

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

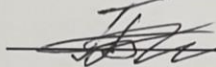
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

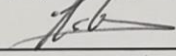
**«ЗАХИСТ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 10–220 КВ
ВІД ЗАМИКАНЬ»**

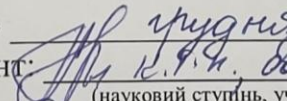
Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ЕСМ–22м
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
освітня програма «Електричні системи і
мережі»

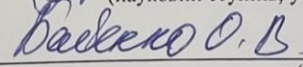
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Пограничний Б.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., проф., професор каф. ЕСС
(науковий ступінь, учене звання, посада)


 Рубаненко О. С.
(прізвище та ініціали)

« 03 » грудня 2023 р.
Опонент:  к.т.н., доц. каф. ЕССЕМ
(науковий ступінь, учене звання, посада)

 Баденко О. В.
(прізвище та ініціали)

« 12 » грудня 2023 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

 « 04 » грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«18» 09 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пограничному Богдану Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Захист повітряних ліній електропередач 10–220 кВ від замикань»

Керівник роботи к.т.н., проф., професор кафедри ЕСС Рубаненко О.Є.,
затверджено наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247

2. Термін подання студентом роботи 11 грудня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи: 1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посібник / В.П. Кідиба. – Львів: Видавництво "Львівської політехніки", 2015. – 504 с.; 2. Яндульський О. С., Дмитренко О. О., Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматика та керування електроенергетичних систем : Навчальний посібник: Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.; Посилання на періодичні видання.; 3. О. Є. Рубаненко, О. О. Рубаненко, І. О. Гунько Релейний захист та автоматика електричних станцій. М.: ВНТУ, 2023. 123 с.; Кутін В. М. Пристрій захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором / В. М. Кутін, В. І. Голінько, О. О. Шпачук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2016. - №2.-С.133-138.-Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2016_2_25.

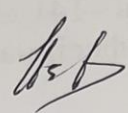
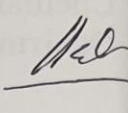

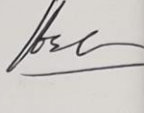
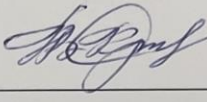
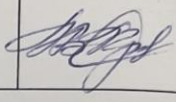
Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів: Повітряні лінії 10 кВ – 220 кВ, термінал REF615, мережа 110 кВ з частково заземленою нейтраллю, подвійні однофазні замкнення ліній 110 кВ, програмне забезпечення «Matlab».

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1.Технічні характеристики та особливості повітряних ліній 10–220 кВ. 2. Розрахунок струмів замкнень під час металічного КЗ. 3. Дослідження параметрів мікропроцесорного захисту ліній електропередач. 4. Охорона праці. 5.Економічна частина. Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: 1 – актуальність, мета та завдання. 2 – об'єкт, предмет дослідження, новизна. 3 – характеристики вже існуючих аналогів, їх переваги і недоліки. 4 – опис математичного апарату. 5 – реалізація запропонованих рішень. 6 – результати експериментальних досліджень. 7 – економічні розрахунки. 8 – висновки. 9 – апробація результатів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Рубаненко О. Є., к.т.н., проф., професор кафедри ЕСС		
Охорона праці	Рубаненко О. Є. Кобильянський О. В. д.п.н., проф., завідувач каф. КБЖПБ		
Економічна частина	Остра Н. В. к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання		Примітка
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження теми МКР. Розроблення технічного завдання	01.09.2023	06.09.2023	вик
2	Вступ. Огляд літературних джерел	07.09.2023	12.09.2023	вик
3	Виконання аналітичної частини МКР (розділ 1 МКР)	13.09.2023	05.10.2023	вик
4	Виконання теоретичної частини МКР (розділ 2 МКР)	06.10.2023	20.10.2023	вик
5	Виконання практичної частини МКР (розділ 3 МКР)	21.10.2023	01.11.2023	вик
6	Виконання розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях (розділ 4 МКР)	02.11.2023	08.11.2023	вик
7	Виконання економічної частини (розділ 5 МКР)	09.11.2023	15.11.2023	вик
8	Формування висновків по роботі	16.11.2023	18.11.2023	вик
9	Оформлення пояснювальної записки	19.11.2023	26.11.2023	вик
10	Виконання графічної частини та оформлення презентації	27.11.2023	04.12.2023	вик
11	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	05.12.2023	10.12.2023	вик
12	Опонування МКР	11.12.2023	19.12.2023	вик
	Захист МКР			вик

II декада грудня

Студент

Керівник роботи



(підпис)

(підпис)

Б. П. Пограничний

О. Є. Рубаненко

(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311

Пограничний Богдан Петрович «Захист повітряних ліній електропередач 10–220 кВ від замикань». Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Вінниця: ВНТУ, 2023. 73 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 19 назв; рис.: 45, табл.11.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано розрахунки струмів замкнень при металічному замкненні на землю з частково заземленими і повністю незаземленими нейтраліями трансформаторів, побудовано комп'ютерну модель трифазної електричної мережі і розглянуті захисти ліній та виконано розрахунок уставок захистів ліній, запропоновано замінити існуючий електромеханічний захист на мікропроцесорний. У розділі охорони праці було запропоновано ряд технічних рішень по заходах з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

У економічній частині роботи розраховано термін окупності встановлення нового захисту на заміну пошкодженого захисту внаслідок аварії.

Ключові слова: однофазне замикання на землю, вимикач, лінії електропередачі, симулювання, аналіз, електромережа.

ANNOTATION

Pohranychnyi Bohdan Petrovych "Protection of 10-220 kV overhead power lines against short circuits". Master's qualification thesis on specialty 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" Vinnytsia: VNTU, 2023. 73 pp.

In Ukrainian language. Bibliographer: 19 titles; fig.: 45; tabl. 11.

In the master's qualification work, the calculations of the short-circuit currents in the case of metallic grounding with partially grounded and completely ungrounded neutrals of transformers were made, a computer model of a three-phase electrical network was built and line protections were considered, and the settings were calculated, it was proposed to replace the existing electromechanical relay protection to microprocessor. In the labor protection section, a number of technical decisions were made on labor protection and safety measures in emergency situations.

In the economic part of the work, the payback period for installing new protection to replace the one damaged as a result of the accident was calculated.

Keywords: single-phase ground fault, switch, power transmission lines, simulation, analysis, power network.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 10–220 КВ	11
1.1 Ключові параметри ЛЕП	11
1.2 Елементи конструкції ЛЕП.....	14
1.3 Конструктивні параметри ЛЕП.....	16
1.4 Експлуатація повітряних ліній	18
1.5 Короткі замикання ЛЕП	19
1.6 Висновки до розділу 1.....	22
2 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ ЗАМКНЕНЬ ПІД ЧАС МЕТАЛІЧНОГО КЗ	23
2.1 Визначення струмів при металічному КЗ на землю при частково заземлених нейтралях.....	23
2.2 Визначення струмів при металічному КЗ на землю при незаземлених нейтралях.....	28
2.3 Висновок до розділу 2.....	31
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	32
3.1 Пристрої мікропроцесорного захисту	32
3.2 Розробка моделі мережі в середовищі «Matlab»	50
3.3 Розрахунок уставок захистів	61
3.4 Аналіз струмів коротких замкнень	64
3.5 Висновки до розділу 3.....	71
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	73
4.1 Технічні рішення з безпечного виконання роботи в процесі дослідження ефективності процесів та систем.....	73
4.2 Технічні рішення з виробничої санітарії.....	75

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	80
4.4 Висновок до розділу 4.....	86
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	87
5.1 Аналіз комерційного потенціалу	87
5.2 Економічна доцільність	88
5.3 Висновки до розділу 5.....	94
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	98
ДОДАТКИ.....	101
ДОДАТОК А	102
ДОДАТОК Б.....	103
ДОДАТОК В	107
ДОДАТОК Г.....	108

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ВВ – ввідний вимикач;
- ДЗ – дистанційний захист;
- КЗ – коротке замикання;
- ЛЕП – лінія електропередачі;
- МКР – магістерська кваліфікаційна робота;
- МСЗ – максимальний струмовий захист;
- ОЕСУ – об’єднана енергетична система України;
- ПЛ – повітряна лінія;
- ППП – пакет прикладних програм;
- СВ – струмова відсічка;
- СДЗ – струмовий диференційний захист;
- ТН – трансформатор напруги;
- ТС – трансформатор струму;
- ВРУ – відкрита розподільча установка.

ВСТУП

За останні роки людство відчуло наслідки значного технологічного прогресу. Проте, не дивлячись на досягнення в наш час зростають вимоги безаварійної експлуатації електрообладнання енергопостачальних компаній та електроенергетичних систем. Однією із них є надійна передача електроенергії повітряними лініями електропередач.

Усі досягнення у сфері штучного інтелекту та бездротових технологій стають поруч із потребою механічного з'єднання джерела енергії з приймачами. Це актуально в контексті повітряних ліній (ПЛ) електропередач, які піддаються впливу різних факторів навколишнього середовища, таких як опади, вітри, рослинність, зрушення ґрунту і інші різноманітні природні явища.

Причини пошкодження ПЛ можуть бути прямими та непрямими. Прямі це ті фактори або впливи, що діють безпосередньо на лінії електропередач і призводять до їх пошкодження. Наприклад, сильні вітри, блискавка, дії хуліганів, обриви проводів тощо. Ці причини можуть викликати аварійні ситуації і прямий фізичний збій у роботі ліній, а непрямі це фактори, які призводять до пошкоджень через вплив на інші елементи або умови електропередачі.

Відносна рухливість ліній та відкритість роблять їх більш схильними до аварій, порівняно з іншими елементами енергетичних систем, такими як трансформатори та генератори. Опори ПЛ мають витримувати вплив навколишнього середовища, що часто призводить до порушень ізоляції.

Негода може спричинити короткі замикання або навіть обрив ПЛ. Рух провідників також збільшує ймовірність зіткнення з природними об'єктами, такими як дерева, що може спричинити нові аварійні ситуації. З корозією арматури та пошкодженням ізоляторів зростає ймовірність електричного пробоя.

Практика показала, що для забезпечення нормальної роботи ПЛ та системи в цілому необхідні засоби релейного захисту та автоматики. Релейний захист (РЗ) забезпечує автоматичне відключення у випадку аварій. Однак надійність

кожного елементу РЗ та можливі помилки при його проектуванні можуть викликати нові проблеми у вигляді відмови роботи чи неселективної роботи захисту.

Кабельні лінії (КЛ), здається, можуть бути більш надійними, оскільки вони захищені оболонкою та іноді бронею. Але і вони піддаються впливу зовнішніх умов через порушення ізоляції, зумовлені неправильним монтажем, старінням та іншими факторами.

Коротке замикання (КЗ) на лініях може призводити до серйозних наслідків, включаючи збільшення струмів, нагрів провідників, витрату електроенергії та втрату надійності системи.

Отже, тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) «Захист повітряних ліній електропередач 10–220 кВ від замикань» є актуальною.

Мета і завдання роботи. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є вдосконалення релейних захистів ліній електричних мереж 10–220 кВ.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі завдання:

- розробити комп'ютерну модель трифазної електричної мережі 220/10 кВ в середовищі ППП «Matlab»;
- розрахувати струми в обладнанні електричних мереж під час металічного КЗ у випадку частково заземлених та повністю незаземлених трансформаторів;
- дослідити параметри мікропроцесорного захисту ліній електропередачі;
- дослідити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;
- визначити техніко-економічні показники заміни електромеханічного захисту ліній 10 кВ на новий мікропроцесорний.

Об'єкт дослідження є процес зміни струмів ліній електропередач 10–220 кВ під час коротких замкнень, який викликає помилкові спрацювання релейного захисту.

Предмет дослідження є уставки спрацювання релейного захисту ліній 10–220 кВ.

Новизна одержаних результатів полягає у результатах досліджень причин помилкових відключень ЛЕП 10 кВ під час замкнень. Інноваційність полягає в тому що для покращення властивостей релейного захисту було створено комп'ютерні моделі і обґрунтовано необхідність вдосконалення релейних захистів шляхом заміни електромеханічних на мікропроцесорні. Відмінність отриманих результатів полягає в визначенні струмів у ввідному вимикачеві під час замкнень, які спричиняють неселективну роботу ввідного вимикача.

Особистий внесок здобувача. Магістерська кваліфікаційна робота є самостійно виконаною працею, в якій автором вдосконалено релейний захист ліній 10–220 кВ шляхом заміни застарілого електромеханічного захисту на мікропроцесорний та розроблена модель електричної мережі 220/10 кВ в пакеті прикладних програм «Matlab», що обґрунтовує заміну.

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні наукові результати опубліковані у тезах доповідей:

- Рубаненко О.Є., Пограничний Б.П., Гасич В.В., Дослідження струмів в розподільних електричних мережах 10 кВ під час подвійних замкнень на землю: тези наук. – тех. конф. Вінниця 2022 р. С. 1629 – 1630.
- Рубаненко О.Є., Пограничний Б.П., Захист повітряних ліній електропередач 10–220 кВ від замикань: тези наук. – тех. конф. Вінниця 2023 р. С.1-2

1 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 10–220 КВ

1.1 Ключові параметри ЛЕП

Історія ліній електропередачі сягає своїм корінням в ХІХ століття, коли електротехнічні винаходи стали вирішальними для електрифікації та передачі енергії на великі відстані. Початкові спроби передачі електроенергії здійснювалися на короткі відстані, але з появою електричних генераторів виникла необхідність вирішення завдань дальньої передачі.

Перші лінії електропередачі використовували постійний струм та були спрямовані на вирішення завдань освітлення вулиць та промислових потреб. Найважливішим кроком у розвитку була реалізація змінного струму (ЗС) та винахід трансформатора, як наслідок збільшення ефективності передачі енергії на великі відстані, зниження втрат та підвищення гнучкості системи.

У другій половині ХІХ століття великі міста, такі як Нью-Йорк та Лондон, почали використовувати лінії електропередачі для постачання електроенергії населенню та промисловим підприємствам. Розвиток та стандартизація конструкцій, таких як ізольовані провідники та опори, стали ключовими для підвищення надійності систем.

У ХХ столітті, з розвитком технологій та зростанням потреб в електроенергії, лінії електропередачі стали невід'ємною частиною електроенергетичних систем. З'явилися високовольтні системи передачі, а провідники та ізоляційні матеріали підвищились за ефективністю та надійністю.

Сьогодні лінії електропередачі є складовою глобальної електроенергетичної інфраструктури, яка продовжує розвиватися в контексті впровадження новітніх технологій, включаючи "розумні" системи управління.

Фактично кожна лінія електропередач є металевим провідником з розподіленими параметрами.

Одним з ключових параметрів є напруга (U), яка визначається як робота по переміщенню позитивного електричного заряду. Оптимальний вибір напруги важливий для забезпечення максимальної ефективності та надійності системи, враховуючи величину передаваної потужності (P) та відстань на яку вона передається (L).

Іншою з ключових характеристик ліній є струм (I), що визначається як направлений рух заряджених частинок та є кількісною характеристикою електричного заряду, що протікає в провіднику. Важливо враховувати параметри провідника, оскільки вони визначають міцність та здатність переносити струм, що важливо для забезпечення стійкості ліній.

Опір (R) представляє собою міру того, наскільки матеріал, через який протікає струм, ускладнює його проходження. Матеріали з високим опором зменшують струм, тоді як матеріали з низьким опором легко пропускають струм. Через опір провідників виникають теплові втрати енергії. Опір має дві складові – активну та реактивну. Активний опір виникає внаслідок взаємодії(тертя) електронів з атомами матеріалу, що утворює провідник, як наслідок – втрати енергії та підвищення температури провідника. Реактивний опір виникає внаслідок індуктивності (L) та ємності (C) елементів електричного кола. Індуктивність викликає фазове зміщення струму відносно напруги, а ємність – напруги відносно струму. Є 2 типи реактивного опору: індуктивний реактивний опір (X_L) та ємнісний реактивний опір (X_C).

Реактивний опір змінює фазовий кут між напругою та струмом у змінних струмових системах. Це може призводити до того, що потужність, яку вона споживає, не збігається в часі з фактично витраченою потужністю.

Також одним із ключових параметрів є потужність. Визначається як обсяг електричної енергії, що може бути передана від джерела до споживача протягом певного періоду часу. Цей параметр визначає ефективність та продуктивність електроенергетичної системи. Потужність (P) вимірюється у ватах (W) і визначається за допомогою формули $P = U \cdot I$, де U – напруга, I – струм. Ця

формула відображає взаємозв'язок між напругою та струмом у системі згідно з законом Ома. Важливий аспект – збалансованість потужності для забезпечення надійності та ефективності передачі електроенергії. Управління потужністю допомагає уникнути перевантажень і зберігає стабільність електричних систем. Врахування взаємозв'язку потужності з іншими параметрами, такими як напруга та струм, дозволяє оптимізувати роботу системи та забезпечити ефективну передачу електроенергії в електромережі.

Лінії електропередачі (ЛЕП) поділяються на кілька видів, в залежності від напруги, конструкції, призначення та технічних характеристик.

- За напругою: За номінальною напругою повітряні лінії електропередачі прийнято поділяти на два великих класи: низьковольтні – напругою до 1 кВ і високовольтні – напругою понад 1 кВ, що відрізняються конструктивним виконанням та розрахунковими умовами експлуатації. Для повітряних ЛЕП змінного струму в Україні прийнята наступна шкала напруг: 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 400, 500 і 750 кВ.
 - За конструкцією та розташуванням: повітряні (підвішані до вертикальних опор) та кабельні (можуть існувати як під землею, так і під водою).
 - За призначенням: транзитні лінії електропередачі – призначені для транспортування електроенергії на великі відстані між регіонами чи країнами. Розподільчі лінії електропередачі – спрямовані на розподіл електроенергії в рамках конкретного регіону або міста.
 - За характером роботи: лінії змінного струму (ЗС) – основний тип ліній, які передають енергію у вигляді змінного струму (ЗС).
- Лінії постійного струму (ПС) – використовуються для передачі енергії у вигляді постійного струму (ПС), що важливо в певних технологічних процесах.
- За довжиною: розрізняють короткі лінії електропередачі довжиною до 50 км, середні – протяжністю від 50 до 150 км та довгі – довжиною понад 150 км.

Кожен вид ліній електропередачі адаптований для конкретних умов та завдань, забезпечуючи ефективну та безперебійну передачу електроенергії в

різних сценаріях використання. Застосування різних технологій та конструкцій дозволяє оптимізувати енергетичну інфраструктуру для задоволення конкретних потреб і вимог. При конструюванні ЛЕП враховують номінальну напругу, рельєф і кліматичні умови місцевості.

Українські мережі електропостачання найбільш поширені такі системи напруг: – 110 / 35 / 6 / 0,4 кВ; – 110 / 35 / 10 / 0,4 кВ; – 110 / 10 / 0,4 кВ; – 110 / 6 / 0,4 кВ (рідше).

1.2 Елементи конструкції ЛЕП

Основними елементами повітряних ліній електропередачі є: проводи, траверси, арматура, ізолятори, опори, грозозахисні троси, заземлювальні пристрої та розрядники.

Проводи різних конструкцій та перерізів забезпечують передачу електричного струму. Від їх конструкції, матеріалу виконання та перерізу залежать техніко–економічні показники електропередачі та вартість спорудження лінії. А найпоширенішими провідниками, які на сьогоднішній день використовуються для повітряних ліній є сталеві алюмінієві неізольовані (АС) і самонесучі ізольовані проводи (СП).

Траверси унеможливають контакт проводів між собою та з іншими елементами опорної конструкції.

Лінійна арматура використовується для кріплення проводів і тросів до ізоляторів та опор, а також з'єднання проводів та тросів. Це передусім натяжні та підтримуючі затискачі, з'єднувачі, зчіплювані деталі, дистанційні розпорки, захисні кільця і роги, а також віброгасники.

Ізолятори призначені для кріплення проводів до опор та їх ізоляції від заземлених частин опори. Розрізняють штирьові ізолятори, що підтримують провідник над конструкцією і застосовуються на лініях напругою до 35 кВ та підвісні, що використовуються на лініях напругою понад 35 кВ і часто утворюють гірлянди ізоляторів, де провідник висить під конструкцією. Підвісні

ізолятори мають вищі механічні характеристики, ніж штирові. Виготовляються ізолятори переважно з порцеляни, загартованого скла та полімерних матеріалів, а їх кількість залежить від напруги лінії, необхідної стійкості до блискавки, висоти над рівнем моря та факторів навколишнього середовища, таких як туман або наявність у повітрі соляних бризок чи забруднення.

Опори призначені для утримання проводів повітряних ліній електропередачі та грозозахисних тросів на заданій відстані від поверхні землі та один від одного. В залежності від напруги опори відрізняються розмірами і вагою. Чим більша напруга, тим опори вищі, їх траверси довші, а вага більша. Розрізняють кілька груп опор. За матеріалом виготовлення опори бувають дерев'яними (широко застосовуються, пояснюється їх низькою вартістю, простотою виготовлення, проте найнебезпечнішою вадю є схильність деревини до загнивання та можливість їх загорання під час пожеж на трасах, прямих ударах блискавок або під час проходження струмів витоку через дефекти ізоляторів), сталевими, залізобетонними, алюмінієвими і навіть виготовленими з армованого пластику та композитних матеріалів. За призначенням розрізняють анкерні (кінцеві і кутові), проміжні та перехідні опори. Анкерні опори забезпечують постійний натяг проводів ЛЕП та витримують значне навантаження. Анкерні кінцеві опори встановлюються на початку та в кінці повітряної лінії, а кутові – в місцях повороту траси. Проміжні опори зустрічаються на лініях найчастіше та призначені для підтримання проводів між двома анкерними опорами на прямих ділянках траси і не розраховані на навантаження від натягування проводів вздовж лінії. А перехідні – використовуються при перетині трасою ЛЕП будь-яких великих перешкод природного або інженерного характеру (мостів, підвісних канатних доріг, річок, озер, каналів, ярів тощо). Вони мають більшу вагу і висоту та несуть найбільші навантаження. Існують також спеціальні види опор: транспозиційні (дозволяють змінювати порядок розміщення проводів на опорах), відгалужувальні (служать для організації відгалужень від повітряних ліній), перехресні (встановлюються

на перетині повітряних ліній двох напрямків) та противітрові (встановлюються для посилення механічної міцності).

Грозозахисні троси служать для захисту ліній від грозових розрядів. Це переважно сталеві або сталеалюмінієві троси, що розміщуються над фазовими проводами повітряної лінії електропередачі чи підстанції.

Заземлювальні пристрої та розрядники призначені для відведення струмів блискавки або короткого замикання у землю.

1.3 Конструктивні параметри ЛЕП

Як і будь-яка інженерна споруда, повітряні лінії електропередач мають свої специфічні конструктивні характеристики. До них насамперед можна віднести довжину прольотів, стрілу провисання, типи провідників, відстань від проводу до поверхні землі або до будь-яких інших будівель або об'єктів, над якими проходить лінія, тобто її габарити. Розглянемо більш докладно кожен із цих параметрів.

Довжину прольоту становить відстань між двома сусідніми проміжними опорами ЛЕП. Ця характеристика залежить від напруги на лінії: для ЛЕП з напругою 0,4 кВ вона становить від 30 до 50 метрів. Більш точно можна визначити цю величину, знаючи тип використовуваних опор, марку та перетин проводу, а в деяких випадках і природні умови даної місцевості.

Стріла провисання – один із конструктивних параметрів повітряних ліній електропередач, що є вертикальною прямою, проведеною від уявної лінії з'єднання точок кріплення проводів на сусідніх опорах до нижньої точки провисання проводів між цими опорами. Фактично, ця величина також залежить від типу опор, марки та перетину проводу та клімату регіону, в якому проведена лінія електропередачі. Габарит повітряної лінії електропередач є найменшою існуючою відстанню від проводів у кожному прольоті до землі або будь-яких інших природних об'єктів, будівель або споруд. Ці параметри строго регламентуються спеціальною документацією і залежать від напруги на лінії і

від того, наскільки часто цю місцевість відвідують люди. У густонаселеній місцевості мінімальна відстань від проводів до поверхні землі має становити 6м, у важкодоступній та безлюдній місцевості цей показник зменшується до 3,5м, а в деяких районах, де немає ймовірності, що поблизу ЛЕП можуть виявитися люди — до 1м. Слід зазначити, що неприпустимим є проведення лінії електропередач над будинками. Горизонтальна відстань до будівель та споруд має бути не менше 1,5м, а якщо лінія проходить паралельно глухій стіні об'єкта, то допускається відстань 1м.

Типи провідників в лініях електропередачі визначаються врахуванням їхніх електротехнічних властивостей та механічної міцності. Провідники можуть бути алюмінієвими, мідними чи їх комбінацією. Алюмінієві провідники відзначаються легкістю та високою провідністю, забезпечуючи економію матеріалів та вартості.

Мідні провідники відомі своєю великою провідністю та стійкістю до корозії. Це робить їх ефективними для високовольтних ліній, де важлива ефективність передачі. Однак їх вага та вартість можуть бути є одними з найважливіших факторів при виборі провідника в конкретних ситуаціях.

Крім того, іноді використовують композитні провідники, які об'єднують переваги алюмінію та міді. Це дозволяє поєднувати легкість алюмінію та ефективність міді, оптимізуючи таким чином експлуатаційні характеристики ліній електропередачі. Кожен з цих типів провідників має свої переваги та обмеження, що враховуються при проектуванні ЛЕП для різних застосувань.

Виходячи з вищевикладеного, можна дійти висновку, що конструктивні параметри повітряної лінії електропередач визначають не лише ефективну її роботу, а й забезпечують безпеку навколишніх об'єктів і населення цього району. Тому при будівництві ЛЕП необхідно неухильно дотримуватися цих рекомендацій.

1.4 Експлуатація повітряних ліній

Від номінальної напруги лінії електропередачі залежить смуга відчуження, що являє собою земельну ділянку та повітряний простір на певній відстані від крайніх проводів і облаштовується в околицях будь якої ПЛ. Для напруги 220 – 330 кВ відстань від крайніх дротів 30 м, а до 20 кВ – 10 м. На цій території заборонено споруджувати будівлі та садити дерева, а у разі проходження ліній через ліси проводиться вирубка дерев встановленої ширини вздовж усієї траси. Такі смуги покликані забезпечити нормальне функціонування ліній, зручність їх обслуговування та ремонту, а також запобігти травмуванню і загибелі людей. Забороняється прокладання високовольтних трас над дахами будинків, дитячих, спортивних, культурно–розважальних та торгівельних закладів і майданчиків.

Наявність доволі широких смуг відчуження є одним з недоліків повітряних ЛЕП. Крім того, вони незахищені від різних зовнішніх впливів (наприклад падіння дерев) і з цієї причини потребують більших витрат на техобслуговування, а також відрізняються естетичною непривабливістю, тому в межах міст частіше використовується кабельний спосіб передачі електроенергії. Наявність швидкорослого чагарника на трасах ПЛ скорочує відстань від проводів лінії до землі, погіршує умови використання робіт на лінії, створює небезпеку виникнення пожежі. Тому своєчасне розчищення трас від чагарників є важливою експлуатаційною роботою. Останніми роками набувають поширення хімічні способи розчищення трас від чагарників. Хімічна обробка виконується наземними засобами за допомогою спеціальних обприскувачів. Довгі траси ПЛ (330 – 750) кВ обробляються з літаків і вертольотів.

Періодичні огляди виконуються для виявлення виникаючих на ПЛ дефектів з тим, щоб надалі ці дефекти усунути. Для ПЛ 6 – 750 кВ проводиться електромонтерами не рідше одного разу в 6 місяців. Проте ПЛ, які проходять у населених пунктах, промислових районах, місцях сильного забруднення, рекомендується оглядати більш частіше один раз на 3 місяці. Під час огляду обхідник пересувається по краю траси, уважно оглядаючи всі елементи ліній і

одночасно трасу. Лінія, що оглядається, у всіх випадках вважається такою, що перебуває під напругою.

Найпоширеніші дефекти:

- розтягування, провисання проводів і тросів;
- механічні пошкодження чи забруднення ізоляторів, тріщини в шапках, перекриття гірлян, сильні відхилення підтримуючих гірлянд ізоляторів;
- незадовільне кріплення розрядників, забруднення, пошкодження лакової плівки, відсутність покажчиків спрацювання;
- тріщини, осідання і інші дефекти фундаментів, ослаблення і пошкодження натяжок опор, деформація частин металевих опор, наявність загнивання, обгорання і розщеплювання деталей дерев'яних опор, нахили опор;
- наявність в охоронній зоні пожежонебезпечних матеріалів.

Попри це саме повітряні лінії електропередачі і досі вважаються найбільш економічно вигідним способом передавання електричної енергії на великі відстані. Що у свою чергу обумовлює активне їх використання.

Повітряні лінії продовжують залишатися важливим елементом системи передачі електричної енергії, а для їх ефективного функціонування та підвищення якості електропередачі постійно проводяться роботи з обслуговування, ремонту та технічного переоснащення. Одним з важливих та перспективних напрямків модернізації ПЛ низької та середньої напруги є заміна ліній, виконаних неізольованими проводами на самонесучі ізольовані проводи (СП), що знайшли застосування в різних країнах світу, як розумний компроміс між вартістю, захищеністю і технологічністю.

1.5 Короткі замикання ЛЕП

Короткі замикання можуть приносити непередбачувані наслідки для енергетичної інфраструктури. Явище виникає, коли стає можливим електричне з'єднання між точками, які зазвичай мають ізольований стан. Така несподівана

взаємодія може призвести до значних термічних і механічних напруг на повітряних лініях.

Однією з ключових наслідків короткого замикання є великі струми (сила струму при КЗ сягає від одиниць до сотень кА.). Ці струми можуть викликати перегріву провідників та можливих пошкоджень.

Термічне навантаження визначається величиною струму та тривалістю короткого замикання. Провідники, які зазвичай передають струми з невеликою втратою тепла, стають об'єктом інтенсивного теплового випромінювання. Це може викликати плавлення або деформацію матеріалу провідника. Величезні струми, які протікають через лінії під час короткого замикання, створюють силу електромагнітного поля, яка може викликати механічні напруги на стійках, ізоляторах та інших структурних елементах лінії. Це може вести до механічних пошкоджень, наприклад, вигину стійок або руйнування ізоляторів, що може призвести до падіння лінії чи частини неї. Такі явища можуть призвести до відмови лінії та небезпечних ситуацій.

Для запобігання створено різного типу сучасні системи автоматичного захисту призначені для оперативного відключення пошкоджених ділянок ліній, окрім цього слід враховувати стандарти для будівництва ліній та використовувати першокласні матеріали, міцні та стійкі до динамічних навантажень.

Усі ці аспекти вимагають комплексного підходу до будівництва та експлуатації ліній електропередач, який включає в себе ефективні системи захисту, системи моніторингу та діагностики стану ліній та використання технологій для забезпечення безпеки та надійності електропередачі. Ці технології можуть сприяти вчасному виявленню потенційних проблем і допомагати в управлінні електромережею для зменшення ризиків коротких замикань.

Найпростішим видом короткого замикання (КЗ), із точки зору сприйняття процесу, є симетричне трифазне коротке замикання. При такому к.з. опір усіх трьох фаз до точки к.з. буде однаковим.

До несиметричних к.з. можна віднести двофазне, двофазне через землю і однофазне к.з.. Останній вид к.з. може спостерігатися лише в мережах із заземленою нейтраллю.

Короткі замикання (КЗ) в електричних системах можуть виникати з різних причин і відігравати ключову роль у функціонуванні та безпеці електромережі. Механічні пошкодження є основною причиною виникнення коротких замикань. Екстремальні погодні умови, такі як сильні вітри, бурі, снігопади або лід на провідниках, можуть спричинити механічне пошкодження ліній. Через сильні вітри гілки або інші об'єкти можуть потрапити на лінії, пошкоджуючи ізоляцію або провідники та викликаючи короткі замикання. Також небезпечними є грозові розряди, під час ураження виникають великі струми, що спричиняють термічну та механічну дію на обладнання системи. Об'єкти, які випадково чи навмисно потрапляють на лінії (наприклад, інструменти, відходи, робочі матеріали), можуть стати причиною механічного пошкодження та викликати коротке замикання. Також трапляються випадки вандалізму – навмисні дії, спрямовані на руйнування ліній, викрадення чи руйнування обладнання. Також не слід забувати про дорожньо–транспортні аварії, зіткнення літаків з електричними лініями.

Через несправності такого обладнання, як трансформатори, роз'єднувачі, або вимикачі можуть виникнути замикання. Відмови у роботі обладнання можуть стати причиною непередбачуваного з'єднання електричних контактів, що викличе КЗ. Елементи електромережі піддаються зносу та старінню з плином часу. Зношені чи старі елементи, можуть призвести до витoku струму та виникнення КЗ.

Людський фактор: неправильний монтаж обладнання чи самих ЛЕП або неправильно підключені провідники можуть створити шлях із меншим опором

для електричного струму, викликаючи КЗ. Необачне використання будівельних машин та інструментів поруч з електричними лініями може викликати пошкодження провідників чи ізоляції. Недотримання працівниками правил охорони праці при обслуговуванні чи ремонті обладнання може призвести до нещасних випадків.[1,2,3]

1.6 Висновки до розділу 1

1. Ключові параметри ЛЕП: струм, напруга, опір, та потужність, визначають ефективність системи передачі енергії на відстань. ажливо враховувати баланс між цими параметрами для забезпечення стабільності системи.

2. Елементи конструкцій ЛЕП, такі як опори, провідники, ізоляційні системи та прилади, грають ключову роль у стійкості та надійності системи. Визначення конструктивних параметрів, таких як матеріали опор, довжина лінії, типи провідників, є критичним для оптимізації ліній та врахування специфіки конкретної місцевості.

3. Причини пошкодження повітряних ліній електропередачі в основному пояснюються такими факторами: зміною температури навколишнього середовища, галапуванням проводів, ожеледицями на проводах, вітром, перенапругами (грозовими та комутаційними), забрудненням повітря.

2 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ ЗАМКНЕНЬ ПІД ЧАС МЕТАЛІЧНОГО КЗ

2.1 Визначення струмів при металічному КЗ на землю при частково заземлених нейтралях

Розглянемо металічне замикання на землю в мережі 110 кВ (рисунок 2.1) в точках К і L (фази В і С відповідно) при частково заземлених нейтралях трансформаторів. Заступна схема прямої (зворотної) та нульової послідовності з реактивним опором приведені до 115 кВ зображені на рисунку 2.1–2.2). В результаті перетворень отримаємо схеми зображені на рисунках 2.2 і 2.3.

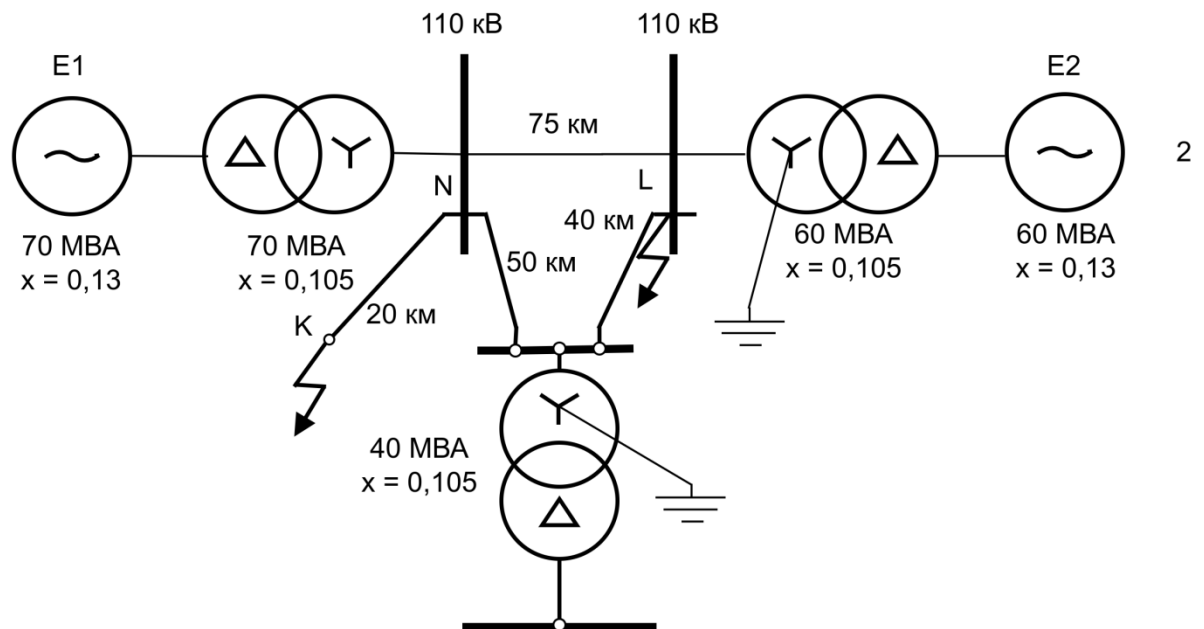


Рисунок 2.1 – Схема мережі та розподіл струмів в лініях

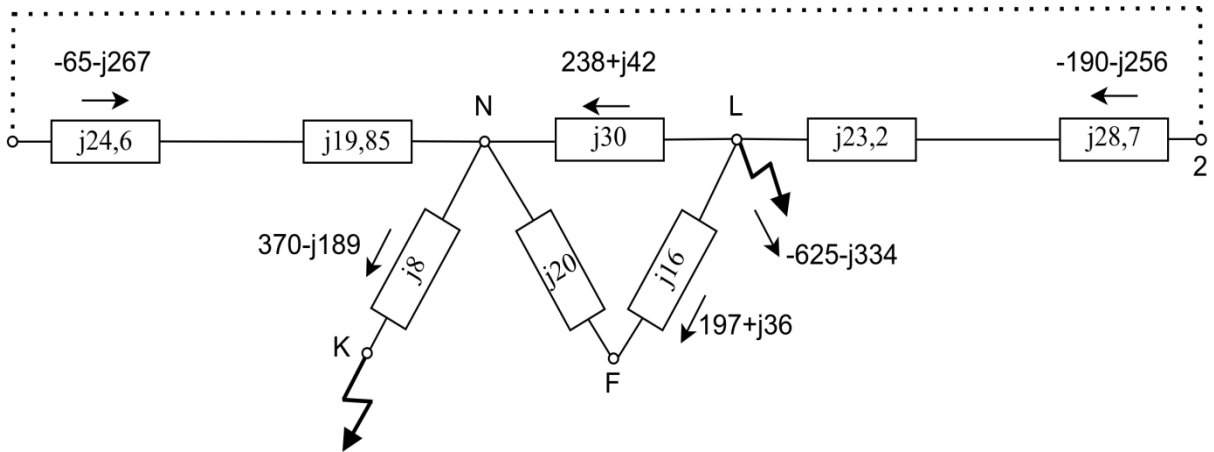


Рисунок 2.2 (а) – Заступна схема прямої послідовності

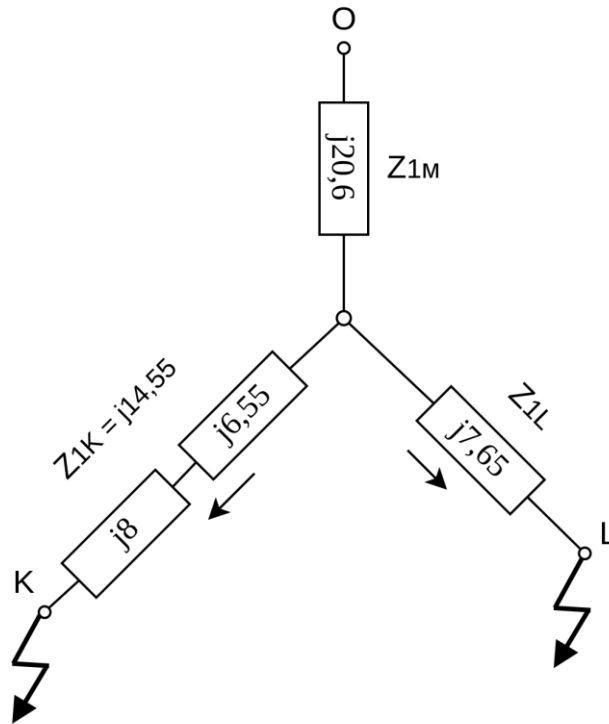


Рисунок 2.2 (б) – Заступна схема прямої послідовності (зірка)

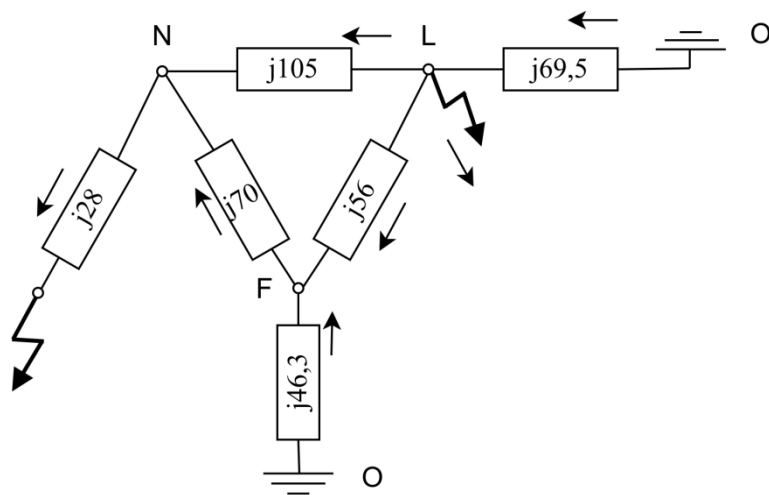


Рисунок 2.3 (а) – Заступна схема нульової послідовності (трикутник)

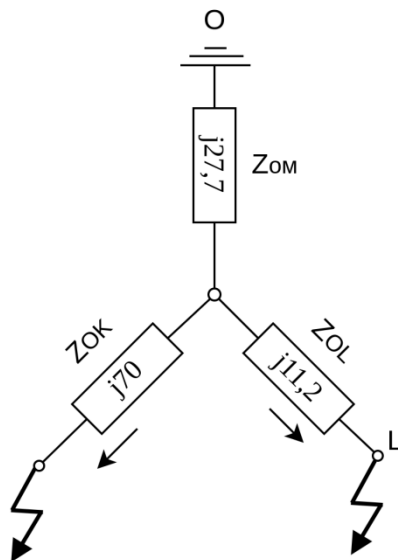


Рисунок 2.3 (б) – Заступна схема нульової послідовності (зірка)

$$Z_{\Sigma KK} = Z_{1M} + Z_{2M} + Z_{0M} + Z_{1K} + Z_{2K} + Z_{0K}, \quad (2.1)$$

$$Z_{\Sigma LL} = Z_{1M} + Z_{2M} + Z_{0M} + Z_{1L} + Z_{2L} + Z_{0L}, \quad (2.2)$$

$$Z_{\Sigma ML} = Z_{1M} + a \cdot Z_{2M} + a^2 \cdot Z_{0M}, \quad (2.3)$$

$$Z_{\Sigma MK} = Z_{1M} + a^2 \cdot Z_{2M} + a \cdot Z_{0M}. \quad (2.4)$$

Згідно 2.1–2.4:

$$\begin{aligned}
Z_{\Sigma KK} &= j(2 \cdot 20,6 + 27,7 + 2 \cdot 14,55 + 70) = j168 \text{ (Ом)}, \\
Z_{\Sigma LL} &= j(2 \cdot 20,6 + 27,7 + 2 \cdot 7,65 + 11,2) = j95,4 \text{ (Ом)}, \\
Z_{\Sigma ML} &= a \cdot Z_{\Sigma MK} = a^2 \cdot (Z_{0M} - Z_{1M}) = j \cdot a^2 \cdot (27,7 - 20,6) \text{ (Ом)}, \\
Z_{\Sigma ML} &= j \cdot a^2 \cdot 7,1 \text{ (Ом)}.
\end{aligned}$$

Струми визначаємо за формулами 2.5–2.6:

$$I_{0K} = a^2 \cdot (Z_{\Sigma LL} - Z_{\Sigma ML})E_A/\Delta, \quad (2.5)$$

$$I_{0L} = a \cdot (Z_{\Sigma KK} - Z_{\Sigma MK})E_A/\Delta, \quad (2.6)$$

$$\Delta = Z_{\Sigma KK} \cdot Z_{\Sigma LL} - Z_{\Sigma ML} \cdot Z_{\Sigma MK}.$$

Та врахуємо 2.7:

$$a^2 \cdot I_{1K} = a \cdot I_{2K} = I_{0K}, \quad (2.7)$$

$$a \cdot I_{1L} = a^2 \cdot I_{2L} = I_{0L}, \quad (2.7.1)$$

$$I_{1M} = a^2 \cdot I_{0L} + a \cdot I_{0K}, \quad (2.7.2)$$

$$I_{2M} = a^2 \cdot I_{0K} + a \cdot I_{0L}, \quad (2.7.3)$$

$$I_{0M} = I_{0L} + I_{0K}. \quad (2.7.4)$$

В результаті отримаємо:

$$\begin{aligned}
I_{0K} &= a^2 \cdot I_{1K} = a \cdot I_{2K}, \\
I_{0K} &= \frac{(-0,5 - j0,866) \cdot 95,4 - (-0,5 + j0,866) \cdot 7,1}{j(168 \cdot 95,4 - 7,1^2)} \cdot \frac{115000}{\sqrt{3}},
\end{aligned}$$

$$I_{0K} = -370 + j189,$$

$$I_{0L} = a \cdot I_{1L} = a^2 \cdot I_{2L},$$

$$I_{0L} = \frac{(-0,5 - j0,866) \cdot 168 - (0,5 + j0,866) \cdot 7,1}{j(168 \cdot 95,4 - 7,1^2)} \cdot \frac{115000}{\sqrt{3}},$$

$$I_{0L} = -625 + j334.$$

Необхідно врахувати 2.8:

$$I_{0K} \approx a^2 \cdot E_A / Z_{\Sigma KK}, \quad (2.8)$$

$$I_{0L} \approx a \cdot E_A / Z_{\Sigma LL}, \quad (2.81)$$

$$I_{0K} = a^2 \frac{115000}{j168\sqrt{3}} = -344 + j198 \text{ (A)},$$

$$I_{0L} = a \frac{115000}{j95,4\sqrt{3}} = 610 + j352 \text{ (A)}.$$

Для визначення струмів нульової послідовності на ділянках схеми струм I_{0K} розподіляється, за відсутності струму I_{0L} , а потім струм I_{0L} , за відсутності I_{0K} . На рисунку 2.3 (а) показана сума цих складових. Аналогічним чином по схемі прямої послідовності відбувається розподіл суми струмів прямої і зворотної послідовності в окремих фазах. Для фази А (розподіл цих струмів показано на рисунку 2.2 (а)):

$$I_{12KA} = -I_{0K} = 370 - j189 \text{ (A)},$$

$$I_{12LA} = -I_{0L} = -625 - j334 \text{ (A)}.$$

Повні струми в фазі А визначаються сумою струмів в схемах на рисунках 2.2 (а) і 2.3 (а). Аналогічно визначаються струми I_{12B} , I_{12C} і повні струми фаз В і С. Результати розрахунків повних фазних струмів приведені на рисунку 2.4.

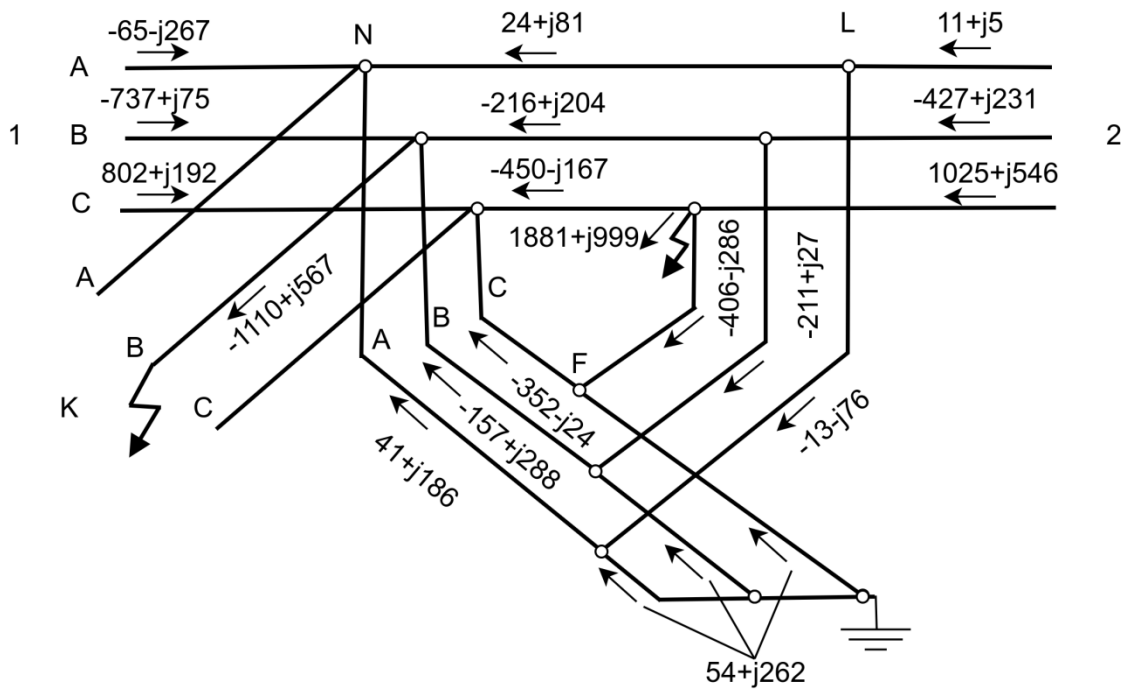


Рисунок 2.4 – Результати розрахунків повних фазних струмів

2.2 Визначення струмів при металічному КЗ на землю при незаземлених нейтралях

Розглянемо металічне замикання на землю в мережі (рисунок 2.1) в точках К і L (фази В і С відповідно) при незаземлених нейтралях трансформаторів. Заступна схема прямої (зворотної) послідовності зберігається (рисунок 2.2). Заступна схема нульової послідовності утворюється шляхом відключення в схемі (рисунок 2.3 (а)) віток F – O і L – O.

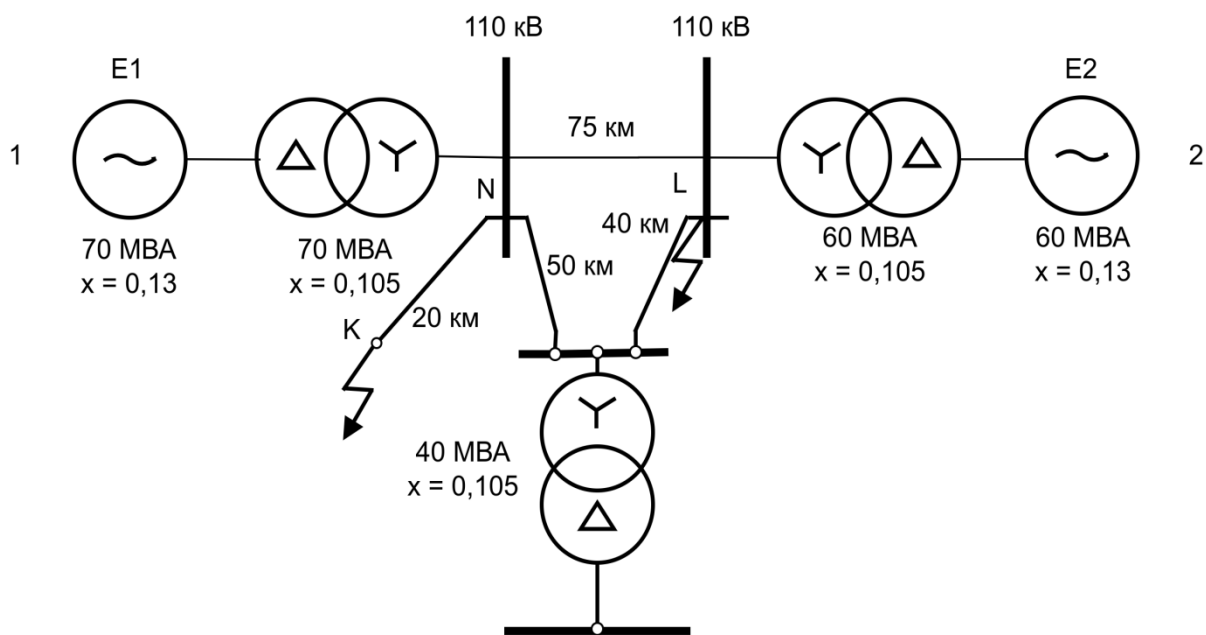


Рисунок 2.5 – Схема мережі з рисунку 2.1 при незаземлених нейтралях трансформаторів

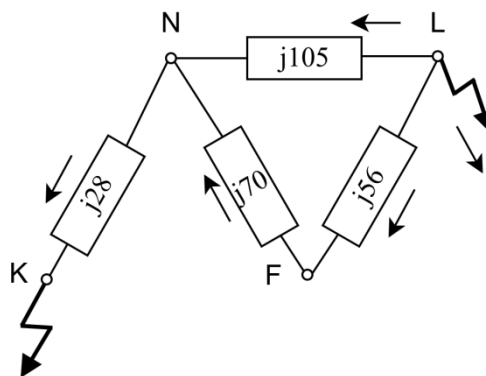


Рисунок 2.6 – Заступна схема нульової послідовності

При цьому опір відносно точок К і L дорівнює: $Z_0 = Z_{0K} + Z_{0L}$:

$$Z_0 = j28 + \frac{(j70 + j56) \cdot j105}{j70 + j56 + j105} = j85 \text{ (Ом)}.$$

Струми I_{0K} і I_{0L} в місцях КЗ, А:

$$I_{0K} = -I_{0L} = \frac{(a^2 - a) \cdot E_{1a}}{6 \cdot Z_{1M} + (Z_{1K} + Z_{1L}) + Z_0} =$$

$$= \frac{-j\sqrt{3} \cdot \frac{115000}{\sqrt{3}}}{j(6 \cdot 20,6 + 2 \cdot (14,55 + 7,65) + 85)} = -450 \text{ (A)}.$$

Розподіляючи знайдені струми нульової послідовності, а також суму струмів прямої і зворотної послідовності I_{12K} , I_{12L} (по фазам А, В, С) отримаєм фазні струми приведені на рисунку 2.7. Визначимо напругу в точці К схеми на рисунку 2.5, шляхом віднімання із ЕРС генераторів спадів напруг на ділянках 1 – N і N – К, враховуючи, що струм нульової послідовності відсутній на ділянці 1 – N.

$$I_{12AK} = I_{12CK} = -I_{0K} = 450 \text{ (A)},$$

$$I_{12BK} = 2\overline{I_{0K}} = -900 \text{ (A)},$$

$$U_{12AK} = \frac{11500}{\sqrt{3}} - j44,45 \cdot 67 - j8 \cdot 450 = 66600 - j6550 \text{ (B)},$$

$$U_{12BK} = \frac{a^2 \cdot 11500}{\sqrt{3}} - j44,45 \cdot (-755) - j8 \cdot (-900) = -33300 - j16600 \text{ (B)},$$

$$U_{12CK} = \frac{a \cdot 11500}{\sqrt{3}} - j44,45 \cdot 688 - j8 \cdot 688 - j8 \cdot 450 = -33300 - j23150 \text{ (B)}.$$

При врахуванні граничних умов для точки К:

$$U_{0K} = -U_{12BK} = 33300 + j16600 \text{ (B)},$$

$$U_{KA} = 99900 + j10050 \text{ (B)},$$

$$U_{KB} = 0 \text{ (B)},$$

$$U_{KC} = j39750 \text{ (B)}.$$

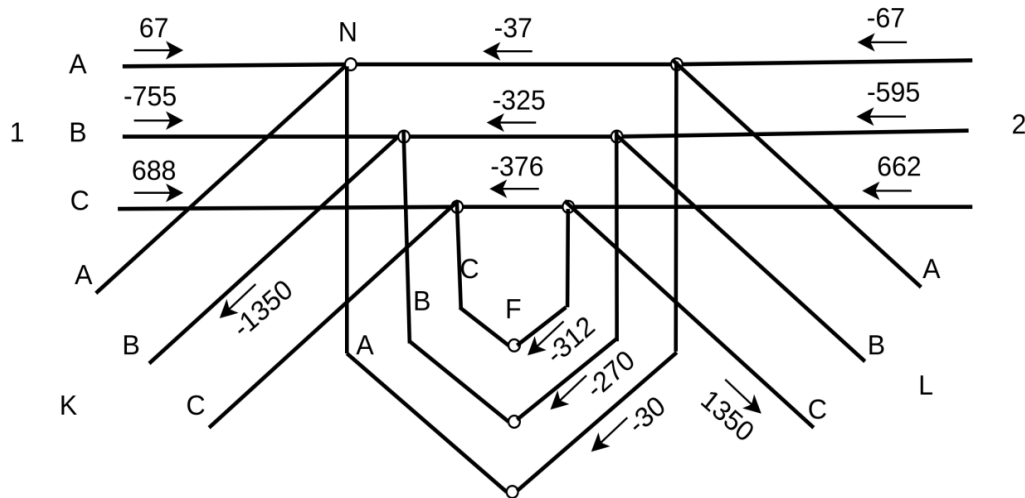


Рисунок 2.7 – Розподіл повних струмів в схемі мережі (до схеми на рис.2.5)

2.3 Висновок до розділу 2

Розраховано повні струми при металічному замиканні на землю у двох варіантах: з частково заземленими нейтралями трансформаторів та з незаземленими нейтралями усіх трансформаторів.

Використаний метод розрахунку дозволяє досліджувати струми та напруги в електричній мережі 110 кВ.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

3.1 Пристрої мікропроцесорного захисту

У цьому підрозділі розглянемо три пристрої мікропроцесорного захисту, які грають стратегічну роль у забезпеченні оптимального функціонування електроенергетичних систем.

3.1.1 REF615

REF615 — багатофункціональний пристрій керування та захисту фідера, призначений для захисту, керування, вимірювання та контролю в енергосистемах загального користування та промислових енергосистемах, включаючи радіальні, кільцеві та замкнуті розподільні мережі з розподіленою генерацією або без неї.

Даний пристрій підтримує направлений та ненаправлений максимальний струмовий захист і захист від теплового перевантаження, а також направлений і ненаправлений захист від замикань на землю. У деяких стандартних конфігураціях на додаток до направленої захисту від замикань на землю можна замовити захист від замикань на землю на основі контролю комплексної провідності, струму вищих гармонік, або активної потужності. Крім того, у пристрої є функції чутливого захисту від замикань на землю, а також захисту від обриву фази, від перехідних замкнень (наприклад перекидна дуга), також захист від підвищення, або пониження напруги, захист від підвищення напруги нульової послідовності, захист від зниження напруги прямої послідовності, захист від підвищення напруги зворотної послідовності.

У стандартних конфігураціях захисту REF-615 (H, J, K, L, N) є захист за частотою, в тому числі захист від підвищення або зменшення частоти, а також захист за швидкістю зміни частоти. В панелі захисту також передбачається протиаварійна автоматика для трифазного автоматичного повторного ввімкнення (АПВ). Але на відміну від електромеханічної автоматики яка широко

застосовується в Україні (РПВ-58 або РПВ-358), у нас реалізовані лише двократні РПВ. Проте у REF-615 є можливість використовувати багаторазові АПВ повітряних ліній, хоч і згідно чинних нормативних документів що актуальні наразі в Україні, ми використовуємо лише двократне АПВ ліній (наприклад при міжфазному замкненні проводів, в наслідок зростання стріли провісу і дії вітру). Використовується також у виробках з використанням мікропроцесорів і контролерів (наприклад в електро-вимірювальних приладах, або в приладах автоматики в електроенергетичних системах та на електричних станціях). Також периферійні пристрої, порти введення/виведення RS-232, RS-485 та інші. Також є вбудовані монітори для полегшення роботи з мікропроцесорними релейним захистами.

Крім того в стандартних конфігураціях L і N передбачений захист від замикань на землю на основі контролю комплексної провідності в широкому частотному діапазоні, що забезпечує якісну роботу селективно направленою захисту через високий повний опір в колах нейтралі. Принцип дії заснований на вимірюванні комплексної провідності нейтралі в широкому частотному діапазоні з використанням складових основної частоти і гармонік в $3U_0$ (напруга нульової послідовності) та $3I_0$ (струм нульової послідовності), ці напруги і струми виникають під час однофазних замкнень. Завдяки спеціальним алгоритмом фільтрації направленість пошкодження достовірно визначається навіть в разі перехідних, або повторних замикань на землю. Забезпечується дуже гарне поєднання надійності і чутливості захисту з однією функцією від низько і високоомних замикань на землю, а також від перекидних дуг, або повторних замикань на землю.

REF-615 вдосконалений за рахунок застосування додаткового обладнання та програмного забезпечення. Наприклад пристрій оснащений трьома каналами датчиків світла для дугового захисту вимикача. Справа в тому, що у вимикача є дугогасильна камера, але якщо йому багато років, зустрічаються випадки, коли при пошкодженні дугогасильної камери вимикача 6, 10, 35 кВ

виникає дуга. Релейний захист повинен відключити пошкоджений вимикач (пошкоджену лінію / пошкоджену підстанцію), для цього існують підключені до релейного захисту датчики (сенсори) світла для дугового захисту. Їх інтерфейс встановлений в модулі зв'язку, який можна замовити додатково до самого релейного захисту, як до REF-615 так і до інших захистів (наприклад МРЗС05 чи РЕЛСіС РЗЛ-05А). Разом з терміналами поставляються й сенсори світла які реагують на дугу. Швидке відключення підвищує рівень безпеки персоналу і зменшує розмір матеріального збитку в розподільному пристрої при виникненні дугового замикання. В якості додаткового обладнання можна вибрати модуль дискретних входів/виходів з трьома швидкодіючими дискретними виходами (*H S O*) які дозволяють ще зменшити загальний час спрацювання на 4-6 мс у порівнянні з звичайними потужнострумівими виходами. Також пристрій оснащений ошиновкою і кабельного відсіку комплектного розподільного пристрою в металевому корпусі.

Термінал REF-615 містить функції управління вимикачем з інтелектуальним інтерфейсом на передній панелі пристрою, або за допомогою дистанційного керування. Крім функціонального блоку керування вимикачем, у пристрої REF-615 передбачені ще два функціональних блоки, призначених для управління роз'єднувачами, або візком вимикача з приводом і потрібні для індикації їх положень, оскільки у вимикача 10 кВ три положення (1-положення викоченого візка, 2- візок зачочений, 3- візок зачочений і готовий до ввімкнення, але не ввімкнений). Крім того і у пристрою REF-615 є функціональний блок управління, з заземлювальним ножом з приводом і індикацією його положення (чорно-білий рідкокристалічний монітор що виступає у ролі індикатора, має розміри 6х6 см і знаходиться на фронтальній/передній панелі терміналу). Не зважаючи на невеликі розміри екрану індикації, він є досить інформативним, оскільки містить на собі схему лінії електропередач яку захищає цей термінал, введені в роботу захисти, а також їх уставки і струми КЗ. Також в окремих випадках конфігурація REF-615 передбачає додаткові апаратні модулі, потрібні

для збільшення кількості дискретних входів/ виходів (виходи на яких є напруга – що відповідає логічній одиниці, або її немає – що відповідає логічному нулеві). Розглянемо розміри пристрою в таблиці 3.1 та дискретні входи в таблиці 3.2.

Таблиця – 3.1 - Розміри пристрою (рис 3.1-3.3)

Ширина	Передня панель	177 мм
	Корпус	164 мм
Висота	Передня панель	177 мм (4U)
	Корпус	160 мм
Глибина		201 мм (153+48 мм)
Маса	Пристрій захисту в зборі	4,1 кг
	Лише зйомник блок	2,1 кг

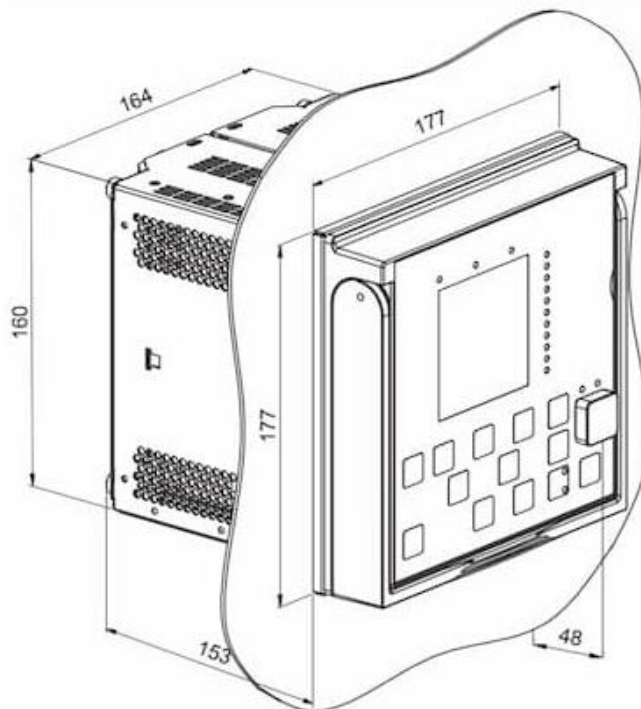


Рисунок 3.1 – «Утоплений» монтаж пристрою REF615

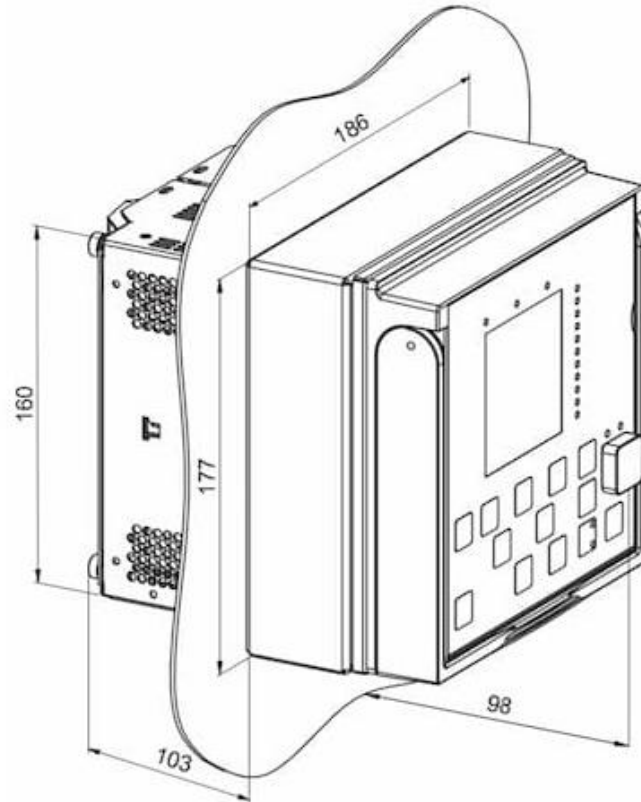


Рисунок 3.2 – «Напівутплений» монтаж пристрою REF615

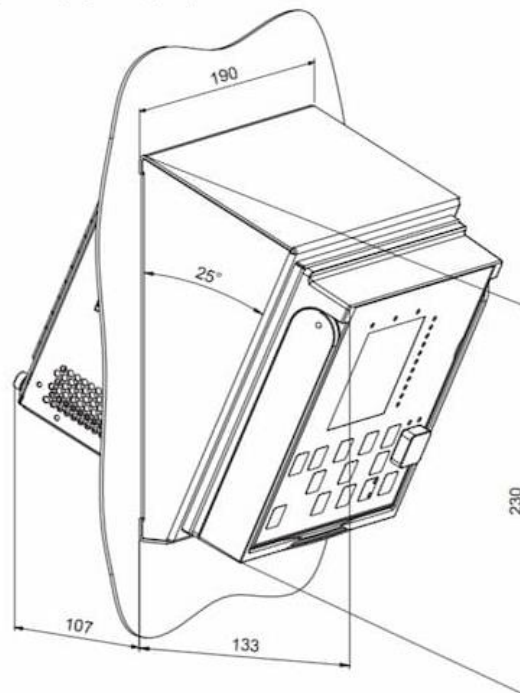


Рисунок 3.3 – «Напівутплений» монтаж пристрою REF615 з нахилом 25°

Таблиця – 3.2 - Дискретні входи

Робочий діапазон	$\pm 20\%$ номінальної напруги
Номінальна напруга	24 – 250 В
Споживання струму	1,6 – 1,9 мА
споживана потужність	31,0 – 570,0 мВт
Порогова напруга	16 – 176 В
Час відповіді	менше 3 мс
Номінальна напруга	250 В \sim /=
Тривале навантаження на контакт	5 А
Допустимий струм через контакти протягом 3,0 с	15 А
Допустимий струм через контакти протягом 0,5 с	30 А
Розмикаюча здатність при постійному часі ланцюга керування L/R<40 мс	1 А/0,25 А/0,15 А
Мінімальне навантаження на контакт	100 мА при 24 В \sim /=

Отже, REF615 – багатофункціональний мікропроцесорний термінал призначений для захисту ліній електропередачі 6, 10, 35 кВ з ізольованою нейтраллю, від досить широкого спектру негативних чинників, що можуть на неї впливати. Виведення з ладу/ пошкодження цього пристрою, фактично виведе з роботи багато різних захистів, що є недоліком і вимагає резервування.

3.1.2 МРЗС–05Л

Другим пристроєм розглянемо МРЗС–05Л. Використовується на приєднаннях 150 – 6 кВ, працюючих з ізольованою, компенсованою або глухозаземленою нейтраллю, в якості основного або резервного захисту і автоматики. Пристрій призначений для виконання різного типу захистів та виконує наступні функції:

Забезпечує контроль і вимірювання наступних величин:

1. фазних струмів частотою 50 Гц з номінальним значенням $I_n = 5$ А в межах від 0,1 до 30 I_n ;
2. струму нульової послідовності від 0,01 до 2 А.
3. напруги нульової послідовності з номінальним значенням 100 В.

Функції релейного захисту:

1. триступеневий максимальний струмовий захист (МСЗ), може бути двох виконань, за вибором:
2. триступеневий МСЗ, з незалежною від струму витримкою часу;
3. триступеневий МСЗ, де перший і третій ступінь з незалежною від струму витримкою часу, а другий - з залежною від струму витримкою часу має характеристику реле РТ-80.
4. Коефіцієнт повернення пускового органу не більше 0,95.
5. спрямований захист від замикань на землю СЗЗ: кут між струмом $3I_0$ і напругою $3U_0$ (струм відстає від напруги), що відповідає середині зони спрацьовування, дорівнює 90 град; область спрацьовування захисту по куту від 0 ± 10 град до 180 ± 10 град; спрацьовує на прямому або зворотному напрямку потужності;
6. не спрямований захист від замикань на землю по $3I_0$, (аналог реле РТЗ-51);
7. захист по напрузі нульової послідовності $3U_0$ (РНН) діє з витримкою або без витримки часу;
8. пристрій резервування відмови вимикача (ПРВВ) з контролем струму: пуск ПРВВ здійснюється при спрацьовуванні МСЗ на вимкнення або через дискретний вхід. ПРВВ має два ступені по часу спрацьовування.

Функції автоматики:

1. управління вимикачем. Ввімкнення і вимкнення вимикача проводиться як від пристрою, так і через дискретний вхід (імпульсно). При наявності команди на вимкнення вимикача відбувається блокування сигналу ввімкнення;
2. прискорення захисту. Автоматичне прискорення МСЗ другого ступеня вводиться по команді ввімкнення вимикача;

3. одноразове автоматичне повторне ввімкнення (АПВ). Пуск АПВ здійснюється від МСЗ. При наявності на дискретному вході блокуючого сигналу здійснюється заборона АПВ, при зникненні - заборона АПВ знімається;
4. АЧР (ЧАПВ). При появі сигналу "АЧР/ЧАПВ" на дискретному вході здійснюється вимкнення вимикача. При зникненні сигналу на вході відбувається пуск АПВ.

Аварійний реєстратор осцилограм струмів:

1. тривалість запису параметрується:
2. до аварійного процесу - від 0,1 до 5 с.
3. аварійного процесу - 1 до 20 с.
4. сумарна тривалість записів - 150 с.

Реєстратор дискретних сигналів:

1. 100 останніх аварій;
2. до 50 записів в кожній аварії з дискретністю за часом - 1 мс;
3. для кожної аварії фіксуються:
4. всі дискретні сигнали за час наявності сигналу запуску реєстратора;
5. максимальне значення фазного струму з фіксацією струмів трьох фаз, $3I_0$ і напруги $3U_0$ в момент фіксації максимального струму, при роботі захистів по фазним струмам;
6. максимальне значення струму $3I_0$ з фіксацією струмів трьох фаз і напруги $3U_0$ в момент фіксації максимального струму, при роботі захисту по струму $3I_0$;
7. максимальне значення напруги $3U_0$ з фіксацією струмів трьох фаз і $3I_0$ в момент фіксації максимальної напруги при роботі захисту по напрузі $3U_0$.

Кількість вільно програмованих входів, виходів, індикаторів:

1. дискретних входів - 5;
2. дискретних релейних виходів - 6;
3. світлодіодних індикаторів - 6.

4. Всі входи, виходи, індикатори є вільно програмованими.
5. Передбачене встановлення всіх налаштувань за замовчуванням.
6. Передбачено введення-виведення з роботи всіх захистів або їх окремих ступенів.

Три вільно програмовані кнопки.

Робота з зовнішнім комп'ютером здійснюється через порт USB.

Для роботи пристрою в локальній мережі передбачений інтерфейс RS-485.

Передбачена робота пристрою як на постійному, так і на змінному оперативному струмі, а також резервне живлення від струмів КЗ (аналог БПТ).

З особливостей пристрою є його працездатність при короткочасних, до 500 мс, провалах напруги живлення до нуля. При знятті, зниженні і подачі напруги живлення, а також при перервах живлення будь-якої тривалості з подальшим відновленням, в пристрої немає помилкового спрацьовування. Мінімальний час спрацьовування захистів по струму і напрузі - не більше 0,04 с. Розглянемо детальніше ступені МСЗ даного пристрою.

МСЗ має наступні ступені:

– 1-й - ступінь з незалежною витримкою часу (струмова відсічка) з можливістю пуску по напрузі або спрямований МСЗ з незалежною витримкою часу;

– 2-й - ступінь з незалежною або залежною витримкою часу (за вибором споживача) з можливістю пуску по напрузі або спрямований МСЗ з незалежною витримкою часу;

– 3-й - ступінь з незалежною витримкою часу з можливістю пуску по напрузі або спрямований МСЗ з незалежною витримкою часу;

– 4-й - ступінь з незалежною витримкою часу (захист від перевантаження) з можливістю пуску по напрузі або спрямований МСЗ з незалежною витримкою часу.

Програма «WisiNet_2» – інструмент для ефективного управління та моніторингу пристрою МРЗС-05Л. Ця програма розроблена спеціально для

оптимального використання функцій та можливостей пристрою, забезпечуючи зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Використовуючи Wisinet2, можна налаштовувати параметри, контролювати стан системи та забезпечувати надійний захист вашої електромережі.

Програма «WisiNet_2» дозволяє:

- сканувати порти ПК для визначення параметрів мережевого інтерфейсу пристрою;
- зчитувати інформацію про пристрій (тип пристрою, версію програмної прошивки, версію карти пам'яті);
- переглядати вимірювані величини в режимі реального часу;
- переглядати стан функцій захисту, стан дискретних входів і дискретних виходів, стан Сд в режимі реального часу;
- переглядати уставки функцій захисту і автоматики, налаштування ДВх, ДВих, Сд і інші параметри, встановлені в пристроях;
- переглядати реєстратор програмних подій;
- переглядати реєстратор статистики;
- змінювати режим відображення вимірів (у первинних або вторинних величинах) і виставити інтервал безперервного читання;
- змінювати уставки функцій захисту і автоматики, налаштування ДВх, ДВих, Сд і інші параметри, встановлені в пристроях, і записувати їх в пристрій;
- синхронізувати годинник пристрою з ПК;
- змінювати параметри налаштування мережевого інтерфейсу RS - 485;
- прочитувати з пристрою аварійні і призначені для користувача осцилограми і записувати їх на ПК у форматі COMTRADE для їх подальшого аналізу;
- використати вбудований редактор COMTRADEView для роботи з осцилограмами, зчитувати з пристроїв;
- вибирати умови запису осцилограм;
- здійснювати запис реєстратора в пристрої по команді з ПК;

- проводити дистанційне керування реле пристроїв по командах з ПК;
- скидати стан сигнальних Сд і ДВих по команді з ПК;
- перемикати мови інтерфейсу програми «WisiNet_2».

3.1.3 РС83–АВЗ

Розглянемо мікропроцесорний захист ПЛ 10 кВ типу РС-83 фірми “РЗА Системз”, а точніше модифікацію АВЗ. Багатофункціональний цифровий пристрій РС83–АВЗ об’єднує в собі різні функції захисту, контролю, управління та сигналізації. Використовується для захисту та протиаварійної автоматики будь-яких ліній, вводів, у якості резервного захисту силового трансформатора та управління ввідним вимикачем на напругу від 6 до 35 кВ. Використовувати можна як окремо так і поєднуючи з іншими пристроями релейного захисту. Пристрій відповідає вимогам діючих нормативних документів, має необхідні інтерфейси зв’язку з підтримкою стандарту МЕК 61850-8-1 і може використовуватися в складі проекту цифрової підстанції. Максимальний струмовий захист має 5 ступенів захисту, присутній ряд захистів від замикання на землю, визначає місце пошкодження та веде технічний облік енергії і т.д. З особливостей – розширений діапазон напруги живлення: 80–420 В, в той час як попередні два пристрої мали верхній поріг до 250 В, висока ремонтпридатність за рахунок конструкції з легкозмінними, уніфікованими модулями для пристроїв різного призначення. Програмована логіка пристрою дозволяє адаптувати його функціонал під конкретні потреби та завдання систем автоматизації, забезпечуючи гнучку та ефективну роботу в різних умовах експлуатації. Пристрій здатен зберігати інформацію протягом всього терміну служби без джерела живлення, зберігається інформація аварій, різних подій, навантажень та осцилограм, за інструкцією передбачається збереження інформації протягом 5 років. Для роботи з пристроєм рекомендується використовувати такі програми як «BURZA», «ComTradeViewer», актуальні версії яких можна знайти на сайті компанії “РЗА Системз”. Повний термін служби такого пристрою вказаний не менше 25 років.

Спрямований МСЗ з пуском по напрузі, з залежними ампер-секундними характеристиками. Кожен ступінь може бути назначений на роботу по фазних або лінійних струмах. Спрямованість ступенів виконана за 90-градусною схемою, що виключає мертві зони при всіх несиметричних КЗ. Для кожного ступеня може бути введена/виведена спрямованість, пуск по напрузі (вольтметрове блокування ВМБ), назначений характер роботи при БНН та зниженні напруги нижче 1 В.

Для кожного із ступенів може бути назначений будь-який з видів ампер-секундних характеристик:

- Незалежна;
- Нормально інверсна за МЕК 255-4;
- Сильно інверсна за МЕК 255-4;
- Надзвичайно інверсна за МЕК 255-4;
- Крута характеристика (аналог РТВ-1);
- Полога характеристика (типу реле РТ-80, РТВ-IV);
- Теплова характеристика без пам'яті;
- Теплова характеристика з частковою пам'яттю (за МЕК 255-8).

Таблиця 3.3 – Технічні параметри пристрою

Найменування параметра	Значення
Номінальний струм	5 А
Номінальна напруга кіл виміру	100 В
Діапазон уставок МТЗ та ЗНЗ за розрахунковим струмом (вторинних)	0,1 - 125 А

Продовження таблиці 3.3

Діапазон уставок ЗНЗ за вимірним струмом $I_{\text{ю}}$	0,004 – 5 А
Діапазон уставок ЗНЗ за вимірним опором Z_0	25 – 25000 Ом
Час готовності при живленні від струмових кіл, не більше	200 мс
Діапазон робочих температур	від -40° до $+70^{\circ}$ С
Кількість дискретних входів	15 шт
Кількість вихідних реле	15 шт

Таблиця 3.4 – Параметри МСЗ

Найменування	Параметри
Режими роботи по струму	Фазні, лінійні
Уставка по струму $I_{\text{у}}$, А	(0,1 ÷ 125,0) крок 0,01
Дозвіл спрямованості	Вкл., Відкл.
Уставка по часу МСЗ	(0 ÷ 100,0) с, крок 0,01 с
Уставка за часом МСЗ із опер. прискоренням	(0 ÷ 60,0) с, крок 0,01 с
Дозвіл авт. прискорення	Вкл., Відкл.
Час вводу авт. прискорення	(0,5 ÷ 2) с, крок 0,01 с
Витримка часу автоматичного прискорення	(0 ÷ 1,0) с, крок 0,01 с

Блокування при несправності кіл напруги (БНН). БНН організована за принципами виявлення напруги небалансу у схемі трикутник-зірка, аналогічно КРБ-12 без контролю напруги фази А додаткової обмотки, на порівнянні складових струмів та напруг прямої і зворотної послідовності, та на появі зовнішнього пуску БНН через дискретний вхід від блок-контакту автомата ТН з одночасним зниженням контрольованих напруг.[19]

Таблиця 3.5 – Параметри БНН

Найменування	Параметри
Дозвіл роботи БНН по DI	Відкл., DI1...DI44
Уставка по напрузі небалансу	5,0...25, крок 0,1 В
Дозвіл роботи БНН за складовими прямої послідовності	Відкл., Вкл
Уставка по напрузі прямої послідовності U_1	0,1...100, крок 0,1 В
Уставка по струмом нижньої межі I_{1min}	0,1...5,0, крок 0,1 А
Уставка по струму верхньої межі I_{1max}	5,0...120, крок 0,1 А
Дозвіл роботи БНН по складовим зворотної послідовності	Відкл., Вкл
Уставка по струму зворотної послідовності I_{2max}	0,1...20, крок 0,1 А
Уставка по напрузі зворотної послідовності	0,1...100, крок 0,1 В

3.1.4 РЗЛ-05А

Мікропроцесорний захист РЕЛСіС РЗЛ-05А призначений для забезпечення ефективного та надійного захисту електроенергетичних систем від різноманітних небезпек та несправностей. Основні призначення цього захисту включають:

1. Захист від перевантажень. РЗЛ-05А забезпечує автоматичний захист обладнання від перевищення допустимого рівня струму, що дозволяє уникнути перегріву та можливих пошкоджень.

2. Захист від КЗ. Ефективне реагування на короткі замикання дозволяє швидко відключати обладнання та уникати серйозних ушкоджень, що можуть виникнути внаслідок короткого замикання.

3. Автоматичне Відновлення Роботи. Можливість автоматичного відновлення роботи після усунення причин несправностей без необхідності ручного втручання.

4. Система моніторингу та оповіщення. Інтегровані системи моніторингу та оповіщення, що дозволяють операторам оперативно реагувати на стан системи.

5. Гнучкість. Можливість налаштування параметрів для адаптації до конкретних характеристик та умов роботи електроенергетичної системи.

Мікропроцесорний захист РЕЛСіС РЗЛ-05А, таким чином, виконує ключову роль у забезпеченні надійності, безпеки та стабільності електроенергетичних мереж.

Основні параметри мікропроцесорного захисту РЕЛСіС РЗЛ-05А:

1. Швидкість реакції. Дуже короткий час виявлення несправностей, що дозволяє захисту швидко та ефективно реагувати на перевантаження та короткі замикання в електромережі.

2. Діапазон робочих напруг. Здатність пристосовуватися до широкого діапазону напруг, що робить РЗЛ-05А універсальним для різних типів та конфігурацій електромереж.

3. Можливості настройки. Гнучкість системи в налаштуванні, що дозволяє інженерам пристосовувати роботу захисту до конкретних характеристик і вимог конкретної системи.

4. Точність та надійність. Висока точність вимірювань струму, напруги та інших параметрів, що забезпечує надійність та точність реакції системи.

Ці параметри роблять мікропроцесорний захист РЕЛСіС РЗЛ-05А важливим компонентом для ефективною та надійною роботи електроенергетичних систем.

Мікропроцесорний захист РЕЛСіС РЗЛ-05А відіграє ключову роль у забезпеченні надійності та безпеки електроенергетичних систем. Висока технологічність, швидка реакція та гнучкість в налаштуванні роблять його необхідною складовою для оптимального функціонування електроенергетичних мереж у сучасному світі. Розглянемо технічні параметри пристрою в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні параметри

Живлення	
Напруга оперативного струму, DC / AC	90 – 360 В / 80 – 254 В
Час готовності до роботи після подання оперативного живлення, не більше	0,3 с
Стійкість до переривання напруги живлення, не менше	0,5 с
Кількість незалежних каналів живлення	2
Споживана потужність, не більше	2x10 Вт
Струмові входи	
Кількість фазних струмів	3 (6)
Діапазон вимірюваних значень	0,2 - 150,0 А
Потужність вхідних ланцюгів для фазних струмів в номінальному режимі ($I_{ном}=5A$), не більше	0,1 ВА
Термічна стійкість струмових ланцюгів, тривало / не більше 1 с	10 А / 500 А
Вимірювальні ланцюги струму нульової послідовності	
Номінальне значення струму 3І0	1 А

Продовження таблиці 3.6.

Кількість входів	1
Діапазон вимірювання струму 3I0	0,01 - 4 А
Входи по напрузі	
Номінальне фазне значення	100 В
Кількість вимірюваних напруг	4
Діапазон вимірюваних напруг 3U0	0,5 - 60 В
Стійкість до перевантаження входів напруги тривало	150 В
Входи по температурі	
Кількість входів по температурі	1
Діапазон вимірюваних значень	0 - 100 °С
Дискретні входи	
Кількість входів	17
Номінальна напруга AC/DC (за виконанням)	=110 / ~100 В =220 / ~220 В
Рівень порогової напруги спрацювання AC/DC	0,7-0,8 Uном / 0,7-0,7 Uном
Вхідний струм (при напрузі 220 В): - при включенні - у включеному стані	20 мА 4 мА
Дискретні входи "сухий контакт"	
Кількість входів	3
Номінальна напруга постійного струму	24 В

Продовження таблиці 3.6.

Дискретні виходи (реле)	
Кількість вихідних реле	17
Напруга комутації змінного струму	24 - 400 В
Струм замикання та розмикання змінної напруги	8 А
Напруга комутації постійного струму	24 - 300 В
Струм розмикання постійної напруги при $\tau \leq 20$ мс	0,2 А
Волоконно-оптичні датчики	
Кількість входів датчиків дуги	3
Поріг спрацьовування	900-1700 лк
Інтерфейси	
Інтерфейс зв'язку з ПК	USB
Інтерфейс зв'язку з АСУ	RS-485, Ethernet (RJ45)
Протоколи інформаційного обміну	MODBUS RTU, MODBUS TCP
Швидкість передачі даних - USB, RS-485: - Ethernet (RJ45):	9600...115200 bps 10/100 Мбит/с
Загальне	
Конструктивне виконання	Утоплене
Габаритні розміри корпусу (ШхВхГ)	265x240x195 мм

Продовження таблиці 3.6.

Діапазон робочих температур	-40...+60 °С
Опір ізоляції, не менше	50 МОм
Міцність ізоляції, тривало / імпульс	2 кВ, 50 Гц 5 кВ імпульс
Вага пристрою	10 кг

3.2 Розробка моделі мережі в середовищі ППП «Matlab»

За допомогою ППП «Matlab» розроблено модель трифазної мережі 220/10кВ. До шини 10 кВ приєднано три лінії, на яких встановлено вимикачі, Q_1 , Q_2 , Q_3 . Ввідний вимикач позначається $Q_{ВВ}$. Навантаження ліній 1200, 800, 400 кВт, відповідно до ліній 1–3. Модель дозволяє дослідити однофазні короткі замикання на лініях з першим (лінія 1) та другим вимикачем (лінія 2). Під час симуляції в разі короткого замикання відбувається перехідний процес, і модель надає можливість аналізувати параметри цього процесу. Вона також дозволяє досліджувати події в конкретний момент часу протягом заданого періоду. Використовуючи моделі вимірювальних приладів та елемент "Scope", можна аналізувати графіки струму та напруги в обраному вузлі схеми. За допомогою моделей вимірювальних приладів та елементу "Scope" можемо досліджувати графік струму та напруги в потрібний момент часу в досліджуваному вузлу схеми. Наприклад, встановивши, після ввідного вимикача, трифазний вимірюючий пристрій, що з'єднаний з елементом "Scope" модель дозволяє отримати осцилограму струму (рис.3.4). Схема мережі показана на рис. 3.5.

Розглянемо рис. 3.1, "Scope" побудував осцилограму трифазного струму (жовта лінія – фаза А, синя – фаза В, помаранчева – фаза С)

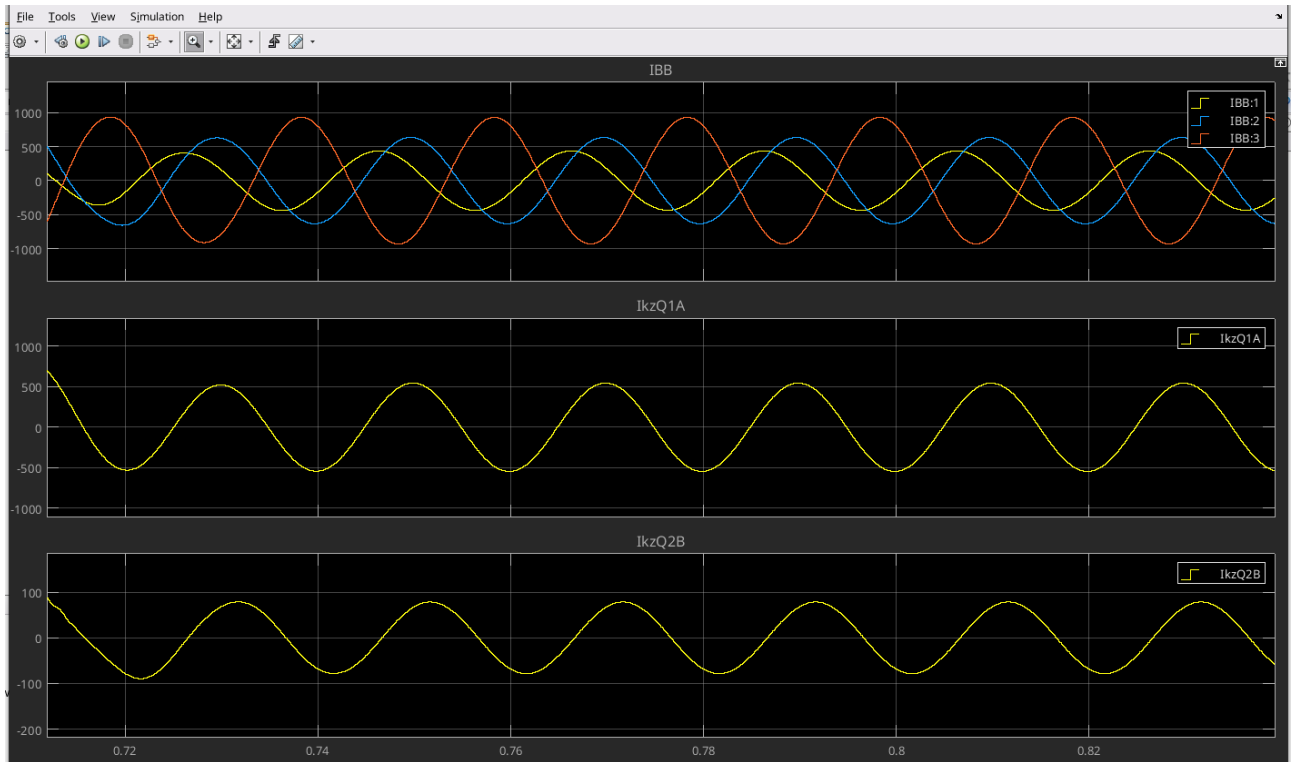


Рисунок 3.4 – Приклад роботи “Score”. Осцилограма струму (вісь абсцис – час, вісь ординат – значення струму в А)

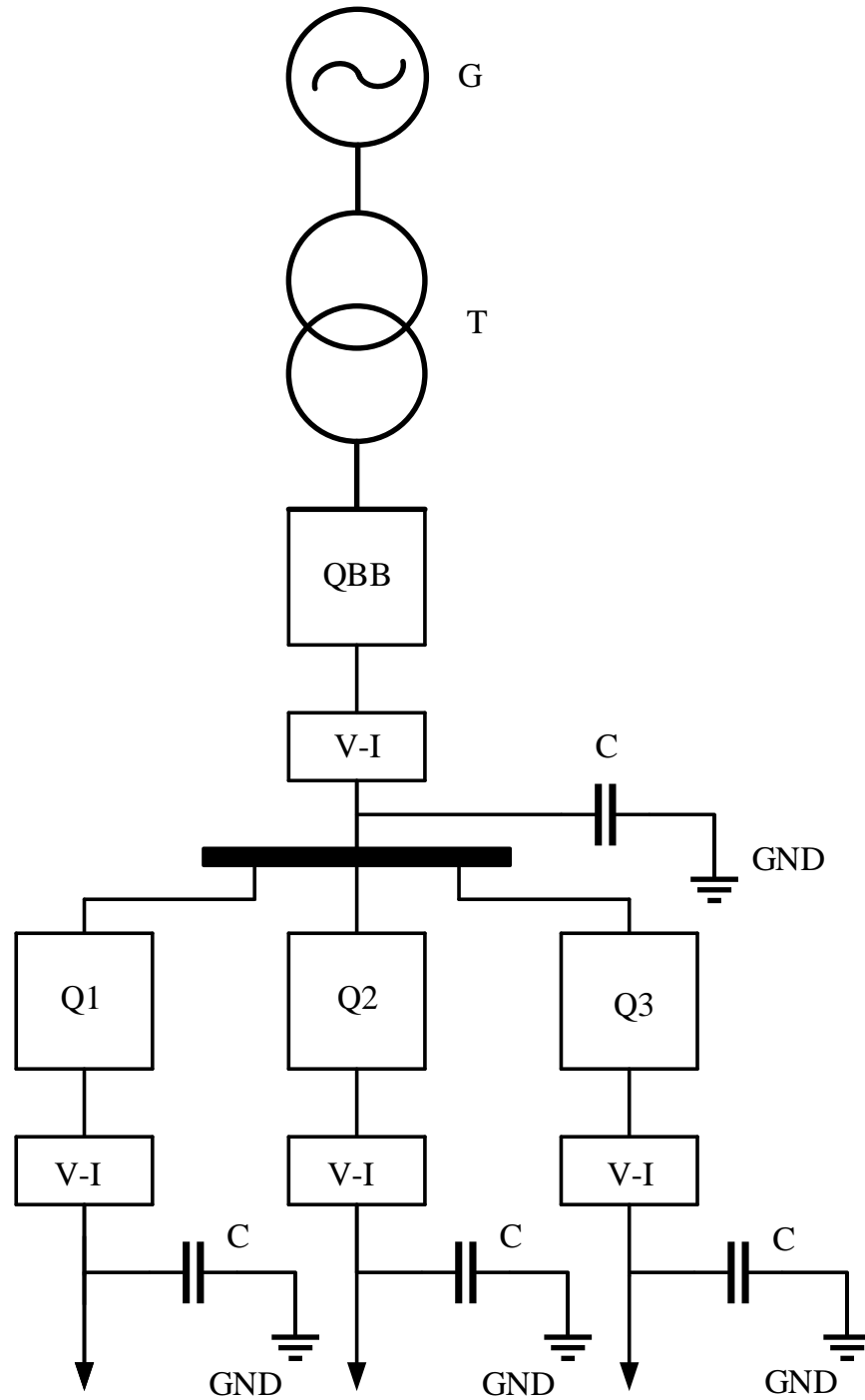


Рисунок 3.5 – Схема мережі побудована в «Matlab» (див. Додаток Г, рис.Г1)

Розглянемо складові частини моделі та їх характеристики. Трифазне джерело напруги (рис. 3.6) з послідовним з'єднанням R і L опорами. Лінійна напруга джерела 220 кВ з частотою 50 Гц.

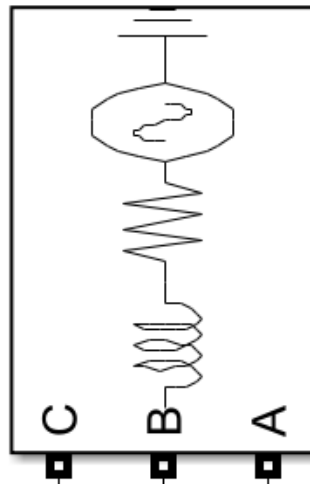


Рисунок 3.6 (а) – Трифазне джерело напруги

Three-Phase Source (mask) (link)

Three-phase voltage source in series with RL branch.

Parameters Load Flow

Configuration: Yg

Source

Specify internal voltages for each phase

Phase-to-phase voltage (Vrms): 220e3

Phase angle of phase A (degrees): 0

Frequency (Hz): 50

Impedance

Internal Specify short-circuit level parameters

Source resistance (Ohms): 0.8929

Source inductance (H): 16.58e-3

Base voltage (Vrms ph-ph): 210e3

Рисунок 3.6 (б) – Параметри трифазного джерела напруги

- Трифазний двообмоточний трансформатор (рис. 3.7) 220/10 кВ. Потужність 1 МВА з частотою 50 Гц.

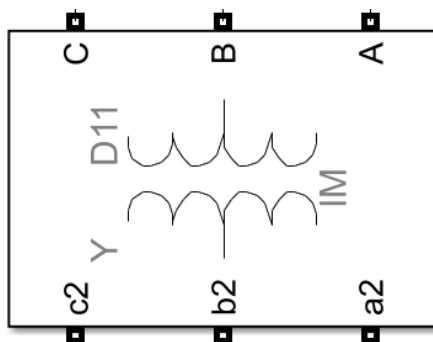


Рисунок 3.7 (а) – Трифазний двообмоточний трансформатор

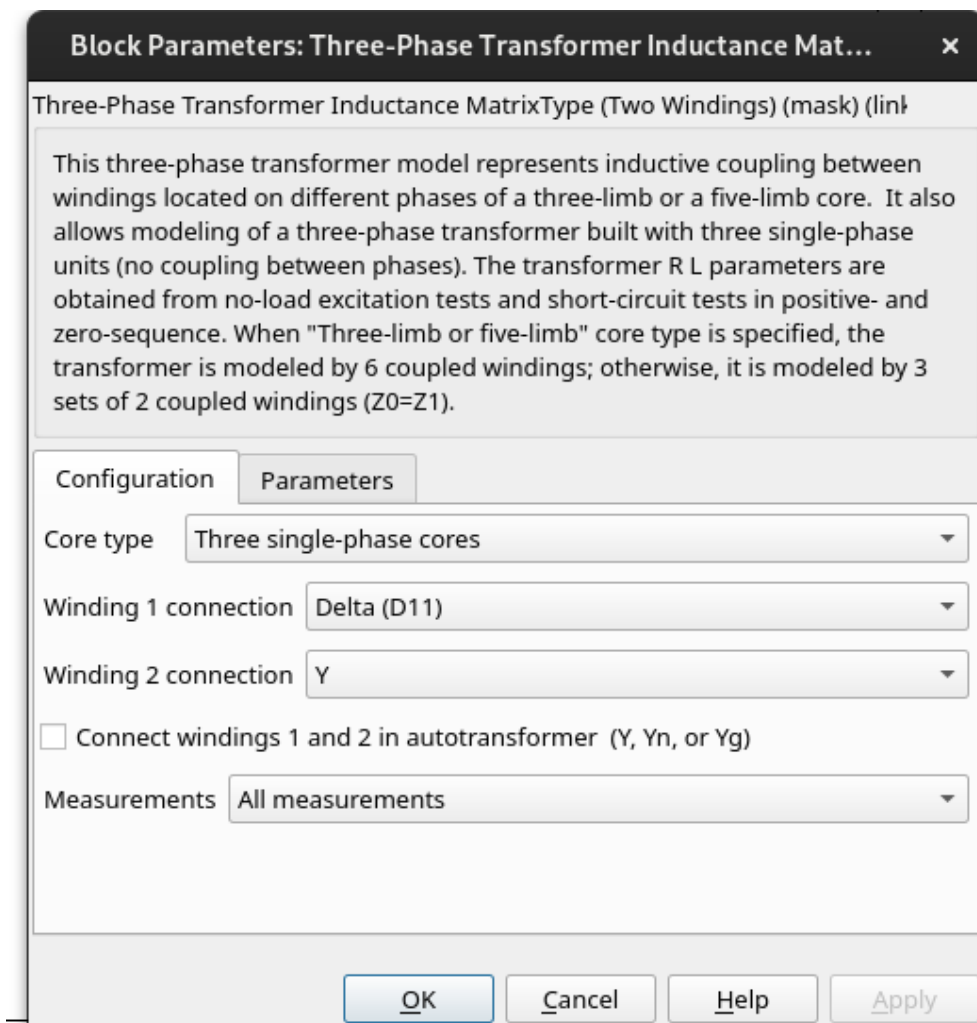


Рисунок 3.7 (б) – Параметри трифазного двообмоточного трансформатора

– Блок трифазного вимикача (рис. 3.8). Програма дозволяє конфігурувати час ввімкнення та вимкнення, обирати значення параметрів опорів під час замкнутого і розімкнутого положень.

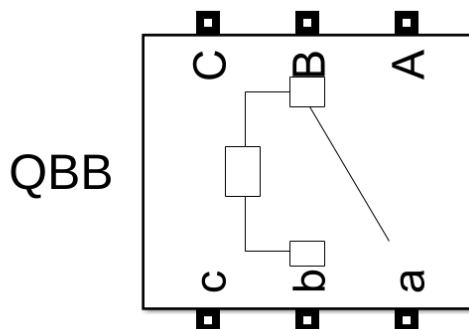


Рисунок 3.8 (а) – Ввідний вимикач

Block Parameters: QBB

Three-Phase Breaker (mask) (link)

Implements a three-phase circuit breaker. When the external switching time mode is selected, a Simulink logical signal is used to control the breaker operation.

Parameters

Initial status: open

Switching of:

Phase A Phase B Phase C

Switching times (s): [0/60 1] [0,1] External

Breaker resistance Ron (Ohm): 0.01

Snubber resistance Rs (Ohm): 1e6

Snubber capacitance Cs (F): inf

Measurements: Breaker voltages

OK Cancel Help Apply

Рисунок 3.8 (б) – Параметри ввідного вимикача

– Трифазний вимірювач струму і напруги (рис. 3.9). Дозволяє виміряти значення струму та напруги в лініях, конфігурація передбачає вимірювання або лінійної або фазної напруги. Блок складається зв'язаних між собою однофазних ампер– і вольтметрів. Схема показана на рисунку 3.7 [10].

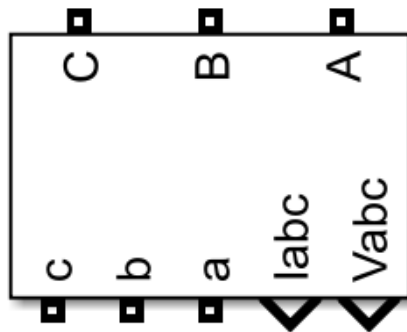


Рисунок 3.9 (а)– Трифазний вимірювач струму і напруги

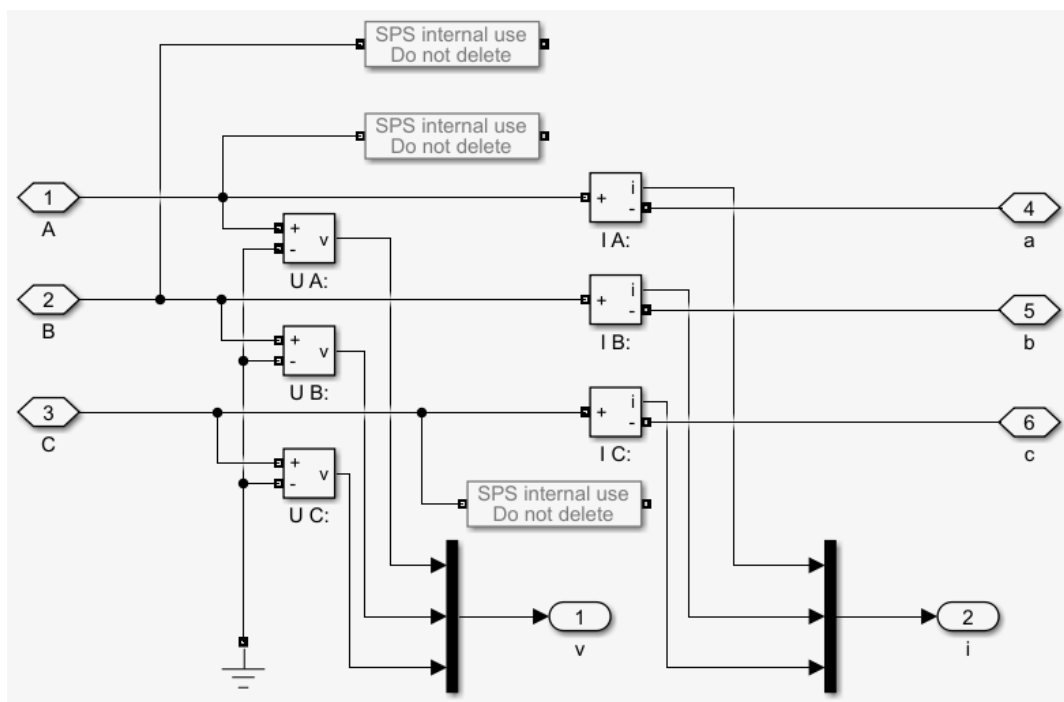


Рисунок 3.9 (б) – Схема реалізації трифазного вимірювача струму і напруги

– Score (рис. 3.10) – буде графік струму чи напруги (рис. 3.4).
Необхідно під'єднати до вимрюючих засобів. Приклад приєднання зображений на рис. 3.8 [10].

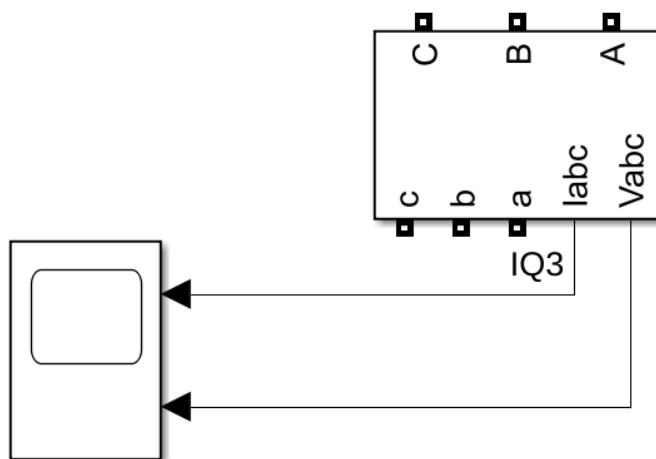


Рисунок 3.10 – “Score” та спосіб його приєднання до трифазного вимірювача струму і напруги

– Секція ЛЕП (рис. 3.11) – симуляція ліній електропередачі. Частота 50 Гц, довжина 1 км, можна змінювати параметри довжини та питомі опори ліній.

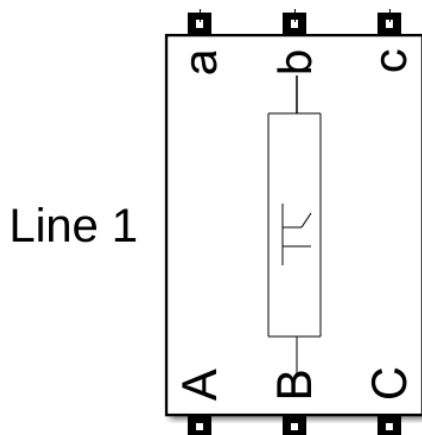
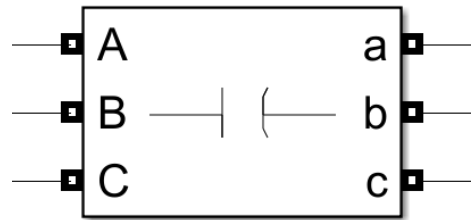


Рисунок 3.11 – Секція ЛЕП

- Трифазне RLC коло (рис. 3.12). В “Branch type” можна вибрати тип кола, R, L, C, RLC та інші можливі варіанти.



Three-Phase
Series RLC Branch

Рисунок 3.12 – RLC branch

- Блок симуляції КЗ (рис. 3.13). Для симуляції КЗ необхідно вибрати вид замкнення та обрати час початку перехідного процесу.

–

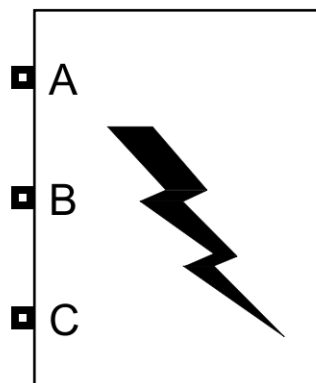


Рисунок 3.13 – Блок, що моделює КЗ

- Блок симуляції кола навантаження (рис. 3.14). Конфігурується лінійна напруга, активна та реактивна потужності, частота.

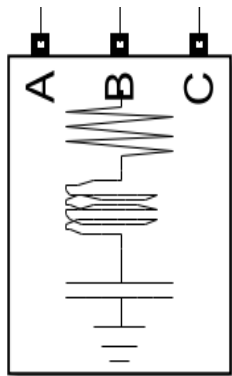


Рисунок 3.14 (а) – Блок, що моделює навантаження

Block Parameters: Three-Phase Series RLC Load ×

Three-Phase Series RLC Load (mask) (link)

Implements a three-phase series RLC load.

Parameters Load Flow

Configuration Y (grounded) ▾

Nominal phase-to-phase voltage V_n (Vrms) 10000 ⋮

Nominal frequency f_n (Hz): 50 ⋮

Specify PQ powers for each phase

Active power P (W): 1200e3 ⋮

Inductive reactive power Q_L (positive var): 100 ⋮

Capacitive reactive power Q_c (negative var): 100 ⋮

Measurements None ▾

OK
Cancel
Help
Apply

Рисунок 3.14 (б) – Параметри блоку, що моделює навантаження лінії 1

Block Parameters: Three-Phase Series RLC Load1 ✕

Three-Phase Series RLC Load (mask) (link)

Implements a three-phase series RLC load.

Parameters **Load Flow**

Configuration **Y (grounded)** ▾

Nominal phase-to-phase voltage V_n (Vrms) ▮

Nominal frequency f_n (Hz): ▮

Specify PQ powers for each phase

Active power P (W): ▮

Inductive reactive power Q_L (positive var): ▮

Capacitive reactive power Q_c (negative var): ▮

Measurements **None** ▾

Рисунок 3.14 (в) – Параметри блоку, що моделює навантаження лінії 2

Block Parameters: Three-Phase Series RLC Load2

Three-Phase Series RLC Load (mask) (link)

Implements a three-phase series RLC load.

Parameters Load Flow

Configuration Y (grounded)

Nominal phase-to-phase voltage V_n (Vrms) 10000

Nominal frequency f_n (Hz): 50

Specify PQ powers for each phase

Active power P (W): 800e3

Inductive reactive power Q_L (positive var): 100

Capacitive reactive power Q_c (negative var): 100

Measurements None

OK Cancel Help Apply

Рисунок 3.14 (г) – Параметри блоку, що моделює навантаження лінії 3

3.3 Розрахунок уставок захистів

Розглянемо осцилограми зображені на рисунку 3.15. Визначимо амплітудні значення струму при КЗ на ввідному та лінійних вимикачах.

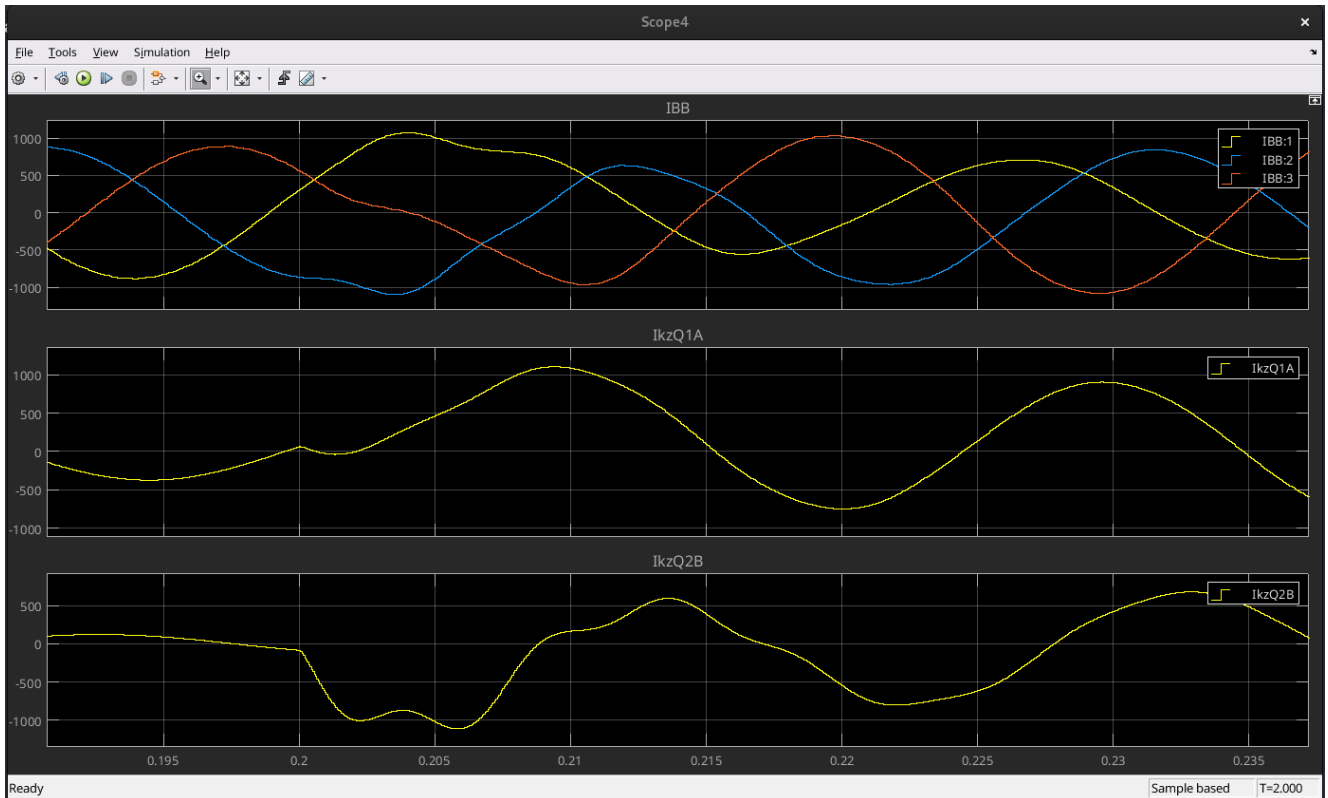


Рисунок 3.15 – Осцилограма струму на ввідному вимикачі та на лінійних вимикачах Q_1 , Q_2 (КЗ)

Максимальне значення струму на фазі А, першої лінії становило 1100 А, а на фазі В, другої лінії 1050 А. На ввідному вимикачі ці ж значення були рівні 1086 А і 1100 А відповідно. Значення в режимі КЗ зросли в 2 – 3 рази.

Розрахуємо значення уставки максимально струмового захисту ЛЕП 10 кВ:

$$I_{МСЗ} = \frac{K_H \cdot K_{сзд}}{K_{пов}} \cdot I_{роб.макс}, \quad (3.1)$$

де $I_{роб.макс}$ – максимально робочий струм лінії, K_H – коефіцієнт надійності, $K_{сзд}$ – коефіцієнт самозапуску двигунів і $K_{пов}$ – коефіцієнт повернення.

$$I_{МСЗ} = \frac{1,3 \cdot 2,2}{0,8} \cdot I_{роб.макс} = 3,575 \cdot I_{роб.макс}. \quad (3.2)$$

Для визначення максимально робочого струму на вимикачах розглянемо детальніше осцилограми струмів на рисунках 3.16–3.17. Час симуляції КЗ встановлено від 0,2 с до 0,7 с.

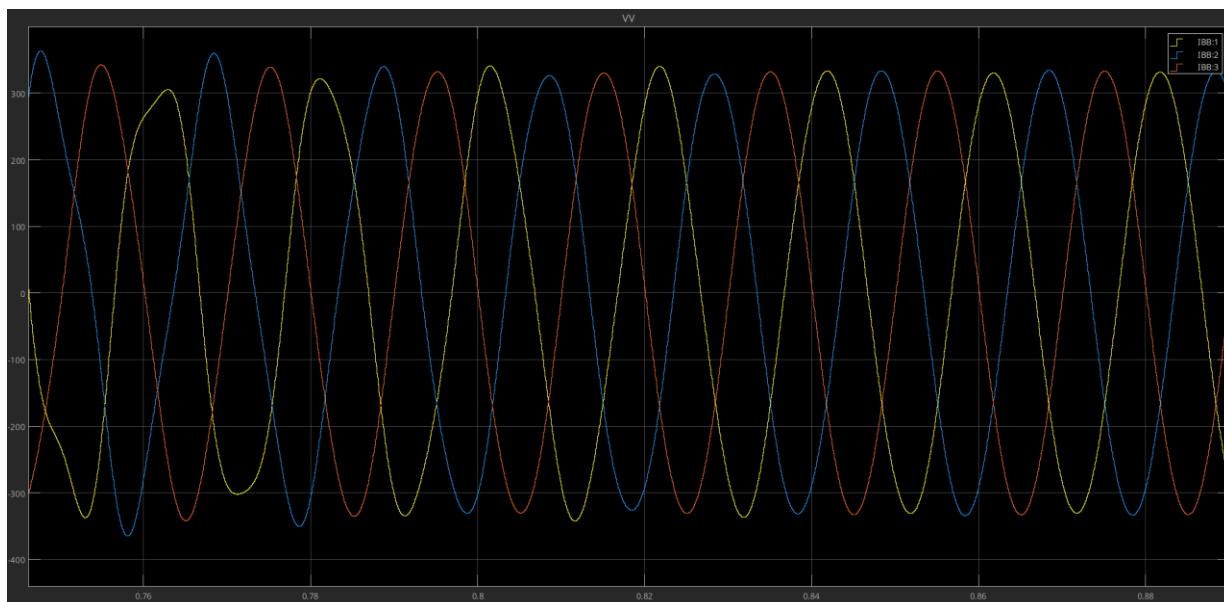


Рисунок 3.16 – Осцилограма струму на ввідному вимикачі (КЗ)

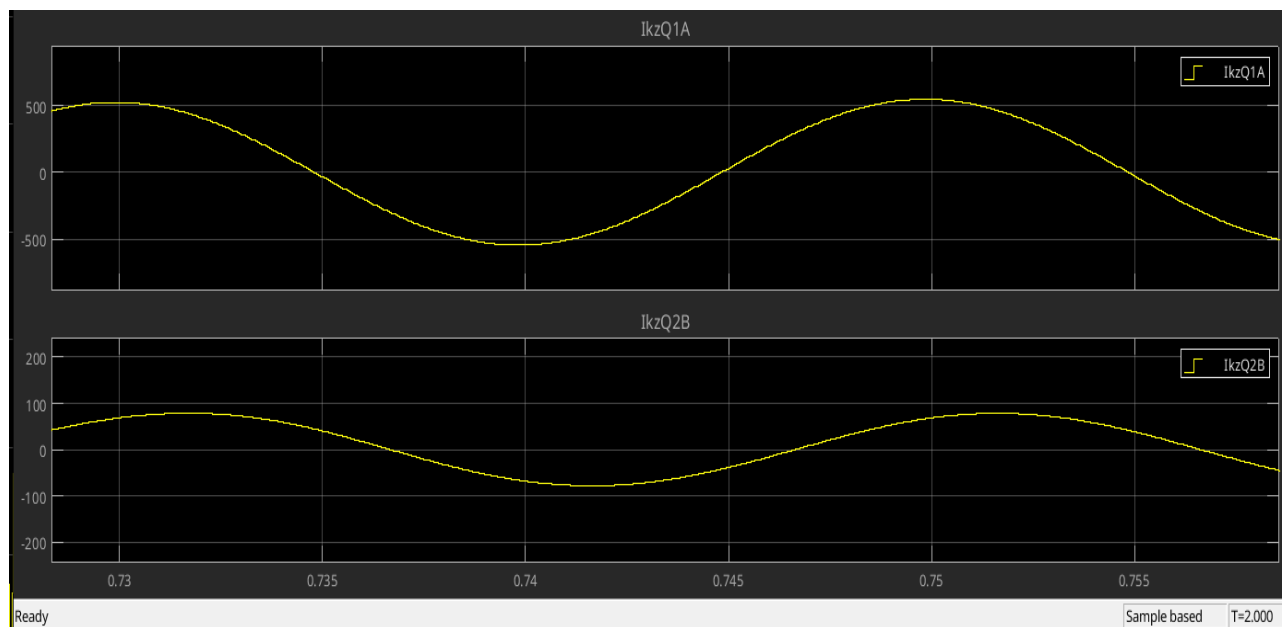


Рисунок 3.17 – Осцилограма струму на Q₁, Q₂ (КЗ)

Отже, розглянувши рисунки 3.14 – 3.15 можна записати амплітудні значення струмів:

$$I_{\text{роб.макс.А}} = 500 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{роб.макс.В}} = 130 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{роб.макс.ВВ}} = 350 \text{ (А)}.$$

За формулою 3.2:

$$I_{\text{МСЗ.А}} = 3,575 \cdot 500 = 1787,5 \text{ (А)}, I_{\text{СР.МСЗ.А}}^* = 1787,5 / (300 \cdot 5) = 1,19 \text{ в. о.},$$

де $I_{\text{СР.МСЗ.А}}^*$ – уставка спрацювання REF615 у відносних одиницях. Проведемо аналогічний розрахунок для іншої фази та ввідного вимикача.

$$I_{\text{МСЗ.В}} = 3,575 \cdot 100 = 464,75 \text{ (А)}, I_{\text{СР.МСЗ.В}}^* = 464,75 / (300 \cdot 5) = 0,31 \text{ в. о.},$$

$$I_{\text{МСЗ.ВВ}} = 3,575 \cdot 350 = 1251,25 \text{ (А)}, I_{\text{СР.МСЗ.ВВ}}^* = 1251,25 / (300 \cdot 5) = 0,83 \text{ в. о.}$$

Для наглядності необхідно побудувати та проаналізувати графік коефіцієнтів K , що показують у скільки разів струм замкнення більший за струм максимального захисту.

3.4 Аналіз струмів коротких замкнень

За допомогою ПП «Matlab» побудуємо графік коефіцієнтів.

$$K = \frac{I_{\text{замк}}}{I_{\text{МСЗ}}}, \quad (3.3)$$

де $I_{\text{замк}}$ – значення струму КЗ в відповідні лінії, а $I_{\text{МСЗ}}$ – уставка максимального струмового захисту.

Для визначення значень першої змінної необхідно скористатись “Scope”.

Крок 1:

В налаштуваннях “Scope” назвем та збережемо дані значень струму відносно часу. Результат виконання показано на рисунку 3.18 – 3.20

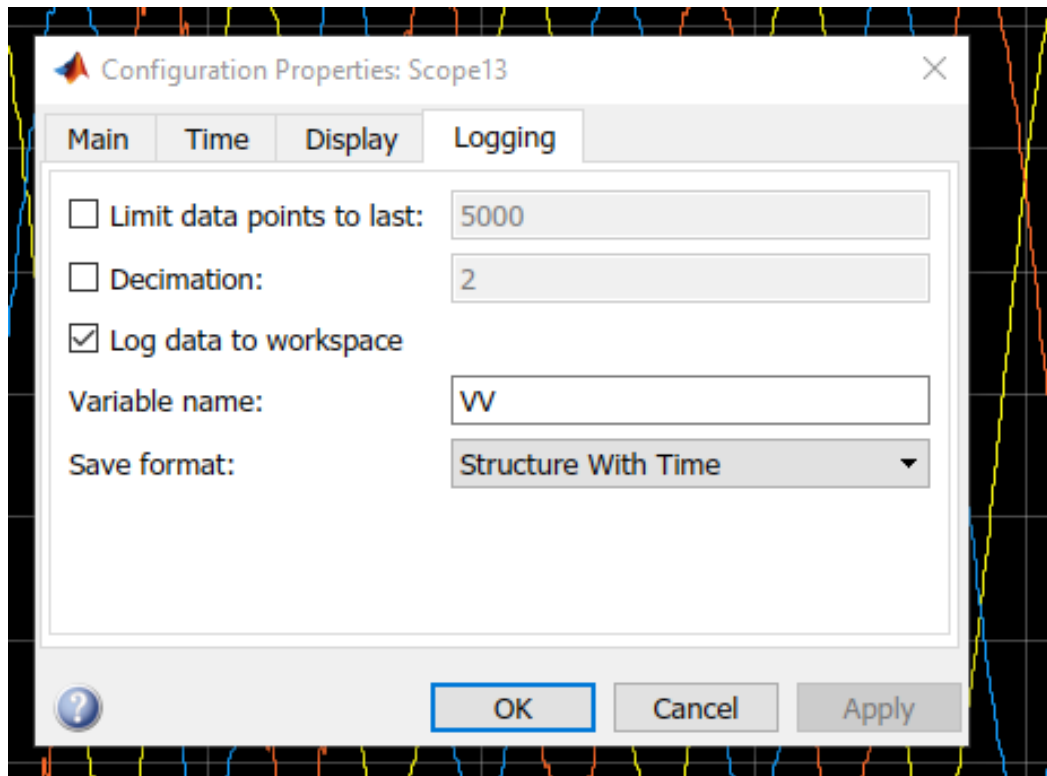


Рисунок 3.18 – Налаштування “Scope” підключеного до ввідного вимикача

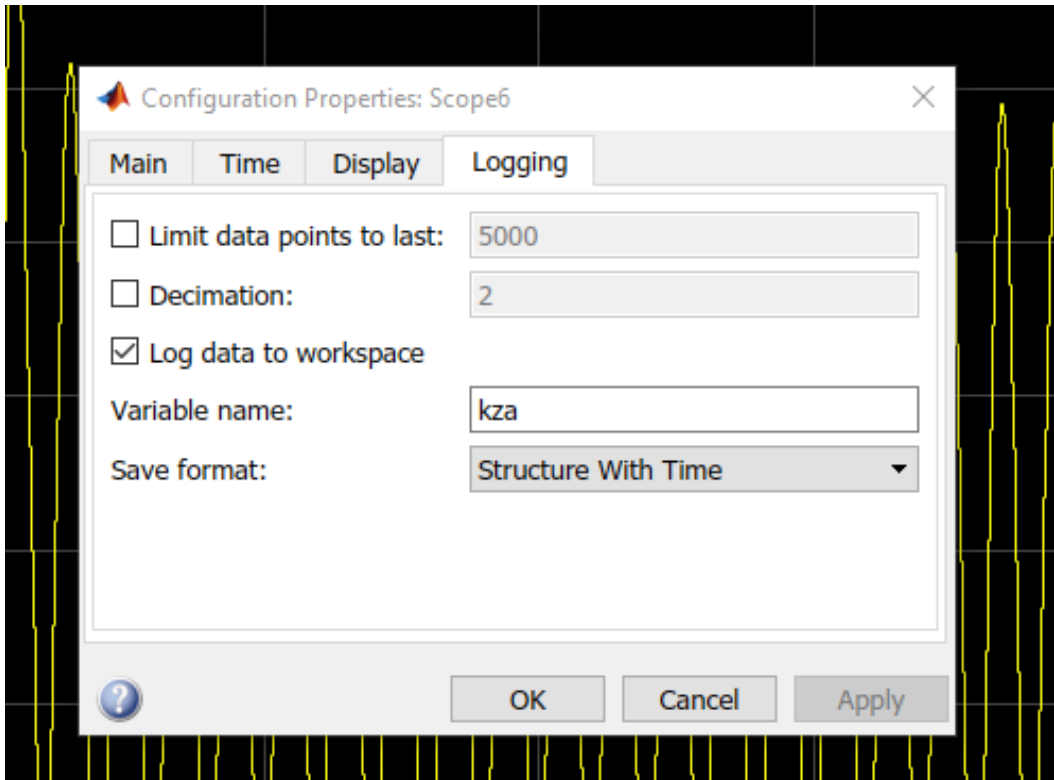


Рисунок 3.19– Налаштування “Scope”, що зображує графік струму КЗ фази А у лінії 1

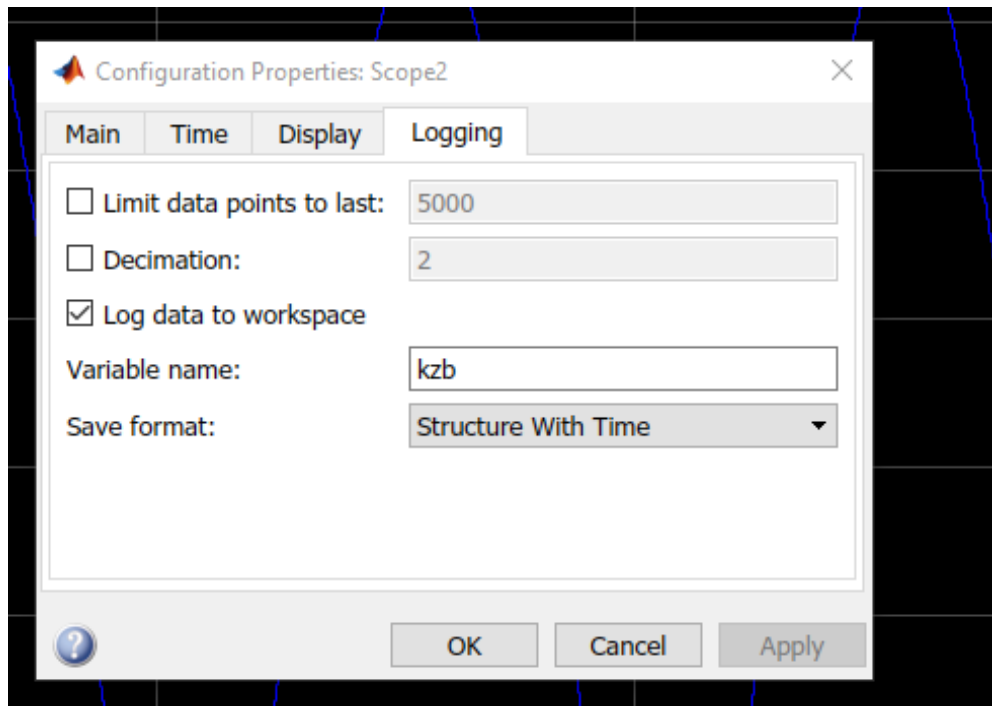


Рисунок 3.20 – Налаштування “Scope”, що зображує графік струму КЗ фази В у лінії 2

Крок 2:

Введемо назву “Score” в командну строку. Результат на рисунку 3.19.

```
>> kza  
  
kza =  
  
  struct with fields:  
  
    time: [40001×1 double]  
  signals: [1×1 struct]  
  blockName: 'mkr_model_PohranychnyiMAIN9_k/Scope6'
```

Рисунок 3.21 – Введення назви “Score” в командну строку

Введемо значення часу в змінну “a” (рис. 3.22).

Використовуємо команду зображену на рис. 3. 22 і натискаєм “Enter”.

```
>> a=kza.time
```

Рисунок 3.22 – Запис значень часу в змінну “a”

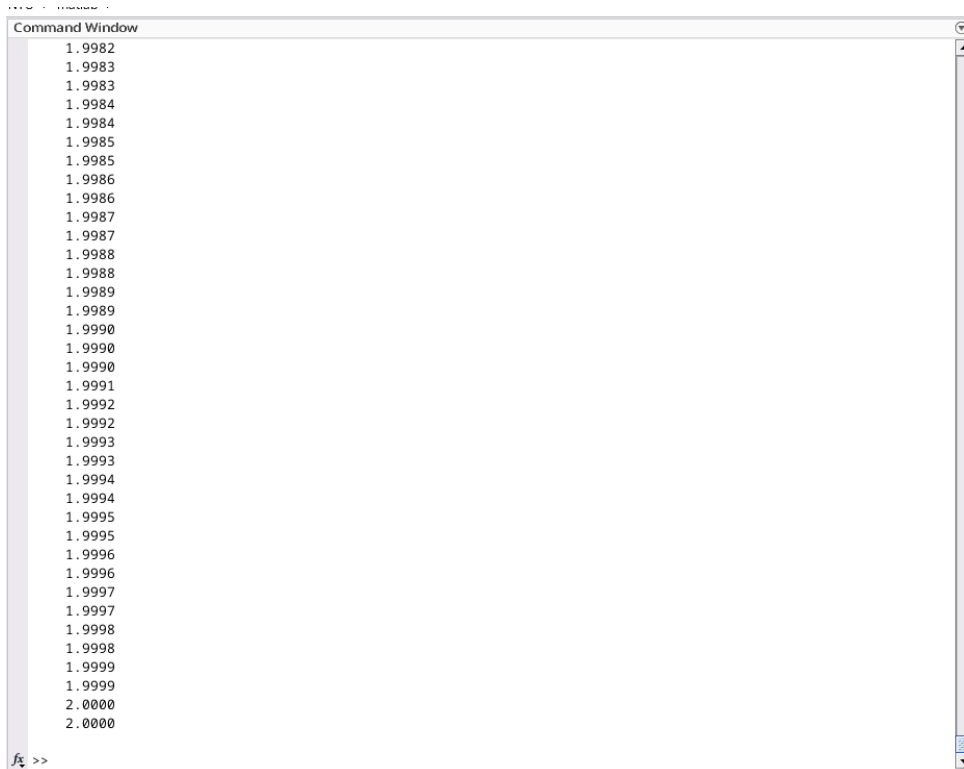


Рисунок 3.23 – Зображення частини значень змінної “а”

```
fx >> b=kza.signals.values
```

Рисунок 3.24 – Записуємо значення струму в змінну “b”

Отже, в результаті дій зображених на рис. 3.21 – 3.24 значення струму КЗ записані в змінні b, значення часу записані в змінні a.[11]

Крок 3:

Розрахуємо значення коефіцієнта K (рис. 3.23):

```
fx >> K1=-b/1787.5
```

Рисунок 3.25 – Розрахунок коефіцієнта K для лінії 1

Виконуємо аналогічні дії для лінії 2 і для ввідного вимикача. В результаті отримаємо K_1 (для лінії 1, фази А), K_2 (для лінії 2, фази В) і K_{QA}, K_{QB}, K_{QC} – для трьох фаз ввідного вимикача.

Крок 4:

Побудуємо графік коефіцієнтів від часу (рис. 3.26–3.27).

```
fx >> plot(a, K1, a, K2, a, KQ)
```

Рисунок 3.26 – Команда для побудови графіку

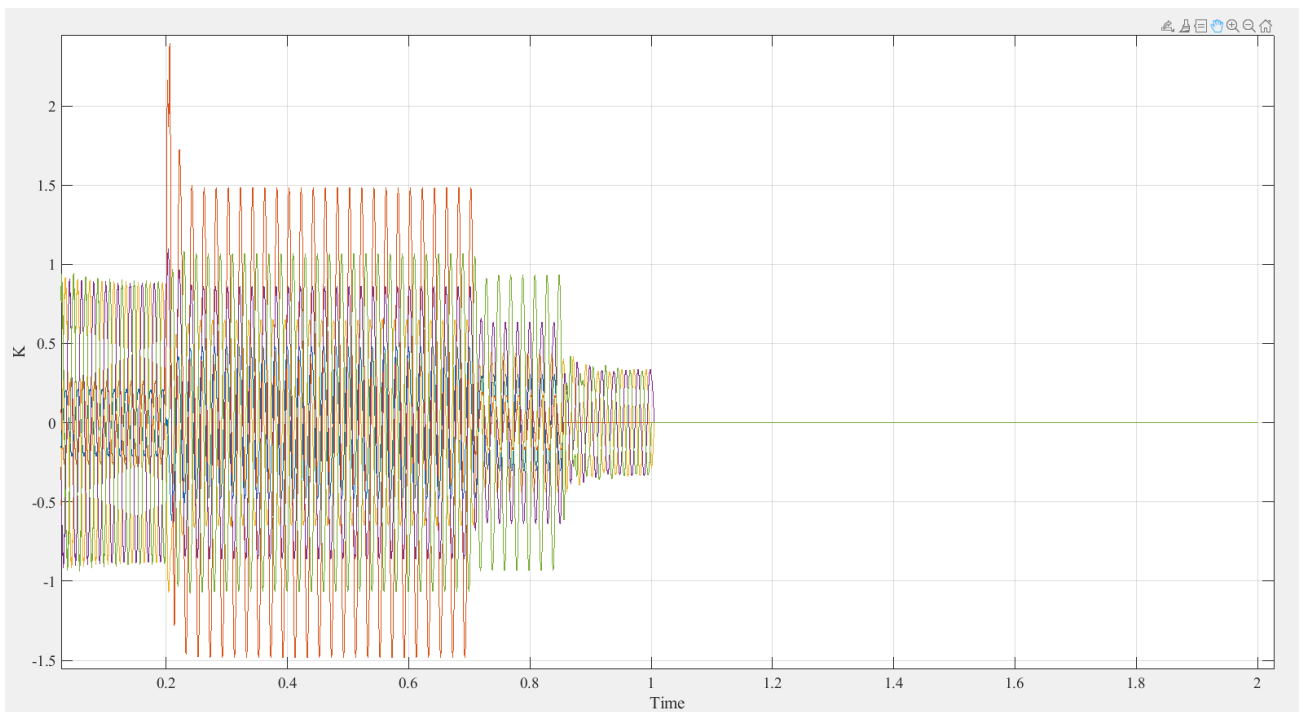
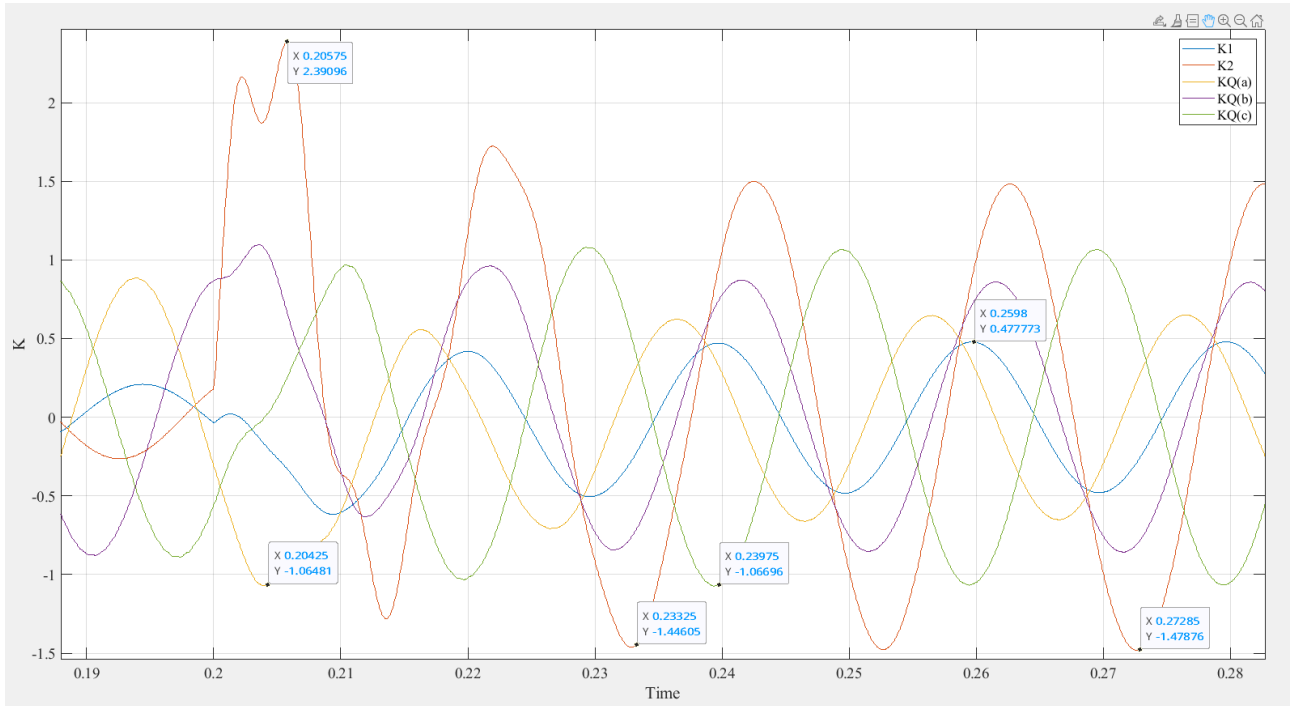


Рисунок 3.27 – Результат виконання команди “plot”

Детальніше момент перехідного процесу зображений на рисунку 3.28 з мітками на екстремумах:



P

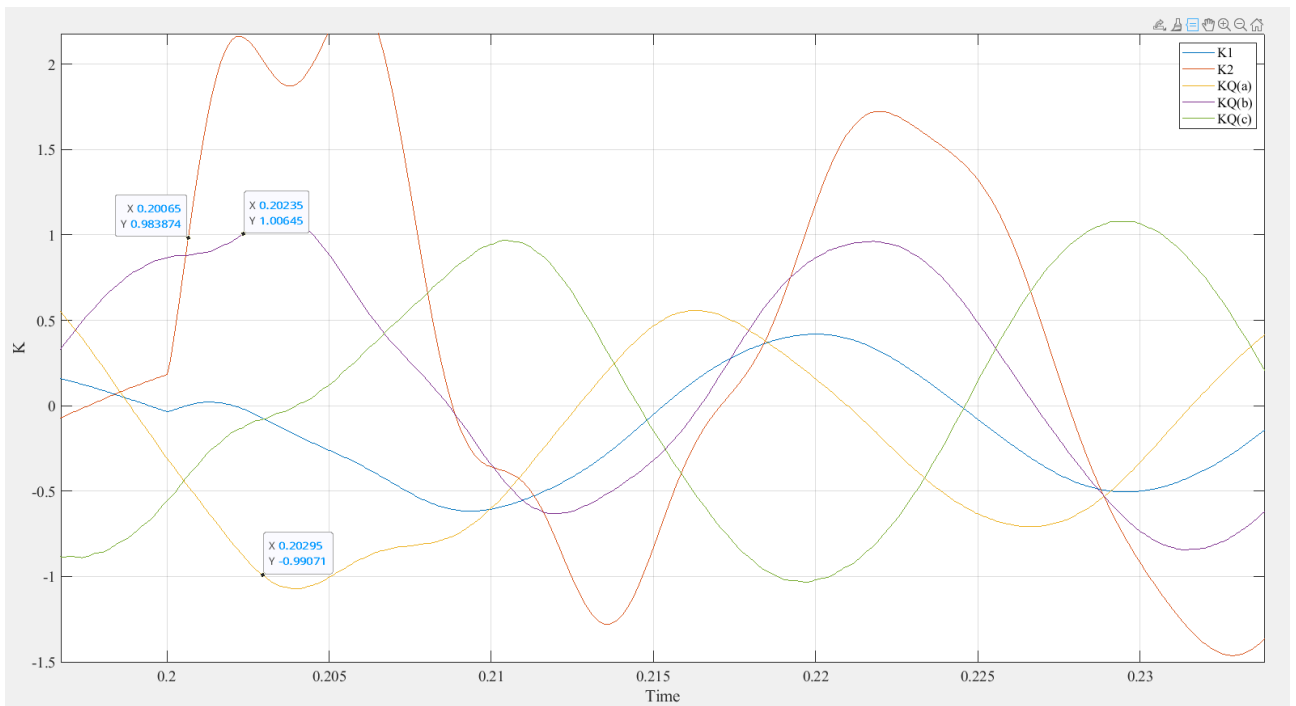


Рисунок 3.29 – Значення часу, при якому струм замкнення вперше перевищив значення уставки МСЗ цієї ЛЕП

На рисунку 3.29 зображено початок перехідного процесу (0,2 с) під час КЗ на лініях. Струм КЗ на лінії 2 досяг максимального значення через 0,006 с після

а
ф
і

початку КЗ і перевищив значення уставки в практично у 3 рази, а струм КЗ на фазі А 1 лінії не перевищив значення уставки, що пов'язано з особливостями параметрів мережі. В той час струм на ввідному вимикачі струм перевищив в 1,1 раз в фазі А і 1,07 раз в фаза В і С відповідно. З графіку видно, що перевищення струму в пошкодженій ЛЕП над уставкою МСЗ цієї ЛЕП, під час КЗ, відбувається раніше, на 0,006 с, ніж зростання струму у ввідному вимикачі для певних значень параметрів ЛЕП та КЗ. Тому вважається, що захист спрацює селективно.

Мають місце випадки неселективної роботи захисту у випадку перевищення струму уставки на ввідному вимикачі раніше, ніж на фідерному та вимкнення не пошкоджених ліній ввідним вимикачем. Тому необхідно задати затримку по спрацюванні ввідного вимикача, аби він не вимкнув непошкоджені лінії. За допомогою графіку бачимо, яке значення часу затримки в роботі МСЗ потрібно задати (з врахуванням часу ступені селективності, для забезпечення безпомилкової роботи захисту. Ступінь селективності за часом МСЗ враховує час роботи вимикачів та похибки реле часу та рівний 0,3 с для цифрових захистів [8]. Відповідно до графіку час затримки рівний 0,05 с, оскільки перехідний процес закінчується і настає усталений режим КЗ.

Отже рекомендується встановити затримку спрацювання ввідного вимикача рівною 0,35 с.

3.5 Висновки до розділу 3

За допомогою ППП «Matlab» побудовано модель трифазної мережі 220/10кВ. До шини 10 кВ приєднано три лінії, на яких встановлено вимикачі, Q₁, Q₂, Q₃. Навантаження ліній 1200, 1000, 800 кВт, відповідно до ліній 1–3. Модель дозволяє дослідити параметри захисту.

За результатами аналізу коротких замкнень в ЛЕП перевищення струму в пошкодженій ЛЕП над уставкою МСЗ цієї ЛЕП відбувається раніше, ніж

зростання струму у ввідному вимикачі для даної конфігурації параметрів мережі та КЗ.

За результатами розрахунків параметрів МСЗ визначено, що струм спрацювання дорівнює 465 А для другої лінії (фаза В), а МСЗ, що діє на ввідний вимикач підстанції до якої приєднана досліджувана ЛЕП 10 кВ, дорівнює 1251 А. Для розглянутих прикладів спрацювання МСЗ лінії відбувається селективно. Спочатку відключиться фідерний вимикач, а потім ввідний вимикач. Мають місце випадки неселективної роботи захисту у випадку перевищення струму уставки на ввідному вимикачі раніше, ніж на фідерному та вимкнення справних ліній ввідним вимикачем. Для зменшення помилкових відключень ЛЕП 10 кВ, необхідно так збільшити час спрацювання МСЗ, що діє на ввідний вимикач на підстанціях на стороні 10 кВ, щоб ввідний вимикач спрацьовував пізніше, ніж будь-який з фідерних вимикачів досліджуваної підстанції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглядаються заходи щодо забезпечення безпеки та охорони праці в умовах надзвичайних ситуацій.

Важливим аспектом є забезпечення безпеки праці для самого електротехнічного персоналу. Відсутність належного контролю та заходів з охорони праці може призвести до необоротних наслідків як для здоров'я людей, так і для стабільності електроенергетичної інфраструктури. Тому є актуальним питання створення умов безпечних умов праці. Це включає виявлення небезпечних та шкідливих чинників, з'ясування причин їх виникнення та можливих наслідків, розробка заходів по зменшенню, а також врахування аспектів промислової безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Також буде розглянуто створення безпечних умов праці для робітників. Необхідно врахувати різні фактори, наприклад фактори трудового процесу, фізичні та хімічні. До факторів трудового процесу можна віднести тяжкість праці, загальні енерговитрати, кількість стереотипних рухів, переміщення та положення тулуба. Важливою складовою є гігієна праці, що характеризується мікрокліматом, складом повітря в робочій зоні, освітленням, шумом, різного роду випромінювання та наявність вібрацій, а також психофізіологічними факторами.

4.1 Технічні рішення з безпечного виконання роботи в процесі дослідження ефективності процесів та систем

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Площа кабінету, в якому буде проходити робота повинна бути не менш 6 м², а об'єм не менш 24 м³. Для внутрішньої обробки приміщення повинні використовуватися дифузно-відбивні матеріали з коефіцієнтами відбиття для стелі – 0,7-0,8; для стін – 0,5-0,6; для підлоги – 0,3-0,5.

Конструкція робочого столу повинна забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання. Конструкція крісла повинна забезпечувати підтримку раціональної робочої пози під час роботи з відео-дисплейним терміналом (Далі ВДТ) і ПЕОМ, дозволяти змінювати позу з метою зниження статичного напруження м'язів шийно-плечової області і спини для попередження розвитку втоми працюючого (згідно з ГОСТ 12.2.032-78). Поверхня сидіння, спинки та інших елементів стільця (крісла) повинна бути напівм'якою, з покриттям, що не електризується, неслизьке та повітронепроникне, що забезпечує легке очищення від забруднення.

Висота робочої поверхні столу, за відсутності можливості її регулювання повинна складати 725 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною – не менше 500 мм, не менше 450 мм в глибину на рівні колін і на рівні простягнутої ноги – не менше 650 мм. Робоче місце має бути обладнане підставкою для ніг, має ширину не менше 300 мм, глибину не менше 400 мм, регулювання по висоті в межах 150 мм за кутом нахилу опорної поверхні підставки до 20 градусів.

Відстань від очей користувача до екрану дисплея має становити 500-700 мм. Кут зору 10-20°, але не більше 40°; кут між верхнім краєм дисплея і рівнем очей користувача має становити не менше 10°. Кращим є розташування екрану перпендикулярно до лінії зору користувача.[7, 14]

4.1.2 Електробезпека

Використовується напруга (фаза – "0") – 220 В. Категорія умов з безпеки електротравматизму – без підвищеної безпеки

Технічні рішення для запобігання електротравм:

1) Ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів (опір ізоляції нового устаткування не менше 1 кОм на 1 В напруги);

2) Встановлення захисного заземлення та захисного вимкнення.

3) Застосування спеціальних захисних елементів, що перешкоджають фізичному контакту з потенційно небезпечними частинами.

4) Встановлення сигнальних систем та індикаторів для попередження персоналу про наявність напруги чи небезпечних струмів.

4.2 Технічні рішення з виробничої санітарії

У даному підрозділі описується гігієна праці і виробничої санітарії при виконання теоретичних робіт з використанням засобів комп'ютерної техніки.

4.2.1 Мікроклімат

Відповідно, до параметрів мікроклімату, що нормуються за ДСН 3.3.6.042-99. Допустимі параметри мікроклімату для категорії робіт – легка Іб в теплий та холодний період року наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1– Параметри мікроклімату виробничих приміщень

Період року	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22–24	60–40	0,2
Холодний	21–23	60–40	0,1

Для забезпечення необхідних параметрів мікроклімату передбачено:

1) У холодний період року використання централізованої системи опалення.

2) У літній період використання кондиціонери та вентиляторів.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Робоча зона являється приміщенням близько 20 кв.м оточена стінами та стелею, висотою 2,5 м. Характеристика повітря залишається постійною, і забруднення повітря в робочій зоні регулюється гранично допустимими концентраціями (ГДК) шкідливих речовин. Склад повітря робочої зони в межах норми не порушує стандартів гігієни праці.

Для підтримки допустимих значень передбачаються регулярні моніторинги та аналіз якості повітря, систем вентиляції, щоб переконатися, що стан залишається відповідним нормам та стандартам безпеки. Додатково передбачається встановлення зволожувача повітря для забезпечення необхідного рівня вологості повітря.[15]

4.2.3 Виробниче освітлення

У приміщеннях, в яких виконується зорова робота I-IV розрядів під час необхідно застосовувати систему комбінованого освітлення.

Таблиця 4.2 – Нормовані значення виробничого освітлення

Характеристика зорової роботи		Високої точності
Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм		0,3 – 0,5
Розряд зорової роботи		III
Підрозряд зорової роботи		a
Контраст об'єкту з фоном		малий
Характеристика фону		темний
Штучне при системі комбінованого освітлення	всього	2000
	у т.ч. від загального	200
Природне, КПО, D_n , %	середнє	3
	мінімальне	1

Для забезпечення нормованого значення штучної освітленості E_n передбачено застосування комбінованого освітлення:

1. У якості джерела штучного освітлення – люмінесцентні лампи типу ЛБ, або ДРЛ розташовані з двох сторін. Також передбачається система вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від

інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони.

2. Для забезпечення нормованого значення природної освітленості D_n передбачено місце роботи біля вікна з жалюзі, що пропускає природне світло.

4.2.4 Виробничий шум

Допустимі рівні звукового тиску у октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку на робочих місцях за ДСН 3.3.6.037-99 [23] наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні шуму та еквів. рівні шуму, дБА, дБАекв
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Наукова діяльність, конструювання та проектування, програмування	86	71	61	54	49	45	42	40	38	60

Джерелами шуму в умовах, що розглядаються в роботі, є шум від комп'ютеру, вентиляторів, акустичних систем, друкарські пристрої та людська діяльність загалом.

Для забезпечення допустимих параметрів шуму та поліпшення шумового клімату в приміщенні передбачені наступні заходи та рішення:

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

Для зменшення дії вібрацій на персонал у роботі передбачено:

1. Використовувати спеціальні амортизуючі матеріали.
2. Розміщення робочих зон, де працюють співробітники, в зонах з меншою інтенсивністю вібрацій.

4.2.6 Виробничі випромінювання

Види випромінювань:

1. Електромагнітне випромінювання
2. Оптичне випромінювання
3. Акустичне випромінювання

Для мінімізації впливу цих випромінювань передбачається:

1. Екранування електромагнітного випромінювання
2. Встановлення антиблікових фільтрів на моніторах для зниження напруги на очі працівників.
3. Застосування екранированих кабелів для попередження електромагнітних перешкод та мінімізації впливу на інші пристрої.
4. Забезпечення належного освітлення робочого простору та використання адаптивного освітлення для зменшення напруги на очі.
5. Встановлення ефективних вентиляційних систем для відведення тепла та запобігання перегріву обладнання.

4.2.7 Психофізіологічні фактори

Визначаються за Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

- Загальні енергозатрати організму: до 174 Вт
- Робоча поза: вільна зручна поза або сидячи
- Нахили тулуба (вимушені): відсутні

– Інтелектуальні навантаження:

– зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;

– сприймання інформації та її оцінення – сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями.

– розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання.

– робота за комп'ютером – 115 кКал/год.

– Сенсорні навантаження:

– зосередження (% за зміну) – до 75%;

– щільність сигналів (звукові за 1 год.) – 0;

– спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 5 год;

– навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – до 10 год.

– Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності

– є відповідальним за функціональну якість основної роботи;

– Ступінь ризику для власного життя – відсутній;

– Режим праці: одна зміна, 8 год робочого часу.

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці робота, що виконується належить до допустимого класу умов праці, а напруженість праці класифікується як легка.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В сучасному світі, який характеризується стрімким розвитком технологій та зростанням населення, проблеми безпеки та стійкості електроенергетичних систем стають надзвичайно актуальними та важливими. Електроенергія визначає ефективність функціонування практично всіх галузей господарства та життєдіяльності суспільства в цілому. Забезпечення безперебійного та надійного живлення електромереж є вирішальним завданням, особливо в умовах надзвичайних ситуацій.

Приклади загрозливих чинників та їх вплив на електричну мережу можна розглядати в контексті різних сценаріїв надзвичайних ситуацій. Однією з найбільш серйозних загроз є природні катастрофи. В умовах стихій електрична мережа стикається з ризиками перебоїв, коротких замикань та знищення інфраструктури. Наприклад, сильний вітер може спричинити ламання дерев, які потрапляють на лінії електропередачі, призводячи до аварій та відключень. Іншим загрозливим чинником є техногенні аварії, такі як витoki небезпечних речовин або технічні несправності. Випадки збоїв у роботі електричних підстанцій або аварійні руйнування трансформаторів можуть викликати не тільки великі втрати електроенергії, але й призводити до загрозливих умов для навколишнього середовища та населення. Це може включати пожежі, витoki токсичних речовин, та інші небезпеки.

4.3.1 Дослідження стійкості роботи електричної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань

Під впливом іонізуючого випромінювання може змінитися чутливість сенсорів до фізичних величин, які вони вимірюють. Наприклад, сенсори струму та напруги можуть змінити свою чутливість, що може призвести до неточностей у вимірюваннях. Компоненти, які використовуються у сучасних сенсорах, можуть бути вразливі до впливу іонізуючого випромінювання. Це може викликати зміни в їхній електричній характеристиці та функціональності.

У якості критерія стійкості виступає граничне значення рівня радіації при яких система буде нормально працювати.

Таблиця 4.5 – Експозиційні дози елементів обладнання релейного захисту блоку електричної мережі

№	Елементи обладнання блоку релейного захисту		$D_{гр1}, P$	$D_{гр}, P$
1	Дистанційних захист	КРС-2	10^4	10^4
2	Максимальний струмовий захист	РТВК	10^3	

Визначаємо можливу дозу опромінення D_M за наступною формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_k}) - \sqrt{t_n}}{k_{\text{осл}}},$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації, $P_1 = 4,13$ Р/год,

t_k – час роботи на відмову, $t_k = 100000$ год,

t_n – час початку опромінення, $t_n = 1$ год,

$k_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації будинком, $k_{\text{осл}} = 1$.

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,13 \cdot (\sqrt{100000}) - \sqrt{1}}{1} = 2603,7 \text{ (Р)}.$$

Визначимо допустимий час роботи блоку в заданих умовах за формулою:

$$t_{\partial} = \left(\frac{D_{\text{гр}} \cdot k_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_1} \right)^2,$$

$$t_{\partial 1} = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 4,13 \cdot 1}{2 \cdot 4,13} \right)^2 = 1,4681 \cdot 10^6 \text{ (год)},$$

$$t_{\partial 2} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,13 \cdot 1}{2 \cdot 4,13} \right)^2 = 14,899 \cdot 10^3 \text{ (год)}.$$

Допустимий час роботи під час іонізуючих випромінювань складає $1,4681 \cdot 10^6$ (год) та $14,899 \cdot 10^3$ (год), що в роках 167 років та майже два роки відповідно.

Отже з виконаних розрахунків можна зробити висновок, що при заданих умовах блок системи релейного захисту електричної мережі не є стійким, а

допустимий час роботи в такому режимі складає два роки для найменш стійкого елемента.

4.3.2 Дослідження стійкості роботи електричної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу

Захист електричної мережі від електромагнітного імпульсу (ЕМІ) є важливим завданням для забезпечення надійності та стійкості електричних систем. ЕМІ може виникнути внаслідок блискавки, комутаційних операцій у мережі тощо. Слід враховувати, що ЕМІ має вертикальну та горизонтальну складові напруженостей електричного поля.

Визначимо горизонтальну складову напруженості електричного поля:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B = 10^{-3} \cdot 10,17 = 0,01017 \text{ (кВ/м)}.$$

Далі слід визначити максимальну довжину горизонтальних та вертикальних струмоведучих частин: $l_{\Gamma} = 0,9 \text{ м}$, $l_B = 0,1 \text{ м}$.

Виконаєм розрахунок наведених напруг в горизонтальних та вертикальних струмоведучих частинах:

$$U_B = E_{\Gamma} \cdot l_B = 0,01017 \cdot 0,1 = 0,001017 \text{ (кВ)},$$

$$U_{\Gamma} = E_B \cdot l_{\Gamma} = 10,17 \cdot 0,9 = 9,153 \text{ (кВ)}.$$

Визначимо допустиму напругу живлення, $U_{\text{ж}} = 220 \text{ (В)}$, $N = 5$ – допустимі коливання:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}} \cdot N}{100} = 220 + \frac{220 \cdot 5}{100} = 231 \text{ (В)}.$$

Визначимо коефіцієнти безпеки системи:

$$K_{БВ} = 20 \cdot \lg \frac{U_D}{U_B} = 20 \cdot \lg \frac{231}{0,001017} = 107 \text{ (дБ)},$$

$$K_{БГ} = 20 \cdot \lg \frac{U_D}{U_G} = 20 \cdot \lg \frac{231}{9,135} = 28,05 \text{ (дБ)},$$

Отримані результати занесемо в таблицю 4.5.

Таблиця 4.4 – Результати дослідження стійкості роботи електричної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу

Блоки	U_D , (В)	E_B , (кВ/м)	E_G , (кВ/м)	U_B , (кВ)	U_G , (кВ)	$K_{БВ}$, (дБ)	$K_{БГ}$, (дБ)
система РЗ	231	10,17	0,01017	0,001017	9,153	107	28,05

Так як $K_{БГ} < 40$ дБ, то система буде не стійка в роботі, виникає потреба додаткового захисту. Для захисту електричної мережі від ЕМІ необхідно забезпечити екранування усіх чутливих елементів.

Проведемо розрахунок мінімальної товщини захисного екрана:

$$A_{\min} = 40 - K_{БГ} = 40 - 28,05 = 11,95 \text{ (дБ)},$$

$$t_{\min} = \frac{A_{\min}}{5,2 \cdot \sqrt{f}} = \frac{11,95}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,018 \text{ (см)}.$$

За допомогою екрану в 0,018 см система буде працювати стійко та безпечно.

4.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електричної мережі в умовах надзвичайних ситуацій

Для підвищення стійкості роботи електричної мережі в умовах надзвичайних ситуацій, електромагнітного впливу чи іонізуючих випромінювань, слід прийняти ряд заходів та впровадити певні покращення.

Екранування. Застосування екранування зменшить електромагнітні перешкоди та захистить внутрішні елементи блоків електричної мережі від зовнішнього впливу. Застосування екранування для проводів і кабелів призведе до уникнення витоків сигналів та захисту від ЕМІ. Екранування дозволяє ефективно боротись з електромагнітними імпульсами та якісно захищає обладнання. З недоліків можливо вартість, збільшення маси та розмірів блоку загалом, також потребує належного монтажу. Альтернативою може бути використання електромагнітних фільтрів. Встановлення електромагнітних фільтрів призведе до зменшення впливу шумів і перешкод на роботу блоків. Також можна використати матеріали, що мають властивості до екранування, але меншої маси і в певних варіантах є хорошою альтернативною. Прикладом таких матеріалів є ферити, сплави нікелю та заліза, деякі полімерні матеріали, що містять частки металу здатні виконувати функцію екранування забезпечуючи легкість та гнучкість, що в деяких випадках є важливо.

Щодо захисту від іонізуючого випромінювання, то слід звернути увагу на наступні заходи по захисту. Слід зазначити, що екранування не втрачає свою актуальність та може бути ефективно використане, також можна забезпечити більшу герметичність корпусу обладнання для уникнення проникнення радіоактивних частинок. Важливо використовувати детектори іонізуючого випромінювання та встановлення систем аварійної сигналізації, що повідомлять про перевищення допустимого рівня, усі ці допоміжні прилади зручно об'єднати в систему моніторингу для відслідковування рівня протягом різних проміжків часу.

Якщо присутнє джерело іонізуючого випромінювання, то інше обладнання слід дистанціювати якомога найдалі. Таким чином вплив буде зменшено, звичайно, слід враховувати технічні можливості.

4.4 Висновок до розділу 4

В розділі розглянуто ряд технічних рішень, що забезпечує охорону праці та безпеку під час надзвичайних ситуацій. Дотримання всіх вимог та виконання усіх рішень по охороні праці повністю забезпечить безпеку особи, що проводить дослідження відповідно до нормативних показників. У остайньому підрозділі було виконано дослідження стійкості системи релейного захисту під час іонізуючих випромінюваннях та під дією електромагнітних імпульсів, за результатами розрахунків система під дією ЕМП не стійка і необхідно виконати екранування товщиною не менше 0,018 см. Розроблено ряд заходів для підвищення стійкості системи в умовах надзвичайних ситуацій.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз комерційного потенціалу

У даному розділі проводиться детальний аналіз технічного рівня отриманих результатів, який спрямований на вивчення проблем роботи систем захисту при коротких замиканнях в системі електропостачання. Піддавши оцінці ефективність використаних технічних рішень, розглядаються їхні економічні переваги, зокрема у зменшенні впливу коротких замикань на функціонування системи електропостачання.

Аналіз впливу коротких замикань на мережу дозволяє виявити недоліки, зокрема неселективну роботу ввідного вимикача. В результаті цього дефекту відбувається вимикання ліній без наявності короткого замикання, що призводить до недовідпуску електричної енергії та виникають економічні збитки.

Подальше висвітлення техніко–економічного обґрунтування введення запропонованих рішень у справжній мережі визначає стратегічний підхід до розв'язання зазначених проблем. Дослідження констатує необхідність впровадження розроблених рішень для зменшення неселективної роботи вимикачів та підвищення захищеності мережі в цілому. Це має велике значення для уникнення економічних збитків, пов'язаних з нестачею електроенергії та неправомірним вимиканням ліній.

В наступному підрозділі, який стосується економічної доцільності, розглянемо конкретні аспекти впровадження запропонованих технічних рішень у систему. Висвітливо прогнозовані витрати, рентабельності, а також визначимо, як запропоновані рішення можуть оптимізувати комерційний потенціал та покращити загальний стан системи електропостачання. Проведемо розрахунок заміни старого обладнання релейного захисту на новий.

5.2 Економічна доцільність

У сучасних умовах енергетичні системи стикаються з рядом викликів, зокрема, необхідністю оптимізації витрат та мінімізації втрат електроенергії. Один із ключових аспектів, який впливає на економічну ефективність, – це робота релейного захисту, відповідального за виявлення та ізоляцію ділянок з короткими замиканнями. У випадках неселективної роботи релейного захисту, втрати електроенергії та економічні збитки можуть бути значними. При цьому може використовуватися єдиний методичний підхід економічної оцінки, заснований на зіставленні витрат, необхідних для впровадження нового захисту і того економічного ефекту, який буде отриманий при її використанні. Критерієм може виступати як термін окупності, так і величина річного приведенного економічного ефекту.

За сучасних умов релейний захист іноді може виключати робочі лінії під час коротких замикань, що веде до неправомірного відключення електропостачання. Це породжує фінансові втрати через недовідпуск електроенергії на справних лініях, які виявились відключеними внаслідок неселективної роботи ввідного вимикача.

У контексті вищеописаних проблем та нових технічних рішень, важливо визначити економічну доцільність впровадження цих інновацій. Для цього ми вирахуємо витрати електроенергії від неселективного відключення ліній, загальні економічні збитки, витрати на виконання робіт та інші показники.

Для вивчення економічної доцільності впровадження нових технічних рішень в систему електропостачання розглянемо мережу, аналогічну тій, яка була об'єктом дослідження. Припустимо, що середнє денне споживання на лініях: $W_1=1200$, $W_2=800$, $W_3=400$ кВт відповідно. Це навантаження визначить реальний режим роботи мережі та стане вихідною точкою для розрахунків економічних втрат та економічною привабливістю запропонованих технічних рішень. Аналізуючи роботу системи при таких умовах, ми отримаємо конкретні дані, які будуть використані в розрахунках для кількісної оцінки витрат та

прибутків, що дозволить нам зробити об'єктивний висновок щодо економічної ефективності запропонованих змін в системі електропостачання.

Важливим аспектом у нашому аналізі є вартість електроенергії, яка приймається 3 гривні за 1 кВт· год. Це значення є ключовим фактором при розрахунках економічних збитків та прибутку, яке враховується у формулах для кількісної оцінки витрат та вигоди від запропонованих технічних рішень.

Для визначення доходу від мережі необхідно врахувати загальний обсяг електроенергії, який успішно надходить до споживачів за допомогою розглянутої мережі. Дохід може бути розрахований за допомогою наступної формули:

$$E = t \cdot T_e \cdot \sum P, \quad (5.1)$$

де E – сума доходу, а P – споживання лінії, T_e – тариф на електроенергію.

Розрахунок проводиться для кожної лінії на проміжку 30 днів.

Для першої лінії:

$$E_1 = 1200 \cdot 3 \cdot 30 = 108000 \text{ грн,}$$

Для другої лінії:

$$E_2 = 800 \cdot 3 \cdot 30 = 72000 \text{ грн,}$$

Для третьої лінії:

$$E_3 = 400 \cdot 3 \cdot 30 = 36000 \text{ грн,}$$

$$E_1 + E_2 + E_3 = 108000 + 72000 + 36000 = 216000 \text{ грн.}$$

Отримане значення визначатиме фінансовий потік від електропостачання за місяць, що є ключовим показником для подальших розрахунків економічної ефективності системи.

Коротке замикання на одній лінії електропостачання є серйозним інцидентом, який може виникнути в системі. Нехай, наприклад, на лінії з

середнім денним споживанням 1200 кВт сталося коротке замикання. У результаті такого замикання виникає великий струм, який перевищує нормальні значення. Відбувається перегрів та плавлення ізоляції на лінії, і в підсумку, у кращому з варіантів – лінія відключається, що призводить до великих економічних збитків через недовідпуск електроенергії, у гіршому випадку аварія масштабується і руйнується обладнання, можлива пожежа та значна загроза людській безпеці.

Мають місце помилкові спрацювання захисту. Ввідний вимикач може неселективно відреагувати на замикання, що виконає відключення усіх ліній. З цього приводу важливо розглядати та впроваджувати нові технічні рішення, які зменшать ймовірність негативних наслідків коротких замикань та покращать економічну ефективність системи електропостачання. Запропоноване рішення передбачає переналаштування захисту відповідно до розрахунків та врахування додаткової затримки спрацювання захисту задля селективного спрацювання захисту і уникнення недоотримання доходів внаслідок відключення споживачів.

Далі проведемо розрахунок повної заміни пошкодженого релейного захисту внаслідок аварії дата оцінимо вартість усього процесу. Вкладення у впровадження нової системи релейного захисту традиційно включають два основних аспекти. По–перше, це капітальні вкладення, які включають вартість придбання або розробки вдосконалення поточної схеми захисту. По–друге, це щорічні витрати на утримання і обслуговування нової технології.

Вартість нового захисту визначається відповідно до ринкових цін. У випадку, якщо пропонується впровадження нової захисної системи, яка є унікальною і не має аналогів, розробляється кошторис для нового захисту. Це включає в себе оцінку всіх витрат, пов'язаних із створенням та впровадженням нового захисту, зокрема витрати на матеріали, розробку програмного забезпечення, інженерні рішення та робочу силу.

$$K = \sum K_1 + K_2, \quad (5.2)$$

де K_1 – вартість i – елементів, що необхідно для нової схеми захисту, а K_2 – витрати на роботи пов’язані з монтажом, наладкою та розрахунком уставок, які приймаються в розмірі 5% від вартості захисту.

Також K_2 можна розрахувати за наступною формулою:

$$K_2 = t \cdot N \cdot S, \quad (5.3)$$

де t – час, що буде витрачений на розробку, монтаж схеми однією людиною; N – кількість людей, які беруть участь в розробці та монтажу; S – середня місячна заробітна плата або оклад j –працівника в залежності від розряду або категорії його кваліфікації; T_m – нормативний місячний фонд робочого часу, приймається в розмірі 168 год (враховуючи, що робочий день тривалістю 8 год і у місяці 21 робочий день).

Поточні витрати на утримання захисту включають витрати на поточне обслуговування захисту C_1 . Ці витрати не істотні, тому можуть прийматися в розмірі 0,5 – 1 % від вартості захисту. До складу поточних витрат також включаються амортизаційні відрахування (C_a). Таким чином, поточні витрати на експлуатацію релейного захисту визначаються за виразом 5.4:

$$C = C_1 + C_a. \quad (5.4)$$

При визначенні ефективності впровадження нового релейного захисту важливо акцентувати на розрахунках щорічних економічних результатів його застосування. Цей показник можна порівняти з числовим значенням, яке визначає запобігання можливих збитків від неселективного (хибного) функціонування застарілого релейного захисту. Як саме буде визначатись економічний збиток буде залежати від конкретного обладнання, для якого проводиться заміна. Зазначений збиток виражається у втраті продукції через недовідпущення.

Узагальнений збиток (Y) електроенергетичних підприємств внаслідок аварійної ситуації може бути визначений за допомогою наступної формули:

$$Y = \Delta D_e + Y_{\text{ЛКВ}}, \quad (5.5)$$

де ΔD_e – втрачений дохід від неправильного функціонування діючих захистів; $Y_{\text{ЛКВ}}$ – витрати на ліквідації аварійної ситуації. Величина ΔD_e визначається за звітними даними роботи підприємства при сформованому за рік рівень відмов діючих захистів. ΔD_e – може бути визначений за допомогою наступної формули:

$$\Delta D_e = \Delta W_{\text{спож}} \cdot T_e \cdot \omega \cdot \frac{M_0}{60}, \quad (5.6)$$

де $\Delta W_{\text{спож}}$ – недовідпущена електроенергія на період відмови захистів; T_e – ціна 1 кВ·год електроенергії; ω – параметр потоку відмов пристроїв електропостачання через неспрацьовування захистів; M_0 – математичне очікування часу відсутності енергопостачання у хвилинах.

Витрати, пов'язані з ліквідації аварій при неспрацьовуванні захисту, включають:

$$Y_{\text{ЛКВ}} = K_{\text{ЛСО}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{Т}}, \quad (5.7)$$

де $C_{\text{ЗП}}$ – витрати на оплату роботи бригади, що ліквідує аварійну ситуацію, $C_{\text{Т}}$ – витрати на спецтранспорт; $K_{\text{ЛСО}}$ – ліквідна вартість старого обладнання.

$$E = Y - (C + E_{\text{нт}} \cdot K). \quad (5.8)$$

Термін окупності нового захисту розраховується за формулою 5.9:

$$T_{OK} = \frac{K}{y-c} \quad (5.9)$$

Економічне обґрунтування впровадження схеми захисту на схемі, що використовувалась в дослідженні. Встановимо релейний захист на базі мікропроцесорних реле. Ліквідна вартість старої комірки $K_{лсо} = 100$ (тис. грн.).

Розрахуємо обсяг відпуску електроенергії, що могла бути відпущена за час усунення аварії (100 год), зважаючи на потужності ліній:

$$\Delta W_{\text{спож}} = (1200 + 800 + 400) \cdot \frac{100}{24} = 10000 \text{ кВт.}$$

Тариф на електроенергію – $T_e = 3$ грн. / кВт • год, а вартість нової шафи $K = 120$ тис. грн. Вартість виїзду до місця аварії 1000 грн.

Під час монтажу працювало 2 інженери, час монтажу та наладки захистів підстанції склало 100 год. Заробітна плата інженера складає 178 грн/год. Розрахуємо витрати на роботи пов'язані з монтажом, наладкою та розрахунком уставок за формулою 5.3:

$$K_2 = 2 \cdot 100 \cdot 178 = 35600 \text{ грн.}$$

Тоді загальна вартість нової системи за 5.2:

$$K = 120 + 35,6 = 155,6 \text{ тис. грн.}$$

Визначаємо річні поточні витрати (С) на експлуатацію нового захисту при нормі витрат на поточне обслуговування (0,5%) та при гарантованому терміні експлуатації нового мікропроцесорного захисту 10 років. Розрахуємо витрати на поточне обслуговування захисту та амортизаційні витрати:

$$C_1 = 155,6 \cdot 0,005 = 0,78 \text{ тис. грн,}$$

$$C_a = \frac{155,6}{10} = 15,56 \text{ тис. грн,}$$

$$C = 0,78 + 15,56 = 16,34 \text{ тис. грн.}$$

Визначаємо втрати від недовідпуску електроенергії при відмові старого захисту

$$\Delta D_e = 10000 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \frac{120}{60} = 120 \text{ тис. грн.}$$

4. Визначаємо витрати на ліквідацію аварій

$$C_{3П} = K_2 = 35600 \text{ грн,}$$

$$C_T = 4 \cdot 1000 = 4000 \text{ грн.}$$

Тоді за 5.7 визначаємо витрати, пов'язані з ліквідацією аварії при неспрацьовуванні захисту:

$$Y_{\text{ЛКВ}} = 10 + 35,6 + 4 = 49,6 \text{ тис. грн,}$$

$$Y = 49,6 + 120 = 169,6 \text{ тис. грн,}$$

1. Визначаємо термін окупності установки нового шафи захисту:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{155,6}{169,6 - 16,34} = 1,015 \text{ року.}$$

5.3 Висновки до розділу 5

Отримані розрахунки економічних показників, пов'язаних із заміною застарілого релейного захисту новим захистом, свідчать про те, що процес потребує значних капіталовкладень та має термін окупності 1 рік. Аналізуючи витрати на нове обладнання слід відзначити, що велику частку складає купівля нової шафи захисту ЛЕП, вартість якої 120 тисяч гривень.

Запропоноване рішення передбачає лише переналаштування існуючого релейного захисту, роблячи його більш надійним – зменшується можливість його відмови чи неселективної роботи. Також у такому варіанті відсутня необхідність закупівлі нового дорогого обладнання та зменшує втрачені доходи від невідпуску електричної енергії, що і робить це економічно вигідним рішенням.

Отже, результати розрахунків вказують на економічну доцільність вдосконалення релейного захисту шляхом переналаштування уставок для усунення неселективної роботи вимикачів. Впровадження запропонованого рішення не лише покращить технічні характеристики системи, але й сприятиме зменшенню експлуатаційних витрат.

ВИСНОВКИ

В ході магістерської кваліфікаційної роботи було вирішено наступні завдання:

Розробка комп'ютерної моделі електричної мережі: Використовуючи середовище ППП «Matlab», була створена комп'ютерна модель трифазної електричної мережі 220/10 кВ.

Розрахунок струмів в обладнанні під час КЗ: Проведено розрахунки струмів в електричних мережах під час металічного короткого замикання (КЗ) для випадків частково заземлених та повністю незаземлених трансформаторів. Результати розрахунків повних струмів приведені на рисунку 2.4 та 2.7.

Дослідження параметрів мікропроцесорного захисту: Проведено розрахунок уставок максимального струмувого захисту для ліній розробленої моделі в середовищі «Matlab». За результатами розрахунків параметрів МСЗ визначено, що струм спрацювання дорівнює 465 А для другої лінії, фаза В, а МСЗ, що діє на ввідний вимикач підстанції до якої приєднана досліджувана ЛЕП 10 кВ, дорівнює 1251 А. Для розглянутих прикладів спрацювання МСЗ лінії відбувається селективно. Спочатку відключиться фідерний вимикач, а потім ввідний вимикач. Мають місце випадки неселективної роботи захисту у випадку перевищення струму уставки на ввідному вимикачі раніше, ніж на фідерному та вимкнення справних ліній ввідним вимикачем. Для зменшення помилкових відключень ЛЕП 10 кВ, необхідно так збільшити час спрацювання МСЗ, що діє на ввідний вимикач на підстанціях на стороні 10 кВ, щоб ввідний вимикач спрацьовував пізніше, ніж будь-який з фідерних вимикачів досліджуваної підстанції.

Дослідження заходів з охорони праці та безпеки: Робота включає аналіз та оцінку заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Дотримання всіх вимог та виконання усіх рішень по охороні праці повністю забезпечить безпеку особи, що проводить дослідження. У остайньому підрозділі

було виконано дослідження стійкості системи релейного захисту під час іонізуючих випромінюваннях та під дією електромагнітних імпульсів, за результатами розрахунків система під дією ЕМІ не стійка і необхідно виконати екранування товщиною не менше 0,018 см. Розроблено ряд заходів для підвищення стійкості системи в умовах надзвичайних ситуацій.

Визначення техніко–економічних показників заміни захисту: Проведено розрахунок заміни пошкодженого захисту ліній на мікропроцесорний. Термін окупності заміни пошкодженого захисту внаслідок аварії на повністю нове складає рік, в той час як втрати від недовідпуску електричної енергії дорівнює 120 тис.грн, а загальна вартість нового обладнання, враховуючи витрати на монтаж та на налаштування складають – 155 тисяч гривень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посібник / В.П. Кідиба. – Львів: Видавництво "Львівської політехніки", 2015. – 504 с.
2. Методи і засоби захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільній мережі зі складною топологією напругою 6–35 кВ [Текст] : монографія / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 154 с. — ISBN 978–966–641–561–8.
3. Рубаненко, О. Є. Релейний захист та автоматика електричних станцій : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Рубаненко О. Є., Рубаненко О. О., Гунько І. О. □ Вінниця : ВНТУ, 2023. 123 с. статті
4. Пат. 73067 UA, МПК H02H 3/24. Пристрій захисту електричної розподільної мережі з ізольованою або компенсованою нейтраллю від обриву проводу в фазі [Текст] / М. В. Кутіна (Україна). – № u201202350 ; заявл. 28.02.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17. – 8 с.
5. Пат. 154159 UA, МПК G02J 3/24. Спосіб оптимального керування режимами розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням [Текст] / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, О. О. Рубаненко, І. О. Гунько. – № а 2022 04464 ; заявл. 28.11.2022 ; опубл. 18.10.2023, Бюл. № 42. – 12 с.
6. Яндульський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронне видання]: навч. посіб. / О.С. Яндульський, О.О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндульського. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с.
7. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього ступеня магістра галузі знань 14 «Електрична інженерія» / уклад.: С. В. Дембіцька, І. М. Кобилянська, О. В. Кобилянський. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 52 с.
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок: НПАОП 40.1–1.01–97:

Затв. 06.10.1997 № 257/ Держ. Комітет України по нагляду за охороною праці. – Х.: Вид-во «Форт», 2008. – 144 с.

9. Бондаренко Є. А. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник, / Є. А. Бондаренко, В. М. Кутін, П. Д. Лежнюк. Вінниця, ВНТУ, 2018. – 46 с.

10. Кутін В. М. Пристрій захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором / В. М. Кутін, В. І. Голінько, О. О. Шпачук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2016. - № 2. - С. 133-138. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2016_2_25.

11. Пограничний Б. П., Рубаненко О.Є. «Дослідження струмів в розподільних електричних мережах 10 кВ під час подвійних замкнень на землю» в Матеріали LI Науково–технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021), Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022>]

12. Пограничний Б. П., Рубаненко О.Є. «Захист повітряних ліній електропередач 10–220 кВ від замикань» в Матеріали LIII Науково–технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2024), Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022>

13. Пограничний Б. П., Рубаненко О.Є., Гасич В. «Аналіз конструктивних особливостей та пошкоджуваності високовольтних розрядників» в Матеріали LI Науково–технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021), Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022>

14. ДСТУ 8604:2015. Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. [Чинний від 2017–07–01]. Вид.

офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ». URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71028.

15. ДБН В.2.5–67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014–01–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України. 2013. 140 с. URL: [http://deos-release.com/image/catalog/img/pdf/DBN%20V.2.5–67%202013.pdf](http://deos-release.com/image/catalog/img/pdf/DBN%20V.2.5-67%202013.pdf).

16. 2. ДСТУ–Н Б А 3.2–1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007–12–01]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України. 2007. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=40230.

17. Тептя В. В. Електромеханічні перехідні процеси в електроенергетичних системах: електронний конспект лекцій комбінованого (локального та мережного) використання / В. В. Тептя, В. В. Кулик. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 183 с.

18. Методи і засоби захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільній мережі зі складною топологією напругою 6–35 кВ [Текст] : монографія / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 154 с. – ISBN 978–966–641–561–8.

19. «РЗА СИСТЕМЗ». Пристрої релейного та автоматики. URL: https://rzasystems.com/wp-content/uploads/2023/11/Katalog_RZA_2024.pdf

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ
ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Захист повітряних ліній електропередач 10–220 кВ від замикань

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота

(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станцій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність _____ Схожість _____

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____

(підпис)

Вишневський С.Я.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____

(підпис)

Пограничний Б.П.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Рубаненко О.Є.

(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б
Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор
_____ В. О. Комар
(підпис)
«__» _____ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
на тему: ЗАХИСТ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 10–220 КВ
ВІД ЗАМИКАНЬ
08–21.МКР.013.00.004 ТЗ

Керівник: _____
наук. ступінь, учене звання, посада

_____ (підпис) _____ (прізвище, ініціали)

Студент групи 1ЕСМ–22м
(назва групи)

_____ (підпис) Пограничний Б.П.
(прізвище, ініціали)

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) Актуальність проведення даного дослідження визначається в контексті сучасних викликів, пов'язаних з передачею електроенергії через повітряні лінії електропередач. Повітряні лінії піддаються різноманітним негативним впливам навколишнього середовища, що може призводити до аварій та пошкоджень ліній електропередач. Враховуючи сталість цієї проблеми, питання вдосконалення релейних захистів ліній електропередач 10–220 кВ є актуальним.

б) наказ ректора ВНТУ № 247 від «18» вересня 2023 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) Метою магістерської кваліфікаційної роботи є вдосконалення релейних захистів ліній електричних мереж 10–220 кВ;

б) призначення розробки – для підтвердження рівня кваліфікації автора магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Кутін В. М. Пристрій захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором / В. М. Кутін, В. І. Голінько, О. О. Шпачук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2016. - № 2. - С. 133-138. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2016_2_25.

2. Пат. 73067 UA, МПК H02H 3/24. Пристрій захисту електричної розподільної мережі з ізолюваною або компенсованою нейтраллю від обриву проводу в фазі [Текст] / М. В. Кутіна (Україна). – № u201202350 ; заявл. 28.02.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17. – 8 с.

3. Методи і засоби захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільній мережі зі складною топологією напругою 6–35 кВ [Текст] : монографія / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 154 с. — ISBN 978–966–641–561–8.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Передбачається мікропроцесорний релейний захист ліній електропередач 10, 110, 220 кВ.

– технічне завдання: дослідити та порахувати уставки релейних захистів (уставки максимального струмового захисту лінії 10, 110, 220 кВ).

– елементна база: релейний захист лінії 10 кВ типу REF 615 (МРЗС – 05Л, РС – 83)

– конструктивне виконання: в металевих корпусах.

– живлення об'єкта: від мережі оперативної напруги 220 В.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко–економічні показники пов'язаних із заміною застарілого релейного захисту новим мікропроцесорним захистом.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	2	3	4	5
1	Формування та затвердження теми МКР. Розроблення технічного завдання	01.09.2023	06.09.2023	формування технічного завдання
2	Вступ. Огляд літературних джерел	07.09.2023	12.09.2023	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень
3	Виконання аналітичної частини МКР (розділ 1 МКР)	13.09.2023	05.10.2023	розділ 1 ПЗ
4	Виконання теоретичної частини МКР (розділ 2 МКР)	06.10.2023	20.10.2023	розділ 2
5	Виконання практичної частини МКР (розділ 3 МКР)	21.10.2023	01.11.2023	розділ 3
6	Виконання розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях (розділ 4 МКР)	02.11.2023	08.11.2023	розділ 4
7	Виконання економічної частини (розділ 5 МКР)	09.11.2023	15.11.2023	розділ 5
8	Формування висновків по роботі	16.11.2023	18.11.2023	висновки МКР
9	Оформлення пояснювальної записки	19.11.2023	26.11.2023	пояснювальна записка
10	Виконання графічної частини та оформлення презентації	27.11.2023	04.12.2023	плакати, презентація
11	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	05.12.2023	10.12.2023	Результат перевірки на плагіат, відгук керівника
12	Опонування МКР	11.12.2023	19.12.2023	Відгук опонента
	Захист МКР	ІІІ декада грудня		Доповідь та відповіді на запитання

7. Очікувані результати

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи очікується, що впровадження сучасних мікропроцесорних захистів підвищить якості експлуатації ліній електропередач.

8. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР (паперовий екземпляр), ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук опонента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, протокол перевірки МКР на наявність текстових запозичень.

9. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником та завідувачем кафедри ЕСС згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

10. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ–03.02.02–П.001.01:2, 2021 р.

11. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

ДОДАТОК В

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ЗАХИСТ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 10–220 КВ ВІД
ЗАМИКАНЬ

Студент	_____	<u>Б. П. Пограничний</u>
	(підпис)	
Керівник роботи	_____	<u>О. Є. Рубаненко</u>
	(підпис)	



Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики, електротехніки та
електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАХИСТ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 10–220 КВ ВІД ЗАМИКАНЬ

Пограничний Богдан,
студент гр. 2ЕЕ-186

Керівник: к.т.н, проф
Рубаненко Олександр
Євгенійович

Титульний слайд

Актуальність

2

Практика показала, що для забезпечення нормальної роботи ПЛ та системи в цілому необхідні засоби релейного захисту (РЗ) та автоматики. Коротке замикання на лініях може призводити до негативних наслідків, включаючи збільшення струмів та нагрів провідників. Релейний захист забезпечує автоматичне відключення у випадку аварій. Однак надійність кожного елемента РЗ та можливі помилки при його проектуванні можуть викликати нові проблеми у вигляді відмови роботи чи неселективної роботи захисту. Отже, тема магістерської кваліфікаційної роботи «Захист повітряних ліній електропередач 10–220 кВ від замикань» **є актуальною.**



Слайд 2

Мета і завдання роботи

3

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є вдосконалення релейних захистів ліній електропередач 10–220 кВ.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **завдання**:

1. розробити комп'ютерну модель трифазної електричної мережі 220/10 кВ в середовищі ППП «Matlab»;
2. розрахувати струми в обладнанні електричних мереж під час металічного КЗ у випадку частково заземлених та повністю незаземлених трансформаторів;
3. дослідити параметри мікропроцесорного захисту ліній електропередачі;
4. дослідити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;
5. визначити техніко-економічні показники заміни електромеханічного захисту ліній 10 кВ та 220 кВ на новий мікропроцесорний.

Слайд 3

Об'єкт, предмет дослідження, новизна

4

Об'єкт дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є процес зміни струмів ліній електропередач 10–220 кВ під час коротких замкнень, який викликає помилкові спрацювання релейного захисту.

Предмет дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є уставки спрацювання релейного захисту ліній 10–220 кВ.

Новизна одержаних результатів полягає у результатах досліджень причин помилкових відключень ЛЕП 10 кВ під час замкнень. Інноваційність полягає в тому що для покращення властивостей релейного захисту було створено комп'ютерні моделі і обґрунтовано вдосконалення релейних захистів шляхом заміни електромеханічних на мікропроцесорні. Відмінність отриманих результатів полягає в визначенні струмів у ввідному вимикачеві під час замкнень, які спричиняють неселективну роботу ввідного вимикача.



Слайд 4

Види захистів ЛЕП 10-35 кВ

5



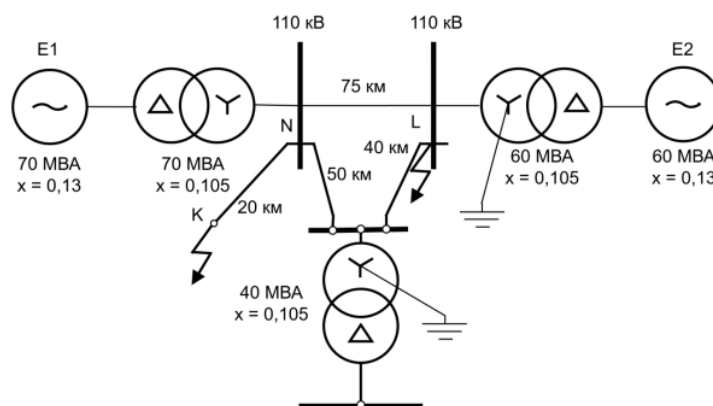
Слайд 5

Фрагмент схеми 110 кВ

6

У роботі було проведено розрахунок повних струмів при металічному замиканні на землю у двох варіантах: з частково заземленими нейтраллями трансформаторів та повністю незаземленими нейтраллями усіх трансформаторів.

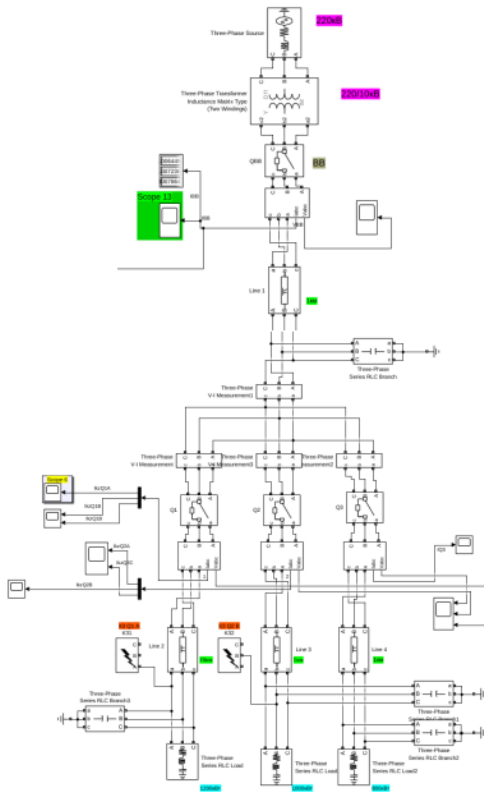
Схема складалась з трьох трансформаторів, двох джерел живлення, трьох шин. КЗ було у двох точках К та L.



СлаСлайд 6

Схема моделі трифазної мережі 220/10 кВ в «Matlab Simulink»

7

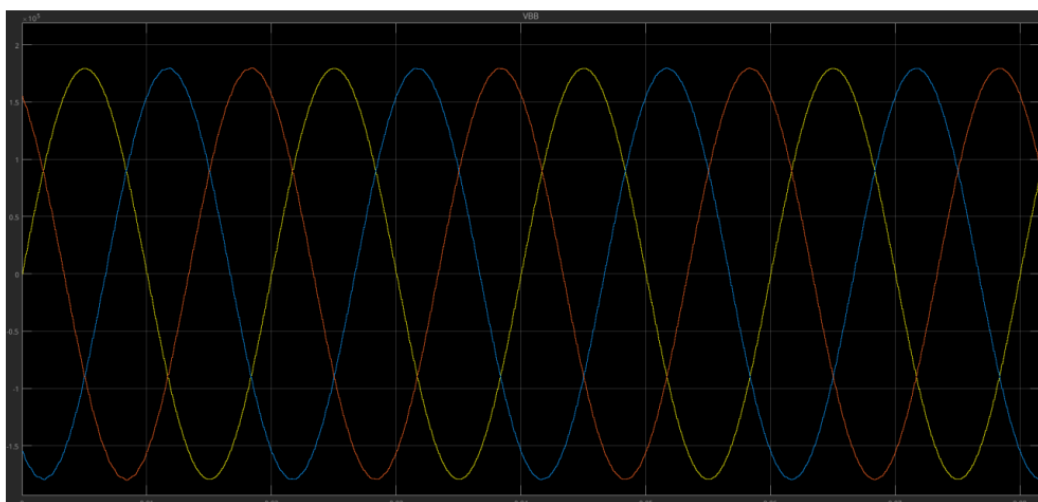


До шини 10 кВ приєднано три лінії, на яких встановлено вимикачі. Навантаження ліній 1200, 1000, 800 кВт. Відбувається симуляція однофазних коротких замикань на лініях з першим (лінія 1) та другим вимикачем (лінія 2). Під час симуляції КЗ в заданий час відбувається перехідний процес, модель дозволяє аналізувати параметри цього процесу. За допомогою моделей вимірювальних приладів та елементу "Scope" можемо досліджувати графік струму та напруги в потрібний момент часу в досліджуваному вузлу схеми.

Слайд 7

Осцилограма напруги на стороні 220 кВ

8

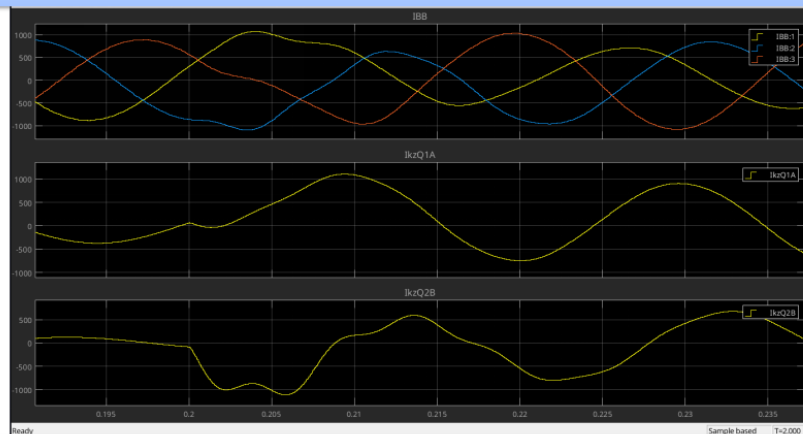


Слайд 8

Результати моделювання

9

На рисунку нижче зображено осцилограми струмів ввідного вимикача та двох ліній на яких відбулось КЗ в момент час 0,2 с. Максимальне значення струму на фазі А – 1100 А, на фазі В – 1050 А. На ввідному вимикачі ці ж значення були рівні 1086 А і 1100 А відповідно.

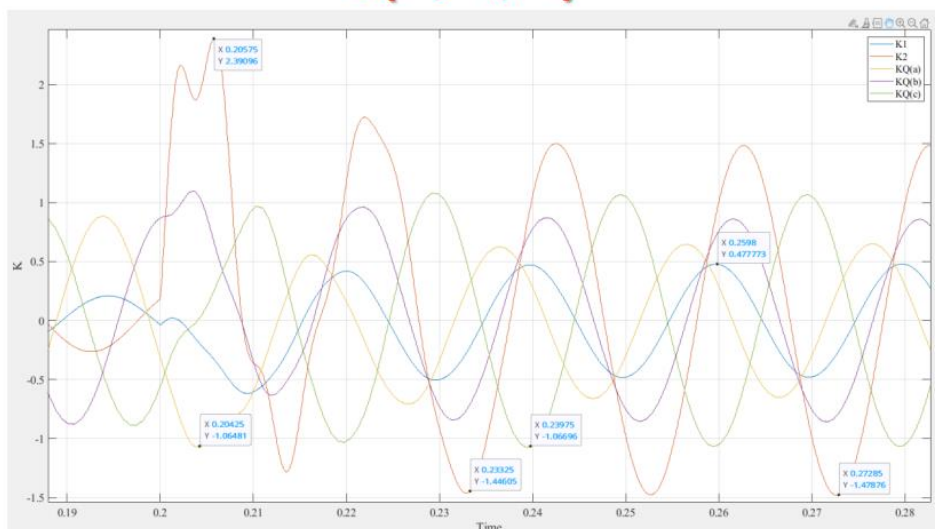


В результаті розраховані уставки дорівнюють 1,19 в.о., 0,31 в.о., 0,83 в.о в перші лінії фази А, другої лінії фази В та у ввідному вимикачі відповідно.

Слайд 9

Дослідження процесу зміни K_1 , K_2 , $K_Q(a, b, c)$

10



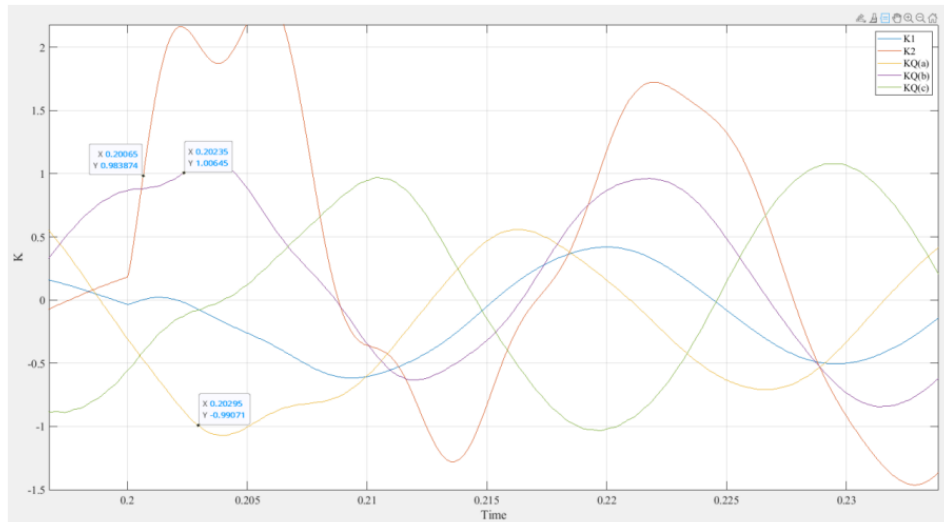
Графік коефіцієнтів K_1 , K_2 , $K_Q(a, b, c)$ в залежності від часу

$$K = \frac{I_{\text{замк}}}{I_{\text{мсз}}}$$

Слайд 10

Дослідження процесу зміни $K1$, $K2$, $KQ(a, b, c)$

11



Значення часу, при якому струм замкнення вперше перевищив значення уставки МСЗ цієї ЛЕП

Слайд 11

Результати досліджень

12

За результатами розрахунків параметрів МСЗ визначено, що струм спрацювання дорівнює 465 А, а МСЗ, що діє на ввідний вимикач підстанції до якої приєднана досліджувана ЛЕП 10 кВ, дорівнює 1251 А. За результатами аналізу коротких замкнень в ЛЕП перевищення струму в пошкодженій ЛЕП над уставкою МСЗ цієї ЛЕП відбувається раніше, ніж у ввідному вимикачі для даної конфігурації параметрів мережі та КЗ. Тому вважається, що захист спрацює селективно.

Мають місце випадки неселективної роботи захисту у випадку перевищення струму уставки на ввідному вимикачі раніше, ніж на фідерному та вимкнення справних ліній ввідним вимикачем. Для зменшення помилкових відключень ЛЕП 10 кВ, необхідно так збільшити час спрацювання МСЗ, що діє на ввідний вимикач на підстанціях на стороні 10 кВ, щоб ввідний вимикач спрацьовував пізніше, ніж будь-який з фідерних вимикачів досліджуваної підстанції.

Слайд 12

Економічні розрахунки

13

У роботі проведено розрахунок заміни пошкодженого внаслідок аварії обладнання захисту на повністю нове та оцінено усі витрати на весь процес.

Отримані розрахунки економічних показників, пов'язаних із заміною застарілого релейного захисту новим захистом, свідчать про те, що процес потребує значних капіталовкладень та має термін окупності 1 рік. Аналізуючи витрати слід відзначити, що велику частку складає купівля нової шафи захисту ЛЕП, вартість якої 120 тисяч гривень.



Слайд 13

Висновки

14

В ході магістерської кваліфікаційної роботи було вирішено наступні завдання:

1. Розробка комп'ютерної моделі електричної мережі. Використовуючи середовище ППП «Matlab», була створена комп'ютерна модель трифазної електричної мережі 220/10 кВ.
2. Розрахунок струмів в обладнанні під час КЗ: Проведено розрахунки струмів в електричних мережах під час металічного короткого замикання (КЗ) для випадків частково заземлених та повністю незаземлених трансформаторів.
3. Дослідження параметрів мікропроцесорного захисту: Проведено розрахунок уставок максимального струмувого захисту для ліній розробленої моделі в середовищі «Matlab».
4. Дослідження заходів з охорони праці та безпеки: Робота включає аналіз та оцінку заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Дотримання всіх вимог та виконання усіх рішень по охороні праці повністю забезпечить безпеку особи, що проводить дослідження.
5. Визначення техніко-економічних показників заміни захисту: Проведено розрахунок заміни пошкодженого захисту ліній на мікропроцесорний. Термін окупності заміни пошкодженого захисту внаслідок аварії на повністю нове складає рік, в той час як втрати від недовідпуску електричної енергії рівні 120 тис.грн, а загальна вартість нового обладнання, враховуючи усі необхідні роботи, рівна 155 тисяч гривень.

Слайд 14

Апробація результатів та публікації

15

Основні наукові результати опубліковані у тезах доповідей:

– Рубаненко О.Є., Пограничний Б.П., Гасич В.В., Дослідження струмів в розподільних електричних мережах 10 кВ під час подвійних замкнень на землю: тези наук. – тех. конф. Вінниця 2022 р. С. 1629 – 1630.

– Рубаненко О.Є., Пограничний Б.П., Захист повітряних ліній електропередач 10–220 кВ від замикань: тези наук. – тех. конф. Вінниця 2023 р.

Слайд 15

**Дякую за увагу.
Доповідь закінчена.**

ДОДАТОК Г

Схема комп'ютерної мережі 220/10 кВ в ППП «Matlab Simulink»

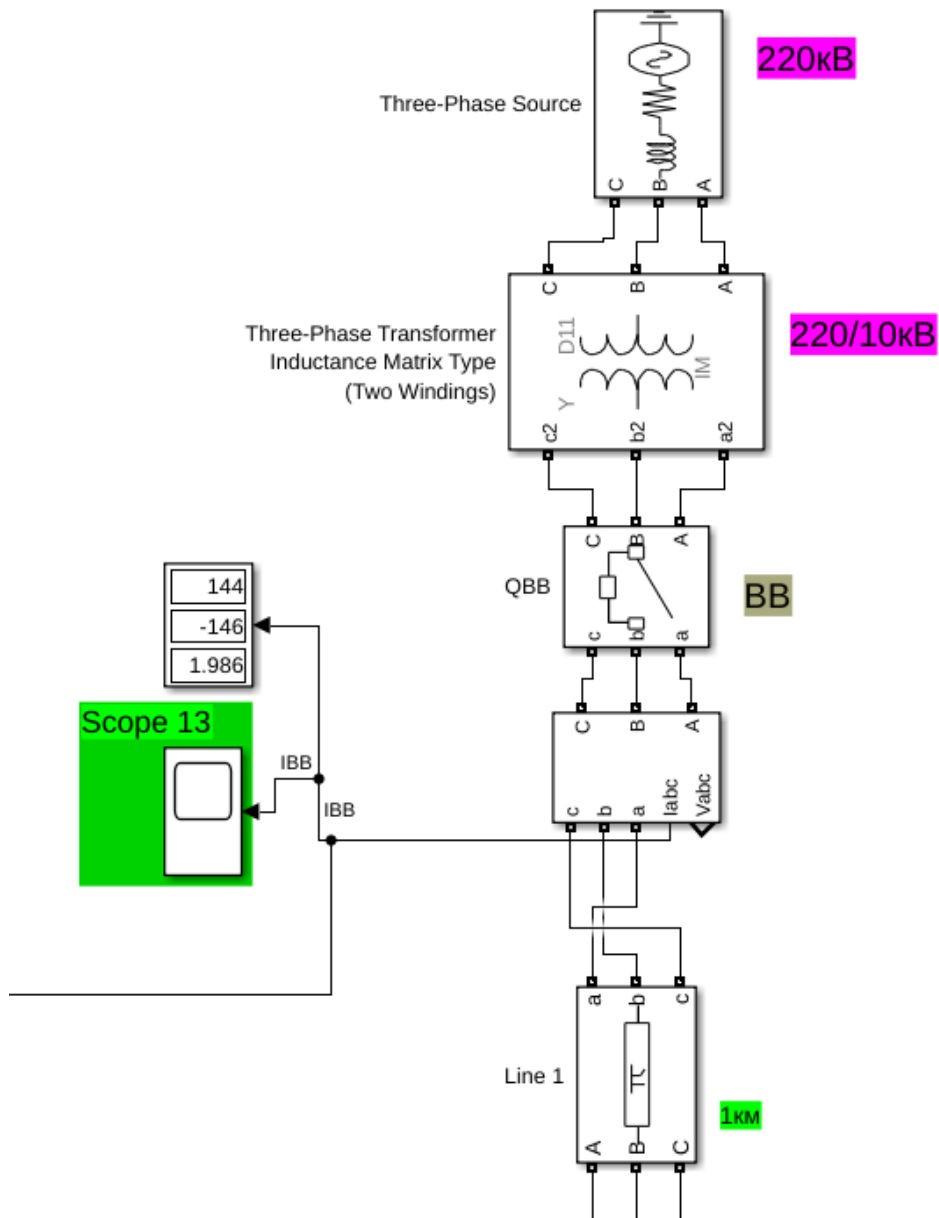


Рисунок Г.1 – Схема моделі в «Matlab» (а)

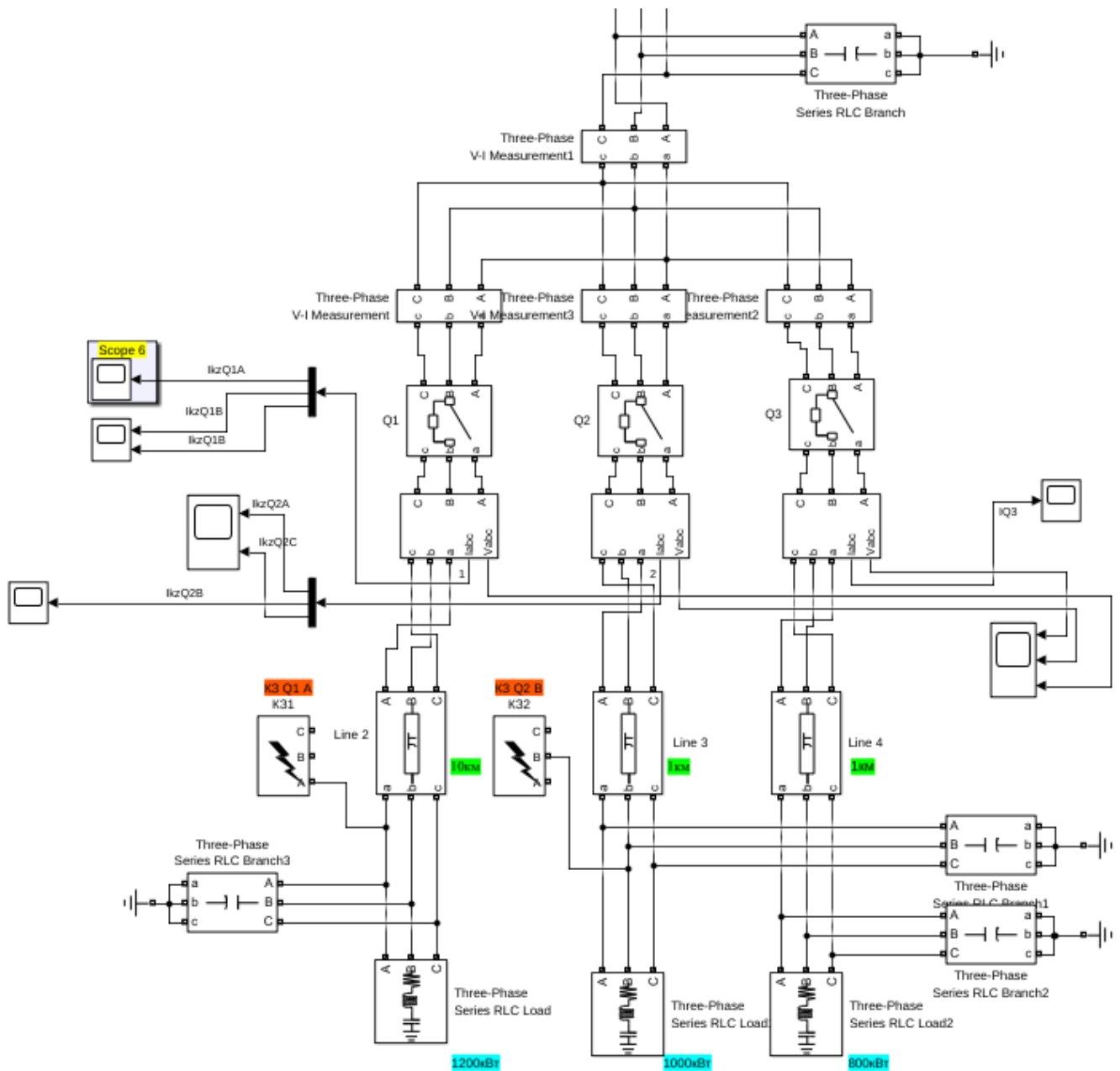


Рисунок Г.1 – Схема моделі в «Matlab» (б)

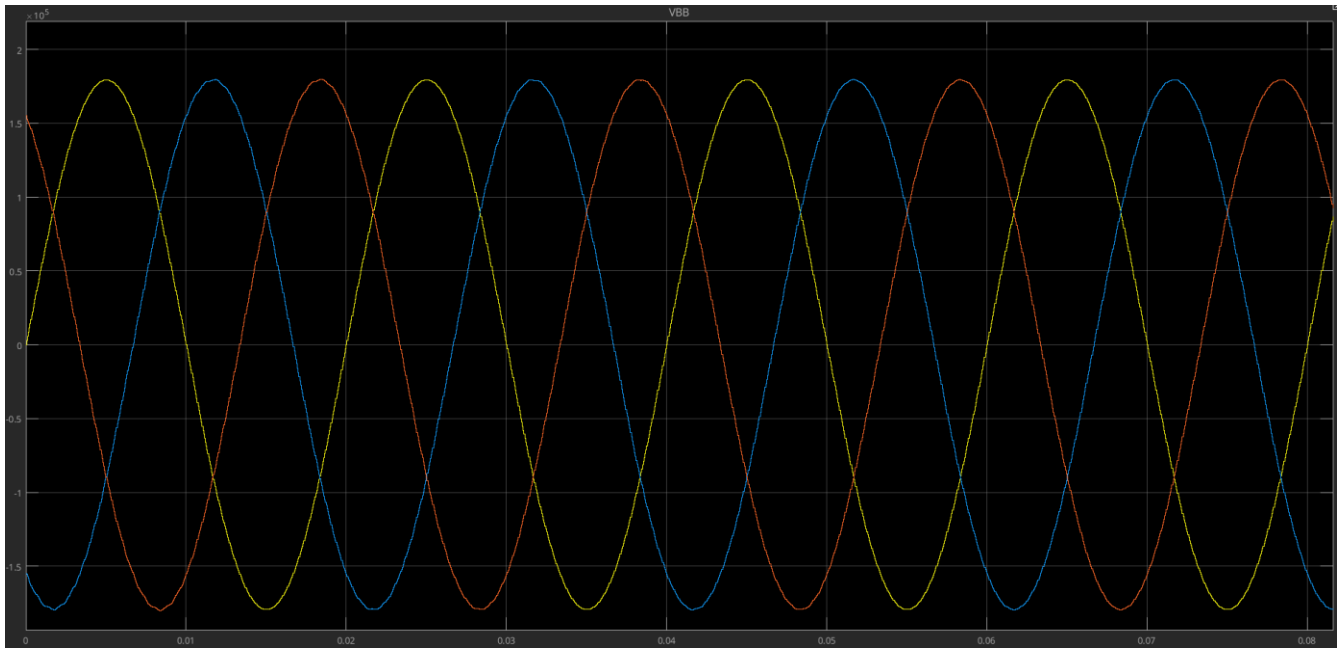


Рисунок Г.2 – Осцилограма напруги на стороні 220 кВ