

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
“ _____ ” _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

Тема: «Система електропостачання підприємства з різними режимами нейтралі»

Виконавець _____
(підпис)

студент ЕЕ-208М Міхадюк Валерій
Валерійович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник _____
(підпис)

д.т.н., проф. Квасніков В.П.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер _____
(підпис)

Катаєва М.О.
(П.І.Б)

Київ 2022

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

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту

Міхадюка Валерія Валерійовича

(П.І.Б. випускника)

1. Тема проекту «Система електропостачання підприємства з різними режимами нейтралі» затверджена наказом ректора від « 21 » вересня 2022р № 1608ст

2. Термін виконання проекту: з 05.09.2022 по 30.11.2022 .

3. Вихідні дані до проекту:

4. Зміст пояснювальної записки:

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу:

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	05.09–21.09.22	
2.	Розділ 1. <i>Стан питання. Мета і задачі досліджень</i>	22.09–29.09.22	
3.	Розділ 2. <i>Моделювання електромережі 10 кВ при однофазному замиканні на землю</i>	30.09-07.10.22	
4.	Розділ 3. <i>Дослідження однофазних замикань в мережі 10 кВ</i>	08.10-14.10.22	
5.	Розділ 4. <i>Розроблення захисту від однофазного замикання на землю для повітряної лінії з кабельною вставкою 10 кВ</i>	15.10-22.10.22	

6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування доцільності переведення електричної мережі 10 кВ з ізолюваною або компенсованою нейтраллю в режим заземлення через резистор	23.10-30.10.22	
7.	Розділ 6. Охорона праці	31.10-04.11.22	
8.	Розділ 6. Екологічна складова	04.11-06.11.22	

7. Дата видачі завдання: “ ____ ” _____ 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) _____
(підпис керівника)

Квасніков В.П.
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис випускника)

Міхадюк В.В.
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 113 сторінок, 65 рисунків, 6 таблиць, 30 посилань, 1 додаток.

В ході роботи було досліджено електропостачання підприємств при різних видах заземлення нейтралі. В ході аналізу отриманих графіків значень струмів і напруг в яких випадках ці значення можуть забезпечити селективну роботу захистів від однофазних замикань на землю.

Було розроблено базову структуру захисту від однофазних замикань на землю для повітряної лінії з кабельною вставкою напругою 10 кВ .

Проведено оцінку доцільності переведення мережі 10 кВ з режиму ізольованої або компенсованої нейтралі в резистивний режим роботи нейтралі.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Стан питання. Мета і задачі досліджень.....	11
1.1 Загальна характеристика мережі 10 кВ.....	11
1.2 Можливі аварійні режими.....	18
1.3 Засоби захисту.....	22
1.4 Мета і задачі.....	34
1.5 Висновки по розділу 1.....	35
2 Моделювання електромережі 10 кВ при однофазному замиканні на землю.	36
2.1 Обґрунтування параметрів схеми заміщення.....	36
2.2 Розроблення моделі.....	41
2.3 Вибір значень параметрів елементів моделі.....	50
2.4 Висновки по розділу 2.....	51
3 Дослідження однофазних замикань в мережі 10 кВ.....	52
3.1 Дослідження роботи мережі в нормальному режимі роботи.....	52
3.2 Дослідження роботи мережі з ізольованою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю.....	56
3.3 Дослідження роботи мережі з компенсованою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю.....	61
3.4 Дослідження роботи мережі з резистивно заземленою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю.....	65
3.5 Дослідження роботи мережі з комбіновано заземленою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю.....	69
3.6 Висновки по розділу 3.....	73
4 Розроблення захисту від однофазного замикання на землю для повітряної лінії з кабельною вставкою 10 кВ.....	75

4.1 Основні функціональні вимоги до захисту від однофазних замикань на землю кабельних мереж 10 кВ.....	75
4.2 Структурна схема захисту від замикань на землю в повітряних лініях з кабельною вставкою 10 кВ.....	76
4.3 Принципи виконання основних функціональних вузлів і елементів захисту.....	78
5 Техніко-економічне обґрунтування доцільності переведення електричної мережі 10 кВ з ізолюваною або компенсованою нейтраллю в режим заземлення через резистор.....	80
5.1 Технічні та економічні особливості переведення мережі в режим резисторного заземлення нейтралі.....	80
5.2 Оцінка ефективності переведення електричної мережі напругою 10 кВ в режим заземленою через резистор нейтралі.....	82
5.3 Висновки по розділу 5.....	87
6 Охорона праці	88
7 Екологічна складова.....	107
Загальні висновки.....	115
Перелік посилань.....	116
Додаток А – Лист зауважень.....	119

ВСТУП

Актуальність теми. У системах міського і сільського електропостачання України основна частина електричної енергії розподіляється споживачам через мережі напругою 10 кВ. Найчастішим видом пошкоджень у цих мережах є однофазні замикання на землю, які складають близько 60 – 85% від загального числа електричних пошкоджень [1, 2] та часто є першопричиною аварій, що супроводжуються значними економічними збитками.

Одним із способів зменшення струму замикання на землю є зміна режиму заземлення нейтралі. Через різні переваги та недоліки того аба іншого типу заземлення нейтралі досі немає якісних рекомендацій по вибору типу нейтралі. Це обумовлено, що значна частина мереж України середньої напруги працює в режимі ізолюваної або компенсованої нейтралі, а резистивне заземлення було [3] дозволено для застосування в даних мережах в 2006 р., причому рекомендації по використанню резистивного заземлення лише в 2018р., що не дало достатнього досвіду їх використання на території України.

Метою даної магістерської роботи є підвищення ефективності пошуку замикань на землю шляхом дослідження однофазних замикань на землю в мережі 10 кВ при різних режимах заземлення нейтралі та розроблення способу захисту.

Завдання які потрібно вирішити:

- сформулювати комп'ютерну модель електричної мережі напругою 10 кВ та обґрунтувати значення параметрів для мережі конкретної конфігурації;
- проаналізувати величину струму однофазні замикання на землю при різних типах заземлення нейтралі;
- розробити спосіб захисту мережі від однофазних замикань на землю.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є електрична мережа 10 кВ з ізолюваною чи комбінованою нейтраллю, нейтраллю

заземленою через дугогасний реактор або резистор. Предметом дослідження є перехідний процес однофазного замикання на землю в мережі 10 кВ.

Методи дослідження. Для рішення поставлених задач в роботі використовувалися методи теорії електричних кіл, теорії перехідних процесів в енергетичних об'єктах, імітаційного моделювання на електронно-обчислювальних машинах з використанням програмного комплексу Matlab.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Загальна характеристика мережі 10 кВ

Електричні мережі – це елементи електроенергетичної системи, призначені для пересилання електроенергії від джерел живлення до місць споживання (пересилання електроенергії на значні відстані) та розподілу її між споживачами, а також утворення міжсистемних зв'язків.

Електропостачання споживачів від електричної системи має значні техніко-економічні переваги порівняно з енергопостачанням безпосередньо від електричних станцій, і переваги проявляються в порівняно кращих економічних показниках, підвищеній надійності та й у неперервності електропостачання, зменшенні необхідного резерву потужності [1].

Лінією електропередавання (ЛЕП) називають електроустановку, призначену для передавання електричної енергії на віддалену відстань між двома пунктами електричної системи. ЛЕП складаються із проводів чи кабелів, ізолюючих елементів та несучих конструкцій.

Повітряна лінія електропередавання – споруда для передавання електричної енергії проводами, розташованими просто неба та прикріпленими за допомогою ізолювальних конструкцій та арматури до опор або кронштейнів і стояків на інженерних спорудах таких як мости, шляхопроводи тощо [2].

До головних елементів повітряної ЛЕП прийнято відносити:

- проводи, які й служать для передавання електроенергії;
- опори, що у свою чергу підтримують проводи і троси на певній висоті над поверхнею землі;
- арматура, за допомогою якої проводи закріплюються на ізоляторах, а ті в свою чергу на опорі

- ізолятори, які виступають у ролі ізолятора між проводами та тілом опори;
- грозозахисні троси, які призначені для захисту від атмосферних перенапруг (таких як грозові розряди), і монтуються у верхній частині опор.

Кабельною лінією являється лінія для передавання електроенергії, яка відповідно складається з одного або декількох кабелів [2]. А в свою чергу кабель – це ізольована по всій довжині жила металу або ж декілька жил, покриті захисним покриттям.

До основних переваг кабельної лінії електропередавання стосовно повітряної можна віднести [2] неохильність до атмосферних впливів, захищеність траси та недосяжність струмоведучої частини для сторонніх осіб.

Недоліками кабельної ЛЕП є відповідно:

- дорожче від повітряної ЛЕП аналогічного їй класу напруги;
- вимагають відповідно більшого терміну для виконання ремонту і більш кваліфікованого обслуговуючого персоналу;
- порівняно більш трудомісткі в спорудженні;

В п.1.2.16 останньої редакції Правил експлуатації електроустановок сказано наступне [3]: “робота електричних мереж напругою від 3 кВ до 35 кВ може бути передбачена як з ізольованою нейтраллю, так і з нейтраллю, заземленою через дугогасний реактор або резистор, а також заземленою одночасно через дугогасний реактор і резистор”. Отже можна зробити висновок, що лінії електропередачі середньої напруги можна розділити за типом заземлення нейтралі на наступні види:

- мережі з ізольованою нейтраллю;
- мережі з компенсованою нейтраллю;
- мережі з резистивно заземленою нейтраллю;
- мережі з комбінованою нейтраллю (одночасне використання дугогасного реактора і резистора).

Схема мережі з ізолюваною нейтраллю в ненавантаженому режимі роботи показана на рис. 1.1 (а), а векторну діаграму розподілу напруг при цьому режимі наведено на рис. 1.1 (б).

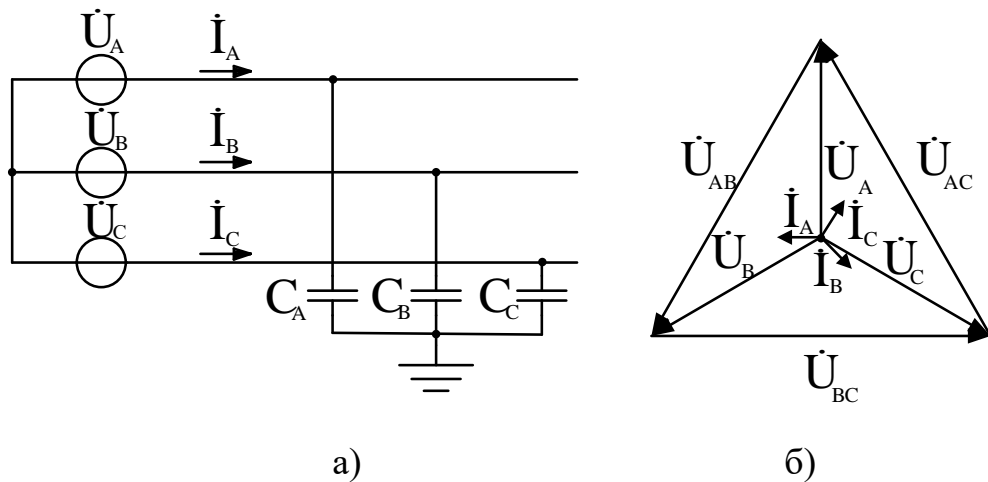


Рисунок 1.1 – Схема мережі з ізолюваною нейтраллю (а), векторна струмів та напруг діаграма (б)

В даній мережі, як і мережах з компенсованою та резистивно заземленою нейтраллю, при замикання на землю, споживачі будуть отримувати живлення по всім трьом фазам, проте потенціал пошкодженої фази стане нульовим, а напруги непошкоджених фаз збільшуються до лінійних значень, як показано на векторній діаграмі на рис. 1.2.

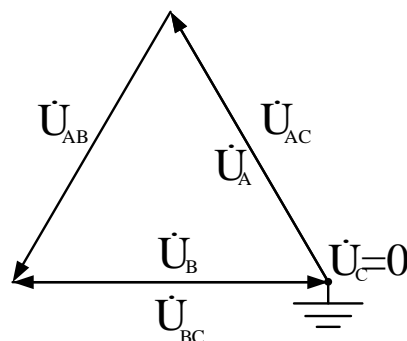


Рисунок 1.2 – Векторна діаграма напруг при виникненні ОЗЗ в мережі з ізолюваною нейтраллю

Використання компенсованої нейтралі (рис. 1.3) в мережі середньої напруги пояснюється тим, що електричні мережі даної напругою характеризуються невеликими струмами замикання на землю, тому в таких мережах більш доцільним є обмеження струмів замикання на землю. Це дозволяє спростити конструкцію електроустановок та забезпечити їх економічність [2] та забезпечити достатній рівень електробезпеки.

Для заземлення в мережах середньої напруги в якості пристроїв для компенсації застосовують:

- пристрої зі ступінчастим регулюванням індуктивності, наприклад, однофазні заземлюючі масляні реактори чи однофазні ступінчасті масляні дугогасні заземлюючі реактори;
- дугогасний реактор з плавним регулюванням індуктивності зміною зазору магнітопроводу (наприклад, реактори заземлюючі дугогасні плавно-регульовані однофазні масляні, котушки дугогасні регульовані).

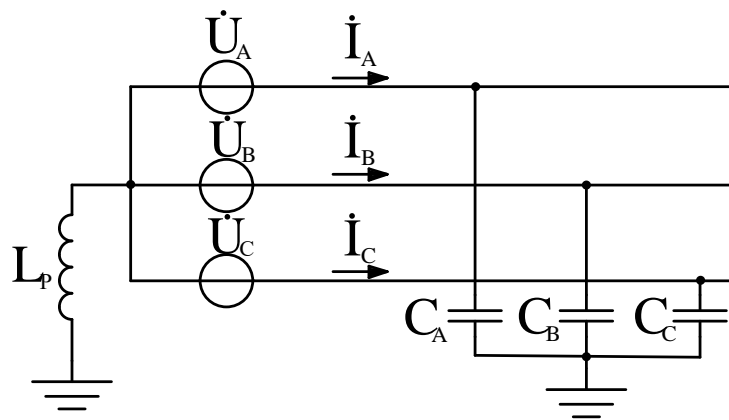


Рисунок 1.3 – Схема мережі із заземленою через дугогасний реактор нейтраллю

В [3] зазначається, що компенсація ємнісного струму через дугогасний реактор (котушка Петерсона) застосовується у випадках, коли ємнісний струм I_c в нормальному режимі роботи мережі 10 кВ буде:

- понад 10 А, за умови, що ПЛ мають залізобетонні або металеві опори;
- понад 20 А, за умови, що ПЛ не мають залізобетонні або металеві опори.

Компенсацію струмів замикання на землю часто застосовують в розгалужених кабельних мережах промислових підприємств та міст.

Також потрібно зазначити, що кабельна ізоляція на відміну від повітряної зазвичай не є самовідновними. Тобто, один раз виникнувши, пошкодження саме по собі не усувається, навіть незважаючи на практично повну компенсацію ємнісного струму в місці пошкодження. Тому одна з позитивних властивостей режиму компенсовано заземленої нейтралі є самоліквідація однофазних замикань, для кабельних мереж виявляється недоступною.

Мережі з компенсованою чи ізольованою нейтраллю, в порівнянні з мережами з ефективно заземленими нейтраллями, мають наступні переваги [4]:

- за наявності в мережі однофазного замикання на землю, мережа має можливість довготривалої роботи;
- простіша реалізація мережі, оскільки немає вже потреби встановлювати робоче заземлення нейтралі;
- можливість самоліквідації пошкодження, через існування великої імовірності самопогашення дуги, що часто виникає за однофазних замикань на землю.

Але, як показав досвід експлуатації [4], такі мережі мають і недоліки. Основі з них, наведені нижче:

- порівняно з мережами із ефективно заземленими нейтраллями значення допустимого опору заземлення корпусів обладнання є більшим;
- можливе погіршення умов електробезпеки для людей та тварин за недопустимо великих крокових напруг та напруг дотику, що виникають при однофазних замикань на землю і обривах проводів ліній електропередач;
- виникнення істотних перенапруг, особливо за дугового однофазного замикання на землю, та швидше старіння ізоляції через їх існування;
- велика імовірність виникнення ферорезонансних процесів, що супроводжуються перенапругами (як на субгармоніках, так і на вищих частотах).

Виникнення ферорезонансних процесів може призводити до пошкодження

електромагнітних трансформаторів напруги і виникнення повторних однофазних замикань та переходу їх в подвійне замикань.

В 2006 році було переглянуто Правила улаштування електроустановок, і главою 1.7, в Україні, у розподільчих мережах середньої напруги було дозволено застосовувати заземлення нейтралі через резистор (рис. 1.4). Так там же ж розрізняють заземлення нейтралі через низькоомний та високоомний резистори.

Мережа з високоомним резисторним заземленням нейтралі являє собою мережу в якій величина струму замикання на землю обмежується до 10 А, причому вірним є відношення опорів $R_0 \leq X_{c0}$ (відповідно R_0 – фазний активний опір нульової послідовності мережі, X_{c0} – розподілений за фазою ємнісний опір мережі), чим забезпечується зниження перенапруг від електричної дуги при ОЗЗ і є можливість продовження роботи із замиканням на землю [4]. Тому його застосовують, у тих випадках, якщо захист від замикання на землю працює на сигнал.

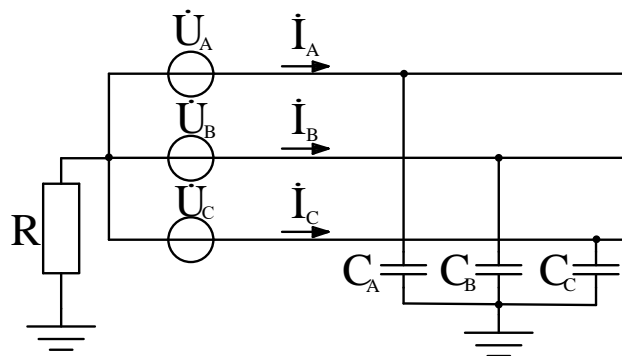


Рисунок 1.4 – Мережа із резисторно заземленою нейтраллю

Електрична мережа з низькоомний резисторним заземленням нейтралі представляє собою мережу, вірним для якої є співвідношення $R_0/X_0 \leq 2$, а струм замикання на землю (сума активної складової струму від резистора та ємнісної від мережі) може становити від 100 до 1000 А, що дозволяє оперативно вимкнути пошкоджене приєднання. Відповідно його застосовують для швидкого

селективного вимикання ОЗЗ захистом, при чому також забезпечується зменшення перенапруг і відсутність ферорезонансних явищ.

Широке використання резисторного режиму заземлення нейтралі в зарубіжних країнах зумовлене рядом переваг, до них відносять [6, 7, 8, 9]:

- відсутність в мережі ферорезонансних явищ і, як наслідок унеможливлення пошкодження вимірювальних трансформаторів напруги від даних явищ;
- можливість якісно організувати селективний релейний захист від ОЗЗ;

Одним із головних недоліків мереж із заземленням нейтралі через низькоомний резистор, вважається, що при її впровадженні з'являються труднощі, як з дугогасінням, так і з виконанням вимог захисту від ураження електричним струмом людей і тварин в місці з ОЗЗ. Дана проблема особливо представлена в мережах з повітряними лініями і також на підстанціях приєднаних до ПЛ.

Використання того чи іншого режиму заземлення потребує вирішення наступних питань [3, 5], згідно з вимогами чинних нормативних документів:

- 1) забезпечення надійності електропостачання електроспоживачів;
- 2) недопущення значних пошкоджень електрообладнання через перенапруги внаслідок ферорезонансних явищ зумовлених струмами ОЗЗ;
- 3) запобігання ураженню природних заземлювачів і не допускання переходу однофазного замикання в подвійне замикання на землю;
- 4) забезпечення безпечної експлуатації електричної мережі і приєднаних до неї електроспоживачів;
- 5) організація ефективного захисту від ОЗЗ.

Повітряні лінії електропередачі 10 кВ формують основу розподільних електричних мереж забезпечуючи передачу електроенергії від електричних підстанцій до кінцевих споживачів. Відповідно до плану розвитку розподільних електричних мереж на 2016-2025 роки [10], в загальній кількісній характеристиці існуючих електричних мереж 0,4 – 110 (150) кВ

енергопостачальних компаній, протяжність повітряних ліній 10(6) кВ по всій Україні становить 253705,8 км, що становить 36,6 % від ЛЕП напруги 0,4 – 110 (150) кВ (найменш протяжні лінії 110 кВ – всього 34823,5 км.). Так в свою чергу згідно з [11] станом на 2018 року протяжність ліній ПЛ 10 кВ в Рівненській області становить 9191,43 км, що становить 3,6 % від загальної довжини ліній даної напруги та території України, та перевищує сумарну протяжність мереж вищих ступенів напруги (35–110 кВ) області у понад 5 рази (відповідно 1764,75 км).

1.2 Можливі аварійні режими

Виділяють [4, 12, 13] такі основні види пошкоджень ліній електропередачі:

- міжфазні короткі замикання (виділяють двофазні та трифазні);
- в мережі з ефективно заземленою нейтраллю – одно- та двофазні короткі замикання на землю;
- в мережі з ізольованою чи компенсованою нейтраллю – однофазні короткі замикання на землю.

У мережах із ефективно заземленими нейтраллями пошкодження супроводжуються значним рівнем струмів. Це призводить до появи додаткових механічних навантажень на лінію та перегрівання самих провідників, що може бути причиною виходу її з ладу. Також це супроводжуються пониженням напруги на підстанціях, а отже й в мережі, що може спричиняти порушення стійкості роботи енергосистеми.

Для мереж з ізольованою нейтраллю у разі виникнення ОЗЗ рівень струму замикання незначний – від кількох ампер до кількох десятків ампер. Згідно з [3] допустимий струм замикання може доходити до 30 А для мереж 6 кВ, для мереж 10 кВ – до 20 А, та для мереж 35 кВ – до 10 А. Роботу електричної мережі з ізольованою нейтраллю в режимі замикання на землю показано на рис. 1.5.

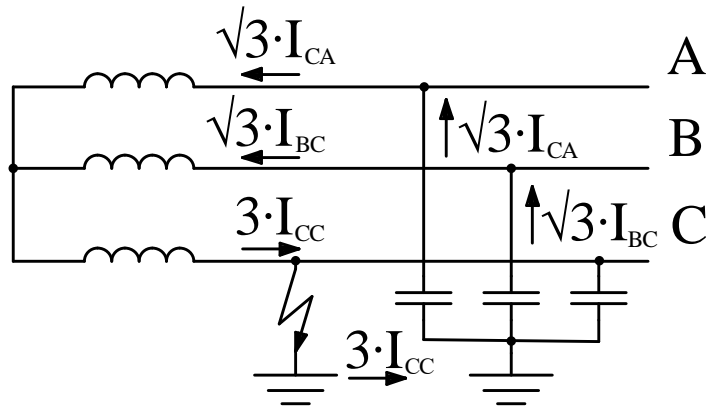


Рисунок 1.5 – Схема мережі із ізольованою нейтраллю при виникненні ОЗЗ

У разі більших значень струмів необхідно встановлювати заземлюючі дугогасні реактори. Схема розподілу струмів в мережі з компенсованою нейтраллю при однофазному замиканні на землю показана на рис. 1.6.

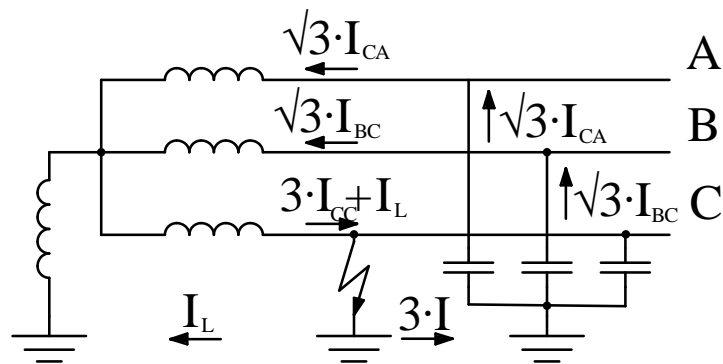


Рисунок 1.6 – Схема мережі з компенсованою нейтраллю при виникненні ОЗЗ

Проте через незначні значення струмів замикання на землю в мережах з компенсованою нейтраллю дуже складно виконати чутливий селективний струмовий захист від замикань на землю. Також в [3] зазначається, що при встановленні в мережі середньої напруги селективного захисту від ОЗЗ, що діють на вимикання пошкодженої лінії, компенсація ємнісного струму при цьому не вимагається. В таких мережах під час виникнення ОЗЗ можуть виникати ферорезонансні явища, які зумовлюють значне підвищення фазних напруг мережі (напруги можуть досягати чотирьох кратного значення від номінальної),

що може спричинити пробій ізоляції обладнання. Пошкоджуються в основному трансформатори напруги, при чому також можуть пошкоджуватись і кабелі.

Під час аварій можливий її розвиток, тобто перехід одного виду пошкодження в інші (наприклад, з однофазного замикання в міжфазне). В основному пошкодження не має стійкого контакту, тому воно супроводжується горінням дуги. Дуга має практично активний опір, що змінюється під час розвитку аварії, так перший момент часу аварії опір дуги мінімальний і струм максимальний.

Під час розвитку аварії зростає довжина дуги, що збільшує опір дуги до 5 – 20 Ом, внаслідок цього, струм замикання на землю зменшується, до того ж за рахунок електродинамічних сил, можливе також переміщення дуги по струмоведучих частинах [8].

Однофазні замикання на землю є найчастішим видом пошкоджень в електричних мережах 10 кВ (близько 60 – 85 % від загального числа електричних пошкоджень) [4, 12, 13, 14]. Так не своєчасне визначення замикання є часто першопричиною аварій, що будуть супроводжуватися значними економічними збитками для електророзподільних компаній. На відміну від інших різновидів коротких замикань (трифазного чи двофазного), однофазне коротке замикання істотно відрізняються значеннями електричних величин, які підводяться до вимірювальних органів захисту. Пошкодження спричиненні однофазним замиканням можна розділити на дві групи: стійкі і нестійкі.

Нестійкі пошкодження можуть самоусуватися чи залишатися нестійкими або ж переходити у стійкі (за певних умов). Для визначення місця пошкодження важливо знати фізику процесів, параметри як стійких, так і нестійких пошкоджень.

Однофазні замикання на землю можна додатково розділити на дугові та бездугові. Так бездугове замикання протікає при виникненні надійного гальванічного зв'язку пошкодженої фази із землею, якщо замість землі

гальванічний зв'язок утворюється із заземленим корпусом електроустаткування, то даний тип замикання називають металевим однофазним замиканням на землю. Утворення зв'язку фази із землею через неметалеві предмети (наприклад, через дерев'яну траверсу або стійку опори чи при падінні проводів на сухий ґрунт) відносять до однофазного замикання через активний перехідний опір. В такому випадку опір буде складатися з послідовно з'єднаних елементів, що контактують з фазою та опору розтікання струму в землі [2, 3, 12].

Не потрібно забувати, що одним з важливих показників є питома пошкоджуваність електроустановок та їх частин. Цей показник може залежить не тільки від області застосування систем електропостачання, а також від показників характерних для цього регіону, наприклад, кліматичних особливостей, забруднення середовища й низки інших. Тому дані, що наведені в різних літературних джерелах, можуть розглядатися лише як орієнтовні.

Так, наприклад, в [12] авторами було проаналізовано пошкоджуваність у повітряних розподільних мережах напругою 10 кВ ПрАТ "Вінницяобленерго" за десять років. Аналіз показав, що в середньому на рік виникало 565 пошкоджень, причини яких наступні:

- 32 % випадків пов'язані з пробоем ізоляторів (181 пошкоджень);
- 23 % випадків пов'язані з обривом провідників (130 пошкоджень);
- 8,7 % випадків пов'язані з перекриттям ізоляції між фазами (49 пошкоджень);
- 8,5 % випадків пов'язані з пробоем і пошкодження розрядників (48 пошкоджень);
- 6,2 % випадків пов'язані з обривом в'язок (34 пошкоджень);
- 21,6 % інших випадків (123 пошкоджень).

Так кількість пошкоджень, що супроводжуються наступними його видами:

- стійкими ОЗЗ склало 63,2 %;
- міжфазні короткими замиканнями – 9,7 %;
- подвійні замикань на землю – 5,2 %;

- обрив проводу – 6,2 %;
- інших випадки – 15,7 %.

Ці дані близькі до середніх значень зазначених в [3], відповідно показники яких наступні:

- однофазні короткі замикання – до 65 %;
- двофазні короткі замикання – до 30 %;
- трифазні короткі замикання – 5 %.

1.3 Засоби захисту

Основним питанням при виборі режиму заземлення нейтралі мережі є вирішення питання селективно вимикати однофазне замикання на землю чи зберегти його для швидкого знаходження і локалізації пошуку.

Захист від однофазного замикання на землю в мережі 10 кВ повинен діяти на сигнал або на вимкнення, або ж те і інше разом. Захисти на вимкнення повинні діяти тоді, коли є небезпека для людей (ураження електричним струмом при виникненні ОЗЗ). Насамперед це стосується кар'єрів, шахт, пересувних підстанцій. У випадках коли немає небезпеки для людей та тварин [3], захист може діяти на сигнал, з наступним пошуком та вимкненням пошкодженого елемента мережі [4, 10, 11].

Для захисту від однофазних замикань на землю в мережах 10 кВ використовують наступні принципи [14, 15]:

- 1) вимірювання напруги $3U_0$ нульової послідовності (являється універсальним принципом);
- 2) вимірювання струму $3I_0$ нульової послідовності промислової частоти 50 Гц (застосовується для резистивного режиму і в окремих випадках з ізолюваною нейтраллю);
- 3) вимірювання і порівняння гармонічних складових в струмі ОЗЗ всіх приєднань (режим компенсованої нейтралі);

- 4) вимірювання потужності нульової послідовності промислової частоти (режим ізольованої нейтралі);
- 5) вимірювання перехідних струмів і напруг нульової послідовності при виникненні ОЗЗ (режими ізольованої і компенсованої нейтралі).

В мережах з ізольованою (або компенсованою) нейтраллю практично всі наявні на території України [4, 12] пристрої захисту ліній від однофазних замикань на землю в якості вхідної величини використовують напруги та струми нульової послідовності ліній [4], схеми під'єднання таких вимірювальних органів наведені на рис. 1.7.

Для вимірних органів струму притаманна одна особливість. Для того, щоб струми, які протікають по броні та провідній оболонці кабелю компенсувалися, від кінцевої розробки кабелю (інакше воронки) через вікно трансформатора струму нульової послідовності прокладають провідник у напрямку кабелю, що заземлюють з іншого кінця (за рахунок струму, що протікає по цьому провіднику в протилежному напрямку) [4, 12, 13]. В такий спосіб запобігається хибна робота захистів від однофазного замикання.

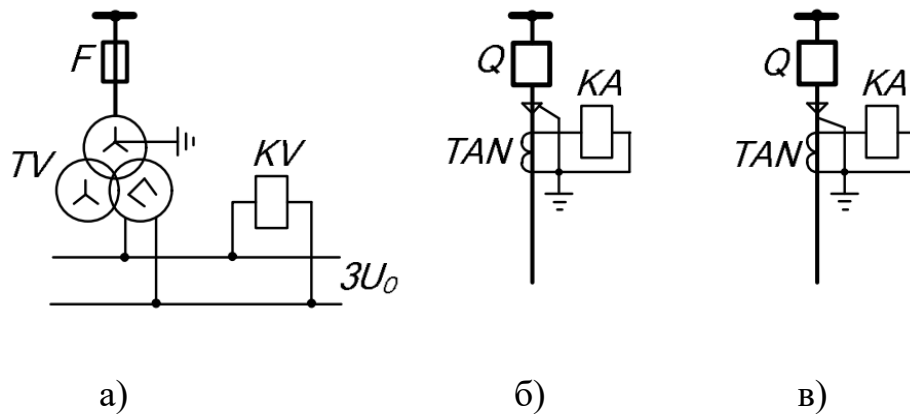


Рисунок 1.7 – Схеми під'єднання вимірних органів напруги (а) та струму (б, в) нульової послідовності

Перший принцип, а саме фіксація факту виникнення однофазного замикання на землю за напругою нульової послідовності, використовує пристрій контролю ізоляції. Більшість пристроїв контролю ізоляції виконуються з

використанням трансформаторів напруги: або трифазних п'ятистержневих трансформатор або трьох однофазних трансформаторів напруги, з'єднаних за схемою відкритого трикутника з заземленою нейтраллю [12]. Як правило, на трансформатори, що живлять підстанціях, встановлюються трифазні п'ятистержневих трансформатори напруги з трьома обмотками: первинної, вторинної та додаткової, з'єднаної за схемою “розімкнутий трикутник”.

Так пристрій контролю ізоляції може бути виконано кількома способами. Наприклад, за допомогою трьох вольтметрів V1-V3 (рис.1.8), включених на фазні напруги вторинної обмотки трансформатора напруги, або ж замість трьох вольтметрів може бути встановлений тільки один вольтметр з перемикачем.

При нормальному симетричному режимі лінії, покази всіх трьох вольтметрів будуть однаковими, а при замиканні на лінії однієї з фази на землю покази вольтметра пошкодженої фази можуть різко знизяться аж до нуля (при металевому замиканні). По при це показання вольтметрів інших фаз можуть збільшитися аж в 1,73 рази (також при металевому замиканні). Для організації дії захисту на сигнал в таку схему може додатково встановлено сигнальне реле РС (рис.1.8).

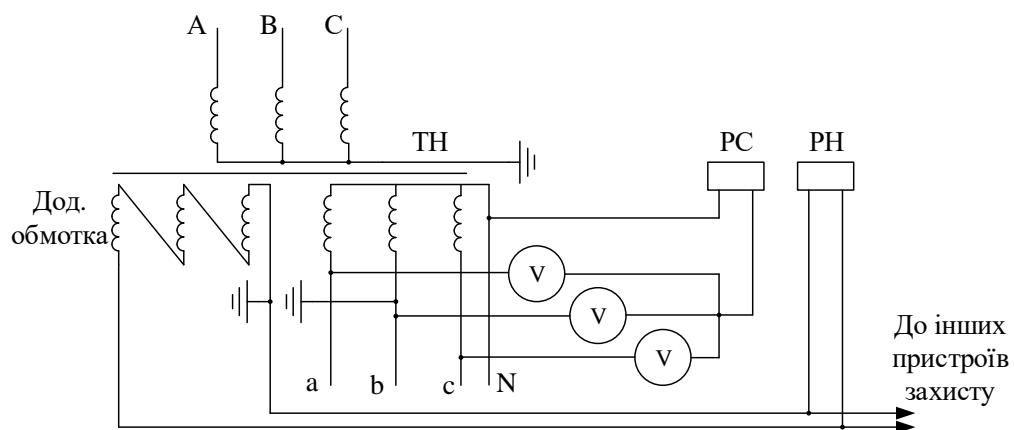


Рисунок 1.8 – Схем включення пристроїв контролю ізоляції (РС) і захисту напруги нульової послідовності (РН)

Як вже було сказано вище, в нормальному режимі сума фазних напруг дорівнює нулю, тому реле пристроїв контролю ізоляції не спрацьовує. При ОЗЗ однієї з фази, напруга нульової точки N вольтметрів стає рівним сумі напруг непошкоджених фаз, в наслідок чого реле захисту напруги нульової послідовності спрацьовує.

Для виконання сигналізації замикань на землі також використовують інший спосіб – це використання додаткової (третьої) обмотки трансформатора напруги, яка з'єднана за схемою “розімкнутого трикутника”, яка в свою чергу слугує фільтром напруги нульової послідовності $3U_0$ (рис. 1.8). У нормальному режимі мережі при симетричних напружених фаз A , B і C на виводах цієї обмотки і відповідно на реле РН напруга практично відсутня (проте існує напруга небалансу, значення якого зазвичай не перевищує 1 В). Наявність цієї напруги свідчить про працездатність ТН, відсутності обривів чи замикань в його вторинних ланцюгах.

Під впливом напруги нульової послідовності $3U_0$, яка при металевому замиканні може досягати 100 В, максимальне реле напруги РН (наприклад, реле напруги РН-53) спрацьовує на сигнал або ж на відключення. Також потрібно зазначити, що в мережах з ізолюваною (або компенсованою) нейтраллю можуть виникати ферорезонансні процеси. У таких мережах може виникати як паралельний так і послідовний ферорезонанс (відповідно резонанси струму та напруги). Ферорезонансний процес може виникати тільки за певних умов, тобто в мережі, де під'єднані нелінійні електричні апарати, такі як вимірювальні електромагнітні трансформатори напруги та силові трансформатори. Як показує досвід експлуатації [4], саме через ферорезонанс кожного року виходить з ладу до 10% трансформаторів напруги.

Пристрій контролю ізоляції, такий як максимальний захист напруги нульової послідовності (реле РН на рис. 1.8) є дуже простий і чутливим захистом від замикань на землю, але має один недолік – він не є селективним [12, 13]. Потрібно зазначити, що даний вид захисту в основному виконується з дією на

сигнал, окрім випадків мереж з підвищеними вимогами до електробезпеки (торфорозробках, шахти та інші) і мереж заземлених через низькоомний резистор.

Другий принцип, використовують струмові захисти нульової послідовності, ненаправленої, з незалежної або зворотнозалежну струмочасовою характеристикою [15]. Захист в мережах 10 кВ, що працюють, в режимі з ізольованою нейтралі та в режимі нейтралі, заземленої через резистор виконується в вигляді струмового захисту, що реагує на діюче значення повного струму нульової послідовності промислової частоти ($3I_0$).

По при менший вплив кидка ємнісного струму на роботу сучасних реле при зовнішніх ОЗЗ, не завжди вдається забезпечити селективність розглянутих вище типів захисту в мережі з ізольованою нейтраллю, особливо це стосується мережах з нестабільною первинної схемою мережі та мережі з малою кількістю вихідних фідерів, а також мережі 10 кВ, що працюють з перекомпенсацією, дозволеної в [3]. А у випадку повної компенсації ємнісного струму (резонансно налаштованого дугогасного реактора) даний принцип виконання захисту від однофазного замикання на землю практично не може бути використаний.

У повітряної ЛЕП 10 кВ дані струмові ненаправлені захисти нульової послідовності використовуються порівняно рідше. Оскільки для побудови даного захисту є необхідним для включення вимірювального органу захисту - кабельна "вставка" для включення кабельного трансформатора струму нульової послідовності, а також тому, що в повітряних мережах порівняно невеликі значення струмів замикання на землю при однофазних замиканнях на землю.

У режимі резистивного заземлення нейтралі (через високоомний або ж низькоомний резистор) розглянутий вище струмовий ненаправлений захист може мати більшу чутливість, оскільки при виникненні ОЗЗ, до сумарного ємнісного струму мережі I_{Σ} додається активний струм резистивного заземлення.

Також принцип вимірювання струму $3I_0$ нульової послідовності використовують в спрямованих захистах типу ЗЗП-1М і ЗЗН [4]. Спрямований

захист типу ЗЗП-1М (являється напівпровідниковим реле) відповідно призначений для селективного відключення ліній при однофазних замиканнях на землю в мережах з сумарним ємнісним струмом більшим 0,2 А [4]. Проте це значення є прийнятним тільки при металічному ОЗЗ, тому з урахуванням деякого запасу по чутливості, застосування пристрою ЗЗП-1М доцільно в тих мережах 10 кВ, де мінімальне значення сумарного ємнісного струму буде в 2,5 - 3 рази вищим.

Спрямований захист ЗЗП-1М підключаються до кабельного трансформатору струму нульової послідовності ТСНП (рис. 1.9), у зв'язку з чим захищається повітряна лінія повинна мати кабельну вставку. Даний недолік захисту обмежує його більш широке застосування для повітряних ліній. Кола захисту напруги ЗЗП-1М включаються на напругу $3U_0$, що отримується від обмотки, з'єднаної в "розімкнутий трикутник", трансформатора напруги ТН.

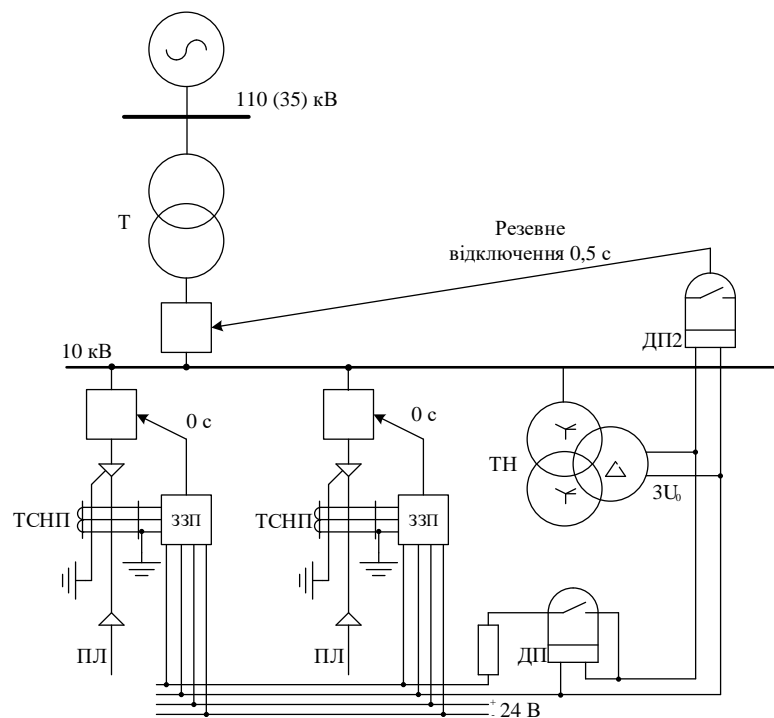


Рисунок 1.9 – Принципова схема включення спрямованого захисту від однофазного замикання на землю типу ЗЗП-1М

Для захисту елементів ЗЗП-1М від вищих гармонік, які наявні в напрузі нульової послідовності $3U_0$, використовують фільтр з резонансною частотою в 50 Гц.

Замість ЗЗП-1М випускається вдосконалений спрямований захист нульової послідовності, що використовує промислову частоту типу ЗЗН. Даний захист призначений для селективного відключення приєднання, що захищається, при однофазних замиканнях на землю в некомпенсованих мережах 10 кВ з первинним струмом замикання на землю від 0,2 А (що відповідає мінімальній сумарній довжині непошкоджених кабельних ліній мережі 10 кВ - 0,2 км або повітряних ліній 7 км [13]), за умови використання кабельних трансформаторів нульової послідовності.

Попередньо згаданими принципами керується пристрій УЗС. Він реагує на струми і напруги перехідного процесу при замиканнях на землю, і відповідно призначений для селективного захисту (або сигналізації) при замиканнях на землю, як в повітряних, так і в кабельних мережах середньої напругою (в залежності від режиму роботи їх нейтралі). Пристрій забезпечує захист, як від стійких, так і від нестійких замикань [13].

Принцип дії УСЗ заснований на контролі напрямку поширення струмів і напруг перехідного процесу, що виникають при однофазних замиканнях на землю і поширюються до місць установки захисту (кінців ліній). Його робота полягає в запам'ятовуванні й порівнянні знаків струму $3I_0$ і напруги $3U_0$ в початковий момент часу в місці замикання. Якщо в результаті порівняння знаки співпадають, то фіксується ОЗЗ в напрямку, що захищається, а в іншому випадку пристроєм реєструється вже виникнення зовнішнього ОЗЗ.

Пристрої ЗЗП-1М, ЗЗН і УЗС мають загальний недолік, що обмежує їх застосування для захисту повітряних ліній 10 кВ: для включення їх потрібно кабельний ввід (вставка), або окремо у випадку з УЗС є необхідними три трансформатора струму.

Наступними розглядатися будуть пристрої сигналізації замикань на землю, які вимірюють вищі гармонічні складові струму при ОЗЗ (відповідно третій принцип). В мережах України з компенсованою нейтраллю представлені два типи пристроїв сигналізації замикань на землю [4], що вимірюють суму вищих гармонік в струмі – це УСЗ-2/2 та УСЗ-3 (УСЗ-3М).

Принцип роботи реле УСЗ-2/2 є індивідуальним захистом ліній, і відповідно ґрунтується на виявленні вищих гармонічних складових струму замикання на землю. Дане реле визначає діюче значення струмів вищих гармонік струму замикання і порівнює його з уставкою. З досвіду експлуатації [4, 13], застосування на головних ділянках мережі даного реле забезпечує необхідну чутливість. Пристрій УСЗ-2/2 не знайшло широкого застосування через відносно високу вартість, труднощі вибору уставок, можливості неселективного спрацьовування при дугових ОЗЗ та інших істотних недоліків [4].

Пристрій УСЗ-3 і УСЗ-3М є груповими захистами, і реагують на еквівалентне діюче значення вищих гармонік струму (від 150 до 650 Гц) кожного з приєднань, які захищають. За умови виникнення замикання на землю, що фіксує пристрій загальної сигналізації, наприклад реле РН-53, черговий вручну, за допомогою перемикача, яке є в реле, під'єднує по чергово трансформатори струму нульової послідовності всіх приєднань до реле, для визначення пошкодженої ділянки, що є його недоліком.

За допомогою УСЗ-3М можна виявити тільки стійке замикання на землю, але це не вважається недоліком [4, 9] і не перешкоджає широкому застосуванню в мережах 10 кВ.

Є розробки автоматичних пристроїв для одночасного вимірювання сум вищих гармонік на всіх лініях, що відходять, подальшого порівняння цих значень між собою і відповідно селективного виявлення пошкодженої лінії. Для прикладу в цифровому терміналі захисту лінії для мереж 10 кВ з резонансно-заземленою нейтраллю в пристроях SPAC 801.013 і в терміналі SPAC 810

передбачений струмовий ненаправлений захист від замикань на землю - вимір вищих гармонік струму, що є аналогом прямим пристрою УСЗ.

Потрібно також зазначити, існують ще декілька інших принципів виконання захистів від ОЗЗ які поки так і не стали розповсюдженими, через ті чи інші причини. Серед них можна виокремити наступні принципи: накладні струми, порівняння амплітуд перехідного струму. Короткий опис роботи даних принципів наводиться нижче.

Для визначення лінії з однофазним замиканням на землю в компенсованих мережах середньої напруги використовується принцип “накладення” на звичайну мережу стороннього змінного струму з частотою, відмінною від промислової, наприклад 25 Гц (також досліджувалася частота 100 Гц, проте вона не використовується через низьку заводостійкість). Для цього необхідно підключити в будь-якому місці контрольованої мережі 10 кВ спеціальну установку, яка постійно генерує струм відповідної частоти. При стійких однофазних замиканнях цей струм в основному проходить по пошкодженій приєднанню і сприймається захистом даного приєднання [13]. Проте це і є недоліком, тобто використання додаткового обладнання, що значно здорожується вартість виконання такого захисту.

Порівняння амплітуд перехідного струму полягає в тому, що амплітуда перехідного струму в момент виникнення замикання на землю (або ж пробою ізоляції) завжди вище амплітуди усталеного струму ОЗЗ, так же в свою чергу амплітуда струму пошкодженого приєднання завжди буде вище, ніж на будь-якому з непошкоджених приєднань даної мережі, що дозволяє виконати селективну захист (сигналізацію). Важливо відзначити, що і перехідний процес і його параметри в перший період після появи замикання на землю однакові для мереж 10 кВ незалежно від типу виконання нейтралі [12, 14], що дозволяє виконати захист достатньо чутливим і надійним. Однак захисту з порівнянням амплітуд перехідного струму в серійному виробництві поки немає.

Оскільки, вище згадані пристрої, як свідчить досвід експлуатації [4, 13], не завжди забезпечують потрібну чутливість та селективність, особливо в мережах з компенсацією ємнісного струму, та за зміни конфігурацій мереж. Тому, останнім часом, в енергосистемах почали замінювати їх на нові – цифрові захисти, в яких використовують мікропроцесори, контролери, з достатньо складними алгоритмами функціонування, виробництва як вітчизняних, так і зарубіжних фірм.

Так сучасні захисти на мікропроцесорній базі далеко не завжди вдається віднести до якогось конкретного класу, визначити конкретний принцип (на якому вони функціонують), оскільки в них зазвичай використовується кілька алгоритмів. Так зазвичай такі захисти використовують два і більше типові принципи.

На ринку в нас час представлені такі різновиди спрямованих струмових захистів від ОЗЗ зарубіжних виробників: термінал захисту SEPAM типу S41 фірми Schneider Electric; захист серії MiCOM моделей P14x фірми AREVA; захист серії SPACOM, наприклад, SPAC-810 фірми “ABB”; мікропроцесорні термінали SIPROTEC 7SJ62 і 7SJ63 фірми SIEMENS. Ці захисти, як і розглянуті вище, придатні для застосування в резистивно заземлених мережах. Більшість з цих захистів можна відносити як до класичних струмових спрямованих захистів так і до спрямованих захистах з “ненульовий” уставкою по потужності спрацьовування.

У багатофункціональних цифрових захистах таких серій як SPACOM, SIPROTEC, SEPAM, та інших, передбачений двоступеневий захист від ОЗЗ, що реагує на струм $3I_0$ і напруга $3U_0$ нульової послідовності промислової частоти. Справа в тому, що в зарубіжній практиці [5] в розподільних мережах трансформатори струму встановлюються на всіх трьох фазах, причому у випадку кабельних мереж, крім того, встановлюється трансформатор струму кабельного типу. Так, на реле бути подані два види струму нульової послідовності: і від кабельного трансформаторів струму нульової послідовності і з нульового проводу трьох трансформаторної схеми “повна зірка”.

Більшість зарубіжних релейних терміналів можуть правильно функціонувати в режимах з переривчастою дугою, для цього, після спрацьовування струмового органу є можливість використовувати короткочасну затримку часу на його повернення. При цьому захист може діяти миттєво і також з витримкою часу. Є можливість використовувати “струмозалежну” витримку часу. Також в цих терміналах використовуються фільтри, які виділяють синусоїдальну складову промислової частоти, що дозволяє покращити селективність обмеживши вплив зовнішніх ОЗЗ. Попри це вважається, що через це не можна гарантувати їх правильну роботу, наприклад, в процесі горіння переривчастої дуги.

Вдале рішення захисту від обривів проводу має захисту типу P-142 фірми AREVA [16]. Адже захисти, що реагують на струм зворотної послідовності, не завжди ефективні на ЛЕП при малих струмах навантаження в нормальному режимі роботи. Так в ньому є спеціальна опція виявлення обриву проводів повітряних ЛЕП, тобто міститься елемент, який вимірює відношення струмів зворотної і прямої послідовності.

До недоліків мікропроцесорних пристроїв захисту відносяться: складність і висока вартість пристроїв, неповна об'єктивність рекламованих характеристик, а також не повною мірою пристосованість до особливостей електромереж України (робота в мережах з компенсованою нейтраллю).

Потрібно відзначити, що деякі вітчизняні зразки вже показали значну ефективність, порівняно з відомими зарубіжними пристроями. Зокрема, це цифрові пристрої “Альтра”, які розробили співробітники Інституту мікропроцесорних систем керування об'єктами енергетики та на кафедрі електричних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка”. Він був створений для захисту від замикань на землю мереж з ізольованою та компенсованою нейтраллю.

Схема під'єднання пристрою наведена на рис. 1.11. Такі пристрої встановлені в різних енергосистемах і проходять дослідну експлуатацію. За час

експлуатації [4, 17] пристрої показали високу ефективність роботи як в мережах з ізольованою нейтраллю, так і в компенсованих мережах – ні одного хибного спрацювання, всі спрацювання селективні. Також вони досліджувалися і на фізичних моделях які якісно моделювали мережу, і також показали відмінні результати [17].

За структурою алгоритму роботи пристрій захисту “Альтра” є аналогом реле УСЗ-3, УСЗ-3М. На рис.1.11 видно, що окрім струмів нульової послідовності, до нього також підводять три фазних напруги та напругу нульової послідовності джерела живлення приєднань, які захищають.

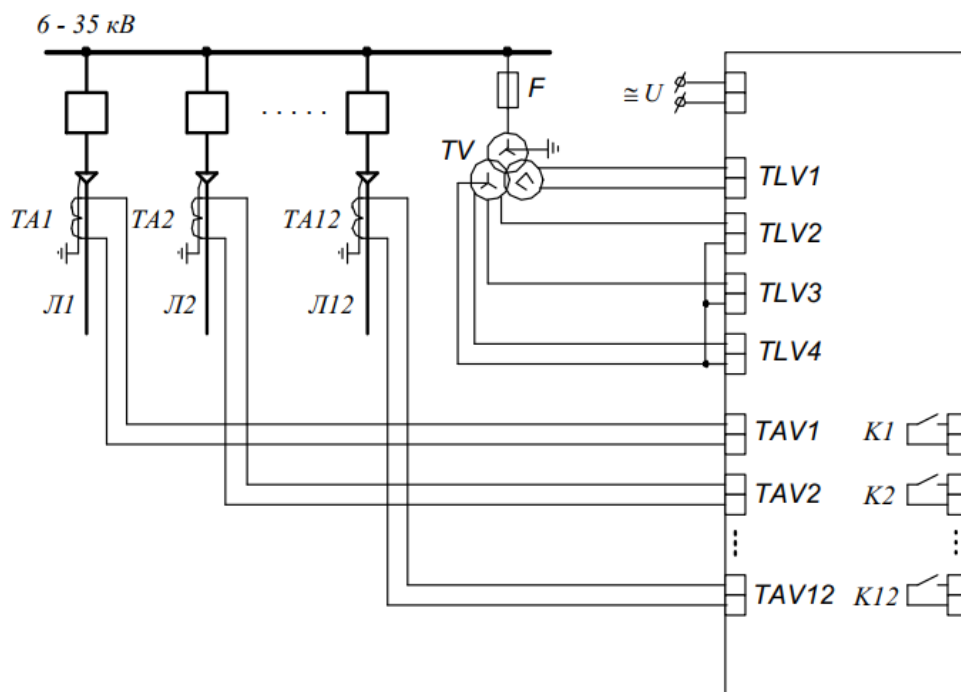


Рисунок 1.11 - Схема під'єднання пристрою “Альтра”

1.4 Мета і задачі

Метою даної магістерської роботи є підвищення ефективності пошуку замикань на землю шляхом дослідження однофазних замикань на землю в мережі 10 кВ при різних режимах заземлення нейтралі та розроблення способу захисту.

Для успішного досягнення мети потрібно вирішити наступні завдання:

- сформувати комп'ютерну модель електричної мережі напругою 10 кВ та обґрунтувати значення параметрів для мережі конкретної конфігурації;
- проаналізувати величину струму однофазні замикання на землю при різних типах заземлення нейтралі;
- розробити спосіб захисту мережі від однофазних замикань на землю.

1.5 Висновки

Найчастішим видом пошкоджень в електричних мережах 10 кВ є однофазні замикання на землю, які складають близько 60 – 85 % від загального числа електричних пошкоджень. При чому несвоєчасне визначення однофазного короткого замикання в основному є першопричиною аварій, що супроводжуються значними економічними збитками для електророзподільних підприємств. Однофазне коротке замикання істотно відрізняються, від інших видів замикань в мережі 10 кВ, своїми значеннями електричних величин, які підводяться до вимірювальних органів захисту і як результат впливають на умови функціонування останніх.

Так для захисту від ОЗЗ в мережах 10 кВ з різними режимами роботи нейтралі використовують такі принципи як: вимірювання напруги $3U_0$ нульової послідовності; вимірювання струму $3I_0$ нульової послідовності промислової частоти 50 Гц; вимірювання і порівняння гармонічних складових в струмі однофазного замикання на землю всіх приєднань; вимірювання потужності нульової послідовності промислової частоти; вимірювання перехідних струмів і напруг нульової послідовності при виникненні ОЗЗ.

Навіть сучасні цифрові комплекси з функцією захисту від ОЗЗ не мають можливості повністю вирішити проблеми пов'язані з визначенням однофазного замикання на землю. Також потрібно зазначити, що через свою високу ціну вони не так швидко замінять старі аналогові та напівпровідникові реле в мережах України. Тому дослідження ОЗЗ в мережах 10 кВ і розробка засобів захисту від них є досить актуальною і в сучасних реаліях.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ 10 КВ ПРИ ОДНОФАЗНОМУ ЗАМИКАНІ НА ЗЕМЛЮ

2.1 Обґрунтування параметрів схеми заміщення

Подання раціональними заступними схемами елементів електричних мереж та обчислення їхніх параметрів є необхідною умовою створення розрахункових моделей, які дають змогу отримати достовірні результати режимів їхньої роботи. Модельована схема електричної мережі 10 кВ складається із заступних схем таких елементів: повітряної лінії, трансформаторів, ДГР, навантаження, джерел електричної енергії. Розраховуючи режими роботи електроенергетичних систем, заступні схеми елементів подають в однолінійному виконанні, оскільки параметри усіх фаз симетричні [2].

Для будь якої елементарної електричної ділянки лінії, незалежно від довжини, притаманні як поздовжні так і поперечні опори. В свою чергу поздовжні опори ділянки лінії обумовлені активними складовими провідів і індуктивностями ділянок, а поперечні опори визначають струми витoku, що з'являються внаслідок недосконалості ізоляції між проводами.

Як наслідок, електрична мережа або ж її частина може бути представлена у вигляді сукупності елементарних ділянок, що складаються з послідовно включених активного і індуктивного опорів та до них паралельно включених активної провідності і ємності.

Процеси в лініях електропередачі в загальному випадку досліджують на підставі теорії електричних ланцюгів з розподіленими параметрами [1, 2, 15]. При цьому потрібно припустити, що струм у всіх точка лінії однаковий. Це обґрунтовано тим, що довжина лінії середньої напруги по відношенню до довжини хвилі значно менша.

На основі вище згаданої інформації розглядати лінії в такому випадку можна з зосередженими, а не розподіленими параметрами. Схема заміщення повітряної ЛЕП 10 кВ [2], яка використовується при створенні комп'ютерної моделі, наведена на рис. 2.3.

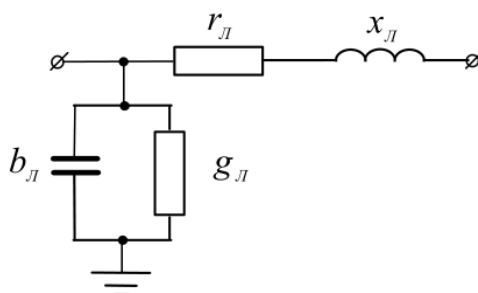


Рисунок 2.3 – Заступна “Г” подібна схеми повітряної ЛЕП 10 кВ

Активний опір повітряної лінії пояснюється нагрівом провідника внаслідок проходження по ньому струму. Для проводів АС (сталеалюмінієвих), які є основними для повітряних ЛЕП, активний опір визначається головним чином алюмінієвої частиною проводу. Так як активний опір, насамперед, залежить від матеріалу самого провідника, його довжини і перетину, значення опору можна отримати з наступної формули:

$$R = \rho \frac{l}{F}, \quad (2.1)$$

де ρ - питомий опір провідника, Ом · мм²/км ;

l - довжина лінії, км;

F - перетин, мм².

Оскільки в довідкових матеріалах питомий опір лінії завжди наводиться в Ом / км, то еквівалентний опір визначається з наступної формули:

$$R_e = \frac{R_0 l}{n}, \quad (2.2)$$

де n – число паралельних ліній електропередачі, для дво- і більше ланцюгових ліній.

Для розрахунку погонного опору фази лінії можна скористатися наступною формулою, за умови, що лінія одноланцюгова:

$$x_0 = 0.1445 \cdot \lg \frac{D_{сер}}{r_e} + 0.0157 \cdot \mu, \quad (2.3)$$

де $D_{сер}$ - середньгеометрична відстань між проводами різних фаз;

r_e - еквівалентний радіус фази;

μ - магнітна проникність (для алюмінію приймається $\mu = 1$).

Враховуючи формулу (2.3) можна отримати питомий індуктивний опір повітряної ЛЕП за формулою наступною формулою:

$$X_n = x_0 \cdot l. \quad (2.4)$$

Активна провідність в лінії визначається в основному втратами активної потужності в діелектриках. Так у випадку повітряної лінії, це пов'язано з коронуванням проводу та не досконалістю діелектрика (повітря). Так у довідковій літературі зазвичай наводяться дані по максимальним і мінімальним питомим втратам активної потужності (А) на корону. Відповідно погонна поперечна активна провідність фази ПЛ буде визначатися наступним чином:

$$g_0 = \frac{\Delta P_{k0} \cdot 10^{-3}}{U_n^2}, \quad (2.5)$$

де ΔP_{k0} - втрати активної потужності на корону;

U_n - номінальна напруга мережі.

Користуючись формулою (2.5) можна отримати активну поперечну провідність лінії:

$$G_n = g_0 \cdot l. \quad (2.6)$$

Також повітряна лінія володіє ємнісною провідністю, яка визначається струмами зміщення за рахунок електростатичного поля лінії (як між фазами так і по відношенню фаз до землі). Так ця провідність створює зарядний, або ж ємнісний струм, який головним чином складає струм однофазного замикання на землю.

В свою чергу ємнісна погонна провідність визначається за формулою [1]:

$$b_0 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_{cp}}{r_e}} \cdot 10^{-6}. \quad (2.7)$$

З формули (2.7) можна отримати величину ємнісної поперечної провідності лінії з наступної формули:

$$B_n = b_0 \cdot l. \quad (2.8)$$

Як відомо [1, 2] одна фаза двообмоткового трансформатора може бути відтворена "Т" - заступною схемою (рис. 2.1). Проте для практичних розрахунків "Т" - заступна схема дає задовільні результати і спрощує обчислення [1].

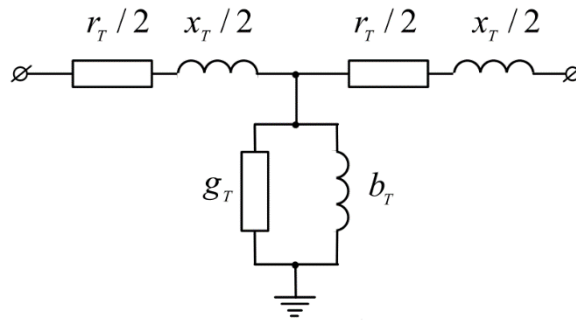


Рисунок 2.4 – Заступна “Г” подібна схема двообмоткового трансформатора: r_T і x_T – це активний і реактивний опори обмоток, g_T і b_T відповідно провідності трансформатора.

Якщо використовують “Г”-подібну заступну схему трансформатора і вказати місце вмикання провідностей, то це не впливає на завантаження самих обмоток трансформатора, проте їхній вплив відображається на роботі мережі й враховується під час визначення розрахункової потужності станцій і підстанцій.

Для моделі буде достатньо наближених розрахунків, тому впливом провідностей трансформатора можна знехтувати, як показано на рисунку 2.5.

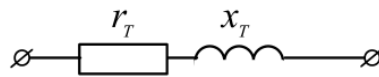


Рисунок 2.5 – Спрощена заступна схема двообмоткового трансформатора

Активний опір трансформатора (рис.2.5) можна знайти з наступної формули [1]:

$$r_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{ном}^2 \cdot 10^{-3}}{S_{ном}^2}, \quad (2.9)$$

де ΔP_k – втрати потужності у провідниках обмоток трансформатора;

$U_{ном}$ – номінальна напруга основного виводу трансформатора, до якого зводиться значення опору;

$S_{ном}$ – потужності трансформатора.

Відповідно в цьому випадку формула для знаходження індуктивного опору трансформатора виглядає наступним чином:

$$x_T = \frac{u_p \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{ном}}, \quad (2.10)$$

де u_p – спад напруги на індуктивному опорі від $I_{ном}$.

В якості дугогасного реактора виступає котушка індуктивності, індуктивність якої визначається за формулою [1]:

$$L_k = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C}, \quad (2.11)$$

де C – повна ємність розрахункової ЛЕП.

Визначившись з режимом резисторного заземлення нейтралі, вибирають опір резистора та його тип. Так високоомне резисторне заземлення нейтралі застосовують, якщо захист працює на сигнал. Опір резистора визначають за критерієм $R_0 < X_{c0}$ (відповідно фазний активний опір нульової послідовності мережі менший розподіленого за фазою ємнісного опіру мережі).

Опір резистора визначається з формули [5]:

$$R_n = \frac{U_\phi}{I_C}, \quad (2.12)$$

де I_C - ємнісна складова в повному струмі замикання на землю для металевого ОЗЗ.

Ємнісний струм замикання на землю визначається з формули [1]:

$$I_{C.l} = U_{\phi} \cdot \omega \cdot c_0 = U_{\phi} \cdot b_l. \quad (2.13)$$

2.2 Розроблення моделі

Для складання комп'ютерної моделі мережі використано програмний пакет Matlab та його розширення Simulink. До моделі входять наступні елементи електричної мережі, які були змодельовані у середовищі MATLAB: повітряна лінія напругою 10 кВ, заземлюючий трансформатор, дугогасного реактора, заземлюючий високоомний резистор, навантаження, трансформатор.

Згідно ПУЕ [3] електромережі 10 кВ можуть працювати в режимі ізольованої, резонансно-заземленої, резистивно-заземленої нейтралі, а також можливе застосування комбінованого заземлення нейтралі. Тому з метою моделювання різних режимів роботи нейтралі електромережі, з шин 10 кВ через заземлюючий трансформатор та в свою чергу через керовані вимикачі під'єднано високоомний резистор і котушка індуктивності, які, відповідно, моделюють заземлювальний резистор і дугогасний реактор.

Схема мережі яку буде модельовано в Simulink показано на рис. 2.6.

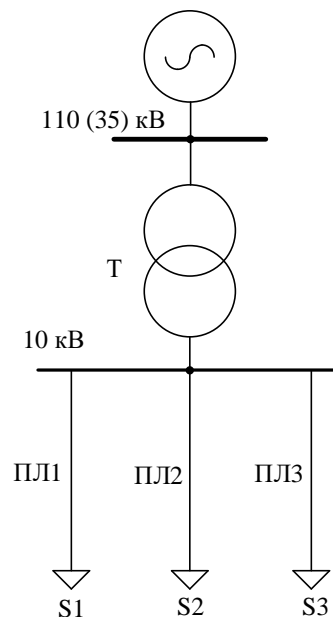


Рисунок 2.6 – Однолінійна схема мережі напругою 10 кВ

На рис. 2.7 зображена цифрова модель мережі напругою 10 кВ розроблена в програмному середовищі MATLAB. Живлення мережі відбувається від трьох ідеальних джерел напруги (AC Voltage Source) U_a , U_b , U_c з'єднаних за схемою зірка з ізольованою нейтраллю, та під'єднаного до них блоку Three-Phase Series RLC Branch (послідовно з'єднаних резистора та індуктивності), який заміщають трансформатор.

Всі параметри для налаштування блоків генеруються на основі вхідних даних перед початком симуляції запуском m-файлу, в якому міститься вся необхідна інформація. При чому для кожного наступного досліджування використовується окремо налаштована під потреби досліджування копія моделі, що показана на рис.2.7.

Для зручності аналізу отриманих результатів симуляція триває орієнтовно в двічі довше ніж триває досліджуваний перехідний процес, і в залежності від досліджуваного значення міняється.

Для аналізу отриманих результатів всі досліджувані величини виводяться моделлю в робочу область за допомогою відповідних блоків.

При використанні режиму ізольованою нейтралі нейтральна точка джерела не приєднана до контуру заземлення. Перевагами режиму з ізольованою нейтраллю є малий струм однофазних замикань на землю і відсутність необхідності в негайному відключенні першого однофазного замикання. Однак на практиці, в більшості випадків, однофазне замикання швидко переходить в двофазне або трифазне, що призводить до відключення лінії.

Для створення в мережі, що працює в режимі ізольованої нейтралі, компенсації ємнісних струмів або резистивного заземлення нейтралі використовуються вимикачі sb1 і sb2, які показані на рис.2.8, які з'єднують нейтраль заземлюючого трансформатора з "землею" або через індуктивність або високоомний резистор або ж через їх паралельне з'єднання для утворення комбінованого способу заземлення нейтралі.

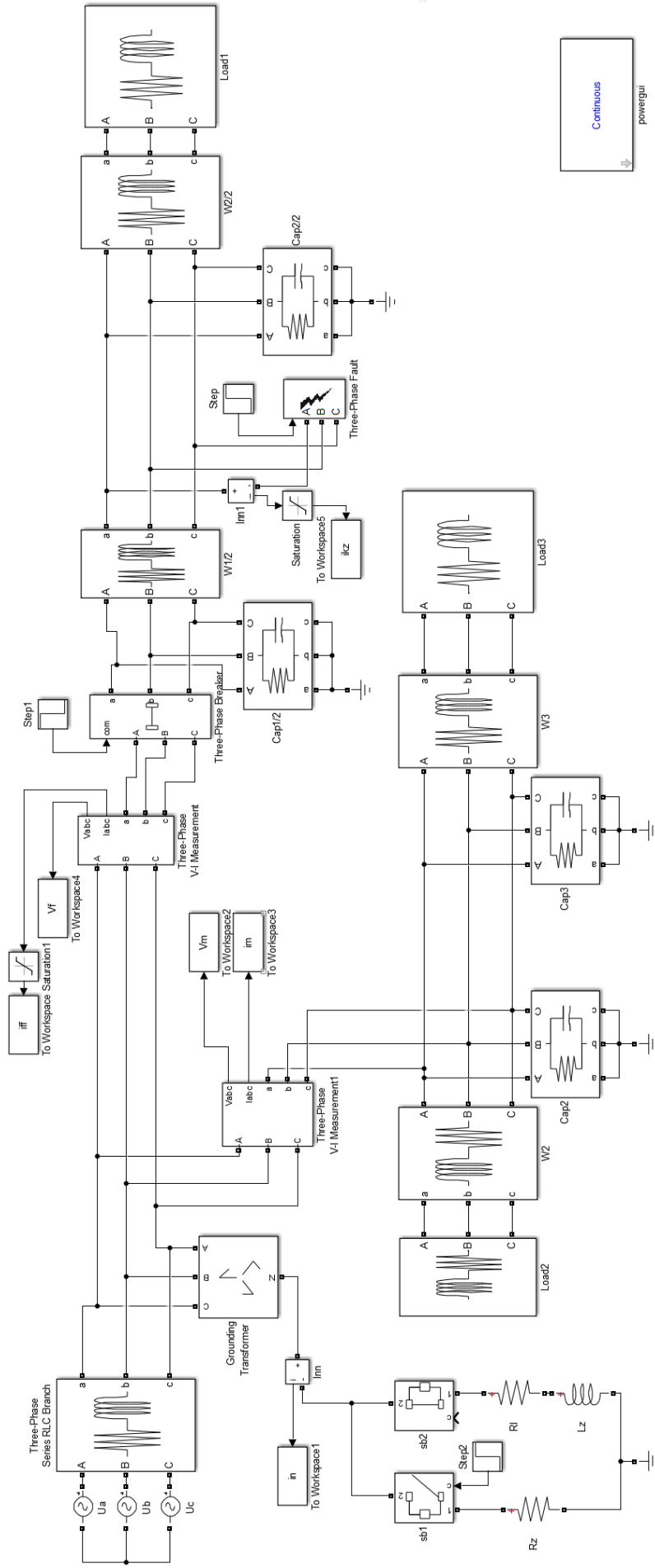


Рисунок 2.7 – Модель повітряної лінії напругою 10 кВ

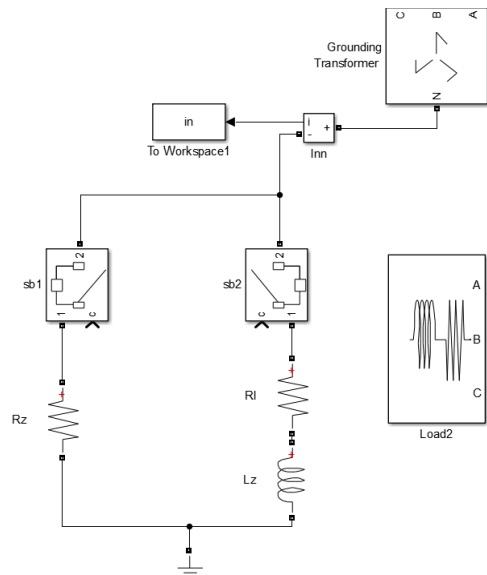


Рисунок 2.8 – З'єднання заземлюючого трансформатора з “землею”

При виконанні мережі, в реальних умовах, з нейтраллю заземленою через дугогасний реактор, зазвичай, нейтральну точку отримують використовуючи спеціальний трансформатор, в нейтраль якого підключають реактор. Також для цих цілей на підстанції можливо також використання ненавантажених трансформаторів і трансформаторів власних потреб обмотки 0,4 кВ, які з'єднані в трикутник (в такому випадку необхідна перевірка цього трансформатора за допустимим навантаженням).

Для моделювання резонансного заземлення нейтралі в середовищі MATLAB на схемі вимикач sb2 закривається як показано на рис.2.9.

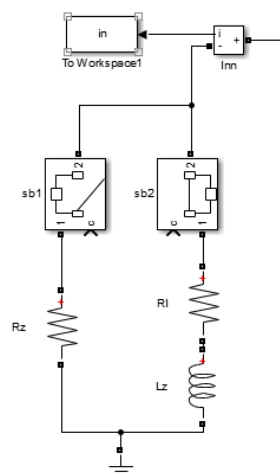


Рисунок 2.9 – Моделювання резонансно заземленої нейтралі

Можливі два варіанти реалізації резистивного заземлення нейтралі: високоомний або низькоомний. Підключення низькоомного резистора можливе тільки в нейтраль заземляючого трансформатора, як і високоомний резистор, який в свою чергу застосовується в мережах з ємнісним струмом замикання на землю не більше 10 А (відповідає даній параметру даної моделі).

Даний принцип також використовується створення мережі з резистивним чи комбінованим режимом нейтралі. Проте можливе підключення, в випадку коли нейтраль заземляючого трансформатора наглухо приєднується до контуру заземлення, резистор включається у вторинну обмотку, зібрану в розімкнутий трикутник, або використовується однообмотковий трансформатор (фільтр нульової послідовності) із з'єднанням обмотки вищої напруги в зигзаг. Причому в комбінованому режиму резистор вмикається в нейтраль трансформатора паралельно дугогасному реактору. Для моделювання резистивного заземлення нейтралі в середовищі MATLAB вимикач sb1 закритий, як показано на рис.2.10.

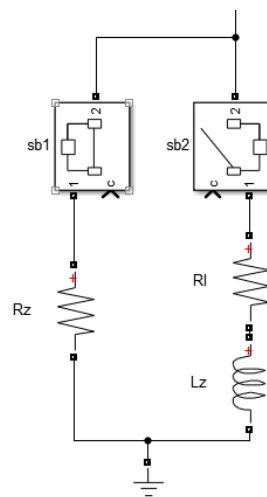


Рисунок 2.10 – Моделювання мережі з резистивно заземленою нейтраллю

В комбінованому або активно-індуктивному режимі мережа працює з нейтраллю, заземленою через дугогасний реактор, і при дугових замиканнях на землю проявляються всі позитивні сторони компенсації ємнісних струмів. При

металевому замиканні на землю паралельно дугогасному реактору підключається резистор на час, достатній для спрацювання захисту від замикання на землю. На рис.2.11 показано мережу з нейтраллю із комбінованим заземленням (вимикач sb1 налаштований на певний час спрацювання за допомогою блоку step, а sb2 замкнений).

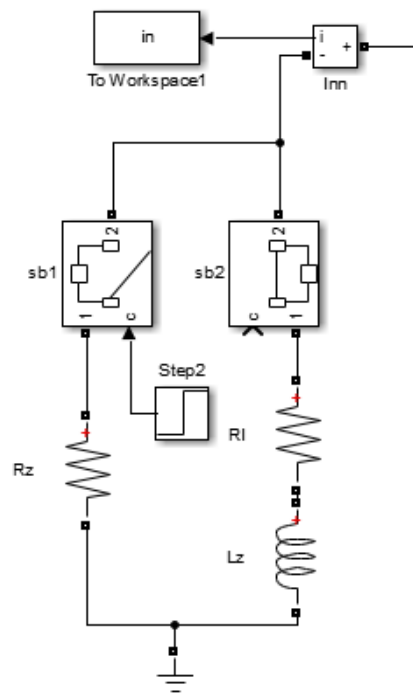


Рисунок 2.11 – Моделювання комбіновано заземленої нейтралі

Як видно з попереднього рисунку, для визначення струму в нейтралі заземлюючого трансформатор використовується блок Current Measurement, з назвою Inn, та блок To Workspase (To Workspase1), які виводять значення струму нейтралі в Workspase (робоча область), для можливості подальшої його обробки.

Значна частина моделі призначена для заміщення досліджуваної повітряні лінії з врахуванням частоти, що створює однофазне замикання на землю. Цю частину комп'ютерної моделі наведено на рис. 2.12.

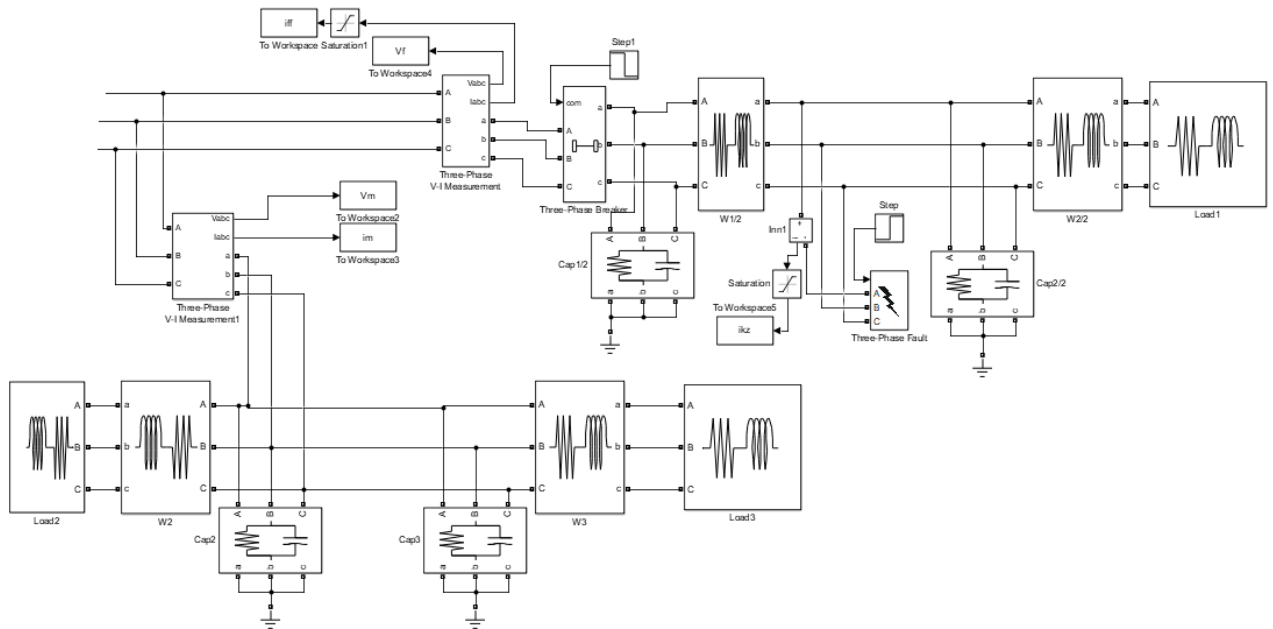


Рисунок 2.12 – Моделювання повітряних ліній w1 – w3

Для визначення досліджуваних величин ліній w2 – w3 використовуються блок Three-Phase V-I Measurement1 (трифазний вимірювач напруги та струму) та блоки To Workspace2 й To Workspace3, які заносять в Workspace значення як фазних так і лінійних значень (в залежності від налаштування блоку Three-Phase V-I Measurement) напруги та струму (відповідно Vm та im). Дані блоки та їх підключення показано на рис.2.13.

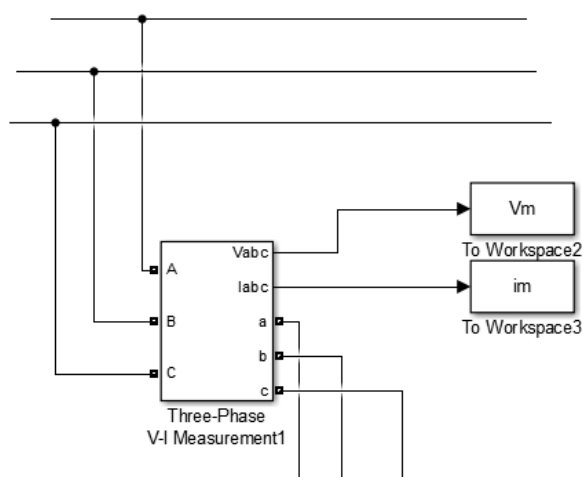


Рисунок 2.13 – З'єднання блоків Three-Phase V-I Measurement та To Workspace для ліній w2 – w3

Також дане поєднання блоків підключено на початок лінії w1, що дозволяє визначити струм і напругу в лінії на якій відбувається однофазне замикання на землю, що показано на рис.2.14. Проте в даному випадку перед блоком який виводить значення струму iff в робочу область встановлено блок Saturation1, який забезпечую обмеження струму у випадку коли з'являється недостовірність обумовлена особливостями моделювання.

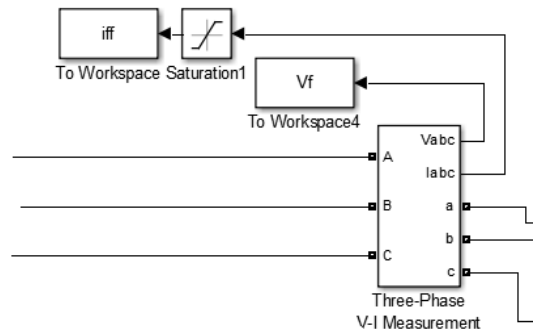


Рисунок 2.14 - З'єднання блоків Three-Phase V-I Measurement та To Workspace для лінії w1

Для створення однофазного замикання на землю в лінії w1 вирисовується блок Three-Phase Fault з зовнішнім керуванням від блоку Step, з'єднання даних блоків показано на рис.2.15. Для визначення струму в місця замикання використовується блок Current Measurement, з назвою Inn1, та блок To Workspace (To Workspace5), та блок Saturation.

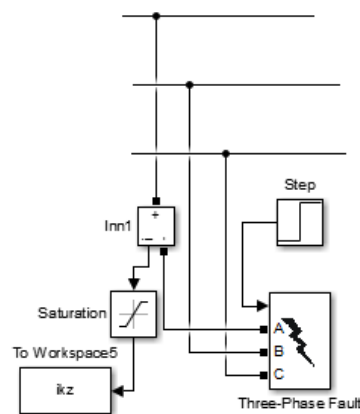


Рисунок 2.15 – Під'єднання блоків до лінії, що створюють ОЗЗ

Відповідно до схеми заміщення (рис.2.3) повітряну лінію представлено у вигляді з'єднаних активного і індуктивного опорів і паралельно включених активної провідності і ємності (рис.2.16).

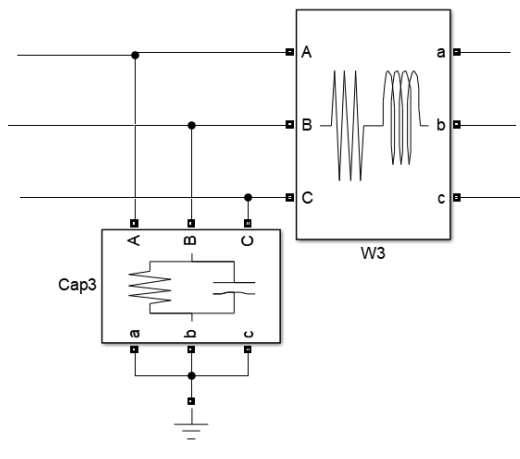


Рисунок 2.16 – Модель ПЛ що відповідає схемі заміщення

У випадку лінії w1, лінія було розділена на дві частини (рис.2.17), для можливості створення однофазного замикання на довільній відстані від шин. Також перед лінією було встановлено блок Three-Phase Breaker з зовнішнім управлінням часом спрацювання від блоку Step1.

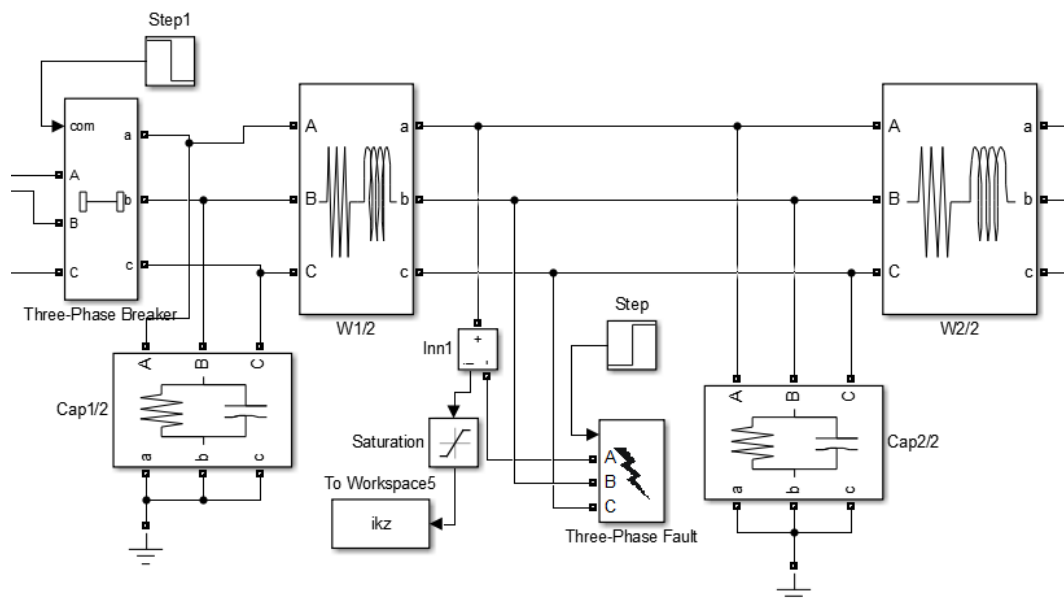


Рисунок 2.17 – Частина моделі яка імітує лінію w1

Для більш коректної роботи моделі в кінці ліній w1 - w3 було встановлено блок Three-Phase Series RLC Load для створення навантаження в кінці лінії. На рис.2.18 показано одне з таких підключень, на прикладі лінії w3.

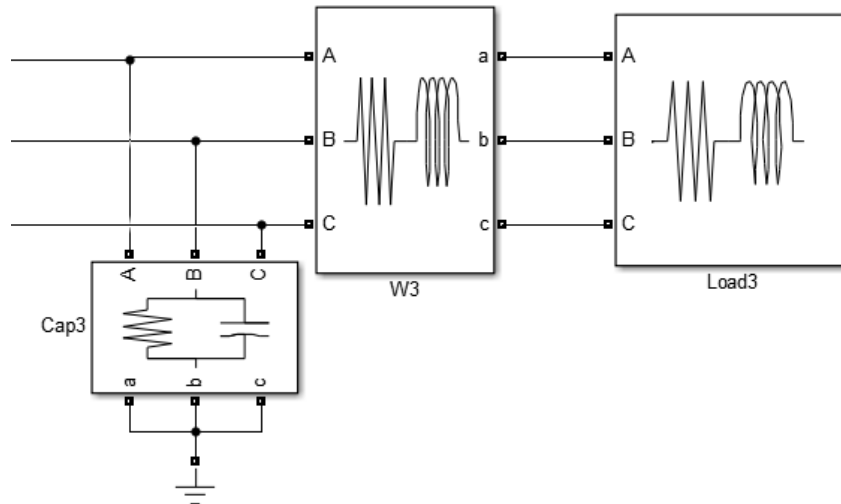


Рисунок 2.18 – Підключення навантаження до лінії w3

2.3 Вибір значень параметрів елементів моделі

Відповідно до рис.2.6 попереднього пункту мережа складається з наступних елементів: трансформатора ТМН-6300/110/10, навантаження і силовий трансформатор з'єднуються через повітряні лінії різної довжини проводом марки АС-50/8 (24, 25, 30 км), високоомного заземлюючого резистора, дугогасного реактора, заземлюючого трансформатора, резистивно-індуктивного навантаження.

Всі потрібні формули (2.1 – 2.13) та вхідні дані занесено в m-файл для зручності роботи з ним. Лістинг m-файлу наведено нижче.

$$u=10e3*\sqrt{2/3}$$

% АС50/8

r0=0.5951 % активний опір на одиницю довжини, Ом/км

R=3.2/2 % радіус проводу, мм

Ds=2.2 % середня відстань між проводами (в рівносторонньому трикутнику), м

$x_0 = 0.1445 \cdot \log_{10}((D_s \cdot 10^3)/R) + 0.0157$ % індуктивний опір на одиницю довжини
 $l_0 = x_0 / 314$ % ідуктивність лінії, Гц
 $c_0 = (0.02415 \cdot 10^{-6}) / (\log_{10}((D_s \cdot 10^3)/R))$ % робоча ємність лінії на одиницю довжини
 % довжини для ліній, км
 $w_1 = 11$ % $w_1/2$
 $w_2 = 13$ % $w_2/2$
 $w_3 = 25$ % w_3
 $w_4 = 30$ % w_4
 $w = w_1 + w_2 + w_3 + w_4$ % загальна довжина
 % трансформатор ТМН-6300/110/10
 $r_t = (44 \cdot 10^2) / 6300^2$
 $x_t = 10.5 / 100 \cdot (10^2 / 6300^2)$
 % налаштування нейтралі
 $l_k = 1 / (3 \cdot 314^2 \cdot c_0 \cdot w)$ % індуктивність
 $x_{c0} = 1 / (314 \cdot c_0 \cdot w)$ % розподілений за фазою ємнісний опір мережі
 $I_c = c_0 \cdot w \cdot 314 \cdot ((10 \cdot 10^3) / \sqrt{3})$ % зарядного струму
 $R_h = (10^4 / \sqrt{3}) / I_c$

Частина моделі мережі, що імітує силовий трансформатор показано на рис. 2.18. Опір і індуктивність обмотки знаходять на основі рівнянь 2.9 та 2.10, та заносять в блок Three-Phase Series RLC Branch. Блоки AC Voltage Source, що імітують ЕРС в обмотках налаштовані на фазну напругу і зміщені між собою електрично на 120° між собою.

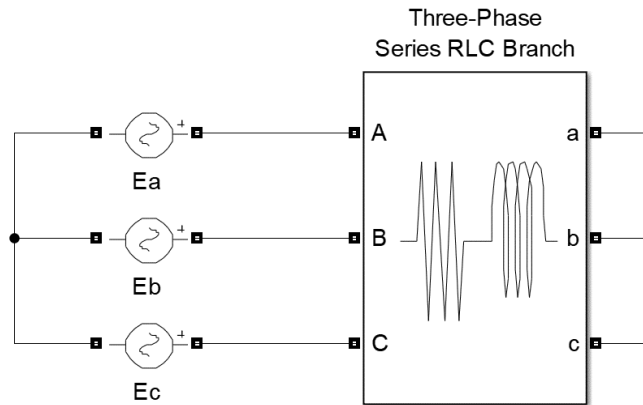
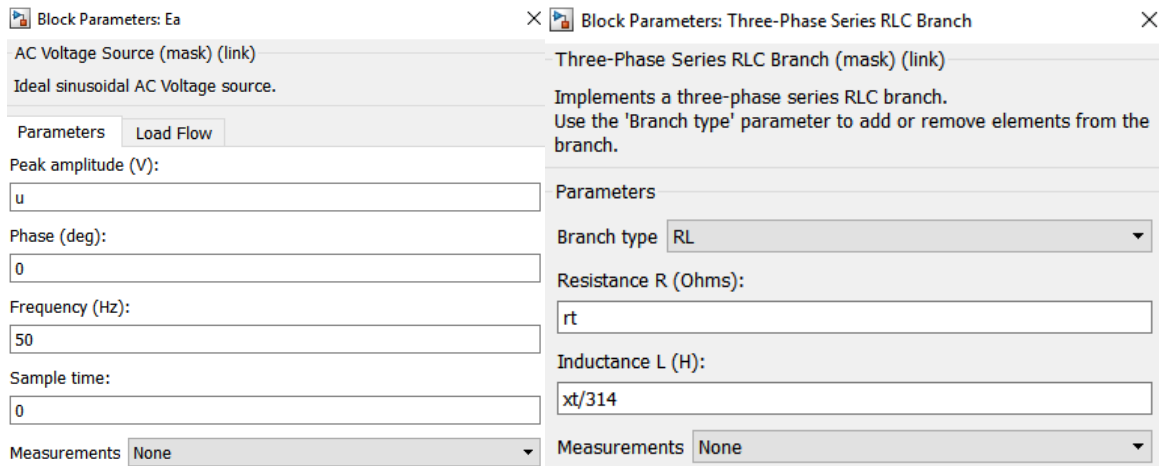


Рисунок 2.18 – Частина моделі мережі, що імітує обмотку трансформатора ТМН-6300/110/10

Налаштування блоків Three-Phase Series RLC Branch та AC Voltage Source (з назвою Ea) показано на рис. 2.19.



а)

б)

Рисунок 2.19 – Налаштування блоків: а – блок AC Voltage Source, б – блок Three-Phase Series RLC Branch

Повітряні лінії складаються з блоків W1/2-W3, які являються блоками Three-Phase Series RLC Branch, вони виступають в ролі повздовжніх опорів та індуктивностей ліній, а блоки Cap1-Cap3 (блоки Three-Phase Series RLC Branch) –поперечні ємності і опори відносно землі.

Всі блоки W1-W3 та Cap1-Cap3 налаштовано в залежності від того яку ділянку ПЛ вони імітують, для прикладу налаштування блоків, що імітують ділянку w2, показана на рис.2.20.

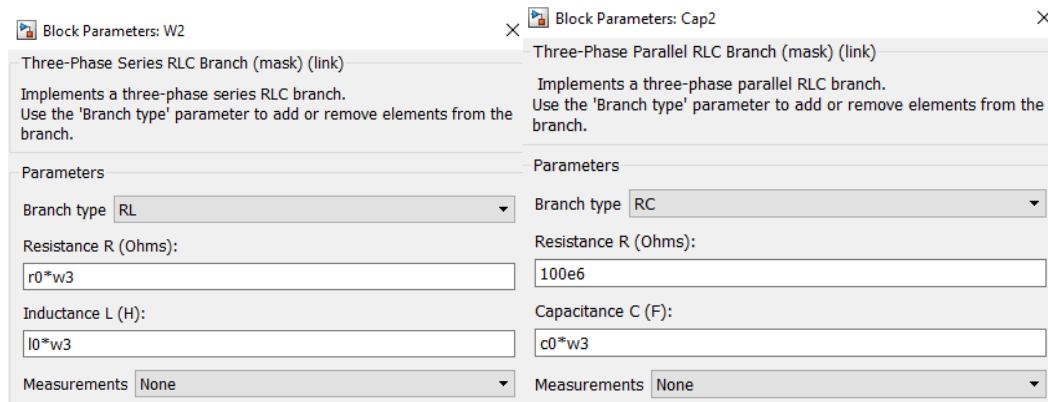


Рисунок 2.20 – Налаштування блоків W1 та Cap1

В ролі навантажень Load1-Load3, виступають блоки Three-Phase Series RLC Load. Налаштування одного з них (Load2) показано на рис.2.21.

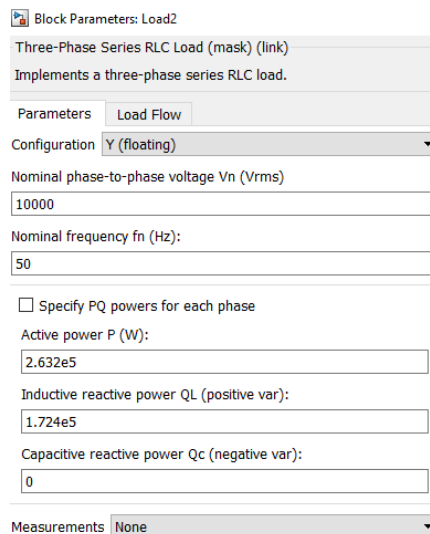
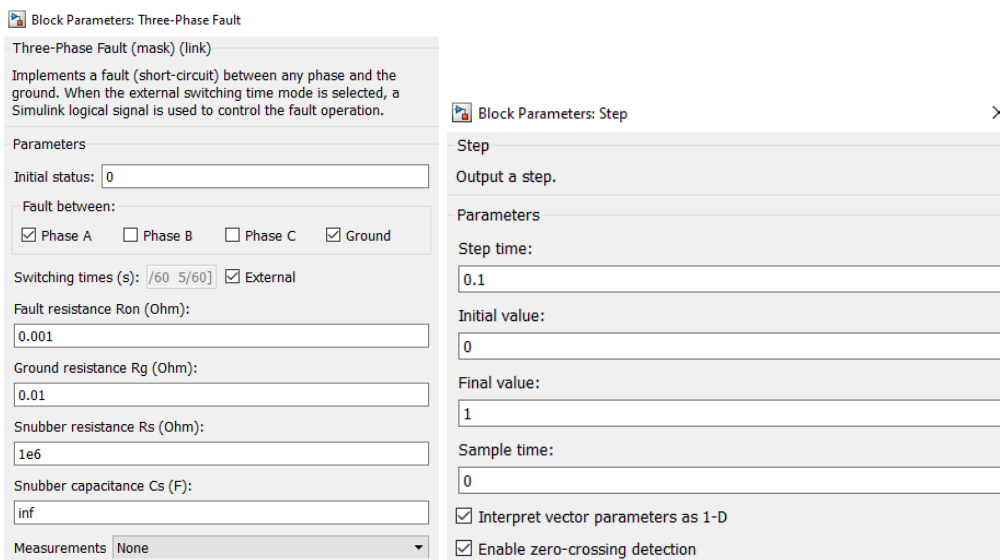


Рисунок 2.21 – Налаштування блоку Load1

Однофазне замикання на землю імітує під'єднаний Three-Phase Fault. Блоком управляє блок Step, який подає логічну 1 на нього в момент час 0,1 с від

початку симуляції. Налаштування блоків Three-Phase Fault і управляючого ним блоку Step показано на рис.2.22.

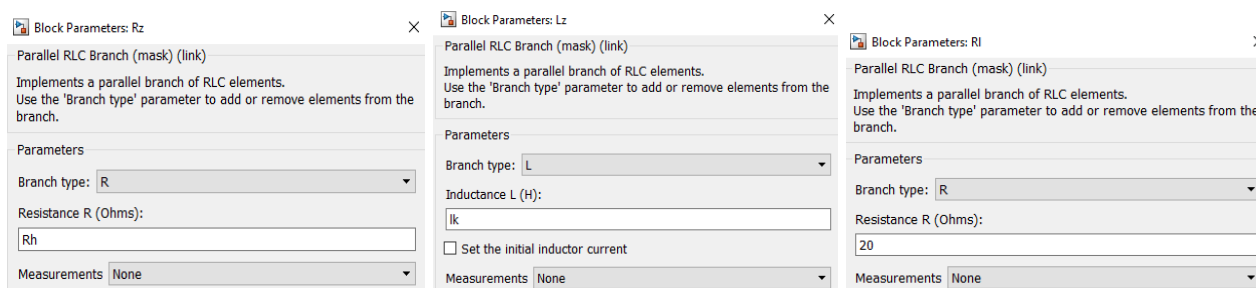


а)

б)

Рисунок 2.22 – Частина моделі, що імітує ОЗЗ

Для моделювання кожного типу заземлення нейтралі (окрім ізольованої нейтралі) в моделі використано заземлюючий трансформатор (блок Grounding Transformer) до якого в нейтралі первинної обмотки через вимикачі підключаються високоомний резистор R_z та котушка індуктивності L_z з опором R_l відповідно, які в свою чергу заземлені (з'єднані з “землею”). Налаштування вище згаданих елементів показано на рис. 2.23, відповідні параметри для них попередньо отримані в результаті виконання m-файлу.



а)

б)

в)

Рисунок 2.23 – Налаштування блоків: а – блоку R_z , б – блоку L_z , в – блоку R_l

2.4 Висновки

Модельована схема електричної мережі 10 кВ складається із заступних схем таких елементів: повітряної лінії, трансформаторів, дугогасного реактора, навантаження, джерел електричної енергії. Всі елементи підібрані відповідно до потреб і умов якісного проведення дослідження однофазних замикань в мережі з повітряними лініями напругою 10 кВ.

Побудова моделі здійснювалася на основі заступних елементів відповідних частин мережі. Параметри всіх елементів обраховано на основі відповідних формул для їх заступних схем. Дані параметри обраховуються за допомогою запуску відповідного m-файлу, що дозволяє легко замінювати параметри мережі для утворення інших параметрів мережі. При чому поділ лінії на якій відбувається замикання на землю на дві частини дозволяє змінювати віддаль до місця замикання, що дозволить оцінювати вплив відстані на значення параметрів перехідного процесу.

Для можливості проведення всіх необхідних дослідів в моделі передбачена зміна конфігурації нейтралі за допомогою спеціальних вимикачів. Таке рішення досить зручне і дозволяє швидко налаштувати модель під потреби відповідного дослідів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ В МЕРЕЖІ 10 КВ

3.1 Дослідження роботи мережі в нормальному режимі роботи

Дослід роботи моделі ПЛ напругою 10 кВ із ізольованою нейтраллю в нормальному режимі роботи. Цілю є отримання напруг і струмів всіх відгалужень, та струму нейтралі заземлюючого трансформатора.

Для даного дослідження модель буде налаштована наступним чином. До нейтралі заземлюючого трансформатора не підключено, ні дугогасний реактор, ні високоомний резистор, що реалізується за допомогою розімкнених вимикачів sb1 та sb2 як показано на рис. 3.1.

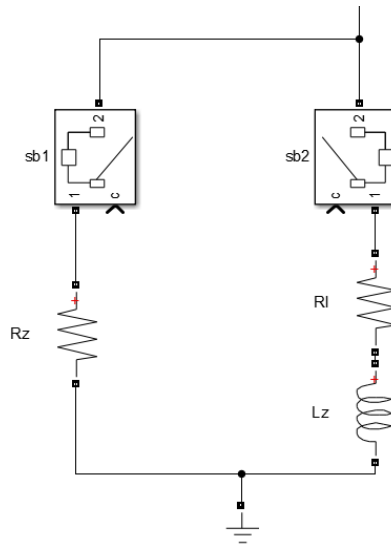


Рисунок 3.1 – Стан вимикачів sb1 та sb2

Оскільки передбачається нормальний режим роботи, то блок Three Phase Fault не буде підключений до вітки, що унеможливує виникнення аварійного режиму (рис. 3.2). Всі інші елементи налаштовані на параметри, як вказано в попередньому розділі в результаті роботи відповідного m-файлу.

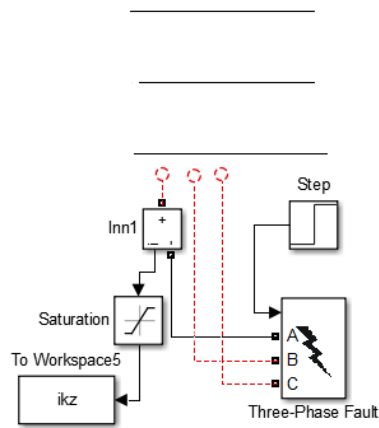
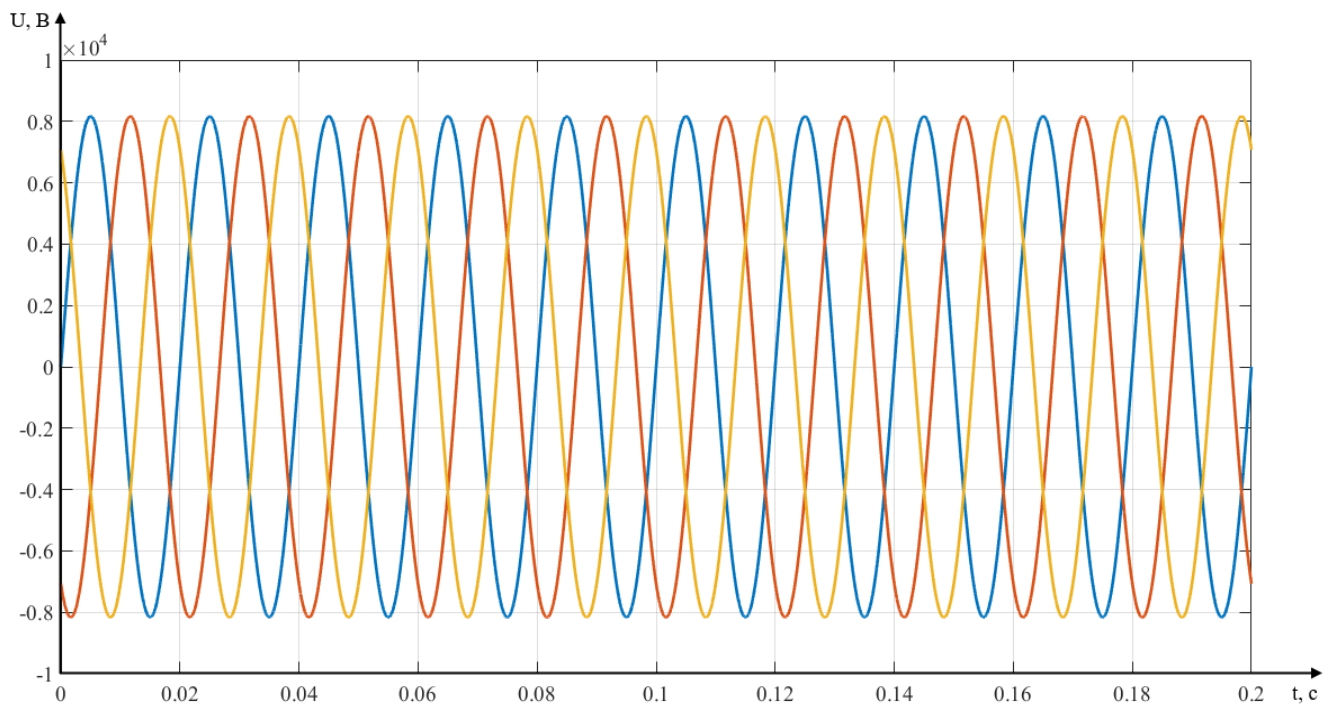


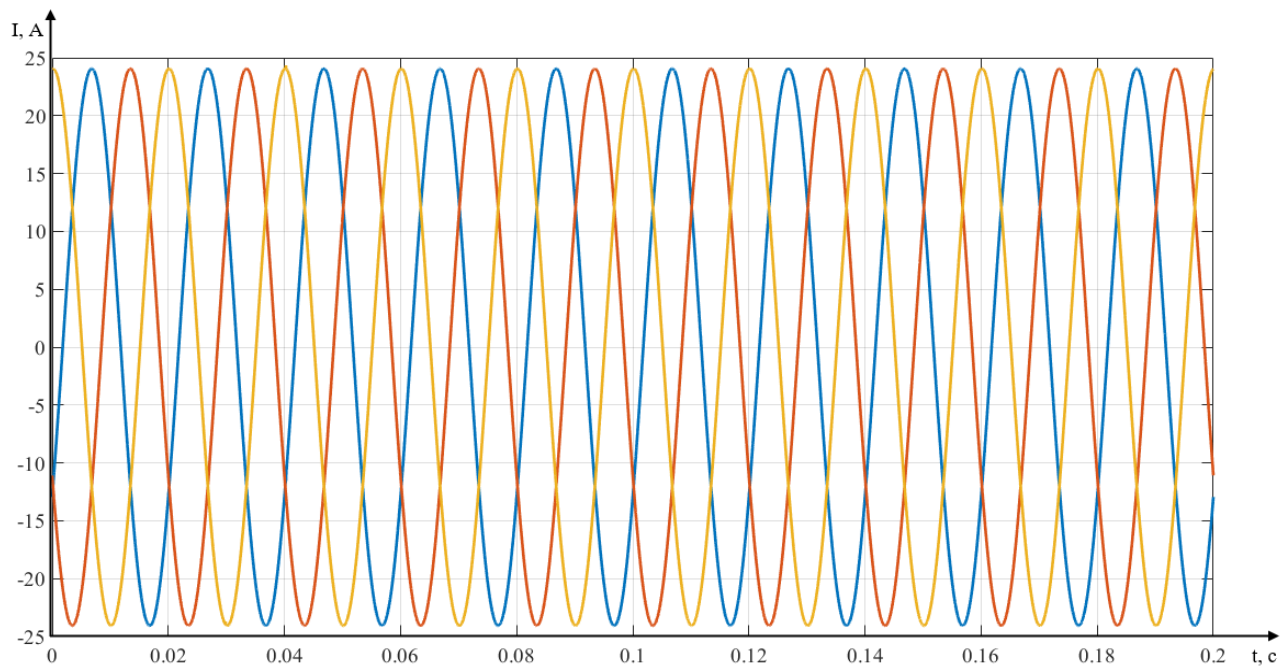
Рисунок 3.3 – Стан блоку Three Phase Fault

Так в нормальному режимі лінійні напруги та струми будуть на графіку у вигляді чистої синусоїди із зміщенням фаз, одна від одної, на кут 120° [1, 2].

В результаті моделювання були отримані графіки струмів і напруг. Для віток w1 та w2, w3 мережі лінійна напруга та струм в нормальному режимі роботи наведено на рис. 3.4 та 3.5 (отримані з блоків Three Phase V-I Measurement та Three Phase V-I Measurement1).

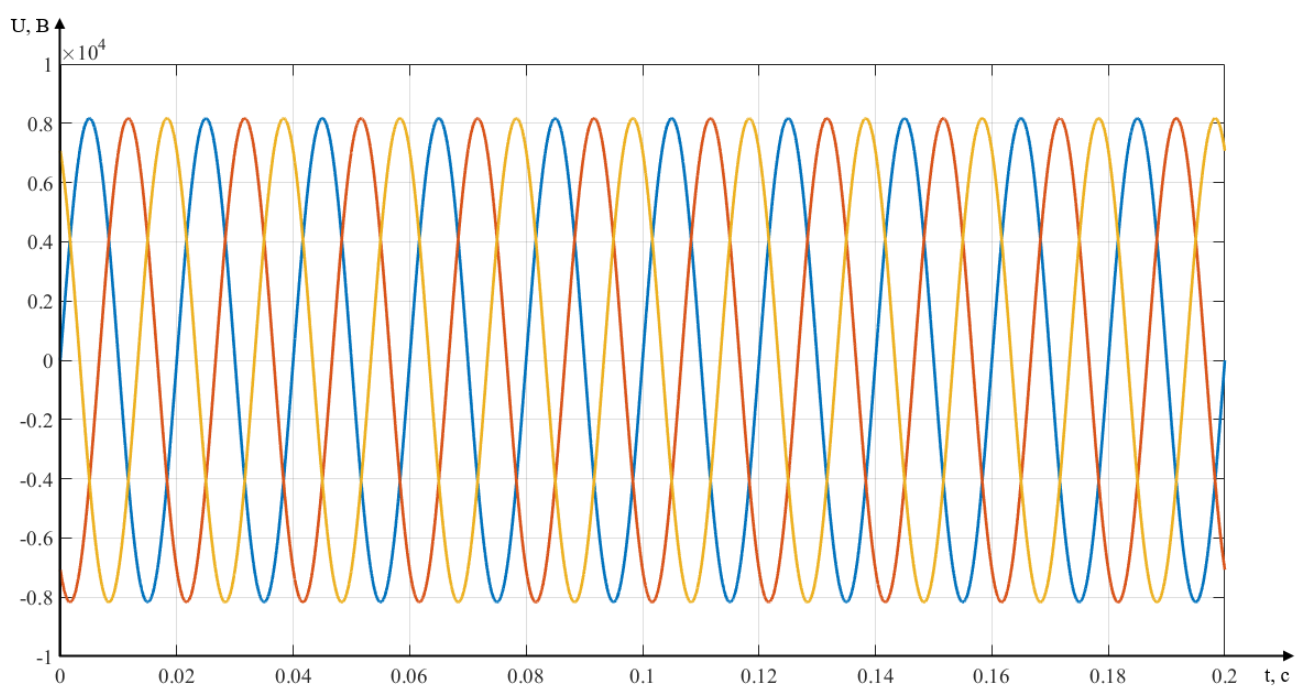


a)

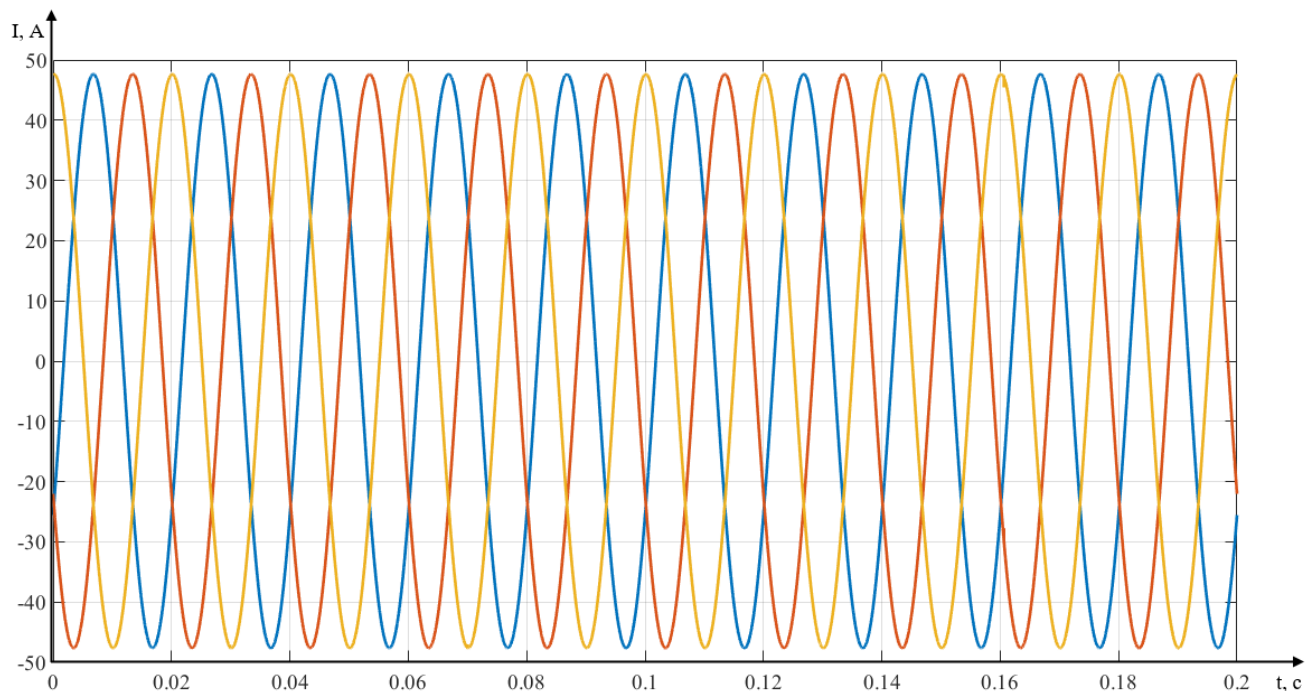


б)

Рисунок 3.5 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w1 в нормальному режимі



а)



б)

Рисунок 3.5 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w2-w3 в нормальному режимі

Також в ході моделювання було отримано графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора. Даний графік показано на рис. 3.6.

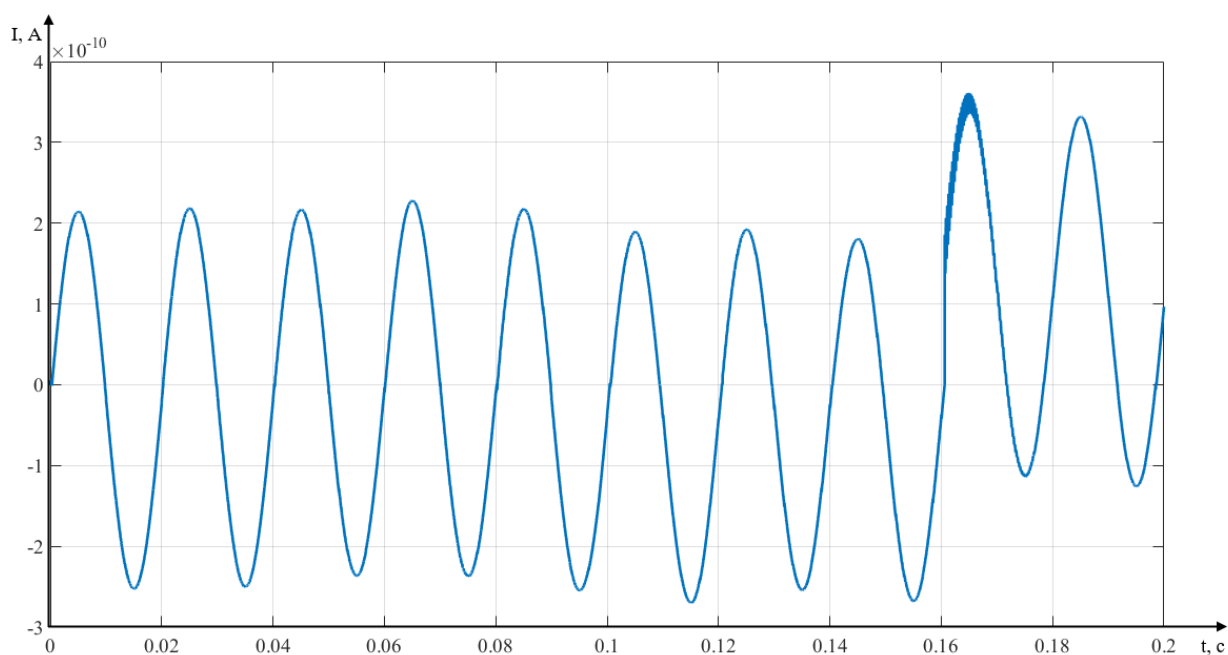


Рисунок 3.6 – Графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора

Як видно з графіків на рис. 3.4 – 3.5 мережа відтворюється нормально, присутній притаманний для трифазної мережі зсув фаз. В свою чергу на нейтралі заземлюючого трансформатора присутній слабкий струм (рис. 3.6), обумовлений тим, що модель імітує вимикачі як близькі до їх реальних аналогів, тому існує слабкий струм витоку, а його не однорідність обумовлена існуванням коливального процесу між індуктивностями та ємностями мережі. Через що, можна вважати, що заземлюючий трансформатор знаходиться в робочому стані, і підключений вірно.

3.2 Дослідження роботи мережі з ізольованою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю

Дослід роботи мережі 10 кВ з ізольованою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю. Цілю даного дослідження отримання сумарних напруг і струмів відгалужень w2 – w3 та їх значень на пошкодженій гілці w1, струму нейтралі заземлюючого трансформатора та струму в місці замикання.

Для даного дослідження модель буде налаштована схоже, як і в передньому пункті. До нейтралі заземлюючого трансформатора не заземлена, вимикачі sb1 та sb2 розімкнуті – як показано на рис. 3.7.

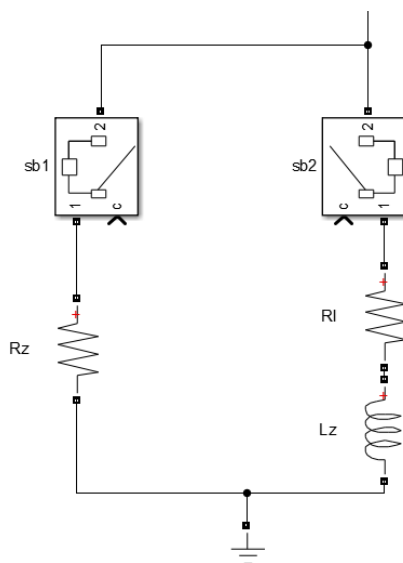


Рисунок 3.7 – Стан вимикачів sb1 та sb2

Проте на відміну від попереднього досліду блок Three Phase Fault підключений до досліджуваної лінії, що показано на рис. 3.8.

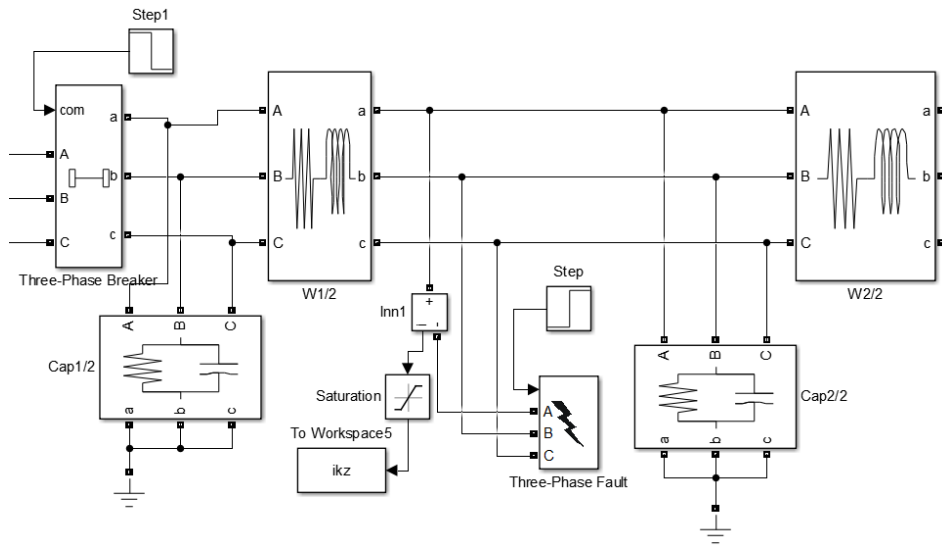
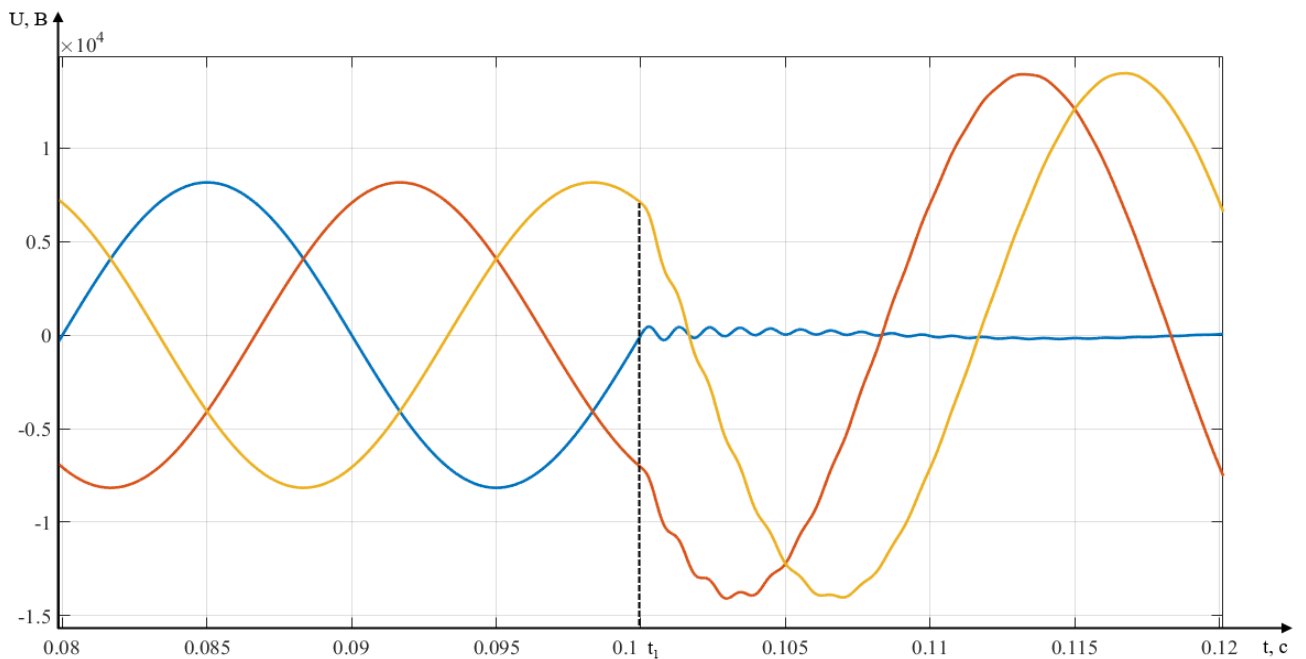
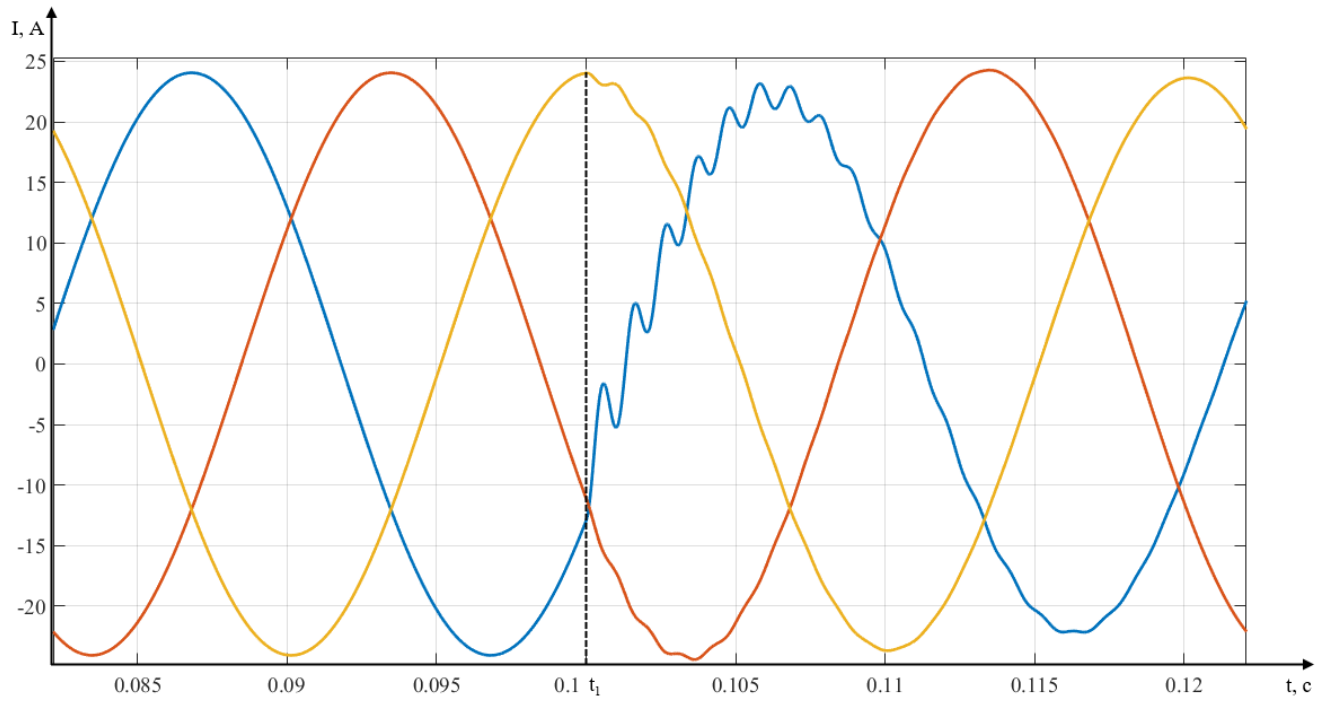


Рисунок 3.8 – Підключення блоку Three Phase Fault до лінії

В результаті моделювання були отримані графіки струмів і напруг. Для віток w1 та w2 - w3 мережі лінійна напруга та струм при виникненні ОЗЗ, в момент $t_1 = 0,1$ с, наведено на рис. 3.9 та 3.10.

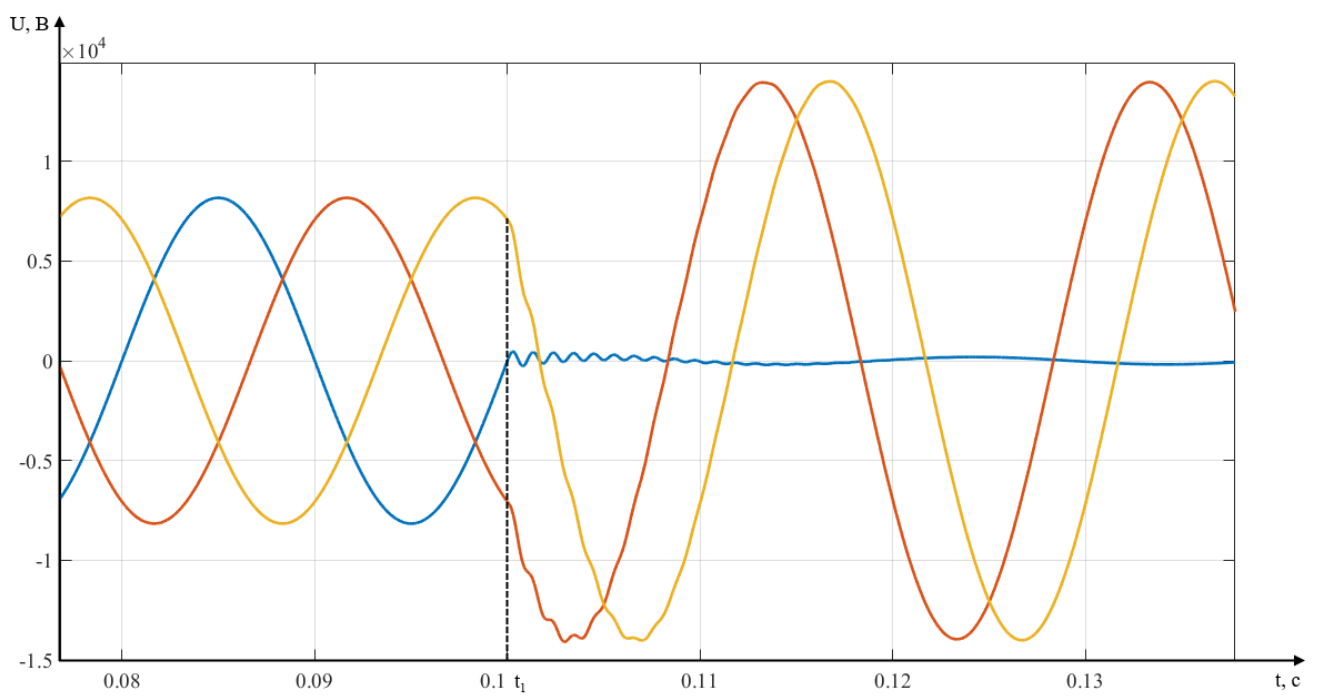


a)

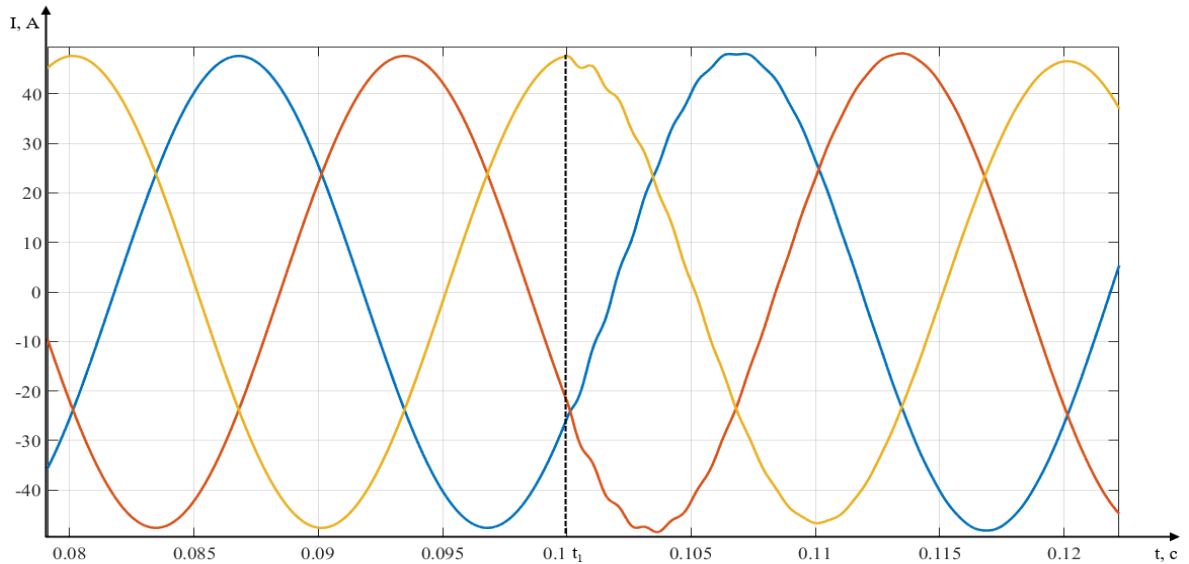


б)

Рисунок 3.10 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w1 при появі ОЗЗ в момент часу t_1



а)



(б)

Рисунок 3.10 – Графіки а) напруги і б) струму лінії w2 - w3 при появі ОЗЗ в момент часу t_1

Як видно з графіків на рис.3.9 а) та рис.3.10 а) значення лінійної напруги фази на якій виникло однофазне замикання на землю спостерігається зниження напруги до значення близького до нуля, а непошкоджених фаз на значення близьким до $\sqrt{3}$. Проте вимірявши міжфазну напругу можна пересвідчитись в тому, що живлення споживача буде відбуватися нормально, що видно з графіку на рис.3.11.

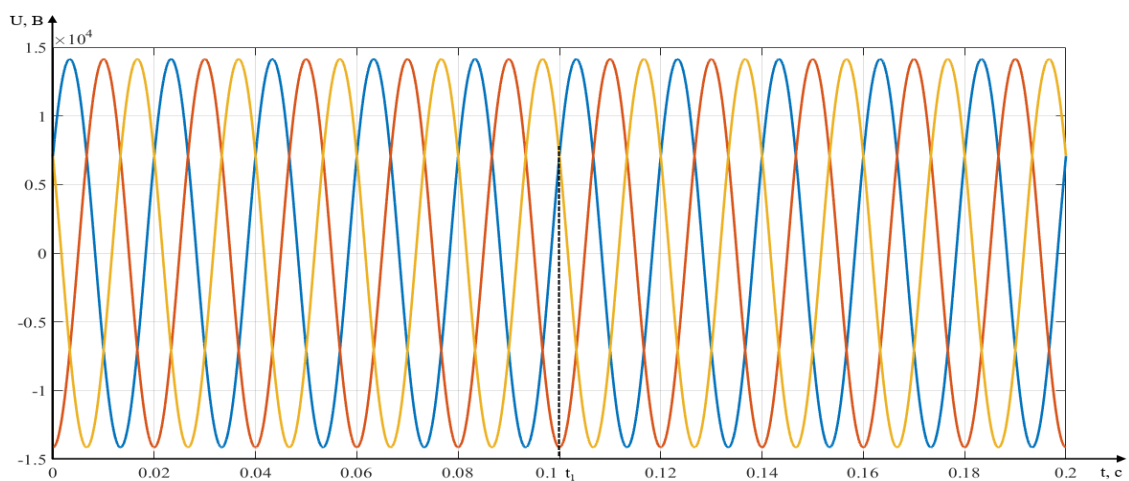


Рисунок 3.11 – Графік міжфазних напруг лінії w1

В ході моделювання було отримано графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора при появі ОЗЗ. Даний графік показано на рис. 3.12.

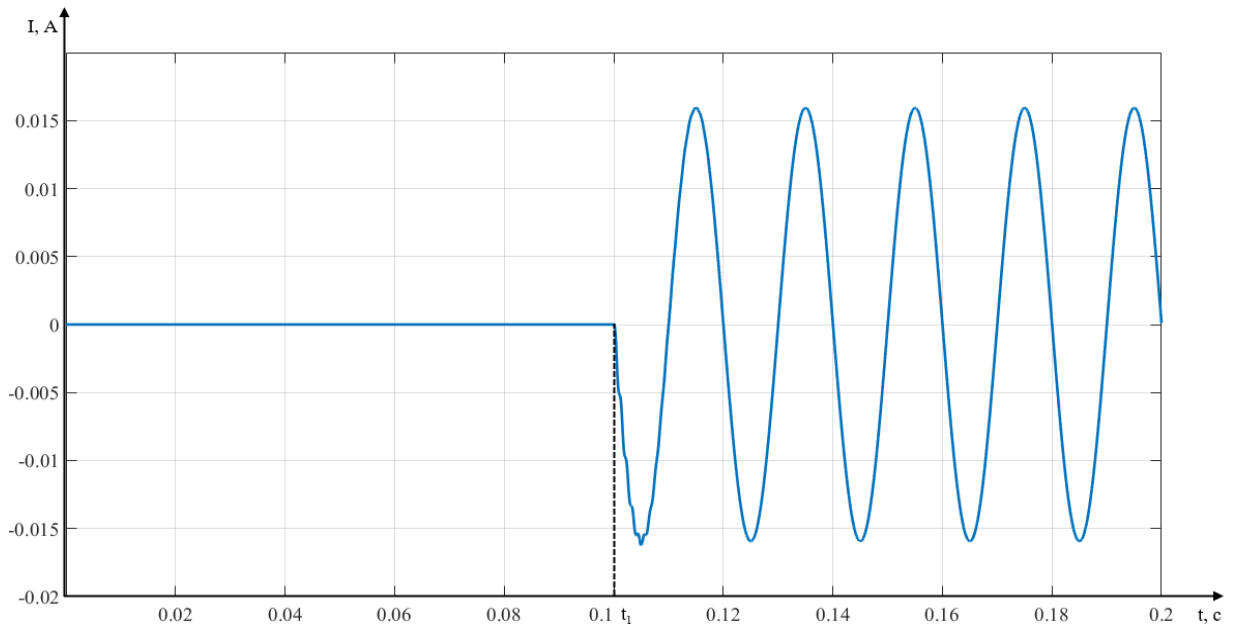


Рисунок 3.12 – Графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора

Важливою величиною при однофазному замиканні на землю є струм в місці виникнення замикання, так в ході моделювання було отримано графік струму замикання (рис.3.13).

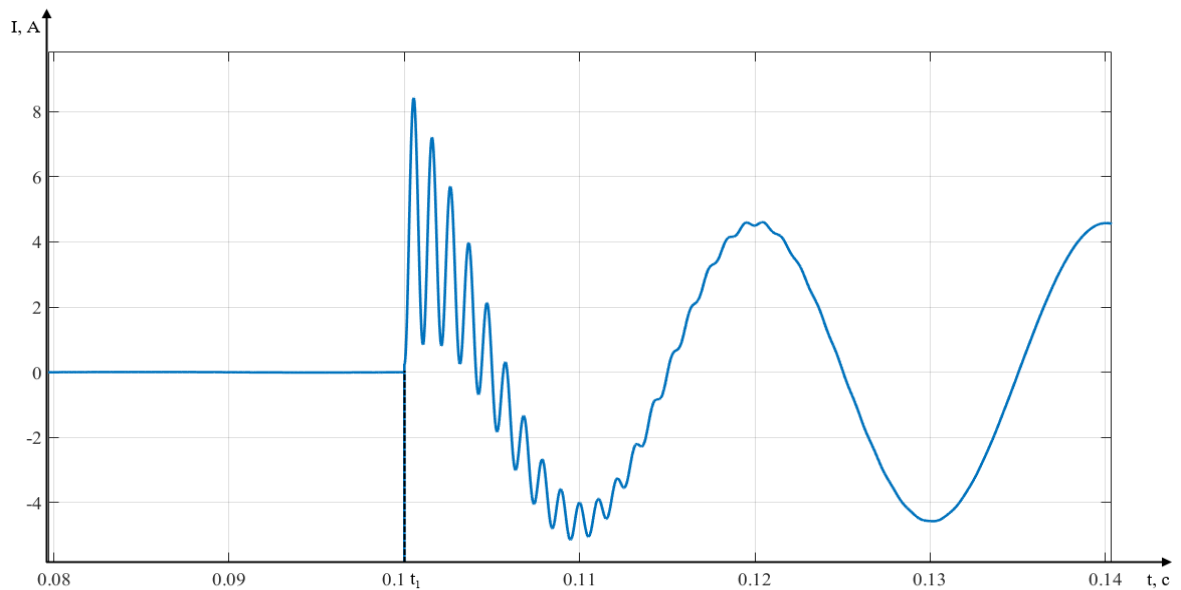


Рисунок 3.13 – Струм в місці виникнення ОЗЗ

Як видно з графіку в струмі замикання на землю присутня високочастотна складова обумовлена індуктивністю та ємністю ліній, навантажень та трансформатора.

3.3 Дослідження роботи мережі з компенсованою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю

Дослід роботи мережі 10 кВ з компенсацією ємнісного струму (компенсована нейтраль) при виникненні однофазного замикання на землю. Цілю даного дослідження отримання сумарних напруг і струмів всіх відгалужень ($w1 - w3$) та їх значень на пошкодженій гілці ($w1$), струму нейтралі заземлюючого трансформатора та струму в місці замикання за умови компенсації ємнісного струму.

Оскільки модель імітує реальну мережу, то відповідно компенсація ємнісних струмів відбувається за допомогою індуктивності (виступає у ролі дугогасного реактора) підключеного до заземлюючого трансформатора. Так до нейтралі заземлюючого трансформатора підключена індуктивність через відкритий вимикач $sb2$ показано на рис. 3.14.

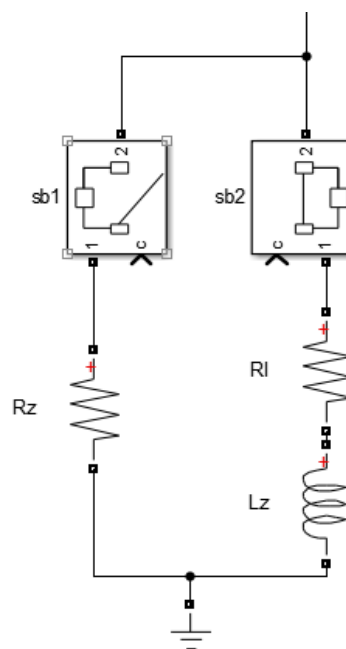
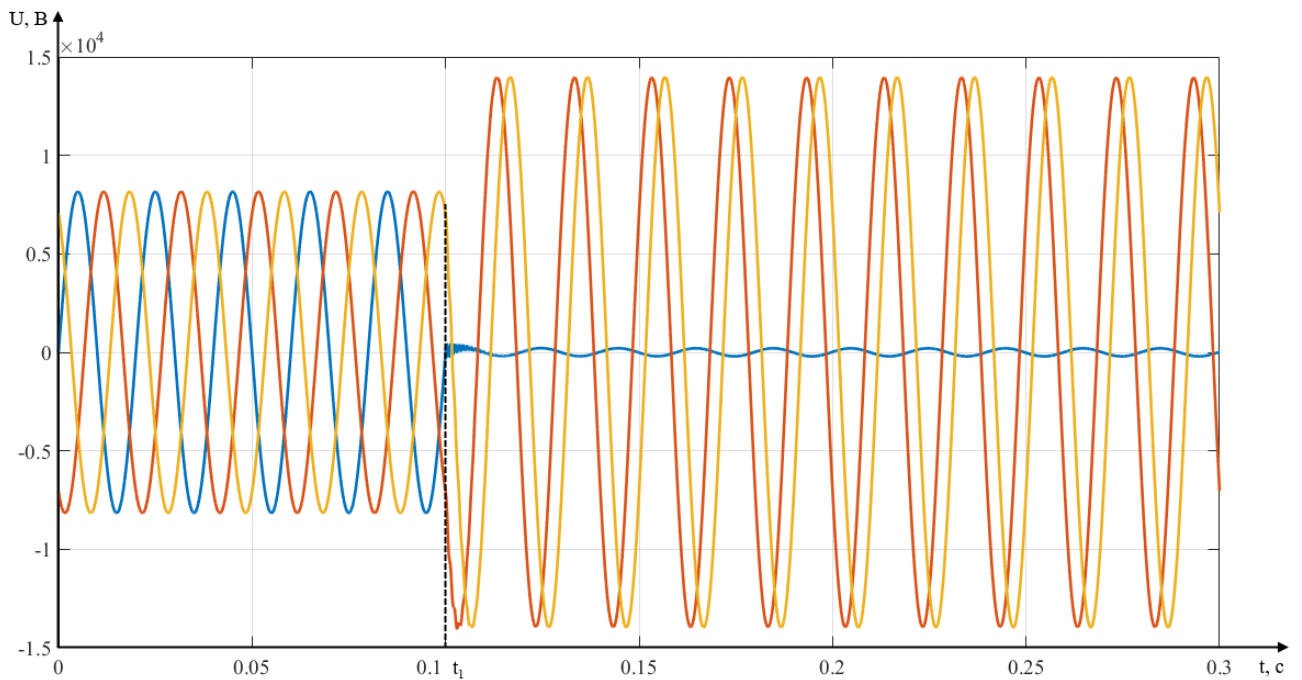
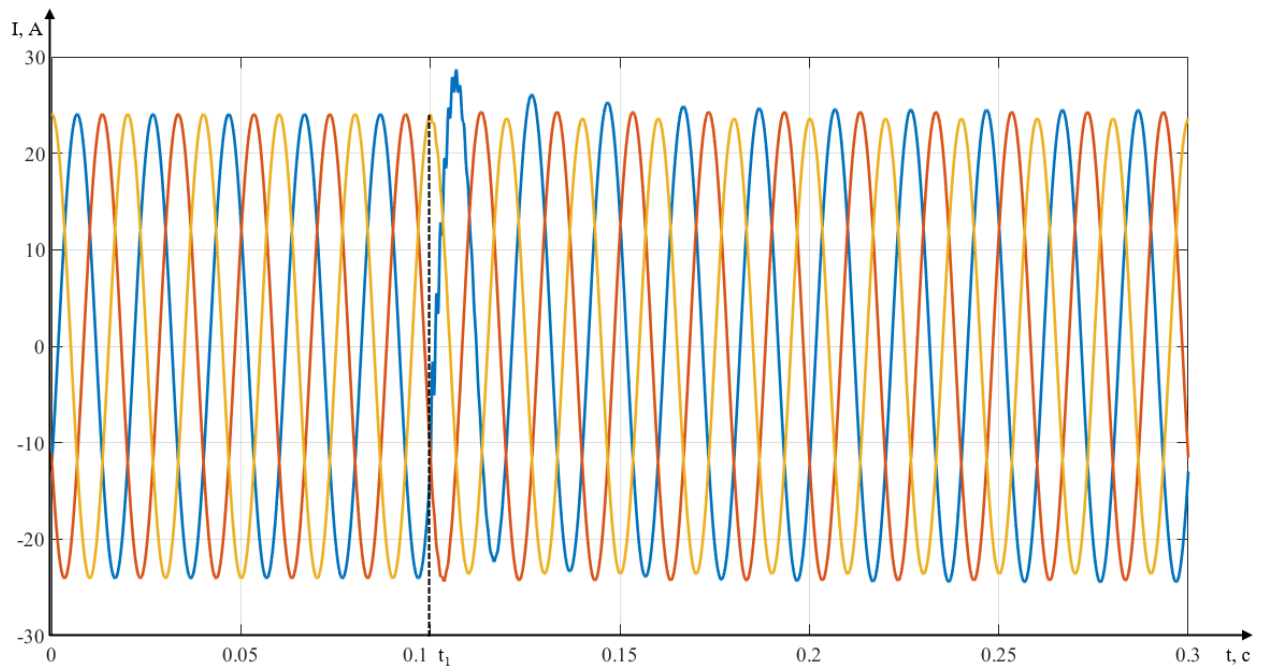


Рисунок 3.14 – Стан вимикачів $sb1$ та $sb2$

В результаті моделювання були отримані графіки струмів і напруг. Для віток w1 та w2 - w3 мережі лінійна напруга та струм при виникненні ОЗЗ, в момент часу $t_1 = 0,1$ с, наведено на рис. 3.15 та 3.16.

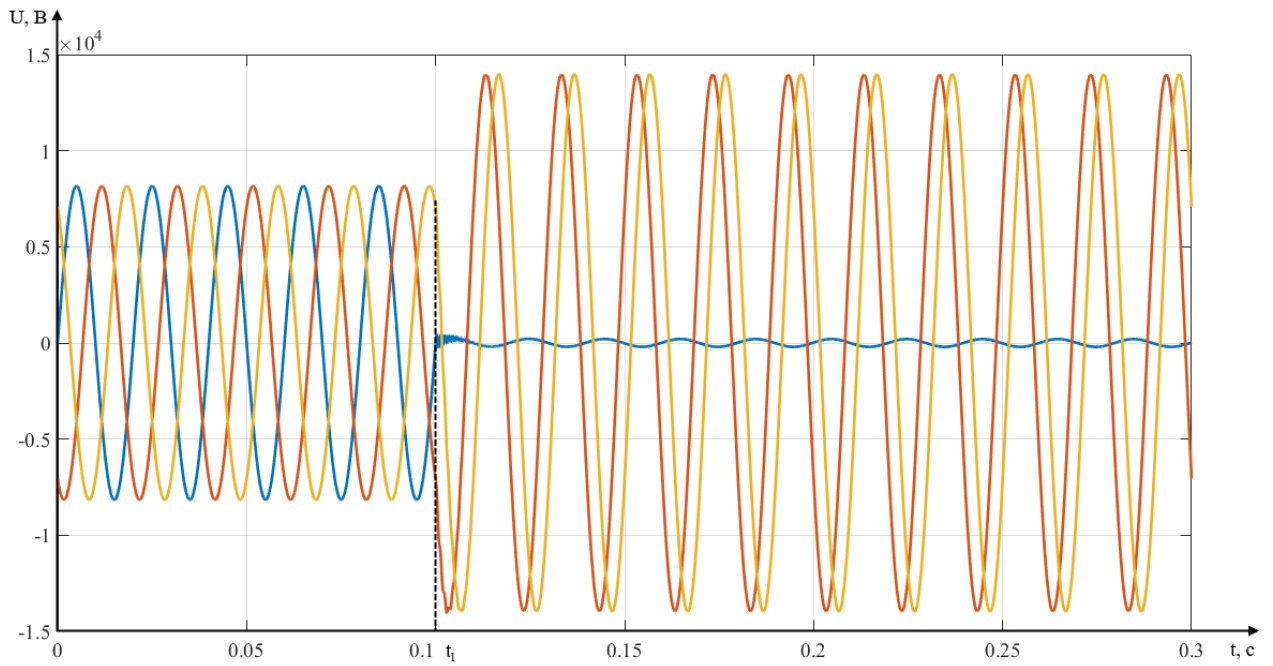


а)

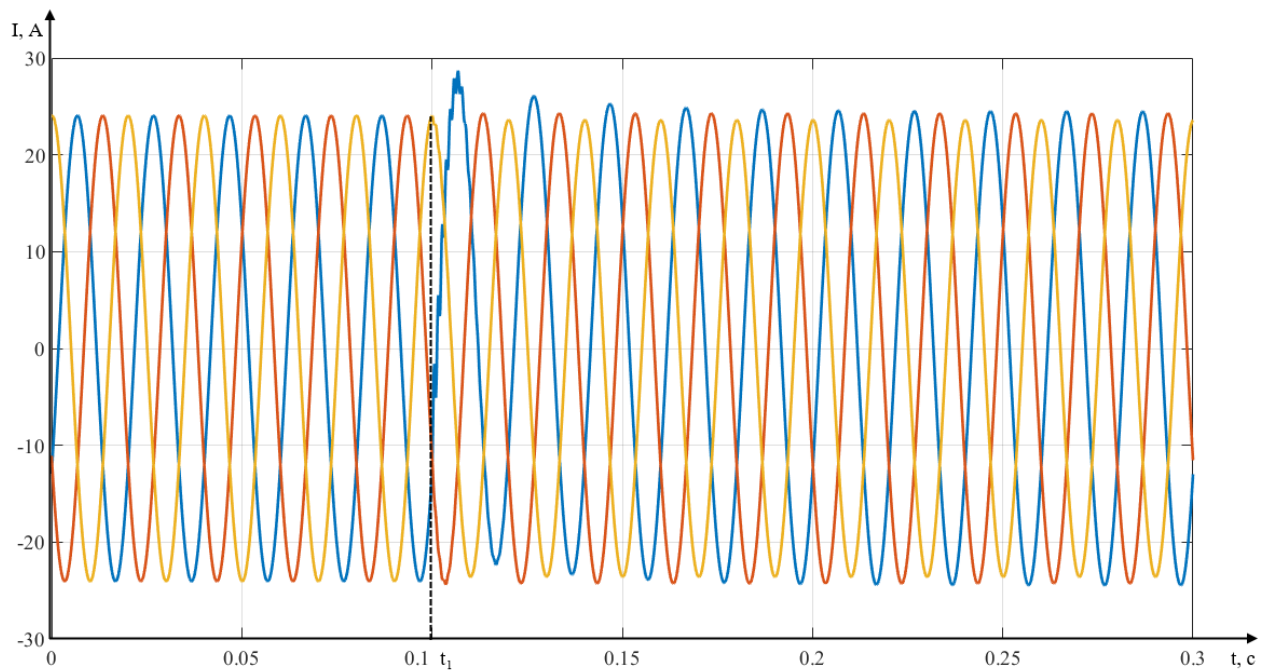


б)

Рисунок 3.15 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w1 при появі ОЗЗ в момент часу t_1



а)



б)

Рисунок 3.16 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w2 - w3 при появі ОЗЗ в момент часу t_1

Як видно з графіків на рис.3.15 а) та рис.3.16 а) значення лінійної напруги фази на якій виникло однофазне замикання на землю спостерігається зниження напруги до значення близького до нуля, а непошкоджених фаз на значення $\sqrt{3}$,

як і в попередньому досліді. Також і попередньому досліді, вимірявши міжфазну напругу, можна пересвідчитись в тому, що живлення споживача буде відбуватися нормально (ОЗЗ не впливає на міжфазну напругу).

В ході моделювання було отримано графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора при появі ОЗЗ. Даний графік показано на рис. 3.17.

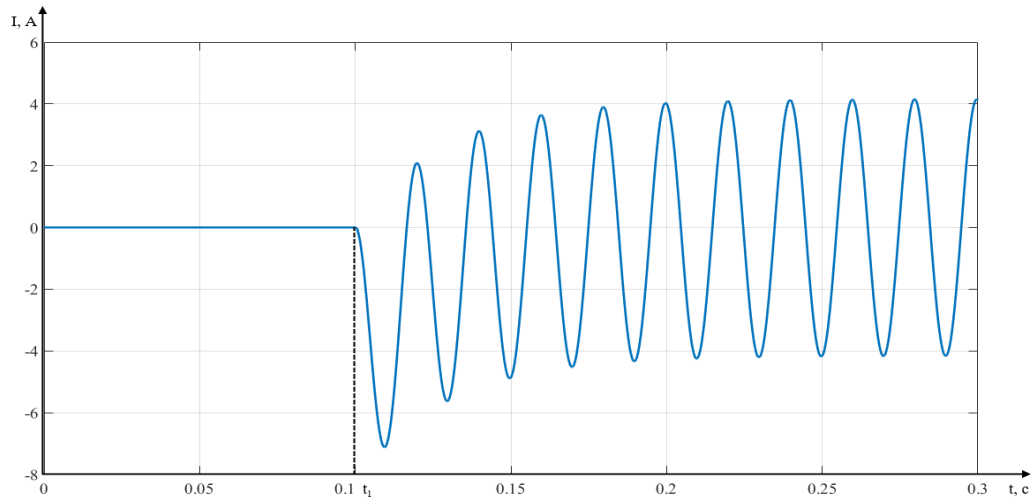


Рисунок 3.17 – Графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора

Важливою величиною при однофазному замиканні на землю є струм в місці виникнення замикання, так в ході моделювання було отримано графік струму замикання (рис.3.18).

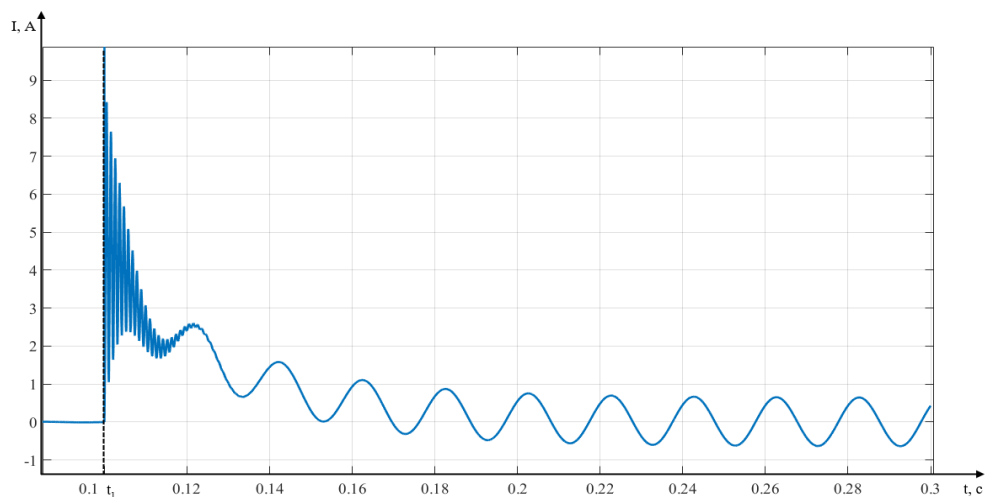


Рисунок 3.18 – Струм в місці виникнення ОЗЗ

Як видно з графіку в струмі замикання на землю присутня високочастотна складова обумовлена індуктивністю та ємністю ліній, навантажень та трансформатора та індуктивність дугогасного реактора, яка майже компенсує ємнісний струм. Причому потрібно зазначити, що початкове значення струму близьке до значення при ізольованій нейтралі, проте в ході перехідного процесу на протязі 0,2 с встановлюється в достатньо мале значення, близько 0,75 А в амплітуді.

3.4 Дослідження роботи мережі з резистивно заземленою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю

Дослід роботи мережі 10 кВ з резистивно заземленою нейтраллю при виникненні однофазного замикання на землю. Цілю даного дослідження отримання сумарних напруг і струмів всіх відгалужень ($w1 - w3$) та їх значень на пошкодженій гілці ($w1$), струму нейтралі заземлюючого трансформатора та струму в місці замикання за умови резистивно заземленою нейтраллю.

Заземлюючий високоомний резистор може бути підключений до нейтралі заземлюючого трансформатора або включається у вторинну обмотку, зібрану в розімкнутий трикутник, або спеціального трансформатора. В даній моделі резистор, як і індуктивність, підключений до нейтралі заземлюючого трансформатора через відкритий вимикач sb1 показано на рис. 3.19.

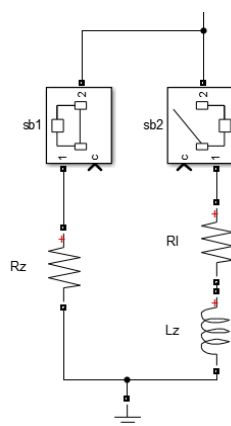
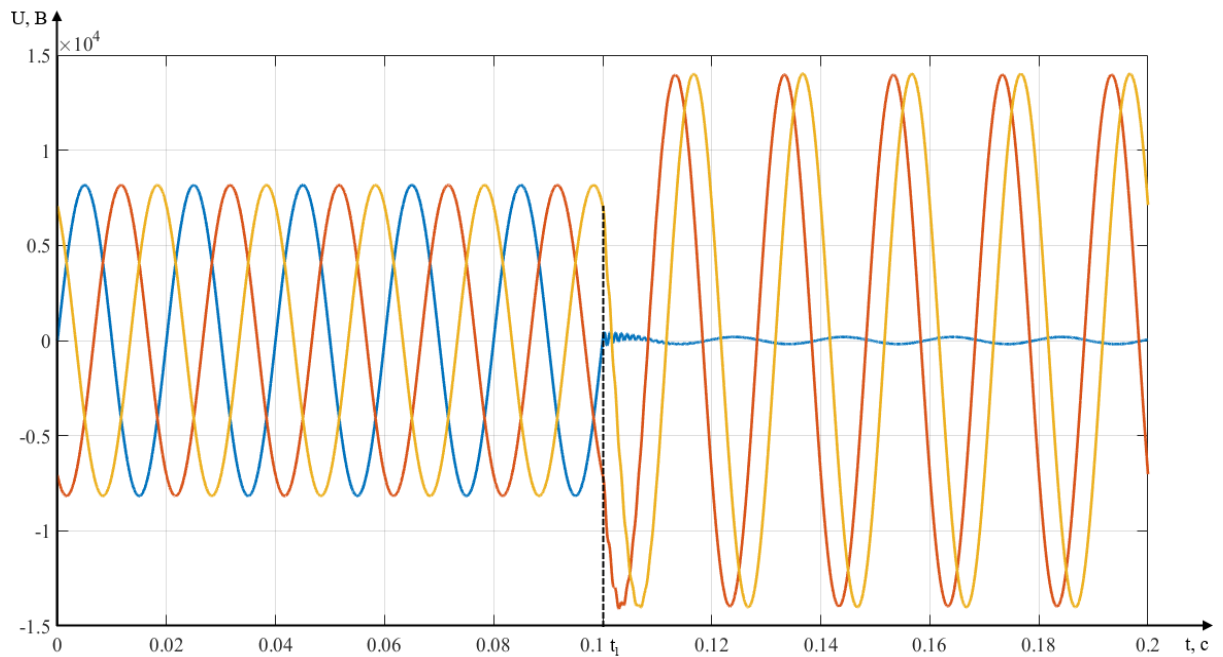
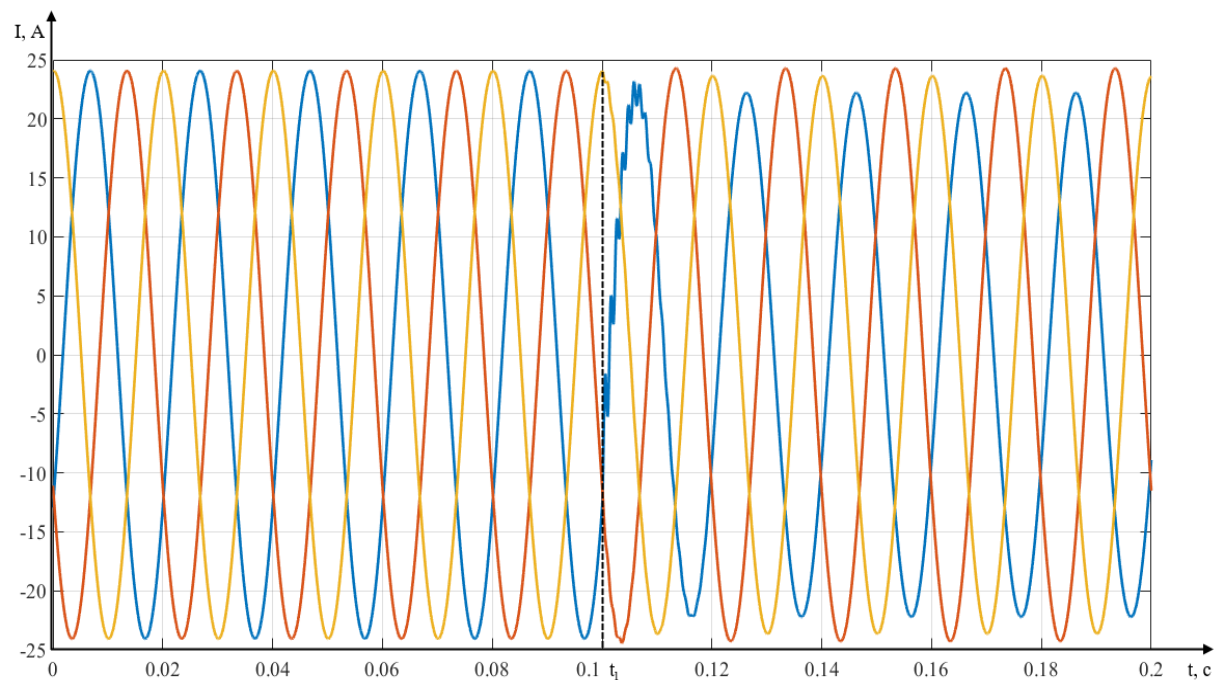


Рисунок 3.19 – Підключення високоомного резистору до заземлюючого трансформатора

В результаті моделювання були отримані графіки струмів і напруг. Для віток w1 та w2 - w3 мережі лінійна напруга та струм при виникненні ОЗЗ, в момент часу $t_1 = 0,1$ с, наведено на рис. 3.20 та 3.21.

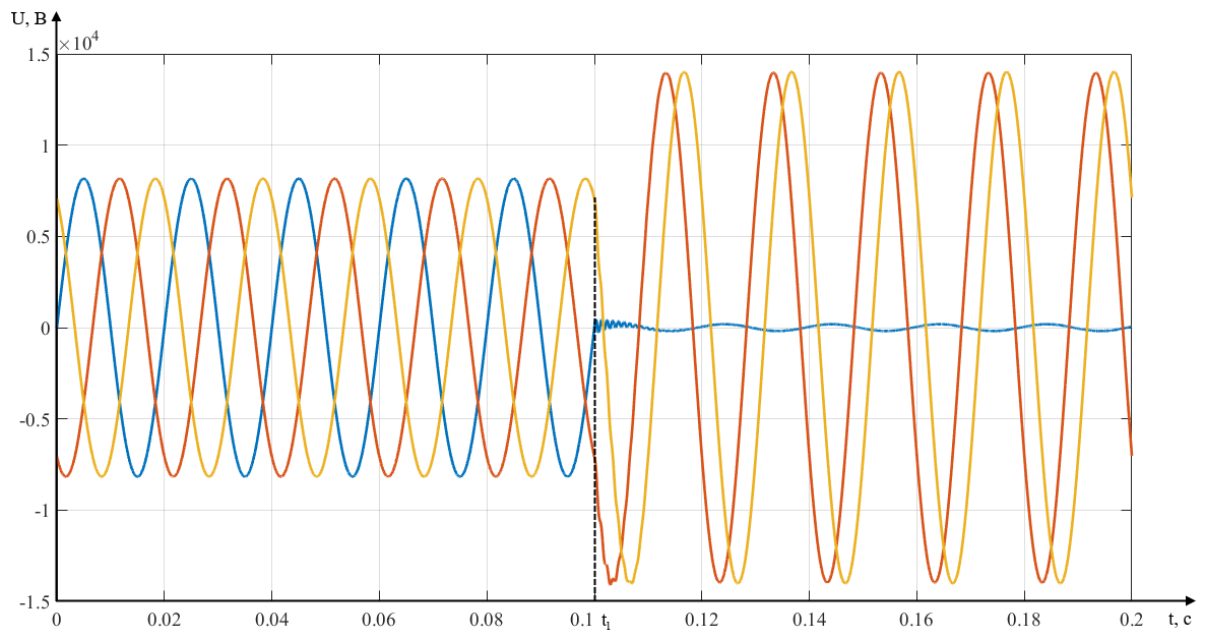


а)

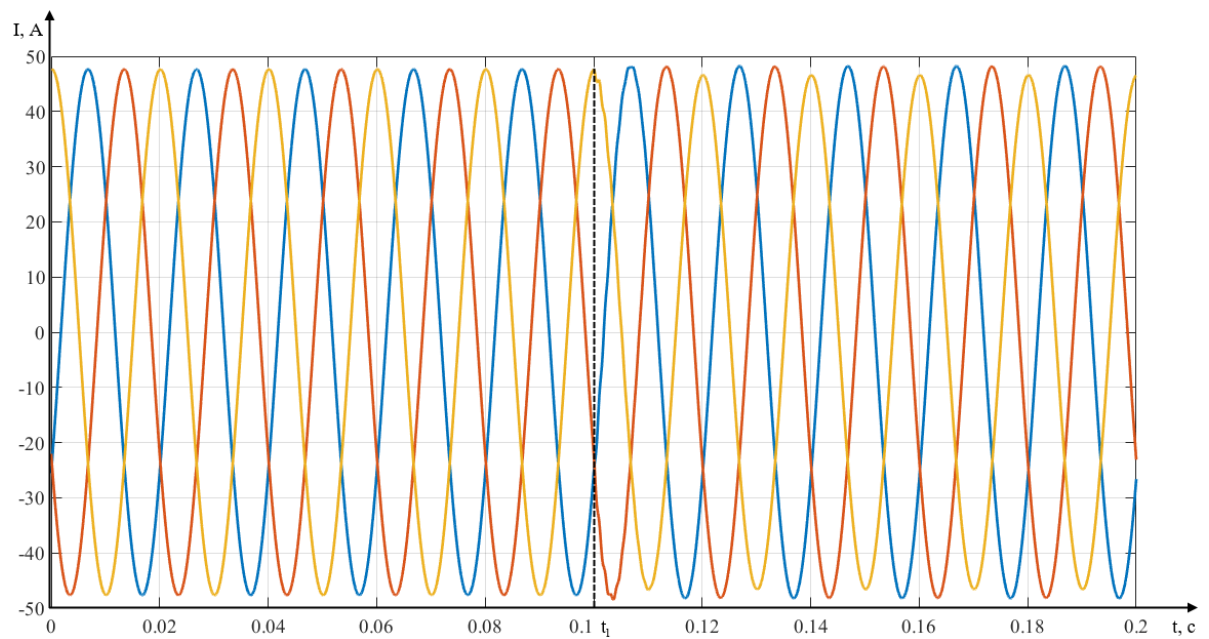


б)

Рисунок 3.20 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w1 при появі ОЗЗ в момент часу t_1



а)



б)

Рисунок 3.21 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w2 - w3 при появі ОЗЗ в момент часу t_1

Як видно з графіків на рис.3.20 а) та рис.3.21 а) значення лінійної напруги фази на якій виникло однофазне замикання на землю змінюється таким же чином як і в попередніх дослідах.

Як і попередньому досліді, вимірявши міжфазну напругу, можна пересвідчитись в тому, що живлення споживача буде відбуватися нормально (ОЗЗ не впливає на міжфазну напругу).

В ході моделювання було отримано графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора при появі ОЗЗ. Даний графік показано на рис. 3.22.

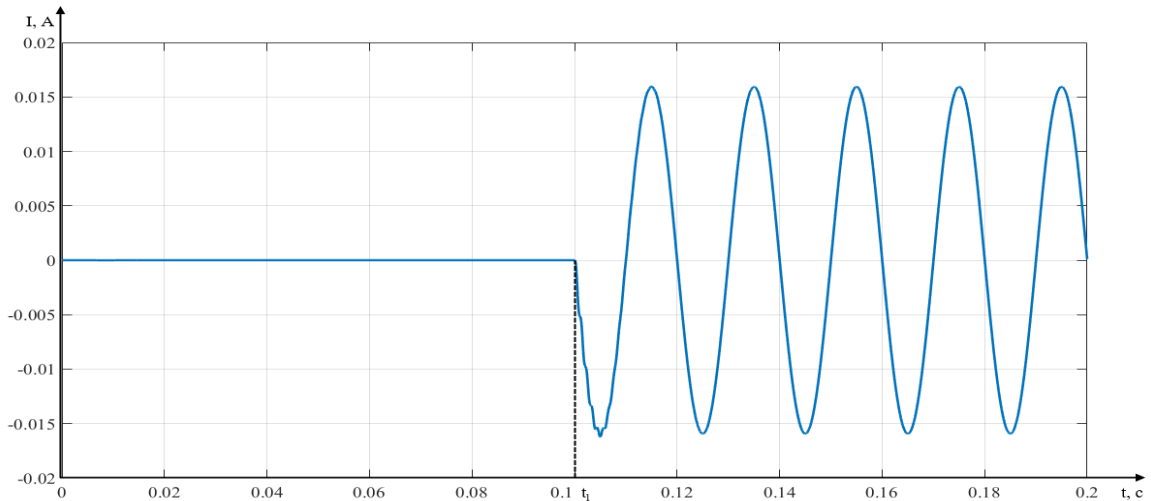


Рисунок 3.22 – Графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора

Важливою величиною при однофазному замиканні на землю є струм в місці виникнення замикання, так в ході моделювання було отримано графік струму замикання (рис.3.23).

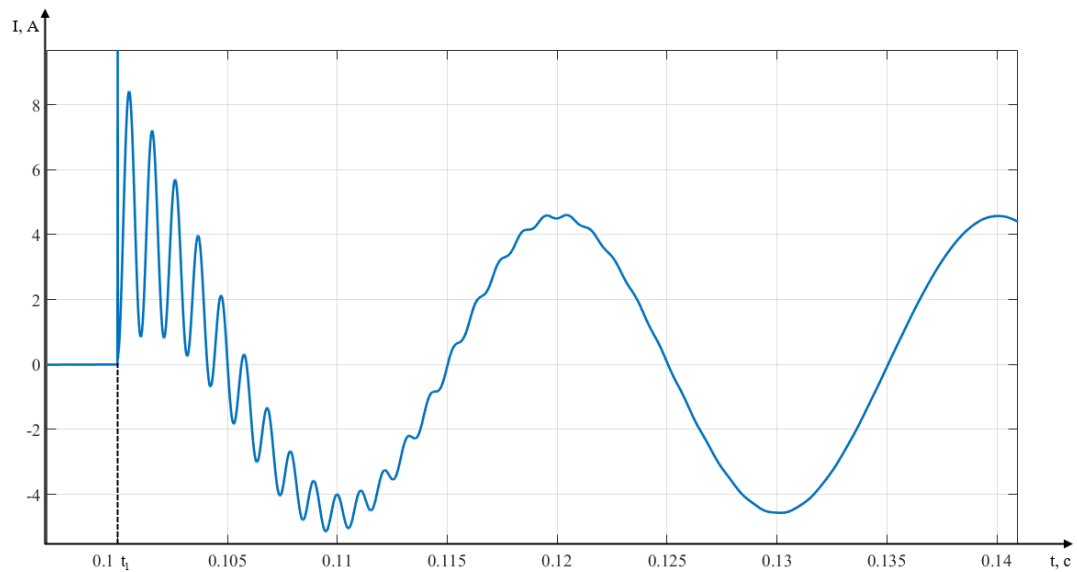


Рисунок 3.23 – Струм в місці виникнення ОЗЗ

Як видно з графіку в струмі замикання на землю присутня високочастотна складова обумовлена індуктивністю та ємністю ліній, навантажень та трансформатора. А саме значення струму близьке до значення струму при досліді мережі з ізольованою нейтроллю.

3.5 Дослідження роботи мережі з комбіновано заземленою нейтроллю при виникненні однофазного замикання на землю

Дослід роботи мережі 10 кВ з комбінованою нейтроллю при виникненні однофазного замикання на землю. Цілю даного дослідження отримання сумарних напруг і струмів всіх відгалужень ($w1 - w3$) та їх значень на пошкодженій гілці ($w1$), струму нейтралі заземлюючого трансформатора та струму в місці замикання за умови комбінованої нейтралі.

Заземлюючий високоомний резистор підключається паралельно індуктивності при ОЗЗ на короткий час для можливості якісного виявлення пошкодженого відгалуження (в момент часу $t_2 = 0,2$ с). В даній моделі резистор, який виступає в ролі високоомного заземлюючого резистора, буде підключений до нейтралі заземлюючого трансформатора паралельно індуктивності, через вимикач sb1, до якого на вхід с підключений блок Step, як показано на рис. 3.24.

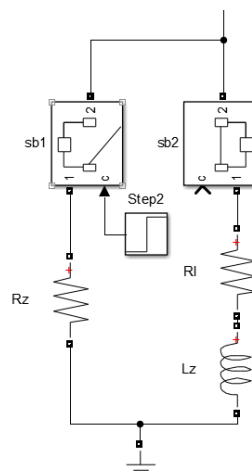


Рисунок 3.24 – Підключення високоомного резистору в момент часу t_2 до заземлюючого трансформатора паралельно індуктивності

Блок step налаштований на час спрацювання 0,2 с, що показано на рис.3.25.

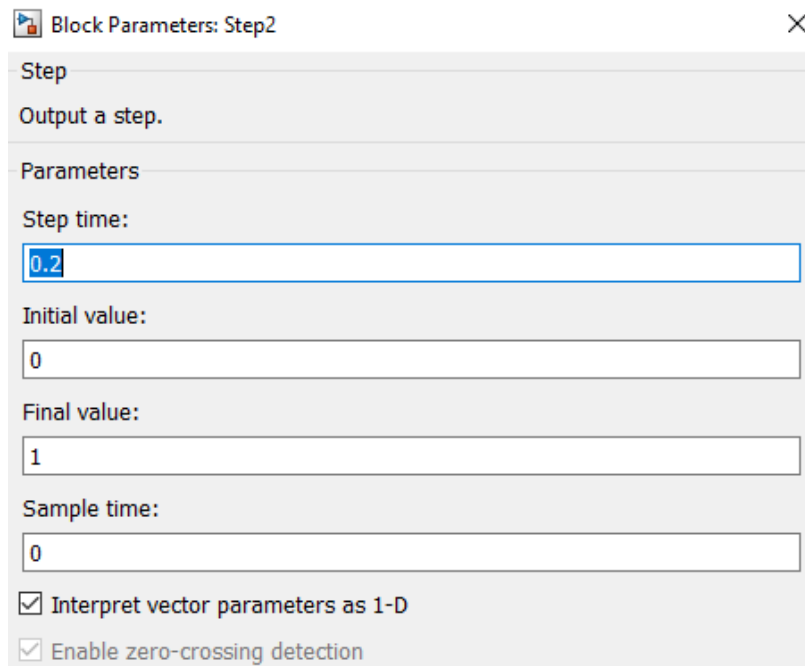
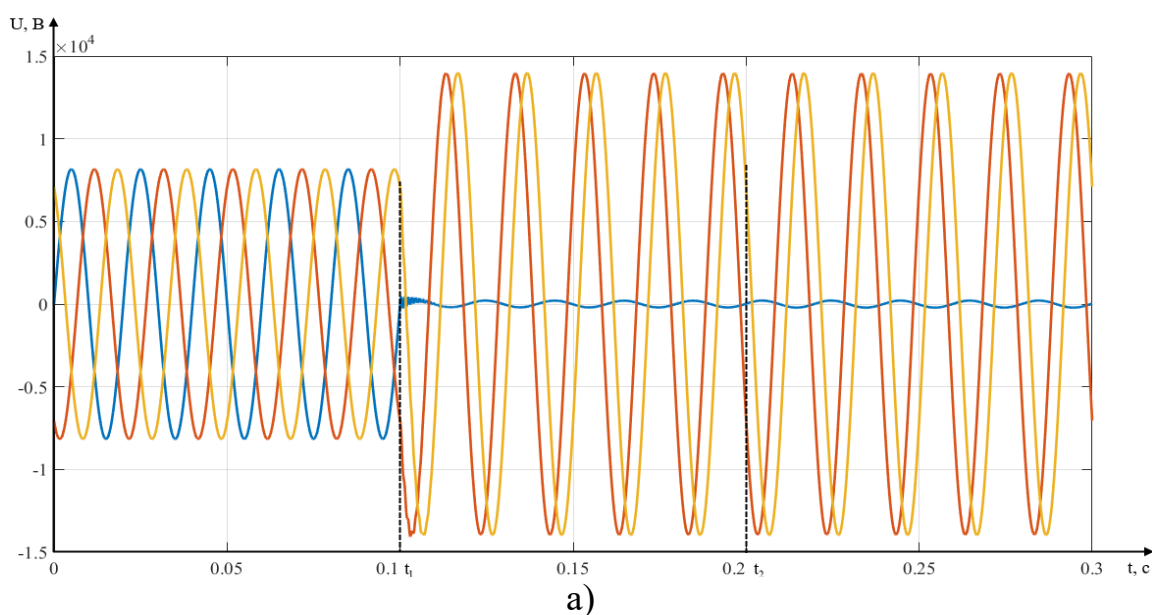
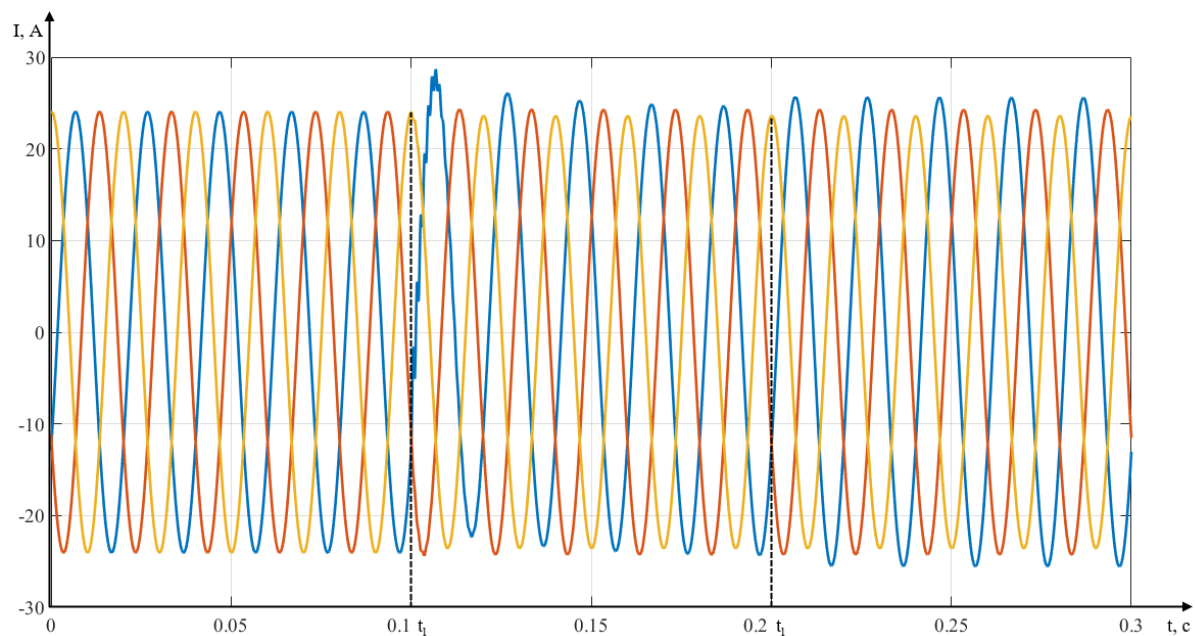


Рисунок 3.25 – Вікно налаштування блоку Step2

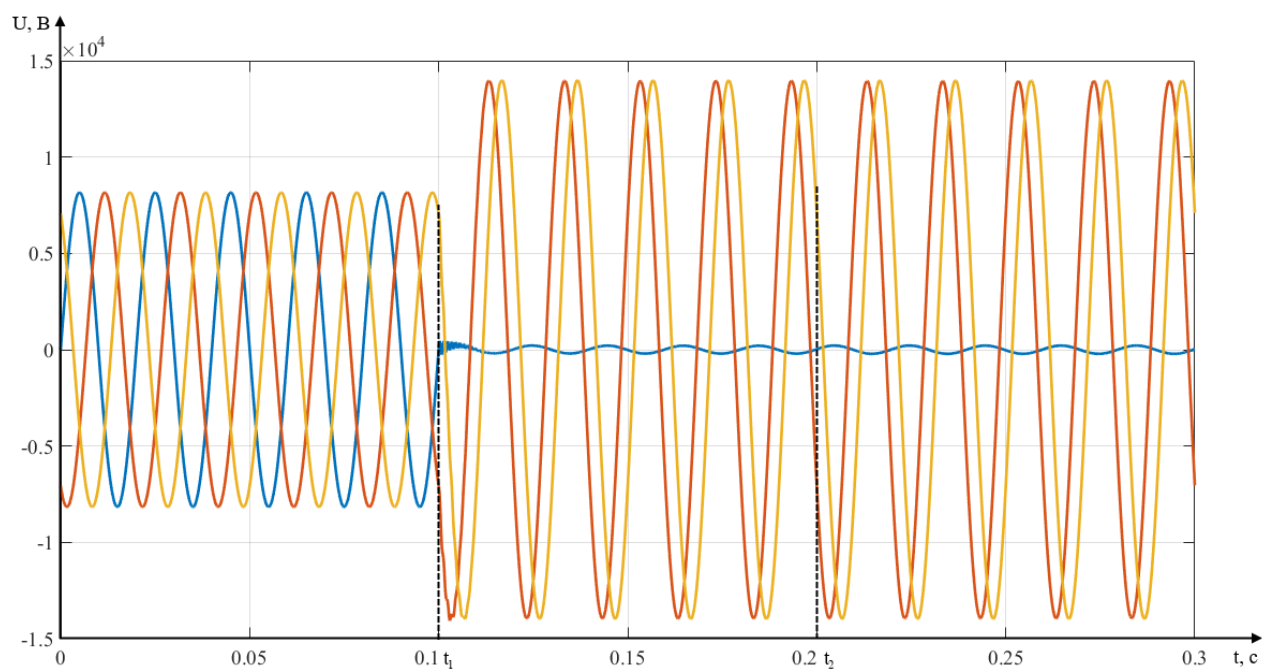
В результаті моделювання були отримані графіки струмів і напруг. Для віток w1 та w2 - w3 мережі лінійна напруга та струм при виникненні ОЗЗ наведено на рис. 3.26 та 3.27.



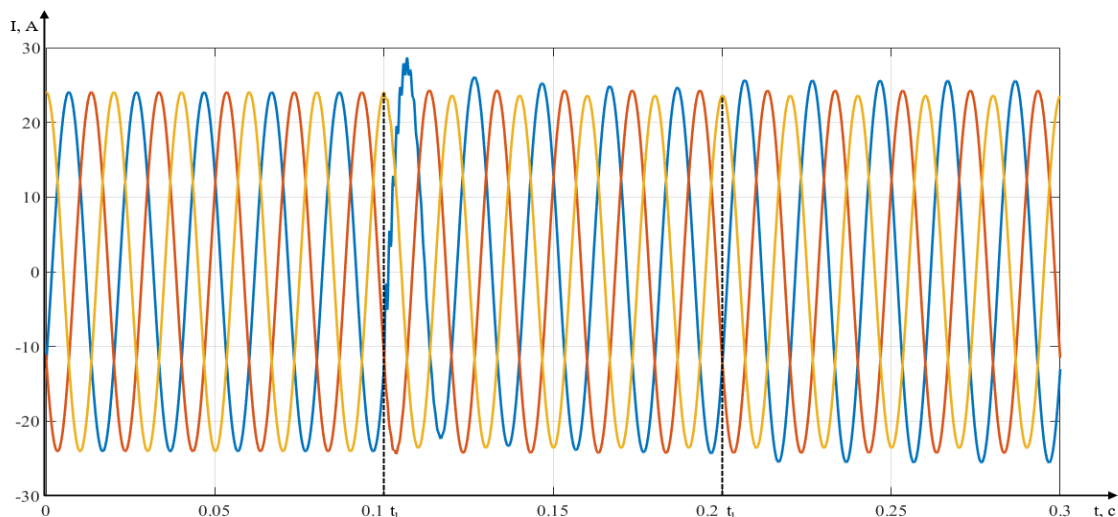


б)

Рисунок 3.26 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w1 при появі ОЗЗ в момент часу t_1



а)



б)

Рисунок 3.27 – Графіки (а) напруги і (б) струму лінії w2 - w3 при появі ОЗЗ в момент часу t_1

Як видно з графіків на рис.3.26 а) та рис.3.27 а) значення лінійної напруги фази на якій виникло однофазне замикання на землю спостерігається зниження напруги до значення близького до нуля, а непошкоджених фаз на значення $\sqrt{3}$. Як і попередньому досліді, вимірявши міжфазну напругу, можна пересвідчитись в тому, що живлення споживача буде відбуватися нормально (ОЗЗ не впливає на міжфазну напругу).

В ході моделювання було отримано графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора при появі ОЗЗ. Даний графік показано на рис. 3.28.

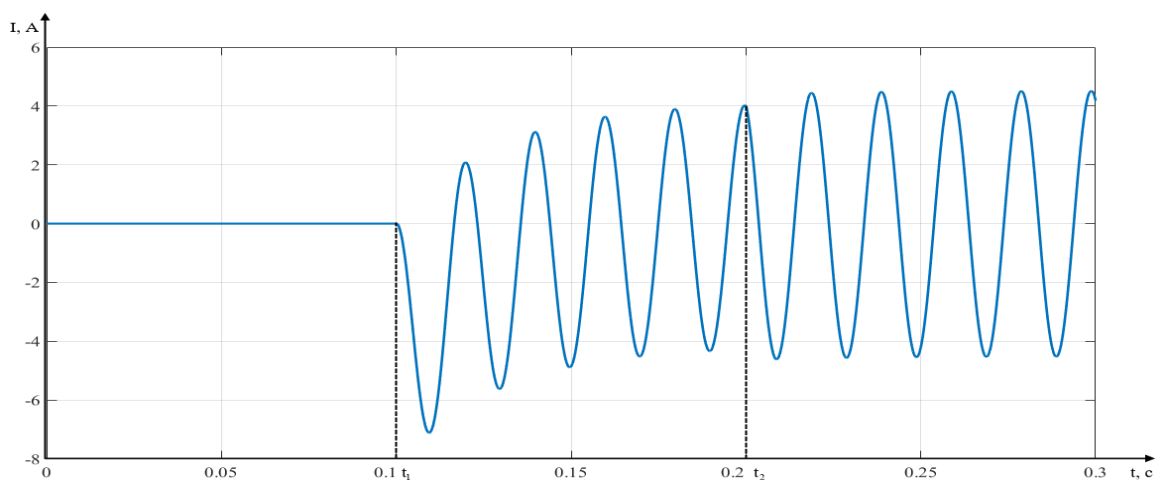


Рисунок 3.28 – Графік струму нейтралі заземлюючого трансформатора

Важливою величиною при однофазному замиканні на землю є струм в місці виникнення замикання, так в ході моделювання було отримано графік струму замикання (рис.3.29).

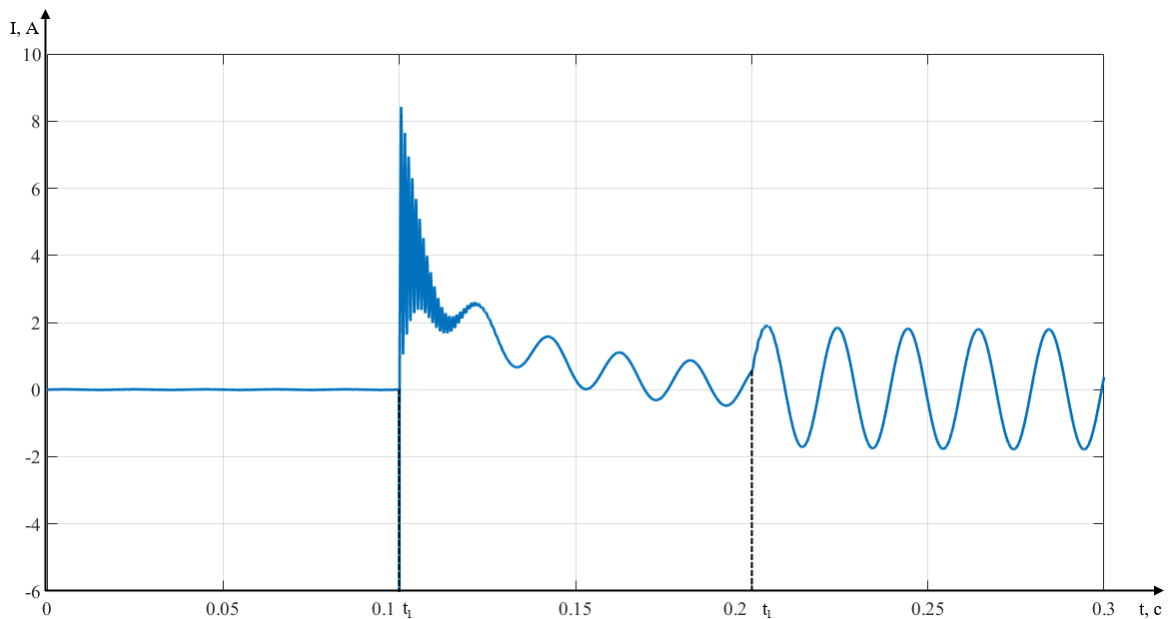


Рисунок 3.29 – Струм в місці виникнення ОЗЗ

Як видно з графіку в струмі замикання на землю присутня високочастотна складова обумовлена індуктивністю та ємністю ліній, навантажень та трансформатора. А саме значення струму спочатку близьке до значення струму при досліді мережі з компенсованою нейтраллю, проте при підключення зростає трохи більше ніж в двічі, до значення в амплітуді 2 А.

3.6 Висновки

Мережі напругою 10 кВ можуть працювати в режимі з ізолюваною, резистивно-, резонансно- та комбіновано заземленою нейтраллю.

Мінімальний струм замикання на землю можна отримати у випадку резонансно-заземленої нейтралі. Саме такий режим передбачений нормативними документами [3]. Зменшення струму однофазних замикань на землю знижує ймовірність пошкоджень електроустановок, виникнення пожеж, ураження

людей електричним струмом. Попри це, однією з негативних сторін резонансного заземлення нейтралі є ускладнення роботи систем захисту від однофазного замикання на землю і пов'язана з цим неможливість локалізації місця замикання в автоматичному режимі.

В свою чергу резистивне заземлення дозволяє створити достатній струм для спрацювання релейного захисту. Хоча струм короткого замикання все одно досить високий, і в такому режимі мережа може працювати не довго без пошкодження обладнання.

Тому використання комбіновано заземленої нейтралі є компромісом який дозволяє поєднати переваги резистивного та резонансного заземлення нейтралі.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХИСТУ ВІД ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ ДЛЯ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ З КАБЕЛЬНОЮ ВСТАВКОЮ 10 КВ

4.1 Основні функціональні вимоги до захисту від однофазних замикань на землю кабельних мереж 10 кВ

Основною метою технічного вдосконалення захисту від ОЗЗ є підвищення ефективності роботи мереж 10 кВ і в кінцевому підсумку надійності електропостачання споживачів. З урахуванням цієї мети, рішення в частині індивідуального захисту від ОЗЗ повітряних мереж 10 кВ повинно забезпечувати можливість ефективної реалізації наступних функціональних вимог:

1) захист від ОЗЗ повинна забезпечувати селективність і стійкість функціонування при всіх допустимих по [3] та іншим нормативним документам режимах заземлення нейтралі повітряних ліній напруги 10 кВ;

2) захист від ОЗЗ повинен забезпечувати селективність і стійкість функціонування при всіх можливих в повітряних лініях 10 кВ різновидах ОЗЗ, а також їх розпізнавання для автоматичної оцінки ступеня небезпеки пошкодження для мережі і пошкодженого елемента і вибору найбільш ефективного при даного різновиду замикання способу дії захисту (сигнал або відключення) [12, 13];

3) захист від ОЗЗ повинен забезпечувати можливість застосування на всіх типах об'єктів мереж 10 кВ, на яких потрібне застосування селективного захисту від даного виду ушкоджень, в тому числі при відсутності трансформаторів напруги для отримання напруги нульової послідовності;

4) ефективність функціонування захисту від однофазного замикання на землю не повинна залежати від факторів, що впливають на селективність і стійкість роботи окремих складових його функцій;

5) рішення проблеми захисту від ОЗЗ повітряній лінії 10 кВ повинно передбачати також можливість дистанційного визначення місця пошкодження при всіх різновидах замикань на землю, включаючи короткочасні, що дозволить значно скоротити витрати часу на пошук і усунення пошкодження і підвищити надійність електропостачання споживачів.

Актуальним є вирішення проблеми ОЗЗ для повітряних ліній електропостачання. Проте, якщо взяти до уваги, що пристрій може використовуватися для повітряної лінії з кабельною вставкою, то він придатний для роботи і в кабельній мережі з мінімальними змінами конфігурації пристрою. Тобто також даний пристрій, може послугувати підґрунтям для вирішення проблеми замикань на землю і в складних по конфігурації і режимам роботи кабельних мереж 10 кВ систем електропостачання підприємств.

4.2 Структурна схема захисту від замикань на землю в повітряних лініях з кабельною вставкою 10 кВ

Очевидно, що побудувати захист від ОЗЗ, що задовольняє наведені вище вимоги, можна тільки на мікропроцесорній базі з використанням сучасних методів цифрової обробки сигналів.

З урахуванням принципів відомих [12, 13, 14] виконань пристроїв захисту від ОЗЗ для мереж, які працюють з ізолюваною нейтраллю і з високоомним заземленням нейтралі в складі функцій захисту можуть бути використані:

- в якості основної функції, що забезпечує стає функціонування і розпізнавання всіх різновидів дугових переривчастих ОЗЗ - спрямований захист на основі аналізу перехідних процесів;
- як функцій, що забезпечують безперервність дії при ОЗЗ – струмовий направлений захист нульової послідовності.

Структурна схема можливого варіанту захисту від ОЗЗ, призначеного для застосування на повітряних лініях з кабельною вставкою 10 кВ з ізолюваною чи резистивно (заземленої через високоомний резистор) заземленою нейтраллю,

оснащених трансформаторами напруги нульової послідовності наведена на рис. 4.1.

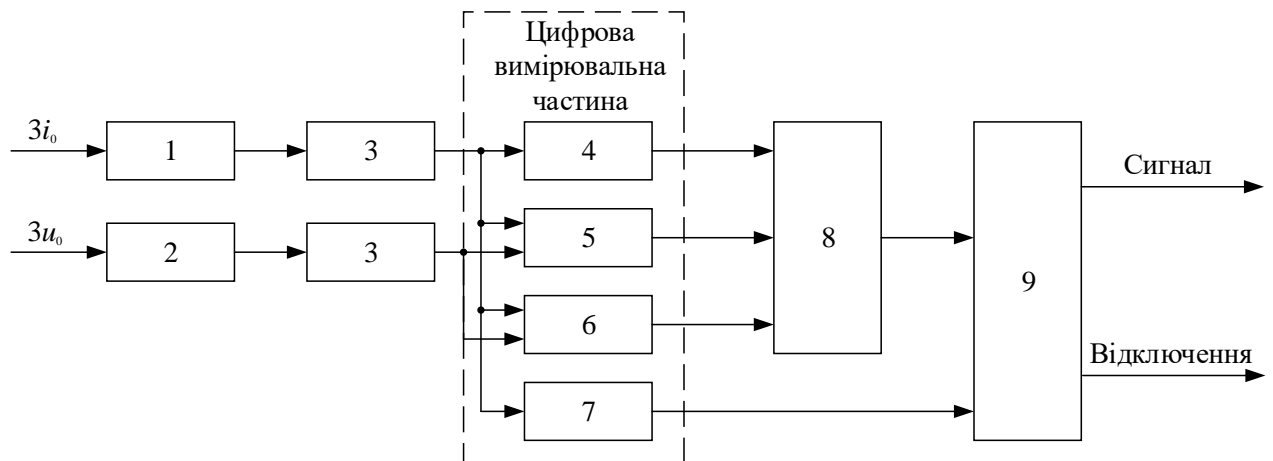


Рисунок 4.1 – Структурна схема захисту від ОЗЗ в мережі 10 кВ з ізольованою чи резистивно заземленою нейтраллю

На рис.4.1 зображені наступні блоки: 1, 2 – формувач аналогового сигналу струму і напруги; 3 – аналого-цифровий перетворювач; 4 – струмовий захист нульової послідовності, заснована на використанні складових промислової частоти струму $3I_0$ усталеного режиму ОЗЗ; 5 – спрямований захист нульової послідовності, заснована на використанні фазних співвідношень складових промислової частоти струму $3I_0$ і напруги $3U_0$ усталеного режиму ОЗЗ; 6 – спрямований захист безперервної дії на основі перехідних процесів; 7 – вимірювальний орган струму дугового ОЗЗ; 8 – блок логіки розпізнавання різновиду ОЗЗ; 9 – блок організації вихідних сигналів.

При стійких ОЗЗ пошкоджене приєднання визначається функціями блоку 1 або (та) блоку 2. Визначення пошкодженого приєднання при дугових ОЗЗ здійснюється блок 6. Це й ж блок виконує основну роль при розпізнаванні різновиди дугового ОЗЗ і забезпеченні можливості роздільного дії захисту на сигнал при безпечних і на відключення при небезпечних ОЗЗ для мережі. Блок 7 забезпечує можливість контролю середньоквадратичного значення струму при безпечних для мережі (по величині перенапруг) дугових переривчастих ОЗЗ, але

які можуть становити небезпеку за величиною струму для пошкодженого елемента. Вихідний сигнал блоку 7 використовується для дії на сигнал і може використовуватися для лічильника числа короткочасних самоусувних ОЗЗ.

В мереж з повітряними лініями 10 кВ з ізольованою нейтраллю, не обладнаних трансформатором напруги нульової, може бути використана тільки функція блоку 1.

Для встановлення даного захисту в мережі з резонансним або комбінованим заземленням нейтралі необхідно в блоки 4 та 5 (рис. 4.1) замінити відповідно струмовий захист нульової послідовності заснована на використанні складових промислової частоти на максимальний струмовий захист на основі аналізу вищих гармонік, а спрямований захист нульової послідовності, заснована на використанні фазних співвідношень складових промислової частоти на спрямований захист на основі аналізу вищих гармонік. Ці блоки будуть займатися визначенням пошкодженої ділянки при стійкому ОЗЗ [13].

В наслідок такої модифікації захисту, захист від ОЗЗ в мережі з різними видами нейтралі може забезпечуватися внутрішньою зміною конфігурації логічної частини.

4.3 Принципи виконання основних функціональних вузлів і елементів захисту від ОЗЗ

Блок 1, формувач аналогового сигналу струму (рис. 4.1), забезпечує:

- перетворення вторинного струму кабельного трансформатора струму нульової послідовності, встановленого на кабельній вставці, в напругу на вході блоку 3 (аналогово-цифрового перетворювача);
- гальванічну розв'язку виходів трансформатора струму і входів блоку 3;
- захист входу блоку 3 від можливих перенапруг.

Аналогічні функції виконує блок 2 (формувач аналогового сигналу напруги, рис. 4.1).

Вимоги до частоті дискретизації аналогово-цифрового перетворювача визначаються вищим значенням робочого діапазону частот функціонування захисту від ОЗЗ. В [13] зазначається для спрямованого захисту від ОЗЗ на основі вищих гармонік це значення складає близько 650 Гц, а для спрямованого захисту на основі перехідних процесів - 2-3 кГц. Для забезпечення необхідної точності доцільно забезпечити не менше 20 вибірок на період. З огляду на це для розроблюваних функцій захисту від ОЗЗ для мереж з різним типом нейтралі потрібно використовувати 14-16 розрядний аналогово-цифровий перетворювач з частотою дискретизації не менше 40 кГц.

Способи виконання блоку розпізнавання різновидів ОЗЗ. Як показано в розділі 3 небезпечні перенапруги при ОЗЗ можуть виникати тільки в мережах з ізольованою нейтраллю, отже, блок розпізнавання різновиду ОЗЗ необхідний перш за все в захистах, призначених для застосування в мережах, що працюють із зазначеним режимом нейтралі. Однак в компенсованих кабельних мережах при великій розстройці компенсації також можливе виникнення багаторазових повторних пробоїв ізоляції, що супроводжуються небезпечними перенапруженнями.

Способи виконання блоку розпізнавання різновиди ОЗЗ залежать від наявності або відсутності трансформатора напруги нульової послідовності. Його наявність на об'єкті, що забезпечує можливість вимірювання фазних напруг, може бути застосований прямий контроль перенапруг, а при їх відсутності - непрямі способи розпізнавання небезпечних дугових ОЗЗ [12, 14].

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПЕРЕВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 10 КВ З ІЗОЛЬОВАНОЮ АБО КОМПЕНСОВАНОЮ НЕЙТРАЛЮ В РЕЖИМ ЗАЗЕМЛЕННЯ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР

5.1 Технічні та економічні особливості переведення мережі в режим резисторного заземлення нейтралі

В даний час в Україні, згідно з [3], розподільні електричні мережі напругою 10 кВ працюють в режимі з ізольованою або з компенсованою нейтралю. Застосування таких режимів нейтралі пов'язано з можливістю забезпечення електропостачання споживачів при однофазних замиканнях на землю. А з 2006 році в Україні, у розподільчих мережах напругою 6 – 35 кВ було дозволено застосовувати заземлення нейтралі через резистор (розрізняють заземлення через низькоомний та високоомний резистори).

При заземленні нейтралі мережі напругою 10 кВ через резистор змінюються наступні параметри (відносно роботи з ізольованою чи компенсованою нейтралю) в разі однофазних замикань на землю:

- збільшується значення струму однофазного замикання на землю;
- з'являється активна складова в струмі однофазного замикання на землю в пошкодженій лінії (проте струм замикання в непошкодженій лінії має ємнісний характер);
- рівень перенапруг при дугових однофазних замиканнях на землю знижується до $(2,2 \dots 2,5)U_{\phi}$ тобто приблизно в 1,4-1,9 рази [3, 8, 9];
- знижується тривалість впливу перенапруг на ізоляцію мережі (до 10 с замість 6 год);
- відключається ушкоджена лінія релейного захистом при однофазних замиканнях;

- знижується тривалість роботи мережі в режимі однофазного замикання на землю.

Приєднання резистора до нейтралі мережі передбачає створення комірки на підстанції з резистором, роз'єднувачами, вимикачем і трансформатором струму в нейтралі.

Для включення резистора в виведену нейтраль сторони 35 кВ силового трансформатора 110/35/10 кВ або в нейтраль обмотки напругою 10 кВ спеціального заземлюючого трансформатора, необхідні наступні капітальні витрати на [18]:

- проектування переходу мережі на режим заземленою нейтралі через резистор;
- придбання спеціального заземлюючого трансформатора напругою 10 кВ, спеціального заземлюючого резистора, трансформаторів струму для нейтралі і всіх ліній, що відходять, спрямованих реле захисту, блоків живлення схем захисту та автоматики;
- придбання однофазних вимикачів та роз'єднувачів для встановлення в коло резистора;
- монтаж комірки з заземлюючим трансформатором, заземлюючим резистором, роз'єднувачами, вимикачами і трансформатором струму в нейтралі;
- монтаж трансформаторів струму на кожній з ліній, що відходять;
- монтаж та налагодження релейного захисту та автоматики.

Зазначені додаткові капітальні витрати на установку резистора повинні виправдовуватися наступними умовами:

- зниженням витрат на виготовлення фазної ізоляції (виконуваної на фазу, а не на лінійну напругу), проте при реконструкції мережі середньої напруги даний ефект не може бути реалізований;
- збільшенням довговічності ізоляції за рахунок зниження рівнів і тривалості впливають на неї перенапруг (при однофазному замиканні на землю

перенапруги з'являються на всіх відгалуженнях приєднаних до шин трансформатора);

- підвищенням надійності роботи вимірювальних трансформаторів напруги в результаті виключення можливості виникнення ферорезонансних процесів;
- підвищенням загального рівня електробезпеки мережі.

При переведенні мережі з ізолюваною (компенсованою) нейтраллю в режим нейтралі заземленої через резистор модернізація системи заземлення не буде потрібно.

Кількість відключень ліній через однофазні і міжфазних замикань в разі заземлення через резистор зростає приблизно в 2,5 рази в порівнянні з роботою мережі з ізолюваною нейтраллю, причому одночасно знижується тривалість впливу перенапруг при однофазних замиканнях на ізоляцію ліній [18].

Враховуючи наявність автоматичного резервування живлення споживачів при розгляданні сучасної мережі напругою 10 кВ виключається необхідність урахування збільшення недовідпуску електроенергії при однофазних замиканнях у випадку включення високоомного резистора в нейтраль мережі.

5.2 Оцінка ефективності переведення електричної мережі напругою 10 кВ в режим заземленою через резистор нейтралі

Оскільки показник зміни рівня електробезпеки та терміну служби ізоляції досить складно висловлювати в грошовій формі, то для оцінки ефективності переведення електричної мережі напругою 10 кВ в режим нейтралі заземленої через резистор - критерій дисконтованих витрат не може бути застосований.

Так для оцінки доцільності переведення мережі в режим нейтралі заземленої через резистор можна скористатися методом багатоцільової оптимізації [18].

Відповідно до даного методу для оцінки ефективності переведення електричної мережі номінальною напругою 10 кВ з режиму ізолюваною нейтралі в режим заземленої через резистор нейтралі необхідно забезпечити

наступні умови: мінімум капітальних витрат K (ціль № 1); максимальний терміну служби ізоляції t (мета № 2); максимуму електробезпеки мережі B (мета №3).

Найбільш точна (так звана середньогармонічна) структура цільової функції має наступний вигляд [18]:

$$E = \left(\sum_{i=1}^3 \frac{v_i}{e_i} \right)^{-1} \rightarrow \max, \quad (5.1)$$

де E - критерій оптимізації;

v_i - оцінка важливості i -ої цілі ($i=1, 2, 3$);

e_i - відносна ефективність i -ої цілі.

Варіант з максимальним значенням критерію оптимальності найбільш доцільний. Значення e_i , знаходиться так [18]:

- для цілі мінімуму:

$$e_i = \frac{\min K_j}{K_j}, \quad (5.2)$$

де K_j - мінімальне значення капітальних витрат в розглянутих варіантах (ізолювана і заземлена нейтралі);

- для цілей максимуму:

$$e_i = \frac{t_j}{\max t_j}, \quad (5.3)$$

де $\max t_j$ - максимальне значення довговічності ізоляції;

$$e_i = \frac{B_j}{\max B_j}, \quad (5.4)$$

де $\max B_j$ - максимальне значення рівня електробезпеки.

До складу капітальних витрат по забезпеченню режиму ізольованою нейтралі входять витрати на пристрій контуру заземлення та монтаж комплектів трансформаторів струму в ланцюгах ліній, що відходять. Також потрібно додатково враховувати додаткові витрати (були наведені в попередньому пункті).

Показники цілей для мережі з ізольованою нейтраллю приймаємо в відносних одиницях рівним одиниці, тобто:

$$K_* = t_* = B_* = 1.$$

Тоді показники електробезпеки і довговічності для мережі з заземленою через резистор нейтраллю, як було зазначено вище, знаходяться відповідно в межах $B_{*1} = 5,0 \dots 1,25$, $t_{*1} = 1,3$ (для повітряних мереж), а показник K_{*1} для мережі з заземленою нейтраллю знаходитиметься в межах $1,5 \dots 5,0$ [18].

Значущості цілей v_j визначаються за методом експертних оцінок. В якості експертів було опитано відповідальних працівників на базі притики, і відповідно до їх відповідей було присвоєно ранг кожному з критеріїв (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Матриця рангів критеріїв

Номер експерта	Ранг цілі		
	Ціль 1	Ціль 2	Ціль 3
1	2	3	4
1	2	3	1
2	2	3	1

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4
3	3	2	1
4	3	1	2
5	3	2	1
Сума рангів цілі A_j	13	11	6
R_j	0,47	0,60	0,93
$\sum_{i=1}^3 R_i$	2		

Числові значення вагових коефіцієнтів знаходяться за наступною формулою:

$$v_i = \frac{R_i}{\sum_{i=3}^3 R_i}, \quad (5.5)$$

де R_i - розрахунковий коефіцієнт для кожної цілі.

Розрахунковий коефіцієнт R_i визначається з формули:

$$R_i = 1 + \frac{1}{n} - \frac{A_i}{nN}, \quad (5.6)$$

де n - число цілей ($n = 3$),

A_i - сума рангів i -ої цілі,

N - число експертів ($N = 10$).

Стосовно нашого завдання числові значення значущості цілей v_i рівні: $v_1 = 0,23$; $v_2 = 0,3$; $v_3 = 0,48$.

Результати розрахунків значень відносної ефективності цілей занесено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Значення відносної ефективності цілей

Показник цілі	Значення K_{*j} , t_{*j} , B_{*j}		Значення e_* при	
	Ізольована нейтраль	Резистивна нейтраль	Ізольована нейтраль	Резистивна нейтраль
K_{*j}	1,00	1,50	1,00	0,67
	1,00	2,50	1,00	0,40
K_{*j}	1,00	3,00	1,00	0,33
	1,00	5,00	1,00	0,20
t_{*j}	1,00	2,00	0,50	1,00
	1,00	1,30	0,75	1,00
B_{*j}	1,00	1,25	0,80	1,00
	1,00	3,00	0,69	1,00
	1,00	5,00	0,20	1,00

Значення критерію оптимізації E розрахованого по формулі 5.1 та даних з табл. 6.1 та 6.2 занесено до табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Значення критерію оптимізації для мережі з повітряними лініями

Значення показників для нейтралі, заземленою через резистор			Значення критерію оптимізації E	
K_{*j}	t_{*j}	B_{*j}	Нейтраль ізолювана	Нейтраль заземлена через резистор
1,50	1,30	1,25	0,71	0,91
2,50	1,30	1,25	0,71	0,74
3,00	1,30	1,25	0,71	0,68

Продовження таблиці 6.3

5,00	1,30	1,25	0,71	0,52
1,50	1,30	3,00	0,49	0,91
2,50	1,30	3,00	0,49	0,74
3,00	1,30	3,00	0,49	0,68
5,00	1,30	3,00	0,49	0,52
1,50	1,30	5,00	0,32	0,91
2,50	1,30	5,00	0,32	0,74
3,00	1,30	5,00	0,32	0,68
5,00	1,30	5,00	0,32	0,52

5.3 Висновки

З даних, наведених в табл.6.3, видно, що капітальні витрати, на переведення до мережі з нейтраллю заземленою через резистор, не повинні перевищувати більш ніж в 1,5 рази капітальні витрати на створення режиму ізольованою нейтралі (за умови підвищення довговічності ізоляції близько в 1,3 рази для мереж з повітряними лініями і рівня електробезпеки в 1,25 рази).

Якщо врахувати, що рівень електробезпеки мережі з заземленою нейтраллю через резистор в 3-5 разів вище, ніж в мережі з ізольованою нейтраллю, то значення капітальних витрат на переведення мережі в режим нейтралі заземленої через резистор не є визначальним фактором при виборі типу нейтралі. Проте для мереж з повітряними лініями зазначені капітальні витрати не повинні бути збільшені більше ніж в 4 рази, і інакшому випадку вони не є виправданими.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз Умов праці на робочому місці

Система керування охороною праці на підприємстві ПрАТ “Рівнеобленерго” побудована у відповідності із вимогами і діючою методикою.

Інформація про стан охорони праці поступає від керівників підрозділів, громадських інспекторів, а також при проведенні оперативного контролю керівними органами.

На підприємстві передбачено кабінет охорони праці. Є посада інженера з охорони праці, проводяться навчання. На підприємстві своєчасно проводяться перевірки, випробовування засобів захисту і енергетичного обладнання.

Відповідальним за організацію навчання з питань охорони праці на підприємстві являються його власника, а в структурних підрозділах – на керівники цих же підрозділів. Своєчасне проведення навчання контролює служба охорони праці і працівники відповідальні за їх проведенням.

Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення Закону України “Про охорону праці”. Також за відповідальність за організацію, здійснення навчання, перевірку знань працівників і проведення інструктажів з питань охорони праці покладається на керівника підприємства.

Найголовнішим обов’язком працівника є неухильне дотримання вимог законодавчих та нормативних актів з охорони праці за своїм фахом, що є запорукою предметної діяльності без травм і аварій та будь-якого ушкодження здоров’я.

Працівник має: дбати про особисту безпеку та здоров’я, знати й виконувати вимоги інструкцій за фахом та нормативно-правові акти з охорони

праці, проходити у встановленому порядку навчання, попередні та періодичні медичні огляди, підтримувати вимоги трудової і технологічної дисципліни, які встановлюють правила виконання робіт і поведінки у виробничих приміщеннях та на території підприємства.

6.2 Розробка заходів з охорони праці.

Загальнообов'язкове державне соціальне страхування у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності та витратами, зумовленими народженням та похованням, передбачає матеріальне забезпечення громадян у зв'язку з втратою заробіт-ної плати (доходу) внаслідок тимчасової втрати працездат-ності (включаючи догляд за хворою дитиною, дитиною-інвалідом, хворим членом сім'ї), вагітності та пологів, догляду за малолітньою дитиною, часткову компенсацію витрат, пов'язаних з народженням дитини, смертю застрахованої особи або членів її сім'ї, а також надання соціальних послуг за рахунок бюджету Фонду соціального страхування з тимча-сової втрати працездатності, що формується шляхом сплати страхових внесків власником або уповноваженим ним органом, громадянами, а також за рахунок інших джерел, передбачених Законом, що здійснюється Фондом соціального страхування з тимчасової втрати працездатності.

Всі працівники підприємства мають бути застраховані. Законодавство про страхування від нещасних випадків складається з Основ законодавства України про обов'язкове державне страхування, Кодексу законів про працю України, Закону України “Про охорону праці” та інших нормативно-правових актів.

Основними завданнями страхування, згідно із [20] є:

- відновлення здоров'я й працездатності потерпілих на виробництві від нещасних випадків і профзахворювань;
- проведення профілактичних заходів, спрямованих на ліквідацію небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- попередження від нещасних випадків і профзахворювань, зумовлених умовами праці;

- відшкодування матеріального й морального збитку застрахованим і (або) членам їхніх родин.

Особи, які забезпечують себе роботою самостійно (особи, що займаються підприємницькою, адвокатською, нотаріальною, творчою та іншою діяльністю, пов'язаною з одержанням доходу безпосередньо від цієї діяльності, в тому числі члени творчих спілок, творчі працівники, які не є членами творчих спілок), мають право на матеріальне забезпечення та соціальні послуги відповідно до цього Закону за умови сплати страхо-вих внесків до Фонду соціального страхування з тимчасової втрати працездатності відповідно до чинного законодавства.

6.3 Пожежна безпека виробничого приміщення

Під час виникнення пожежі на енергетичному об'єкті перша особа, яка виявила загоряння, зобов'язана відразу повідомити телефоном пожежну охорону, начальника зміни станції, чергового, диспетчера, старшого зміни і негайно приступити до гасіння пожежі наявними на місці засобами пожежогасіння, дотримуючись правил техніки безпеки [25].

До прибуття відомчої пожежної охорони, начальник зміни або особисто або із залученням чергового персоналу, згідно з [25], зобов'язаний виконати наступні роботи:

- визначити місце центр виникнення вогнища, оцінити ситуацію та спрогнозувати поширення пожежі і можливість утворення нових центрів горіння;
- за можливості зняти напругу з електроустановки, що піддана горінню, або сусіднього з нею обладнання, якщо дана дія не спричинить більш тяжких наслідків;
- перевірити систему автоматичного пожежогасіння, а у випадку її відмови (не спрацювання) задіяти в ручному режимі;

- розпочати гасіння пожежі і охолодження будівельних конструкцій силами і засобами енергетичного об'єкта;
- організувати зустріч пожежних підрозділів і визначити місця заземлення пожежної техніки і розташування пожежних гідрантів, та проінформувати їх про безпечний шлях для пожежної техніки до осередку пожежі.

Оперативний план пожежогасіння об'єкта - це основний документ, що встановлює порядок організації гасіння пожеж на енергетичних об'єктах, взаємодії персоналу об'єкта і особового складу пожежних підрозділів, а також застосування засобів гасіння пожежі з урахуванням безпеки праці. Він знаходиться на щиті в чергового, а другий примірник - у начальника зміни станції.

Під час гасіння пожеж в електроустановках під напругою доцільним є використання компактних та розпилені струмені води, газові вогнегасні речовини - інертні розріджувачі на основі інертних газів, вогнегасний порошок. При цьому забороняється застосовувати усі види піни під час гасіння пожеж на електроустановках під напругою ручними засобами за участю людей.

У випадку зняття напруги з електроустановки, яка горить, гасіння пожежі можливе усіма видами пожежних засобів, за умови що поруч немає інших струмоведучих частин під напругою.

Всі засоби гасіння пожежі в електроустановках повинні забезпечувати безпечну роботу пожежників і ефективне гасіння пожежі.

Займання в електроустановках під напругою ліквідується персоналом енергетичного об'єкта за допомогою переносних і пересувних вогнегасників [26]: порошкових - при напрузі до 1,0 кВ, вуглекислотних - при напрузі до 10 кВ.

Для захисту необхідно застосовувати індивідуальні ізолювальні електрозахисні засоби (діелектричні рукавиці, боти) для електробезпечності персоналу і пожежників, які безпосередньо беруть участь у гасінні пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою

6.4 Типовий розрахунок або питання охорони праці до детального опрацювання (обґрунтування).

Розрахунок заземлюючого пристрою трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, яка розташована у другій кліматичній зоні. Ґрунт в який буде поміщатися заземлення – чорнозем, його питомий опір ρ становить 100 Ом·м [23]. Контур заземлення виконаний у вигляді прямокутного чотирикутника, таким чином, що в ґрунт закладаються вертикальні сталі стержні діаметром $d=18$ мм з довжиною $l=4$ м, з відстанню між ними $a=4$ м, які скріплюються зваренням згори горизонтальний заземлювачем із сталеві смуги шириною $b=40$ мм та висотою $h=5$ мм. Глибина закладення стержнів 0,8 м. Струм замикання на землю на ВН становить $I_3 = 10$ А.

Згідно ПУЕ в електроустановках напругою до 1000 В з заземленою нейтраллю опір заземлюючого пристрою, до якого приєднується нейтраль трансформатора, повинен бути не більшим 4 Ом.

Оскільки заземлюючий пристрій використовується для трансформаторної підстанції, то потрібно враховувати те, що заземлюючий пристрій буде використовуватися і для установок понад 1000 В, тоді формула для визначення допустимого опору заземлюючого пристрою буде наступною [24]:

$$R_3 = \frac{U_0}{I_3}, \quad (6.1)$$

де U_0 - допустима напруга на заземлювальному пристрої, В.

Так для електроустановок, в яких захист від замикання на землю повинен діяти на сигнал, значення напруги $U_0 = 67$ В, а для електроустановок, в яких захист діє на автоматичне відключення, значення напруги U_0 визначають залежно від тривалості замикання на землю в електроустановці [22].

Приймаємо тоді $U_0 = 90$ В (тривалість замикання на землю становить 1 с), звідси допустимий опір дорівнює:

$$R_3 = \frac{90}{6} = 15 \text{ Ом.}$$

Значення розрахункового допустимого опору більше ніж на стороні до 1000 В, $15 \text{ Ом} > 4 \text{ Ом}$, тому приймається, що $R_3 = 4 \text{ Ом}$.

Опір одного вертикального стержня визначається за наступною формулою:

$$R_B' = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right). \quad (6.2)$$

Підставивши вхідні параметри електрода, значення його опору буде наступним:

$$R_B' = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 4} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 4}{18 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,8 + 4}{4 \cdot 2,8 - 4} \right) = 25,76 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовну кількість стержнів занурених вертикально можна по наступній формулі:

$$n = \frac{R_B'}{R_3 \cdot \eta}, \quad (6.3)$$

де η - це коефіцієнт використання заземлювача, приймаємо рівним 1.

З (6.3) орієнтовна кількість вертикально занурених заземлювачів становить:

$$n = \frac{25,76}{4 \cdot 1} = 6,44 \text{ шт.}$$

Приймаємо це значення рівним 8 шт, через розташування заземлювачів по колу.

Довжину стальної з'єднувальної штаби можна визначити з наступної формули:

$$l_t = n \cdot a. \quad (6.4)$$

Оскільки відстань між вертикальними заземлювачами становить 4 м, то довжина стальної з'єднувальної штаби становить, з формули (6.4):

$$l_t = 8 \cdot 4 = 32 \text{ м.}$$

Для визначення опору стальної штаби, яка з'єднує стержні, можна скористатися наступною формулою:

$$R_z' = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_t} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_t^2}{d \cdot h}. \quad (6.5)$$

Підставивши в формулу (6.5) попередні значення отримаємо наступний вираз:

$$R_z' = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 32} \cdot \ln \frac{2 \cdot 32^2}{0,04 \cdot 0,8} = 5,1 \text{ Ом.}$$

Для визначення опору групи стержневих заземлювачів (враховуючи екрануючий вплив з'єднувальної штаби), можна визначити з наступною формулою:

$$R_g = \frac{R'_g}{n \cdot \eta_g}, \quad (6.6)$$

де η_g - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів.

Враховуючи, що відношення $a/l = 1$ та кількість стержнів рівна 8 шт. то коефіцієнт використання $\eta_g = 0,58$ [23]. Підставивши це значення в формулу (6.6) отримаємо:

$$R_g = \frac{25,76}{8 \cdot 0,58} = 5,55 \text{ Ом.}$$

Опір розтіканню струму з'єднувальної штаби, враховуючи екрануючий вплив вертикальних заземлювачів, можна визначити з формули:

$$R_z = \frac{R'_z}{\eta_z}, \quad (6.7)$$

де η_z - коефіцієнт використання горизонтального заземлювача.

Відповідно до попередніх параметрів коефіцієнт η_z , відповідно до [23], приймаємо рівним $\eta_z = 0,36$. Тоді опір розтіканню струму з'єднувальної штаби буде дорівнювати:

$$R_z = \frac{5,1}{0,36} = 14,16 \text{ Ом.}$$

Для визначення загального опору заземлюючого контуру, можна скористатися наступною формулою:

$$R_{3.3} = \frac{R_6 \cdot R_2}{R_6 + R_2}. \quad (6.8)$$

Підставивши значення з результатів обрахунку формул 6.6 та 6.7 отримаємо наступне значення загального опору заземлюючого пристрою:

$$R_{3.3} = \frac{5,55 \cdot 14,16}{5,55 + 14,16} = 3,99 \text{ Ом.}$$

Для того щоб вважати, що даний заземлюючий пристрій буде ефективно виконувати свою роботу, повинне виконуватися наступне співвідношення:

$$R_3 > R_{3.3}. \quad (6.9)$$

Підставивши в попередню формулу отримані розрахункові дані $4 \text{ Ом} > 3,99 \text{ Ом}$ виходить, що даний заземлюючий пристрій вибраний вірно.

Під час виникнення пожежі на енергетичному об'єкті перша особа, яка виявила загоряння, зобов'язана відразу повідомити телефоном пожежну охорону, начальника зміни станції, чергового, диспетчера, старшого зміни і негайно приступити до гасіння пожежі наявними на місці засобами пожежогасіння, дотримуючись правил техніки безпеки [25].

До прибуття відомчої пожежної охорони, начальник зміни або особисто або із залученням чергового персоналу, згідно з [25], зобов'язаний виконати наступні роботи:

- визначити місце центр виникнення вогнища, оцінити ситуацію та спрогнозувати поширення пожежі і можливість утворення нових центрів горіння;

- за можливості зняти напругу з електроустановки, що піддана горінню, або сусіднього з нею обладнання, якщо дана дія не спричинить більш тяжких наслідків;
- перевірити систему автоматичного пожежогасіння, а у випадку її відмови (не спрацювання) задіяти в ручному режимі;
- розпочати гасіння пожежі і охолодження будівельних конструкцій силами і засобами енергетичного об'єкта;
- організувати зустріч пожежних підрозділів і визначити місця заземлення пожежної техніки і розташування пожежних гідрантів, та проінформувати їх про безпечний шлях для пожежної техніки до осередку пожежі.

Оперативний план пожежогасіння об'єкта - це основний документ, що встановлює порядок організації гасіння пожеж на енергетичних об'єктах, взаємодії персоналу об'єкта і особового складу пожежних підрозділів, а також застосування засобів гасіння пожежі з урахуванням безпеки праці. Він знаходиться на щиті в чергового, а другий примірник - у начальника зміни станції.

Під час гасіння пожеж в електроустановках під напругою доцільним є використання компактних та розпилені струмені води, газові вогнегасні речовини - інертні розріджувачі на основі інертних газів, вогнегасний порошок. При цьому забороняється застосовувати усі види піни під час гасіння пожеж на електроустановках під напругою ручними засобами за участю людей.

У випадку зняття напруги з електроустановки, яка горить, гасіння пожежі можливе усіма видами пожежних засобів, за умови що поруч немає інших струмоведучих частин під напругою.

Всі засоби гасіння пожежі в електроустановках повинні забезпечувати безпечну роботу пожежників і ефективно гасіння пожежі.

Займання в електроустановках під напругою ліквідується персоналом енергетичного об'єкта за допомогою переносних і пересувних вогнегасників [26]: порошкових - при напрузі до 1,0 кВ, вуглекислотних - при напрузі до 10 кВ.

Для захисту необхідно застосовувати індивідуальні ізолювальні електрозахисні засоби (діелектричні рукавиці, боти) для електробезпечності персоналу і пожежників, які безпосередньо беруть участь у гасінні пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою.

Згідно [26]: “надзвичайна ситуація (НС) - це порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, зокрема епідемією, епізоотією, епіфітотією, пожежею, що призвело (може призвести) до виникнення великої кількості постраждалих, загрози життю та здоров'ю людей, їх загибелі, значних матеріальних утрат, а також до неможливості проживання населення на території чи об'єкті, ведення там господарської діяльності”.

За допомогою [27], було виявлено джерела небезпеки, які за певних умов (аварії, порушення режиму експлуатації, виникнення природних небезпечних явищ тощо) можуть стати причиною виникнення НС із перевищенням порогових значень показників ознак НС, та занесено до табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Джерела небезпек ПрАТ “Рівнеобленерго”

Назва джерела небезпеки	Аналог джерела небезпеки
Підстанції 110/35/10 кВ	Технологічне обладнання, пов'язане з використанням, виготовленням, переробкою, зберіганням або транспортуванням небезпечних речовин;
Підстанції 110/10 кВ	Теж саме
Підстанції 35/10 кВ	Теж саме
Підстанції 10/0,4 кВ	Теж саме
ЛЕП 110 кВ	Теж саме
ЛЕП 35 кВ	Теж саме
ЛЕП 10 кВ	Теж саме

Класифікації підлягають як виявлені так можливі надзвичайні ситуації (НС), а також ті, які можуть виникнути на об'єкті в різних галузях національного господарства чи на окремій території України.

Класифікаційна ознака надзвичайної ситуації - це технічна чи інша характеристика події, що її визначають установленим порядком і яка дає змогу віднести подію до надзвичайної ситуації [27].

На основі “Класифікатор надзвичайних ситуацій” [28], було визначено коди НС, виникнення яких можливе на об'єктах, що належать або обслуговуються підприємством, і занесено до табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Коди НС, що можливі на ПрАТ “Рівнеобленерго”

Код НС	Назва НС
10210	НС унаслідок пожеж, вибухів у будівлях і спорудах
10211	НС унаслідок пожежі, вибуху у споруді, на комунікації або технологічному устаткованні промислового об'єкта
10700	НС унаслідок аварій в електроенергетичних системах
10760	НС унаслідок аварії в електричних мережах
10770	НС унаслідок втрати стійкості або розділення об'єднаної енергосистеми України на складові частини
10800	НС унаслідок аварій у системах життєзабезпечення

За допомогою наказу “Класифікаційні ознаки надзвичайних ситуацій” [28], на підставі визначених кодів НС (табл.6.2) було проведено аналіз показників ознак НС та визначення їх порогових значень. Результати аналізу наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Аналіз ознак НС на ПрАТ “Рівнеобленерго”

Номер ознаки	Опис ознаки	Порогове значення показника ознаки
1	2	3
1.1	Загибель або травмування людей (персоналу) внаслідок пожеж і вибухів (окрім випадків пожеж і вибухів у житлових будівлях та спорудах), руйнування підземних споруд (у тому числі обрушення покрівель гірничих виробок у шахтах)	Загинуло від 2 осіб, постраждало (травмовано) від 5 осіб
1.55	Припинення енергопостачання з аварійних причин об'єктів підприємств, установ та організацій, повне відключення яких від електричних мереж може призвести до негативних екологічних та техногенних наслідків, що створюють загрозу життю та здоров'ю людей	1 факт
1.57	Робота об'єднаної енергосистеми України або її частини з частотою нижче 49,2 Гц	Від 0,5 годин
1.58	Робота об'єднаної енергосистеми України або її частини з частотою більше 50,3 Гц	Від 1 година
1.70	Припинення електропостачання населених пунктів Автономної Республіки Крим, області на добу і більше з причини масового пошкодження електричних мереж напругою 6 кВ і вище	Від 10 % населених пунктів
1.77	Аварія системи централізованого водо-, тепло-, енерго- газопостачання або водовідведення населеного пункту в умовах дуже сильного морозу або дуже сильної спеки	1 факт

1	2	3
2.14	Аварія системи централізованого водо-, тепло-, енерго- газопостачання або водовідведення населеного пункту з причини дуже сильного морозу або дуже сильної спеки	1 факт

Як висновок ПрАТ “Рівнеобленерго” можна визнати потенційно небезпечним об’єктом.

Згідно з Законом [29], захист населення і територій від НС техногенного та природного характеру повинен здійснюється на наступних принципах:

- пріоритетності завдань, спрямованих на рятування життя та збереження здоров'я людей і довкілля;
- безумовного надання переваги раціональній та превентивній безпеці;
- вільного доступу населення до інформації щодо захисту населення і територій від НС техногенного та природного характеру;
- особистої відповідальності та піклування громадян про власну безпеку, неухильного дотримання ними правил поведінки та дій у НС техногенного та природного характеру;
- відповідальність у межах своїх повноважень посадових осіб за дотримання вимог цього Закону;
- обов'язковості завчасної реалізації заходів, спрямованих на запобігання виникненню НС техногенного та природного характеру та мінімізацію їх негативних психосоціальних наслідків;
- урахування економічних, природних та інших особливостей територій і ступеня реальної небезпеки виникнення НС техногенного та природного характеру;

- максимально можливого, ефективного і комплексного використання наявних сил і засобів, які призначені для запобігання НС техногенного та природного характеру і реагування на них.

6.5 Розрахунок коефіцієнта захисту для приміщень укриттів розташованих в одноповерхових будинках

Для цеху, розташованого в одноповерховій будівлі (рис. 6.1) потрібно визначити коефіцієнт захисту.

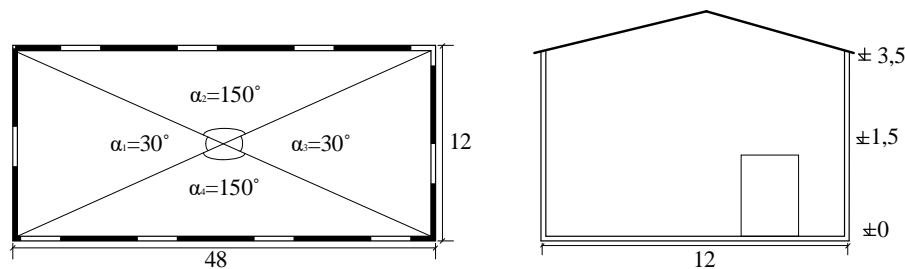


Рисунок 6.1 - Значення плоских кутів та розміри споруди

Дані будівлі наступні: стіни будівлі викладені в 2 цеглини (51см), відповідно питома вага – 980 кгс/м²; вага перекриття – 600 кгс/м²; розміри дверних отворів – 2,5×3,5 м; розміри віконних отворів 2×2 м. Загальна площа віконних отворів – 80 м², дверних отворів – 17,5 м²; висота низу віконних отворів – 0,5 м, площа підлоги – 576 м²; висота стін – 3,5 м; висота приміщення – 4,8 м, ширина забрудненої ділянки, яка межує з будівлею – 40 м; площа повздовжньої стіни – 168 м², площа торцевої стіни – 42 м².

Приведена вага G_{np} повздовжньої стіни визначається за наступною формулою:

$$G_{np} = G \left(1 - \frac{S_{ome}}{S_n} \right), \quad (6.10)$$

де G - вага стін;

$S_{отв}$ - площа отворів;

S_n - площа підлоги укриття.

Відповідно до вхідних даних, приведена вага G_{np} дорівнює:

$$G_{np} = 980\left(1 - \frac{40}{168}\right) = 746,6 \text{ кгс/м}^2.$$

Приведена вага торцевої стіни визначається за формулою (6.10), відповідно дорівнює:

$$G_{np} = 980\left(1 - \frac{8,75}{42}\right) = 784 \text{ кгс/м}^2.$$

Оскільки приведена вага площі всіх стін менше 1000 кгс/м², то коефіцієнт K_1 визначається за формулою

$$K_1 = \frac{360^\circ}{\sum a_j + 36^\circ}. \quad (6.11).$$

Тоді коефіцієнт K_1 буде наступним:

$$K_1 = \frac{360^\circ}{360^\circ + 36^\circ} = 0,91.$$

Оскільки різниця у вазі стін не перевищує 200 кгс/м², тоді середня вага 1 м² стіни визначається за формулою:

$$G = \frac{\sum a_j \cdot G_i}{\sum a_i}. \quad (6.12)$$

Відповідно до (6.12), середня вага стіни буде наступною:

$$G_{cp} = \frac{2 \cdot (30 \cdot 784) + 2 \cdot (150 \cdot 725)}{360} = 735 \text{ кгс/м}^2.$$

Відповідно значенню середньої ваги $746,6 \text{ кгс/м}^2$ та ваги площі перекриття 600 кгс/м^2 відповідно до [30] коефіцієнти будуть такі: $K_{ст} = 166$ та $K_{пер} = 38$. За висоти приміщення $4,8 \text{ м}$ і ширині $0,13$ (відповідно [30]). Коефіцієнт проникання в приміщення вторинного випромінювання, за висоти низу віконних отворів від відмітки підлоги – $0,5 \text{ м}$, визначається за наступною формулою:

$$K_0 = 0,8 \cdot \frac{S_{отв}}{S_n}. \quad (6.13)$$

Відповідно до (6.13) значення коефіцієнта K_0 буде наступним:

$$K_0 = 0,8 \cdot \frac{80 + 17,5}{576} = 0,12.$$

За умови ширини будівлі 12 м коефіцієнт $K_{ш} = 0,24$ [30]; $K_m = 0,8$ (ширина забрудненої ділянки 40 м).

Коефіцієнт захисту приміщень, розташованих в одноповерхових будинках, визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{0,65 \cdot K_1 \cdot K_{ст} \cdot K_{пер}}{V_1 \cdot K_{ст} \cdot K_1 + (1 - K_{ш})(K_0 \cdot K_{ст} + 1) \cdot K_{пер} \cdot K_m}. \quad (6.14)$$

Відповідно до (6.14) коефіцієнт захисту приміщення:

$$K_3 = \frac{0,65 \cdot 0,91 \cdot 166 \cdot 38}{0,13 \cdot 166 \cdot 0,91 + (1 - 0,24)(0,12 \cdot 166 + 1) \cdot 38 \cdot 0,8} = 7,42$$

6.6 Висновок

Знайдене значення коефіцієнта захисту дозволяє зробити висновок, що розраховане укриття не здатне забезпечити необхідний захист виробничого персоналу. З метою підвищення захисних якостей приміщень цеху потрібно замурувати віконні отвори на висоту 100 см (1,5 м від підлоги) і встановити екрани на входах (після запропонованих заходів K_3 укриття перераховується з урахуванням конструктивних змін).

РОЗДІЛ 7

Екологічна складова

7.1 Альтернативна енергетика

Джерела енергії, що відомі та існують сьогодні, поділяються на традиційні та альтернативні. Традиційні джерела – це нафта, газ та вугілля. Головним і найбільшим їх недоліком є те, що вони не відновлювальні. Саме цей фактор мотивує суспільство використовувати інші носії. Адже з часом, навіть досить багаті родовища, вичерпаються. Відповідно сьогодні є актуальним пошук інших варіантів отримання енергії.

Другий, не менш важливий фактор – це негативний вплив на екологію планети. Адже, спалюючи корисні копалини, викидаються парникові гази, що, в свою чергу, порушують кліматичний баланс. В останні десятиліття такі зміни в кліматі відчуються все більше: zalivні дощі та урагани, тривала посуха, повені та торнадо, випадання снігу серед весни. Цими стихіями людина керувати не може.

Тож, єдиний спосіб для зниження змін клімату – перейти на джерела енергії, що є екологічно чистими. До такі джерела називають альтернативними, або відновлювальними: вітер, вода, сонце, біогаз та ін.

Україна за часів незалежності уже не раз опинялася в нафтовій кризі. А тому, щоб знову не потрапити до цієї перманентної кризи, варто більше уваги приділити альтернативним видам енергії.

Що ж таке альтернативні джерела енергії? Це природні явища, які шляхом перетворення в спеціальних установках перетворюються в теплову або електричну енергію. До них відносяться:

- сонячне електромагнітне випромінювання;
- кінетична енергія руху повітряних мас (вітер);
- кінетична енергія водного потоку (річки);
- енергія морських припливів і відливів;
- теплова енергія гарячих джерел.

7.2 Сонячна енергетика

Використання сонячними електростанціями та сонячними колекторами енергії світлового потоку при потраплянні його природним шляхом на фотоелементи дозволяє, перетворити цей потік в електричну енергію, або теплову енергію, щоб нагрівати рідини (воду).

Основним плюсом сонячної енергетики є її екологічність. Тобто до атмосфери взагалі не потрапляє шкідливих викидів.

Проте рівномірну потужність такої енергії неможливо забезпечити протягом доби та інших тимчасових періодів. Тобто з настанням ночі, дощів або коли на вулиці похмуро, вироблення сонячної енергії припиняється. І навпаки, при ясній та погожій погоді виробляється велика кількість електроенергії, яка є надлишковою, тобто більша ніж потребують споживачі. В такий період виникає необхідність в акумуляторах. Ціна акумуляторів звичайно ж підвищує собівартість виробленого кВт/год.

7.3 Вітрова енергетика

Про використання альтернативної енергії вітру відомо здавна. Людство уже має досвід використання такого виду енергетики, прикладом якої є вітряки. Проте їх осучаснений прообраз – це вітрова енергетична установка. Саме з її допомогою відбувається перетворення вітру в електричну енергію. Тобто, маємо кілька десятків вітрогенераторів, що об'єднуються в одну мережу. Таке об'єднання це і є вітрова електростанція.

Вітрова енергетика відноситься до одних з найдешевших видів альтернативної енергетики. Основний недолік – значний шум, що виробляє вітрова установка. До того ж, на лопаті генератора попадають перелітні птахи і, відповідно, гинуть.

7.4 Гідроенергетика

Рухомі водяні потоки також є альтернативними джерелами енергії та використовуються в декількох видах генераторів. Розглянемо їх. Отож, першими є генератори, що встановлюють на річках. Вони працюють за рахунок природних течій (міні – ГЕС). Другі – «налаштовуються» на океанічні або морські приливи. І треті – працюють за рахунок енергії морських хвиль.

Варто зазначити, що робота перших двох генераторів уже протестована та вони успішно працюють. Останній з них перебуває на сьогодні на етапі випробувань.

До плюсів гідроенергетики можна віднести екологічну чистоту, а до недоліків – високу вартість самого обладнання. До того ж, місця для встановлення таких генераторів досить обмежені.

7.5 Біопаливо як альтернативне джерело енергії

Біопаливо – це різні види палива, сировиною для виготовлення якого можуть бути рослини, відходи тваринництва, органічні відходи промисловості та життєдіяльності людини. До відновлюваних джерел теплової енергії (біопалива) відносяться і звичайні дрова. Проте, щоб відновити їх запаси, потрібно буде досить багато років.

Для налагодження промислового виробництва біопалива спеціально вирощують певні культури та використовують відходи сільськогосподарських виробництв.

Сьогодні біопаливо складається з:

- паливних пелетів та брикетів;
- біоетанолу, біобензину і біодизелю;
- біогазу.

Щоб виробляти тверді види біопалива, спеціально вирощують сировину – енергетичну деревину та користуються відходами деревообробної промисловості.

Плюсом таких видів біопалива є відносна дешевий одержуваний продукт, а до мінусів відноситься тривалий термін відновлення сировини для виробництва.

Для вироблення рідких видів біопалива використовуються сільськогосподарські культури, або тваринні жири, які переробляються. Кожна країна використовує свої види рослинності. І ними можуть бути: цукрова тростина, рапс, соя, кукурудза тощо.

7.6 Альтернативна енергія біогазу

Україна сьогодні активно розвиває альтернативну енергетику. Сировиною для цього є переробленні відходи з сільського господарства. Тобто, біогаз отримують як результат зброджування рослинної сировини. Його склад взагалі не відрізняється від природного метану. І застосовують даний вид альтернативної енергії для роботи теплових і енергетичних установок.

На сьогодні біогаз виділяють як найперспективніший вид відновлювального палива. Адже його виробництво не передбачає вирощування сировини, а допомагає утилізувати наявні відходи. Тобто знижує екологічне забруднення навколишнього середовища.

Вироблення біогазу на сьогодні в Україні є трендом. Даний напрям на профільному ринку знаходиться на третьому місці після сонячної і вітрової енергетики.

7.7 Висновки

З кожним роком людям необхідна більша кількість електроенергії, тим самим підвищується рівень забруднення водойм, повітря, утворюються нові озонові діри. Все це є наслідком, здебільшого, теплових електростанцій. 50% світової електроенергії припадає саме на ТЕС. Вони надзвичайно забруднюють водойми, що служать для них охолоджувачами, а також створюють токсичне і радіаційне забруднення. Відповідно, підвищується захворюваність та з'являються нові, нікому невідомі, інфекції, вимирають рідкісні види тварин, вирують стихійні лиха.

Саме тому такої популярності набувають поновлювані енергетичні та теплові джерела. Станом на 2020 рік в Україні 7,3% електроенергії виробляється за допомогою альтернативних джерел.

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ:

1. **Невичерпність ресурсів.** На відміну від нафти, газу, вугілля та інших природних копалин альтернативні джерела енергії мають необмежений запас. Їх можна сміливо використовувати впродовж сотень років без загрози вичерпання.

2. **Безпека для навколишнього середовища.** Гідро, сонячні, вітряні та геотермальні електростанції не забруднюють Землю. В кінцевому результаті виходить повністю чиста енергія без відходів і негативного впливу на навколишнє середовище.

3. **Економічна вигода.** В середньому один об'єкт альтернативної енергетики окупується 3-5 років. Це в декілька разів швидше ніж у випадку з класичними способами отримання енергії.

4. **Автономність.** Альтернативні електростанції та інші об'єкти в більшості випадків не потребують постійного додаткового обслуговування. Це допомагає значно знизити вартість однієї одиниці енергії і заощадити власні кошти і зусилля.

5. **Довгий строк експлуатації.** В середньому один об'єкт може обслуговуватися до 20 років без потреби в капітальному ремонті.

6. **Заощадження коштів для підприємств,** котрі використовують альтернативні джерела енергії. Наразі існує безліч державних програм, що

спрощують оподаткування для бізнесу, який активно використовує енергію вітру, води і сонця. Це дозволить значно зменшити затрати і підвищити рентабельність підприємства.

7. **Престиж.** Використовувати альтернативну енергію не тільки вигідно, але й модно. Земельні ділянки на котрих є такі об'єкти зазвичай коштують значно дорожче і їх можна буде вигідно продати.

8. **Стабільність.** Встановивши сонячну, вітряну чи гідроелектростанцію в себе на ділянці ви будете захищені від перепадів електрики та регулярних відключень центральної системи.

9. **Можливість заробітку.** В Україні діє державна програма «Зелений тариф» («Зелений тариф» для фізичних осіб). З її допомогою кожен бажаючий може продавати надлишки електроенергії, виробленої його об'єктом альтернативної енергетики державі на дуже вигідних умовах. Таким чином можна не тільки окупити встановлення міні електростанції, а й отримувати регулярний і стабільний дохід.

Таким чином, альтернативна енергетика – це очевидний крок в майбутнє. З її допомогою можна подолати проблеми нестачі ресурсів, забруднення планети продуктами переробки корисних копалин, глобального потепління та безліч інших. Якщо ж взяти менш глобально, то з допомогою об'єктів альтернативної енергетики можна забезпечити свій будинок, маленький бізнес чи навіть велике підприємство чистою та дешевою енергією на багато років вперед.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході розгляду загальної характеристики мережі 10 кВ було визначено основні види пошкоджень. Так як більшу частину з їх складають однофазні замикання на землю було наведено основні принципи на яких базуються сучасні засоби захисту від даного типу замикань.

В роботі було розглянуто процес протікання однофазних замикань на землю в повітряній лінії напругою 10 кВ з ізольованою, компенсованою, резистивною та комбінованою нейтраллю, та проаналізовано вплив типу нейтралі на результуюче значення струму замикання. Значення струму замикання, показало, як тип нейтралі впливає на загальний рівень надійності мережі, і які показники можливо використати при розробці захисту від однофазних замикань на землю. Дані які були отримані в моделювання дали можливість виконати поставлені завдання в повній мірі.

Результатом розглянутого процесу однофазного замикання на землю та принципів виконання захистів стала розроблена концепція сучасного захисту від замикань на землю для роботи в мережах з різним типом виконання заземлення нейтралі. Дана концепція може стати відправною точкою для створення надійного захисту на мікропроцесорній системі.

Оцінка доцільності зміни типу заземлення нейтралі з ізольованої чи компенсованої на резистивно заземлену нейтраль, показала, що попри переваги які може надати такий тип нейтралі не завжди така заміна є доречною через значні капітальні витрати на таку заміну.

СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: Підручник. 2-ге вид. Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. 488 с.
2. Кирик В. В. Електричні мережі та системи. Режими роботи розімкнених мереж: Навчальний посібник з дисципліни для всіх форм навчання та студентів іноземців напряму підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”. Київ: НТУУ “КПІ”, 2014. 130с.
3. Правила улаштування електроустановок. [Чинний від 21.07.2017]. Вид. офіц. Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/%D0%9F%D0%A3%D0%95.pdf>
4. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2013. 533 с.
5. Методичні рекомендації щодо заземлення нейтралі електричних мереж 6 - 35 кВ через резистор. [Чинний від 25.04.2018]. Вид. офіц. Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/Metodychni_rekomedatsiyi_shhodo_zazemlennya_nejtrali_merezh_6-35_kV_cherez_rezystor.pdf.
6. План розвитку розподільних електричних мереж на 2016-2025 роки [Електронний ресурс]. Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=244972812
7. План розвитку розподільних електричних мереж на 2020-2024 роки ПрАТ “РІВНЕОБЛЕНЕРГО” [Електронний ресурс]. Офіційний сайт ПрАТ “Рівнеобленерго”. URL: <https://www.roe.vsei.ua/plan-perspektyvnogo-rozvytku/>
8. Шабад М.А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6 - 35 кВ: учебное пособие. СПб.: ПЭИПК, 2012. 56 с.

9. Жукович Я.В. Методы поиска повреждений в кабельных и воздушных линиях электропередачи 6-35 кВ. Актуальные проблемы энергетики, 2017. 114 с.
10. Technical Manual MiCOM P141, P142, P143, P144 & P145. URL: http://ms.schneider-electric.be/OP_MAIN/Micom/P14x_EN_M_Dd5.pdf
11. Короткевич М. А. Эксплуатация электрических сетей: учебник. 2-е изд., испр. и доп. Минск, 2014. 350 с.
12. Серіков Я. О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. Харків: ХНАМГ, 2007. 227с.
13. Закон України №2695 – XII від 14.10.1992 “Про охорону праці”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2695-12>.
14. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://dnaop.com/html/2029/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_40.1-1.21-98/
15. Гуменюк О. Л., Охорона праці. Методичні вказівки до проведення розрахунків з розділу "Охорона праці" в дипломних проектах для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр", "спеціаліст", "магістр" галузей знань 0501 – інформатика та обчислювальна техніка; 0306 – менеджмент і адміністрування / Укл.:– Чернігів: ЧДТУ, 2013.
16. Наказ №863 від 22.12.2011 “Інструкція з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0013-12>
17. ДК 019:2010. Класифікатор надзвичайних ситуацій. URL: <http://kharkivoda.gov.ua/content/documents/6/546/Attaches/20110211klassifikator.pdf>
18. Наказ МНС України 12.12.2012 № 1400. Класифікаційні ознаки надзвичайних ситуацій URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/z0040-13/sp:max100>
19. Закон України від 08.06.2000 № 1809-III. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/9791>

ДОДАТОК А

Лист зауважень

Прізвище та ініціали, посада	Суть зауваження, підпис

