруднення скла світлових отворів, ламп та світильників може знизити освітленість приміщень в 1,5—2 рази. Тому вікна необхідно мити не рідше двох разів у рік для приміщень з незначним виділенням пилу і не рідше чотирьох разів — при значному виділенні пилу. Періодичність чищення світильників — 4—12 разів на рік (залежно від характеру запиленості виробничих приміщень).

Періодично, не рідше одного разу на рік, необхідно перевіряти рівень освітленості в контрольних місцях виробничого приміщення. Основний прилад для вимірювання освітленості – люксметр.

5.2.4 Виробничий шум

Шум — будь-який небажаний звук, котрий заважає. Виробничим шумом називається шум на робочих місцях, дільницях або на територіях підприємств, котрий виникає під час виробничого процесу.

Наслідком шкідливої дії виробничого шуму можуть бути професійні захворювання, підвищення загальної захворюваності, зниженні працездатності, підвищення ступеня ризику травм та нещасних випадків пов'язаних з порушенням сприйняття попереджувальних сигналів порушення слухового контролю функціонування технологічного обладнання, зниження продуктивності праці.

За характером порушення фізіологічних функцій шум поділяється на такий, що заважає (перешкоджає мовному зв'язку), подразнювальний (викликає нервові напруження і внаслідок цього — зниження працездатності, загальну перевтому), шкідливий (порушує фізіологічні функції на тривалий період і викликає розвиток хронічних захворювань, котрі безпосередньо або опосередковано пов'язані зі слуховим сприйняттям, погіршення слуху, гіпертонію, туберкульоз, виразку шлунку), травмуючий (різко порушує фізіологічні функції організму людини). В робочому приміщенні підприємства, джерелом шуму є машини, механізми та верстати - механічний шум. Найбільш раціональний спосіб - пониження шуму в джерелі або зміна напрямку його випромінювання. Однак вони потребують конструкторської переробки джерела, яке випромінює шум або механізму в цілому, що є несприятливими.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку у виробничому приміщенні приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску та рівня звуку

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в октавних полосах із середньгеометричними частотами, Гц								
	1,5	3	25	50	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Пониження рівня шуму, який проникає з джерела утворення назовні можна отримати шляхом підвищення рівня звукоізоляції огорожуючи конструкцій. Звукопоглинання є найбільш простим і в той же час достатньо ефективним способом зменшення шуму у виробничих приміщеннях. Звукопоглинаюче облицювання слід розміщувати на стелі та верхній частині стін (вище 1,5 – 2 м). Найбільше поглинання шуму досягається при облицюванні більше 60 % площі від загальної площі поверхонь приміщення. Ефект поглинання шуму збільшується зі зменшенням висоти приміщення.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

За допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях приведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості.

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	1,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на пост. Роб. місцях у вироб. Прим.	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	-	-	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	-	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10-2, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

а) Класи умов праці за показниками важкості праці:

Загальні енергозатрати організму (кГ/м):

Зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кГ/(Вт);

При регіональному навантаженні (для чоловіків) - 12 000(40);

При загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) - 40 000(80);

Маса вантажу. Що постійно підіймається – до 25.

Стереотипні робочі рухи:

При локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60 000;

При регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 30000;

Статичне навантаження (кг/с):

Двома руками (чоловіки) – до 70 000;

За участю мязів тулуба та ніг – до 200 000.

Робоча поза:

Періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% часу зміни

Нахил тулуба:

Вимушені нахили протягом зміни – 150 разів;

Переміщення у просторі(переходи задля технологічного процесу) – більше 12

б) Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка - сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) - до 50;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) - до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80;

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності - є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

Тривалість робочого дня - більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

10.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи контролю і захисту технічного стану електропривода шахтного електровоза типу К14 в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Електровози можуть використовуватися на військових об'єктах і на стратегічних об'єктах для перевезень необхідних вантажів. Тому вони можуть підлягати впливу іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу.

Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання електронне обладнання. В електроприводі електровоза таким обладнанням є: блок живлення, транзистори, діоди. Через це в двигуні можливі замикання обмоток, а відповідно і загорання двигуна П 91.

В результаті опромінення привода в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Дія електромагнітного імпульсу на електропривод може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів КТ-646, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню впливам цих факторів на електричне та електронне обладнання. У системі керування електроприводом найбільш чутливими до дії іонізуючого випромінювання є мікропроцесор, драйвер двигунів та мікросхеми управління DC/DC перетворювачем. Опромінення системи призводить до зміни струму та коефіцієнтів підсилення; в конденсаторах, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність і тангенс кута витрат.

Дія електромагнітного імпульсу може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Тому необхідно провести оцінку впливу цих факторів на електричне та електронне обладнання електропривода електровоза.

5.3.1 Оцінка стійкості роботи системи контролю і захисту технічного стану електропривода шахтного електровоза типу К14 в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{\text{грі}}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни [15]. Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Проаналізувавши дані таблиці 11.1, визначили, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{\text{грі}} = 10^4 \text{ Р}$ є діоди.

Таблиця 5.6 – Граничні значення експозиційних доз

№	Блоки	Елементи РЕА	$D_{грi}, (P)$	$D_{гр}, (P)$
1	Силова частина системи ЕП	Трансформатор типу ОДЦЕ	10^5	10^4
		Діод типу Д133–1000	10^5	
		Транзистор SKiіP3614GB17E4-6DUL	10^5	
2	Система керування	Мікропроцесор	10^4	10^4
		Сенсор струму	10^7	
		Сенсор напруги	10^7	

Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{п}})}{K_{осл}}, \quad (5.2)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 9,95$ Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400$ год (15 років));

$t_{п}$ – час початку опромінення ($t_{п} = 1$ год);

$K_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{осл} = 1$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 9,95 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{1} = 2253,38 \text{ (P)}.$$

Оскільки $D_{гр} > D_m$ ($10^4 > 2249.87$) то дана система стійка до дії радіації.

Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.3)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 9,95 \cdot \sqrt{1}}{1 \cdot 9,95} = 1006,5 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази $D_m = 2253,38$ Р, а допустима - 10^4 Р. Отже, система електропривода електровоза є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в

заданих умовах становить 42 доби, при рівні радіації 9,95 Р/год, що цілком достатньо для виїзду із зони радіаційного зараження.

5.3.2 Оцінка стійкості роботи системи контролю і захисту технічного стану електропривода шахтного електровоза типу К14 в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи системи у цих умовах приймаємо коефіцієнт безпеки:

$$K_6 = 20 \cdot \lg \frac{U_D}{U_{Г(В)}} \geq 40 \text{ [дБ]},$$

де U_D – допустиме коливання напруги живлення;

$U_{Г}$ – напруга наведення в горизонтальній струмоведучій частині.

Початковими даними оцінки є:

1. Вертикальна складова напруженості електромагнітного поля:

$$E_B = 10,7 \text{ (кВ/м)};$$

2. Напруга живлення:

$$U_{Ж} = 30 \text{ (В)};$$

3. Напруга управління:

$$U_{У} = 5 \text{ (В)}.$$

Напруга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{Г} = E_{В} \cdot L_{Г}, \quad (5.4)$$

де $E_{В}$ – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля ($E_{В} = 10,7 \cdot 10^3 \text{ В/м}$);

L_r – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи ($L_r = 0,5$ м).

$$U_r = 10,7 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 5350 \text{ (В)}.$$

$$U_b = E_r \cdot L_b, \quad (5.5)$$

де E_r – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля (В/м);

L_b – довжина вертикальної струмопровідної частини системи ($L_b = 0,2$ м).

$$U_b = 10,7 \cdot 0,2 = 2,14 \text{ (В)}.$$

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = E_b \cdot 10^{-3}, \quad (5.6)$$

$$E_r = 10,7 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 10,7 \text{ (В/м)},$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (5.7)$$

де N – відсоток допуску ($N=10\%$).

Для силового кола ($U_{\text{ж}} = 30$ В):

$$U_{\text{доп}} = 30 + \frac{30}{100} \cdot 10 = 33 \text{ (В)}.$$

Для кола управління ($U_y = 5$ В):

$$U_{\text{доп}} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 10 = 5,5 \text{ (В)}.$$

Коефіцієнт безпеки визначається за формулою:

$$Kб_{\Gamma(B)} = 20 \lg \cdot \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\Gamma(B)}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (5.8)$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки:

$$Kб_{\text{в}}^{\text{ж}} = 20 \cdot \lg \cdot \frac{33}{2,14} = 23,76 \text{ (дБ)}, \quad Kб_{\Gamma}^{\text{ж}} = 20 \cdot \lg \cdot \frac{33}{5350} = -44,19 \text{ (дБ)}.$$

$$Kб_{\text{в}}^{\text{у}} = 20 \cdot \lg \cdot \frac{5,5}{2,04} = 8,61 \text{ (дБ)}, \quad Kб_{\Gamma}^{\text{у}} = 20 \cdot \lg \cdot \frac{5,5}{5350} = -59,75 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Значення коефіцієнтів безпеки РЕА системи електропривода

№	Найменування	$Kб_{\text{в}}$, (дБ)	$Kб_{\Gamma}$, (дБ)	Результат дії
1	Коло живлення, 30 В	23,76	-44,19	Нестійке
2	Коло управління, 5 В	8,61	-59,75	Нестійке

Отже система електропривода є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи електропривода електровоза ВЛ-80 слід застосувати екранування.

5.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи контролю і захисту технічного стану електропривода шахтного електровоза типу К14 в умовах дії електромагнітного імпульсу

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо необхідне перехідне затухання екрану:

$$A = Kб_{\text{ном}} - Kб_{\text{мін}}, \quad (5.9)$$

де $Kб_{\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($Kб_{\text{ном}} = 40 \text{ дБ}$);

Kb_{\min} – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунків.

Для кола живлення ($U_{\text{ж}} = 30 \text{ В}$):

$$A_{30\text{В}} = 40 + 44,19 = 84,19 \text{ (дБ)}.$$

Для силового кола ($U_{\text{ж}} = 5 \text{ В}$):

$$A_{5\text{В}} = 40 + 59,75 = 99,75 \text{ (дБ)}.$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.10)$$

де A – перехідне затухання екрану;

f – найбільш характерна частота (15 кГц).

Отже для обладнання силового кола товщина екрану:

$$t_{30\text{В}} = \frac{99,75}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,156 \text{ (см)},$$

Висновки: Отже після проведених розрахунків визначено, що стійкість роботи системи контролю і захисту технічного стану електропривода шахтного електровоза типу К14 стійка при заданому рівні радіації 9,95 Р/год. До дії ЕМІ системи електропривода електровоза виявилась нестійкою. Застосування екранування РЕА суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 10,7 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії випромінювання є зменшення струмопровідних провідників (їх довжини).

При екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною не менше 1,6 мм зі сталі, система керування та силові елементи будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали радіотехнічні схеми на період впливу ЕМІ.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі на основі виконаних досліджень вирішена актуальна наукова задача підвищення ефективності функціонування тягового електричного привода постійного струму шахтних контактних електровозів шляхом застосування обґрунтованих технічних рішень їх електромеханічної частини з комплексним рівнем електричного захисту та без сенсорною системою контролю температурних та швидкісних режимів функціонування електричних двигунів.

Виконані в магістерській кваліфікаційній роботі дослідження дозволили отримати наступні результати:

1. Виконано обґрунтування системи контролю та захисту елементів тягового електропривода постійного струму рудникових електровозів, зокрема розглянуто нормальні та аварійні режими роботи тягових електромеханічних комплексів рудникових двоосних електровозів, виконано аналіз існуючих методів і засобів підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності використання за призначенням електромеханічних комплексів рудникових електровозів, крім того сформовано задачі дослідження магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Виконано аналіз існуючих схем технічних рішень та структур ТЕТК на основі імпульсних регуляторів напруги живлення ТЕД, виконано аналіз пошкодження елементів ТЕТК по способам і методам побудови захистів електрообладнання шахтних контактних електровозів при аварійних та нештатних ситуаціях.

3. Розроблена функціональна схема підсистеми захисту від аномальних ситуацій в ТЕП, на базі якої є можливим проведення структурного аналізу системи захисту і електропривода в цілому. Аналіз системи захисту ТЕП постійного струму за допомогою метода мереж Петрі дозволив розробити моделі мереж Петрі окремих каналів підсистем захисту.

4. Синтезовано узагальнену мережу Петрі системи захисту рудникового ТЕТК. Теоретично обґрунтований аналіз розроблених та рекомендованих до застосування структур систем комплексного захисту ТЕП шахтних електровозів за допомогою теорії мереж Петрі підтверджує надійність роботи ТЕП та гарантує його захищеність в аварійних ситуаціях.

5. Запропоновано спосіб безконтактного контролю та захисту ТЕД від недопустимих перевищень рівнів температури в елементах ТЕД без необхідності застосування додаткових сенсорів температури;

6. Запропонована структурна схема швидкостеміра для вимірювання та індикації швидкості руху струмів тягових електричних двигунів, який включає в себе вимірювальний шунт, сенсор струму та вимірювальний блок.

7. Виконано розрахунок економічної ефективності від впровадження системи діагностики та контролю електрообладнання рудникового контактного електровоза постійного струму.

8. Сформульовано основні положення щодо безпечної експлуатації шахтного електровоза в умовах дії шкідливих чинників промислового середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стогній, Б.С. Національні пріоритети енергоефективності 2010 [текст] / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник // Праці Інституту електродинаміки НАН України, НТУУ «КПІ». – Київ, 2010. – 579 с. – ISBN 978-966-8974-14-4.
2. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009-2010 гг. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004-2011 гг. [Текст] / Е.К. Бабец [и др.]; под. ред. Е.К. Бабеца // Государственное агенство Украины по управлению гос. корпоратив. правами и собственностью, Гос. предприятие «Научно-исслед. горноруд. ин-т». – Кривой Рог, 2011. – 329 с. – ISBN 978966-177158-0.
3. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих технологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв [Текст] / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул, Ю.П. Капленко [та ін.]. – Кривий Ріг : Мінерал, 2006. – 219 с. ISBN 966-7103-93-5.
4. Литвинов А.В. Развитие силовой преобразовательной техники как способ повышения эксплуатационной надежности электроподвижного состава / А.В. Литвинов // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. С. 105-110.
5. Литвинов, А.В. Состояние и перспективы развития подвижного состава с асинхронным тяговым приводом в России / А.В. Литвинов // Актуальные вопросы транспортной отрасли: проблемы и решения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 22 ноября 2013 г.), – Воронеж: Руна, 2013. №1. С. 30-37.
6. Слепцов М.А., Прокопович А.В., Савіна Т.І., Тулупов В.Д. Основы тяги электротранспорта. – Москва: вид-во Академія 2006. – 464 с.

7. Бутт Ю. Ф. Шахтный подземный транспорт: справочное издание. Шахтный локомотивный и рельсовый транспорт / Ю. Ф. Бутт, В. Б. Грядущий, В. Л. Дебелый, А. Н. Коваль, А. Л. Фурман, В. М. Щука, В. А. Яценко // Под общ. ред. Б. А. Грядущего. – Т.1. – Донецк : «ВИК», 2009. – 481 с.

8. Беридзе Т. М. Системы управления рудничным электровозным транспортом: под ред. О. Н. Синчука / Т. М. Беридзе, Э. С. Гузов и др. – М. : Недра, 1993. – 225 с.

9. Волотковский С. А. Рудничная электровозная тяга / С. А. Волотковский. – М. : Недра, 1986. – 189 с.

10. Синчук О. Н. Синергетический тяговый асинхронный электротехнический привод для контактно-аккумуляторного двухосного электровоза / О. Н. Синчук, Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа, Э. С. Гузов, Ф. И. Караманич // Електромеханічні та енергозберігаючі системи. – Кременчук : КНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 65 – 68.

11. Анализ эксплуатации шахтных электровозов. / В. Г. Щербаков, М. Б. Бондаренко, И. К. Юренко, Ю. А. Самара // Сб. научн. тр. Всерос. науч. исслед. и проет.-конструкт. ин-т электровозостр. – Новочеркасск, 1997. №37. – С. 143 – 147.

12. Чорний О.П., А.В. Луговой, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, А.В. Садовый. Моделювання електромеханічних систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.

13. Щербаков В.Г. Тяговые электродвигатели электровозов / В.Г. Щербаков – Новочеркасск.: Агенство Наутилус, 1998. – 672 с.

14. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом. / Ю. А. Бахвалов, А. А. Зарифьян, В. Н. Кашников и др.; под ред. Е. М. Плохова -М.: Транспорт, 2001. - 286 с.

15. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями./ Н.А. Ротанов, А. С. Курбасов, Ю. Д. Быков, В. В. Литовченко; Под. ред. Н.А. Ротанова. -М.: Транспорт. - 1991. - 336 с.

16. Синчук, О.Н. Импульсные системы управления и защиты на рудничном электровозном транспорте [Текст] / О.Н. Синчук, В.В. Чумак, О.В. Ершов. – К. : АДЕФ – Україна, 1998. – 280 с. - ISBN 996-95153-5-1.

17. Волотковский, С. А. Рудничная электровозная тяга [Текст] / С.А. Волотковский. – М. : Недра, 1981. – 388 с.

18. Розрахунок шахтного локомотивного транспорту [Текст] : навч. посібник / О.О. Ренгевич [та ін.]. – Дніпропетровськ : НГУ, 2007. – 82 с.

19. Черная, В.О. К анализу псевдоаварийных режимов функционирования тяговых электротехнических комплексов рудничных электровозов [Текст] / В.О. Черная // Проблемы недропользования: международный форум-конкурс молодых ученых: сборник научных трудов. Часть 1. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 239-241. - ISBN 978-5-94211-505-0.

20. Синчук, О.М. Нештатні режими і структура систем захисту від них при функціонуванні двоосних електровозів [Текст] / О.М. Синчук, В.О. Чорна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. - №2. – С. 100-103. ISBN 1997-9266.

21. Черная, В.О. Особенности функционирования и способы защиты тягового электротехнического комплекса шахтного подвижного состава при нештатных режимах работы [Текст] / В.О. Черная, И.О. Синчук, М.А. Баулина // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – №1 (17). – С.113-117. – ISSN 2074-9937.

22. Черная, В.О. Моделирование возможностей возникновения псевдоаварийных и аварийных ситуаций в тяговых электротехнических комплексах двухосных электровозов [Текст] / В.О. Черная, Д.А. Михайличенко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2011. - №4 (16). – С. 134-140. – ISSN 2074-9937.

23. Синчук, О.Н. Базовые сети Петри и эквиполентирование псевдоаварийных и аварийных ситуаций в тяговых электроприводах промышленных электровозов [Текст] / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, В.О. Черная // Известия высших учебных заведений. Электромеханика.

Научно-технический и учебно-образовательный журнал. Новочеркасск, 2011. - №2/2011. – С. 42-46. ISSN 0136-3360.

24. Сети Петри и структурный анализ импульсной системы управления [Текст] / О.Н. Синчук, Е.В. Афанасьев, Э.С. Гузов, М.Г. афанасьева // Электротехника. - №3. – 1994. – С. 33-38. - ISSN 0013-5860.

25. Стеценко, І.В. Система імітаційного моделювання засобами сіток Петрі [Текст] / І.В. Стеценко, О.В. Бойко // Математичні машини і системи. – 2009. - №1. – С. 117-124. – ISSN 1028-9763.

26. Черная, В.О. Анализ способов контроля и защиты тяговых электрических двигателей шахтных электровозов от превышения температуры [Текст] / В.О. Черная, Я.В. Федорова, М.С. Ханкишиева // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: XII Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів: матеріали конференції. – Кременчук, 2014. – С. 63-64. – ISSN 2079-5106.

27. Синчук, О.М. Тяговый электропривод рудничных электровозов с ШИМ напряжения и соответствующие проблемы электромеханической совместимости [Текст] / О.М. Синчук, О.Е. Мельник, В.О. Черная / Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації : VI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених та спеціалістів : матеріали конференції. – Кременчук, 2008. – С. 93-94.

28. Вопросы повышения надежности системы мониторинга температурных режимов тяговых электрических двигателей рудничных электровозов [Текст] / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, И.О. Синчук, Д.О. Кальмус, В.О. Черная // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – №4 (87). – С. 44-50. – ISSN 1995-0519.

29. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ПОГОДЖЕНО

Заступник дек. ФЕЕЕМ з НМР

к.т.н., доцент

_____ О. Б. Бурикін
“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., проф.

_____ В. М. Кутін
“ ___ ” _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**КОНТРОЛЬ І ЗАХИСТ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ РУДНИКОВИХ
КОНТАКТНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ**

08-16.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи

д.т.н., проф.

_____ В.М. Кутін
« ___ » _____ 20__ р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-18мз

_____ Кирничний В.А.
« ___ » _____ 20__ р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів».

Скорочене найменування розробки – «Контроль і захист технічного стану ТЕП постійного струму рудникових контактних електровозів».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Електропривод електровоза призначений для руху вагонеток, перевезення вантажів та пасажирів/робітників в залізорудних шахтах.

4 Вимоги до розробки

Електропривод електровоза повинен забезпечувати надійну роботу в повторно-короткочасному або тривалому режимах при частих гальмуваннях та прискореннях залежно від профілю руху в шахті. Експлуатація здійснюється в умовах підвищеної вологості повітря, вібрації та при широких межах зміни температури та тиску оточуючого середовища.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з перетворювального агрегату, електродвигунів та системи керування.

6 Джерела розробки

1. Слепцов М.А., Прокопович А.В., Савіна Т.І., Тулупов В.Д. Основи тяги електротранспорту. – Москва: вид-во Академія 2006. –464 с.

2. Бутт Ю. Ф. Шахтний подземний транспорт: справочное издание. Шахтний локомотивний и рельсовый транспорт / Ю. Ф. Бутт, В. Б.

Грядущий, В. Л. Дебелый, А. Н. Коваль, А. Л. Фурман, В. М. Щука, В. А. Яценко // Под общ. ред. Б. А. Грядущего. – Т.1. – Донецк : «ВИК», 2009.– 481 с.

3. Беридзе Т. М. Системы управления рудничным электровозным транспортом: под ред. О. Н. Синчука / Т. М. Беридзе, Э. С. Гузов и др. – М. : Недра, 1993. – 225 с.

4. Волотковский С. А. Рудничная электровозная тяга / С.А. Волотковский. – М. : Недра, 1986. – 189 с.

5. Синчук О. Н. Синергетический тяговый асинхронный электротехнический привод для контактно-аккумуляторного двухосного электровоза / О. Н. Синчук, Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа, Э. С. Гузов, Ф. И. Караманиц // Електромеханічні та енергозберігаючі системи. – Кременчук : КНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 65 – 68.

7 Технічні характеристики

Таблиця – Дані про пошкодження елементів ТЕД типу ДТН-45 при експлуатації на електровозах К14

№ п/п	Вузол ТЕД	Пошкодження, %
1.	Головні та додаткові полюси	44,7
2.	Якір	39,1
3.	Щіткотримач та їх кронштейни	6,8
4.	Вивідні кабелі	3,9
5.	Підшипники	3,1
6.	Інше	2,4

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Блоки та вузли попереджувальної сигналізації, короткочасного скиду заданого оператором (машиністом електровозу) та системою управління та регулювання AR режиму роботи електропривода, аварійного стану електропривода по суті виконують логічну функцію «АБО», тобто повторюють на виході будь-який вхідний сигнал.

Схема захисту тягового двигуна шахтного електровоза від перегріву складається з R1-3 та С, які обмежують імпульси напруги пристрої захисту при перемиканнях в силовому колі. Середнє значення струму через обмотку збудження визначаємо за допомогою шунта RS. Налаштування захисту на необхідний опір та відповідну температуру виконується підстроєчним резистором R3. Блок захисного пристрою містить аналоговий інтегральний подільник, на базі мікросхеми 4-Quadrant Multiplier/Divider AD734 (Analog Devices, Inc).

10 Конструктивне виконання

Схема захисту тягового двигуна шахтного електровоза від перегріву та приєднання без сенсорного швидкостеміра здійснюється в кабіні машиніста і при цьому не вимагається доопрацювання механічних конструкцій тягової передачі та регулювання елементів редуктора.

11 Показники технологічності

Блоки та вузли попереджувальної сигналізації, короткочасного скиду заданого оператором (машиністом електровозу) та системою управління та регулювання AR режиму роботи електропривода, аварійного стану електропривода виконуються на сучасній елементній базі, їх монтаж, підключення, налаштування, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд системи контролю та захисту технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення системи контролю та захисту технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів здійснюється від тягової мережі шахтного транспорту.

14 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
Ілюстративні матеріали

Вступ, об'єкт, предмет, мета, задачі дослідження

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є електромеханічні та теплові процеси в елементах тягового електромеханічного комплексу шахтного контактного електровоза.

Предметом дослідження роботи є контроль та захист елементів тягового електропривода.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності та надійності функціонування тягового електричного привода постійного струму шахтних контактних електровозів шляхом вдосконалення структури електромеханічної частини в напрямку включення в неї підсистем контролю та захисту електрообладнання від позаштатних режимів роботи.

В процесі досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити наступні **наукові задачі**:

- аналіз існуючих та дослідження перспективних структур тягового електричного привода постійного струму рудникових електровозів, формалізація параметрів, які впливають на надійність та працездатність тягових електромеханічних комплексів;

- дослідження причин та характеру пошкодження елементів тягового електричного привода, моделювання нештатних (аварійних) ситуацій в ньому, аналіз та розробка методів, структурних схем підсистем комплексного захисту тягового електрообладнання рудникових електровозів із залученням до цього процесу математичного апарату мереж Петрі;

- аналіз та оцінка реального діапазону зміни температури нагріву елементів тягового електричного двигуна, розробка способів мінімізації наслідків перевищення реальних значень температури.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в тому, що:

- розроблені до застосування в загальних структурах ТЕМК рудникових контактних електровозів функціональні схеми комплексного захисту від нештатних ситуацій;

- розроблені схемотехнічні рішення по безконтактному контролю та захисту тягових електричних двигунів рудникових електровозів від перевищення температурних режимів функціонування, по безконтактному контролю швидкості руху рудникових електровозів.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ



Flagplan.ua

Рисунок 1 – Загальний вигляд досліджуваного електровоза K14

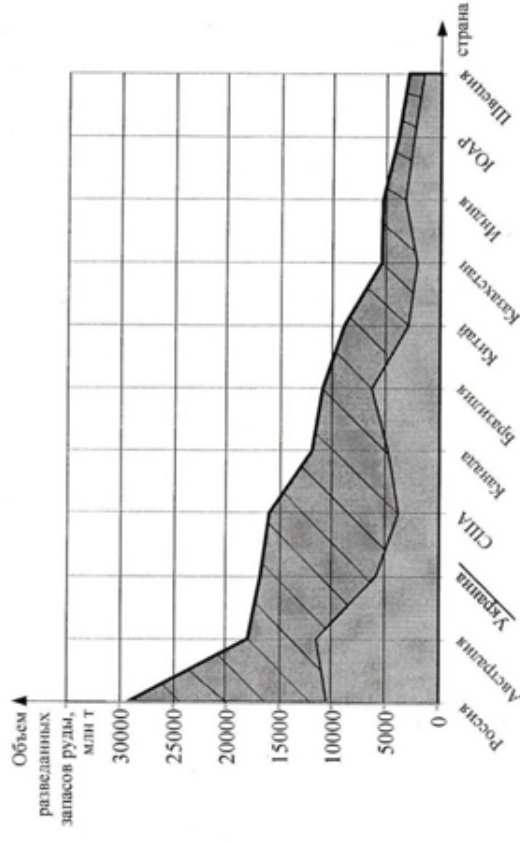


Рисунок 2 – Показники розвіданих запасів залізних руд у світі

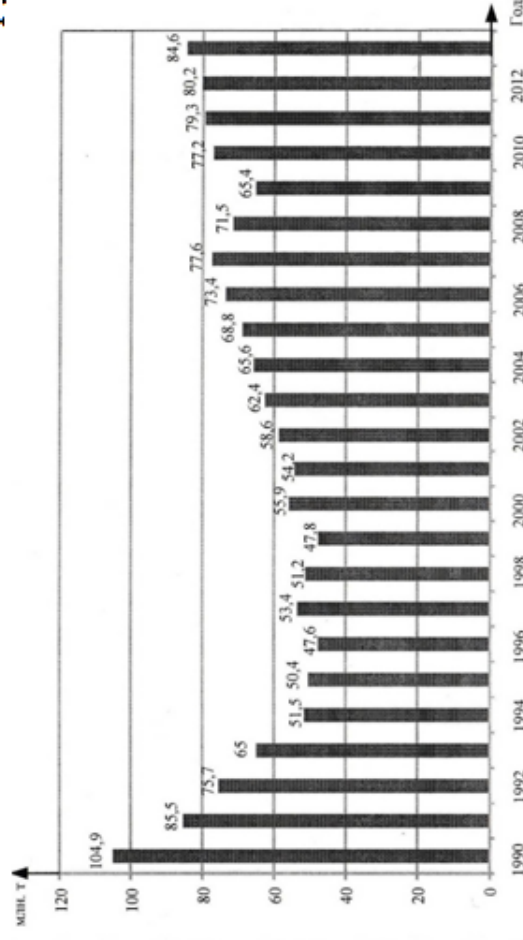


Рисунок 3 – Показники об'ємів видобутку залізорудної сировини в Україні

АНАЛІЗ ВІДМОВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

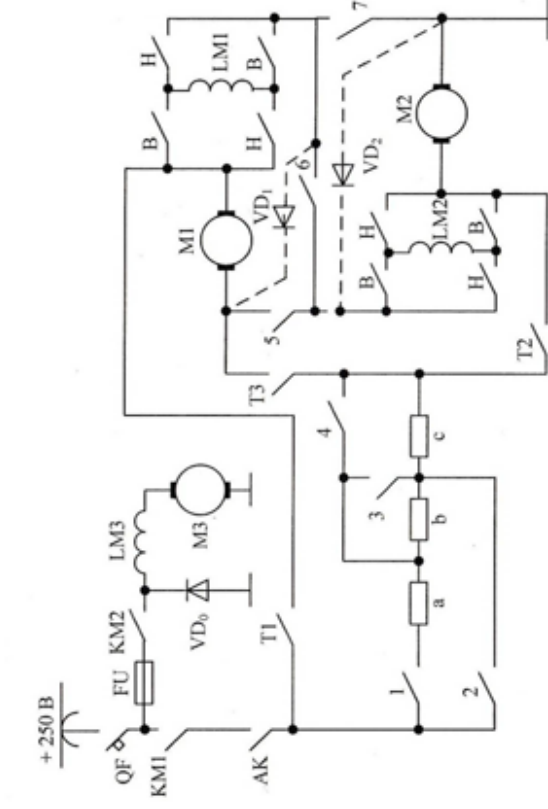


Рисунок 4 – Принципова схема силової частини тягової електрообладнання шахтного контактної електровоза К14

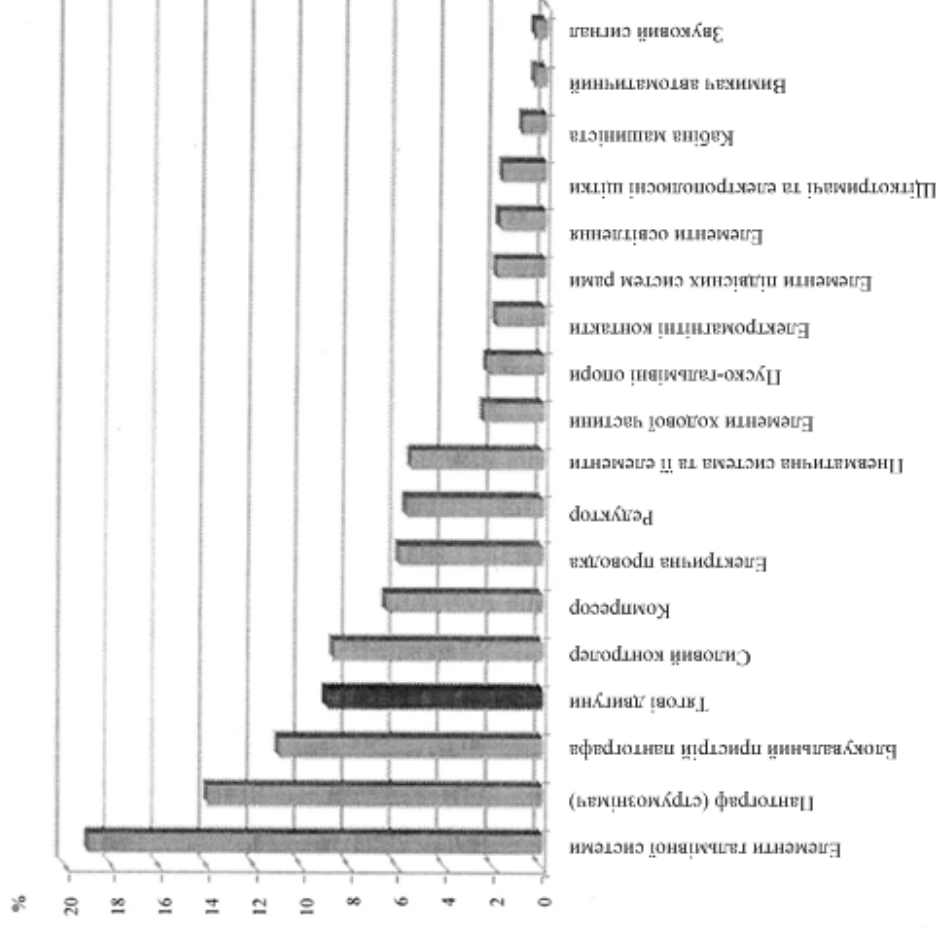


Рисунок 5 – Аналіз відмов електромеханічного обладнання рудникових електровозів К14

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА К14

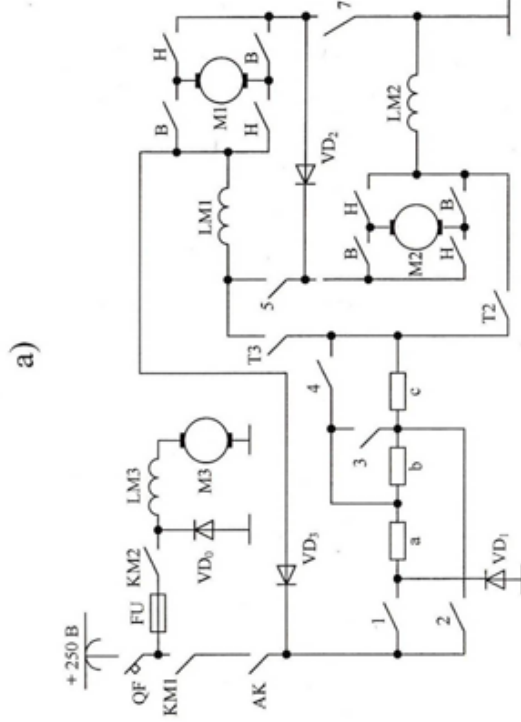
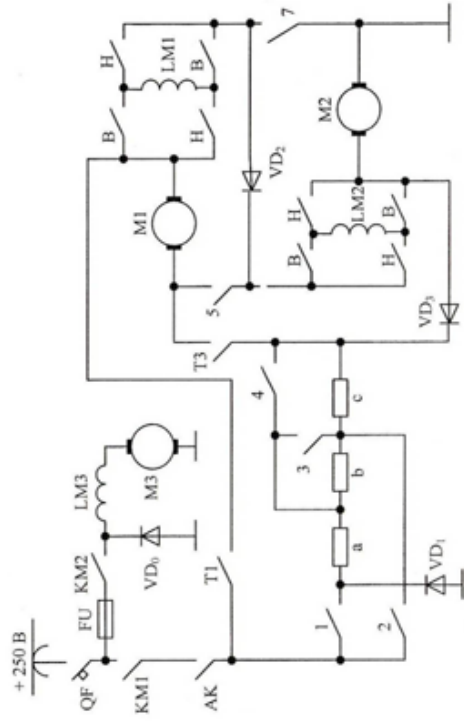


Рисунок 6 – Скоригована схема контактної електровоза К14: а) з реверсом обмотки збудження; б) з реверсом обмоток якорів

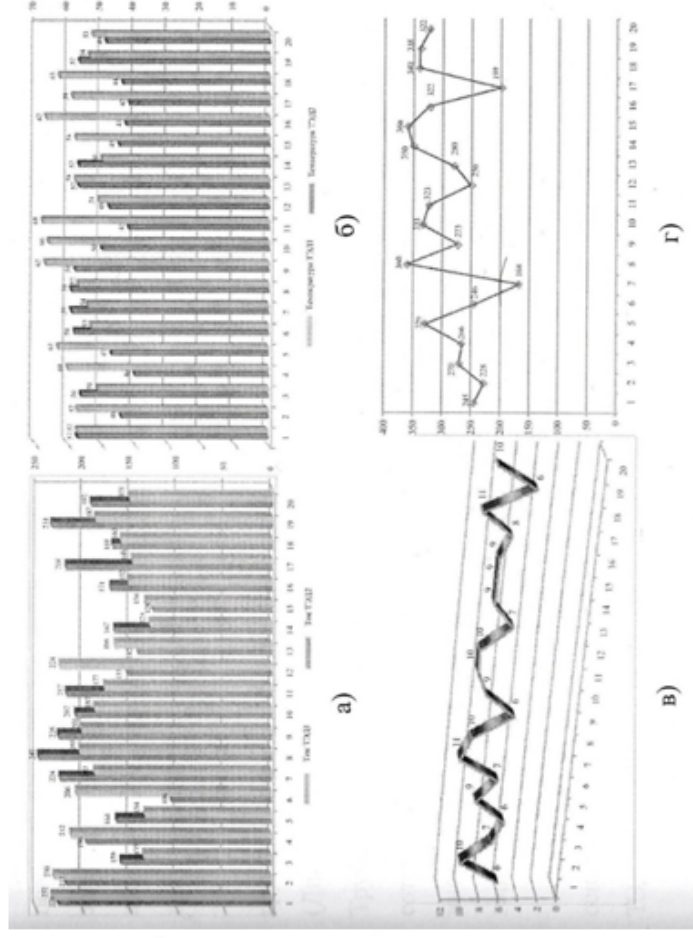
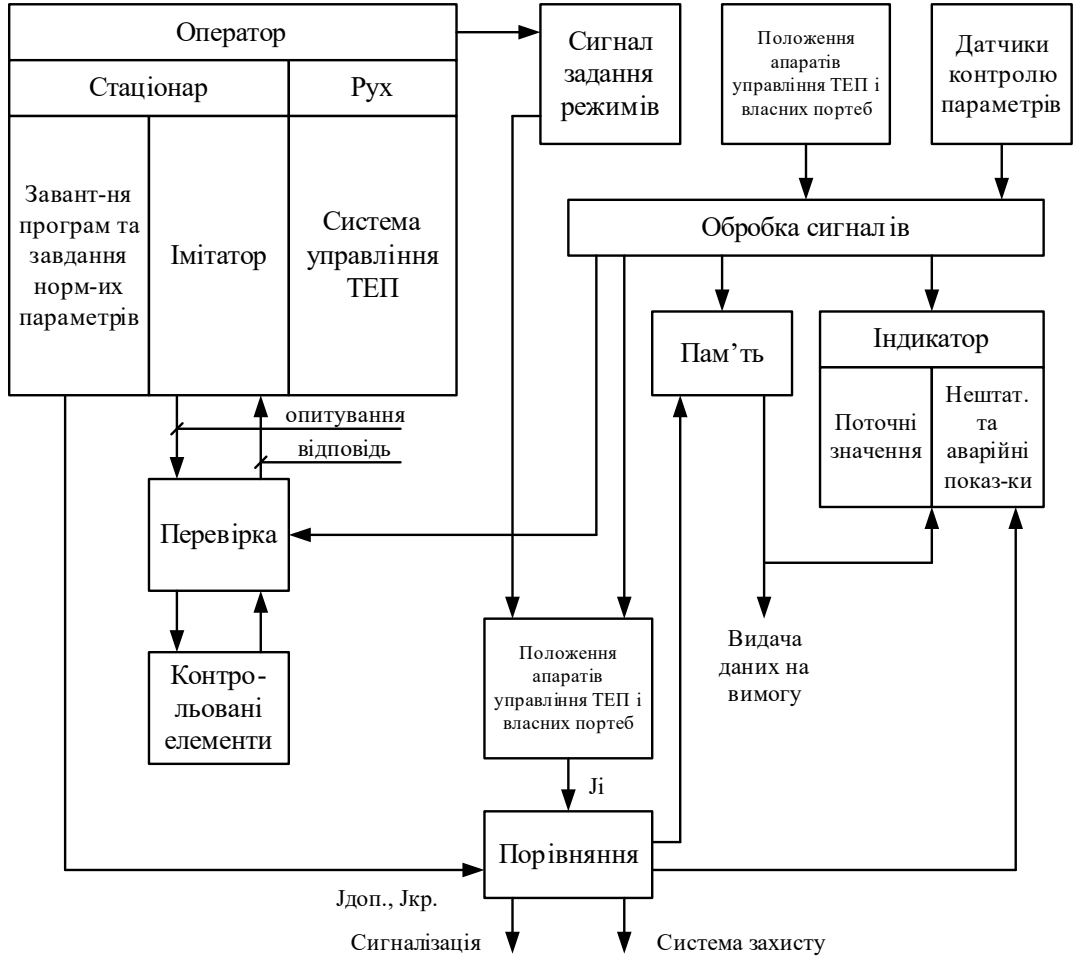


Рисунок 7 – Параметри функціонування контактної електровоза К14 при русі по вантажному квершлягу 1320 м.:

- а) струм тягових двигунів;
- б) температура тягових двигунів;
- в) швидкість руху електровоза;
- г) напруга контактної мережі

Е1 000.00.00.000 Е1



Підпис та дата	Інв. №	На зам. інв.	Підпис та дата
Інв. №	Зм. Арк.	№ докум.	Підп.
	Розробив	Кирничний В.А.	
	Перевірив	Кутін В.М.	
	Т. контр.		
	Н.контр.		
	Затв.		

08-16.МКР.003.00.000 Е1

Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів
Структурна схема системи контролю параметрів.

Літера	Маса	Масштаб
у		
Аркуш 1	Аркушів	

ВНТУ, гр. ЕПА-18мз

МОДЕЛІ МЕРЕЖ ПЕТРІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕП

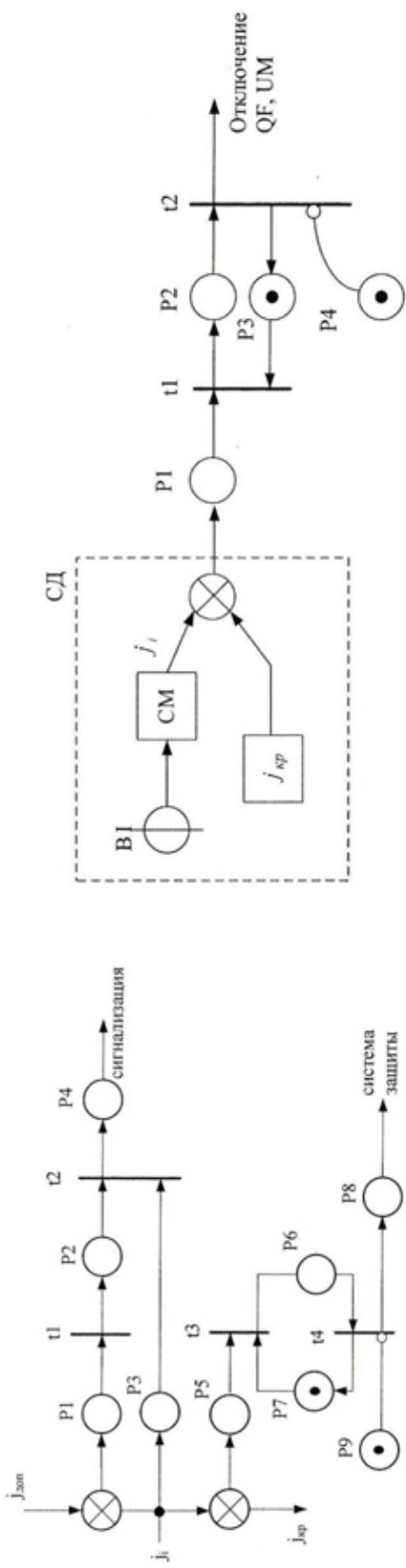


Рисунок 10 – Мережа Петрі вузла порівняння

Рисунок 11 – Мережа Петрі каналу захисту від надструму

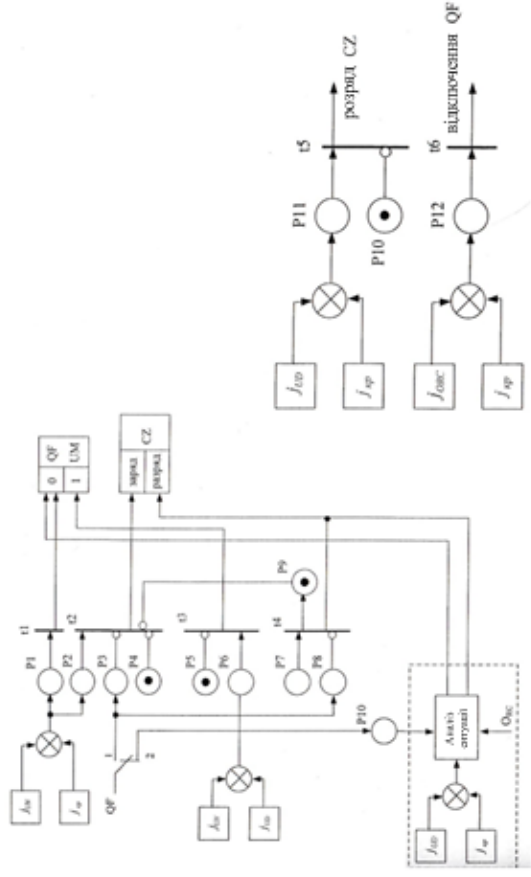


Рисунок 12 – Мережа Петрі захисту:
а) при зникненні та відновленні напруги контактної мережі;
б) при перенапрузі на конденсаторі вхідного фільтра CZ

МОДЕЛІ МЕРЕЖ ПЕТРІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕП

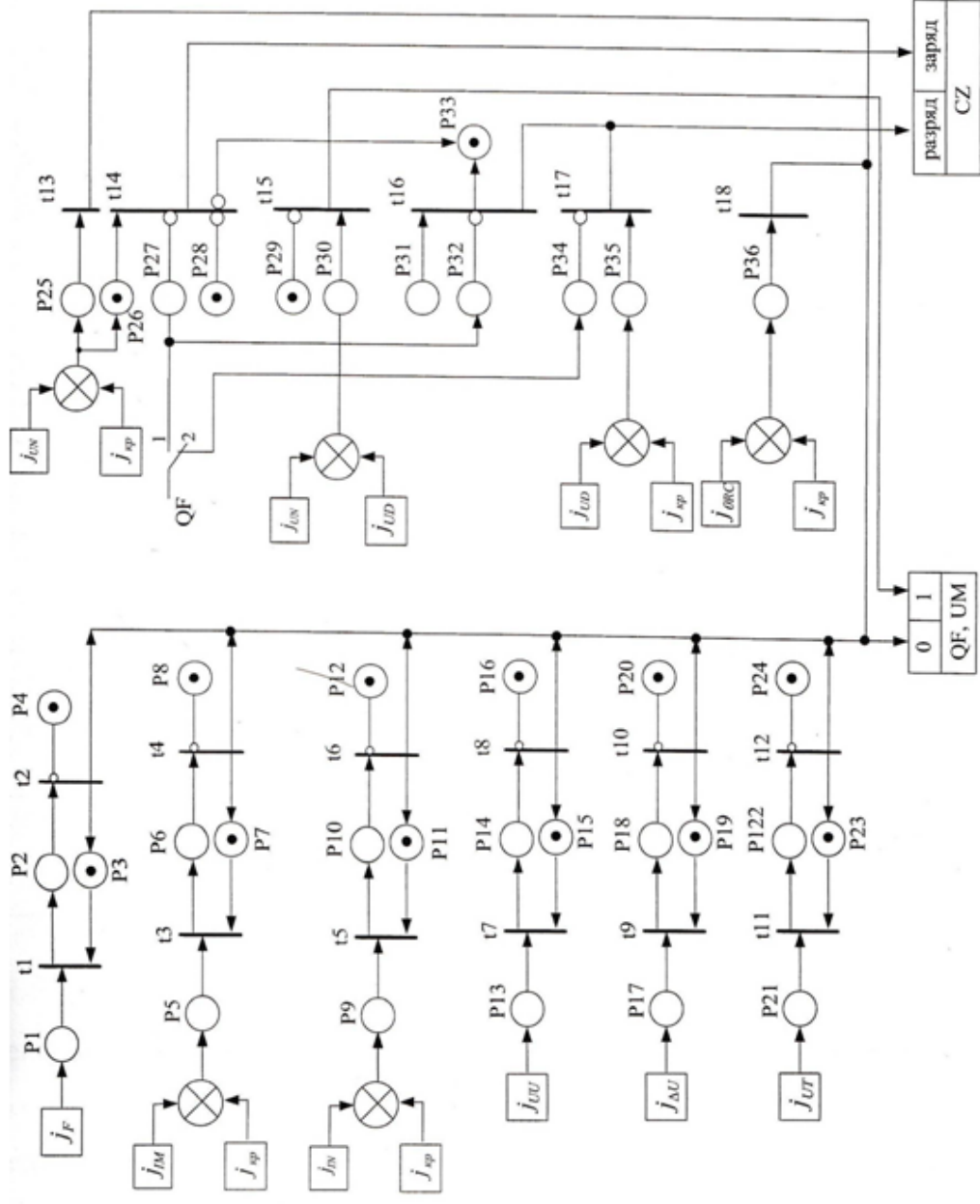


Рисунок 13 – Узагальнена мережа Петрі тягового кола рудникового контактного електровоза

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ

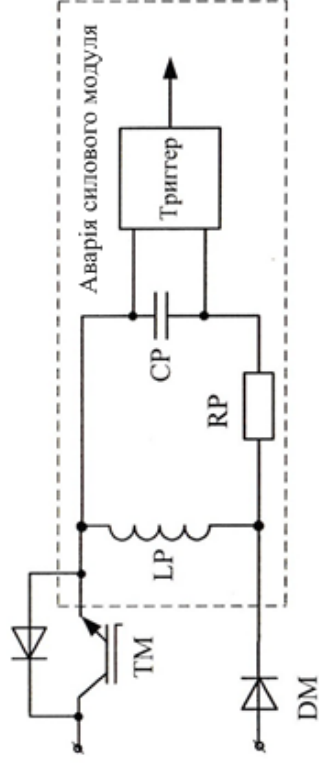


Рисунок 14 – Схема захисту силових модулів тягового перетворювача від перевисень значень рівня струму

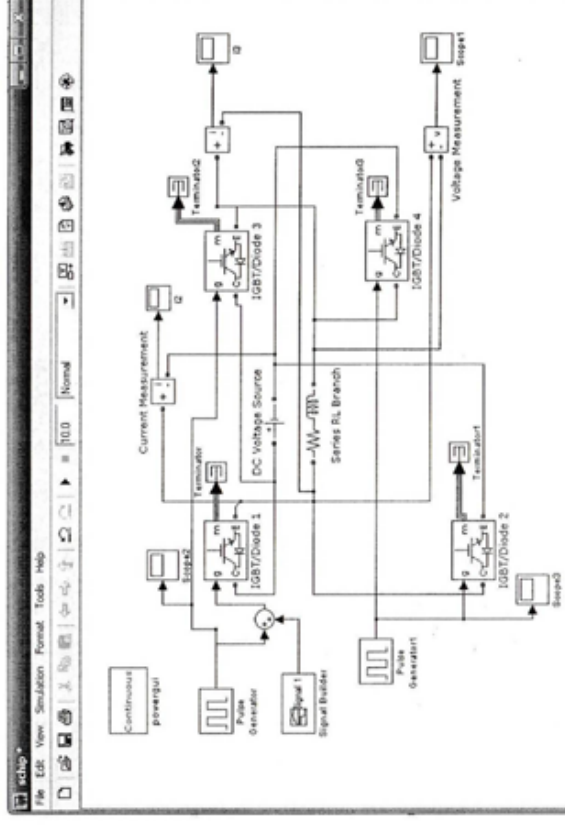


Рисунок 15 – Математична модель ІПП

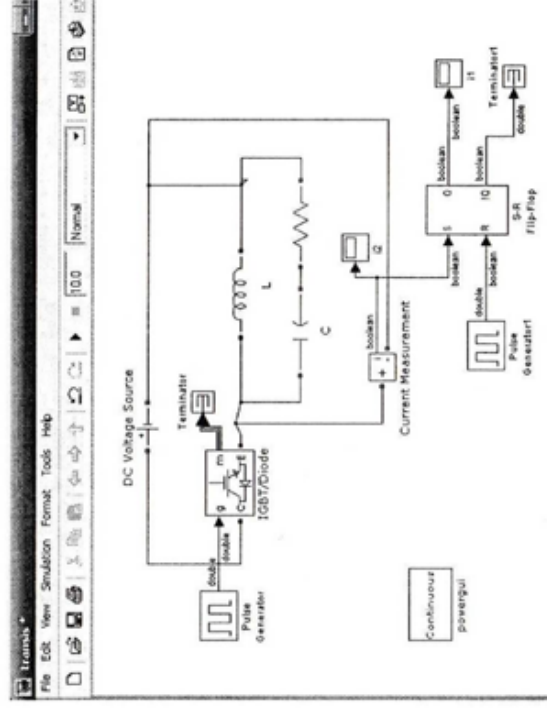


Рисунок 16 – Математична модель схеми захисту транзисторного модуля

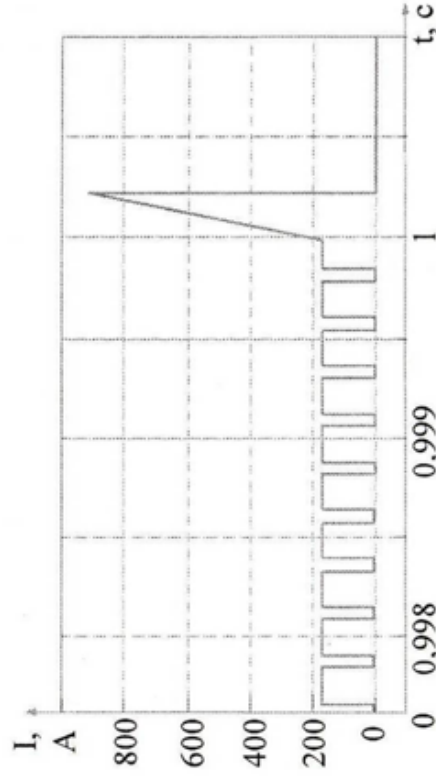


Рисунок 17 – Результати моделювання схеми МСЗ транзисторів

**Пристрій безконтактного контролю і захисту тягових
електричних двигунів електровоза від перевищення
температури їх нагрівання**

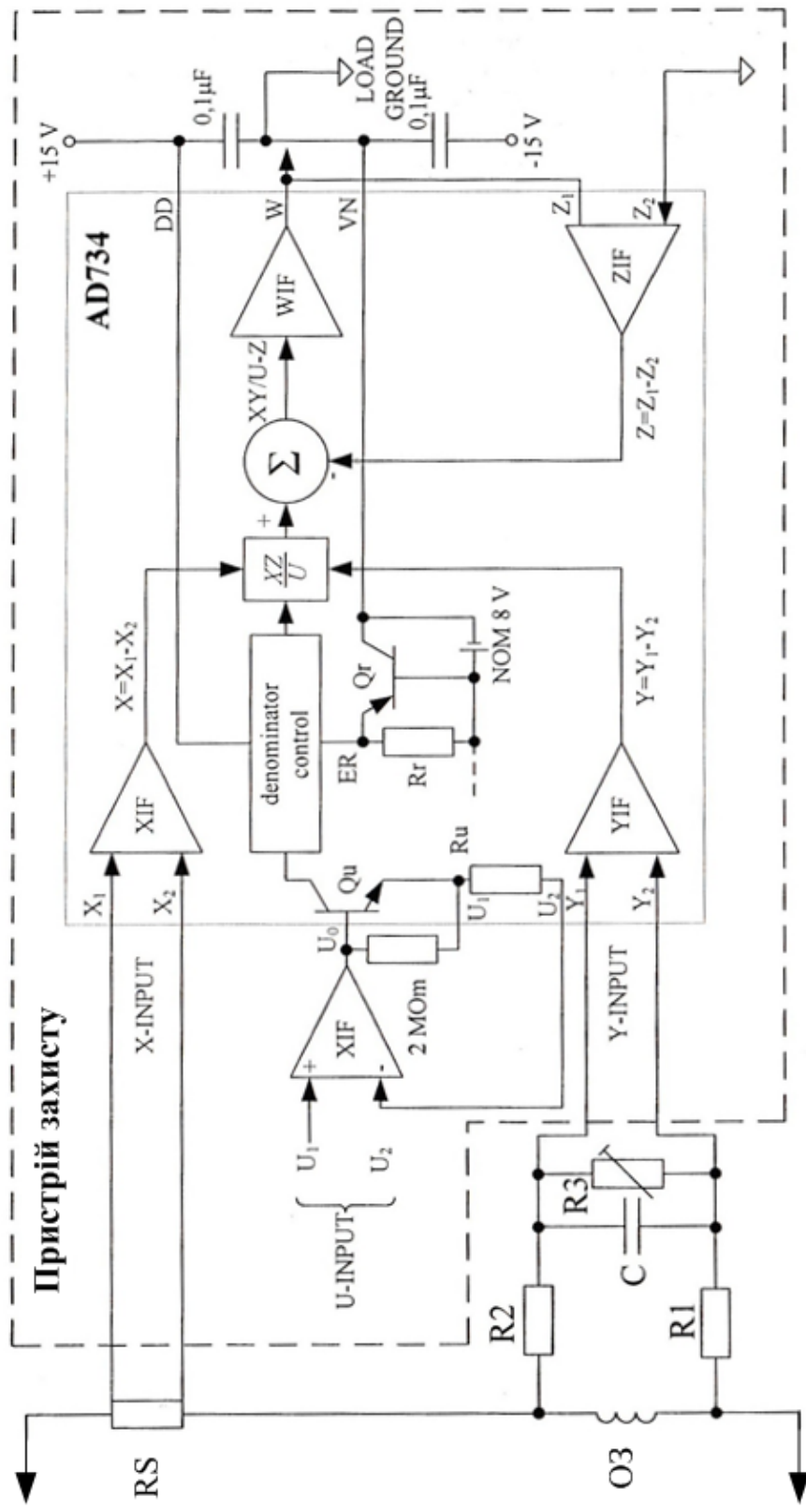


Рисунок 18 – Структурна схема захисту тягового двигуна
шахтного електровоза від перегріву

ЗАСОБИ БЕЗСЕНСОРНОГО КОНТРОЛЮ ШВИДКОСТІ ТРУХУ

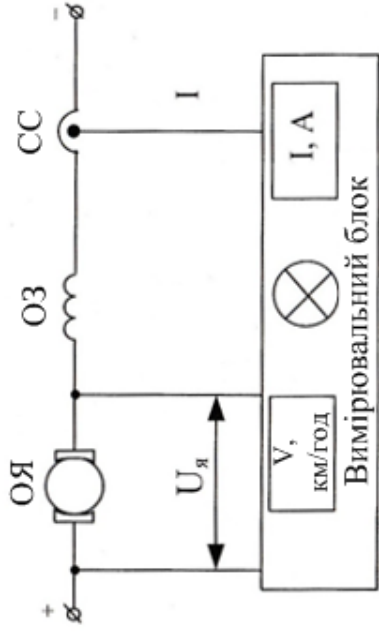


Рисунок 19 – Структурна схема безсенсорного швидкостеміра

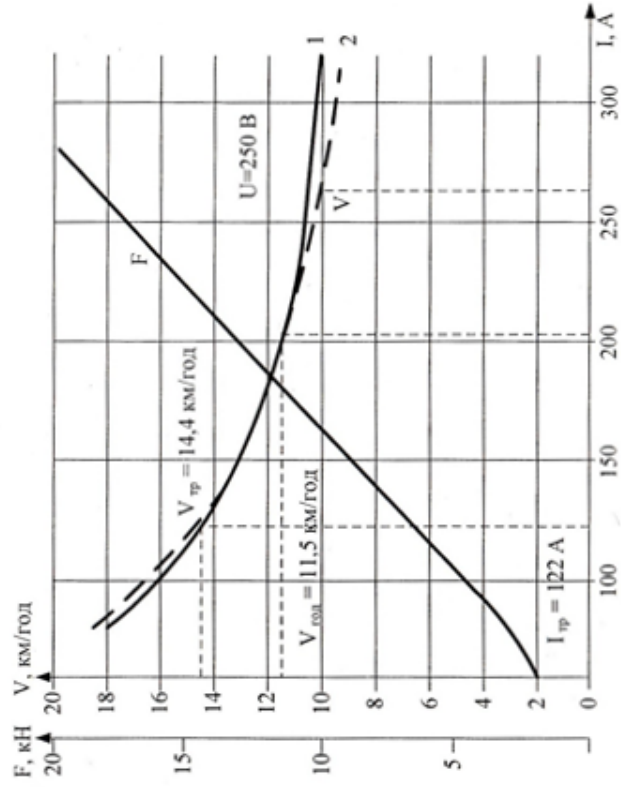


Рисунок 20 – Електромеханічна характеристика тягового двигуна ДТН-45/27 електровоза К14:

а) фактична;

б) розрахована по запропонованій методичі

Висновки

В магістерській кваліфікаційній роботі на основі виконаних досліджень вирішена актуальна наукова задача підвищення ефективності функціонування тягового електричного привода постійного струму шахтних контактних електровозів шляхом застосування об'єднаних технічних рішень їх електромеханічної частини з комплексним рівнем електричного захисту та без сенсорною системою контролю температурних та швидкісних режимів функціонування електричних двигунів.

Виконані в магістерській кваліфікаційній роботі дослідження дозволили отримати наступні результати:

1. Виконано об'єднання системи контролю та захисту елементів тягового електропривода постійного струму рудникових електровозів, зокрема розглянуто нормальні та аварійні режими роботи тягових електромеханічних комплексів рудникових двоосних електровозів, виконано аналіз існуючих методів і засобів підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності використання за призначенням електромеханічних комплексів рудникових електровозів, крім того сформовано задачі дослідження магістерської кваліфікаційної роботи.
2. Виконано аналіз існуючих схем технічних рішень та структур ТЕТК на основі імпульсних регуляторів напруги живлення ТЕД, виконано аналіз пошкодження елементів ТЕТК по способам і методам побудови захистів електрообладнання шахтних контактних електровозів при аварійних та нештатних ситуаціях.
3. Розроблена функціональна схема підсистеми захисту від аномальних ситуацій в ТЕП, на базі якої є можливим проведення структурного аналізу системи захисту і електропривода в цілому. Аналіз системи захисту ТЕП постійного струму за допомогою метода мереж Петрі дозволив розробити моделі окремих каналів підсистем захисту.
4. Синтезовано узагальнену мережу Петрі системи захисту рудникового ТЕТК. Теоретично обґрунтований аналіз розроблених та рекомендованих до застосування структур систем комплексного захисту ТЕП шахтних електровозів за допомогою теорії мереж Петрі підтверджує надійність роботи ТЕП та гарантує його захищеність в аварійних ситуаціях.
5. Запропоновано спосіб безконтактного контролю та захисту ТЕД від недопустимих перевишень рівнів температури в елементах ТЕД без необхідності застосування додаткових сенсорів температури;
6. Запропонована структурна схема швидкостеміра для вимірювання та індикації швидкості руху струмів тягових електричних двигунів, який включає в себе вимірювальний шунт, сенсор струму та вимірювальний блок.
7. Виконано розрахунок економічної ефективності від впровадження системи діагностики та контролю електрообладнання рудникового контактного електровоза постійного струму.
8. Сформульовано основні положення щодо безпечної експлуатації шахтного електровоза в умовах дії шкідливих чинників промислового середовища.

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів Структурна схема системи контролю параметрів. Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Кириличний В.А.							
Перевірив	Кутін В.М.							
Т. контр.								
Норм.кон.						ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		
Затверд.	Кутін В.М.					Аркуш	Аркушів	

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів Структурна схема системи контролю параметрів. Загальна характеристика об'єкту дослідження.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Кириличний В.А.							
Перевірив	Кутін В.М.							
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.						ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		
Затверд.	Кутін В.М.							

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Аналіз відмов електромеханічного обладнання.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Кириличний В.А.						
Перевірив		Кутін В.М.						
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.						ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		
Затверд.		Кутін В.М.						

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Аналіз функціонування контактного електрооза К14.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Кириличний В.А.						
Перевірив		Кутін В.М.						
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.						ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		
Затверд.		Кутін В.М.						

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Функціональна схема системи захисту ТЕП.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Кириличний В.А.							
Перевірив	Кутін В.М.							
Т. контр.								
Норм.кон.						Аркуш	Аркушів	
Затверд.	Кутін В.М.				ВНТУ, гр. ЕПА-18мз			

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Вибір структури системи діагностування параметрів ТЕЦ.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Кириличний В.А.							
Перевірив	Кутін В.М.							
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.						ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		
Затверд.	Кутін В.М.							

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Моделі мереж Петрі системи контролю параметрів ТЕП.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Кириличний В.А.						
Перевірив		Кутін В.М.						
Т. контр.								
Норм.кон.						Аркуш	Аркушів	
Затверд.		Кутін В.М.				ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Моделі мереж Петрі системи контролю параметрів ТЕП.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Кириличний В.А.						
Перевірив		Кутін В.М.						
Т. контр.								
Норм.кон.						Аркуш	Аркушів	
Затверд.		Кутін В.М.				ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Моделювання засобів діагностування та захисту.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Кириличний В.А.						
Перевірив		Кутін В.М.						
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.						ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		
Затверд.		Кутін В.М.						

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Пристрій безконтактного контролю і захисту.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Кириличний В.А.						
Перевірив		Кутін В.М.						
Т. контр.								
Норм.кон.						Аркуш	Аркушів	
Затверд.		Кутін В.М.				ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електровозів Структурна схема системи контролю параметрів. Засоби безсенсорного контролю швидкості руху.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Кириличний В.А.							
Перевірив	Кутін В.М.							
Т. контр.								
Норм.кон.						Аркуш	Аркушів	
Затверд.	Кутін В.М.					ВНТУ, гр. ЕПА-18мз		

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Контроль і захист технічного стану тягового електропривода постійного струму рудникових контактних електроозів Структурна схема системи контролю параметрів. Висновки.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Кириличний В.А.						
Перевірив		Кутін В.М.						
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.					ВНТУ, гр. ЕПА-18мз			
Затверд.		Кутін В.М.						