

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____	О. КОЛЛАРОВ
(підпис)	(ініціали, прізвище)
«___» _____	2023 р.

Кваліфікаційна робота
магістра

на тему Проектування і оптимізація системи релейного захисту
машинобудівного підприємства.

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛКм-22

(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та

(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

КУЛЬША Олександр

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник доц. каф., к.т.н., Ю. ГРИЦЮК

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

(підпис)

Рецензент _____

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

(підпис)

Нормоконтроль:

Е. НЄМЦЕВ

(підпис)

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

Студент(-ка) _____

(підпис)

(дата)

(дата)

ЛУЦЬК – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Олександру КУЛЬШІ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Проектування і оптимізація системи релейного захисту
машинобудівного підприємства.

керівник роботи Юрій ГРИЦЮК, канд. техн. наук, доцент
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Схема електричної мережі машинобудівного
підприємства; паспортні дані споживачів та кількість груп навантаження.
Живлення здійснюється від КТП із $S_T=350$ (кВА). У частині ЕМ 0,4 кВ
апаратами захисту від I_{K3} виступають автоматичні вимикачі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз роботи сучасних систем РЗ та систем інформування персоналу про
аварійні режими роботи електромережі.

2. Розрахунок електричних навантажень та вибір трансформаторів,
компенсація реактивної потужності. Розрахунок розподільчої ЕМ та вибір
апаратів захисту та ліній електропередачі.

3. Вибір топології і розрахунок оптимальної системи РЗ.

4. Проектування математичної моделі електромережі разом із РЗ у САПР.

5. Аналіз результатів математичного моделювання мережі у різних режимах.

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

Тринадцять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1–5	Ю. ГРИЦЮК, доц. каф.		
Нормоконтроль	Е. НЕМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 02 жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	02.10–20.10.23	
2.	Розділ 2	21.10–02.11.23	
3.	Розділ 3	03.11–21.11.23	
4.	Розділ 4	22.11–07.12.23	
5.	Розділ 5	08.12–15.12.23	

Студент _____
(підпис)

Олександр КУЛЬША
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Юрій ГРИЦЮК
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

КУЛЬША О., «Проектування і оптимізація системи релейного захисту машинобудівного підприємства.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, м. Луцьк, 2023.

Дана наукова робота спрямована на покращення надійності й ефективності електропостачання машинобудівного підприємства шляхом оптимізації системи релейного захисту. У дослідженні було:

Проведено аналіз функціональності та недоліків існуючої системи релейного захисту. Визначено вимоги до нової системи та способів інформування персоналу у разі аварійних ситуацій.

Проведено розрахунок трансформатора для оптимальної подачі електроенергії. Визначено параметри ЕМ розподільчих і обрано відповідні апарати захисту та ЛЕП. Визначено оптимальну топологію системи РЗ, включаючи вибір самих релейних пристроїв. Виконана наступна оптимізація системи із метою підвищення швидкодії разом із надійністю власне захисту.

Розроблено математичну модель ЕМ разом зі системою РЗ інструментами САПРу із назвою Matlab. Виконано аналіз показників мат. моделювання електромережі у різних режимах роботи. Оцінено ефективність та надійність системи релейного захисту та запропонованих змін.

Ключові слова: СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, МАШИНОБУДІВНЕ ПІДПРИЄМСТВО, ПРОЕКТУВАННЯ ЗАХИСТУ, СИСТЕМА РЕЛЕЙНОГО КОНТРОЛЮ, РЕЛЕЙНА АПАРАТУРА, МЕРЕЖЕВИЙ АНАЛІЗ, ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ, ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ, МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАХИСТУ ВИРОБНИЦТВА, МАТЛАВ, НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ.

ANNOTATION

KULSHA O., « Design and optimization of the relay protection system of the machine-building enterprise.» / Graduation qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 "Electroenergetics, electrical engineering and electromechanics" - State Technical University DonNTU, Luts'k, 2023.

This scientific work is aimed at improving the reliability and efficiency of the power supply of the machine-building enterprise by optimizing the relay protection system. The researched had:

An analysis of the functionality and shortcomings of the relay existing system was protection carried out. The requirements for the new system and methods of informing personnel in case of emergency situations have been determined. The transformer was calculated for optimal power supply. The circuit distribution parameters were determined and the appropriate protection devices and power lines were selected. The optimal topology of the relay protection system was determined, including the choice of the relay devices themselves. The following optimization of the system was carried out in order to increase the speed and reliability of the internal protection. A mathematical model of EM has been developed together with the relay protection system using the tools of the CAD software called Matlab. The analysis of the indicators of mathematics was carried out. simulation of the power grid in different modes of operation. The efficiency and reliability of the protection in relay system or the changes proposed were evaluated.

Keywords: ELECTRICITY CONSUMERS, RELAY PROTECTION, ENGINEERING ENTERPRISE, PROTECTION DESIGN, CONTROL RELAY EQUIPMENT RELAY, NETWORK ANALYSIS, OPTIMIZATION OF RELAY PROTECTION, INCREASE OF WORK RELIABILITY, SIMULATION, OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROTECTION, MATLAB, ELECTRICAL EQUIPMENT RELIABILITY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1. ОЦІНКА СТАНУ І ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ ЗАВДАНЬ У СУЧАСНІЙ СИСТЕМІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ЕМ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА.	12
1.1 Пристрої протиаварійної автоматики для запобігання небезпечному підвищенню частоти в енергосистемі.	12
1.2 Аналіз роботи елегазових вимикачів та конструкція.	16
1.3 Розробка системи аварійної сигналізації.	20
2. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ВИБІР СИСТЕМИ ЕП, ПЕРЕВІРКА ЦТП.	23
2.1 Визначення характеристик приймачів електрики.	23
2.2 Визначення електромережі освітлення.	28
2.3 Проведення вибору за розрахунками РЗ обладнання та ЛЕП.	34
3. ОБРАННЯ І ПЕРЕВІРКА ЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ. СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЗ ДЛЯ ЕМ ПІДПРИЄМСТВА.	45
3.1 Визначення параметрів КЗ.	45
3.1.1 Визначення 3-фазного КЗ.	46
3.1.2 Визначення однофазного КЗ.	54
3.2 Перевірка обраних АВ.	56
3.3 Вибір методу, щодо підвищення надійної роботи ЕП при аварійних ситуаціях.	58
4. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА.	65
ВИСНОВКИ.	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	84

ДОДАТОК А.	86
ДОДАТОК Б.	87
ДОДАТОК В.	91
ДОДАТОК Г.	92
ДОДАТОК Ґ.	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КЗ - Контроль та захист;

СЗ - Системи й засоби;

ВРЕ - Високовольтні реле (електромагнітні);

ТДП - Трансформатор із наявною діагностикою параметрів;

ТКЗ - Технічний захист й контроль за показниками;

ВПЗ - Вивід приймача захисту;

РМВ - Місце встановлення реле;

ОАЗ - Основний апарат захисту;

ПЗП - Перевірка захисту та параметрів;

ОВ - Основний вимикач (для проведення діагностики);

СЕ - Схема електрична;

СМВ – Місце встановлення у системі;

АВ - Автоматичні вимикачі;

АЕЗ - Апарат електрозахисту;

ПВ - Плавкий вимикач;

ЗСЕ - Засіб експлуатаційної сигналізації.

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку технологій та промисловості, питання надійності та безпеки електроенергетичних систем є важливим завданням, особливо для машинобудівних підприємств. Ефективна робота машинобудівного підприємства, забезпечення надійного функціонування обладнання та безперебійна постачання електроенергії визначають конкурентоспроможність та успішність на ринку.

У даній роботі об'єктом для дослідження є машинобудівне підприємство, розташоване у Волинській області. Промислові підприємства цієї галузі мають високу потребу в стабільному електропостачанні для забезпечення неперервного виробництва та якісного контролю за процесами.

Дане наукове дослідження має мету, котра полягає в проектуванні та оптимізації системи релейного захисту машинобудівного підприємства із метою покращення безпеки електропостачання та підвищення його надійності.

Тоді робочими завданнями є:

- Дослідження роботи систем сучасних захистів релейних на підприємстві та виокремлення можливих несправностей і проблемних ситуацій.
- Розрахунок електронавантажень із вибором обладнання відповідного для РЗ.
- Проектування із поетапною оптимізація системи РЗ, зокрема, вибір типу(серії) реле, налаштування його внутрішніх параметрів, виокремлення важливих моніторингових параметрів.
- Створення математичної моделі системи релейного захисту у середовищі Матлаб для подальшого моделювання та аналізу.
- Аналіз результатів математичного моделювання та внесення необхідних корекцій до системи релейного захисту.

Актуальність дослідження зумовлена потребою в підвищенні надійності та безпеки електропостачання на машинобудівних підприємствах в Україні.

Застосування передових методів управління релейним захистом та математичних моделей сприятиме покращенню функціонування системи електропостачання та зменшенню можливих аварійних ситуацій.

При проектуванні та експлуатації електричних установок, електричних станцій, підстанцій і систем, необхідно враховувати, що це складний і відповідальний процес, який передбачає велику кількість деталей і вимагає системного підходу. Для досягнення ефективності та надійності електричних систем потрібно вирішувати ряд важливих завдань та враховувати багато факторів, серед яких:

1) Порівняння, оцінка та вибір оптимальної схеми електричних з'єднань станцій та підстанцій. Це включає аналіз різних варіантів підключення обладнання, розгляд можливості підвищення ефективності передачі електроенергії і зменшення втрат.

2) Визначення умов роботи споживачів у разі аварійних ситуацій. Передбачення і розрахунок можливих аварійних режимів допомагають забезпечити безпеку системи та споживачів.

3) Вибір відповідних апаратів та провідників і їх перевірка на відповідність умовам роботи при коротких замиканнях. Це включає в себе вибір правильних силових трансформаторів, вимикачів, провідників і ізоляційних матеріалів.

4) Розробка та налаштування системи РЗА. Реалізація безпеки системи включає в себе розробку комплексної системи релейного захисту, яка вчасно реагує на можливі аварійні ситуації та забезпечує відключення обладнання у випадку небезпеки.

5) Втілення у життя математичної моделі для проведення різноманітних досліджень. Моделювання є одним із важливих інструментів наукової роботи для визначення оптимальних параметрів системи, виявлення можливих проблем і вдосконалення її роботи. Це дозволяє зекономити час і ресурси при плануванні та вдосконаленні електричних систем.

Структура і обсяг кваліфікаційної випускної роботи.

Результати дипломної роботи висвітлені на 97 машинописних сторінках звіту, що має свій вступ, чотири основні розділи, загальні висновки із проведеної роботи. Звіт містить перелік застосованої, у ході виконання дослідження, літератури, що налічує 9 джерел та 5 додатків. Робота містить 46 рисунків, а також і 4 таблиці.

1. ОЦІНКА СТАНУ І ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ ЗАВДАНЬ У СУЧАСНІЙ СИСТЕМІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ЕМ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА.

1.1 Пристрої протиаварійної автоматики для запобігання небезпечному підвищенню частоти в енергосистемі.

В нормальному режимі роботи електростанцій, наприклад, з використанням турбо- і гідрогенераторів, вироблена електрична потужність в точності відповідає споживаній потужності навантаження. В цей момент усі генератори, які працюють паралельно, мають однакову частоту обертання.

Але, коли потужність, споживана навантаженням, раптово зменшується, наприклад, через відключення частини навантаження, електрична потужність, яку генератори можуть виробляти, також зменшується. Це може призвести до збільшення обертової швидкості роторів генераторів під впливом надлишкового моменту турбін. Підвищена швидкість обертання супроводжується збільшенням частоти.

Підвищення частоти активує регулятори швидкості парових турбін, які знижують потужність, яку турбіни генерують, поки не відновиться баланс між потужністю турбіни і генератором, а також нормальною частотою.

Регулятори швидкості парових турбін працюють досить швидко, тому під час різкого зниження навантаження частота вимикача турбогенераторів збільшується незначно і швидко відновлюється. Але слід зауважити, що збільшення швидкості обертання на 11-13% може призвести до серйозних пошкоджень. Тому, окрім регуляторів швидкості, парові турбіни також обладнані захисним пристроєм, відомим як автомат безпеки. Якщо регулятор швидкості турбіни не здатен утримати швидкість обертання на безпечному рівні при зниженні навантаження і швидкості збільшується на 10%, то автомат безпеки перекриває подачу пари в турбіну.

Регулятори швидкості і система регулювання гідравлічних турбін діють повільніше. Тому, при зниженні навантаження, до того як регулятори швидкості

почнуть впливати, швидкість обертання гідрогенераторів, і, відповідно, частота їхньої роботи може зрости до 130-150% від нормальної.

Дана особливість гідрогенераторів може при певних негативних умовах спричинити різке збільшення обертової швидкості. Це може торкнутися паралельно працюючих парових турбін, електродвигунів та механізмів приводу. Для уникнення таких небезпечних явищ застосовується спеціальна автоматика, яка реагує на підвищення частоти.

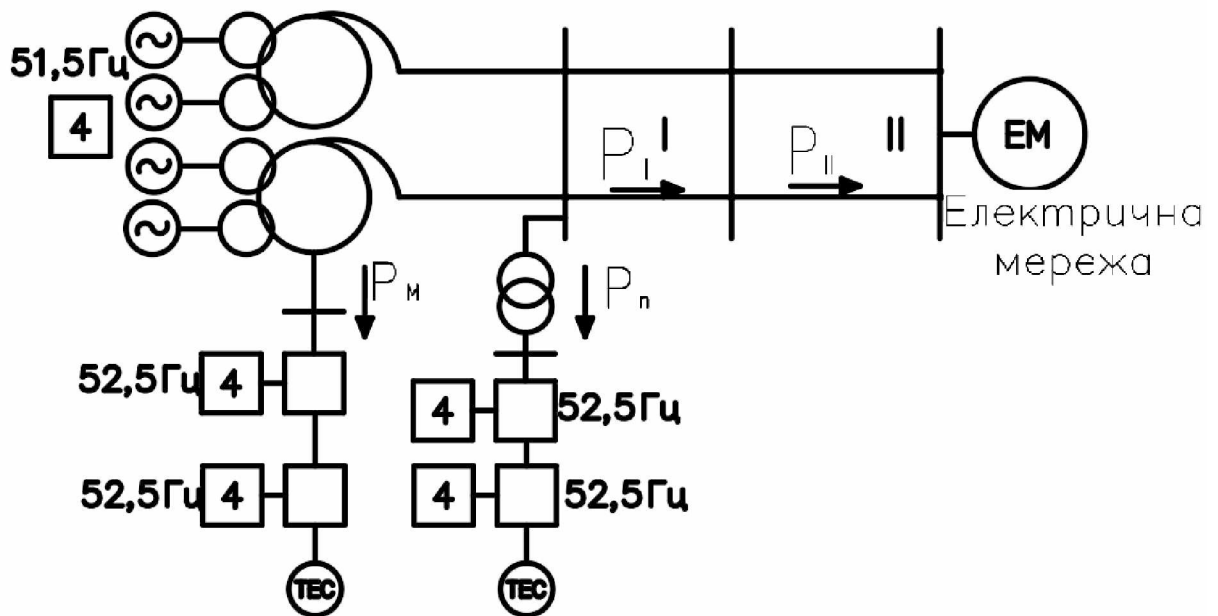


Рисунок 1.1 – Схема електропередача

На схемі передачі електроенергії, яка складається з двох ділянок (I та II), електроенергія передається в енергосистему від гідроелектричної станції (ГЕС). Ця передача електроенергії пов'язана з локальними та проміжними енергосистемами, де працюють теплові електростанції (ТЕС) [2].

При перерві електропередачі на ділянці II стає можливим часткове зниження потужності на рівень P_{II} . Це призводить до збільшення частоти роботи станції та пов'язаних з нею енергосистем.

Розрив електропередачі на ділянці I, де відбувається ще більше зниження потужності станції на величину P_I , супроводжується швидким і значним підвищенням частоти. Це також призводить до збільшення швидкості обертання

гідрогенераторів та турбогенераторів енергосистеми, що є потенційно небезпечним. Спрацювання у автоматах із безпеки турбін у цьому випадку не може запобігти підвищенню швидкості обертання, оскільки після закриття парового входу генератори переходять у режим синхронних двигунів і обертаються із швидкістю, яка відповідає частоті гідрогенераторів.

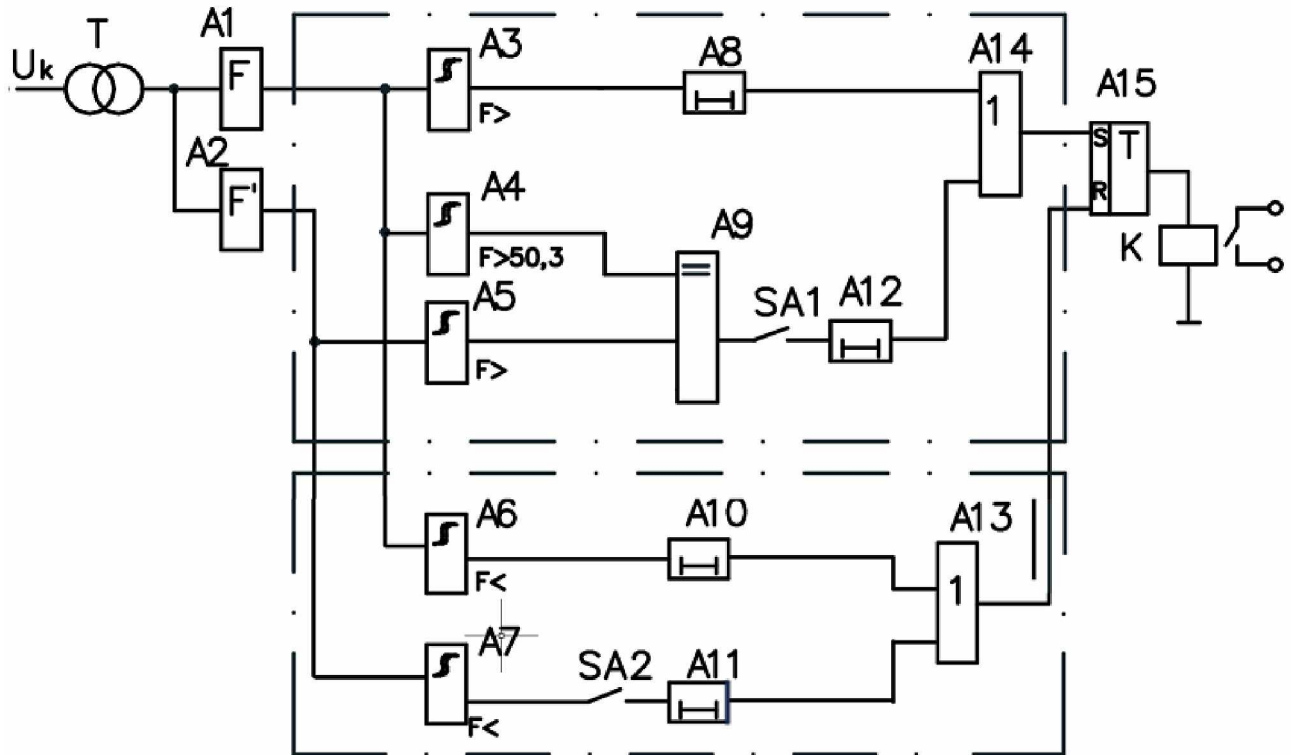


Рисунок 1.2 – Схема керування для ПЧ

Система автоматики, яка реагує на збільшення частоти, активується в ситуаціях, коли потужність теплових електростанцій становить менше 40% від загальної потужності енергосистеми або при аварійних відключеннях, які можуть призвести до відокремлення частини енергосистеми з таким відношенням потужності [4].

Ця автоматика діє з метою відключення теплових електростанцій від навантаження, яке відповідає їхній потужності. Для забезпечення надійності роботи цієї автоматики встановлюються два набори пристроїв на різних підстанціях, як показано на схемі на рис. 1.

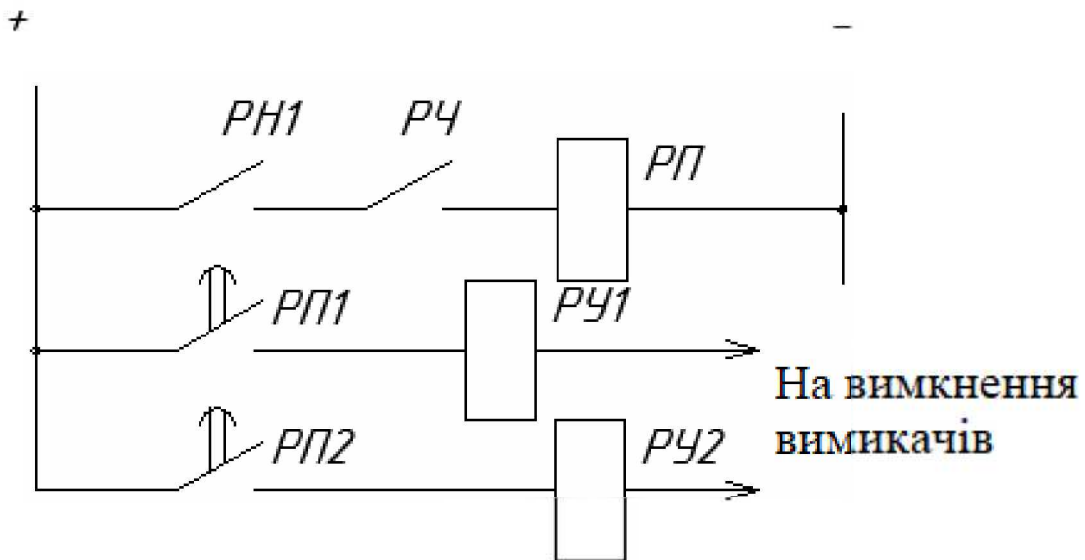


Рисунок 1.3 – Схема пристрою автоматики із підвищення частоти

Пусковим механізмом є реле підвищення частоти (РЧ). Після активації РЧ контактами, уминається реле за максимальною напруги, котре залишається увімкненим при наявності напруги і відключається при її зниженні.

При підвищенні частоти, коли значення реле підвищення частоти досягає уставки, воно активується і через спеціальне проміжне реле (РП) відключаються вимикачі, які здійснюють відключення теплових електростанцій від головної електромережі ГЕС. Ця автоматика діє без затримки та використовує швидкодіюче РП для запобігання різкому підвищенню частоти під час швидкого підйому.

У випадках різкого зниження або відключення напруги, реле підвищення частоти може короткочасно замикати свій контакт. Щоб уникнути неправильних дій автоматики в таких ситуаціях, встановлюється РН максимальне, яке відключає свій контакт при зниженні напруги. Напруга, при якій спрацьовує реле за максимальною напруги, встановлюється на рівні $0,7U_n$ (де U_n - номінальна напруга).

Відключення теплових електростанцій у таких випадках є необхідним для запобігання порушенню роботи енергосистеми та відмови парових турбін від

розгону. Уставки автоматики реле підвищення частоти встановлюються не нижче 52 Гц та не вище 53,5 Гц.

Ця система автоматики застосовується в енергосистемах, а також на гідростанціях, і у випадку спрацювання вона відключає частину гідрогенераторів. Уставка для автоматики на гідростанціях зазвичай нижча, на рівні 51-51,5 Гц, ніж у енергосистемах. Це дозволяє спочатку відключити гідрогенератори у разі розривів електропередачі та підвищення частоти, запобігаючи подальшому зростанню частоти та дії автоматики в енергосистемах. Автоматика в енергосистемах в цьому випадку є додатковою і діє лише в разі, коли автоматика на гідростанціях не може забезпечити необхідний захист.

1.2 Аналіз роботи елегазових вимикачів та конструкція.

Вимикачі призначені для використання в електричних системах як під час нормального та й аварійного РР, а також для функціонування в системах аварійного відключення в мережах із змінним трьохфазним струмом із $f_{\text{см}} 50$ (чи 60) Гц під час $U_{\text{ном}} = 110$ кВ.



Рисунок 1.4 – Вигляд загальний вимикачів типу ВБН

Їх висока надійність досягається за допомогою наступних основних факторів:

1. Зменшені зусилля, потрібні для управління вимикачами, де частина енергії, що витрачається на погашення струмів КЗ, використовується з самої дуги, що допомагає зменшити навантаження на механізм та підвищує надійність.

2. Використання подвійних ущільнень у з'єднаннях для запобігання витокам, котрі є небажаними. Рівень витоків, який становить трохи більше 1% на рік, підтверджується лабораторними випробуваннями заводу-виробника, що відповідає прийнятій методиці в техніці.

3. Використання сучасних технологічних та конструкційних рішень та надійних комплектуючих, включаючи високоомісні ізолятори відомих іноземних виробників [7].

4. Висока заводська готовність, що надає спрощення для монтажу, а також й введення у послідовуючу експлуатацію.

5. Стійкість висока до корозії завдяки використанню спеціальних покриттів для сталевих конструкцій вимикача. Немає потреби в складному технічному обслуговуванні та ремонті під час умов нормальної експлуатації.

6. Підвищені механічні та комутаційні ресурси, довгий термін роботи у комплектуючих та ущільнень, котрий забезпечує 20-річний період між ремонтами [8].

7. Здатність відключати струми перевантаження при втраті надлишкового тиску вимикача, а також можливість вимикання ємнісних струмів без подальших пробойів при низьких перенапругах.

8. Низький рівень шуму під час активації, що відповідає вимогам природоохоронних стандартів.

9. Знижені навантаження динамічні у фундаментні в опори.

10. Взаємозамінність повна із масляними вимикачами серії ВМ.

Вимикачі серії ВГУ призначені для використання в системах високої напруги і використовують елегаз для гасіння та ізоляції. Вимикач ВГУ-110 складається із 3 полюсів, котрі є розташованими на спільній рамі. Усі три полюси

в вимикачеві керуються одним типом пружин із приводом – виду ППрК. Принцип роботи зазначеного вимикача полягає в тому, що електрична дуга гаситься завдяки елегазу, який створюється під час генерації теплової енергії у самій дузі. Уведення в роботу вимикача здійснюється завдяки енергії пружин приводу, що включають його, а вимикання - завдяки енергії пружин відключаючого пристрою вимикача [5, 8].

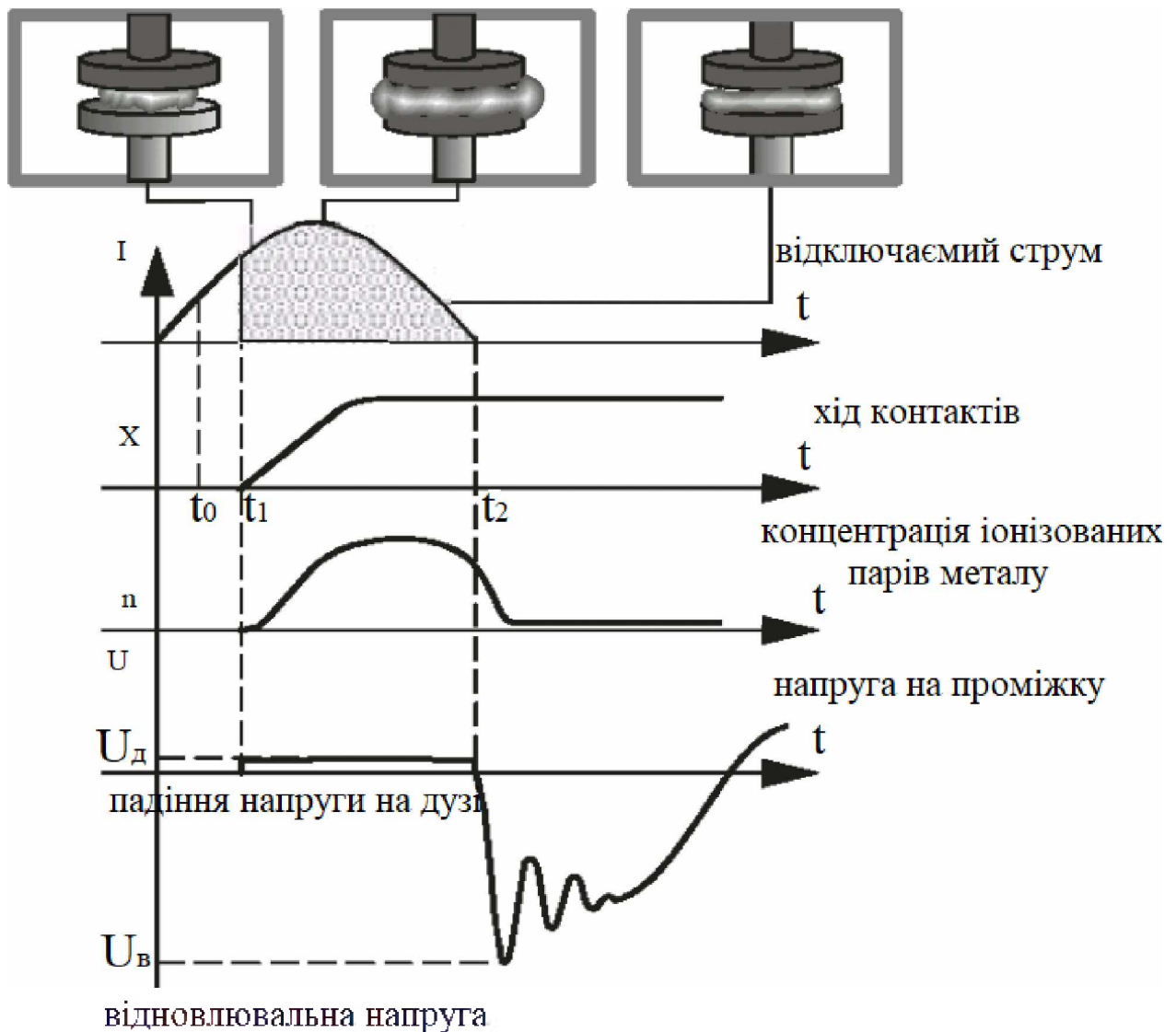


Рисунок 1.5 – Електромагнітні процеси, що спостерігаються під час відключення вимикача

Рама вимикача ВГУ-110 представляє собою зварну структуру, на якій розміщені різні компоненти, такі як привід, вимикач, стовпи, і електроконтактні сигналізатори тиску. В одному з закритих контейнерів на одній з опорних балок

рами розташовані з'єднані послідовно тяги, які з'єднують приводний важіль із полюсними важелями. Також на одній з кришок є віконце для перевірки положення вимикача. Полюс вимикача ВГУ-110 є стовпом, котрий заповнений елегазом, а також складається із ізолятора опорного, елементу для дугового гасіння із струмовими виводами та механізмом керування з наявною ізоляційною тягою [4].

Електроконтактний сигналізатор тиску показує тиск, що враховує температурні зміни і підтримує тиск на рівні 80 ($^{\circ}\text{C}$). Він має дві пари контактів, які замикаються при робочому тиску від 0,35 до 0,41 мПа. Перша контактна пара є розімкненою у момент зниження тиску до 0,35 мПа і дає сигнал про необхідність зміни положення полюса, друга контактна пара розмикається при тиску 0,33 мПа і блокує подачу команди на електромагніт управління [9].

Для уникнення помилкових сигналів через вібрацію при ввімкненні та вимиканні вимикача, а також через низьку потужність контактів, у ланцюги контактів є включеним реле проміжне із часом витримкою 0,9 - 1,3 (с). Сам сигналізатор обладнаний спеціальним кожухом для захисту від зовнішньої середовища [7, 9].

Привід пружинний у робочих пружин - це окремий агрегат, поміщений в герметичну тридверну шафу, і включає два електромагніти відключення та блокувальні пристрої. Цей привід дозволяє повільно переміщати контакти вимикача під час налаштування без потреби в додаткових пристроях. У рамах включення та шафах керування приводу наявні покриття антикорозійне для захисту відповідно від проявів корозії.

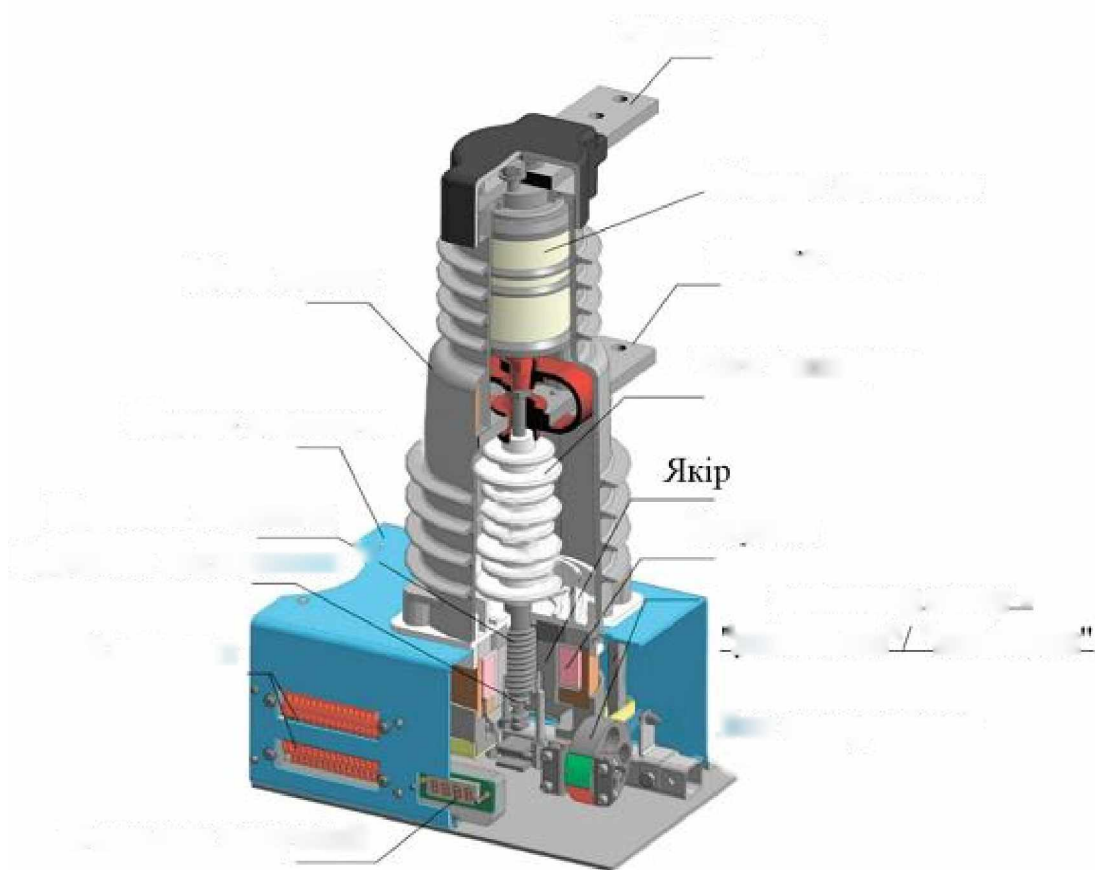


Рисунок 1.6 – Конструкція вимикачів елігезового типу [9]

1.3 Розробка системи аварійної сигналізації.

Підсистема із аварійно-попереджувальна сигналізації проєктована із центральним зняттям сигналу зі повторністю дії, котра включає миттєву й аварійну сигналізацію з витримкою часу при загальному звуковому сигналі.

Система із аварійно-попереджувальної сигналізації використовує центральне зняття сигналу з повторною дією та включає два види сигналізації: миттєву та аварійну, з встановленою витримкою часу, котра активує загальний акустичний сигнал.

сигнал, дію аварійної сигналізації фіксує вказівне реле KHC_1 та лампа HL. Для вимкнення звукового сигналу необхідно перенаправити реле KQ кнопкою BBN [7].

Попереджувальна сигналізація відрізняється від аварійної сигналізації лише тим, що вона має реле струму КС. Встановлена витримка часу в цьому реле дозволяє ігнорувати короткочасні сигнали.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ВИБІР СИСТЕМИ ЕП, ПЕРЕВІРКА ЦТП.

2.1 Визначення характеристик приймачів електрики.

Мережі внутрішнього цеху будуються відповідно до радіальних, магістральних або змішаних схем. Кожен тип схеми оптимально застосовується в певній області. Так магістральні схеми широко використовуються в приміщеннях із рівномірним розподілом технічного обладнання. Шинопроводи, зокрема комплектний шинопровід типу ШМА, вважаються найбільш гнучким та універсальним варіантом для магістральних мереж.

Варто звернути увагу на використання тролейних ліній для живлення кранів та внутрішньоцехового транспорту. Розподільні шафи зазвичай отримують електропостачання від ЦТП, через кабелі, спосіб і тип прокладання яких визначаються характером середовища у приміщенні. Однією із переваг радіальної схеми живлення порівняно зі магістральною є вища надійність електропостачання та зручність у користуванні. При виникненні КЗ деякі електроприймачі, що підключені до пошкодженої ЛП, припиняють роботу, тоді як інші продовжують працювати. [4, 7]

Також варто зазначити важливість розрахунку у частці навантажень електричних через впровадження методу упорядкованих діаграм для визначення ефективного навантаження, його етапи основі складають:

- а. Складається перелік силових приймачів електрики із зазначенням їхньої встановленої потужності.
- б. Обирається робоча зміна з найбільшим споживанням електроенергії та визначається характерна доба.
- в. Описуються особливості технологічного процесу, які впливають на електроспоживання; виокремлюються приймачів у електриці із високою нерівномірністю навантаження, які розраховуються на основі максимального ефективного навантаження.

d. Виокремлюються із розрахунку електроприймачі малої потужності, резервні за умовами розрахунку електричних навантажень, що включаються епізодично.

e. Розраховуються групи приймачів, які мають однаковий тип (чи режим) роботи, та виділяються з них підгрупи з однаковою величиною індивідуального коефіцієнта використання.

f. Виокремлюються приймачі однакового робочого режиму, і визначається їхня середня потужність.

$$P_{сер(i)} = \sum P_{ном(j)} \cdot k_{с(j)} \quad (2.1)$$

де: $P_{ном(j)}$ – потужність номінальна певного електроприймача.

Тоді величина реактивної середньої потужності у навантаженні визначається:

$$Q_{сер(i)} = \sum Q_{ном(j)} \cdot tg(\varphi_j) \cdot k_{с(j)} \quad (2.2)$$

де: $tg(\varphi_j)$ – визначення коефіцієнту РП, що відповідає середньозваженому коефіцієнту у потужності $\cos(\varphi)$, який характерний для j-го ЕП.

Визначається коефіцієнт груповий (k_i) використання потужності активної:

$$k_{с(j)} = \frac{\sum_{i=1}^l P_{сер(i)}}{\sum_{i=1}^l P_{ном(i)}} \quad (2.3)$$

де: $P_{ном(i)}$ – значення установленної потужності за відповідною підгрупи

Надалі визначається кількість ефективних у частці ЕП у групі з кількістю

n приймачів.

$$n_{од.ен} = \frac{(\sum P_{ном(i)})^2}{\sum P_{ном(i)}^2} \quad (2.3)$$

де: $n_{од.ен}$ – кількість однакових за режимом самих приймачів із однаковою потужністю.

Кількість однорідних приймачів, яка забезпечує таке ж значення розрахункового максимуму P_{max} , як і група приймачів електрики, різних відносно своєю потужністю/робочим режимом. Якщо в групі приймачів є чотири або більше пристрої, то можна прийняти n (кількість ЕП групи) не рівним цілому числу за умови, коли номінальне відношення у найбільшій потужності ЕП до номінальної потужності менше трьох. Також можна виключити дрібні навантаження, в котрих потужність сумарна не перевищує 4-5% від ном. потужності поточної групи.

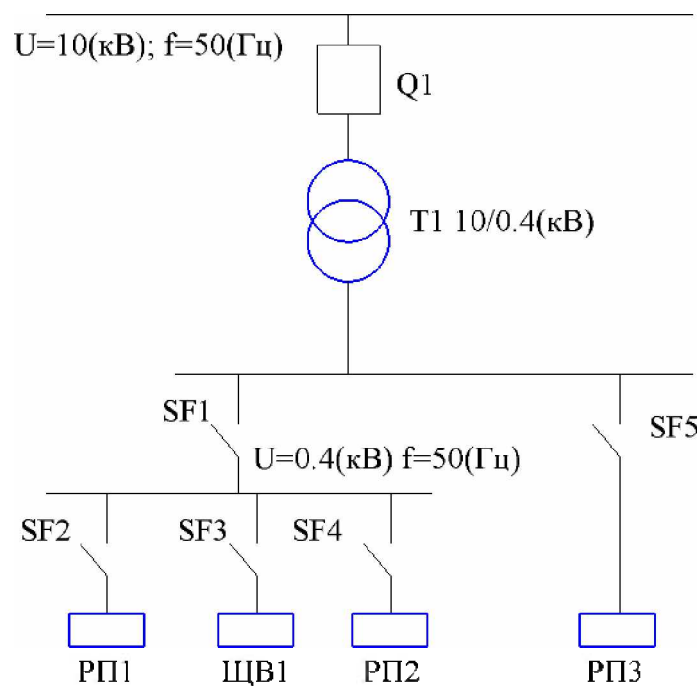


Рисунок 2.1 – Схема із електропостачання до відповідної модернізації

У табл. 2.1 подано перелік із ЕО дослідного підприємства

Таблиця 2.1 – Перелік електрообладнання дослідного підприємства

№ на плані	Назва ЕО	$P_{\text{ном.нв,}}$ (кВт)	N (шт)	k	$\cos(\varphi)$	$\text{tg}(\varphi)$
1,2	Розточувальні верстати	4.5	2	0.17	0.63	1.23
3,4	Клепальні машини	2.75	2	0.22	0.58	1.405
5,6	Верстати токарні	7.25	2	0.35	0.62	1.265
7,8	Верстати фрезерні	12.5	2	0.35	0.79	0.78
9,10	Верстати вертикально- свердлильні	6.75	2	0.23	0.64	1.21
11	Верстат шліфувальний	3.5	1	0.22	0.68	1.085
12	Установка для загартування	14.5	1	0.55	0.69	1,05
13	Верстат шліфувальний	5.75	1	0.22	0.675	1.09
14	Пересувна машина	15.5	1	0.55	0.64	1.14
15	Конвеєрна лінія	22.5	1	0.6	0.825	0.695
16	Машина для сушіння	13.5	1	0.35	0.94	0.36
17	Пристрій випробувальний	17.5	1	0.37	0.625	1.255

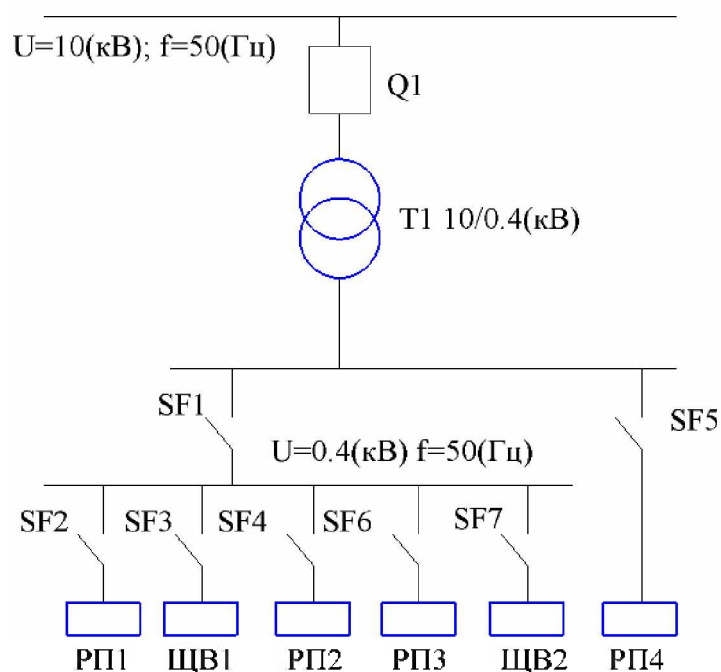


Рисунок 2.2 – Схема із електропостачання за плануємо модернізації

Проводиться надалі визначення для РПЗ (рис. 2.2) виконується шляхом заповнення стовпчиків 2-7 з табл. 2.1.

$$m = \frac{P_{н.б}}{P_{н.м}} = \frac{17}{1.7} = 10 \quad (2.4)$$

Також визначається $P_c = k \cdot P_{ном.нв}$ та відповідно:

$$Q_c = P_c \cdot tg(\varphi) \quad (2.5)$$

$$S_c = \sqrt{Q_c^2 + P_c^2}$$

А визначити $n_{ек}$ можна за:

$$n_{екв} = F(n, m, K_{ном.сер}, P_{ном}) = (18 > 3.5 > 0.25 \text{ змінна}) \quad (2.6)$$

Для декількох приймачів тоді відповідно:

$$n_{екв} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^k P_{ном}}{P_{н.б}} = \frac{2 \cdot 115}{12} \approx 19 \quad (2.7)$$

Відповідно визначається також $k_{м.зр} = F(n_{екв}, k_{ном.сер}) = 1.412$ результат заносимо у відповідні колонки.

Якщо $n_{екв} > 10$, тоді $k'_{м}=1$, а відповідні вирази (2.4-2.5) набувають вигляд:

$$P_{mx} = P_c \cdot k_{mx}$$

$$Q_{mx} = Q_c \cdot k'_{mx} \quad (2.8)$$

$$S_{mx} = \sqrt{Q_{mx}^2 + P_{mx}^2}$$

Тоді I_m можна визначити:

$$I_{mx} = \frac{S_{mx}}{\sqrt{3}U_{л}} = \frac{67.2}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 102.25 \text{ (A)} \quad (2.9)$$

2.2 Визначення електромережі освітлення.

Визначимо освітлення ремонтного цеху, використовуючи світловий потік. Розміри приміщення (довжина – позначення a_1 , ширина – параметр b_1 , висота – параметр h_1 , висота у розташуванні світильників вже над поверхнею робочою – $h_{св.1}$) враховані. Мінімальна освітленість $E_{п1}$ визначається відповідно до розряду заданого, котрий у цьому випадку визначений для механічного цеху. Величина коефіцієнту відбиття у стін, стелі, а також і підлоги, які мають відповідні позначення $\rho_{ст}$, $\rho_{стл}$ і $\rho_{пд}$.

Виберемо світильник типу ГСП-02мВ із ККД 82.7(%) та коефіцієнтом (γ), що є рівним 1.6 для приміщень, котрі відносяться до вибухонебезпечних зон. Даний тип світильник має ціль для освітлення загального допоміжних й промислових приміщень за температурного діапазону від -30(°C) до +35(°C).

Відповідні коефіцієнти, розглянуті вище, для світильника приведені до табл. 2.2.

Відповідна відстань поміж дослідними світильниками складає:

$$L_{св} = h_{л.св} \cdot \gamma = 1.6 \cdot 5.5 = 8.8 \text{ (м)} \quad (2.10)$$

Відповідно до (2.10) у $L_{св}=9$ (м)

Таблиця 2.2 – Дані, які використовуються для розрахунків у освітлені

b_1 (м)	a_1 (м)	$h_{1.св}$ (м)	h_1 (м)	$\rho_{ст}; \rho_{стл}; \rho_{пд}$	Р
15.5	38	5.5	6.5	0.5; 0.35; 0.75	Б(IV)

У випадку, коли немає зон робочих біля стіни:

$$L_1 = (0.4 \div 0.5) \times L_{1.св} = 0.5 \cdot 9 = 4.5 \text{ (м)} \quad (2.11)$$

Оскільки самого розміри приміщення відповідають 38×15.5 , і відстань поміж відповідними світильниками складає 9 (м), а до світильника від стіни – 4.5 (м), світильники будуть розміщуватися так, що вказано на рис. 2.3

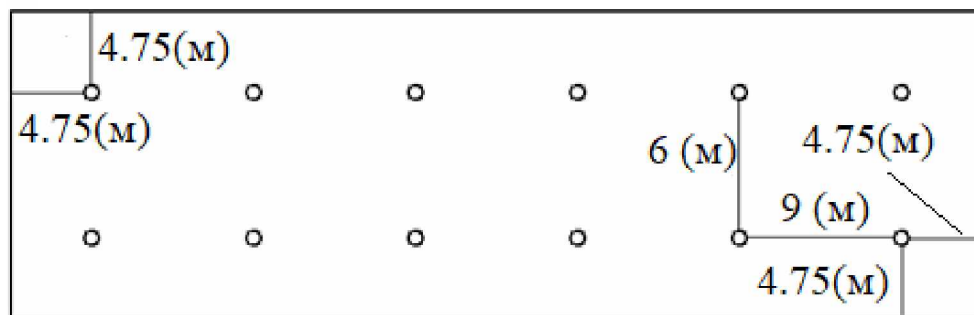


Рисунок 2.3. – Розташування обраних світильників на ген. плані

Коефіцієнт форми для приміщення

$$\mu = \frac{b \cdot a}{(b + a) \cdot h_{1/св}} = \frac{38 \cdot 15.5}{(38 + 15.5) \cdot 5.5} \approx 2 \quad (2.12)$$

Відповідно потік світловий для світильника одного:

$$F_c = \frac{k_{зан} \cdot E_{\min} \cdot \Lambda \cdot S_{np}}{\eta_6 \cdot n_{св}} \quad (2.13)$$

де: $k_{зан} = 1.5$ – величина запасу .

η_e – значення коефіцієнту використання для потоку світлового $\eta_e = 0.66$ при $\vartheta = 2.2(\%)$ $\varphi = 2,1\%$;

Λ – величина коефіцієнту нерівномірної освітленості, відповідно до [5] приймемо: $\Lambda = 1.12$;

$E_{(min)}$ – рівень мінімальний освітленості визначено буде у відповідності до норм ДСТУ, що буде складати $E_{(min)} = 180$ (Лк);

$n_{(св)} = 12$ (шт) – кількість у приміщенні світильників;

$S_{(np)} = 589$ (м²) – площа підприємства.

$$F_{св} = \frac{1.6 \cdot 180 \cdot 589 \cdot 1.12}{0.66 \cdot 12} \approx 24000 \quad (2.14)$$

Застосовуємо лампу ДРЛ700 (Вт) як джерело світла. Відповідно загальна потужність установки освітлювальної складає $700 \times 12 = 8.4$ (кВт), а отже:

$$I_{м.(ЩВ)} = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{4.5}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 6.85 \text{ (А)} \quad (2.15)$$

Розраховуємо втрати наявні у трансформаторі:

$$\Delta P_{Tp} = 0.02 \cdot S_{mx(HH)} = 180 \cdot 0.02 = 3.6 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{Tp} = 0.1 \cdot S_{mx(HH)} = 180 \cdot 0.01 = 18 \text{ (кВАр)} \quad (2.16)$$

$$\Delta S_{Tp} = \sqrt{\Delta Q_{Tp}^2 + \Delta P_{Tp}^2} = \sqrt{3.6^2 + 18^2} = 18.36 \text{ (кВ} \cdot \text{А)}$$

Виконуємо перевірку за розрахункової потужності у трансформаторі серії ТМ-250 (10/0.4), тоді враховуючи компенсацію у РП і втрати.

$$250 \text{ (кВА)} \geq 180 \text{ (кВА)} \tag{2.17}$$

Застосовуючи паспортні параметри, приведено характеристиками серії ТМ типу 250 (10/0.4):

26.25(мОм)	X_{TP}
9.75(мОм)	R_{TP}
4.25 (кВт)	$\Delta P_{x.x}$
0.65 (кВт)	$\Delta P_{K.3}$
2.55 (%)	$I_{x.x}$
29.2 (мОм)	Z_{TP}
5.25 (%)	$U_{K.3}$
290 (мОм)	$Z_{TP}^{<i>}$

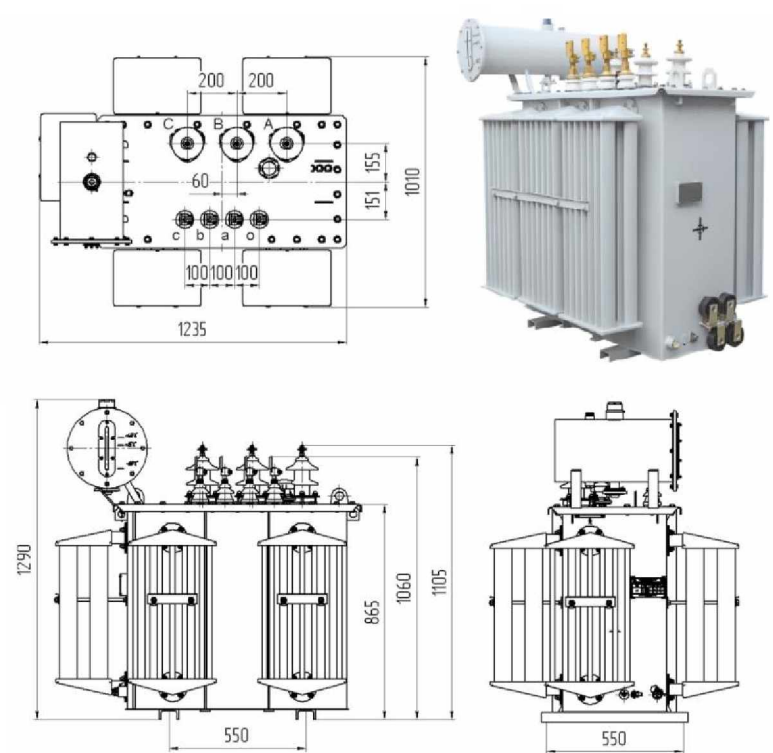


Рисунок 2.4 – Обрана серія трансформатору, загальний вид

Проведемо визначення коефіцієнту завантаження:

$$k_{зан} = \frac{S_{H.H}}{S_{Tp}} = \frac{180}{250} = 0.72 \quad (2.18)$$

Визначаємо РП розрахункову у КП через відношення:

$$Q_{КП.РП} = \alpha \cdot (tg\gamma - tg\gamma_{КП}) \cdot P_M, \quad (2.19)$$

де: $Q_{КП.РП}$ – розрахункова потужність КП в (кВар).

$tg\gamma$, $tg\gamma_{КП}$ – показник РП до та після компенсації.

α – показник, що враховує підвищення.

Відповідно до $\cos\varphi_K = 0.935$, становить:

$$Q_{КП.РП} = 0.88 \cdot (0.885 - 0.385) \cdot 124 = 54.56 \text{ (кВар)} \quad (2.20)$$

Що ж до типу обраного пристрою КП, переваги від його використання, головні його параметри та вигляд наведені у додатку Г. В розрахунковій ж частині варто надалі проаналізувати фактичні параметри $\sin(\varphi_{фкт})$ та $\cos(\varphi_{фкт})$ після КРП:

$$tg(\varphi_{фкт}) = tg(\varphi) - \frac{Q_{вст}}{P_{мх} \cdot \alpha} = 0.88 - \frac{54.56}{124 \cdot 0.885} = 0.3829 \quad (2.21)$$

$$\cos(\varphi_{фкт}) = 0.936 \quad \sin(\varphi_{фкт}) = 0.352$$

У відповідності до (2.21) умови виконані.

Вибір перетину провідника для ЦМ залежить від різних факторів, таких як $I_{розр}$, необхідність захисту від перевантаження, характер приміщення,

температурні умови і ізоляції у провідника. Перетин має стати таким, щоб провідники не перегрівалися у роботі в режимі тривалому при нормованих умовах температурних. Мінімально допустимий переріз обирається так, щоб провідник у КЗ не перегрівався понад межі термічної стійкості. Згідно із поточними правилами ПУЕ, провідники мають відповідати вимогам щодо допустимого нагріву за різними режимами, що включають і після аварійний та періоди ремонту. У аналізу нагрівання використовується максимум півгодинного струму.

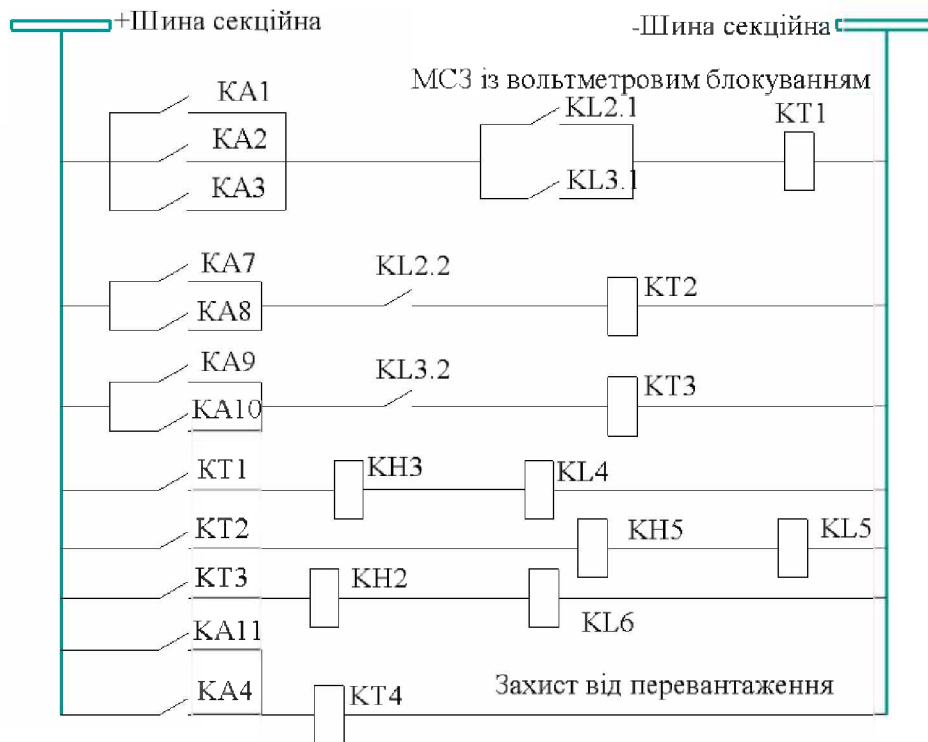


Рисунок 2.5 – Обраний захист для Т (забезпечення МСЗ)

Максимальний струм, що прийнятний у режимі післяаварійному, розраховується так:

$$I_{н.а.(max)} = \frac{P_{роз.пр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos(\gamma)_{ном.пр}}, \quad (2.22)$$

де: $P_{роз.пр}$ –потужність розрахункова ЕП у (кВт).

$\cos(\gamma)_{ном.пр}$ – величина коефіцієнту $S_{приймачів}$.

У прокладці чотирьох або більше кабелів чи проводів у спільній траншеї, трубі, чи коробі, у розрахунок вводиться коефіцієнт поправки, що відповідно враховує й умови для прокладання даних елементів.

2.3 Проведення вибору за розрахунками РЗ обладнання та ЛЕП.

У мережах самих цехів можуть виникати аномальні ситуації стосовно величини струму, такі як перевантаження, збільшення струму під час запуску чи автоматизованого включення ЕД, або підвищення струму через КЗ. До того ж самі КЗ, якщо їх усувати не вчасно, здатні призводити до ситуацій, що викликають пожежі.

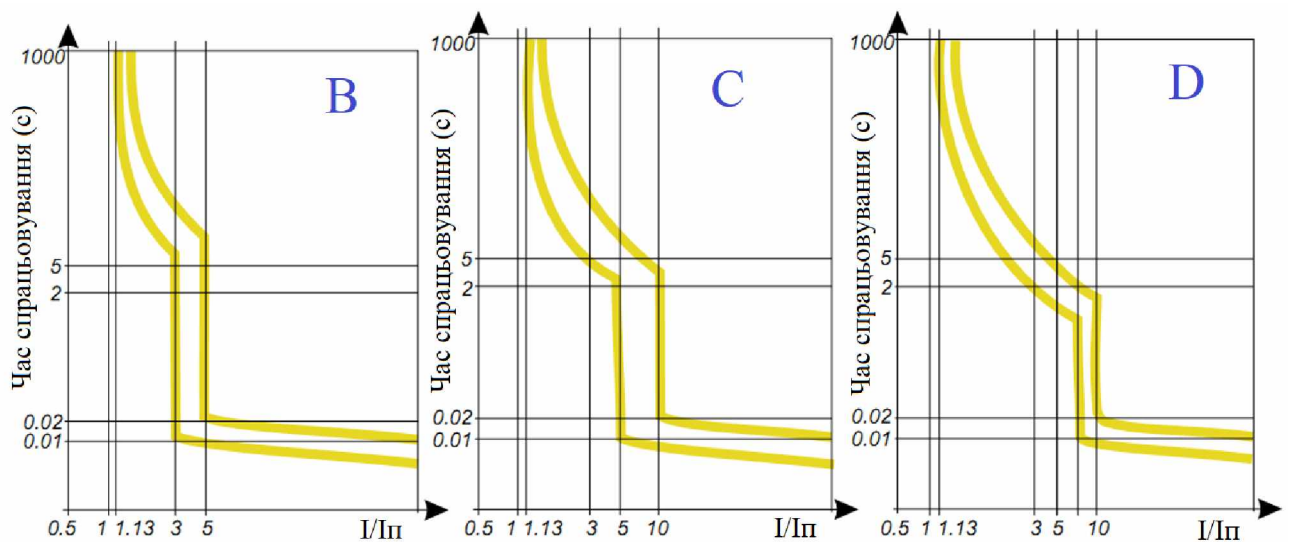


Рисунок 2.5 – Характеристики часові для ВА47/63

Для забезпечення захисту ЕМ ланок від перевантажень та КЗ використовувати автомати ВА47/63. Дані АВ, такі як у серії ВА 47/63 та ВА 47/100, обладнані двома системами захисту від наявного надструму: ЕМ та ЕТ. Вони мають взаємоузгоджені характеристики та доступні по виконанням від однополюсних до чотирьохполюсних. Монтаж здійснюється на 40 мм монтажну т.з. «DIN-рейку». Ці вимикачі є сучасним поколінням апаратів, спроектованих

для надійного захисту та управління електричними ланцюгами. Залежно від потреби, вони виготовляються з захисними характеристиками В, С або D (які наведені на рис 2.6).

Апарати захисту впроваджуються на початку кожної ланки електромережі, що означає, що вони розміщуються на кожній лінії, яка відходить від шин ПС та пунктів силових, а також на кожному відгалуженні від ЛП і на трансформаторних вводах.

Пунктом для з'єднання лінії постає пристрій АЕ2046 (як SF_1 на рис. 2.1), де є ЛП, котра включає у склад групу ЕД: $I_{г.ЕМ} = 210$ (А)

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.р} \quad (2.23)$$

$$I_{н.р} \geq 1.1I_{мх} = 210 \cdot 1.1 = 231 \text{ (А)}$$

Через те, що на РП є декілька ЕД кілька, а згідно із табл. 2.1 потужністю найбільшою є верстат фрезерний, відповідно:

$$I_{нб.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{12.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.79} = 24.05 \text{ (А)}$$

$$I_{(пик)} = I_{мх} + I_{пуск.нб} - I_{н.нб} \cdot k_g = 135.5 + 210 - 24.05 = 321.45 \text{ (А)}$$

$$I_{пуск.нб} = 6.5 \cdot I_{ном.нб} = 20.8 \cdot 6.5 = 135.5 \text{ (А)} \quad (2.24)$$

$$I_0 \geq 1.15 \cdot I_{(пик)} = 1.15 \cdot 321.45 = 363.67 \text{ (А)}$$

$$k_0 \geq \frac{I_0}{I_{ном.р}} \rightarrow k_0 \geq \frac{363.67}{210} = 1.74$$

У відповідності до (2.24) приймаємо $k_0 = 1.8$.

Тоді на вході буде застосовуватися ABB LBM3-250 (A) із показниками:
 $U_{ABB.ном}=500(V)$; $I_{ABB.ном/рб}=250(A)$; $I_{AB.відкл}=42(кA)$.

Виконавши розрахунок першої лінії, що надходить до РП рис. 2.1, для інших проводимо такий самий розрахунок проте треба враховувати потужність вже найбільшого споживача (або їх групи) у даних групах.

Так для ЩВ1 (рис. 2.2), де є SF1, котрий є тим же АВ типу АЕ, проте оскільки дана ЛП немає ЕД, то умова наступна:

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.р} \quad (2.25)$$

$$I_{ном.р} \geq I_{мх} = 6.25 (A)$$

Вибір АВ серії ВА47/63 виконуємо у відповідності [8]. Тоді
 $U_{AB.ном}=400(V)$; $I_{AB.ном/рб}=8(A)$; $I_{AB.відкл}=4.6(кA)$.

Відповідно для АЕ із групою ЕД вже у РП2 у SF4: $I_{ем} = 101 (A)$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.р} \quad (2.26)$$

$$I_{ном.р} \geq I_{мх} \cdot 1.1 = 111 (A)$$

Оскільки в РП3 присутні декілька ЕД, слід враховувати, як найпотужніший із них - це верстати токарні:

$$I_{нб.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{7.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.62} = 18.38 (A)$$

$$I_{(ник)} = I_{мх} + I_{пуск.нб} - I_{н.нб} \cdot k_e = 135.5 + 122.2 - 18.38 = 239.32 (A) \quad (2.27)$$

$$I_{пуск.нб} = 6.5 \cdot I_{ном.нб} = 122.2 (A) \quad I_0 \geq 1.15 \cdot I_{(ник)} = 275.72 (A)$$

$$k_0 \geq \frac{I_0}{I_{ном.р}} \rightarrow k_0 \geq \frac{275.72}{126} = 2.19$$

Тоді для ЛП у машині для сушіння отримуємо: $P_{ном.гр}=13.5$ (кВт),
 $\cos(\gamma)=0.94/$

$$I_{МС.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{13.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.94} = 21.83 \text{ (A)} \quad (2.28)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.р}$$

Згідно (2.28):

$$I_{доп.н.р} \geq I_{н.р} = 22 \text{ (A)} \quad (2.29)$$

Відповідно оберемо АВА47/63, де $I_{АВ.ном/рб}=63(A)$.

Для пристрою випробувального:

$$I_{ПВ.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{17.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.625} = 35.25 \text{ (A)} \quad (2.30)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.р} = 36(A)$$

Із (2.31) також оберемо АВА47/63, адже $I_{АВ.ном/рб}=63(A)$.

Для конвеєрної лінії:

$$I_{ПВ.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{22.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.825} = 41.44 \text{ (A)} \quad (2.31)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.р} = 50(A)$$

Також згідно (2.31) обирається АВА47/63

Тепер же почергово проходимо по ЕО, що залишилося та обираємо додатково кожному свою хар-ку згідно рис. 2.5

Для розточувальних верстатів:

$$I_{PB.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{4.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.63} = 10.853 \text{ (A)} \quad (2.32)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 12(A)$$

Також згідно (2.32) обирається вже АВА47/20 із характеристикою С (рис. 2.5)

Оскільки це лінія із ЕД, тоді перевіряємо:

$$I_{(пик)} = I_{мх} + I_{пуск.нб} - I_{н.нб} \cdot k_v = 135.5 + 81.14 - 10.853 = 205.79 \text{ (A)}$$

$$I_{пуск.нб} = 6.5 \cdot I_{ном.нб} = 70.55 \text{ (A)} \quad I_0 \geq 1.15 \cdot I_{(пик)} = 236.14 \text{ (A)} \quad (2.33)$$

$$k_0 \geq \frac{I_0}{I_{ном.p}} \rightarrow k_0 \geq \frac{236.14}{101} = 2.35$$

Для клепальних машин:

$$I_{КП.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{2.75}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.58} = 7.21 \text{ (A)} \quad (2.34)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 8(A)$$

Відповідно до (2.34) обирається також АВА47/20 із характеристикою D (рис. 2.5).

Через те, що ця ЛП має у складі ЕД, тоді перевіряємо:

$$I_{(пик)} = I_{мх} + I_{пуск.нб} - I_{н.нб} \cdot k_{\epsilon} = 135.5 + 46.865 - 6.49 = 175.875 \text{ (A)}$$

$$I_{пуск.нб} = 6.5 \cdot I_{ном.нб} = 46.865 \text{ (A)} \quad I_0 \geq 1.15 \cdot I_{(пик)} = 202.25 \text{ (A)} \quad (2.35)$$

$$k_0 \geq \frac{I_0}{I_{ном.p}} \rightarrow k_0 \geq \frac{202.25}{101} \approx 2$$

Для верстатів вертикально-свердлильних:

$$I_{BC.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{6.75}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.64} = 16.025 \text{ (A)} \quad (2.36)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 20 \text{ (A)}$$

До (2.36) обирається також АВА47/20 із характеристикою D (рис. 2.5).

Оскільки у даній ЛП наявні ЕД, виконуємо перевірку:

$$I_{(пик)} = I_{мх} + I_{пуск.нб} - I_{н.нб} \cdot k_{\epsilon} = 135.5 + 104.17 - 14.43 = 225.24 \text{ (A)}$$

$$I_{пуск.нб} = 6.5 \cdot I_{ном.нб} = 104.17 \text{ (A)} \quad I_0 \geq 1.15 \cdot I_{(пик)} = 259.05 \text{ (A)} \quad (2.37)$$

$$k_0 \geq \frac{I_0}{I_{ном.p}} \rightarrow k_0 \geq \frac{259.05}{101} \approx 2.5$$

Для верстатів шліфувальних:

$$I_{BC.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{3.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.68} = 7.82 \text{ (A)} \quad (2.38)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 8 \text{ (A)}$$

За (2.38) обирається все той же АВА47/20 із характеристикою D.

Враховуючи, що ЛП також із ЕД, тоді перевіряємо:

$$I_{(пик)} = I_{мх} + I_{пуск.нб} - I_{н.нб} \cdot k_v = 135.5 + 50.83 - 7.82 = 205.79 \text{ (A)}$$

$$I_{пуск.нб} = 6.5 \cdot I_{ном.нб} = 50.83 \text{ (A)} \quad I_0 \geq 1.15 \cdot I_{(пик)} = 236.66 \text{ (A)} \quad (2.39)$$

$$k_0 \geq \frac{I_0}{I_{ном.p}} \rightarrow k_0 \geq \frac{236.66}{101} = 2.35$$

Параметри установка для загартування складають:

$$I_{BC.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{14.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.69} \approx 32 \text{ (A)} \quad (2.40)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 32 \text{ (A)}$$

Враховуючи умови (2.40) обирається все той же АВА47/63 із характеристикою D.

Показники другого верстату шліфувального, за струмом визначимо за (2.41), а от параметри у ЛП можна взяти із (2.39), де також досліджувався верстат такого типу, адже різниця відхилення є невелика.

$$I_{ВШ.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{5.75}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.69} = 12.94 \text{ (A)} \quad (2.41)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 16 \text{ (A)}$$

Відповідно за (2.41) обирається все той же АВА47/20 із характеристикою D.

Для пересувних машин:

$$I_{ПС.ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{15.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.64} = 36.8 \text{ (A)} \quad (2.42)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 40 \text{ (A)}$$

У відповідності до (2.42) обирається все той же АВА47/63 із характеристикою D.

Враховуючи, що ЛП також із ЕД, тоді перевіряємо:

$$I_{(пик)} = I_{мх} + I_{пуск.нб} - I_{н.нб} \cdot k_v = 135.5 + 239.2 - 36.8 = 337.91 \text{ (A)}$$

$$I_{пуск.нб} = 6.5 \cdot I_{ном.нб} = 239.2 \text{ (A)} \quad I_0 \geq 1.15 \cdot I_{(пик)} = 236.66 \text{ (A)} \quad (2.43)$$

$$k_0 \geq \frac{I_0}{I_{ном.p}} \rightarrow k_0 \geq \frac{337.91}{126} = 2.69$$

До (2.42) обираємо все АВА47/63 із характеристикою С.

Параметри машини для сушіння:

$$I_{MC.ном} = \frac{P_{ii}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{13.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.94} = 21.82 \text{ (A)} \quad (2.44)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 25 \text{ (A)}$$

Приймаючи до уваги (2.44) обирається все той же АВА47/63 із характеристикою В.

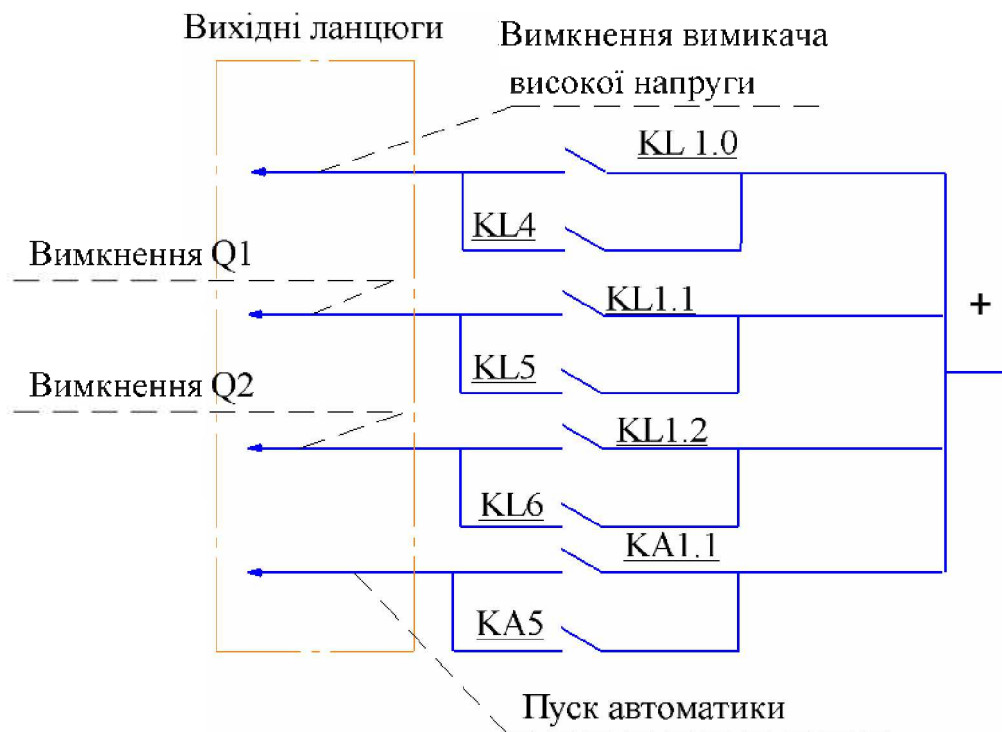


Рисунок 2.6 – Захист навантаження (вихідна ланка для Т)

І нарешті показники у групі пристроїв випробувальних:

$$I_{BC.ном} = \frac{P_{ii}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\gamma)} = \frac{17.5}{1.732 \cdot 0.38 \cdot 0.63} = 42.543 \text{ (A)} \quad (2.45)$$

$$I_{н.ав} \geq I_{ном.p} = 48 \text{ (A)}$$

За умови вираженої у (2.45) обирається все той же АВА47/63 із характеристикою В.

Надалі обираємо ЛЕП, із врахуванням у відповідності пристроїв РЗ у відповідності до умов.

$$I_{\text{дод}} \geq k_{\text{захс}} \cdot I_{\text{yn(Пр)}} \quad (2.46)$$

де: $k_{\text{захс}} = 1$ – показник для приміщень нормальних.

Пункт з'єднання - АЕВ 400, SF, ЛП із групою ЕД:

$$I_{\text{дод}} \geq k_{\text{захс}} \cdot I_{\text{yn(Пр)}} = 1 \cdot 1.2 \cdot 260 = 312 \text{ (А)} \quad (2.47)$$

Інші ж точки (для навантаження) розраховуються так само, як (2.46–2.47), тоді занесемо результат до табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Результати обрання у групі навантаження захисних апаратів

Назва ЕО	Апарати захисту		Лінія ЕС		
	Тип	$I_{\text{ном.р}}$ (А)	Тип	$I_{\text{дод}}$ (А)	L (м)
Розточувальні верстати	ВА47/29	32	АВВГ4*10	48	25
Клепальні машини	АВА47/20	8	АВВГ4*2,5	19,5	46
Верстати токарні	АВА47/20	12	АВВГ4*2,5	19,5	46
Верстати фрезерні	АВ47/63	26	АВВГ 4*6	36	17
Верстати вертикально-свердлильні	АВА47/20	20	АВВГ 4*4	28	44
Верстат шліфувальний	АВА47/20	8	АВВГ4*2,5	19,5	46
Установка для загартовування	АВ47/63	32	АВВГ4*10	48	25
Верстат шліфувальний	АВА47/20	16	АВВГ 4*4	28	44

Пересувна машина	AB47/63	40	ABBG 4*16	60	26
Конвеєрна лінія	AB47/63	50	ABBG 4*16	60	26
Машина для сушіння	AB47/63	26	ABBG 4*6	36	17
Пристрій випробувальний	AB47/63	48	ABBG 4*16	60	26

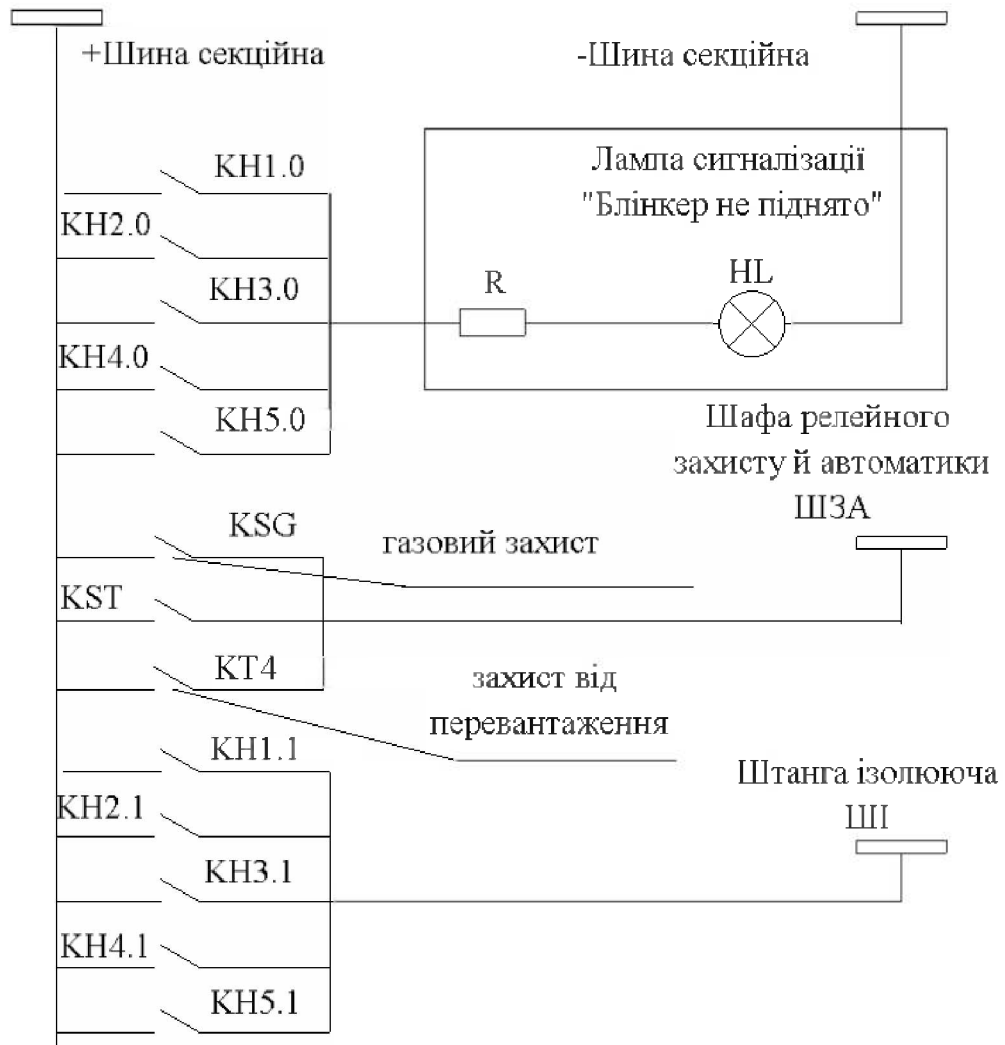


Рисунок 2.7 – Ланка сигналізації

3. ОБРАННЯ І ПЕРЕВІРКА ЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ. СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЗ ДЛЯ ЕМ ПІДПРИЄМСТВА.

3.1 Визначення параметрів КЗ.

Час спрацьовування реле захисту (релейного захисту) може відрізнятися від ідеального (тобто від запланованого або бажаного) з кількох причин:

1. Затримка реакції - релейний захист має певний час, необхідний для обробки сигналу і прийняття рішення про спрацювання. Цей час затримки обумовлено процесами усередині реле, такими як аналіз та фільтрація вхідного сигналу. Ця затримка може бути невеликою, але все одно впливає на точність спрацювання.

2. Технічні обмеження - РЗ реалізуються за допомогою електронних та механічних компонентів, які не можуть реагувати миттєво. Наприклад, механічне реле вимагає часу для переміщення контактів, а електронні компоненти мають фізичні обмеження швидкості обробки сигналу.

3. Налаштування та конфігурація – РЗ можуть бути налаштовані із різними параметрами й затримками, аби врахувати особливості конкретної мережі і запобігти помилковим спрацюванням. Неправильне налаштування може призвести до тимчасових затримок.

4. Фільтрування перешкод та шумів - РЗ зазвичай обладнаний фільтрами для усунення перешкод і шумів у сигналах. Це може викликати додаткову затримку у виявленні й реакції на подію.

5. Рівень чутливості – в деяких випадках РЗ налаштовують на більш високий рівень чутливості, що може спричинити небажані спрацювання у відповідь на короткочасні та незначні зміни.

6. Складність системи – у великих й складних електроенергетичних системах із безліччю підстанцій і обладнання затримки при спрацюванні можуть виникнути через час, котрий є необхідним для поширення сигналу вздовж мережі.

7. Оновлення і обслуговування – РЗ, як і будь-яке електронне обладнання, потребує регулярного обслуговування та оновлень. Це може вплинути на його характеристики та час реакції.

8. Людський фактор – помилки в установці, обслуговуванні і налаштуванні РЗ здатні призводити до відхилень від ідеального часу спрацювання.

Загалом час спрацювання РЗ залежить від безлічі факторів і зазвичай є компромісом між швидкістю реакції й хибними небажаними спрацюваннями. Розробники й інженери прагнуть оптимізувати цей процес, щоб забезпечити найкращий захист для електроенергетичної системи.

3.1.1 Визначення 3-фазного КЗ

Для проведення розрахунків у I_{K3} варто визначити лінію характеристичну, яка зазвичай визначається за наявністю найвіддаленішого або найпотужнішого електроприймача. Із табл. 2.1 видно, що таким приймачем може бути верстат шліфувальний. Таким чином, вихідні дані для розрахунку I_{K3} - це верстат шліфувальний.

Тоді Необхідно виконати наступні кроки:

а) Виконати схему заміщення (СЗ) та присвоїти номери за точкам КЗ відповідно до вихідної розрахункової схеми.

б) Визначити опори у елементів й внести їх на СЗ.

в) Розв'язати I_{K3} за кожної точки й скласти " Відомість зведену I_{K3} ".

Для вхідної системи:

$$I_{E.C} = \frac{S_{T.H}}{\sqrt{3} \times U_{E.C}} = \frac{250}{\sqrt{3} \times 10} = 14.434 \text{ (A)} \quad (3.1)$$

ПЛ зовнішня має конфігурацію 3х35 із $I_{доп}=120$ (А). Тому спершу обираємо питомий опір

$$x_0 = 0.39 \left(\frac{OM}{KM} \right) r_o = \frac{10^3}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3}{35 \cdot 30} = 0.952 \left(\frac{OM}{KM} \right)$$

$$X'_{E.C} = x_0 \cdot L_{E.C} = 0.39 \cdot 0.28 = 0.1092 \text{ (OM)} \quad (3.1)$$

$$R'_{E.C} = r_0 \cdot L_{E.C} = 0.952 \cdot 0.28 = 0.2666 \text{ (OM)}$$

Відповідно величини (3.1) приводиться до НН

$$R_{E.C} = R'_{E.C} \cdot \left(\frac{U_{H.H}}{U_{B.H}} \right)^2 = 0.2666 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0.4}{10} \right)^2 = 0.4266 \text{ (mOM)} \quad (3.2)$$

$$X_{E.C} = X'_{E.C} \cdot \left(\frac{U_{H.H}}{U_{B.H}} \right)^2 = 0.1092 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0.4}{10} \right)^2 = 0.1747 \text{ (mOM)}$$

Відповідно далі ідучи за схемою рис. 3.1 для трансформатору:

$$R_T = 9.3 \text{ (mOM)}; X_T = 27.2 \text{ (mOM)}; Z_T^{<1>} = 309 \text{ (mOM)} \quad (3.3)$$

Для АВ за паспортними даними:

$$R_{SF_1} = 0.11 \text{ (mOM)}; R_{SF_{n.1}} = 0.16 \text{ (mOM)}; X_{SF_1} = 0.12 \text{ (mOM)} \quad (3.4)$$

$$R_{SF_2} = 2.45 \text{ (mOM)}; R_{SF_{n.2}} = 1.05 \text{ (mOM)}; X_{SF_2} = 2.1 \text{ (mOM)}$$

$$R_{SF_3} = 2.45 \text{ (mOM)}; R_{SF_{n.3}} = 1.05 \text{ (mOM)}; X_{SF_3} = 2.1 \text{ (mOM)}$$

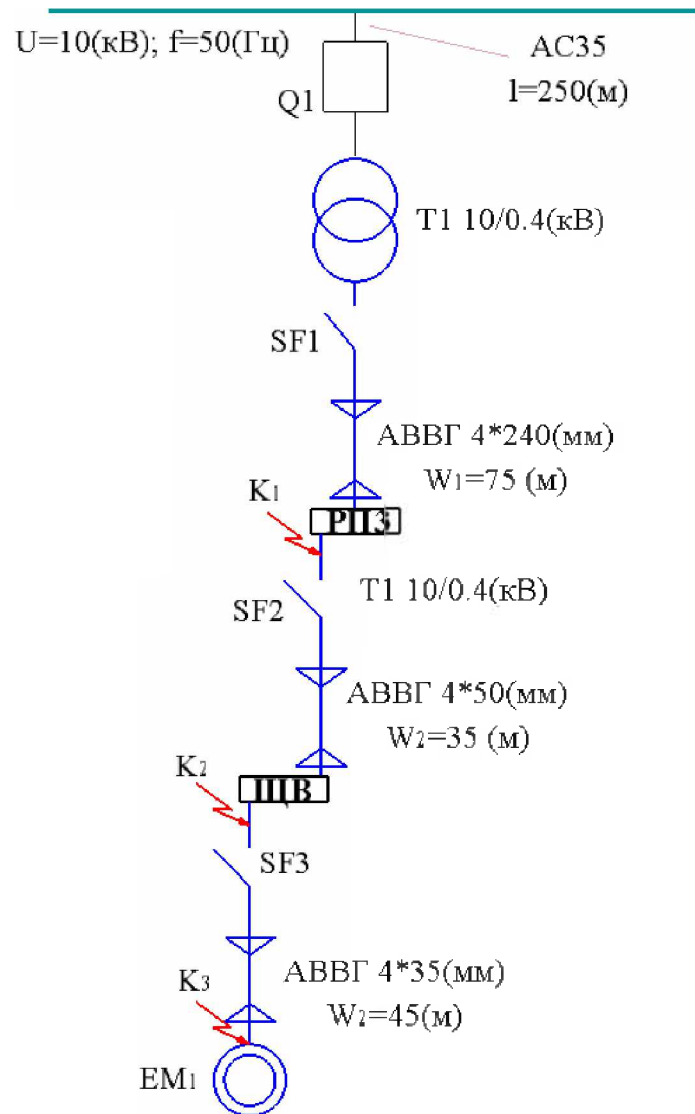


Рисунок 3.1 – Схема електропостачання для розрахунків.

Тоді для загальної лінії:

$$r_0 = 0.331 \left(\frac{\text{мОм}}{\text{м}} \right); \quad x_0 = 0.055 \left(\frac{\text{мОм}}{\text{м}} \right)$$

$$R_{K..L_{(заг)}} = L_{K..L_{(заг)}} \times r_0 = 110 \times 0.331 = 36.41 \text{ (мОм)}; \quad (3.5)$$

$$X_{K..L_{(заг)}} = L_{K..L_{(заг)}} \times x_0 = 110 \times 0.055 = 6.05 \text{ (мОм)}$$

Відповідно до КЛ₁:

$$\begin{aligned}
r_{0(KI_1)} &= 0.127 \left(\frac{MO}{M} \right); \quad x_{0(KI_1)} = 0.081 \left(\frac{MO}{M} \right) \\
R_{K.I_1} &= L_{K.I_1} \times r_{0(KI_1)} = 45 \times 0.127 = 5.715 \text{ (} MO \text{)}; \\
X_{K.I_1} &= L_{K.I_1} \times x_{0(KI_1)} = 45 \times 0.081 = 3.645 \text{ (} MO \text{)}
\end{aligned} \tag{3.6}$$

Відповідно до КЛ₂:

$$\begin{aligned}
r_{0(KI_2)} &= 0.618 \left(\frac{MO}{M} \right); \quad x_{0(KI_2)} = 0.079 \left(\frac{MO}{M} \right) \\
R_{K.I_2} &= L_{K.I_2} \times r_{0(KI_2)} = 45 \times 0.618 = 27.81 \text{ (} MO \text{)}; \\
X_{K.I_2} &= L_{K.I_2} \times x_{0(KI_2)} = 45 \times 0.079 = 3.555 \text{ (} MO \text{)}
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Відповідно до КЛ₃:

$$\begin{aligned}
r_{0(KI_3)} &= 2.86 \left(\frac{MO}{M} \right); \quad x_{0(KI_3)} = 0.114 \left(\frac{MO}{M} \right) \\
R_{K.I_3} &= L_{K.I_3} \times r_{0(KI_3)} = 45 \times 2.86 = 128.7 \text{ (} MO \text{)}; \\
X_{K.I_3} &= L_{K.I_3} \times x_{0(KI_3)} = 45 \times 0.114 = 5.13 \text{ (} MO \text{)}
\end{aligned} \tag{3.8}$$

Для відповідних (рис. 3.1) ступеней у РП опори:

$$R_{C_{ПП1}} = 16 \text{ (} MO \text{)}; \quad R_{C_{ПП2}} = 21 \text{ (} MO \text{)} \tag{3.9}$$

Надалі розглядається схема заміщення спрощена (рис. 3.2), де проводяться розрахунки за опорами еквівалентними поміж відповідними точками КЩ, котрі і відображаються на тій же схемі (рис. 3.2-3.3).

$$R_{екв.1} = R_{E.C} + R_{Tp} + R_{SF_1} + R_{SF_{n.1}} = 0.4266 + 9.4 + 0.11 + 0.16 \approx 10.1 \text{ (мОм)}$$

$$X_{екв.1} = X_{E.C} + X_{Tp} + X_{SF_1} = 0.1747 + 27.2 + 0.12 = 27.495 \text{ (мОм)}$$

$$R_{екв.2} = R_{KL_1} + R_{EC_1} + R_{K.L_{(заг)}} + R_{KL_2} + R_{EC_2} + R_{SF_2} + R_{SF_{n.2}} = \quad (3.10)$$

$$= 5.715 + 27.81 + 36.41 + 0.4266 + 2.45 + 0.462 + 1.05 = 74.324 \text{ (мОм)}$$

$$X_{екв.2} = X_{KL_2} + X_{KL_{(з)}} + X_{SF_2} + X_{KL_1} = 7.21 + 6.05 + 2.1 = 15.35 \text{ (мОм)}$$

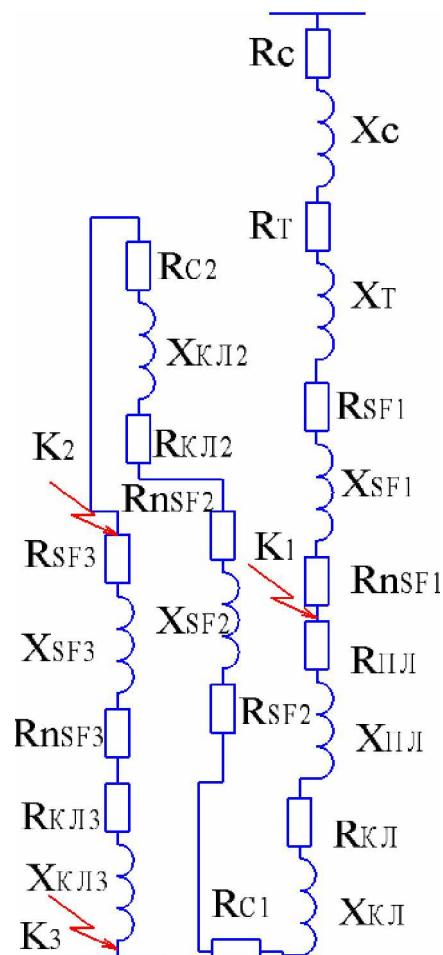


Рисунок 3.2. – Схема заміщення ЕС

$$R_{екв.3} = R_{KI_3} + R_{SF_{n.2}} + R_{SF_3} = 128.7 + 2.45 + 0.462 + 1.05 = 132.66 \text{ (мОм)}$$
(3.11)

$$X_{екв.3} = X_{SF_3} + X_{KI_3} = 2.45 + 5.13 = 7.58 \text{ (мОм)}$$

Відповідно далі визначимо опір кожної КЗ:

$$R_{K_{(1)}} = R_{екв.1} = 10.1 \text{ (мОм)}; \quad X_{K_{(1)}} = X_{екв.1} = 27.495 \text{ (мОм)}$$
(3.12)

$$Z_{K_{(1)}} = \sqrt{R_{K_{(1)}}^2 + X_{K_{(1)}}^2} = \sqrt{10.1^2 + 27.495^2} = 29.71 \text{ (мОм)}$$

$$R_{K_{(2)}} = R_{екв.2} = 74.324 \text{ (мОм)}; \quad X_{K_{(2)}} = X_{екв.2} = 15.35 \text{ (мОм)}$$
(3.13)

$$Z_{K_{(2)}} = \sqrt{R_{K_{(2)}}^2 + X_{K_{(2)}}^2} = \sqrt{74.324^2 + 15.35^2} = 75.89 \text{ (мОм)}$$

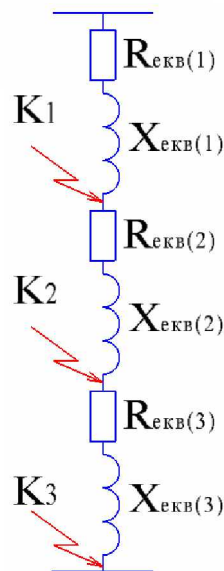


Рисунок 3.3 – Спрощена СЗ

$$R_{K_{(3)}} = R_{екв.3} = \nu \text{ (МОм)}; \quad X_{K_{(3)}} = X_{екв.3} = 7.58 \text{ (МОм)}$$

(3.14)

$$Z_{K_{(3)}} = \sqrt{R_{K_{(3)}}^2 + X_{K_{(3)}}^2} = \sqrt{132.66^2 + 7.58^2} = 132.88 \text{ (МОм)}$$

Визначаємо відношення:

$$\frac{R_{K_{(1)}}}{X_{K_{(1)}}} = \frac{27.495}{29.71} = 0.941 \quad \frac{R_{K_{(2)}}}{X_{K_{(2)}}} = \frac{74.324}{15.35} = 4.842 \quad \frac{R_{K_{(3)}}}{X_{K_{(3)}}} = \frac{132.66}{7.58} = 17.51 \quad (3.15)$$

Далі розрахуємо коеф-ти k_n та q :

$$k_{n(1)} = f\left(\frac{R_{K_{(1)}}}{X_{K_{(1)}}}\right) = f(0.941) = 1.17 \quad k_{n(2)} = f\left(\frac{R_{K_{(2)}}}{X_{K_{(2)}}}\right) = f(4.842) = 1 \quad (3.16)$$

$$k_{n(3)} = f\left(\frac{R_{K_{(3)}}}{X_{K_{(3)}}}\right) = f(17.51) = 1$$

$$q_1 = \sqrt{2 \cdot (k_{n(1)} - 1)^2 + 1} = \sqrt{1 + 2 \cdot (1.17 - 1)^2} = 1.015 \quad q_2 = q_3 = 1 \quad (3.17)$$

Тепер можемо обчислити $I^{<3>}_{кз}$ та $I^{<2>}_{кз}$ і зафіксувати результати в табл.

3.1.

$$\begin{aligned}
I_{K_1}^{<3>} &= \frac{U_{K_1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K_{(1)}}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{1.732 \cdot 29.71} = 7.78 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{K_2}^{<3>} &= \frac{U_{K_1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K_{(2)}}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{1.732 \cdot 75.89} = 3.043 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{K_3}^{<3>} &= \frac{U_{K_1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K_{(3)}}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{1.732 \cdot 132.88} = 1.738 \text{ (}\kappa A\text{)}
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Попередньо визначимо струм за період та амплітудний струм ударний:

$$\begin{aligned}
I_{y.K_{(1)}} &= q_1 \cdot I_{K_{(1)}}^{<3>} = 1.015 \cdot 7.78 = 7.8967 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{y.K_{(2)}} &= q_2 \cdot I_{K_{(2)}}^{<3>} = 3.043 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
I_{y.K_{(3)}} &= q_3 \cdot I_{K_{(3)}}^{<3>} = 1.738 \text{ (}\kappa A\text{)}
\end{aligned} \tag{3.19}$$

$$\begin{aligned}
i_{y.K_{(1)}} &= \sqrt{2} \cdot k_{n(1)} \cdot I_{K_{(1)}}^{<3>} = 1.414 \cdot 1.17 \cdot 7.78 = 15.13 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
i_{y.K_{(2)}} &= \sqrt{2} \cdot k_{n(2)} \cdot I_{K_{(2)}}^{<3>} = 1.414 \cdot 1 \cdot 3.043 = 4.303 \text{ (}\kappa A\text{)} \\
i_{y.K_{(3)}} &= \sqrt{2} \cdot k_{n(3)} \cdot I_{K_{(3)}}^{<3>} = 1.414 \cdot 1 \cdot 1.738 = 2.458 \text{ (}\kappa A\text{)}
\end{aligned} \tag{3.20}$$

$$I_{K_1}^{<2>} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K_1}^{<3>}}{2} = 0.866 \cdot 7.78 = 6.738 \text{ (кА)}$$

$$I_{K_2}^{<2>} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K_2}^{<3>}}{2} = 0.866 \cdot 3.043 = 2.635 \text{ (кА)} \quad (3.21)$$

$$I_{K_3}^{<2>} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K_3}^{<3>}}{2} = 0.866 \cdot 1.738 = 1.505 \text{ (кА)}$$

3.1.2 Визначення однофазного КЗ.

Після виконаного у 3.1.1 розробляється СЗ вже для визначення $I^{<1>}_{\text{КЗ}}$ (рис. 3.4), і визначаємо опори відповідні.

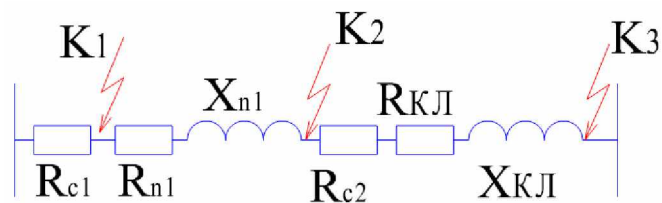


Рисунок 3.4. – СЗ для визначення $I^{<1>}_{\text{КЗ}}$

Тоді для КЛ:

$$X_{\Pi.КЛ_{(1)}} = x_{0.n} \cdot L_{КЛ_{(1)}} = 0.081 \cdot 55 = 4.455 \text{ (мОм)}$$

$$R_{\Pi.КЛ_{(1)}} = 2 \cdot L_{КЛ_{(1)}} \cdot r_0 = 2 \cdot 0.127 \cdot 55 = 13.97 \text{ (мОм)} \quad (3.22)$$

$$R_{\Pi.КЛ_{(2)}} = r_{0.n} \cdot L_{КЛ_{(2)}} = 0.618 \cdot 55 \approx 34 \text{ (мОм)}$$

$$X_{\Pi.KI_{(2)}} = x_{0.n} \cdot L_{KI_{(2)}} = 0.079 \cdot 55 = 4.345 \text{ (} \mu\text{Om)}$$

$$Z_{\Pi_{(1)}} = 16.5 \text{ (} \mu\text{Om)}$$

$$R_{\Pi_{(2)}} = R_{EC_{(1)}} + R_{EC_{(2)}} + R_{\Pi_{(1)}} = 27.81 + 2.45 + 12.63 = 42.89 \text{ (} \mu\text{Om)}$$

$$X_{\Pi_{(2)}} = 1.78 \text{ (} \mu\text{Om)}$$

$$Z_{\Pi_{(2)}} = \sqrt{X_{\Pi_{(2)}}^2 + R_{\Pi_{(2)}}^2} = \sqrt{1.78^2 + 42.89^2} = 42.93 \text{ (} \mu\text{Om)}$$

(3.23)

$$R_{\Pi_{(3)}} = R_{\Pi_{(2)}} + R_{\Pi.KI_{(1)}} = 42.89 + 13.97 = 56.86 \text{ (} \mu\text{Om)}$$

$$X_{\Pi_{(3)}} = X_{\Pi_{(2)}} + X_{\Pi.KI_{(1)}} = 1.78 + 4.455 = 6.235 \text{ (} \mu\text{Om)}$$

$$Z_{\Pi_{(3)}} = \sqrt{X_{\Pi_{(3)}}^2 + R_{\Pi_{(3)}}^2} = \sqrt{6.235^2 + 56.86^2} = 57.21 \text{ (} \mu\text{Om)}$$

Відповідно струм $I^{<1>}_{K3}$:

$$I_{K_1}^{<1>} = \frac{U_K}{\frac{Z_{T_{(1)}}^{(1)}}{3} + Z_{\Pi_{(1)}}} = \frac{0.22 \cdot 10^3}{(\frac{78}{3} + 16.5) \cdot 10^{-3}} = 5.176 \text{ (} \kappa A)$$

(3.24)

$$I_{K_2}^{<1>} = \frac{U_K}{\frac{Z_{(1)}^{(I)}}{3} + Z_{\Pi_{(2)}}} = \frac{0.22 \cdot 10^3}{(\frac{78}{3} + 42.93) \cdot 10^{-3}} = 3.192 \text{ (кА)}$$

$$I_{K_3}^{<1>} = \frac{U_K}{\frac{Z_{(1)}^{(I)}}{3} + Z_{\Pi_{(3)}}} = \frac{0.22 \cdot 10^3}{(\frac{78}{3} + 57.21) \cdot 10^{-3}} = 2.644 \text{ (кА)}$$

Таблиця 3.1 – Розрахункові I_{K3}

Точка КЗ	R_K , мОм	X_K , мОм	Z_K , мОм	R_K/Z_K	k_{Π}	q	$I^{<3>}_{K3}$ кА	i_y , кА	$I^{<2>}_{K3}$, кА	Z_{Π} , мОм	$I^{<1>}_{K3}$, кА
K_1	10.1	2.945	29.71	0.94	1.17	1.02	7.78	15.13	6.738	16.5	5.176
K_2	74.32	15.35	75.89	4.84	1	1	3.04	4.303	2.635	42.93	3.192
K_3	132.66	7.58	138.6	17.5	1	1	1.74	2.458	1.505	57.21	2.644

3.2 Перевірка обраних АВ.

У відповідності до умов, що стосуються I_{K3} , виконуємо перевірку апаратів захисту на ефективність обробки:

$$\text{для } SF_1: I_{K_1}^{<1>} \geq 3 \cdot I_{н.р.(SF_1)} \rightarrow 5.176 \text{ (кА)} \geq 0.81 \text{ (кА)}$$

$$\text{для } SF_2: I_{K_2}^{<1>} \geq 3 \cdot I_{н.р.(SF_2)} \rightarrow 2.644 \text{ (кА)} \geq 0.363 \text{ (кА)} \quad (3.25)$$

$$\text{для } SF_3: I_{K_3}^{<1>} \geq 3 \cdot I_{н.р.(SF_3)} \rightarrow 0.165 \text{ (кА)} \geq 0.018 \text{ (кА)}$$

Автомати забезпечені надійною здатністю до відключення, яка відображена у показнику $I_{відкл}$, відповідно у 3.26 він визначається для SF_{1-3}

$$\begin{aligned}
I_{відкл}(SF_1) &\geq \sqrt{2} \cdot I_{K_1(\infty)}^{<3>} \rightarrow 42 \geq \sqrt{2} \cdot 25.5 \rightarrow 42 \geq 36 \\
I_{відкл}(SF_2) &\geq \sqrt{2} \cdot I_{K_2(\infty)}^{<3>} \rightarrow 27 \geq \sqrt{2} \cdot 9.35 \rightarrow 27 \geq 13.2 \\
I_{відкл}(SF_3) &\geq \sqrt{2} \cdot I_{K_3(\infty)}^{<3>} \rightarrow 4.75 \geq \sqrt{2} \cdot 0.39 \rightarrow 4.75 \geq 0.55
\end{aligned} \tag{3.26}$$

АВ відключаються при КЗ, при цьому не піддаючись руйнуванню. При виборі (Ко) для кожного АВ враховано відновлення від пускових струмів, тобто:

$$I_{n(K3_i)} \geq I_{(y)} \tag{3.26}$$

Умови перевірки на ТС, для точки із АВ типу АЕ:

$$\begin{aligned}
S_{KL.1} &\geq S_{KL.1.(T.C)} \rightarrow 240 \text{ (мм}^2\text{)} \geq \alpha \cdot I_{K.1(t=\infty)}^{<3>} \cdot \sqrt{t_{y(1)}} \\
240 \text{ (мм}^2\text{)} &\geq 231.5 \text{ (мм}^2\text{)}
\end{aligned} \tag{3.27}$$

Відповідно для групи приймачів РП:

$$S_{KL.2} \geq S_{KL.2.(T.C)} \rightarrow 50 \text{ (мм}^2\text{)} \geq 8.5 \cdot 6.75 \cdot \sqrt{0.4} = 36.28 \text{ (мм}^2\text{)} \tag{3.28}$$

А для РП5:

$$S_{KL.3} \geq S_{KL.3.(T.C)} \rightarrow 2.5 \text{ (мм}^2\text{)} \geq 1.5 \cdot 0.39 \cdot \sqrt{0.11} = 0.194 \text{ (мм}^2\text{)} \tag{3.29}$$

3.3 Вибір методу, щодо підвищення надійної роботи ЕП при аварійних ситуаціях.

Перехід на мікропроцесорну технологію для реалізації терміналів спрямованої дистанційної захисту електромережі приніс певні зміни у роботу релейних захистів. Алгоритми релейного захисту лишилися практично незмінними з часу їх створення, і це призвело до проблем, зокрема, важкості у відокремленні навантажувальних і аварійних режимів електромережі.

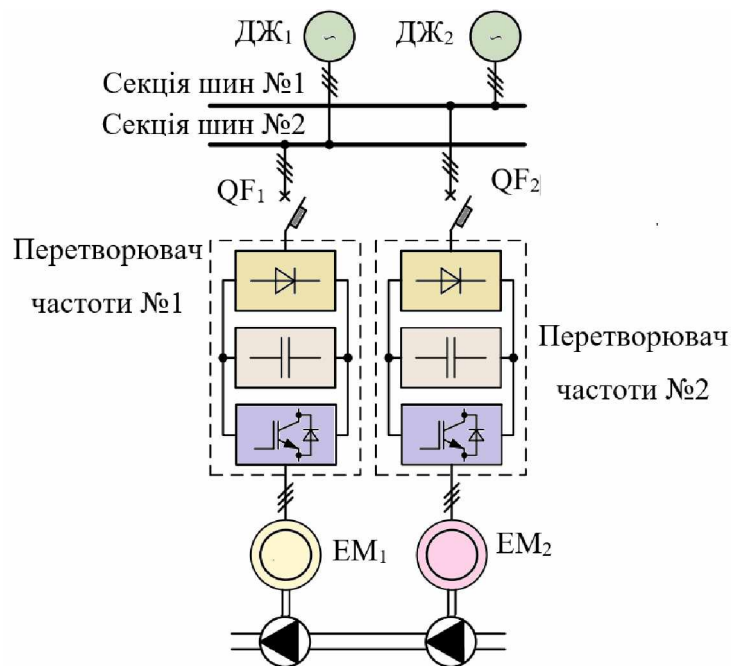


Рисунок 3.5–Взаємного резервування для двох ЧРП

На момент створення цих алгоритмів вони показали велике підвищення надійності в роботі електромережі при нормальних навантаженнях. Проте сучасні умови вимагають вищого рівня надійності, і статистика показує, що ці алгоритми більше не відповідають цим вимогам.

Зараз мікропроцесорна технологія відкриває нові можливості для розробки більш ефективних алгоритмів дистанційних захистів. Можна продовжувати розробку алгоритмів за класичним методом, але також можна використовувати статистичний підхід на основі широкої бази статистичних даних про роботу релейних захистів та процесів в електромережі.

Однією з можливих модифікацій є внесення змін до алгоритму роботи резервного ступеня дистанційного захисту. Цей алгоритм може бути більш динамічним і змінювати свою роботу в залежності від навантаження. Наприклад, він може враховувати опір навантаження, щоб уникнути помилкового включення захисту в нормальних умовах і зробити його більш чутливим при малих навантаженнях у порівнянні зі струмами короткого замикання. У випадку аварій алгоритм може повертатися до звичайного режиму роботи.

Найбільш спрощеним із варіантів забезпечення безперебійної роботи важливих споживачів електроенергії ЕС (рис. 3.1). Так у [5] зазначається на можливість використання ЧРЕП, котрі мають живлення від незалежних вводів, для керування двома верстатами, які працюють одночасно. У випадку відмови одного ЕП автоматично збільшується частота обертання ЕД другого верстата, і нормальний режим подачі відновлюється. Проте недоліком цього методу є неефективне використання енергії через одночасну роботу двох ЕП та великі витрати на додаткове обладнання і послідуєчне обслуговування.

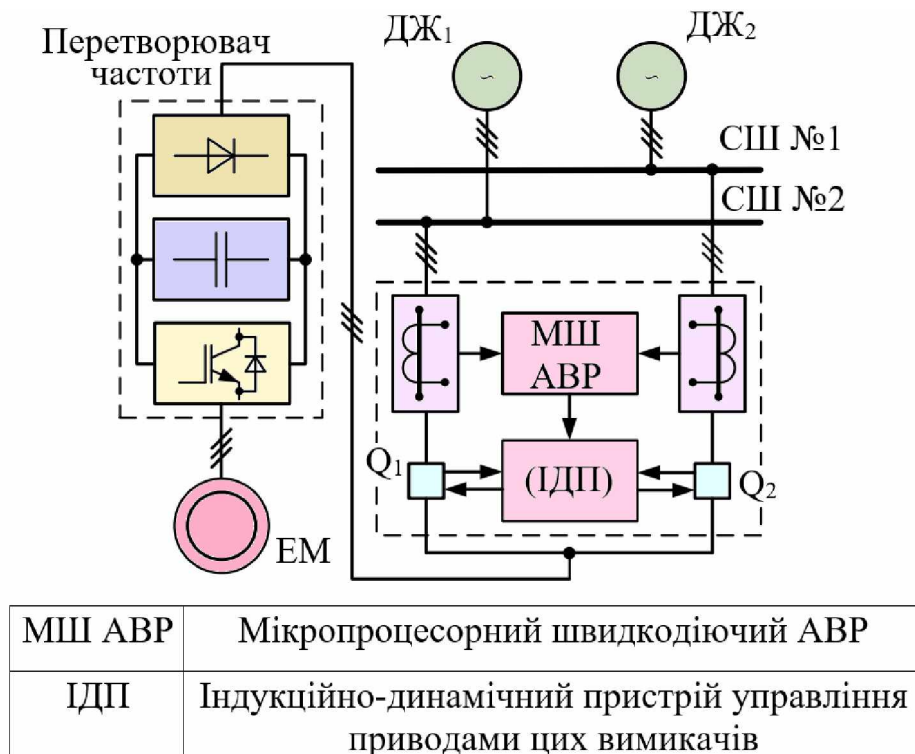


Рисунок 3.6 – Живлення ЛП від двох НВ із впровадженням АВР

Тоді іншим способом, щодо забезпечення у надійності роботи частотних ЕП, буде той, коли один випрямляч живиться від двох незалежних секцій шин (представлений на рис. 3.6). Важливо, аби перемикання між основним і резервним живленням відбувалося протягом короткого періоду частоти ЕМ, для чого застосовують швидкодіючу автоматику та сучасну комутаційну апаратуру. Впровадження таких вимог може бути реалізоване за допомогою пристроїв швидкодіючого АВР (або далі ШАВР), які стають популярними в мережах 10 кВ, особливо під час роботи із рухомими навантаженнями.

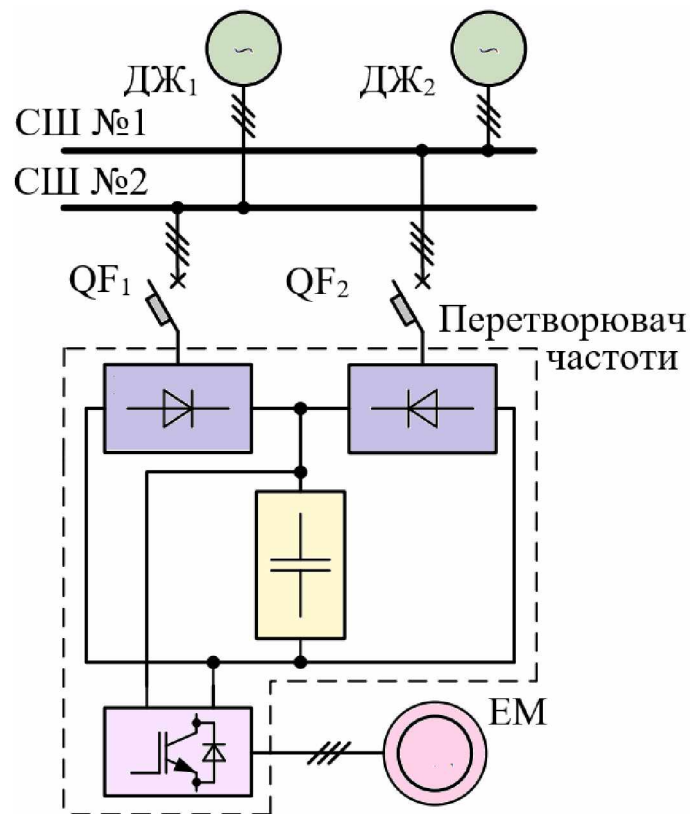


Рисунок 3.7 – Живлення ЕП обладнання за резервуванням випрямлячів

ШАВР включає в себе ВВ, динамічні та індукційні пристрої керування та мікропроцесорний швидкодіючий пристрій пусковий для АВР. Забезпечення живлення у ЧРП відповідальних споживачів (відповідної категорії) із двох незалежних введів через АВР може бути реалізовано через схему (на рис. 3.6-3.7). Сучасні АВР характеризуються швидкими циклами перемикання на резервне джерело, проте такий підхід може ускладнити систему

електропостачання та викликати проблеми щодо завантаження вводів і селективності пристроїв РЗ.

ПЗ	Пристрій зв'язку
ПК	Пристрій керування
ВІ ЕД	Вентильно-індукторні ЕД

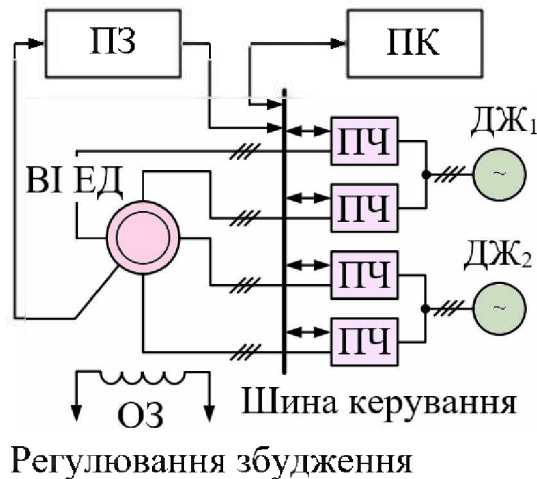


Рисунок 3.8— Живлення і керування обладнанням у 4-х секціях із використанням ВІ ЕД.

Модель рис. 3.7 на можливість забезпечення неперервної роботи ЧРП через резервування випрямлячів, які входять до складу ЕП змінної частоти. В такій схемі пропонується живлення основного й резервного випрямлячів від двох незалежних секцій шин, щоб забезпечити неперервність роботи при відмові або втраті напруги на одному із вводів. Резервний випрямляч утримує необхідний рівень напруги на вході фільтра, яка допомагає забезпечити роботу нормальну системи при коливаннях напруги мережі.

Для рівномірного розподілу навантаження між вводами, до яких підключені основний та резервний випрямлячі, використовується стабілізуючий пристрій - статичний компенсатор. Однак вказується, що цей підхід ускладнює схему живлення та потребує значних витрат на його впровадження. Також висловлюється сумнів щодо ефективності запропонованого рішення.

Остаточний вибір рішення, яке передбачає внесення змін у схемотехніку використовуваних приводів змінної частоти (ПЧ) та удосконалення системи

електроживлення. Запропоноване рішення включає в себе впровадження спеціальних машин змінного струму - ВІД замість звичайних СД і АД.

Вентильно-індукторний двигун є багатосекційним ЕД із безобмоточним ротором та незалежними статорними обмотками, кожна з яких живиться власним приводом частоти. Зазначається, що конструктивна такі ЕП для роботи з ВІД не відрізняються від ПЧ, котрі входять до складу АД і СД ЕП змінної частоти.

Тоді ВІД забезпечує високу надійність та безперебійну роботу завдяки наявності декількох секцій з незалежним електроживленням для регульованих електроприводів відповідальних пристроїв.

```

1  √ import numpy as np
2    from sklearn.svm import SVR
3    from sklearn.neural_network import MLPRegressor
4    from sklearn.metrics import mean_squared_error
5    from sklearn.model_selection import train_test_split
6
7    # Генерація симульованих даних
8    # Ваші дані повинні бути підставленими сюди
9    data = np.random.rand(100, 5) # Приклад: 100 зразків та 5 ознак
10   target = np.random.rand(100) # Приклад: 100 цільових значень
11
12   # Розділення даних на тренувальний та тестовий набори
13   data_train, data_test, target_train, target_test = \
14   |   train_test_split(data, target, test_size=0.2, random_state=42)
15
16   # Метод "support vector machine"
17   svr = SVR()
18   svr.fit(data_train, target_train)
19   svr_prediction = svr.predict(data_test)
20
21   # Метод "gray theory"
22  √ def gray_theory(data, target):
23
24   |   gray_result = np.mean(data, axis=1) # Спрощена функція
25   |   return gray_result

```

Рисунок 3.9 – Імпорт бібліотек ШНМ, створення функції навчання

На рис. 3.9 представлено процес підключення потрібних для функціонування ШНМ бібліотек, а також: початковий розділ даних на сектори

(тренування, апробації або тести), створення конструктору ШНМ та послідуного його заповнення даними із електромережі.

```

26
27 gray_prediction = gray_theory(data_train, target_train)
28
29 # Метод "BP neural network"
30 mlp = MLPRegressor(hidden_layer_sizes=(10, 10), max_iter=1000)
31 mlp.fit(data_train, target_train)
32 mlp_prediction = mlp.predict(data_test)
33
34 # Об'єднання результатів за допомогою вагових коефіцієнтів
35 w_svr, w_gray, w_mlp = 0.3, 0.4, 0.3
36 # Тут можливо вносити налаштування вагових к
37 # оєфіцієнти відповідно до зміни реальних даних
38
39 ensemble_prediction = (w_svr * svr_prediction + w_gray \
40 |     * gray_prediction + w_mlp * mlp_prediction)
41
42 # Вирахунок середньоквадратичної помилки
43 mse = mean_squared_error(target_test, ensemble_prediction)
44 print("Середньоквадратична помилка ансамблю:", mse)
45

```

Рисунок 3.10 Візуалізація результатів

На рис. 3.10 наведено другу частину програми, тут вже відбувається ініціалізація вагових коеф-тів у ШНМ, вивід результатів та послідугочий розрахунок помилки. Завдяки останнім складовим, можна проаналізувати отримані дані шляхом їх зіставлення як це зроблено у табл. 3.2. А на рис. 3.11 було відображено алгоритм роботи розроблено ШНМ на рис. 3.9-3.10.

Таблиця 3.2 – Результати опрацювання зразків ШНМ

ϵ_a (%)	$\epsilon_{\text{макс}}$ (%)	Модель прогнозування
14.79	26.42	Опорний вектор МН
7.83	13.64	Нейронна мережа
10.55	19.81	«Сіра» теорія

2.23	7.58	Багато експертне ІЗ модель прогнозування
------	------	--

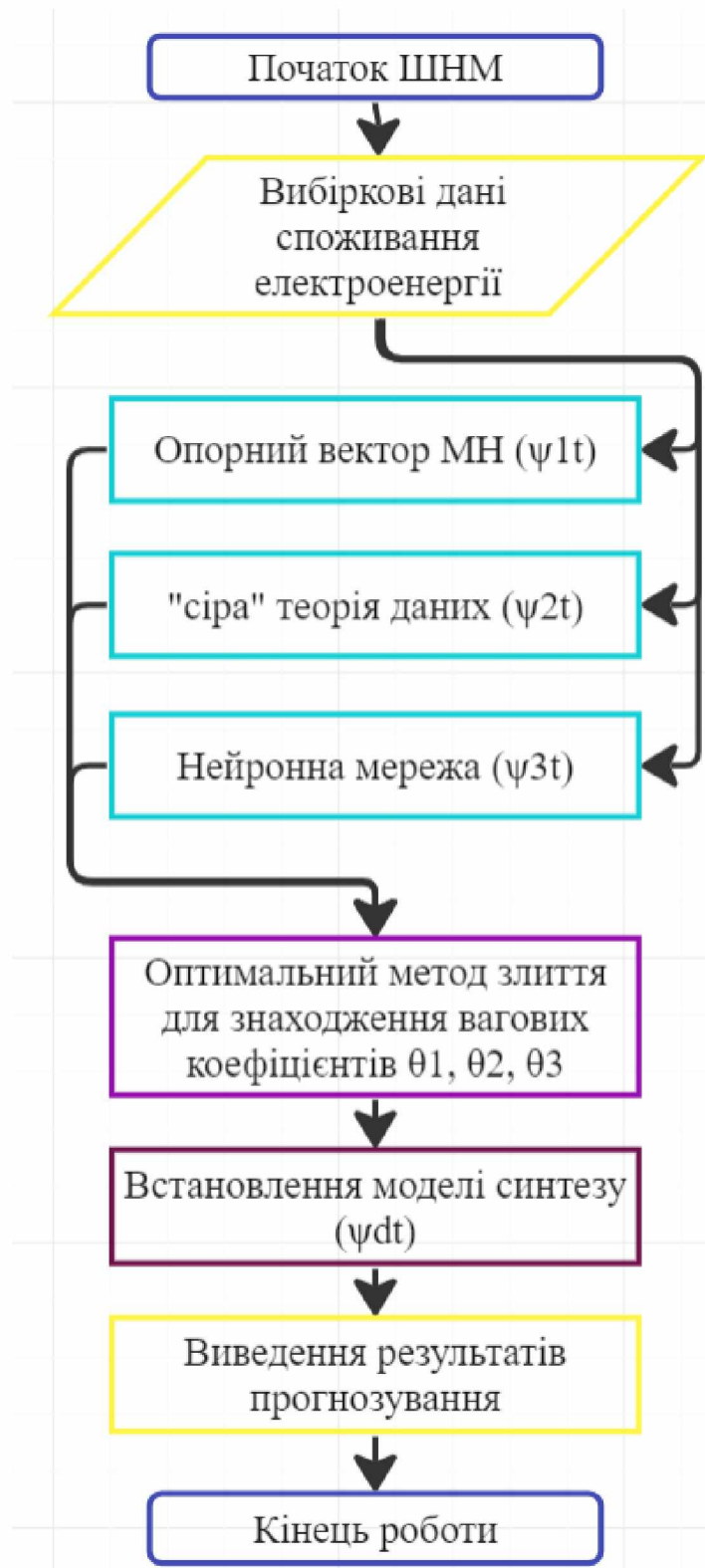


Рисунок 3.11 – Алгоритм роботи створення ШНМ

Рисунок 4.1 – Перевірка працездатності релейного захисту на спрощеній моделі мережі

Спочатку перевіримо, що модель (рис. 4.1) працює без відхилень у нормальному режимі, характеристика рис. 4.2 це демонструє.

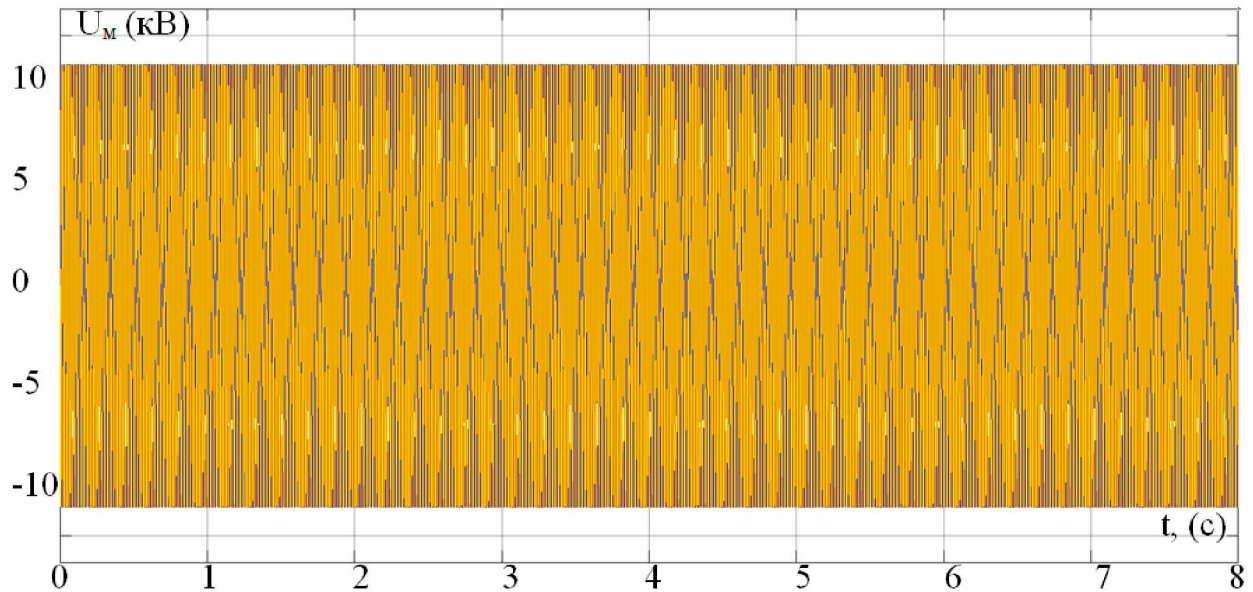


Рисунок 4.2 – Робота мережі у нормальному режимі

Блок трифазного КЗ (у моделі – "Three-Phase Fault") - це подія, котра може статися у електричній мережі, коли три фази електричної системи з'єднуються один з одним або замикаються на землю. Це може спричинити високі струми та напруги, які можуть пошкодити обладнання та призвести до аварій. У Matlab, можна створити модель трифазного короткозамикання для аналізу його впливу на систему.

Робота блоку із назвою Three-Phase Fault у Matlab залежить від того, який інструмент або бібліотеку використовувати для моделювання електричних схем. Один із найпоширеніших інструментів для моделювання електроенергетичних систем у Matlab – це Simulink, який надає графічний інтерфейс для створення та симуляції електричних схем.

Загальний процес, як відбувається створення та налагодження моделі має такі важливі етапи:

- Створення схеми – у Simulink створюємо схему, що представляє електричну систему. Це включає додавання елементів, котрі представляють

джерела напруги, навантаження, трансформатори, лінії передачі, та інші компоненти.

- Додавання події короткого замикання – додаємо блок Three-Phase Fault (або аналогічний блок) у зібрану в попередньому пункті схему.
- Налаштування параметрів елементу Three-Phase Fault відповідно до характеристик короткого замикання, таких як сила струму, тривалість, вид КЗ, час його протікання (можна встановлювати окремо час його початку й завершення).
- Проводимо відладження й симуляцію створеної моделі у Matlab. У момент, коли симуляція за часом досягає елемент моделі "Three-Phase Fault", відбувається режим трифазне КЗ, і можна зробити первинний аналіз його впливу на систему, через моніторингу (за допомогою осцилографів) зміни струмів, напруг й необхідних інших параметрів.
- Загальний аналіз результатів – після завершення симуляції є можливість аналізувати результати в цілому, аби визначити вплив КЗ на усі елементи електричної системи. З'являється можливість досліджувати струми КЗ, перенапруги, вибірки часу у захисних пристроях й інші важливі показники.

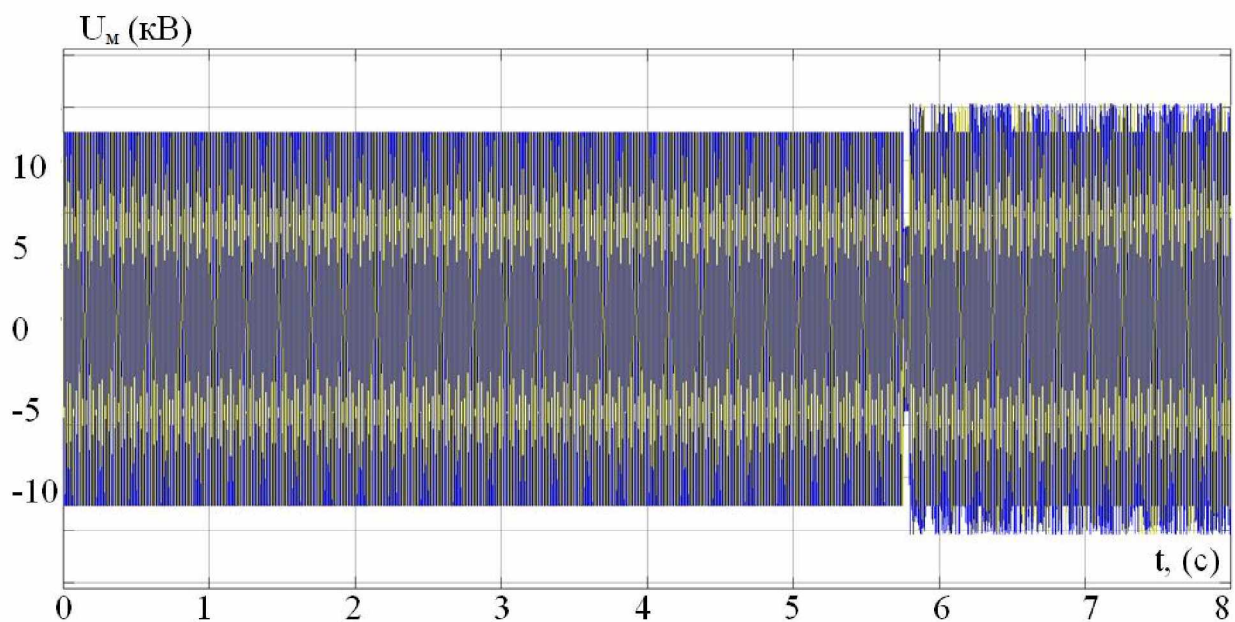


Рисунок 4.3.а – Характеристика напруги під час аварійної ситуації та після неї у частині мережі без РЗ

Тепер за допомогою моделі 4.1, можна перевірити працездатність системи із РЗ, так було промодельоване трифазне КЗ діаграма на рис. 4.3-4.5

Робота із трифазними КЗ у Matlab дозволяє інженерам проводити аналіз, а також тестування захисних пристроїв і оцінювати надійність проєктованих електричних мереж.

На рис. 4.3.б була зроблена деталізація процесів, що відбуваються на характеристиці напруги 4.3.а

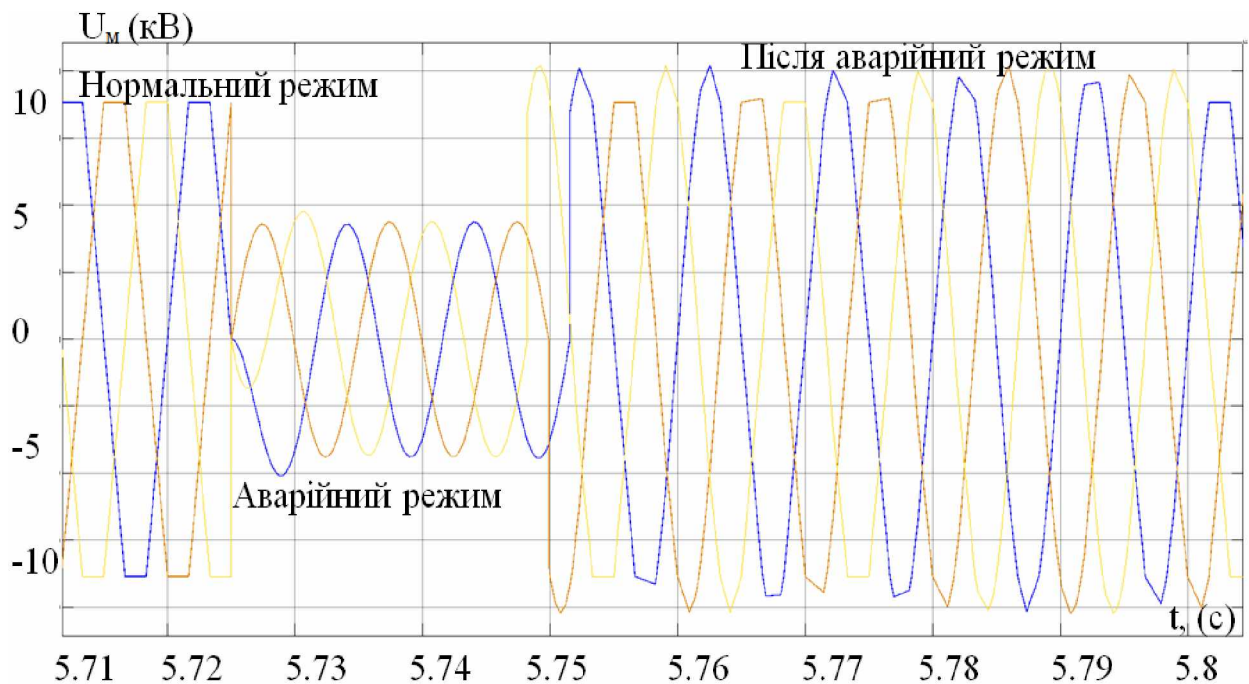


Рисунок 4.3. б – Деталізована характеристика напруги у момент нормального режиму, аварійної ситуації та після неї у частині мережі без РЗ

На рис. 4.4 представлена характеристика струму під час аварійної ситуації.

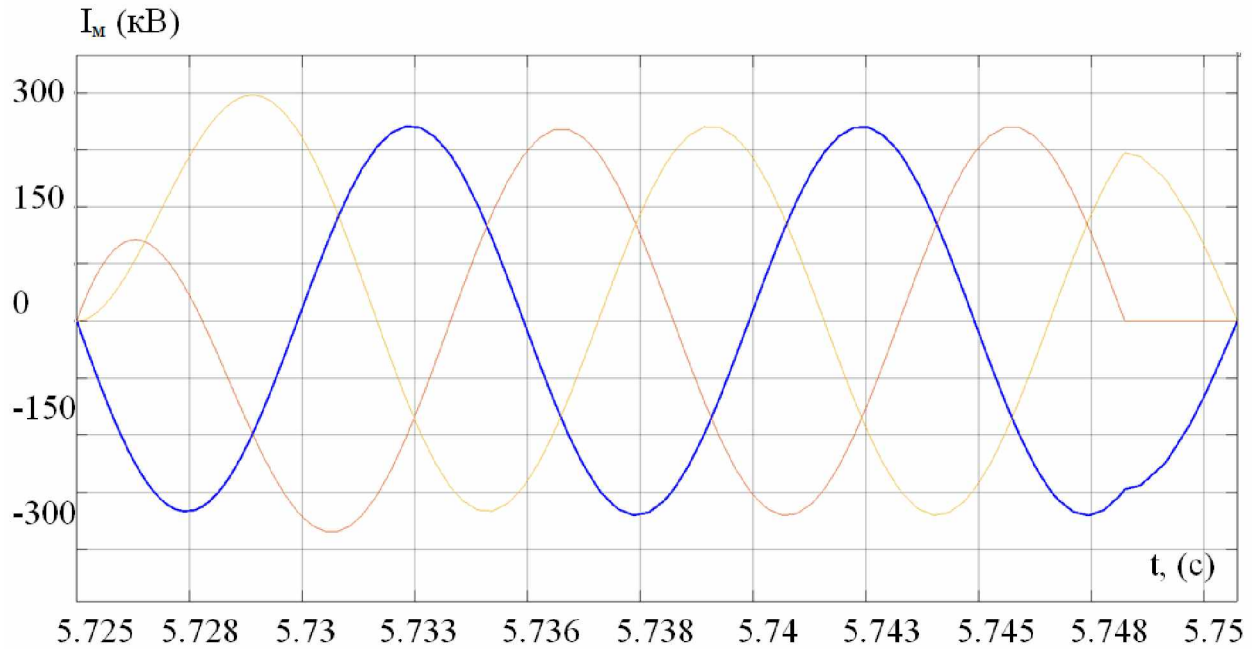


Рисунок 4.4 – Характеристика струму у момент аварійної ситуації

На рис. 4.5 представлено порівнянні роботи РЗ у ідеальному випадку (спрацювання відразу у момент виникнення аварії) і реальному певна інерційність у роботі те, що відбувається в реальній ЕМ.

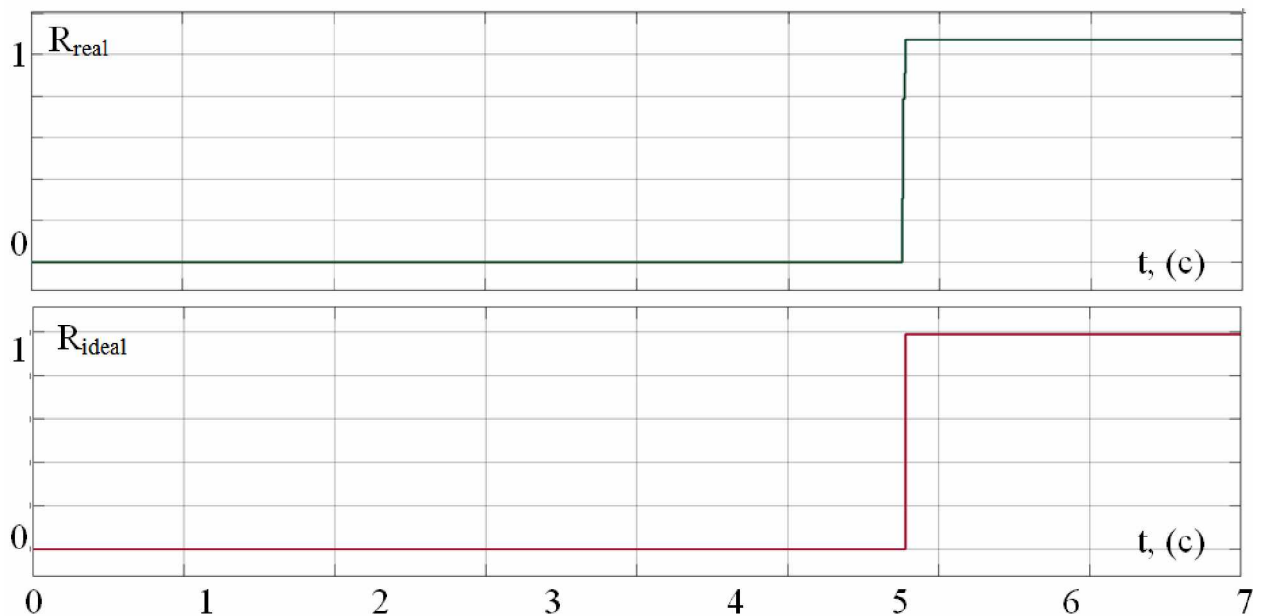


Рисунок 4.5 – Характеристика струму у момент аварійної ситуації

На рис. 4.6 представлено характеристики відключення ланки із РЗ у момент протікання аварійної ситуації.

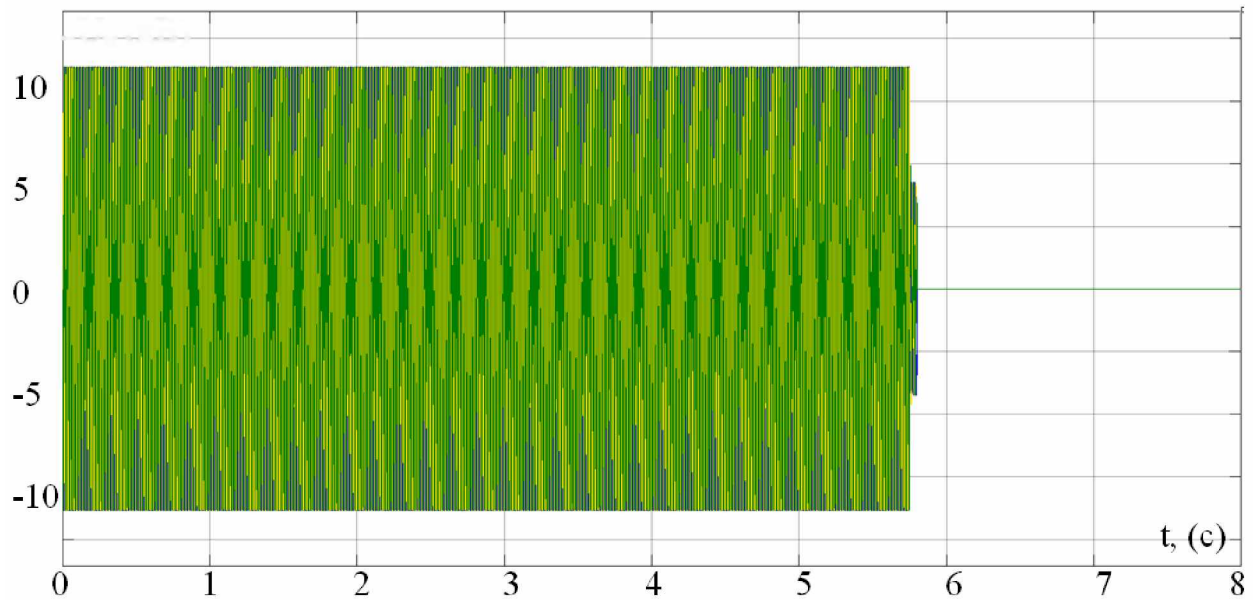


Рисунок 4.6 – Відключення аварійної ланки із РЗ у момент аварійної ситуації

Важливою також є підсистема із функцією де записана РЗ, котру відображено на рис. 4.1, а на рис. 4.7 показано її деталізований вигляд.

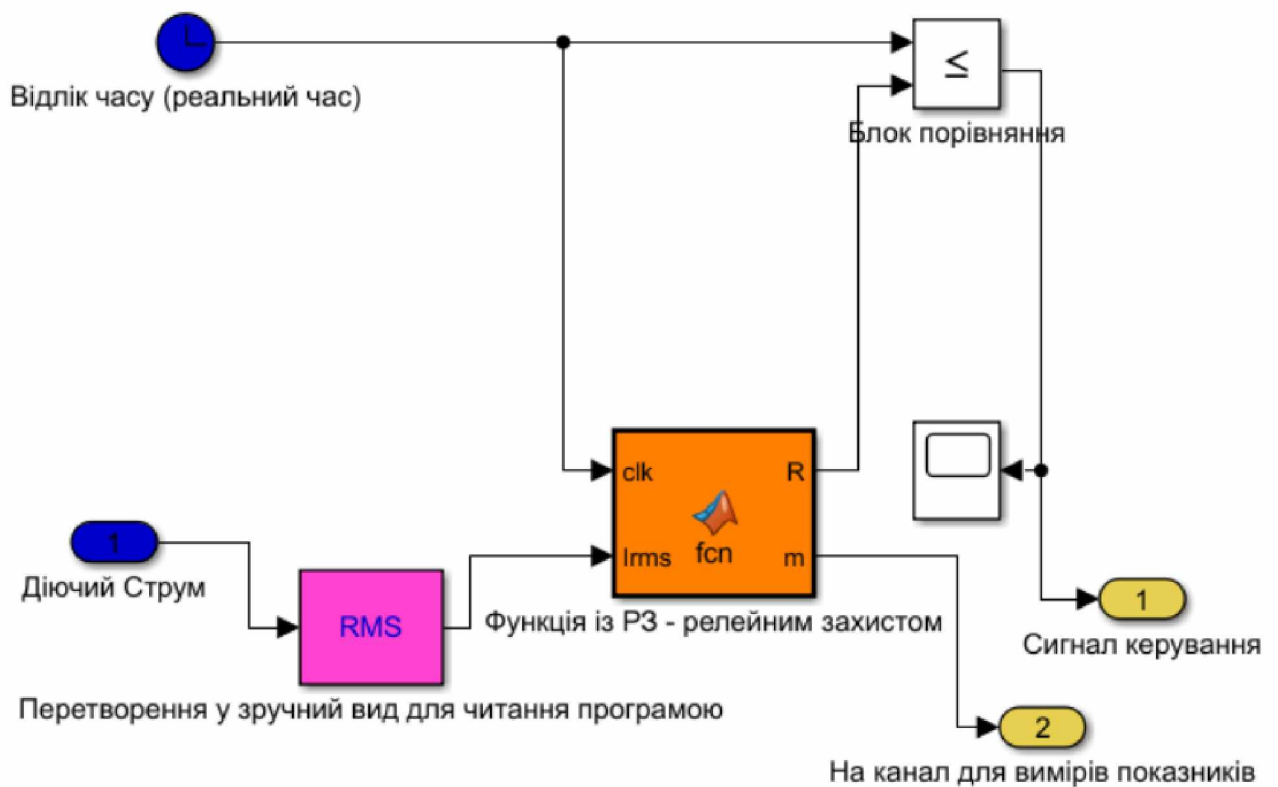


Рисунок 4.7 – Підсистема із функцією де записана РЗ

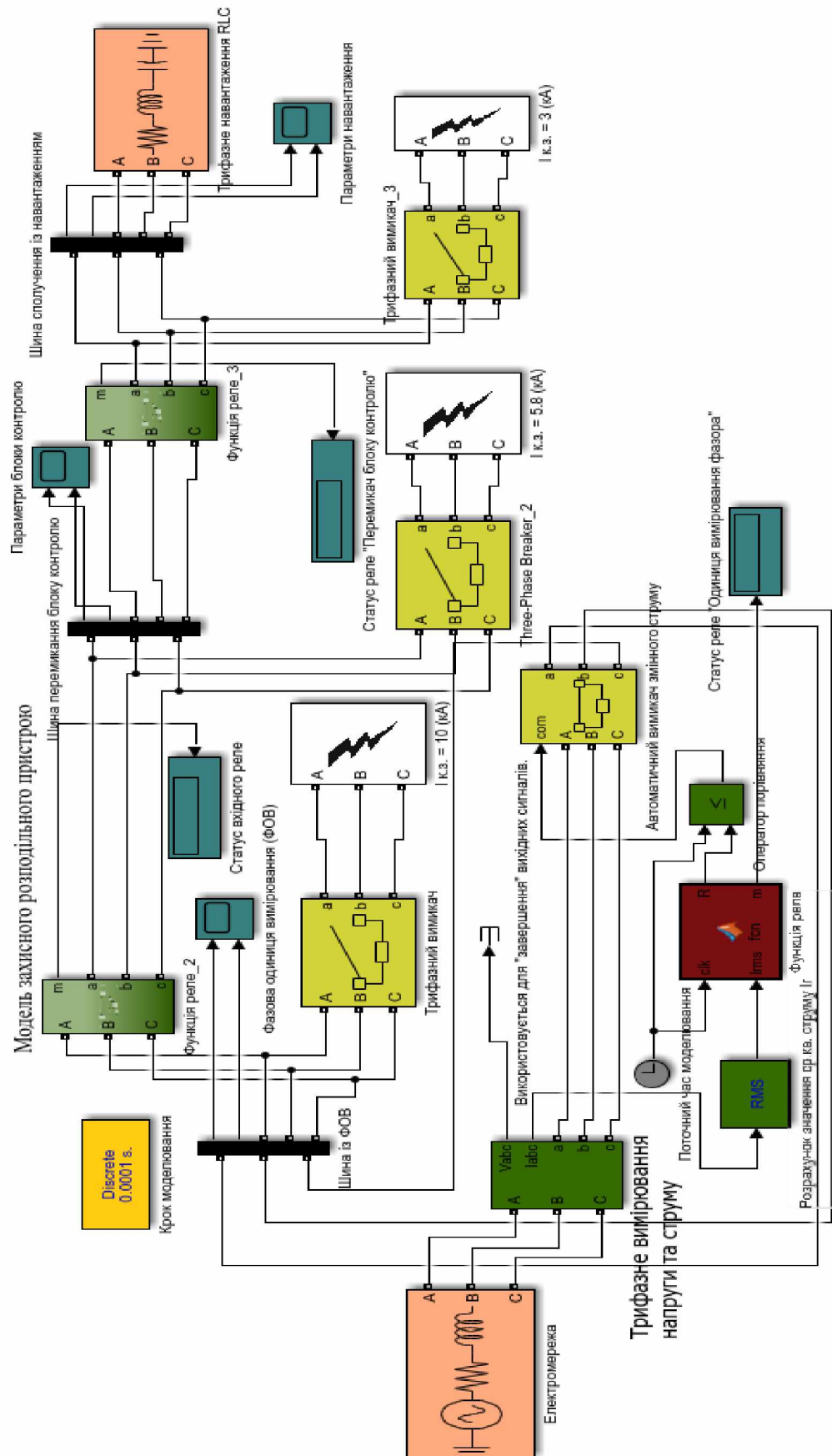


Рисунок 4.8 – Модель досліджуваної електромережі машинобудівного підприємства разом із РЗ

Промодельюємо тепер замикання у різних ділянках мережі та перевіримо роботи захищених і незахищених гілок.

Спершу розглянемо діаграми гілки із РЗ (рис 4.9–4.10), тут можна побачити незначну зміну синусоїди у момент $t=5.75(\text{с})$ – час КЗ, що обумовлено включенням РЗ.

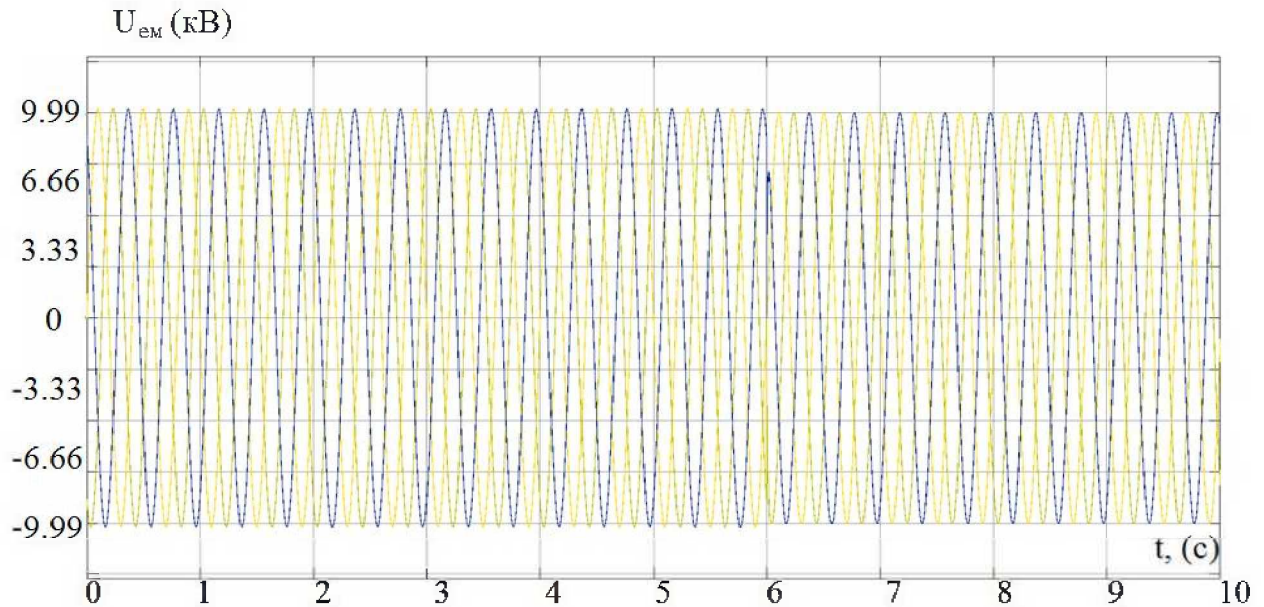


Рисунок 4.9 – Діаграма напруги на боці НН, де є РЗ

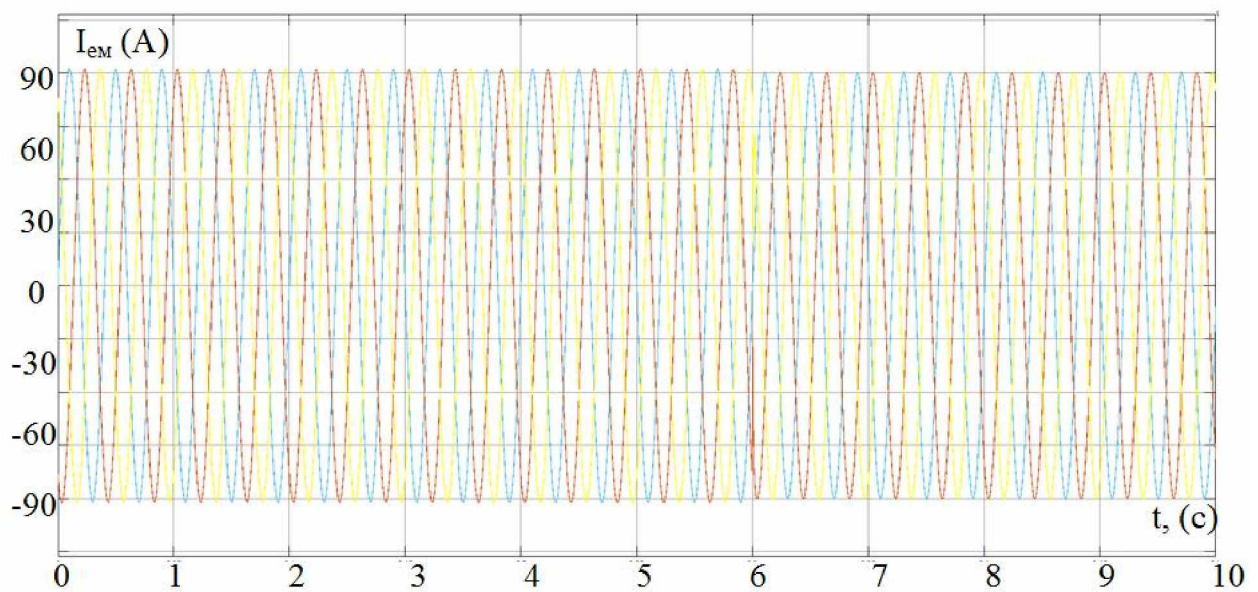


Рисунок 4.10 – Діаграма струму на боці НН, де є РЗ

На рис. 4.11–4.12 показані діаграми струмів і напруги у ланках, де немає РЗ.

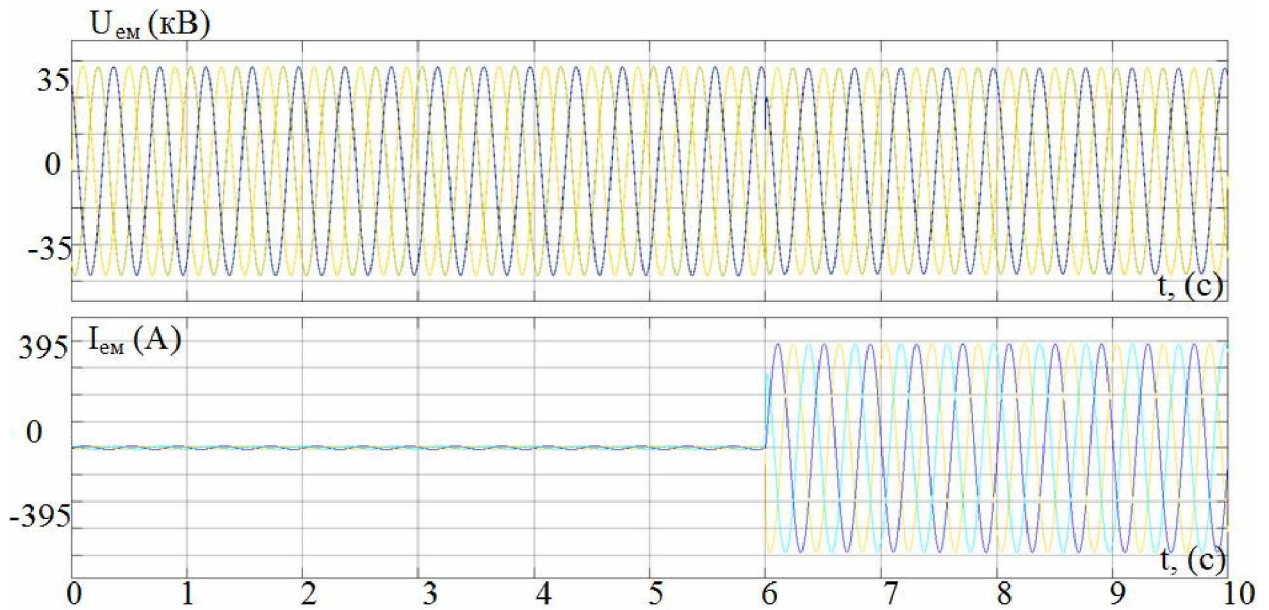


Рисунок 4.11 – Діаграма струму й напруги на боці ВН поблизу трансформатора, де немає РЗ

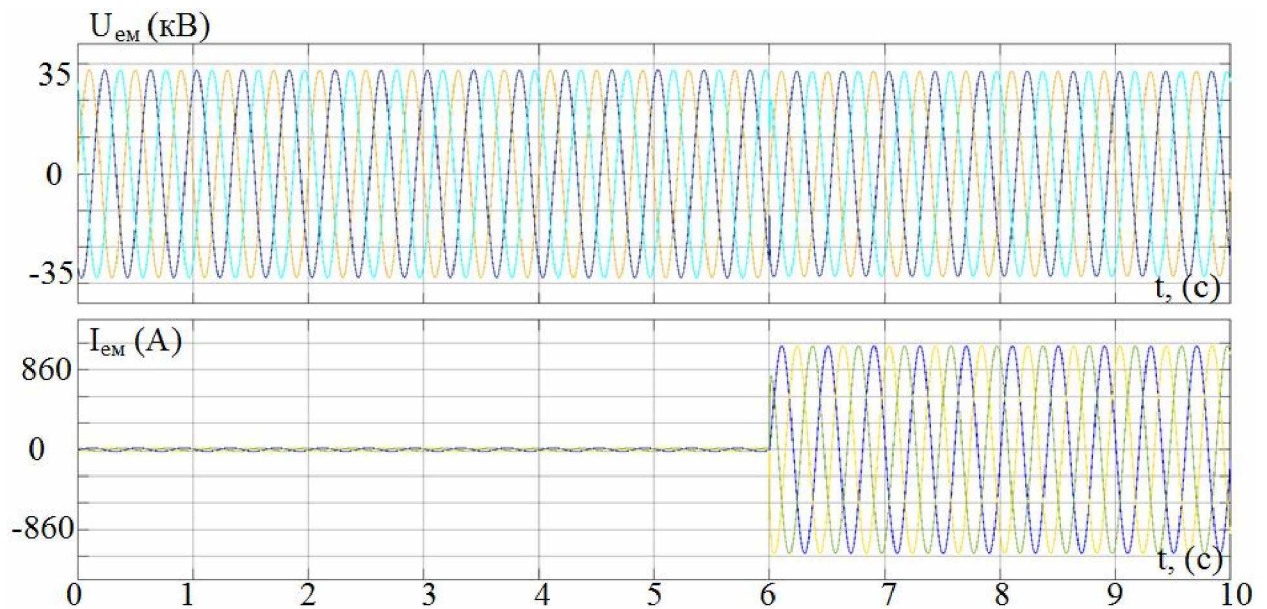


Рисунок 4.12 – Діаграма струму й напруги на боці ВН поблизу ДЖ, де немає РЗ

Тепер промодельюємо режим КЗ із боку ВН, після цього отримуємо діаграми 4.13-4.15

Характеристики струму та напруги на ділянці 10 (кВ), де відбулося коротке трифазне замикання (КЗ), можуть значно відрізнитися в залежності від багатьох факторів, таких як місце розташування КЗ, конструкція та параметри електроенергетичної мережі, характеристики обладнання та наявність захисних пристроїв. У різний момент часу характеристики струму й напруги мають свої певні особливості, розглянемо кожний момент часу у системі:

1) До моменту КЗ:

- Струми на ділянці 10 (кВ) будуть номінальними, що відповідає робочому навантаженню й характеристикам мережі. Він буде рівномірним та збалансованим у всіх фазах.
- Напруга також буде протікати на номінальному рівні (10 кВ) та збалансованою у всіх фазах.

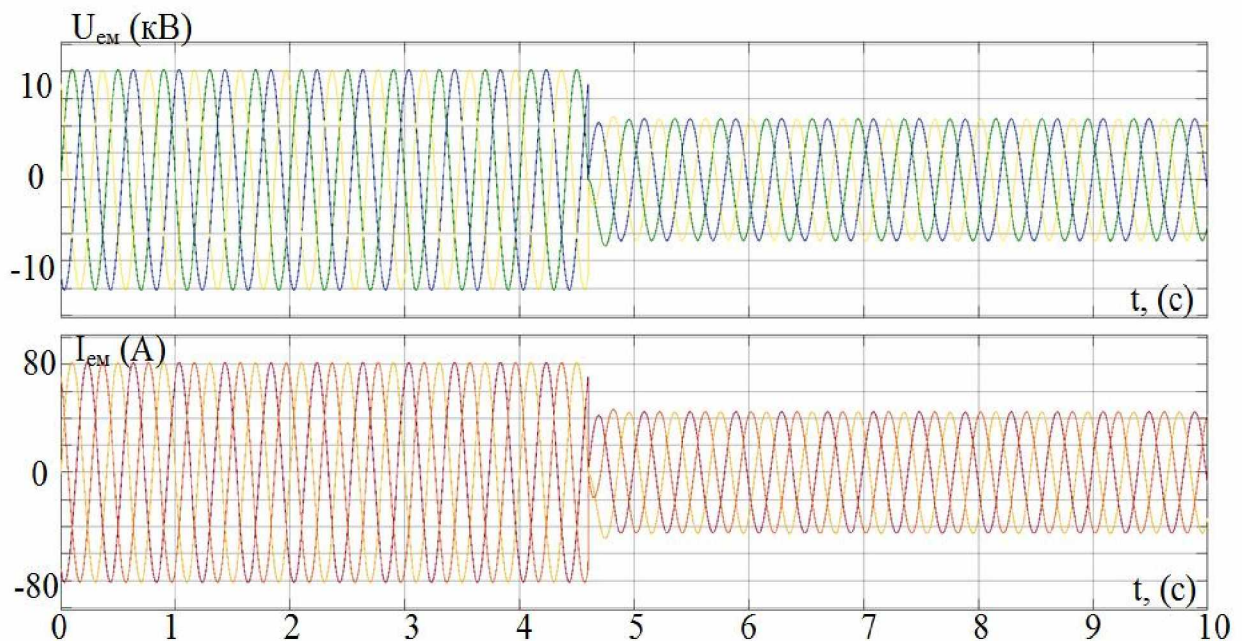


Рисунок 4.13 – Діаграма напруги і струму на боці НН

2) У момент протікання КЗ:

- Струм – у момент КЗ на ділянці виникне значний рівень струму КЗ. Цей струм буде значно перевищуватиме номінальне значення і може бути небезпечним для обладнання та безпеки персоналу. Струм КЗ залежатиме від розташування й характеристик замикання, а також опору мережі.

- Напруга – під час КЗ напруга на ділянці може значно впасти через великий струм, котрий протікає через імпеданс мережі. Дана напруга буде набагато нижчою за номінальний показник.

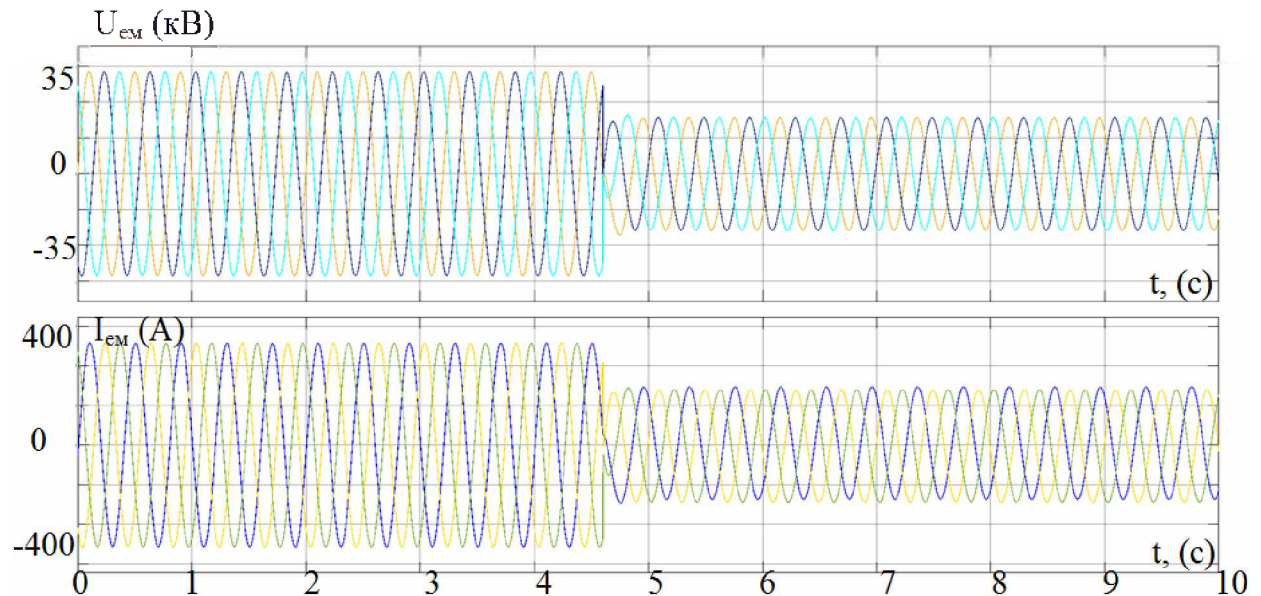


Рисунок 4.14 – Діаграма струму й напруги на боці ВН поблизу трансформатора

3) Після протікання КЗ:

- Струм – після усунення або завершення дії КЗ, показник струму поступово знижується і повертатиметься до номінальних значень. Даний процес може займати декотрий час в залежності від характеристик мережі та роботи захисних пристроїв.

- Напруга також відновлюватиметься й стабілізуватиметься до номінальних значень.

Важливо, що у момент трифазного КЗ виникають дуже високі значення струму. Тому захисні пристрої, такі як вимикачі, реле й запобіжники, активуються, аби швидко відключити ділянку із наявним КЗ і запобігти пошкодженню електричного обладнання. Дані пристрої здатні суттєво знизити час дії КЗ і його вплив на енергосистему в цілому.

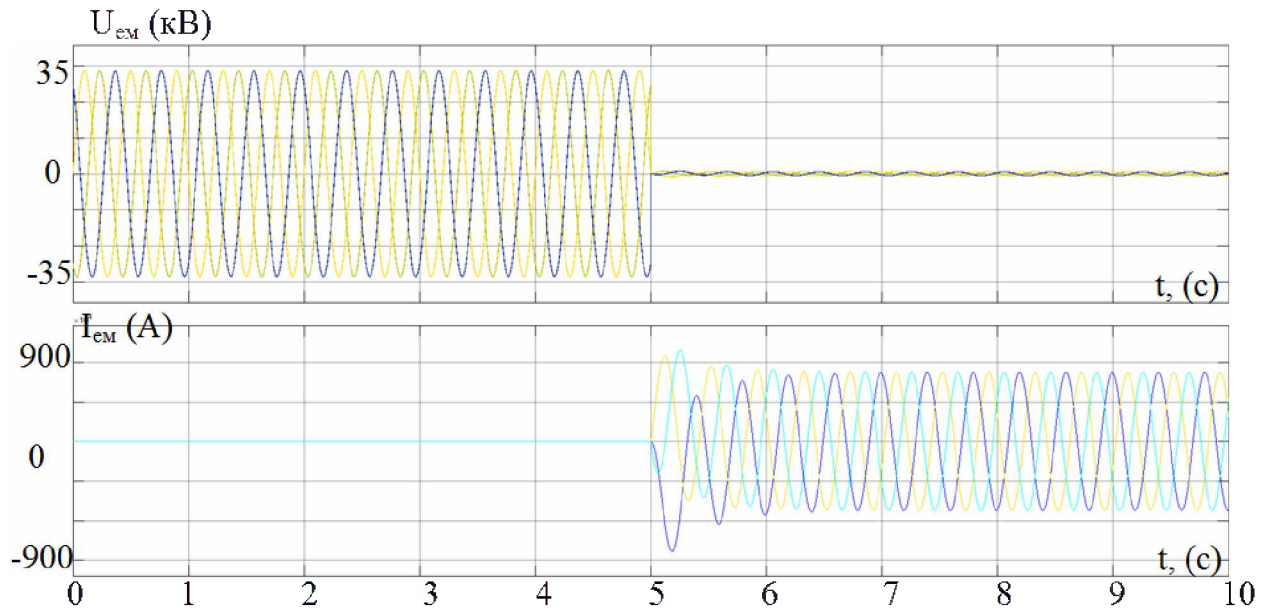


Рисунок 4.15 – Діаграма струму й напруги на боці ВН поблизу ДЖ

І три останні діаграми (4.16-4.18) відображають роботу моделі електричної схеми, коли КЗ стається з боку ВН, біля ДЖ.

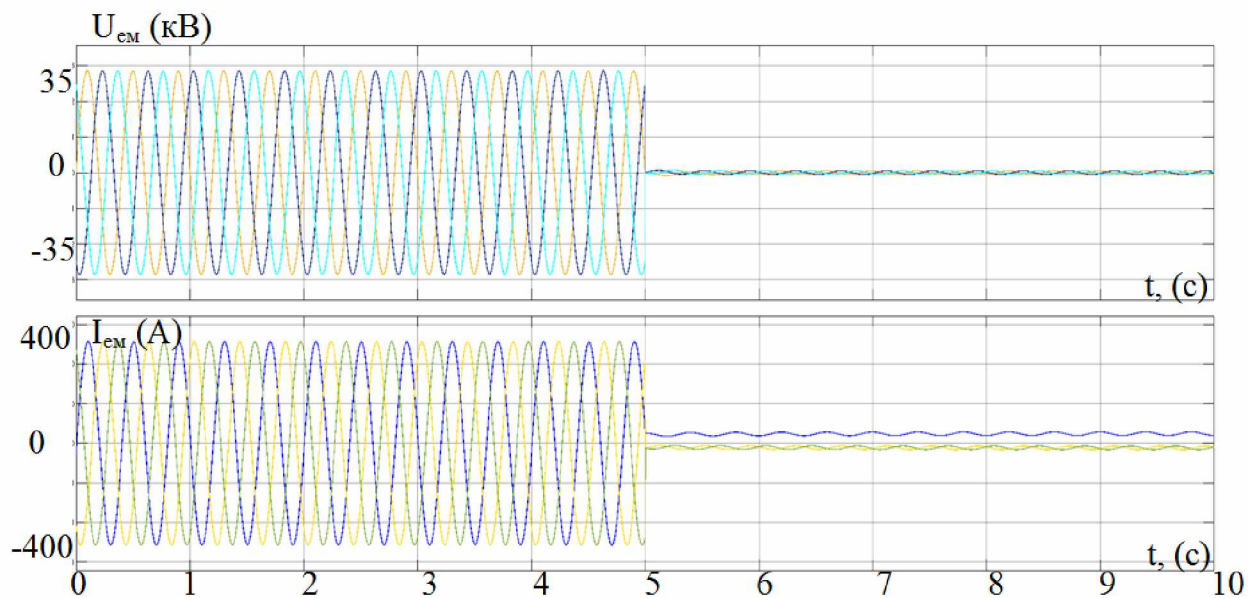


Рисунок 4.16 – Діаграма напруги і струму на боці НН

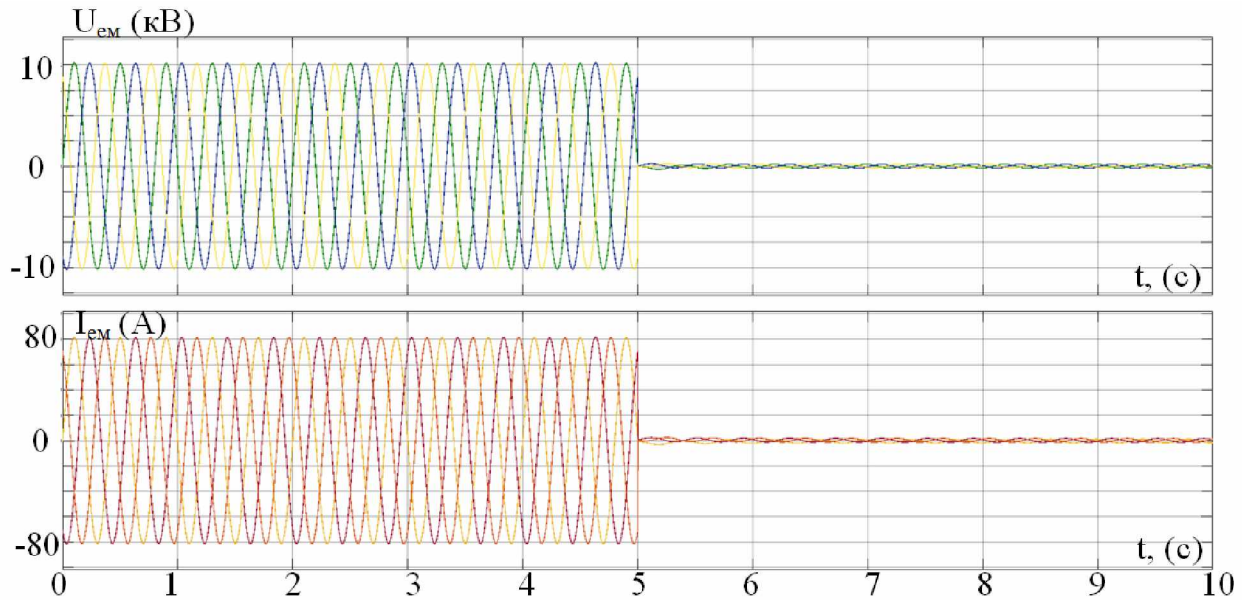


Рисунок 4.17 – Діаграма струму та напруги на боці ВН поблизу трансформатора

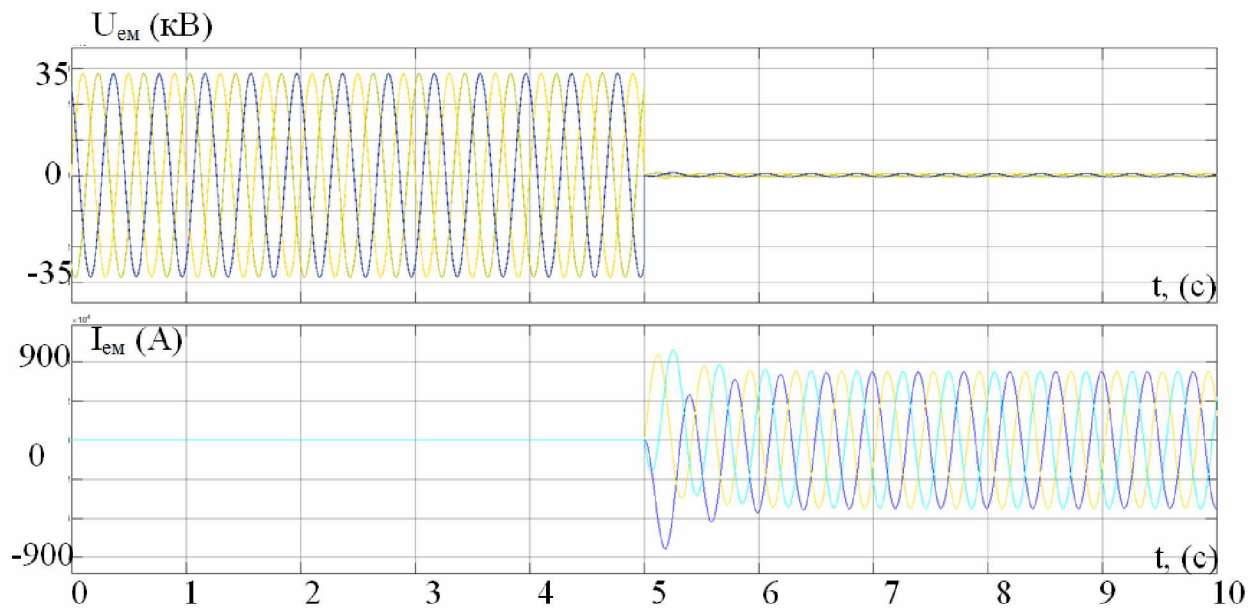


Рисунок 4.18 – Діаграма струму та напруги на боці ВН поблизу ДЖ

Тепер установимо у всіх гілках РЗ і змодельємо КЗ знову, діаграми представлені на рис 4.19 – 4.21. З них виходить, що гілка аварійна відключається у момент КЗ, при цьому робота інших на порушується і ними КЗ не протікає.

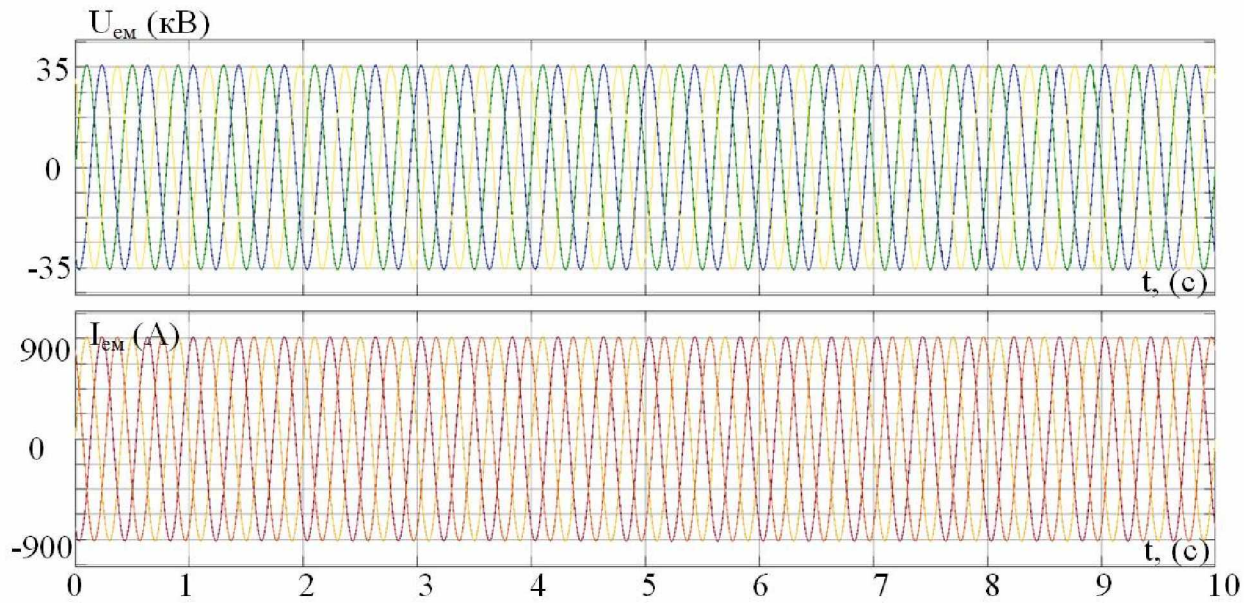


Рисунок 4.19 – Діаграма напруги і струму на боці НН із РЗ

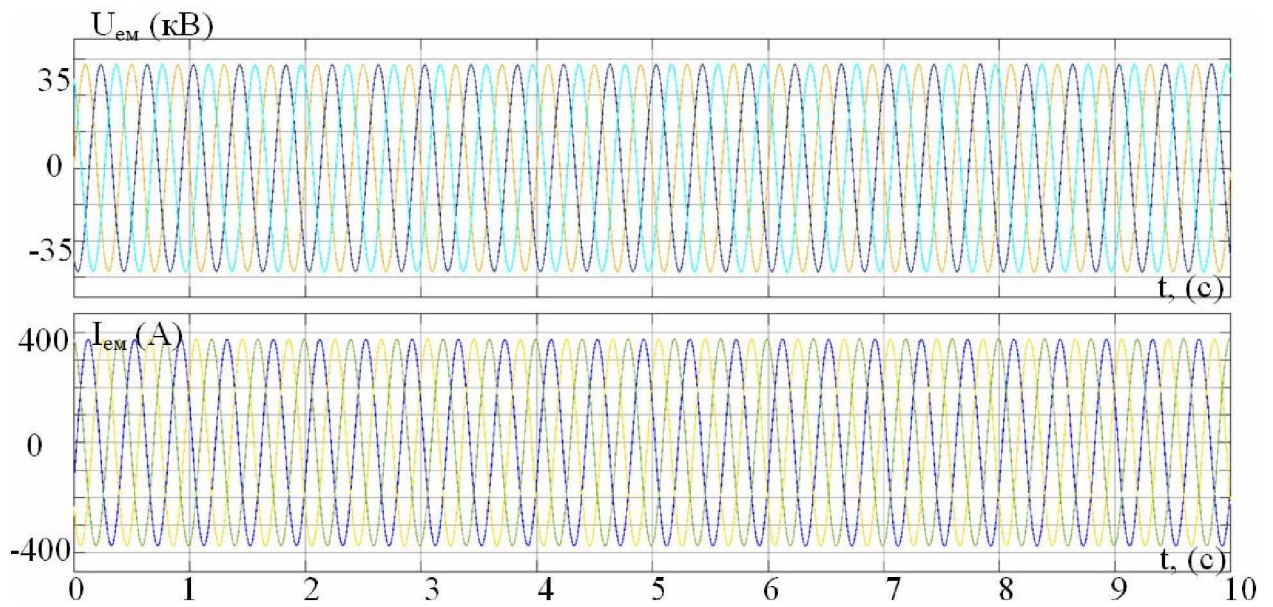


Рисунок 4.20 – Діаграма струму й напруги на боці ВН поблизу трансформатора разом із РЗ

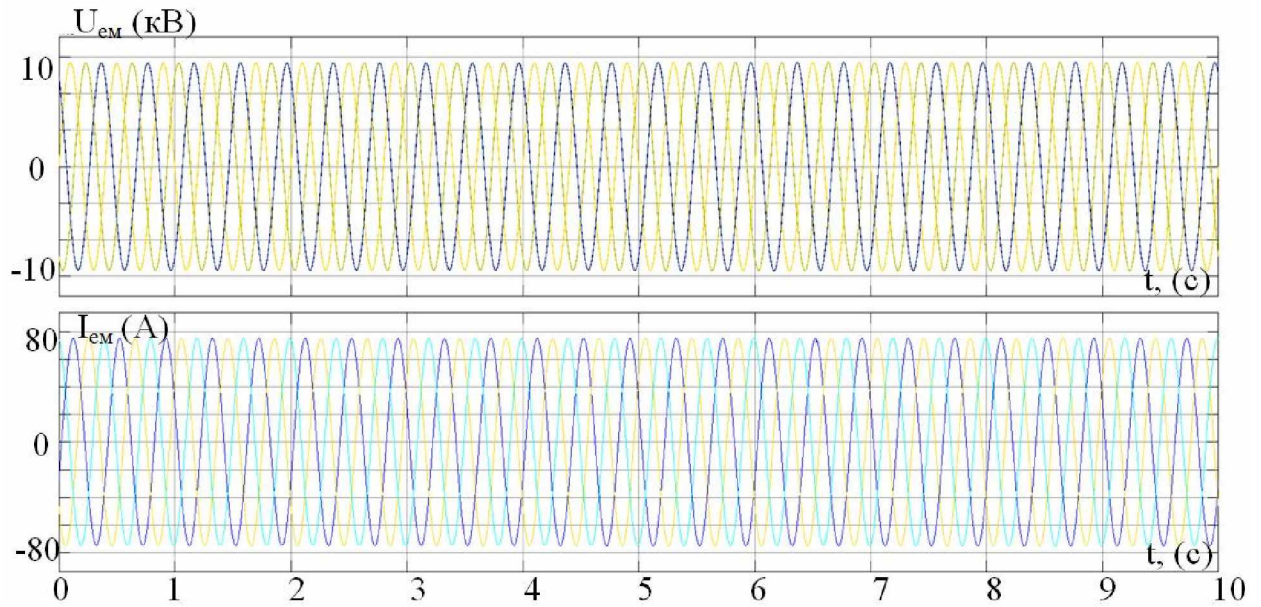


Рисунок 4.21 – Діаграма струму і напруги на боці ВН поблизу ДЖ із РЗ

У роботі для моделювання протікання КЗ електромережою використовувався блок 3х-фазного КЗ, що дозволяє моделювати будь-які режими КЗ. Внутрішня структура такого блоку представлена на рис. 4.22

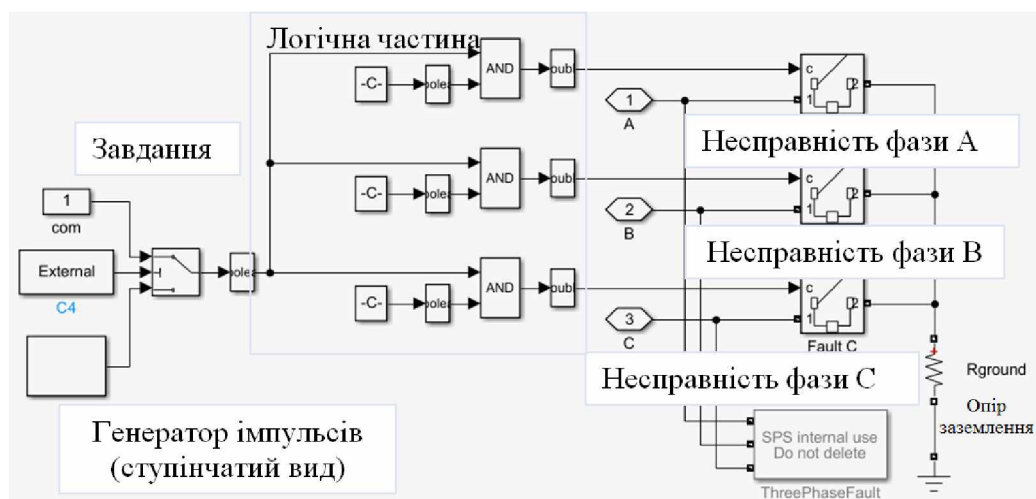


Рисунок 4.22 – Модель досліджуваної електромережі машинобудівного підприємства разом із РЗ

А на рис. 4.23 наведені параметри, котрі можна встановлювати у даному блоці.

Снаббер-конденсатор - це конденсатор, який використовується в електронних ланцюгах або системах для зменшення перехідних спадів або збурень на напрузі чи струмі. Він застосовується для підвищення стабільності чи покращення якості сигналу.

Снаббер-конденсатори можуть бути використані, наприклад, у силових електронних схемах, де вони допомагають зменшити вплив високочастотних перешкод або можуть бути включені в діодні схеми для покращення їхньої ефективності та зменшення ефекту "поверненого струму". Снаббер-конденсатори можуть мати різну ємність і напругу, в залежності від конкретних вимог та застосувань.

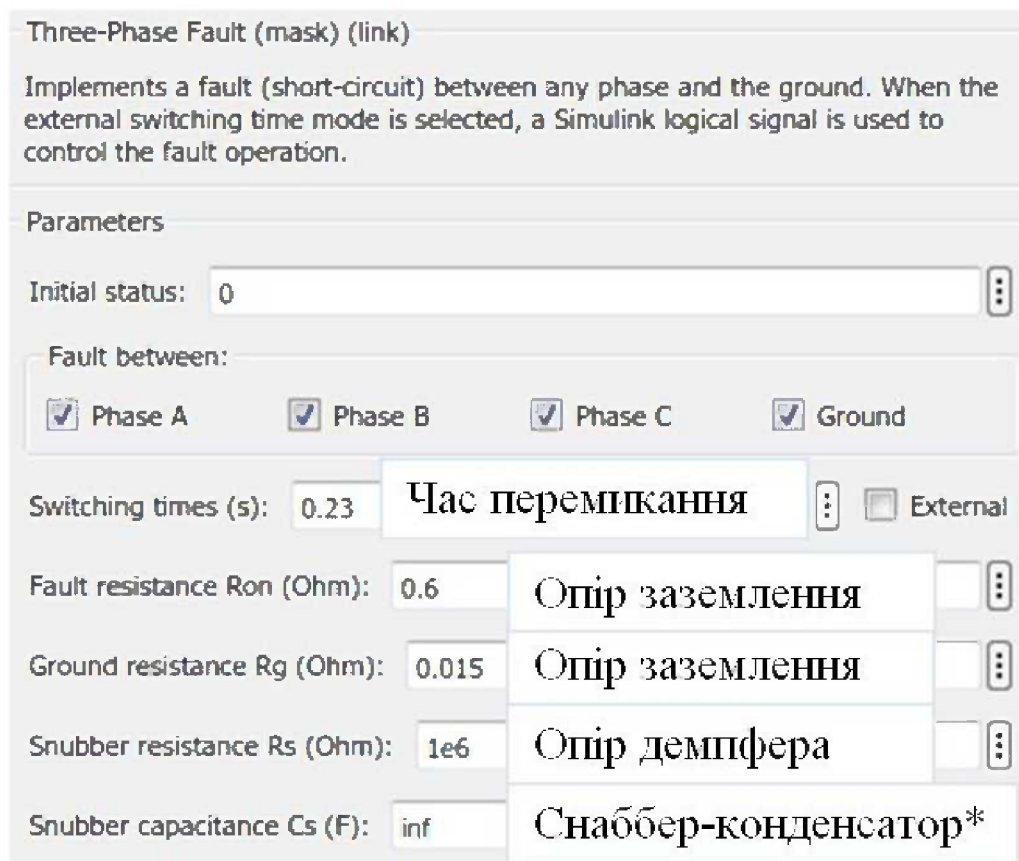


Рисунок 4.23 – Вікно блок імітації аварійних режимів у математичній моделі

Снабберний опір (у моделі - "Snubber resistance") - це опір, який використовується разом із снаббер-конденсатором (snubber capacitor) в електронних схемах для керування перехідними процесами і попередження

виникнення високих перенапруг чи струмів. Снабберний опір використовується для зменшення швидкості зміни напруги або струму та поглинання енергії, яка може виникнути під час вимкнення або включення ключового елемента (наприклад, транзистора) у силовому електронному пристрої.

Основна функція снабберного опору - це контролювати і обмежувати перехідні ефекти, такі як різкі зміни напруги чи струму, які можуть виникати при вимкненні або включенні ключових елементів. Це допомагає уникнути перенапруг та струмів, які можуть пошкодити обладнання. Великі перенапруги і струми можуть виникнути внаслідок паразитної ємності та індуктивності в схемі.

Снабберний опір може бути використаний як частина захисного снабберного кола разом із снаббер-конденсатором. Разом вони допомагають забезпечити стабільну і безпечну роботу силових електронних пристроїв та систем.

ВИСНОВКИ

На первинному етапі виконання кваліфікаційної роботи здійснений: аналіз стратегій та методів оптимізації системи захисту для досягнення оптимального балансу між надійністю та вартістю; дослідження можливостей інтеграції системи релейної захисту з іншими системами контролю та моніторингу; огляд останніх розробок та тенденцій у галузі релейної захисту, таких як цифрові рішення.

Під час виконання розрахункової частини роботи було виконано наступні завдання:

- Оцінку навантажень на боці ВН у ТП 35/10 (кВ).
- Вибір трансформаторів, необхідного обладнання та типових осередків КРУ.
- Вибір і розрахунок захисту асинхронних двигунів відповідно до ПУЕ та стандартів ДСТУ. Вибір обладнання виконаний з урахуванням останніх розробок у сфері електропостачання.

На основі проведених досліджень і роботи над проектом, можна виокремити наступні висновки:

Було проведено аналіз існуючої системи релейного захисту, виявлено її функціональність і недоліки. Виокремлені вимоги до нової системи та розробані методи інформування персоналу в аварійних ситуаціях.

Виконано розрахунок трансформатора для оптимального подачі електроенергії, визначено параметри ЕМ розподільчих і вибрано відповідне обладнання та ЛЕП. Вибрано оптимальну топологію системи РЗ, включаючи вибір релейних пристроїв.

В останньому розділі розроблена математична модель ЕМ разом із системою РЗ, використовуючи інструменти САПР Matlab.

За результатами функціонування мат. моделі проведено аналіз показників електромережі в різних режимах роботи.

Оцінено ефективність та надійність системи релейного захисту після внесених змін, що спрямовані на підвищення її швидкодії та надійності.

Загалом, отримані результати свідчать про покращення надійності та ефективності електропостачання машинобудівного підприємства завдяки оптимізації системи релейного захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Поворозник Н. І., В. О. Бойкова «Системотехніка електронних й вимірювальних пристроїв» / під ред. Сільвестрова А. М.. - Київ. : видав. «Корнійчук» , 2000 р. – 113 с.
2. Попович М. Г., Бурмістенков О. П., Артеменко Л. Ф. та інші; «Електричні машини й електропривід побутової техніки»: підручник для ВНЗ. / за ред. Головка Д. Б., Поповича М. Г. - друге вид., стер . – Київ. : вид. Либідь , 2004 р. – 351 с.
2. Б. В. Клименко «Електричні пристрої, електричні установки, електричні аксесуари: терміни, коментарі, тлумачення : навч. посібник для ВНЗ. українською та англійською мовами. – Харків. : вид-тво Точка , 2009 рік. - 261 с.
3. О. Г. Гуцало «Методи із підвищення точності засобами вимірювання групового часу запізнювання сигналів та їх метрологічне забезпечення : монографія. : видав. Універсум, Вінниця , 1997 р. – 131 с.
4. За загальною редакцією : Кириленка О. В. «Інтелектуальні електромережі: елементи і режими»: монографія – м. Київ. : Інститут електродинаміки НАН України, рік вид-во: 2016 – 400 с.
5. Б. В. Клименко «Комутаційна апаратура, запобіжники, апаратура керування. Терміни, коментарі, тлумачення: навч. посібник для ВНЗ. – Харків : видавництво Талант, 2008 р. - 205
6. Б. В. Клименко «Електричні апарати. Елетромеханічна апаратура із комутації, керування та захисту.» Загальний курс : навч. посібник. - Харків. : вид-во Точка , 2012. – 320 с.
7. А. І. Ліщенко, Л. І. Мазуренко «Асинхронні генератори із вентильним й вентильно-ємнісним збудженням для автономних енергетичних установок»: монографія / – місто Київ: вид. Наукова думка, 2011 р. – 271 с. УДК 621.313.332.
8. А. П. Оксанич, О.В.Вашерук, С.Е.Притчин «Комп'ютерна електроніка» : У двох томах, т.2. : навчальний посібник для ВНЗ, м. Харків : в-во СМІТ , 2006 р. – 253 с.

9. Півняк Г. Г. «Перехідні процеси у системах електричного постачання»
- 2 т. – м. Дніпропетровськ , рік 2002. – 597 с.

ДОДАТОК А.

«Перелік зауважень нормоконтролера до дипломної роботи»

Студента Олександра КУЛЬШІ, групи ЕЛКм – 22

Призначення документа	Документ	Умовні позначення	Зміст зауваження

Дата _____

Підпис _____

(ПБ)

ДОДАТОК Б

«Програмний код цифрової мережі»

```
import numpy as np
```

```
# Клас для представлення цифрової мережі із РЗ
```

```
class DigitalNetworkWithProtectionRelays:
```

```
    def __init__(self, places, transitions):
```

```
        self.places = places
```

```
        self.transitions = transitions
```

```
        self.incidence_matrix = np.zeros((len(places), len(transitions)))
```

```
# Додає зв'язок між місцем та переходом з вагою
```

```
    def add_arc(self, place, transition, weight):
```

```
        place_idx = self.places.index(place)
```

```
        transition_idx = self.transitions.index(transition)
```

```
        self.incidence_matrix[place_idx, transition_idx] = weight
```

```
# Виконує перехід, якщо усі вхідні місця мають токени
```

```
    def fire_transition(self, transition):
```

```
        transition_idx = self.transitions.index(transition)
```

```
        input_tokens = [self.places[i] for i in range(len(self.places)) if  
self.incidence_matrix[i, transition_idx] < 0]
```

```
        output_tokens = [self.places[i] for i in range(len(self.places)) if  
self.incidence_matrix[i, transition_idx] > 0]
```

```
# Перевіряємо, чи може перехід відбутися (всі вхідні місця мають токени)
```

```
    can_fire = all(place.has_tokens() for place in input_tokens)
```

```

if can_fire:
    for place in input_tokens:
        place.remove_token()
    for place in output_tokens:
        place.add_token()
    return True
else:
    return False

```

Клас для представлення місця в мережі

```
class Place:
```

```

    def __init__(self, name, tokens=0):
        self.name = name
        self.tokens = tokens

```

Додає один токен до місця

```

def add_token(self):
    self.tokens += 1

```

Видаляє один токен з місця

```

def remove_token(self):
    if self.tokens > 0:
        self.tokens -= 1

```

Перевіряє, чи є токени в місці

```

def has_tokens(self):
    return self.tokens > 0

```

Створюємо об'єкт цифрової мережі із РЗ

```

places = [Place("BB1 Diff"), Place("Trans OC1"), Place("Trans Diff"), Place("Trans
OC2"), Place("BB2 Diff"),
          Place("CB-Left"), Place("Suggested Fault"), Place("CBRight")]
transitions = ["t1", "t2", "t3", "t4", "t5"]
digital_network = DigitalNetworkWithProtectionRelays(places, transitions)

# Встановлюємо зв'язки між місцями і переходами
# Наприклад:
digital_network.add_arc("BB1 Diff", "t1", 1)
digital_network.add_arc("Trans OC1", "t2", 1)
# Додайте інші зв'язки відповідно до вашого опису

# Симулюємо запуск переходу "t1"
if digital_network.fire_transition("t1"):
    print("Перехід 't1' відбувся. Оновлені стани місць:")
    for place in places:
        print(f'{place.name}: {place.tokens} токенів')
else:
    print("Перехід 't1' не відбувся через відсутність токенів у вхідних місцях.")

```

Що стосується самого коду, то тут ще варто пояснити призначення т.з. «цифрового токена».

Справ в тім, що у даній програмі "токен" використовується для представлення одиниць інформації, які пересуваються по місцях мережі із РЗ. Токен можна уявити як позначку або лічильний символ, який може бути доданий або видалений з місць під час виконання переходів. У багатьох моделях цифрових електромереж, токени використовуються для керування передачею і обробкою інформації у самій мережі.

В даній програмі токени використовуються для показу наявності або відсутності деяких подій або умов в місцях мережі із РЗ. Наприклад, місця можуть представляти різні стани обладнання або події, і наявність токенів в місці може вказувати на активність або стан цього об'єкта. Переходи в мережі спрямовуються до місць із різними вагами (чи weight factors), що вказує, яку кількість токенів може бути перенесено під час виконання переходу.

Токени цифрової електромережі є ключовими для контролю та моделювання різних процесів та подій в системах.

ДОДАТОК В

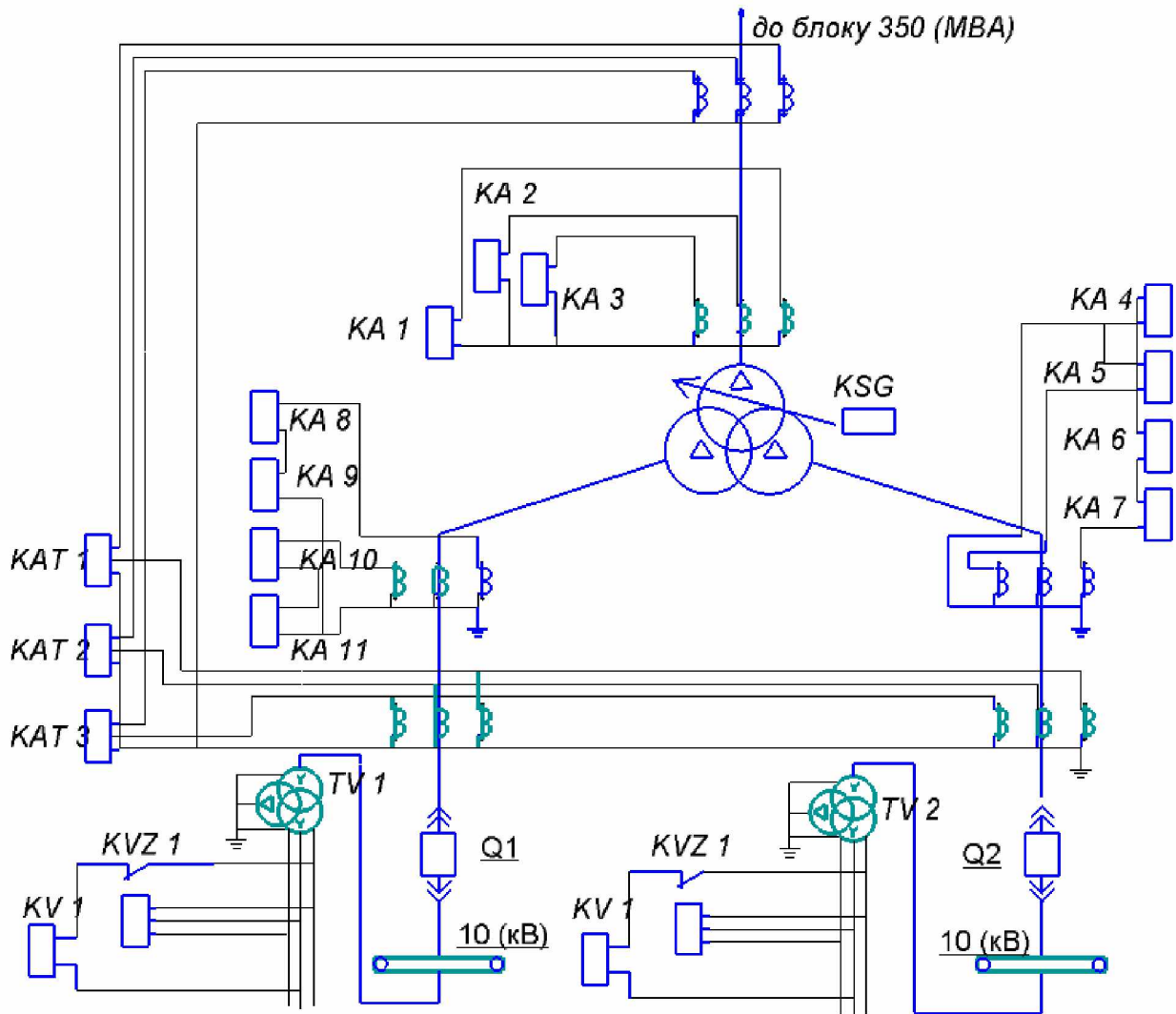


Рисунок В.1 – Схема електропостачання підприємства на ВН

ДОДАТОК Г

«Вибір компенсуючого пристрою»

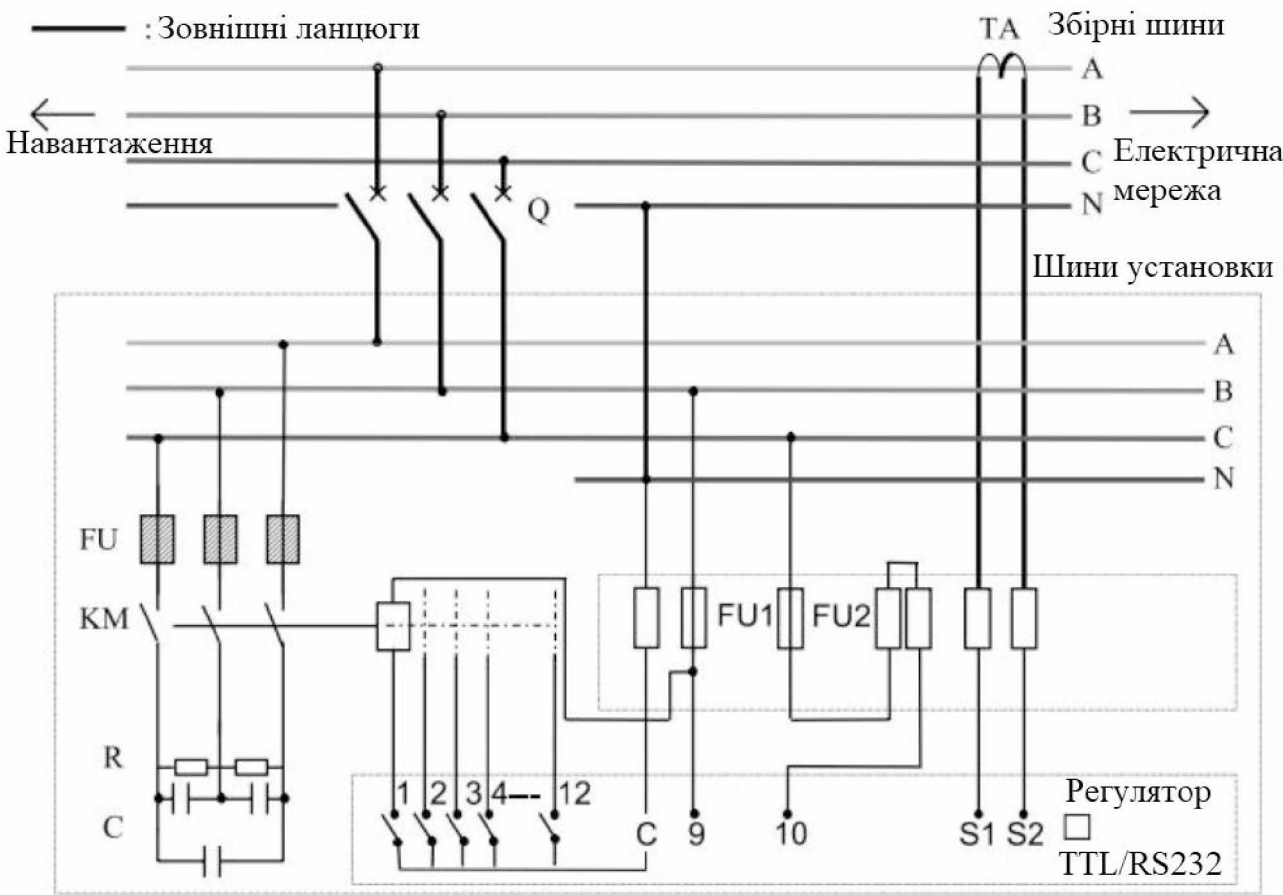


Рисунок Г. 1 – Схема электрическая принципиальная подключения к сети 0.4 (кВ)

Виберемо автоматичне конденсаторне встановлення компенсації реактивної потужності КРМ-0,4-50-4 УЗ.

Таблица параметров компенсирующего устройства

Значення	Параметр
50 (кВАр)	Номинальная мощность
350*450*550 (мм)	Габариты, (ШхВхГ)
4	Щаблі регулювання
12,5	Мінімальний крок, кВАр:

-15(C°)... + 40 (C°)	Температура навколишнього середовища
0-100 (%)	Діапазон системи регулювання,
400 (В)	Номінальна вхідна напруга (лінійна)
3	Кількість фаз
50±2 (Гц)	Частота вхідної напруги
305-435 (В)	Граничний діапазон вхідної напруги
325-435 (В)	Граничний діапазон вихідної напруги
60 (с)	Швидкодія системи регулювання
0.65–0.9/0.87-0.97	$\cos(\varphi_{\text{вхід/вихід}})$

Ця система:

- ефективно зменшує загальні витрати на електроенергію та теплові втрати струму;
- робить розподільчі мережі більш надійними та економічними;
- ефективно розвантажує живильні лінії електропередачі, трансформатори та розподільні пристрої;
- пригнічує мережеві перешкоди та зменшує несиметрію фаз;
- виключає генерацію реактивної енергії у мережу під час годин мінімального навантаження;
- зменшує рівень вищих гармонік;
- забезпечує отримання інформації про параметри і стан мережі, а в нових мережах допомагає зменшити потужність підстанцій і перерізу кабельних ліній, що сприятиме зниженню їх вартості;
- підвищує пропускну спроможність системи електропостачання споживача, що дозволяє підключати додаткові навантаження без збільшення вартості мереж;
- зменшує витрати на ремонт та оновлення парку електрообладнання.

ДОДАТОК Г

«Програма визначення оптимальної кількості обладнання, щодо оптимальної роботи підприємства »

Програма для розрахунку кількості необхідного обладнання на основі наданих даних стає невід'ємною частиною процесу забезпечення надійності та захисту технічного обладнання. В контексті релейної захисту та загального технічного обслуговування, програма дозволяє ефективно планувати обсяги потрібного обладнання, розглядаючи ймовірність безвідмовної роботи та інші ключові фактори.

Однією з переваг цієї програми є її здатність пристосовуватися до різних видів технічного обладнання, включаючи механообробне промисловість та інші галузі. Це робить програму універсальним інструментом для планування ресурсів у виробничому середовищі.

```
import math
```

```
def rozrahunok_EO(N, mu, K_N, K_V, K_C, K_Z, lambdas):
```

```
    """
```

Функція розраховує кількість необхідного обладнання
для забезпечення планового зростання виробництва.

Параметри:

N (int): Кількість станків одного типу.

mu (float): Плановий ріст виробництва.

K_N (float): Коефіцієнт нерівномірності виробництва.

K_V (float): Ймовірнісний коефіцієнт.

K_C (float): Співвідношення змінності за попередній період до розглядуваного.

K_Z (float): Коефіцієнт завантаження обладнання даного типу.

lambdas (list): Список значень параметрів для функції надійності.

Повертає:

tuple : Кількість станків та розподілену технологічну потужність за попередній період.

```
"""
```

```
M_1 = sum(math.exp(-l) for l in lambdas)
```

```
M_prime = N * (1 + mu) * K_N * K_V * K_C * K_Z * M_1
```

```
return N, M_prime
```

```
def main():
```

```
"""
```

Головна функція програми, яка взаємодіє з користувачем та викликає розрахункові функції.

```
"""
```

```
# Параметри обладнання та виробництва
```

```
mu = float(input("Введіть плановий ріст виробництва: "))
```

```
K_N = float(input("Введіть коефіцієнт нерівномірності виробництва: "))
```

```
K_V = 1.05 # Ймовірнісний коефіцієнт
```

```
K_C = float(input("Введіть співвідношення змінності за попередній  
період до розглядуваного: "))
```

```
K_Z = float(input("Введіть коефіцієнт завантаження обладнання цього  
типу: "))
```

```
# Напрацювання станків та функція надійності
```

```
print("Оберіть наробіток станків:")
```

```
print("1. 1 рік")
```

```
print("2. 7 років")
```

```
print("3. 13 років")
```

```

вибір = int(input("Ваш вибір (1/2/3): "))

if вибір == 1:
    lambdas = [0.0112, 0.0183, 0.03, 0.0488, 0.08, 0.1]
elif вибір == 2:
    lambdas = [0.0222, 0.032, 0.0466, 0.0677, 0.0985, 0.154]
elif вибір == 3:
    lambdas = [0.0224, 0.0333, 0.0555, 0.1014, 0.157, 0.154]
else:
    print("Невірний вибір.")
    return

# Розрахунок та виведення результатів
for N in [100, 80, 60, 40, 20, 10]:
    result = розрахувати_необхідне_обладнання(N, mц, K_N, K_V, K_C,
    K_Z, lambdas)
    print(f"Напрацювання {вибір} років, Кількість станків {N}: \
    {result[0]} станків. Розподілена технологічна потужність за
    попередній період: {result[1]}")

if __name__ == "__main__":
    main()

```

Програма враховує параметри та характеристики кожного виду обладнання, що робить її особливо корисною для оцінки та покращення роботи різноманітних технічних систем. За допомогою ефективних математичних моделей, вона дозволяє визначити оптимальну кількість обладнання для забезпечення планового росту виробництва.

Важливою перевагою є також можливість враховувати в розрахунках ризику та ймовірність виникнення поломок обладнання, що дозволяє

забезпечити високий рівень технічної готовності та знизити ризики непередбачених збоїв.

Ця програма, базуючись на теорії надійності та ймовірності, стає невід'ємним інструментом для планування, адаптованого до конкретних умов та потреб виробничого процесу. Завдяки своїм функціональним можливостям та універсальності, вона може сприяти підвищенню ефективності та надійності роботи технічного обладнання, що є ключовим аспектом сучасного технічного управління.