

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри

В.П. Квасніков
“ _____ ” _____ 2023 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

Тема: «Перехідні процеси при коротких замиканнях в високовольтних лініях електропередач»

Виконавець:

(підпис)

Радуга М.С.

(П.І.Б.)

Керівник:

(підпис)

д.т.н., проф., Квасніков В.П.

(П.І.Б.)

Нормоконтролер:

(підпис)

к.т.н., доц., Катаєва М.О.

(П.І.Б.)

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра: комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Освітній ступень: «Магістр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Квасніков

«_____» _____ 2023 р

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту

Радуги Максима Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи: «Перехідні процеси при коротких замиканнях в високовольтних лініях електропередач»

затверджена наказом ректора від «_____» _____ № _____

2. Термін виконання роботи: з 20.12.2022 р. по 28.02.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Принцип захисту від різного типу коротких замикань у високовольтних ЛЕП; математична модель електричної мережі, що захищається, і пристрої захисту, що дозволяє одержати основні залежності для непрямого виміру значень зосередженого струму у зоні дії захисту; схемні рішення і параметри елементів пристрою захисту;

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1. Стан питання. Мета та задачі дослідження. Розділ 2. Обґрунтування методики дослідження. Розділ 3.

Дослідження перехідних процесів при короткому замиканні в високовольтній лінії електропередачі. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: схема розміщення складових пристроїв релейного захисту; схема способу релейного захисту лінії електропередачі з відгалуженням; схема функції розрахункової реактивності.

Керівник дипломної роботи (проекту) _____ Квасніков В.П.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Радуга М.С.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Ознайомлення з проектною документацією	21.12.22-25.12.22	Виконано
2	Постановка задачі	26.12.22-31.12.22	Виконано
3	Розділ 1. Стан питання. Мета та задачі дослідження	02.01.23-10.01.23	Виконано
4	Розділ 2. Обґрунтування методики дослідження	11.01.23-23.01.23	Виконано
5	Розділ 3. Дослідження перехідних процесів при короткому замиканні в високовольтній лінії електропередачі	24.01.23-31.01.23	Виконано
7	Оформлення вступу, реферату, висновків, переліку посилань	08.02.23-11.02.23	Виконано
8	Виконання ілюстративного матеріалу та написання доповіді	12.02.23-15.02.23	Виконано
9	Усунення недоліків та закінчення оформлення пояснювальної записки	16.02.23-19.02.23	Виконано

7. Дата видачі завдання: 20. 12. 2022 р

Керівник _____ Квасніков В.П.

(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Радута.М.С.

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка «Перехідні процеси при коротких замиканнях в високовольтних лініях електропередач» включає: 48 сторінок, 29 рисунків, 1 таблиця, 7 Використаних джерел.

Об'єктом досліджень: виступають високовольтні лінії електропередач та спрямований релейний захист.

Предметом дослідження: є перехідні процеси та їх зміни після використання релейного захисту на високовольтній лінії електропередачі.

Метою роботи: є підвищення ефективності експлуатації електричних мереж за рахунок релейного захисту від струмів КЗ.

Методи дослідження: аналітичні методи багатокритеріального аналізу для обґрунтування раціонального принципу побудови захисту; теорія електричних кіл для побудови математичної моделі електричної мережі, а також при обґрунтуванні параметрів елементів схем.

Проектування здійснювалось на основі удосконалені математичної моделі високовольтної ЛЕП що дозволяє визначати величини струму у електричній мережі, що відрізняється урахуванням динамічних властивостей мережі та розширенням спектра частот контрольованих величин.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1. Особливості перехідних процесів у високовольтних ЛЕП	11
1.2. Відомі способи релейного захисту ЛЕП	15
1.3. Мета та задачі дослідження	17
1.4. Висновок по розділу 1	18
2. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	19
2.1. Способи дослідження перехідних процесів	19
2.2. Класичний метод аналізу перехідних процесів	24
2.3. Закони комутації	30
2.4. Складання комп'ютерної моделі	32
2.5. Висновок до розділу 2	33
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ В ВИСОКОВОЛЬТНІЙ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ	34
3.1. Проектування об'єкту	34
3.2. План експерименту	37
3.3. Виконання експерименту	37
3.4. Висновок до розділу 3	46
ВИСНОВКИ	47
СПИСКИ БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КЗ – коротке замикання

ПРЗ – пристрій релейного захисту

ЛЕП – лінія електропередачі

ЕРС – електрорушійна сила

ОЗЗ – однофазне замикання на землю

РЗА – релейний захист та автоматика

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ВСТУП

Характерними тенденціями розвитку електроенергетики є розширення та інтеграція енергосистем, збільшення одиничної потужності енергоблоків, зростання протяжності повітряних ліній та потужності, що ними передається, а також ускладнення схем первинних приєднань. Зі зростанням вимог до надійності та якості електропостачання ці тенденції призводять до підвищення вимог до пристроїв релейного захисту, в тому числі до їх надійності.

Надійність - складна, одна з основних характеристик пристроїв релейного захисту, що характеризується поєднанням таких властивостей, як відмовостійкість і ремонтпридатність. Визначається як властивість об'єкта зберігати в часі в заданих межах значення всіх параметрів, що характеризують його здатність виконувати необхідні функції при заданих режимах і умовах експлуатації, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

Слід мати на увазі, що короткі замикання в електроустановках трапляються відносно рідко і мають невелику тривалість. Це призводить до того, що переважна більшість несправностей в захисних пристроях з реле виникають в режимі очікування КЗ і за винятком дефектів, що призводять до відмов, не проявляються в роботі захисту до моменту виникнення короткого замикання. Тому слід розрізняти апаратну відмову, тобто втрату здатності пристрою виконувати певну функцію, і функціональну відмову, тобто нездатність виконувати певну функцію. Загалом, час цих подій не збігається.

Тому надійність системи релейного захисту істотно залежить від її ремонтпридатності і може бути підвищена не тільки за рахунок підвищення надійності системи релейного захисту, але і за рахунок своєчасного виявлення та усунення несправностей, що виникають.

За останні роки технологія релейного захисту зазнала значних змін завдяки використанню статичних напівпровідникових пристроїв релейного захисту на основі інтегральних мікросхем. Перехід на нову елементну базу зажадав розробки нових технічних рішень, спрямованих на підвищення надійності запірних пристроїв, і створив для цього необхідні можливості.

Розробці селективного захисту від коротких замикань в мережах 6-10 кВ з ізольованою нейтраллю присвячені роботи вчених (В.Ф. Сивокобиленко, Л.Є. Дударєв, І.М. Сирота, А.І. Шалін, В.А. Жильберман, Г.А. Євдокулін, А.В. Вони зробили значний внесок як у створення захисних пристроїв, так і в розробку теоретичних основ їх проектування.

Актуальність теми

Релейний захист і пристрої автоматики є частиною електрообладнання, без якого неможливо забезпечити електропостачання споживачів. Більш ніж столітня експлуатація пристроїв релейного захисту визначила вимоги до їх основних властивостей: швидкодія, селективність, чутливість, надійність, дешевизна обладнання та економічність експлуатації, а також сумісність з пристроями автоматики. Процеси діагностики та тестування пристроїв релейного захисту відповідають за підтримання правильного функціонування всіх компонентів захисту, що забезпечують усі вищезазначені властивості.

У технічній літературі описано велику кількість конструкцій для тестування та налаштування окремих параметрів релейного захисту для часткових завдань.

Більш перспективним є використання комплексних випробувальних пристроїв у вигляді столу, що пересувається повз релейний щит, або у вигляді переносного шафи, що включає навантажувальні трансформатори, потенціометри, фазові контролери з контрольними перемикачами і лічильники. З переходом на мікропроцесорні пристрої релейного захисту випробувальне обладнання стало більш складним, але й більш портативним.

Основне обладнання підстанцій 330-750 кВ забезпечує передачу електроенергії на великі відстані та її перетворення на нижчі напруги: це головні та магістральні лінії електропередачі, шунтуючі реактори, високовольтні вимикачі, збірні шини та трансформатори шин, автотрансформатори для зв'язку.

Первинне обладнання цього класу напруги характеризується використанням двох комплектів основних захистів, застосуванням фазних вимикачів для забезпечення аварійного відключення і подальшого повторного включення тільки однієї пошкодженої фази лінії електропередачі, різними компоновками (два вимикачі на фідер, півтора, "американська" компоновка), необхідністю наявності системи протипожежного захисту тощо.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Основне дослідження кваліфікаційної бакалаврської роботи відповідає науковому напрямку кафедри автоматизації, електротехніки та комп'ютерно-інтегрованих технологій..

Мета та задачі досліджень

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є дослідження перехідних процесів при коротких замиканнях у високовольтних лініях електропередачі, підвищення ефективності роботи електричної мережі за рахунок релейного захисту від струмів короткого замикання.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- обґрунтування принципу дії захисту від різних видів коротких замикань у високовольтних лініях електропередачі.
- розробка математичної моделі електричної мережі, що захищається, і пристрою захисту, що дозволяє отримати основні залежності для непрямого вимірювання зосередженого струму в зоні захисту.
- обґрунтування схемних рішень і параметрів елементів пристрою захисту.
- обґрунтування методів непрямого вимірювання значень струму та їх аналізу

Методи досліджень:

аналітичні методи багатокритеріального аналізу для обґрунтування раціонального принципу побудови захисту;

теорія електричних кіл для побудови математичної моделі електричної мережі, а також при обґрунтуванні параметрів елементів схеми;

Об'єкт досліджень – високовольтна електрична мережа та засоби захисту.

Предмет досліджень – перехідні процеси у високовольтних лініях електропередач.

Ідея роботи

Він полягає у виявленні процесу короткого замикання в мережах шляхом вимірювання струмів і напруг на початку і в кінці ділянки, що захищається, та корекції динамічних збурень, що вносяться мережею і первинними перетворювачами.

Необхідною умовою розробки ефективного релейного захисту є чітке уявлення про його функціонування в умовах широкого діапазону змін параметрів мережі живлення, навантаження і можливих пошкоджень об'єкта, що захищається. Отримання такого розуміння забезпечується абстрактним представленням процесів, що відбуваються в реальному об'єкті, у вигляді адекватної та наочної математичної моделі. Тому вважається доцільним розробляти відповідні комп'ютерні моделі, які забезпечують можливість аналізу процесів як в об'єкті, що захищається, так і в пристроях релейного захисту.

Наукова новизна отриманих результатів

Удосконалено математичну модель для високовольтних ліній електропередач для визначення струму в електричній мережі, яка враховує динамічні властивості мережі та розширює частотний діапазон контрольованих величин.

Практичне значення роботи

Спосіб захисту від коротких замикань, що забезпечує поздовжню селективність, який полягає в контролі струму та напруги нульової послідовності на початку та в кінці ділянки, що захищається, та формуванні миттєвих значень зосередженого струму короткого замикання на ділянці, що захищається, на основі отриманих аналітичних залежностей.

Особистий внесок здобувача.

Завданнями роботи є формулювання вимог до релейного захисту від КЗ. Розробка методики генерації та оцінки миттєвих значень струмів короткого замикання в полі захисту за допомогою мікропроцесорного пристрою. Робота полягає у визначенні мети та завдань дослідження, розробці математичної моделі, обґрунтуванні способу захисту.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

1.1 Особливості перехідних процесів у високовольтних ЛЕП.

Повітряна лінія електропередачі або повітряна лінія електропередавання — це лінія для передачі електроенергії по кабелях, підвішеним у повітрі на опорах за допомогою ізоляторів і спеціальної арматури. Це одна з основних ланок енергетичних систем, призначених для передачі та розподілу електроенергії напругою понад 1 кВ без зміни параметрів.

Повітряні лінії електропередач також використовують високочастотні сигнали для передачі інформації. Вони використовуються для управління польотами, передачі телеметричних даних, сигналів релейного захисту та аварійної автоматизації.

ПЛ складається з таких основних компонентів:

1. Кабелі різної конструкції та перерізу, що несуть струм.
2. Громозахисні троси для захисту лінії від грозових розрядів.
3. Різні типи опор - для підвіски кабелів і блискавкозахистів.
4. Ізолятор контуру або ізолятор для відділення проводу від заземленої частини опори.
5. Лінійна арматура, яка утримує дроти та кабелі до ізоляторів та підтримує та з'єднує дроти та кабелі.
6. Заземлюючий пристрій і блискавковідвід для забезпечення відводу струму блискавки в землю.

Для блискавкозахисту над повітряними лініями напругою 110 кВ і вище підвішують сталеві або сталеві заземлювачі та алюмінієві дроти. Поряд з цими кабелями або вбудованими в них можна розміщувати волоконно-оптичні лінії зв'язку.

Опори повітряних ліній електропередачі виготовляють дерев'яними, залізобетонними або металевими. Опори можна кріпити безпосередньо до землі або до фундаменту.

Залежно від призначення і способу кріплення ізолятора до опори розрізняють підвісні для ЛЕП напругою 35 кВ і вище і штирьові для ЛЕП до 35 кВ. Конструкція підвісного ізолятора дозволяє виготовити з кожного ізолятора гірлянди необхідної довжини в залежності від напруги мережі. Штирьові ізолятори розроблені для однієї напруги на лінії, тому різні типи штирьових ізоляторів працюватимуть з різними лініями напруги.

Лінійні арматури включають метал, який використовується для кріплення проводів і кабелів до ізоляторних ниток, кріплення ниток до опор, з'єднання проводів з проводами та підтримки постійної відстані один від одного під час поділу фаз. За призначенням ребра жорсткості поділяються на натяжні та опорні хомути, кріплення, з'єднувальні деталі, розпірки, захисні та рогові кільця, амортизатори.

ПЛ поділяється на ПЛ на напругу до 1000 В - низької напруги і вище 1000 В (3, 6, 10, 35 кВ і т. д.) - ПЛ високої напруги.

Повітряні лінії електропередачі напругою до 1 кВ (низької напруги) зазвичай мають довжину від 1 до 2 км і призначені для передачі та розподілу електроенергії до житлових під'їздів на короткі відстані в межах міст, селищ і сіл. Компанія. У містах перевагу надають провідним лініям електропередач.

Лінії електропередачі напругою від 2 до 110 кВ (середня напруга) використовуються для транспортування електроенергії від підстанцій до житлових і комерційних районів на відстані від 10 до 20 км.

Між електростанцією і великою місцевою підстанцією прокладають лінії електропередачі напругою 110...330 кВ (висока напруга), іноді 500 кВ для електропостачання великого міста чи господарства на 600 км.

Лінії надвисокої напруги 500 кВ використовуються для передачі до 1 млн. кВт і служать для надійного з'єднання різних енергосистем на відстані до 1200 км. Лінії електропередачі 750 кВ передають потужність від 2 до 2,5 млн. кВт на відстань до 2000 км.

Перехідні процеси можуть створювати великі напруги та струми навіть у пристроях зі статичними, тобто без рухомих частин, елементами, що генерують поле. Наприклад, раптове коротке замикання у вторинній обмотці трансформатора може викликати короточасний перехідний струм, що в 30-35 разів перевищує номінальне значення. Великі струми також виникають, коли конденсатор підключений до мережі без струмообмежувального резистора, включеного послідовно з ним. Звідси ми можемо сформулювати:

Перший закон комутації в електричних колах: сила струму в ланцюзі, що містить індуктивні елементи, не змінюється одним стрибком. Це означає, що струм котушки індуктивності до ввімкнення такий самий, як і значення струму після ввімкнення.

Другий закон заміщення в електричних колах: Напруга на ємнісному елементі не змінюється в результаті стрибка. Це означає, що напруга на конденсаторі до включення дорівнює значенню напруги після включення. Лінеаризація часто вводиться при дослідженні перехідних процесів. Це спрощення реальних нелінійних систем і не враховує нелінійності, наявні під час вивчення перехідних процесів. Нелінійні модальні параметри вважаються постійними або замінюються лінійними залежностями.

Якщо математичний опис досліджуваного процесу враховує всі основні складові процесу в конкретній постановці задачі, то відповідне рівняння називають повним. Якщо деякі параметри елемента процесу, які не дуже важливі в цій задачі, не враховуються або не враховуються повністю з очевидними спрощеннями, дозволеними в цьому дослідженні, рівняння називається спрощеним.

Нормальні перехідні процеси. Такі процеси супроводжують поточну роботу системи. В першу чергу вони пов'язані зі змінами навантаження і реакцією на них керуючого пристрою. Ці процеси відбуваються під час нормального перемикання. Вмикання і вимикання генераторів, трансформаторів і окремих ліній електропередачі, зміна нормальної роботи комутаційних ланцюгів, вмикання і вимикання навантажень або зміна їх потужності.

Під час нормальної роботи системи завжди виникають невеликі порушення, наприклад зміни навантаження, які викликають невеликі порушення режиму. Тому відбувається безперервна і відповідна дія регулюючих пристроїв. Це означає, що система не має постійних режимів, а стійкі режими є перехідними процесами, викликаними невеликими збуреннями. При цьому передбачається, що відхилення параметрів режиму, пов'язані з порушеннями, відбуваються поблизу умовної початкової рівноваги. Відхилення має бути приблизно постійним. Невеликі збурення не повинні порушувати стабільність режиму і не допускати поступового збільшення змін параметрів режиму. Система повинна бути стабільною при невеликих збуреннях. Іншими словами, він повинен бути статично стабільним. Нормальний перехідний процес відбувається при великих збуреннях у вигляді різких і значних змін режиму системи. Їх причиною може бути зміна схеми підключення системи, наприклад, при відключенні блоку живлення або лінії електропередач. Вони виникають при великих завадах. Їх причиною може бути зміна схеми підключення системи. Це проявляється, наприклад, при відключенні агрегату або лінії електропередач, що мають велике навантаження під час звичайного ввімкнення

або вимиканні ліній з великою зарядною потужністю.

Аварійні перехідні процеси, викликані коротким замиканням з подальшим відключенням аварійної секції та можливим повторним підключенням, завжди вимагають врахування нелінійності в аналізі. Для великих збурень вводиться поняття динамічної стійкості системи. Динамічна стійкість — це здатність системи відновлюватися до початкового стану або до стану, близького до початкового (прийнятного в умовах функціонування системи) після великої відмови.

Над проблемами міграційного процесу працювали такі вітчизняні вчені, як О. А. Бабаєв, Н. І. Штефан, Н. В. Гнатейко.

Вченим подобається:

- Черемісін М. М. Перехідні процеси в енергосистемах.

- Г. Г. Півняк, В. М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен. Перехідні процеси в енергосистемах. Національна гірнича академія України. SA. Ульянов. електромагнітний перехідний процес.

- В.А. Венніков. Перехідні електромагнітні процеси в електричних системах.

1.2 Відомі способи релейного захисту ЛЕП.

Відповідно до вимог правил технічної експлуатації електроустановок електрообладнання електричної мережі, підстанцій і сама електростанція повинні бути захищені від струмів короткого замикання і порушення нормальної роботи. Як засіб захисту використовуються спеціальні пристрої, основним елементом яких є реле. Власне тому їх і називають - електрозахисні пристрої реле та автоматики. Сьогодні існує безліч пристроїв, які можуть швидко запобігти аварії на об'єкті, що живиться електричною мережею, або, в крайньому випадку, попередити персонал про порушення режиму роботи. У цій статті ми розглянемо захисне призначення реле, а також їх види і пристрої.

Розглядаючи цю тему, ми не можемо не згадати типи релейного захисту.

Категорії естафет:

- Спосіб підключення: первинний (включається безпосередньо в схему обладнання) і вторинний (підключення через трансформатор).

- Варіанти виконання: електромеханічний (система, яка переміщує контакти, розриває ланцюг) та електронний (розрив відбувається за допомогою електроніки).

- Призначення: вимірювання (вимірювання напруги, струму, температури та інших параметрів) і логічне (відправка команд з інших пристроїв, ведення часу і т.д.).

- Спосіб впливу: релейний захист прямого впливу (механічне з'єднання з роз'єднувальним пристроєм) і непрямого впливу (управління електромагнітним ланцюгом для припинення живлення).

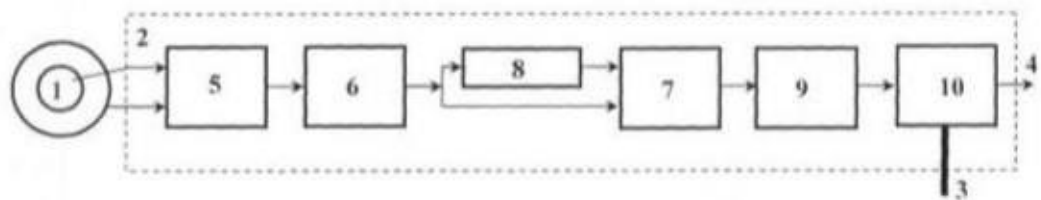


Рис 1.1 Схема розміщення складових пристрою релейного захисту

Пристрої релейного захисту трансформатора зсередини

Схема, що містить індуктивний датчик у формі плоскої вимірювальної котушки, підключеної певним чином до фазної обмотки трансформатора. Характеризується тим, що вимірювальна котушка виконана по висоті фазної обмотки трансформатора. , розміщена на зовнішній стороні обмотки або в проміжку між первинною та вторинною обмотками та з'єднана незамкнутим трикутником, кожна вимірювальна котушка складається з секції, розділеної на дві частини, з яких дві частини по суті ідентичні, а інші три частини мають кінці, які переважно становлять чверть довжини котушки і виходять з обох боків вимірювальної котушки. Її тангенціальні частини мають протилежні обмотки.

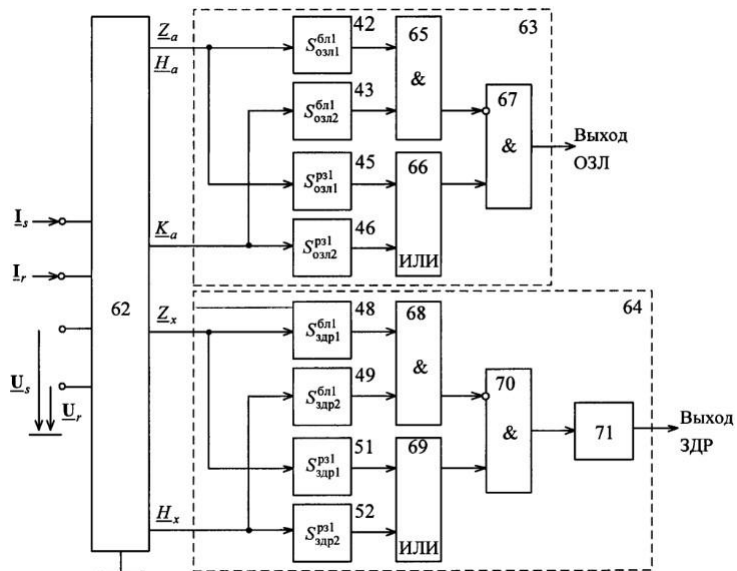


Рис. 1.2 Спосіб релейного захисту лінії електропередачі з відгалуженням

1.3 Мета та задачі дослідження.

Метою дипломної роботи є дослідження перехідних процесів при коротких замиканнях в лініях електропередачі високої напруги та розробка мікропроцесорних пристроїв спрямованого релейного захисту, які підвищують ефективність роботи електромереж шляхом захисту реле від коротких замикань. В даний час.

Для досягнення мети в роботі були вирішені наступні завдання.

- Обґрунтування принципу захисту від різних видів коротких замикань в лініях високої напруги.
- розробка математичних моделей захищених електричних мереж і захисних пристроїв. Це дозволяє отримати основну залежність непрямого вимірювання еквівалентного значення струму в зоні, що захищається.
- Обґрунтування схемних рішень і параметрів елементів захисних пристроїв.
- Демонстрація методів непрямого вимірювання величин струму та їх аналізу для формування РЗА з використанням мікропроцесорних пристроїв.

1.4 Висновок по розділу 1.

Лінії електропередач мають складні електротехнічні процеси, в яких під час експлуатації відбуваються перехідні процеси. Деякі з переходів можуть бути руйнівними.

Релейний захист служить для безперервного контролю стану всіх елементів електроенергетичної системи і реагує на виникнення пошкоджень і ненормальних режимів.

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

2.1. Способи дослідження перехідних процесів.

Поряд з режимами роботи, що встановлюються в лінійних електричних колах, існують електромагнітні перехідні процеси, що виникають у цих колах при переході від одного встановленого режиму до іншого.

Перехідні процеси в електричному ланцюзі виникають при розмиканні та замиканні ланцюга та в результаті зміни одного або кількох параметрів. Миттєва зміна стану електричного кола – зміна режиму роботи кола, яка спричинила перехідний процес, називається комутацією.

Процес міграції триває певний період часу. У стаціонарному стані елементи схеми мають постійну енергію, накопичену в електричному та магнітному полях, тому вони не є миттєвими. Тому струм і напруга в електричному ланцюзі не змінюються миттєво. Нехтуючи електричним або магнітним полем в тій чи іншій частині електричного кола, можна вважати, що струми і напруги в тій чи іншій частині змінюються миттєво. Відповідно до першого закону комутації в електричних колах сила струму в котушці індуктивності не може змінитися миттєво. Однак, нехтуючи ємністю, можна припустити, що напруга на котушці може змінюватися миттєво. Відповідно до другого закону комутації напруга на обкладинці конденсатора не змінюється миттєво. Однак, нехтуючи індуктивністю конденсатора, теоретично можливі миттєві зміни струму.

Перехідний процес лінійного електричного кола описується лінійним диференціальним рівнянням, що складається з першого та другого законів Кірхгофа, зведених до одного рівняння для будь-якого струму або напруги.

Розв'язки однорідних рівнянь без незалежних членів описують процеси в електричному колі за відсутності зовнішнього джерела енергії, тобто процеси, що відбуваються під дією енергії, запасеної в електричних і магнітних полях елементів.

У реальному електричному колі енергія розсіюється, в результаті чого запаси енергії, накопичені у відповідних елементах ланцюга, врешті-решт вичерпуються і, таким чином, через певний час усі електромагнітні процеси в колі припиняються. Враховуючи вищесказане, можна сказати, що незалежні складові струму i та напруги u , яка є загальним розв'язком однорідного диференціального рівняння, близькі до нуля.

Частковий розв'язок нерівномірного диференціального рівняння є вимушеною або стаціонарною складовою струму i та напруги u і виникає в усталеному стані, тобто після завершення перехідного процесу.

При інтегруванні диференціальних рівнянь виникають константи інтегрування, сума яких визначається порядком відповідних рівнянь. Константа інтегрування визначається початковими умовами, що характеризують стан електричного кола в певний момент часу. Кількість початкових умов дорівнює кількості констант інтегрування.

Розглянемо перехідний процес ланцюга RL (рисунок 2.1) при підключенні до джерела постійної напруги. Коли замок закритий, перехідні процеси описуються диференціальним рівнянням, сформульованим відповідно до другого закону Кірхгофа

$$R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} = U .$$

$$i''(t) = Ae^{pt} = Ae^{-\frac{R}{L}t} .$$

Тоді вільна складова струму перехідного процесу має вигляд:

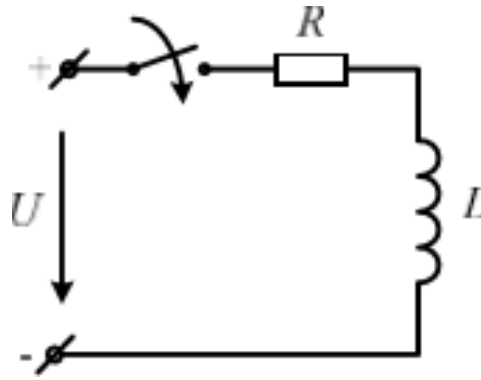


Рис. 2.1 перехідний процес в RL колі

Оскільки дане коло підключено до джерела постійної напруги, то вимушена складова струму в перехідному режимі дорівнює його усталеному значенню: U/R

$$i = \frac{U}{R}.$$

Тоді струм перехідного режиму дорівнює

$$i(t) = i'(t) + i''(t) = \frac{U}{R} + Ae^{-\frac{R}{L}t}.$$

Стала інтегрування A визначається з початкових умов. Оскільки струм в колі з індуктивністю стрибком змінитися не може, то в початковий момент часу ($t = 0$) струм в колі відсутній.

Остаточно вираз для струму перехідного процесу набуває вигляду:

$$i(t) = i'(t) + i''(t) = \frac{U}{R} - \frac{U}{R}e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right),$$

де τ стала часу електричного кола, яка дорівнює проміжку часу, по закінченню якого вільна складова струму змінюється в e раз по відношенню до свого вихідного значення.

Напруга на індуктивності перехідного процесу визначається з рівняння:

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di}{dt} = L \cdot \frac{d \left[\frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \right]}{dt} = L \cdot \frac{U}{R\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} = U e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.6)$$

На рис.2.2 Наведено часову залежність струму та напруги від індуктивності в перехідному режимі. Під час перехідного процесу сила струму в колі зростає від нуля і асимптотично наближається до усталеного значення, а напруга на індуктивності (дорівнює U при $t = 0$) зменшується і асимптотично наближається до нуля, зростаючи. Постійну часу можна визначити графічно як довжину малого тангенса, проведеного в будь-якій точці кривої, що відповідає функції індексу часу, що розглядається.

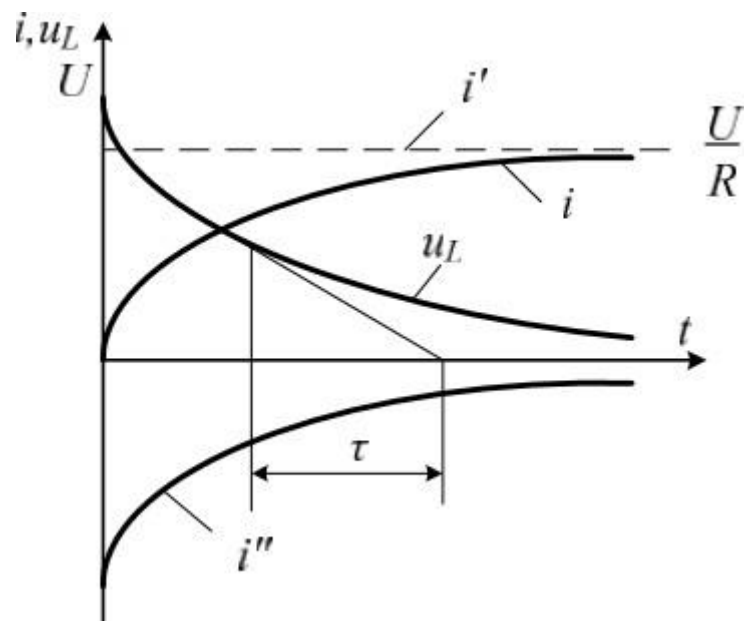


Рисунок 2.2 часові залежності струму та напруги на індуктивності в перехідному режимі

Якщо RL коло, підключене до джерела постійної напруги, замкнуте накоротко, то в колі виникне перехідний процес, обумовлений запасом енергії в магнітному полі котушки індуктивності L . Він буде характеризуватись

тільки вільною складовою струму, вимушена складова відсутня ($i = 0$) . В цьому випадку рівняння перехідного процесу має вигляд:

$$i(t) = i''(t) = Ae^{-\frac{R}{L}t} = Ae^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Сталу інтегрування визначають з умови, що до короткого замикання струм в колі дорівнював

$$i(0) = I = \frac{U}{R} = A.$$

З урахуванням наведеного струм перехідного процесу

$$i(t) = i''(t) = \frac{U}{R}e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{U}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

З часової залежності сили струму в перехідному процесі (рис. 2.3) сила струму в електричному колі буде зменшуватися від свого значення в момент короткого замикання до нуля за експоненціальним законом.

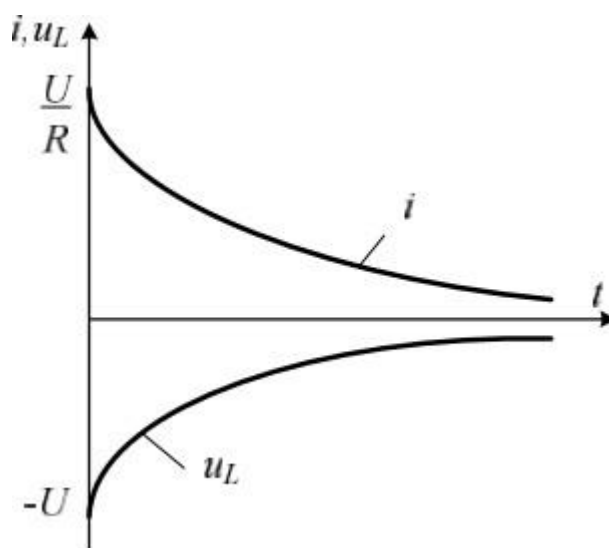


Рисунок 2.3 часова залежність струму в перехідному процесі

Аналогічно змінюється в даному колі і напруга на індуктивності.

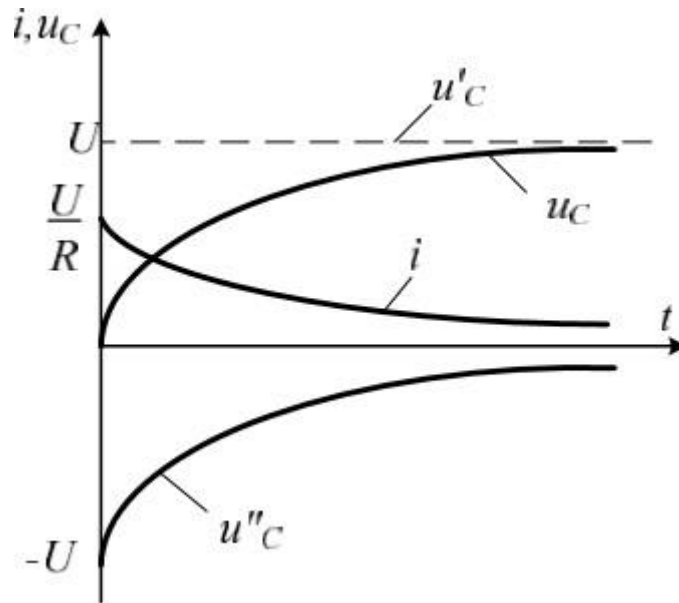


Рис. 2.4 зміни напруги на індуктивності

2.2 Класичний метод аналізу перехідних процесів

Досліджувана трифазна мережа (Рис.2.5) включає симетричне джерело напруги 1, трифазний вимикач 2, силовий кабель 3 та трифазне симетричне навантаження 4.

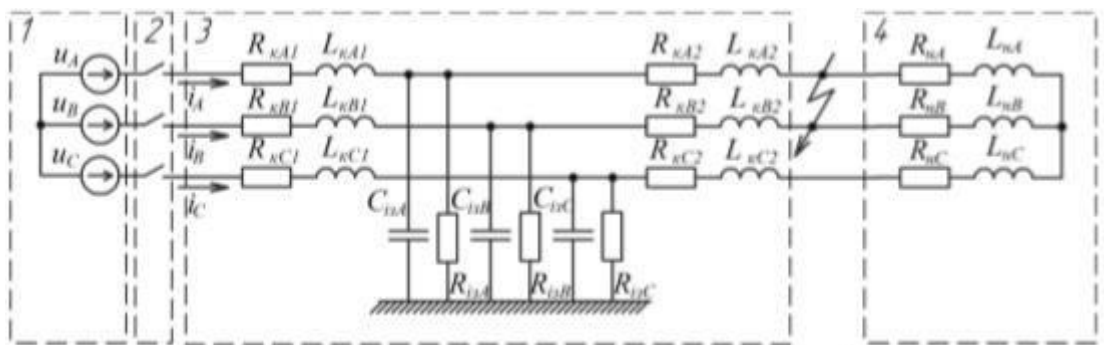


Рисунок 2.5 Заступна схема досліджуваної трифазної мережі

На заступній схемі прийняті наступні позначення:

$R_{кА1}, R_{кВ1}, R_{кС1}, R_{кА2}, R_{кВ2}, R_{кС2}$ - активний опір жил кабелю

$L_{кА1}, L_{кВ1}, L_{кС1}, L_{кА2}, L_{кВ2}, L_{кС2}$ - індуктивність жил кабелю

$C_{ізА}, C_{ізВ}, C_{ізС}$ - ємність ізоляції фаз кабелю відносно землі

$R_{ізА}, R_{ізВ}, R_{ізС}$ - активний опір ізоляції фаз кабелю відносно землі

R_n, L_n – активний опір та індуктивність навантаження

Після розробленої моделі слід вибрати релейний захист. Релейний захист вибирається відповідно до наступних вимог:

– Вибірковість дії (селективність), тобто відключення тільки пошкодженої ділянки. Вибірковість захисту забезпечується вибором часу спрацьовування, уставки струму, напруги, відстані від місця встановлення захисту до аварійної точки та інших параметрів.

Вимога до селективності захисної дії реле не виключає можливості роботи в якості резервного при виході з ладу захисту в суміжних зонах.

– Збільшує швидкість роботи, знижує ризик пошкодження обладнання аварійними струмами та підвищує стабільність паралельної роботи кількох джерел живлення, завдяки гарантованому безперебійному живленню непошкоджених елементів.

Якщо релейний захист виявляє несправність і вимикач спрацьовує, швидкість захисту складається з часу спрацьовування релейного захисту та часу спрацьовування вимикача.

Висока чутливість для забезпечення дезактивації зони в разі короткого замикання в будь-якому місці охоронної зони та при запуску аварійного режиму. струм короткого замикання. Чутливість оцінюється коефіцієнтом чутливості.

Вимоги до захисної чутливості гарантують зменшення кількості пошкоджень компонентів обладнання, забезпечуючи більш надійну роботу непошкоджених компонентів.

Висока експлуатаційна надійність, практично виключені збої та несправності релейного захисту.

Необхідно підібрати відповідний захист, якісно встановити та технічно експлуатувати його відповідно до заданих вимог.

Принцип дії, необхідні реле і схему захисту вибирають залежно від конструкції елементів, що захищаються, режиму роботи в нейтралі, напруги, потужності, стійкості, паралельної роботи та ін.

За принципом дії розрізняють декілька типів релейного захисту:

- Струмовий захист контролює струм в елементах мережі і спрацьовує при зміні значення струму. Якщо струмовий захист обладнаний пристроєм направлення потужності, це захист напряму струму.

- Захист у відповідь на підвищення контрольних параметрів називається максимальним. А захист, що реагує на зниження контрольованого параметра, називається мінімальним.

- Дистанційний захист працює з автоматично зростаючою затримкою по мірі збільшення відстані (відстані) від позиції захисту до позиції пошкодження;

- Диференціальний захист діє тоді, коли різниця двох або кількох значень струму більша від заданого значення (значення струму відповідають початку і кінцю захисної зони).

Оскільки захищають окремі елементи електричної мережі, то на практиці розрізняють захист генераторів, трансформаторів, електромереж, шин на станціях і підстанціях, електродвигунів тощо.

У процесі експлуатації високовольтних ЛЕП можуть виникати особливі перехідні режими та пошкодження обладнання електричних та трансформаторних підстанцій. Такі пошкодження призводять до механічного виводу з ладу технологічного обладнання струмами короткого замикання або дугою, яка виникає у місці пошкодження. Окрім цього, небезпечним також є пониження напруги у вузлових точках електроенергетичної системи внаслідок коротких замикань, що впливає на порушення технологічних процесів споживачів електроенергії та стійкості генераторів енергосистеми. Висока швидкодія перехідних режимів у ЛЕП упродовж кількох періодів частоти 50 Гц потребує адекватної швидкодії перетворювачів, пристроїв автоматики релейного захисту та спеціалізованих обчислювальних засобів – контролерів,

які опрацьовують режими електропостачання у реальному часі. Тому виникає нагальна потреба у розробці нових ефективних технічних методів і засобів захисту промислового обладнання на лініях електропередачі від перевантаження та короткого замикання. У зв'язку з розвитком мікропроцесорної техніки у вітчизняних і зарубіжних енергосистемах широко застосовуються пристрої РЗА, виготовлені на цифрових принципах.

Коротке замикання - це несподіване коротке замикання між фазами за нормальних робочих умов, у системі з нейтральним заземленням, одна або більше фаз замкнені на землю або нейтраль..

1. Трифазне КЗ - всі три фази замикаються між собою або на землю. У системі з заземленою нейтраллю, відповідно до статистичних досліджень трифазні складають 5% від загального числа КЗ і ушкоджень.

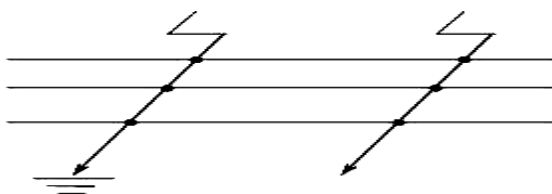


Рис. 2.6 Трифазне КЗ на землю

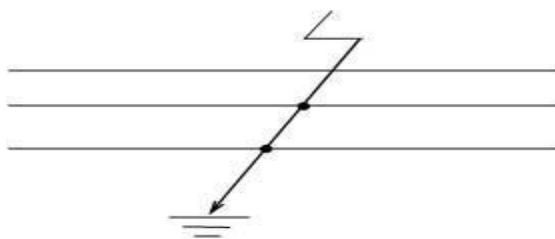


Рис. 2.7 Двофазне КЗ на землю

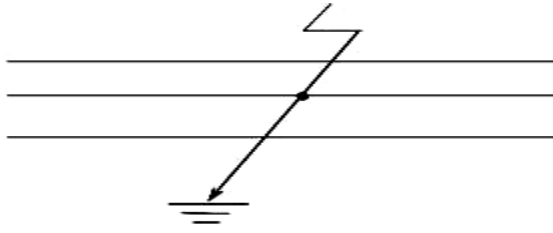


Рис. 2.8 Однофазне КЗ на землю

Якщо точка замикання не буде дотримана, буде горіти електрична дуга. Якщо контакт є, а насичення немає, такий вид КЗ називається металевим. Такі шорти самовідновлюються. У цьому випадку існує особливий вид автоматизації, який називається автоматичним перезапуском (АПВ).

Причинами КЗ є:

- старіння й ушкодження ізоляції;
- комутаційні перенапруження (включення, відключення навантажень і т.д.);
- грозові перенапруження.

Несприятливі наслідки КЗ:

1. Багаторазове перевищення струмів над номінальними призводить до неприпустимого перегрівання струмоведучих частин за рахунок втрати потужності:

$$\Delta P = I^2 \cdot r$$

2. Механічна перенапруга в струмоведучих компонентах може спричинити механічне пошкодження електроустановок.

3. Перепад напруги у споживача призводить до порушення технічного режиму і навіть зупинки виробництва.

4. Негативний вплив на лінії зв'язку.

5. Порушення планової роботи всієї енергетичної системи може призвести до аварії в системі та завдати великих збитків.

Основні допущення при розрахунку КЗ:

У більшості практичних методів розрахунку електромагнітних процесів, зокрема, процесів при КЗ, відносяться наступні основні допущення:

1. Лінеаризація нелінійних систем.

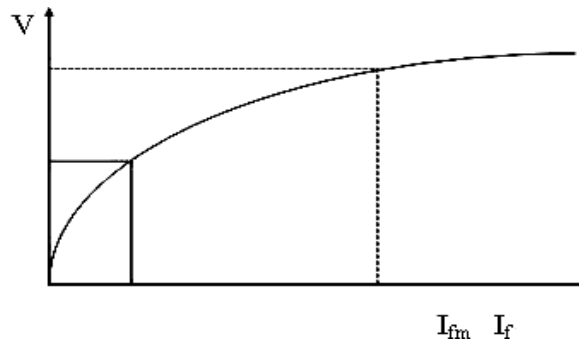


Рис. 2.9 Лінеаризація лінійних систем

У передаварійному режимі генератор працює на нелінійній ділянці характеристики намагнічування. Коли виникає несправність, напруга падає і з'являється на лінійній частині характеристики, так що насичення магнітної системи можна ігнорувати без відчутної несправності.

2. Струми збудження трансформаторів і автотрансформаторів не враховуються. Це значно спрощує систему обміну.

3. Введено збереження симетрії в трифазних системах.

4. Параметр горизонтальної лінії ігнорується.

5. Зробіть приблизний розрахунок навантаження. Вважається опором (частіше індуктивним) еквівалентом ЕРС.

6. Швидкість обертання двигуна вважати постійною.

Залежно від розв'язуваної задачі приймаються різні умови розрахунку. Наприклад, при виборі автоматичного вимикача критерієм є найсильніше коротке замикання за найнесприятливіших умов. Також при розрахунку параметрів релейного захисту базовим є найлегше коротке замикання.

Стаціонарний (процесний) режим характеризується тим, що струм і напруга постійні в часі (ланцюги постійного струму) або періодичні функції часу (ланцюги змінного струму).

Неперіодична зміна типу дії або зміна параметрів ланцюга (або зовнішнього вигляду ланцюга) викликає порушення стабільності режиму, так що реальні електричні процеси завжди відрізняються від статичних.

Процеси, що відбуваються в електричному колі під час переходу від одного стійкого стану до іншого, називають перехідними. Перехідні процеси відбуваються за певних умов (наприклад, при комутації).

Комутація - це зміна параметрів або форми, підключення або відключення джерел електричної енергії. Якщо схема містить лише активні резистори, «миттєве» перемикання призведе до відповідної зміни струму та напруги на витках. При наявності активних елементів перемикання супроводжується появою перехідних процесів..

Отже, умовами виникнення перехідних процесів є:

- 1) комутація;
- 2) наявність у колі реактивних елементів.

2.3 Закони комутації.

Виникнення перехідних процесів пов'язане з властивістю змінювати енергію електромагнітного поля реактивних елементів. З фізичних міркувань зрозуміло, що енергія електричного поля є індукцією

$$w_L = Li_L^2 / 2$$

та ємностях

$$w_C = Cu_C^2 / 2$$

не може змінитися миттєво: енергія може змінюватися безперервно без стрибків.

$$p = \frac{dw}{dt}$$

яка дорівнює похідній енергії за часом, досягала б нескінченного значення, що фізично неможливо.

На підставі цього твердження формулюються закони комутації.

Якщо момент комутації розглядати як початок відліку часу $t_0 = 0$, то момент безпосередньо перед комутацією позначається $t = 0 -$, а момент безпосередньо після комутації $t = 0 +$. Враховуючи ці позначення, можна записати:

$$i_L(0-) = i_L(0+) - \text{перший закон комутації};$$

$$u_C(0-) = u_C(0+) - \text{другий закон комутації}.$$

Тому в перший момент після включення струм в індуктивності (напруга на конденсаторі) залишається точно таким же, як і до включення, а потім плавно змінюється. При цьому треба пам'ятати, що струми в резисторах і конденсаторах, а також напруги в резисторах і котушках індуктивності можуть різко змінюватис.

Значення струму в індуктивності та напруги на ємності в момент комутації звуться незалежними початковими умовами. За нульових початкових умов, тобто коли $i_L(0-) = 0$, $u_C(0-) = 0$, індуктивність у початковий момент часу після комутації еквівалентна розриву кола, а ємність - короткому замиканню. У випадку ненульових початкових умов, тобто коли $i_L(0-) \neq 0$, $u_C(0-) \neq 0$, індуктивність в перший момент після комутації еквівалентна джерелу струму $i_L(0-)$, а ємність - джерелу ЕРС $u_C(0-)$.

Отже, залежно від моменту часу ($0+$ або ∞), а також від типу зовнішньої дії (постійна або синусоїдна) реактивні елементи в схемах подаються по-різному (табл.2.1).

Таблиця 2.1

Елемент	$t = 0 +$		$t \rightarrow \infty$	
	Нульові початкові умови	Ненульові початкові умови	Постійний струм	Синусоїдний струм
L	X.X	$i_L(0-)$	К.З	$j\omega L$
C	К.З.	$u_C(0-)$	X.X	$1/j\omega C$

Аналізуючи перехідні процеси у розгалужених колах, поряд з незалежними початковими умовами використовують так звані залежні початкові умови, а саме: значення всіх струмів і напруг, крім i_L , u_C а також їх похідні при $t = 0 +$. Ці значення розраховуються за незалежними початковими умовами, виходячи із законів Кірхгофа.

2.4 Складання комп'ютерної моделі.

Для складання комп'ютерної моделі лінії електропередачі використано програмний пакет Matlab та його розширення Simulink.

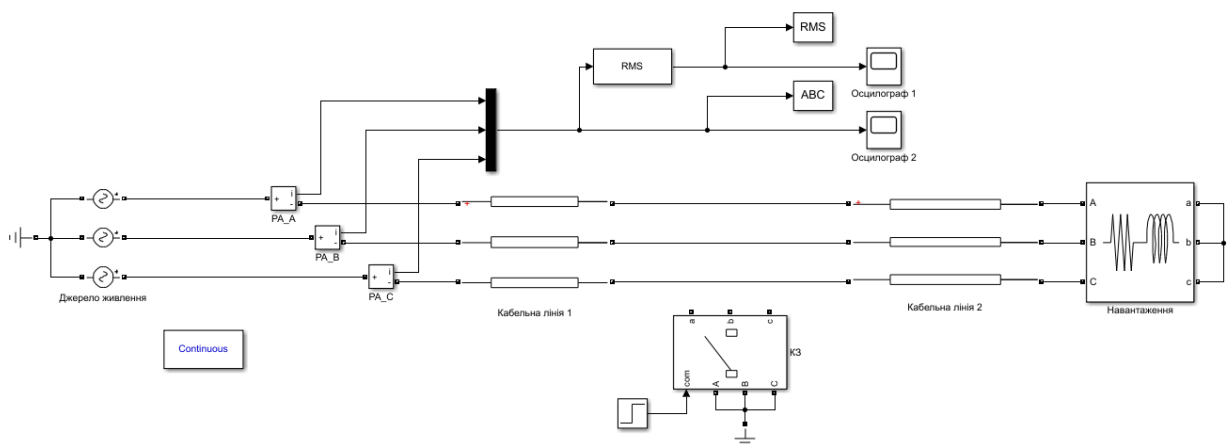


Рисунок 2.10 - Комп'ютерна модель лінії електропередачі.

На комп'ютерній моделі зображено кабельні лінії з напругою $U = 380$ В. Два осцилографа для знімання показників струму, навантаження та джерело живлення.

Також на моделі зображений короткозамикач, який слуге для здійснення штучного КЗ яке призведе до перехідних процесів, що дозволять провести ряд експериментів.

2.5 Висновок по розділу 2.

Результатом роботи над другим розділом є математична та комп'ютерна модель лінії електропередачі та обґрунтований класичний метод дослідження перехідних процесів. Існує багато способів дослідження перехідних процесів, серед яких є класичний, який я вибрав для аналізу на змодельованій лінії електропередач.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ В ВИСОКОВОЛЬТНІЙ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ.

3.1. Проектування об'єкту.

Математична модель ЛЕП для дослідження перехідного процесу короткого замикання в ЛЕП високої напруги задається наступним рівнянням:

Трифазне КЗ у найпростішому трифазному ланцюзі, що живиться джерелом нескінченної потужності (ДНП)

Фактично ДНП - вважають джерелом, номінальна потужність якого перевершує потужність КЗ у десятки і більш раз.

Під потужністю КЗ розуміють (досить умовні поняття, але широко використовувані на практиці).

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k$$

де U_n - номінальна напруга в точці КЗ,

I_k - струм КЗ.

Нашу найпростішу трифазну систему представимо у вигляді:

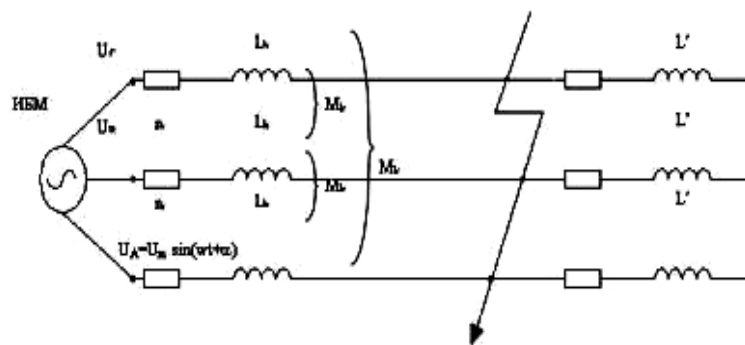


Рис. 3.1 - Трифазна система

Амплітуда струмів визначається по формулі:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} \quad (5.2)$$

Тоді струми запишуться у виді:

$$\begin{cases} i_A = U_m \sin(\omega t + \alpha) \\ i_B = U_m \sin(\omega t + \alpha - \frac{3\pi}{2} - \varphi) \\ i_C = U_m \sin(\omega t + \alpha + \frac{4\pi}{3} - \varphi) \end{cases}$$

При спробі точно оцінити перехідні процеси, які виникають під час короткого замикання, виникає кілька проблем.

1. Сучасна електромагнітна машина взаємовпливу.
2. Для АРЗ подібна кореляція має місце зі збільшенням струму вимушеного короткого замикання.
3. Вертикальні та горизонтальні параметри синхронної машини різні і їх врахування збільшує кількість нелінійних рівнянь.

Для вирішення багатьох практичних завдань з цього приводу розроблені наближені методи розрахунку перехідних процесів при КЗ. Метод включає метод розрахунку кривої. Дуже простий і широко використовуваний. Він заснований на застосуванні спеціальної кривої, яка дає значення періодичної складової струму в точці короткого замикання в будь-який момент часу.

Функція від розрахункової реактивності $X_{\text{розр}}$ для обчисленого реактивного опору простого кола:

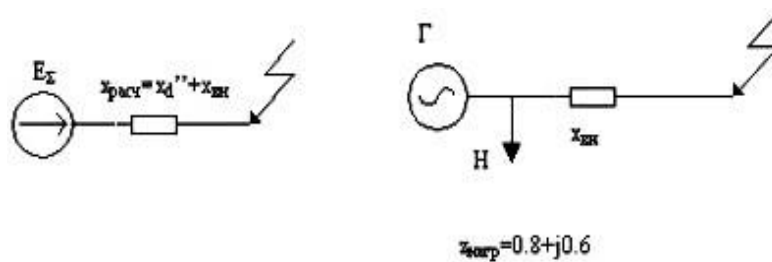


Рис. 3.3 - схема функції розрахункової реактивності

Приймаємо, що генератор працював з номінальним навантаженням $\cos \omega_n = 0,8$.

Завдання полягає в перетворенні вихідної схеми до такого вигляду, після чого можна скористатися готовими розрахунковими кривими.

3.2 План експерименту.

Метою цього експерименту є дослідження перехідних процесів та їх впливу на електромережу.

У цьому експерименті основним вхідним фактором є струм. На основі цього виконується експеримент з одним агентом, у якому є змінний вхідний струм та інші параметри, такі як напруга живлення, частота мережі та параметри схеми перестановки, фіксовані.

Таблиця № 3.1

Дослідження перехідних процесів

$U_{л}, В$	$R_{к}, Ом$	$L_{к}, мГн$	$C_{із}, мкФ$	$R_{із}, кОм$	$R_{н}, Ом$	$L_{н}, Гн$
380	1,2	12	0,2	60	5	0,1

Вимірювання вхідних і вихідних величин проводиться за допомогою програмних компонентів додатку Simulink середовища Matlab.

3.3 Виконання експерименту.

В ході виконання експерименту отримано графіки основних параметрів:

3.5 - Графік струмів при двофазному КЗ; 3.8 - Графік струмів при трифазному КЗ; 3.11 - Графік струмів при однофазному КЗ на землю; 3.13 - Графік струмів при КЗ через тіло людини; 3.15 - Графік струмів при КЗ через встановлений опір короткозамикача 500 Ом.

Дослід №1 Двофазне КЗ

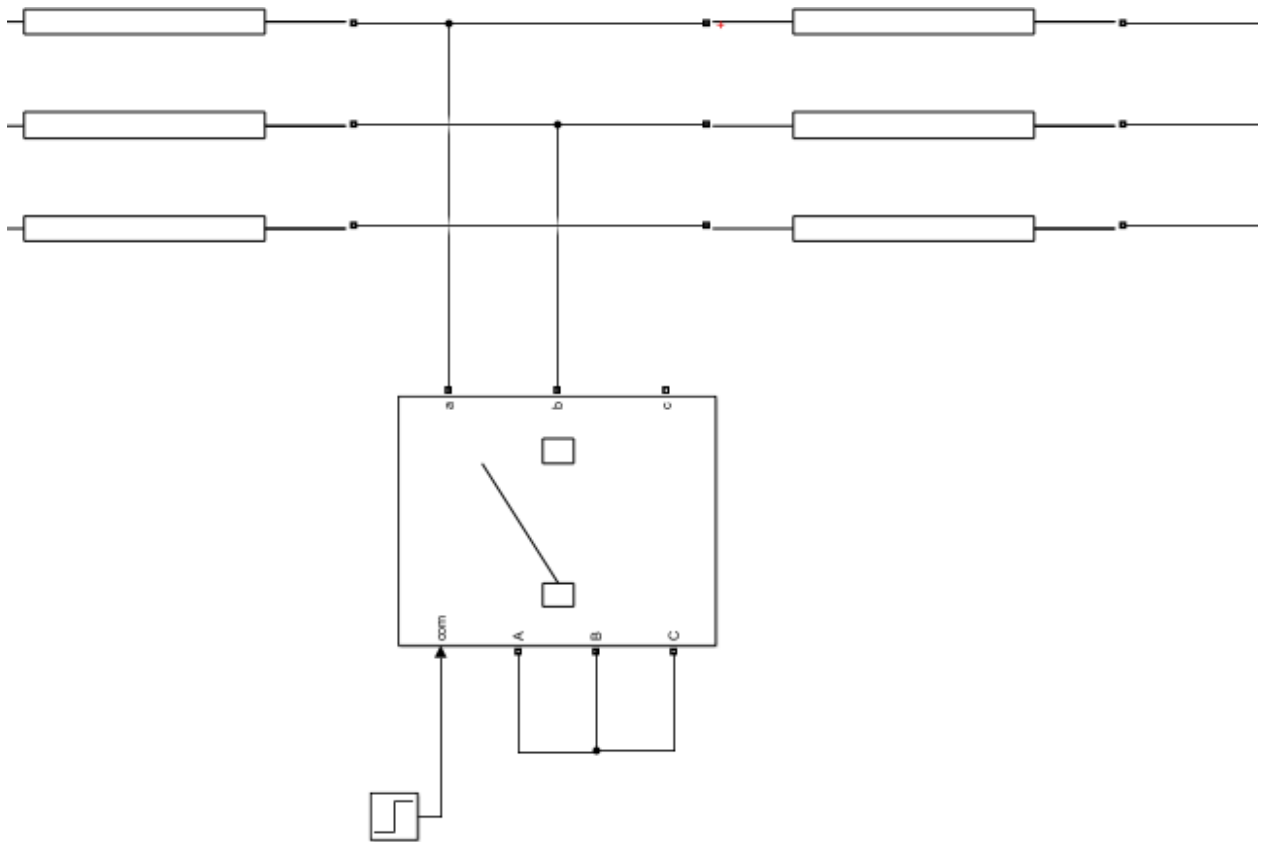


Рис. 3.4 – Двофазне коротке замикання

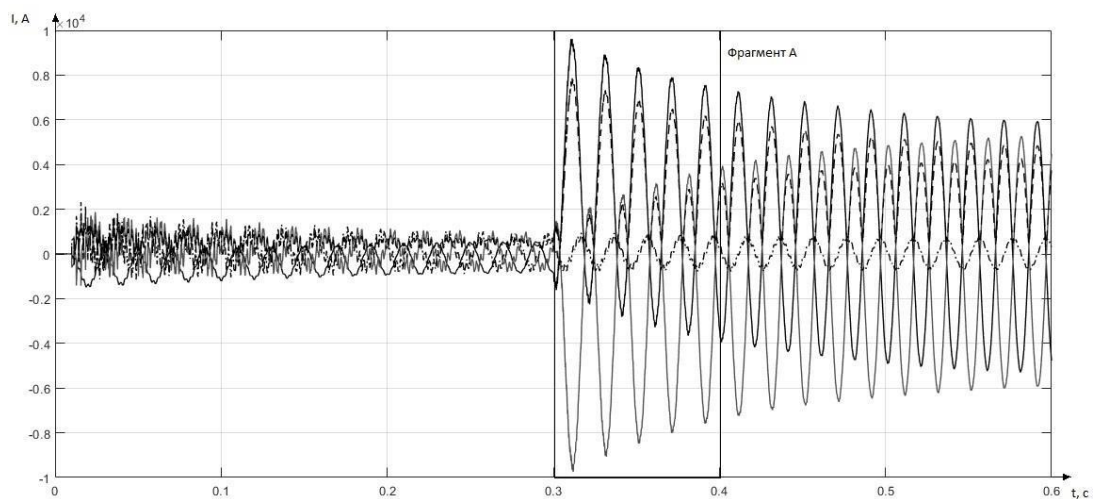


Рис. 3.5 - Графік струмів при двофазному КЗ

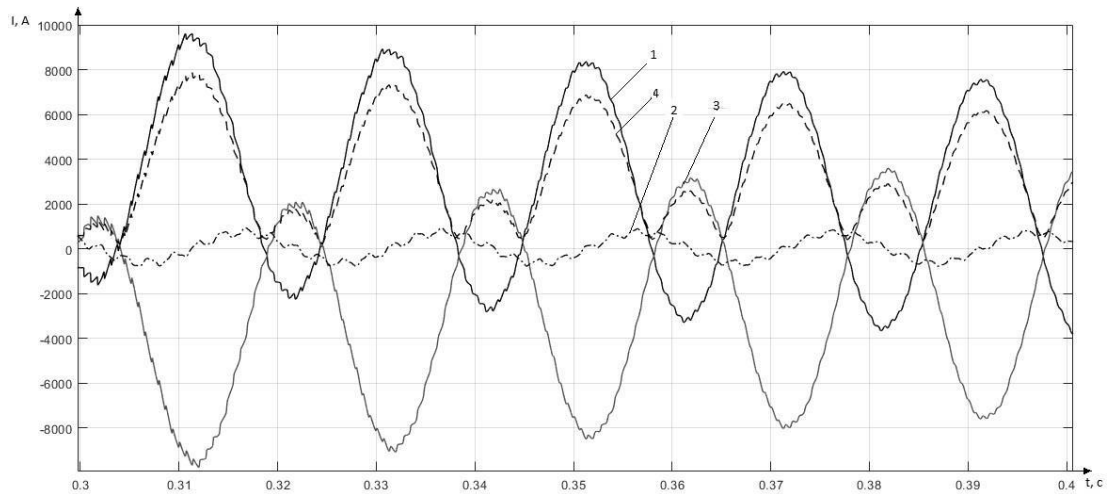


Рис. 3.6 – Фрагмент А. Миттєві діючі струми. 1 - фаза А. 2 – фаза Б. 3 – фаза С. 4 – РМС.

Двофазні КЗ характеризуються двома особливостями:

1) Вектори струму і напруги утворюють несиметричну, але збалансовану систему. Наявність асиметрії свідчить про те, що струм і напруга мають складові протилежного порядку уздовж прямої.

2) Фазні напруги істотно більше нуля навіть в положенні короткого замикання, тільки одна міжфазна напруга падає до нуля, два інших значення дорівнюють $1,5 \text{ мкФ}$. Тому двофазне замикання менш шкідливо для стабільності енергосистеми та споживачів електроенергії.

Отже, в місці КЗ напруга кожної пошкодженої фази дорівнює половині напруги неушкодженої фази і протилежна йому по знаку.

Дослід №2 Трифазне КЗ

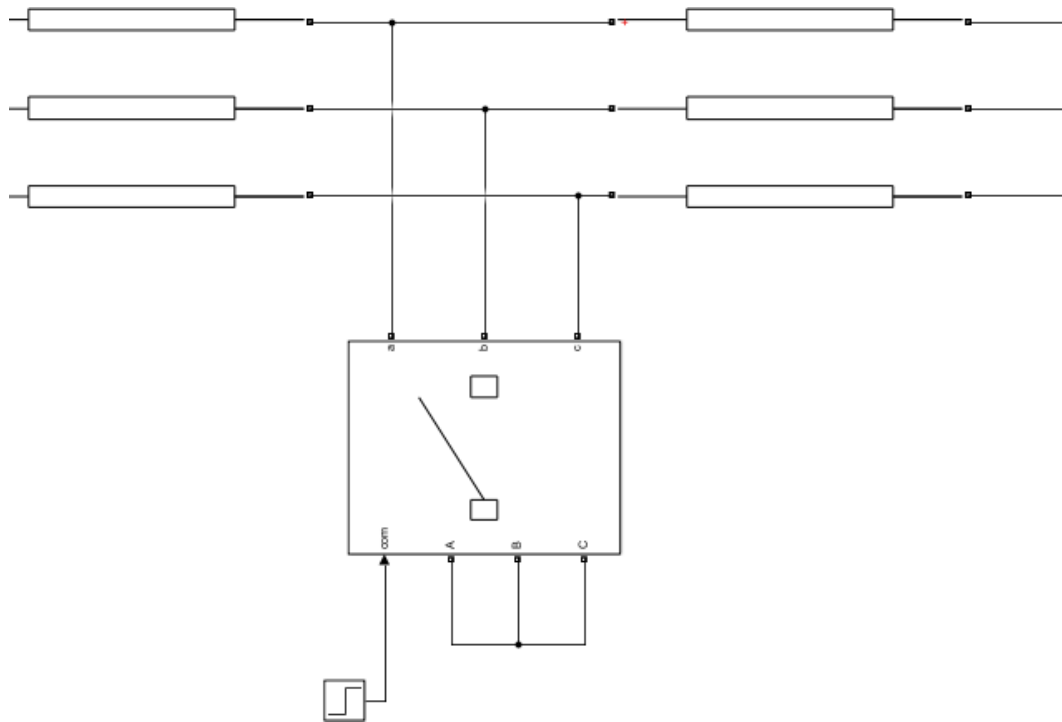


Рис. 3.7 – Трифазне коротке замикання

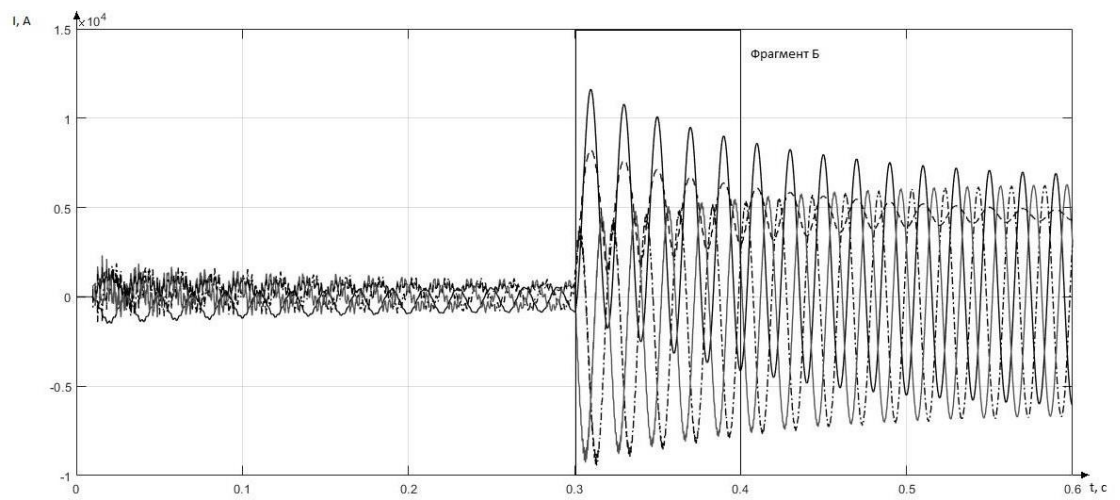


Рис. 3.8 - Графік струмів при трифазному КЗ

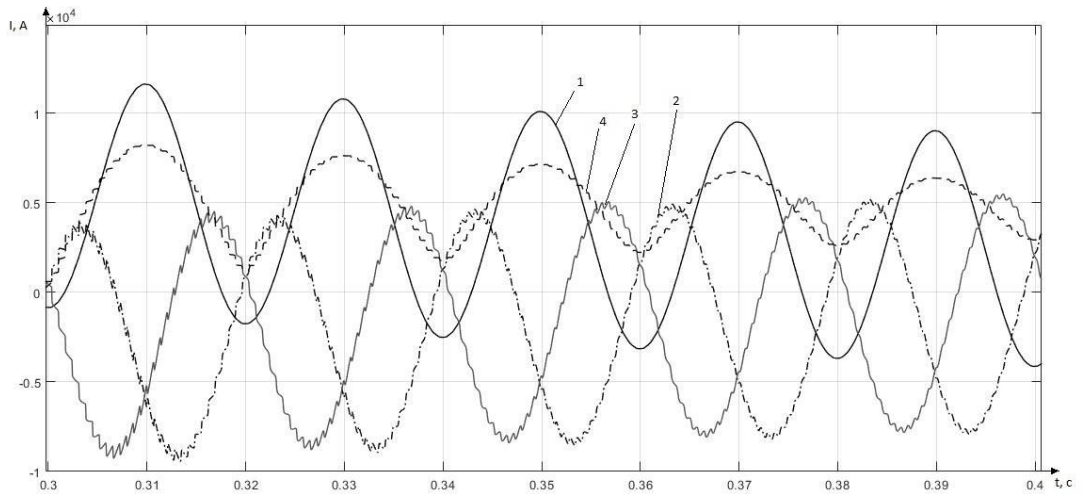


Рис. 3.9 – Фрагмент Б. Миттєві діючі струми. 1 - фаза А. 2 – фаза Б. 3 – фаза С. 4 – РМС.

Напруги в точці КЗ дорівнюють нулю: $U_a = U_b = U_c = 0$.

1) Векторні діаграми струму та напруги є симетричними та збалансованими, оскільки вони не мають компонентів зворотної послідовності та нульової послідовності.

2) Трифазне коротке замикання супроводжується різким падінням усіх міжфазних напруг (як у місці замикання, так і поблизу нього). Як наслідок, трифазне коротке замикання є найнебезпечнішим пошкодженням паралельної стійкості енергосистем і споживачів струму.

Дослід №3 однофазне коротке замикання на землю

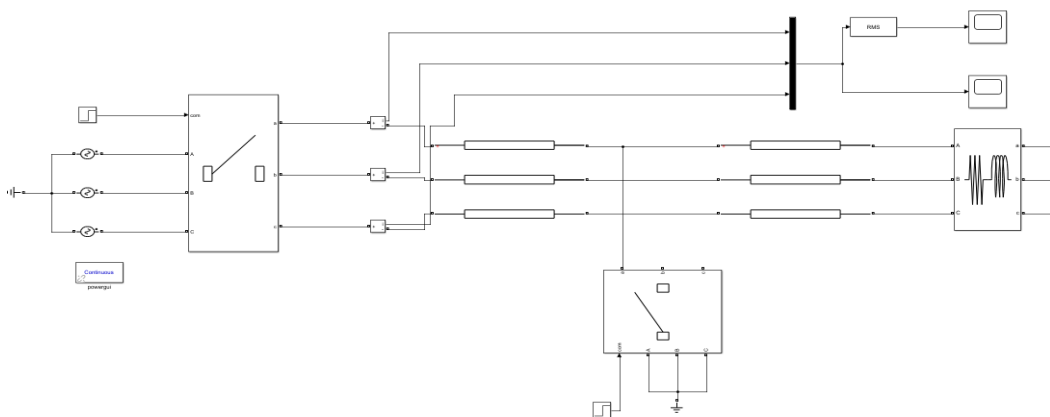


Рисунок 3.10 – Комп'ютерна модель для симуляції однофазного короткого замикання на землю

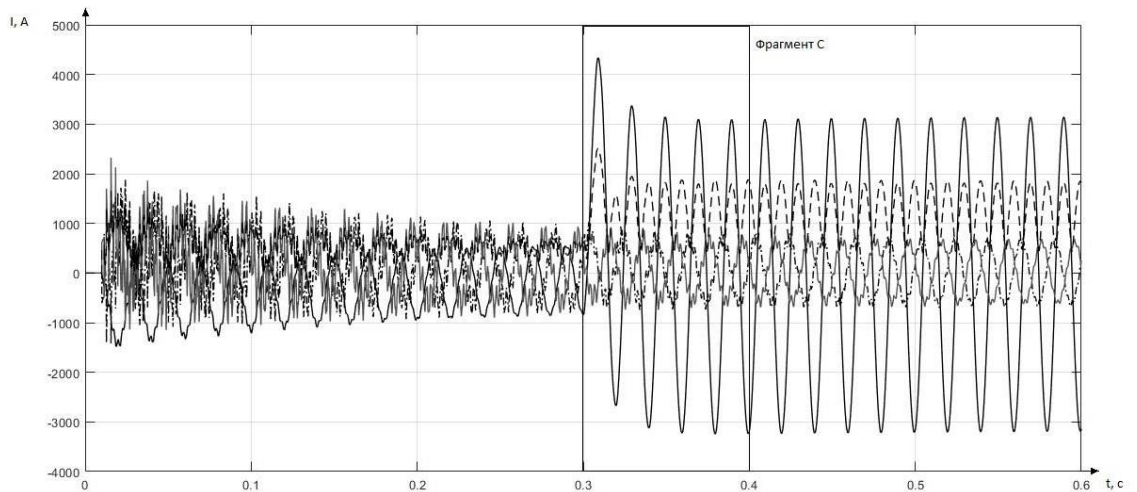


Рис. 3.11 - Графік струмів при однофазному КЗ на землю

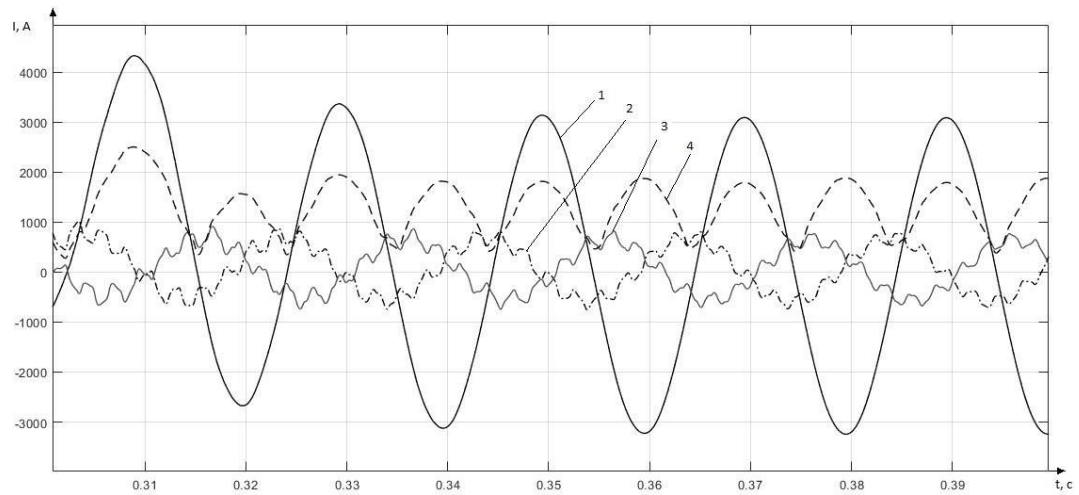


Рис. 3.12 – Фрагмент С. Миттєві діючі струми. 1 - фаза А. 2 – фаза Б. 3 – фаза С. 4 – РМС.

Однофазне замикання на землю призводить до виникнення струму короткого замикання тільки на лініях електропередач напругою понад 110 кВ. Він працює з нейтраллю трансформатора, яка сліпо заземлена.

Струм короткого замикання виникає внаслідок дії ЕМП і протікає від джерела живлення через пошкоджену фазу і повертається на землю через землю з нейтральної точки трансформатора.

1) струми і фазні напруги утворюють несиметричну і неврівноважену систему векторів;

2) міжфазні напруги в точці КЗ більше нуля, площа трикутника, утвореного цими напруженнями, відрізняється від нуля. Однофазне КЗ є найменш небезпечним видом ушкодження з точки зору стійкості електроенергетичної системи і роботи споживачів.

Дослід № 4 КЗ через тіло людини

Для симуляції КЗ через тіло людини, опір короткозамикача прийнято 1кОм.

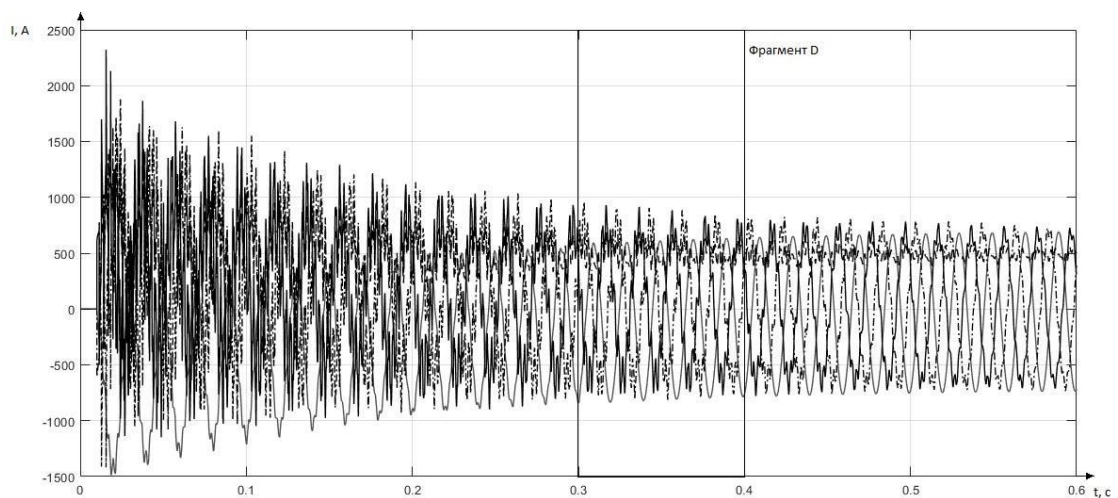


Рис. 3.13 - Графік струмів при КЗ через тіло людини

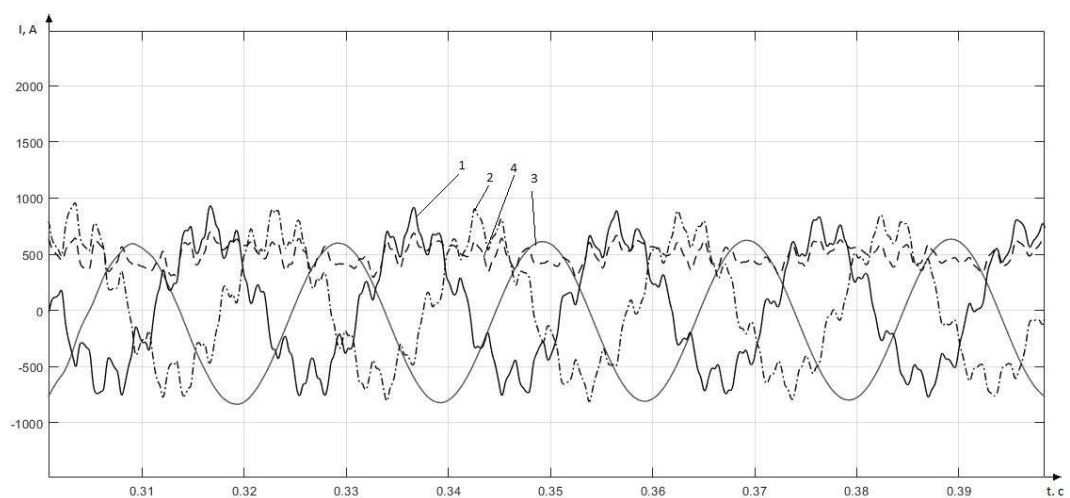


Рис. 3.14 – Фрагмент D. Миттєві діючі струми. 1 - фаза А.
2 – фаза Б. 3 – фаза С. 4 – RMS.

Коли людина одночасно торкається двох точок на електричних компонентах електроустановки, між ними виникає напруга, утворюючи замкнуте електричне коло, і через тіло людини проходить струм. Величина цього струму залежить від характеру контакту людини, напруги ланцюга, самої ланцюга, режиму роботи нейтралі електричного кола, опору тіла людини та якості ізоляції струмопровідних частин землі. . , ємність провідної частини щодо землі тощо.

Нейтральна точка, або нейтральна точка, обмотки джерела живлення - це точка, в якій абсолютне значення напруги для всіх зовнішніх проводів обмоток однакове. Мережі з ізольованими нейтралями можуть підтримувати високий ступінь ізоляції кабелю і використовуються там, де пропускну здатність мережі до землі не є критичною. Він включає малорозгалужені мережі, які не піддаються агресивному впливу навколишнього середовища і знаходяться під постійним наглядом персоналу. Мережі із заземленою нейтраллю застосовують у випадках, коли неможливо забезпечити хорошу ізоляцію кабелю (через високу вологість, агресивне середовище тощо), а також коли дефекти ізоляції неможливо швидко виявити або усунути. досягають вкрай небезпечних для людини значень

Найбільшу небезпеку для людини становить двофазний (біполярний) контакт з електричним ланцюгом. Тому що в цьому випадку людина знаходиться під напругою мережі.

Експеримент № 5. Коротке замикання опором короткого замикання 500 Ом.

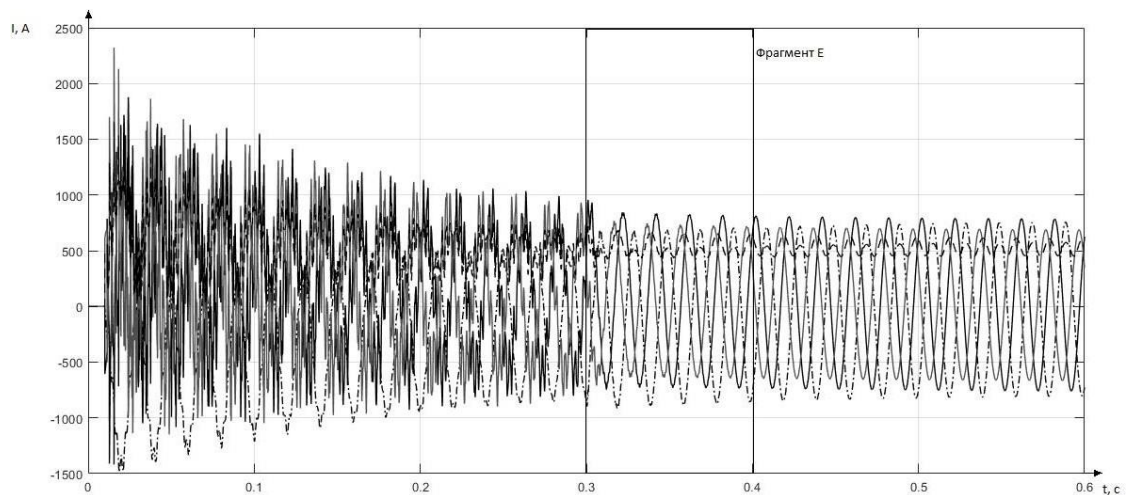


Рис. 3.15 - Графік струмів при КЗ через встановлений опір короткозамикача 500 Ом

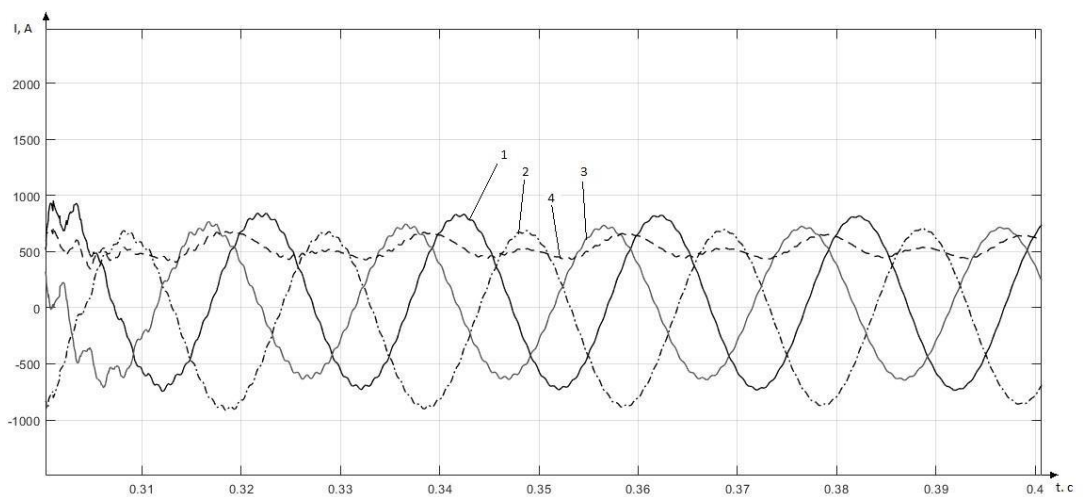


Рис. 3.16 – Фрагмент Е. Миттєві діючі струми. 1 - фаза А. 2 – фаза Б. 3 – фаза С. 4 – РМС.

Короткозамикач — електричний апарат, призначений для створення штучного короткого замикання на землю в мережах електропостачання.

Автоматичні вимикачі конструктивно схожі на заземлювачі, але їх надійна контактна система дозволяє вимикати їх у разі короткого замикання.

Автоматичні вимикачі і роз'єднувачі використовуються в спрощених конструкціях на підстанціях замість більш дорогих автоматичних вимикачів. Така заміна може значно заощадити, тому що вартість вимикача живлення

досить висока. Чим більше з'єднань на підстанції і чим вище напруга високої сторони, тим очевидніші переваги використання спрощеної схеми. В основному спрощені схеми популярні для напруги 35, 110 кВ. КЗ встановлюються: в мережі з глухозаземленою нейтраллю - одна фаза, в мережі з ізольованою нейтраллю - дві. Коротке замикання активується автоматично, а відключення здійснюється вручну.

Якщо в трансформаторі одного з з'єднань (Т1) виникає несправність, приєднаний до нього захисний пристрій активує пускову котушку відповідного короткого замикання (SK1). Коротке замикання замикає контакти і штучно замикає їх на землю. Захист лінії електропередач у зоні підстанції реагує на це коротке замикання та знеструмлює всю підстанцію за допомогою головного вимикача (Q). Через деякий час пристрій повторного вмикання запрацює на лінії та активує головний вимикач. Протягом цього часу, який називається затримкою відсутності струму, активується та відключається від мережі лише несправний роз'єднувач трансформатора (E1). Таким чином, ви можете від'єднати зламані частини та підтримувати роботу підстанції без необхідності використовувати окремий вимикач для кожного з'єднання.

3.4 Висновок по розділу 3.

Під час експерименту було проведено математичне та комп'ютерне моделювання лінії електропередачі. Визначено, як змінювалися перехідні процеси при різних видах КЗ. Встановлено адекватність створеної комп'ютерної моделі та її відповідність реальній. Результатом роботи є мат. та комп'ютерна модель ЛЕП.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження перехідних процесів на високовольтних лініях електропередачі на основі віртуальних моделей Matlab Simulink та мікропроцесорних пристроїв релейного захисту було доведено, що мікропроцесорні пристрої покращують експлуатацію, ремонтпридатність та надійність технічної реалізації ліній електропередачі. Основним призначенням релейного захисту є зменшення втрат потужності та усунення струмів короткого замикання. В аварійному режимі спрацьовування вимикачів забезпечувалося за рахунок неселективного переривання струму. З економічної точки зору заходи щодо встановлення мікропроцесорних пристроїв в існуючих енергоустановках є вигідними, оскільки термін окупності технічних рішень становить менше п'яти років.

Релейний захист і автоматика все більше впливають на надійність їх роботи, що підтверджується досвідом експлуатації вітчизняних електроенергетичних систем. Відмова релейного захисту та автоматики призводить до виникнення та розвитку інцидентів в енергосистемах.

До нових наукових результатів, освітлених у даній роботі з різним ступенем деталізації, можна віднести:

а) нова модель електромеханічних та мікропроцесорних пристроїв релейного захисту. Ця модель забезпечує повний і достатньо точний опис пристрою з урахуванням його особливостей та вимог до експлуатації.

б) методи оптимізації програми діагностування пристроїв РЗ за різними критеріями, аналіз можливостей вибору як необхідних тестових впливів, так і контрольних точок, а також визначення раціональної послідовності виконання діагностичних процедур.

в) теоретичні аспекти побудови вбудованих засобів функціональної та тестової діагностики пристроїв РЗ, реалізованих як на електромеханічних, так і на мікроелектронних елементах.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : навч. посіб. / Віктор Павлович Кідиба. – Львів : Львів. політехніка, 2015. – 504 с.
2. Компоненти автоматики і телемеханіки [Електронний ресурс] // Електросвіт. – Режим доступу: <http://www.es.ua>. – Назва з екрана.
3. Пристрій РЗА по току РС81 [Електронний ресурс] // amtorg. – Режим доступу: <http://www.amtorg.com.ru/releynoe-oborudovanie/rs-81/>. – Назва з екрана.
4. Шалін О. І. Релейний захист від замикань на землю в мережах із резистивним заземленням нейтралі : підручник / Олексій Іванович Шалін. – [Б. м.] : «ПНП БОЛІД». – 156 с.
5. Андрєєв В. А. Релейний захист та автоматика систем електропостачання. 3-тє вид., Перероб. та дод. - М.: Вища шк., 1991. 496 с.
6. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу. Аграрна освіта, 2011. 448 с.
7. Натай В. І. Релейний захист відгалужувальних підстанцій електричних мереж : підручник. Енергоатоміздат, 2002. 439 с.