

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Ткачук Дмитро Миколайович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування способу захисту від обривів провідів повітряної лінії
напругою 380 В
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Ткачук Д.М.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Голубенко Анна Анатоліївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

ст. викладач кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Консультат

Гончаренко Юрій Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Ткачук Д.М. Обґрунтування способу захисту від обривів провідів повітряної лінії напругою 380 В. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У роботі розглянуті режимні параметри повітряної лінії напругою 380 В, їх аналіз та розробка пропозицій щодо створення системи захисту при обривах фазних та нульових провідів ліній

Ключові слова: короткі замикання, лінія електропередач, заземлена нейтраль, аварійний режим.

ABSTRACT

Tkachuk D.M. Justification of the method of protection against interruptions of overhead line wires with a voltage of 380 V. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polisky National University, Zhytomyr, 2023.

The work considers the mode parameters of the overhead line with a voltage of 380 V, their analysis and the development of proposals for the creation of a protection system in case of interruptions of the phase and neutral wires of the lines

Keywords: short circuit, power line, grounded neutral, emergency mode.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
1.1 Будова електричної мережі напругою 380 В	6
1.2 Режими роботи електричних мереж із глухо заземленою нейтраллю	8
1.3 Розподіл струмів електричної мережі напругою 380 В	14
Висновки по розділу 1	18
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 0,38 кВ	19
2.1 Режимні параметри електричної мережі	19
2.2 Результати досліджень на комп'ютерній моделі	20
Висновки по розділу 2	39
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45

ВСТУП

Актуальність роботи. Найбільш частим пошкодженням в електричних мережах напругою 380 В з нейтраллю, що глухо заземлена, є обриви фазних і нульового проводів. Це не тільки призводить до порушення електропостачання споживачів, а й створює електро- та пожежонебезпечні ситуації.

Аналіз статистичних даних за кількістю та тривалістю аварійних відключень ліній 0,38 кВ показує, що найпоширенішими ушкодженнями в цих мережах є обриви проводів, короткі замикання та замикання на землю. Варто зазначити, що у зв'язку з великою кількістю пошкоджень у таких мережах, відбувається найбільша кількість електроуражень зі смертельним наслідком (до 60 % від загальної кількості).

У технічній літературі (статтях, монографіях, авторських свідоцтвах і патентах на винаходи) запропоновано досить багато технічних рішень - пристрої захисту можуть встановлюватися на початку або в кінці лінії, що захищається. У той же час практика експлуатації повітряних ліній напругою 380 В (ПЛ) показує відсутність їх застосування, що зумовлено, зокрема, недостатнім вивченням параметрів (струмів та напруг) електричної мережі, які можуть бути використані як вихідна інформація при будівництві захистів.

Тому виникає необхідність проведення всебічних досліджень впливу різних факторів на величини струмів і напруг фаз електричної мережі, їх симетричних складових, була створені комп'ютерні моделі електричної мережі із застосуванням заземлення TN-C, виконаних чотирипровідними повітряними лініями напругою 380 В. Моделі створені в програмному комплексі Matlab з застосуванням пакету Simulink.

Мета роботи – дослідження режимних параметрів повітряної лінії, їх аналіз та розробка пропозицій щодо створення системи захисту при обривах фазних та нульових проводів повітряних ліній напругою 380 В.

Для досягнення заявленої мети було поставлено такі **завдання дослідження:**

1 Провести теоретичні та експериментальні дослідження напруги, що виникають в електричній мережі при обривах фазних та нульових проводів повітряних ліній напругою 380 В на комп'ютерній моделі в програмному середовищі Matlab.

Об'єкт дослідження – повітряні лінії електропередачі напругою 380 В у разі виникнення у яких обривів фазних і нульового проводів.

Предмет дослідження – отримання закономірних результатів у зміні напруги мережі при виникненні обривів фазних та нульових проводів, які дозволять розробити захист від зазначених режимів.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Ткачук Д.М. АНАЛІЗ РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ІЗ ГЛУХО ЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЮ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна. С. 69-71

Гончаренко Ю.П., Ткачук Д.М. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 0,38 кВ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна. С. 69-71

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Будова електричної мережі напругою 380 В

Електропостачання міських селищ з малоповерховою забудовою та сільських споживачів здійснюється, в здебільшого, по повітряним лініям електропередачі напругою 380 В, які підключаються до трансформаторних підстанцій (ТП) напругою 6-10/0,4 кВ, мають силові трансформатори зі схемами з'єднання обмоток «трикутник - зірка з нулем», «зірка - зірка з нулем» або «зірка - зигзаг з нулем». Повітряні лінії напругою 380 В виконуються, частіше всього, чотирипровідними з багаторазовим заземленням нульових проводів ліній (з повторними заземлювачами). Також електричні мережі живлять велике число однофазних електроприймачів. У результаті виникає несиметрія струмів по фазам ПЛ 380 В, а у зв'язку з цим виникає і струм у нульовому проводі, що досягає значення до 50% від робочого фазного струму, інколи ж і більше. Через повторні заземлення струм нульового проводу відсмоктується в нульові проводи сусідніх ліній і в заземлюючий пристрій живильної ТП, який з'єднаний з нейтраллю силового трансформатора.

У загалом випадку, велика частина ПЛ 380 В, виконується за допомогою неізолюваних проводів, та представляє собою систему з суміщеним нульовим робочим і нульовим захисним провідниками, тобто. систему TN-C [1]. Можливий так само перехід електричної мережі системи TN-C в п'ятипровідну, тобто. систему TN-S. Але даний захід є дуже витратним і зтяжним у зв'язку з тим, що загальна довжина таких мереж досить велика. Переклад електричних мереж із системи TN-C в систему TT з ізолюваною нейтраллю також наводить до підвищених витрат на мережу, так як потрібне виконання індивідуальних чи групових заземлювачів.

На частку повітряних ліній електропередачі напругою 380 В, виконаних неізолюваними проводами, припадає 40–43 % всіх пошкоджень електричних

мереж цього класу напруги. Аналіз отриманих та розглянутих 7784 відмов у МУП «Волинські міські розподільчі мережі» у період 1995– 20015 р. показав, що основними причинами пошкодження ПЛ 380 В є: окислення проводів 18 %; обрив вводів 6 %; ушкодження опор 3 %; обрив проводів 62 %, схльост проводів 11 % [2].

Аварійні режими, спричинені пошкодженнями частин, доступними для дотику людини, і порушеннями цілісності самих струмовідних частин, включаючи падіння на землю фазних проводів повітряних ліній електропередачі, представляють загрозу (іноді смертельну) для людей і тварин.

Безпека є одним з важливих факторів, що впливають на вартість проектування та експлуатації електроустановок. Якщо не застосовувати заходів для забезпечення безпеки персоналу, то витрати на компенсацію шкоди для здоров'я перевищать витрати на розробку та застосування засобів захисту [3]. Приблизно 7-13% від всього числа травм і нещасних випадків, пов'язаних з летальним результатом, припадають на враження електричним струмом. Ця статистика підкріплена реальними історіями з життя, кожна з яких несе в собі людське горе, пов'язане із загибеллю людей від електротравм. Такі випадки далеко не рідкісні.

У разі короткого замикання «фаза – земля» електричне ураження відбувається через випадковий дотик до обірваного, лежачого на землі проводом і що знаходяться під напругою лінії електропередач.

Оскільки режим «фаза – земля» може тривати невизначено довго, ймовірність випадкового дотику до проводів виявляється неприпустимо високою. У сьогоднішній час визначення місця ушкодження є найбільш складною, а часто і найбільш тривалою операцією по відновлення пошкодженої лінії електричної мережі. Пов'язані з цим перерви в електропостачанні наводять до недовипуску промислової продукції і зниження її якості.

Таким чином, з вищевикладеного випливає, що розробка пристроїв

релейного захисту, протиаварійної автоматики від аварійних та ненормальних режимів у мережах напругою 0,38 кВ є актуальним завданням, направленим на підвищення надійності електропостачання та електробезпеки в міських селищах та сільських районах.

1.2 Режими роботи електричних мереж із глухо заземленою нейтраллю

На величину напруги і струми електричної мережі в загальному випадку впливають:

- різні несиметричні режими роботи електроприймачів, спотворюючих симетрію трифазної системи напруг щодо нульового робочого проводу при симетричному режимі роботи самої електричної мережі;
- різні поєднання обривів фазних і нульового проводів ПЛ;
- різні поєднання замикань фазних проводів з нульовим проводом ПЛ, а також замикань цих проводів на землю;
- різні короткі замикання в паралельних повітряних лініях, живильних від однієї трансформаторної підстанції;
- симетричні підвищення або зниження напруг живильної мережі в результаті будь-яких збурень, що виникають в ній, - регулювання напруги і т.д.

На рисунку 1.1 представлена принципова схема найпростішої трифазної чотирипровідної електричної мережі, що складається з трифазного трансформатора Т, підключеного до електричної мережі напругою 6–10 кВ, чотирипровідної повітряної лінії та навантаження споживачів електричної енергії в кінці лінії. На введенні споживача включений мікропроцесорний трифазний лічильник електро- енергії.

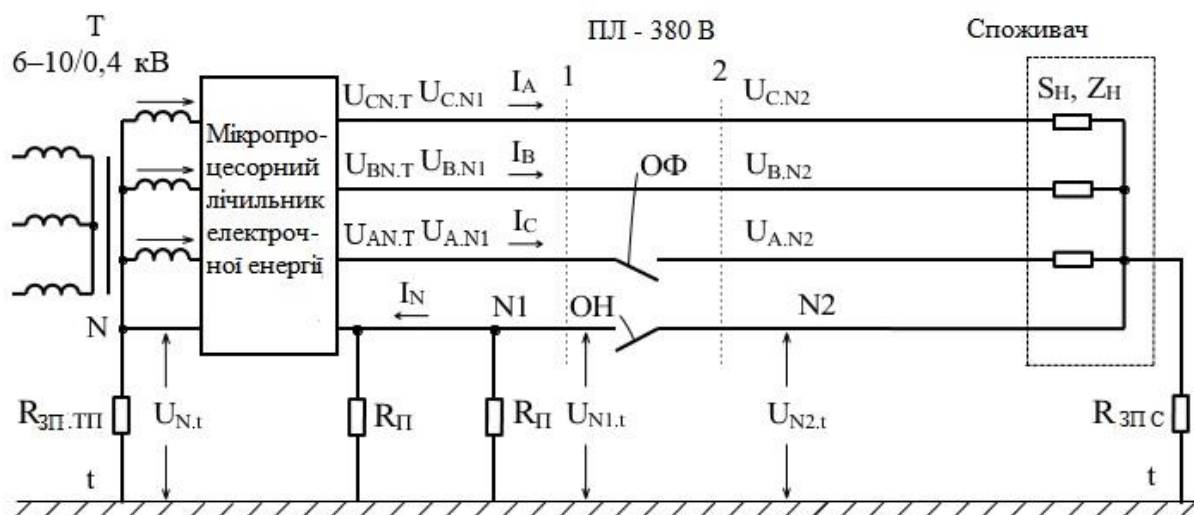


Рисунок 1.1 – Принципова схема електричної мережі напругою 380 В:

$R_{ЗП.ТП}$, $R_{ЗП.С}$ - опір заземлювальних пристроїв трансформаторної підстанції та споживача електроенергії; $R_{П}$ - опір повторних заземлювачів ПЛ-380 В; S_H , Z_H - потужність та опір навантаження споживача; АВ – однофазні автоматичні вимикачі, що забезпечують комутацію та захист споживача електричної енергії; А, В, С та N – позначення відповідно фазних і нульового проводів ПЛ; t - потенціал землі; 1 і 2 - пунктирні лінії (перетину), що позначають місце виникнення різних видів пошкоджень ПЛ, ці дві лінії поділяють ПЛ на дві ділянки – до та після місця ушкодження лінії (зі сторони джерела живлення і зі сторони споживача)

На рисунку 1.1 позначено:

1 і 2 - пунктирні лінії (перетину), що позначають місце виникнення різних видів ушкоджень ПЛ. Ці дві лінії поділяють ВЛ на дві ділянки - дота після місця пошкодження лінії (з боку джерела живлення та з боку споживача);

$U_{AN.T}$, $U_{BN.T}$, $U_{CN.T}$ – фазна напруга щодо нульового проводу на виводах силового трансформатора Т;

$U_{A.N1}$, $U_{B.N1}$, $U_{C.N1}$ і $U_{A.N2}$, $U_{B.N2}$, $U_{C.N2}$ – напруги фазних проводів відносно нульового проводу відповідно до і після місця пошкодження. Напруга після місця ушкодження приймемо рівними напругами на в воді споживача - на

вступних затискачах мікропроцесорного лічильника електричної енергії;

U_{Nt} - напруга між нульовим проводом N і землею t;

ОФ та ОН – U_{Nt} позначення відповідно обривів фазного та нульового проводів.

З метою спрощення записів введемо наступні позначення: НР - нормальний режим; ОФ - обрив фазного проводу; ОН - обрив нульового проводу;

vario і const - стани фазних навантажень споживача $S_{H.A.}$, $S_{H.B.}$, $S_{H.C.}$.

Складемо перелік можливих режимів роботи електричної мережі напругою 380 В з чотирипровідною повітряною лінією, яка живить споживачів електричної енергії [4, 5]. Режими роботи визначаються:

1 Станом повітряної лінії. Вона може перебувати у нормальному режимі роботи, в лінії можуть відбуватися обриви фазного і нульових проводів з їх падінням на землю і без них.

2 Характером зміни електричного навантаження споживачів – пофазна зміна навантаження.

3 Станом фазних автоматичних вимикачів, встановлюваних на в воді споживача. Стан вимикачів впливає на несиметрію навантажень споживача.

4 Опорами заземлювальних пристроїв споживача та трансформаторною підстанції, опором повторних заземлень нульового проводу повітряної лінії.

5 Різного роду ушкодженнями, що виникають в паралельних повітряних лініях, що живляться від одного трансформатора, – головним чином різного виду короткими замиканнями.

Вказані режими роботи тим або іншим чином впливають на напруги і струми(Параметри) цієї електричної мережі.

На рисунку 1.2 показано графічне представлення можливих режимів роботи електричної мережі напругою 380 В, а в таблиці 1.1 - їх табличне значення.

У таблиці 1.1 наведено перелік експлуатаційних режимів, охоплених дослідями та його характерні особливості. З метою забезпечення зручності

читання та сприйняття інформації заповнення таблиці 1.1 виконано з малою щільністю. Відсутність даних у осередках, що несуть інформацію про стан проводів ПЛ та автоматичних вимикачів, встановлених у щитках споживачів, свідчать про відсутності обривів проводів і робочого (увімкненого) стану вказаних автоматичних вимикачів.

Розглянемо різні режими роботи електричної мережі:

1 Нормальний режим роботи електричної мережі, при якому трансформаторна підстанція і повітряна лінія знаходяться в робочому стані.

Режим 1. Навантаження споживача змінюється симетрично у всіх трьох фазах діапазоні від максимальною робочого навантаження $S_{\text{НАВ}}$ (активно-індуктивної або чисто активної $P_{\text{НАВ}}$), прийнятої за 100 %, до 0 %.

Режими 2 і 3. Навантаження споживача змінюється відповідно в одній або одночасно в двох фазах в діапазоні 100-0 % $S_{\text{НАВ}}$ при незмінному навантаженні на інших фазах, що дорівнює 100%. Несиметрична зміна навантаження по фазах приводить до спотворення лінійних і фазних напруг електричної мережі, а також до появи напруги несиметрії $U_{\text{НС}}$ системи трьох фазних напруг відносно нульового проводу ПЛ–380 В.

2 Обрив фазного проводу повітряної лінії.

Режими 4 і 5. При обриві одного фазного проводу навантаження споживача змінюється відповідно в однієї або одночасно в двох фазах в діапазоні 100-0 % $S_{\text{НАВ}}$.

3 Обрив нульового проводу.

Режими 6 та 7. При обриві нульового проводу навантаження споживача змінюється відповідно в одній або одночасно у двох фазах у діапазоні 100-0% $S_{\text{НАВ}}$.

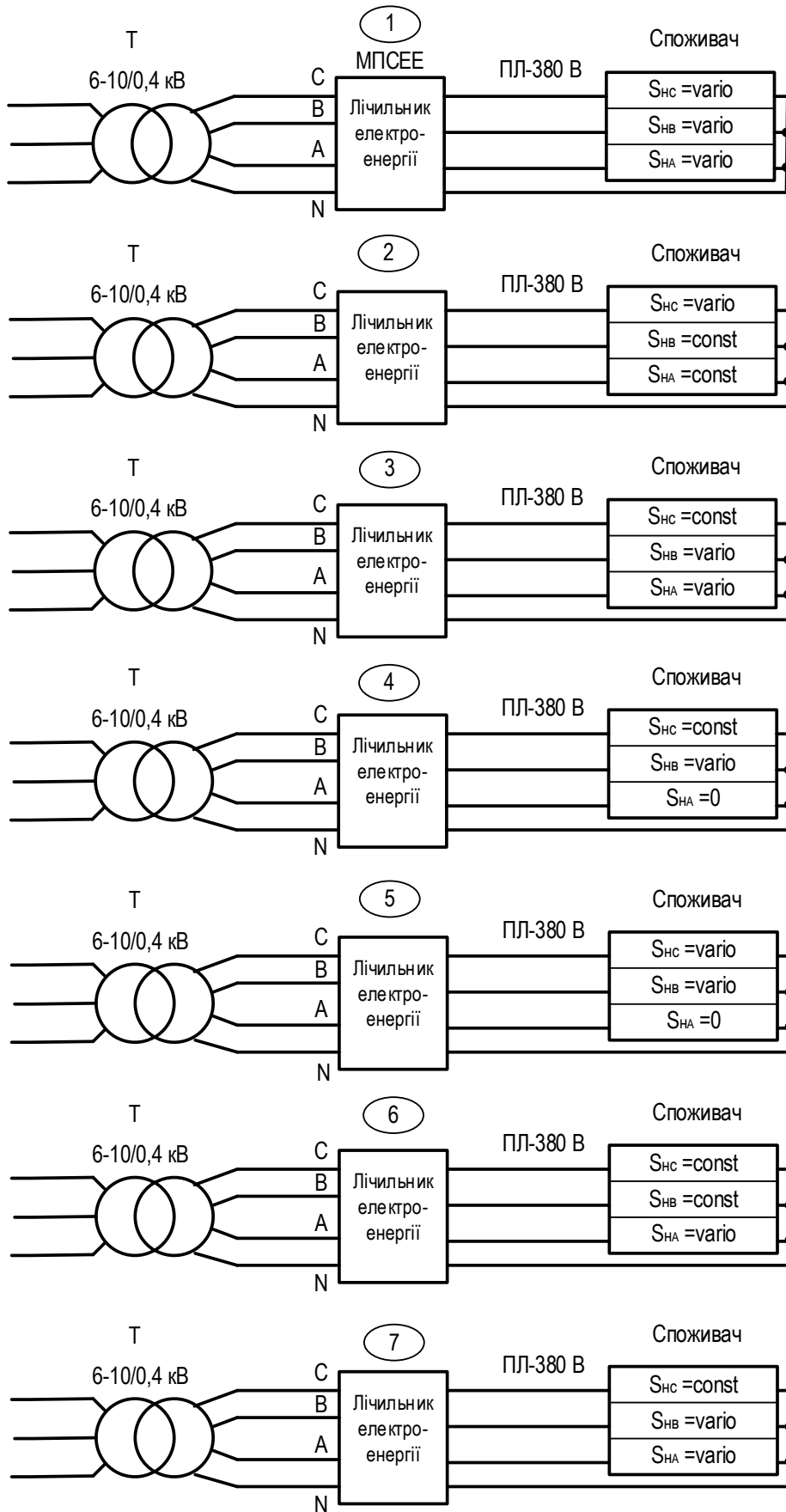


Рисунок 1.2 – Можливі режими роботи електричної мережі напругою 380 В

Таблиця 1.1 – Можливі режими роботи електричної мережі напругою 380 В із чотирипровідною повітряною лінією та режими зміни електричного навантаження споживача

Номер режиму, схеми	Стан фазних проводів	Стан нульового проводу			Стан АВ, установлених у фазах споживача	Режими зміни навантаження споживача			
		А	В	С		А	В	С	
1. Нормальний режим роботи повітряної лінії ВЛ-380 В (НР ВЛ)									
1	НР ВЛ, симетричне навантаження по фази						const	const	const
2	НР ВЛ, зміна навантаження в одній фазі						const	const	vario
3	НР ВЛ, зміна навантаження в двох фазах						const	vario	vario
2. Обрив фазного проводів ВЛ-380 В (ОФ)									
4	ОФ в одній фазі, зміна навантаження в одній фазі	ОФ					0	vario	const
5	ОФ в одній фазі, зміна навантаження в двох фазах	ОФ					0	vario	vario
3. Обрив нульового проводу ВЛ-380 В (ВН)									
6	ВН, зміна навантаження в одній фазі						vario	const	const
7	ВН, зміна навантаження в двох фазах						const	vario	vario

1.3 Розподіл струмів електричної мережі напругою 380 В

Спочатку розглянемо розподіл струмів у чотирипровідній електричній мережі з глухо заземленою нейтраллю напругою 380 В за нормального режиму роботи. На рисунку 1.3 позначено: $U_{A.\Phi}$, $U_{B.\Phi}$, $U_{C.\Phi}$ - фазні напруги живлення; Z_L - фазні опори ПЛ; $Z_{H.A}$, $Z_{H.B}$, $Z_{H.C}$ - опори електричного навантаження споживача; $Z_{HP.1}$, $Z_{HP.2}$, $Z_{HP.3}$ - опори нульового проводу ПЛ, розділені опорами повторних заземлювачів $R_{П.1}$, $R_{П.2}$, $R_{П.3}$ нульового проводу ПЛ; $R_{ЗП.ТП}$, $R_{ЗП.П}$ - опори заземлюючих пристроїв ТП і споживача; $I_{A.\Phi}$, $I_{B.\Phi}$, $I_{C.\Phi}$ - струми, що протікають по фазних проводах ПЛ; I_{HP} , I_{HP1} , I_{HP2} , I_{HP3} - струми, що протікають на різних ділянках нульового проводу; $I_{ЗП.ТП}$, $I_{ЗП.П}$, $I_{П.1}$, $I_{П.2}$, $I_{П.3}$ - струми, що протікають по опорах заземлення ТП, споживача і повторним заземлювачам ПЛ.

Векторна сума трьох фазних струмів повітряної лінії

$$\underline{I}_{\Delta 1} = \underline{I}_{A.\Phi} + \underline{I}_{B.\Phi} + \underline{I}_{C.\Phi} = \underline{I}_{HP} = 3 \cdot \underline{I}_0 \quad (2.1)$$

представляє диференціальний струм $I_{\Delta 1}$, який за відсутності опорів повторних заземлювачів $R_{Пi}$ та опору заземлювального пристрою $R_{ЗП.П}$ у споживача дорівнює струму I_{HP} , протікає по нульовому проводу, і струму $I_{\Delta 3}$, протікаючому на ділянці схеми між нульовим проводом і нейтраллю трансформатора. Крім того, при зазначених умовах диференціальний струм $I_{\Delta 1}$ представляє потроєний струм нульової послідовності $3 \cdot I_0$, що виникає у трифазній системі щодо нульового проводу.

Векторна сума чотирьох струмів повітряної лінії

$$\underline{I}_{\Delta 2} = \underline{I}_{A.\Phi} + \underline{I}_{B.\Phi} + \underline{I}_{C.\Phi} + \underline{I}_{HP} \quad (2.2)$$

представляє диференціальний струм $I_{\Delta 2}$, який за відсутності опірів повторних заземлювачів $R_{Пi}$ та опору заземлювального пристрою $R_{ЗП.П}$ у споживача, дорівнює струму $I_{\Delta 4}$, що протікає на ділянці схеми між заземлюючим пристроєм ТП і точкою з'єднання нульового проводу з нейтраллю трансформатора. За зазначених умов струми $I_{\Delta 2}$ та $I_{\Delta 4}$ дорівнюють нулю. У загальному випадку, струм $I_{\Delta 2}$ стає відмінним від нуля, по-перше, при стіканні

струмів з нульового проводу на землю через повторні заземлювачі ПЛ і заземлюючі пристрої споживачів, по-друге, у разі виникнення будь-яких витоків ізоляції з фаз на землю, наприклад, при пробі або забрудненні ізоляторів ПЛ, по-третє, при виникненні однофазного замикання на землю, наприклад, при обриві і падінні на землю фазного проводу.

При симетричному навантаженні повітряної лінії диференціальний струм $I_{\Delta 1}$ і струму нульовому проводу $I_{НП}$ дорівнює нулю. Однак, опору однофазних електричних навантажень $Z_{Н.А.}$, $Z_{Н.В.}$, $Z_{Н.С.}$ що живляться від ПЛ, характеризуються значною нерівністю, яка обумовлює значення струму $I_{НП}$, протікає по нульовому проводу і досягає половини максимального струму $I_{Р.МАКС}$ навантаження ПЛ.

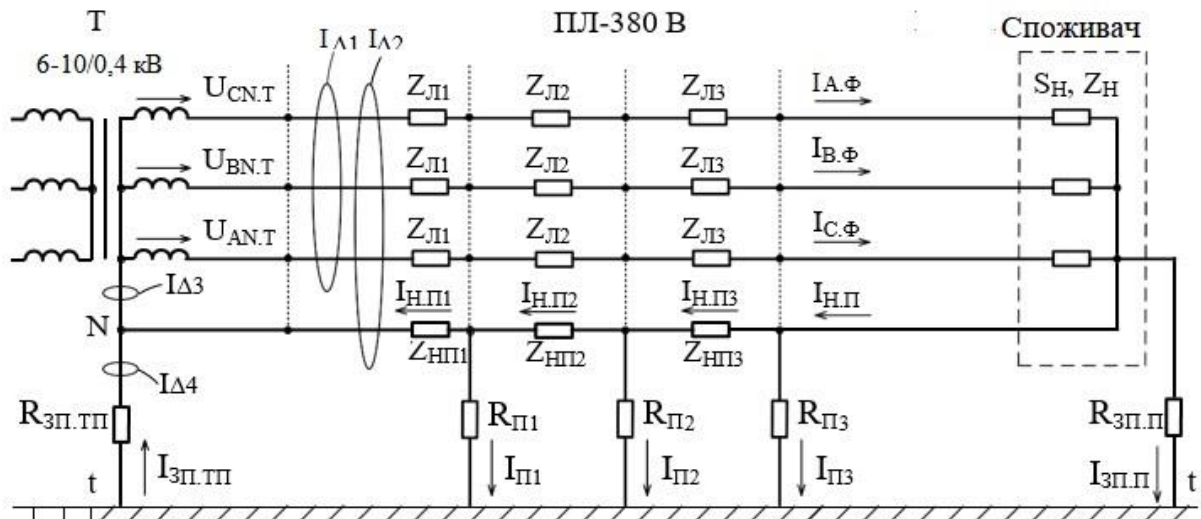


Рисунок 1.3 – Розподіл струмів в електричній мережі за нормального режимі роботи

Наявність повторних заземлювачів $R_{П}$ і заземлюючого пристрої $R_{ЗП.П}$ у споживача і наявна несиметрія навантажень ПЛ обумовлює стікання з нульового проводу ПЛ відповідних струмів, які створюють додатковий небаланс для трифазної чотирипровідної повітряної лінії. Від цих двох видів небаланса повинні бути відбудовані захисти, в яких в якості вихідний інформації можуть бути використані диференціальні струми $I_{\Delta 1}$ або $I_{\Delta 2}$.

Зазначимо, з аналізу розподілу струмів видно, що при обриві фазного проводу, струм у обірваному проводі фази зникає. (Рисунок 1.4). Струми в

здорових фазах приблизно рівні один одному, але з'являється струм у нульовому проводі. Незначна частина струму проходить через опори повторних заземлювачів нульового проводу і повертається до джерела через заземлюючий пристрій ТП, оскільки опір нульового проводу $Z_{НП}$ значно менше опорів повторних заземлювачів і заземлюючого пристрою ТП. Струми в фазному і нульовому проводі розрізняються незначно.

При однофазному короткому замиканні на нульовий провід характер розподілу струмів в електричній мережі суттєво не змінюється, т.к. опір однофазного короткого замикання $Z_{П}$ між ушкодженою фазою і нульовим проводом відповідає потужному однофазному навантаженню (рисунок 1.4). Отже, струм однофазного короткого замикання $I_{ОКЗ}$ з'являється в струмі пошкодженої фази, диференційному струмі ПЛ $I_{\Delta 1}$, струмі нульового проводу $I_{НП}$ і струмові $I_{\Delta 3}$.

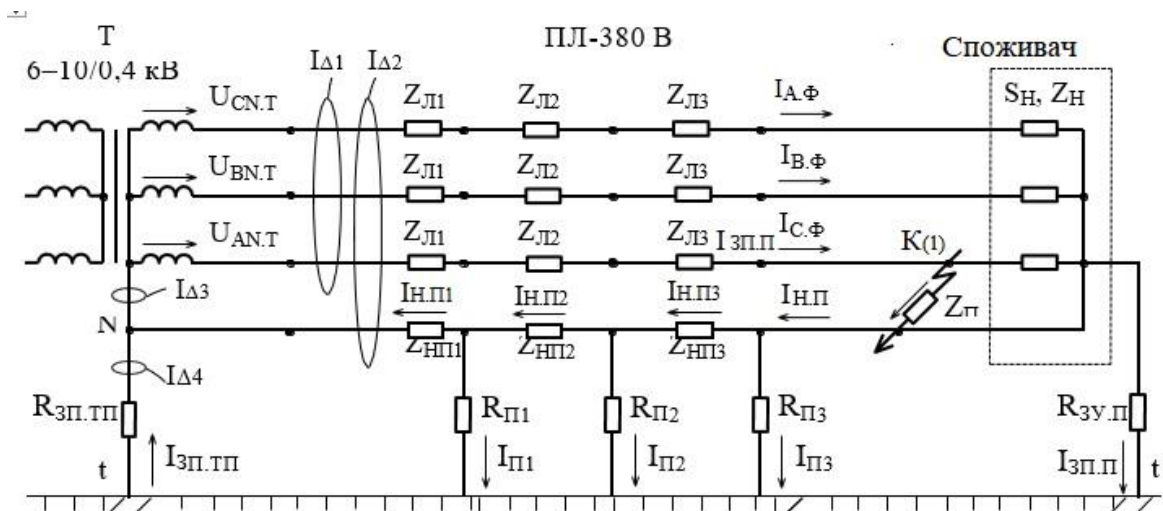


Рисунок 1.4 – Розподіл струмів в електричній мережі під час замикання фази на нульовий провід

Струм металевого КЗ фази на нульовий провід $I_{ОКЗ}$ визначається опором петлі «фаза-нуль» від ТП до місця ушкодження. Цей струм значно знижується по мірі видалення від ТП і при віддалених однофазних коротких замиканнях (при довжині ВЛ 700–1000 м і більше) рівний або незначно перевищує струм навантаження.

Зазначимо, що з аналізу розподілу струмів видно, що при однофазному

замиканні фази на нульовий провід значна частина струму проходить по ланцюгу трансфор- двигун (джерело живлення) - фазний провід - нульовий провід - трансформатор. Тільки незначна частина струму проходить через опори повторних заземлювачів нульового проводу і повертається до джерела через заземлюючий пристрій ТП, оскільки опір нульового проводу $Z_{НП}$ значно менше опору повторних заземлювачів і заземлюючого пристрої ТП. Струми в фазному та нульовому проводі різняться трохи.

Такий вид пошкодження можна виявити за допомогою фільтра струмів нульової послідовності, що охоплює фазні проводи лінії і виділяє струм $I_{\Delta 1}$, або з допомогою максимального струмового захисту, використовуючи інформацію про струм $I_{\Delta 2}$, що охоплює фазні та проводидроти. Але ці захисти повинні бути побудовані від струму несиметрії фазних навантажень і плюс струмів, що стікають з нульового проводу на землю через заземлюючі пристрої і повторні заземлювачі.

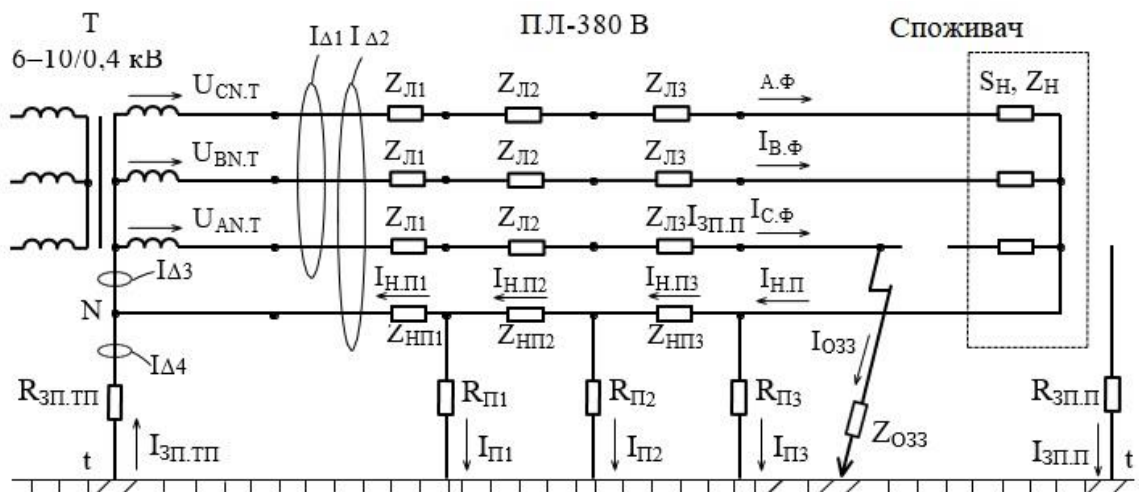


Рисунок 1.5 – Розподіл струмів в електричній мережі під час обриву та замикання фазного проводу

При виникненні обриву та замикання фазного проводу лінії на землю (рисунок 1.5) розподіл струмів в електричній мережі суттєво змінюється. При обрив фазного проводу струм навантаження ушкодженої фази стає рівним нулю. У той же час при падінні проводу на землю з'являється однофазний струм замикання на землю $I_{ОЗЗ}$, величина якого визначається опором фазного

проводу плюс опір між фазою та землею Z_{O33} . Зазначимо, що значення останнього опору може змінюватися від десятих часткою Ома до сотень і тисяч Ом. Ці дві зміни зумовлюють зміну диференціального струму ПЛ $I_{\Delta 1}$.

Третя зміна розподілу струмів пов'язана з зникненням фазного струму навантаження пошкодженої фази в струмі $I_{НП}$, що протікає по нульовому проводу. Водночас струм однофазного замикання на землю I_{O33} мине нульовий провід. Внаслідок протікання струму I_{O33} по землі та поверненні його через опір заземлювального пристрою ТП $R_{ЗП.ТП}$ збільшиться відповідний струм $I_{ЗП.ТП}$. Струм I_{O33} , якщо прибрати опір заземлювального пристрою споживача $R_{ЗП.П}$ і опір повторних заземлювачів $R_{П}$, можна отримати як різницю між диференціальним струмом ПЛ $I_{\Delta 1}$ і струмом, протікаючим по нульовому проводу $I_{НП}$

$$I_{O33} = I_{\Delta 1} + I_{НП} = I_{\Delta 2} = I_{\Delta 4} \quad (2.3)$$

Крім того, при зазначених умовах струм I_{O33} дорівнює струмом $I_{\Delta 2}$ і $I_{\Delta 4}$.

Однак, струми, які протікають по опорам $R_{П}$ і $R_{ЗП.П}$, спотворюють інформацію про струм однофазного замикання на землю I_{O33} .

Висновки по першому розділу

У даній розділі роботи була описано електрична мережа напругою 380 В, розглянуто різні режими роботи електричної мережі напругою 380 В. Описано розподіл струмів в електричній мережі, а також сформовані положення, що підтверджують актуальність розробки захисту в електричній мережі напругою 380 В.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 0,38 кВ

2.1 Режимні параметри електричної мережі

При виникненні поздовжньої і поперечної несиметрії електричної мережі, наприклад, при обривах нульового та фазних проводів повітряної лінії електропередач, а також при однофазних коротких замиканнях змінюються напруги фаз щодо нульового проводу, перерозподіляються струми в електричній мережі і одночасно з'являються симетричні складові напруг і струмів зворотної і нульової послідовності [4, 5, 6]. Інформація про зазначені зміни можуть бути використані при побудові захисту електричної мережі від виникаючих несиметричних режимів роботи.

Для побудови захисту ПЛ-380 використовують наступні основні види режимних параметрів: зміни лінійних напруги і напруг фаз відносно землі; зміни зворотної і нульової складових в напругах і струмах електричної мережі, накладання струмів непромислової частоти та ін.

Для виявлення режимів роботи ПЛ-380 використовують наступні основні види функціональних блоків: фільтри напруг і струмів зворотної та нульової послідовності; диференціальні трансформатори струму; частотні фільтри; блоки порівняння; логічні схеми аналізу режиму.

Захисти від обривів проводів у мережах напругою 380 В можуть бути встановлені в початку та в кінці лінії.

Метою даного розділу є дослідження режимних параметрів на початку повітряної лінії, де буде встановлюватися передбачуваний захист.

2.2 Результати досліджень на комп'ютерній моделі

З метою проведення досить глибоких та всебічних досліджень впливу різних вищевказаних факторів на величини струмів і напруг фаз електричної мережі, їх симетричних складових, а також взаємної орієнтації цих зазначених

величин на комплексній площині була створена серія комп'ютерних моделей електричної мережі із застосуванням заземлення TN-C, виконаних чотирипровідними повітряними лініями напругою 380 В. Моделі створені в програмному комплексі Matlab з застосуванням пакету Simulink.

При дослідженнях моделі фіксувалися:

- величини фазних напруг щодо нульового проводу на початку та кінці ПЛ і значення кутів між векторами відповідних напруг і дійсною віссю;
- величини фазних і нульового струмів на початку ПЛ і значення кутів між векторами відповідних струмів і дійсною віссю;
- величини напруг і струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей в початку ПЛ і значення кутів між векторами відповідних напруг і струмів та дійсною віссю;
- величини диференціальних $I_{\Delta 1}$ (сума трьох фазних струмів) і $I_{\Delta 2}$ (сума трьохфазних та нульового струмів);
- величини струмів, що протікають через повторні заземлення ПЛ і заземляючим пристроєм споживача.

За результатами вимірів розраховані:

- відносні значення напруг прямої, зворотної і нульової послідовностей на початку ПЛ - віднесено до середньої фазної напруги мережі при симетричному навантаженні $U_{\phi} = 231$ В;
- відносні значення струмів прямої, зворотної і нульової послідовностей і диференціальних струмів на початку ПЛ - віднесено до середньому фазному струму 127 А.

Дослідження на простій мережі з одиночною повітряною лінією з зосередженим навантаженням у кінці

На рисунку 2.1 представлена принципова схема найпростішої трифазної чотирипровідної електричної мережі, що складається з трифазного джерела G , трансформатора T типу ТМГ з номінальною потужністю $S_{T.H} = 160$ кВА, однієї чотирипровідної повітряної лінії протяжністю 200 м з перетином проводів 35мм^2 і навантаженням на кінці.

Опір заземлюючого пристрою трансформаторній підстанції $R_{ЗП.ТП}$ прийнято рівним 4 Ома, повторних заземлювачів нульового проводу на початку і кінці ПЛ відповідно $R_{П1}$ і $R_{П2}$ - по 28 Ом. Значення зазначених опорів у процесі досліджень залишалися незмінними. Опір же заземлюючого пристрою у споживача $R_{ЗП.П}$ змінювалося з метою оцінки його впливу на досліджувані режимні параметри, зокрема, на напруги фаз та їх симетричні складові.

Оскільки кінцевою метою проведених досліджень є виявлення характерних ознак режимів небезпечних для живих організмів (людей і тварин), а також обладнання, на основі яких планується створення пристроїв їх розпізнавання, то дослідженнями слід охопити всі доступні для огляду експлуатаційні режими, і в тому числі нормальні.

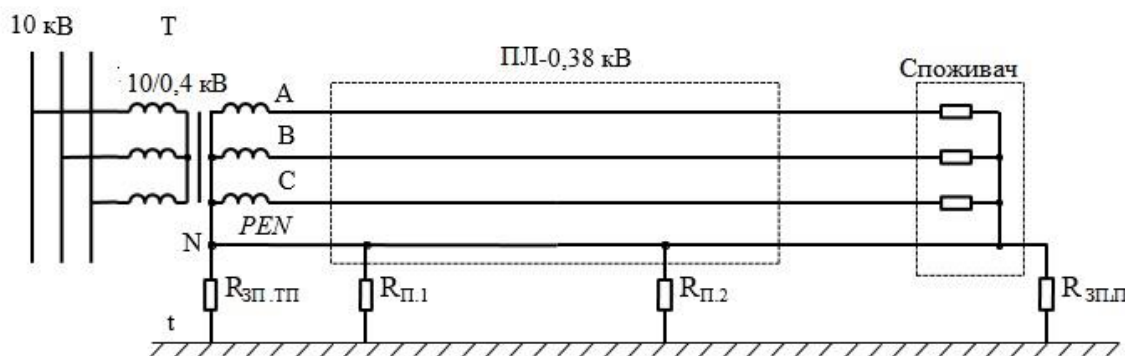


Рисунок 2.1 - Принципова схема електричної мережі напругою 380 В

Дослідження розподілу напруг у різних точках електричної мережі напругою 380 В з глухо заземленою нейтраллю при нормальних і виникненні несиметричних режимів роботи проведено з використанням комп'ютерної моделі, побудованої на основі програмного комплексу Matlab. На малюнку 2.2 представлений загальний вигляд комп'ютерної моделі найпростішої мережі, яка відповідає електричній мережі, показаною на рисунку 2.1. Комп'ютерна модель електричної мережі із застосуванням системи TN-C включає наступні елементи: енергосистеми; силовий трансформатор напругою 10/0,4 кВ; одиничну, радіальну, чотирипрохідну повітряну лінію з повторними заземлювачима нульового проводу; електричні навантаження [7, 8].

Обриви фазних і нульового проводів розглядалися в двох точках ПЛ:

відразу після живильного трансформатора напругою 10/0,4 кВ та перед споживачем. При цьому враховувалося вплив наступних факторів:

1 Зміна опору навантаження $Z_{\text{НАВ}} = R_{\text{НАВ}}$ в одній фазі або в двох фазах одночасно в діапазоні 0-100% їх розрахункової потужності $P_{\text{НАВ}}$.

2 Зміна опору заземлювального пристрою $R_{\text{ЗП.П}}$, встановленого в нейтралі трифазного навантаження споживача в діапазоні від 1 Ома до ∞ .

Для оцінки стану електричної мережі проведено дослідження зміни: напруг фаз $\underline{U}_{\text{Ai.N}}$, $\underline{U}_{\text{Bi.N}}$, $\underline{U}_{\text{Ci.N}}$ щодо нульового проводу N повітряної лінії в різних точках ПЛ; напруги несиметрії $\underline{U}_{\text{НС}} = 3 \cdot \underline{U}_0$ трифазної системи напруг щодо нульового проводу; напруги нульової послідовності \underline{U}_0 ; напруги нульового проводу $\underline{U}_{\text{Ni.t}}$ щодо землі.

Для визначення структури пристроїв розпізнавання (або виявлення) ненормальних режимів роботи електричної мережі напругою 380 В потрібно, з одного боку, знати параметри мережі (напруги і струми), на які вони повинні реагувати, а з іншої сторони, параметри, від яких слід відбудовуватись.

На напруги і струми електричної мережі в загальному випадку впливають:

- різні несиметричні режими роботи електроприймачів, спотворюючих симетрію трифазної системи напруг щодо нульового робочого проводу при симетричному режимі роботи самої електричної мережі;
- різні поєднання обривів фазних і нульових проводів ПЛ;
- різні поєднання замикань фазних проводів з нульовими проводами ПЛ;
- симетричні підвищення або зниження напруг живильною мережі в наслідок будь-яких збурень, що виникають в ній – короткі замикання, регулювання напруги і т.д.

Опис модельованої мережі

Комп'ютерна модель електричної мережі напругою 380 В побудована з глухо заземленою нейтраллю і застосування системи TN-C.

Система TN-C - робочий нульовий провідник N і нульовий захисний провідник PE цієї системи поєднані в один провід. Самим великим недоліком

є можливість появи фазної напруги на корпусах електроустановок при аварійному обриві нуля. Незважаючи на це, дана система все ще трапляється.

В електроустановках із глухо заземленою нейтраллю нейтраль генератора або трансформатора трифазного змінного струму, середня точка джерела постійного струму, один із виводів джерела однофазного струму повинні бути приєднані до заземлювача за допомогою заземлюючого провідника.

Штучний заземлювач, призначений для заземлення нейтралі, як правило, має бути розташований поблизу генератора або трансформатора. Для внутрішньоцехових підстанцій допускається мати заземлювач близько стіни будівлі.

Якщо фундамент будівлі, в якому розміщується підстанція, використовується в як природний заземлювач, нейтраль трансформатора слід заземлювати шляхом приєднання не менше ніж до двох металевих колон або до закладним деталям, приварених до арматури не менше двох залізобетонних фундаментів.

При розташуванні вбудованих підстанцій на різних поверхах багатоповерхової будівлі заземлення нейтралі трансформаторів таких підстанцій має бути виконаним при допомозі спеціально прокладеного заземлюючого провідника. У цьому разі заземлюючий провідник повинен бути додатково приєднаний до колони будівлі, найближчою до трансформатора, а його опір враховано при визначенні опору розтіканню заземлювального пристрою, до якого приєднана нейтраль трансформатора.

У всіх випадках повинні бути вжиті заходи щодо забезпечення безперервності ланцюга заземлення та захисту заземлювального провідника від механічних пошкоджень.

Якщо PEN провіднику, що з'єднує нейтраль трансформатора або генератора з шиною PEN розподільчого пристрою напругою до 1 кВ, установлений трансформатор струму, то заземлюючий провідник повинен бути приєднаний не до нейтралі трансформатора або генератора безпосередньо, а до PEN провідника, по можливості відразу за

трансформатором струму.

У такому разі поділ PEN провідника на PE та N провідники у системі TN-S має бути виконане також за трансформатором струму. Трансформатор струму слід розміщувати як можна ближче до виводу нейтралі генератора або трансформатора.

Опір заземлювального пристрою, до якого приєднані нейтралі генератора або трансформатора, або виводи джерела однофазного струму, в будь-яку пору року повинна бути не більше 2, 4 і 8 Ом відповідно при лінійних напругах 660, 380 і 220 джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 джерел однофазного струму. Цей опір має бути забезпечено з урахуванням використання природних заземлювачів, а також заземлювачів повторних заземлень PEN або PE провідника ПЛ напругою до 1 кВ при кількості ліній, що відходять, не менше двох. Опір заземлювача, розташованого в безпосередній близькості від нейтралі генератора або трансформатора, або виводу джерела однофазного струму, повинно бути не більше 15, 30 і 60 Ом відповідно при лінійних напругах 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму.

При питомому опорі землі $\rho > 100$ Ом/м допускається збільшувати вказані норми у $0,01\rho$ раз, але не більше десятикратного.

На кінцях ПЛ або відгалуженнях від них довжиною понад 200 м, а також на вводах ВЛ до електроустановок, в яких в якості захисних заходів при непрямому дотику застосовано автоматичне відключення живлення, повинні бути виконані повторні заземлення PEN провідника. При цьому насамперед слід використовувати природні заземлювачі, наприклад, підземні частини опор, а також заземлюючі пристрої, призначені для грозових перенапруг.

Вказані повторні заземлення виконуються, якщо більш частіші заземлення за умовами захисту від грозових перенапруг не потрібні.

Повторні заземлення PEN провідника в мережах постійного струму повинні бути виконані при допомозі окремих штучних заземлювачів, які не повинні мати металевих з'єднань з підземними трубопроводами.

Загальний опір розтіканню заземлювачів (зокрема природних) всіх повторних заземлень PEN провідника кожною ВЛ в будь-який час року має бути не більше 5, 10 та 20 Ом відповідно при лінійних напругах 660, 380 і 220 У джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму. При цьому опір розтіканню заземлювач кожного з повторних заземлень має бути не більше 15, 30 і 60 Ом відповідно при тих же напругах.

Параметри моделюється системи наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Параметри системи яка моделюється

Елемент схеми	Параметр	Величина
Трансформатор ТМГ-160/10/0,4	Потужність	160,0 кВА
	Висока напруга	10,0 кВ
	Низьке напруга	0,4 кВ
Повітряна лінія АС-4x35 мм ²	Довжина лінії	200,0 м
	Переріз проводів	35,0 мм ²
	Кількість проводів	4,0 шт
Опір заземлюючих пристроїв	ТП	4,0 Ом
	Повторне заземлення	28,0 Ом
	Споживача	1,0–∞ Ом
Гранична (номінальна) активна потужність споживача $P_{н.макс}$	Однією фази	28,0 кВт
	Трьох фаз	72 кВт

Дослідження впливу несиметрії навантажень споживачів на струми електричної мережі в нормальному режимі її роботи

На комп'ютерній моделі розглянемо живлення трьох однофазних навантажень, об'єднаних у зірку, повітряній лінії 380 В. Принципова схема показана на рисунку 2.3.

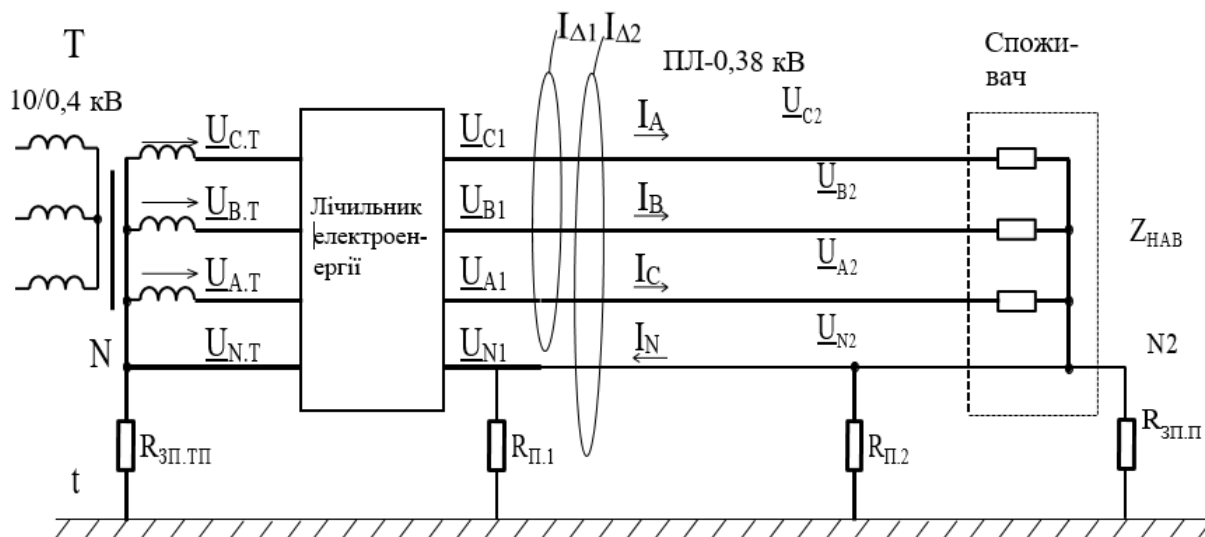


Рисунок 2.3 - Принципова схема електричної мережі напругою 380 В з повітряною лінією електропередачі нормальному режимі роботи

На схемі показано: фазну напругу на висновках силового трансформатора \underline{U}_{AT} , \underline{U}_{BT} , \underline{U}_{CT} щодо нульового дроти; напруги фаз відносно нульового проводу до (\underline{U}_{A1} , \underline{U}_{B1} , \underline{U}_{C1}) і після (\underline{U}_{A2} , \underline{U}_{B2} , \underline{U}_{C2}) місця виникнення несиметрії ПЛ; напруги між нульовим проводом і землею t на виводах трансформатора $\underline{U}_{NT,t}$, біля місця виникнення несиметрії з боку джерела живлення $\underline{U}_{N1,t}$ і на обірваному проводі з боку споживача $\underline{U}_{N2,t}$.

Змінюватимемо потужність однофазного навантаження від 100% до 0%. Спочатку потужності будемо міняти у навантаженні, підключеного на фазу С, а потім одночасно у навантажень, що живляться по фазах В та С.

Вимірювання проводились при опорі заземлюючого пристрою споживача $R_{ЗП.П}$, рівному 1; 30 та ∞ Ом.

На рисунках 2.4 – 2.9 наведено графіки зміни струмів та напруг електричної мережі в залежності від різних варіантів несиметрії навантажень споживача. Залежності отримані при комп'ютерному моделюванні.

На рисунку 2.4 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі С від 100 % до 0 %): напруги нульовий і зворотній послідовностей: U_0 зростає до 0,57 в.о.; U_2 зростає до 0,09 в.о.; співвідношення напруг U_0/U_2 змінюється в межах 6,3 - 6,5.

На рисунку 2.5 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі С від 100 % до 0 %) струми нульовий і зворотній послідовностей: I_0 зростає до 0,266 в.о.; I_2 зростає до 0,363 в.о.; співвідношення струмів I_0/I_2 одно 0,73.

На рисунку 2.6 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі З від 100 % до 0 %) диференціальний струм $I_{\Delta 1}$ змінюється в межах 0-0,008 в.о. диференціальний струм $I_{\Delta 2}$ змінюється в межах 0-0,022 в.о.

На рисунку 2.7 видно, що зі збільшенням несиметрії одночасно двох фазах (зменшенням навантаження на фазах В і С від 100 % до 0 %) напруги нульової і в.о. співвідношення напруг U_0/U_2 змінюється в межах 6,8 - 9.

На рисунку 2.8 видно, що зі збільшенням несиметрії одночасно двох фазах (зменшенням навантаження на фазах В та С від 100 % до 0 %) струми нульової та зворотної послідовностей: I_0 зростає до 0,298 в.о. I_2 зростає до 0,298 в.о.; співвідношення струмів I_0/I_2 змінюється в межах 0,77 - 1.

На рисунку 2.9 видно, що зі збільшенням несиметрії одночасно двох фазах (зменшенням навантаження на фазах В і С від 100 % до 0 %): диференціальний струм $I_{\Delta 1}$ зростає до 0,09 в.о. диференціальний струм $I_{\Delta 2}$ зростає до 0,042 в.о.

Дослідження на комп'ютерній моделі струмів електричної мережі при обривах фазних проводів

На рисунку 2.10 наведено схема живлення споживачів електроенергією по повітряній лінії напругою 380 В. Розглянемо роботу ПЛ при обриві фазного (ОФ) проводу фази А. Пунктирними лініями 1 і 2 позначені дві ділянки ПЛ (перетину 1 і 2) – до та після місця виникнення несиметрії лінії, інші позначення, як і в попередньому пункті.

Розглянемо випадок обриву фазного дроту фази А в кінці повітряної лінії у споживача, при трьох значеннях опору заземлюючого пристрої споживачі $R_{ЗП.П} 1; 30 \text{ і } \infty \text{ Ом.}$

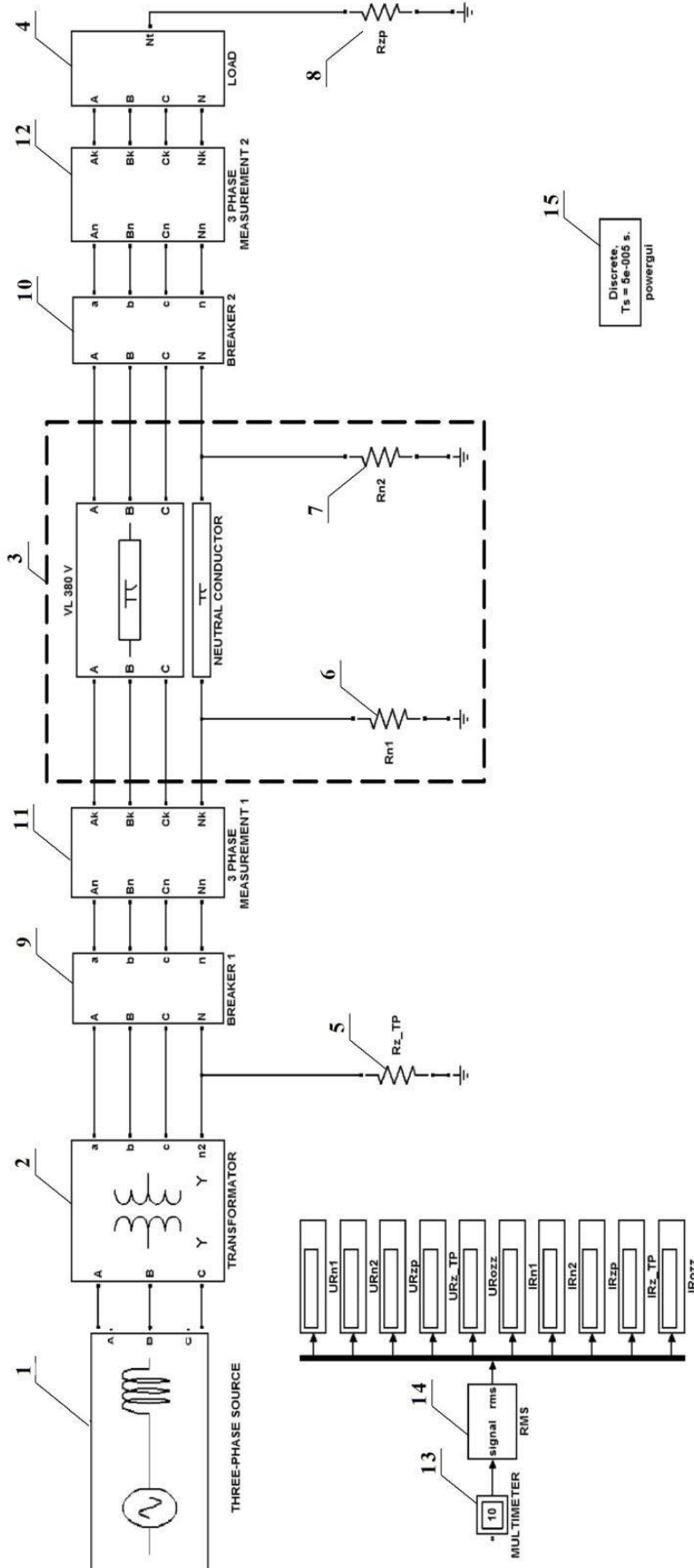


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд комп'ютерної моделі електричної мережі, виконаної у пакеті Simulink;

1 - трифазне джерело електроенергії напругою 6–10 кВ; 2 - двообмотковий трансформатор; 3 - модель чотирипровідної повітряної лінії 380 В; 4 – електричне навантаження; 5, 6, 7, 8 – опори відповідно заземлювального повітряної лінії та заземлювального пристрою споживача; 9, 10 – блок комутаційних апаратів в початку і в кінці повітряної лінії; 11, 12 – вимірвальні комплекси; 13 – блок "Мультиметр"; 14 - блок, що розраховує чинне значення синусоїдального сигналу; 15 - блок PowerGui

зворотньої послідовностей: U_0 зростає до 0,063 в.о.; U_2 зростає до 0,007

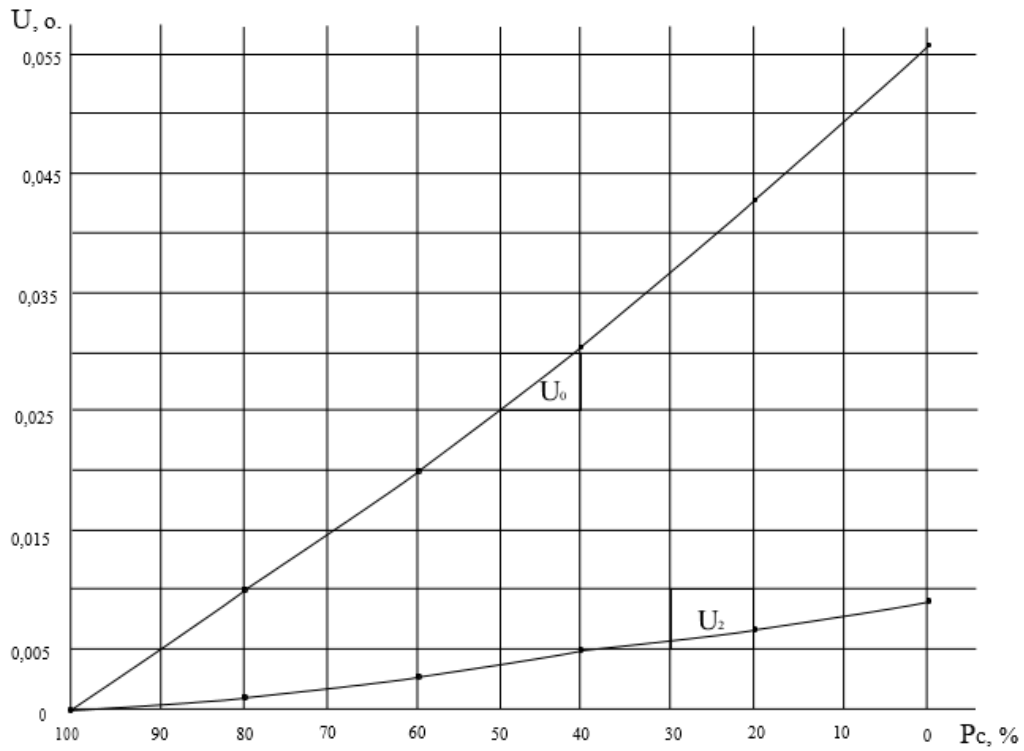


Рисунок 2.4 – Зміна напруги електричної мережі при нормальному режимі її роботи в залежності від навантаження фази С, $R_{зп.п} = 30 \text{ Ом}$

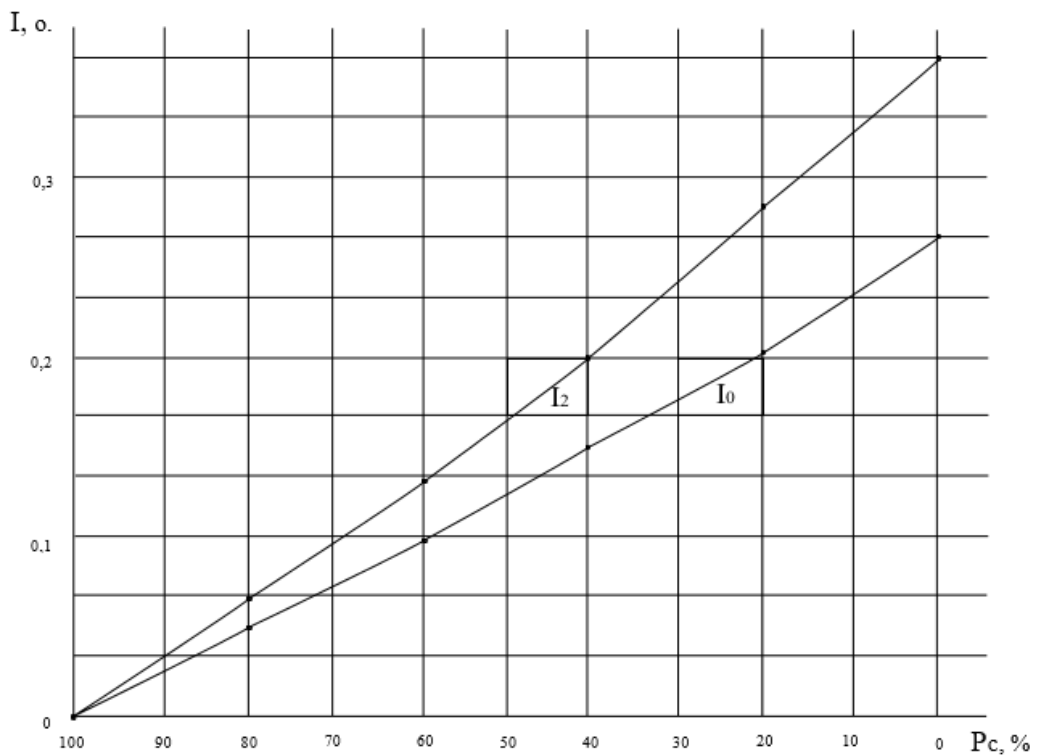


Рисунок 2.5 – Зміна струмів електричної мережі за нормального режиму її роботи в залежності від навантаження фази С, $R_{зп.п} = 30 \text{ Ом}$

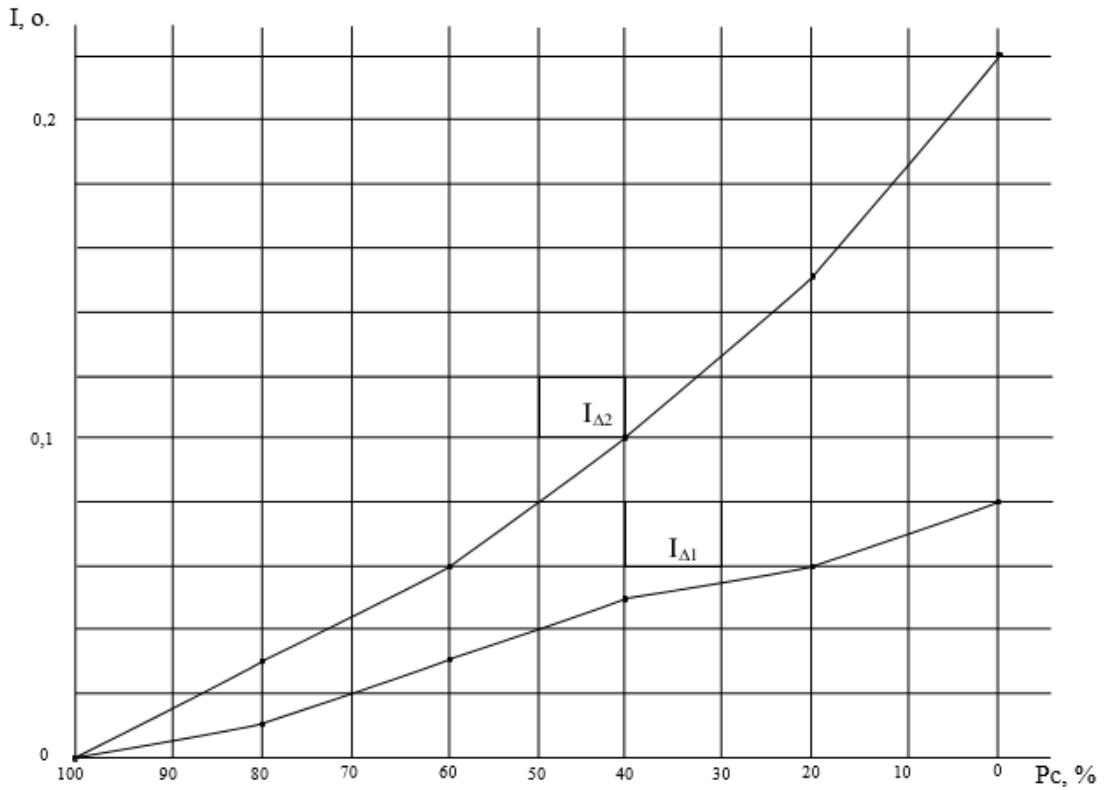


Рисунок 2.6 – Зміна диференціальних струмів електричної мережі при нормальному режимі її роботи в залежності від навантаження фази В, $R_{зп.п} = 30 \text{ Ом}$

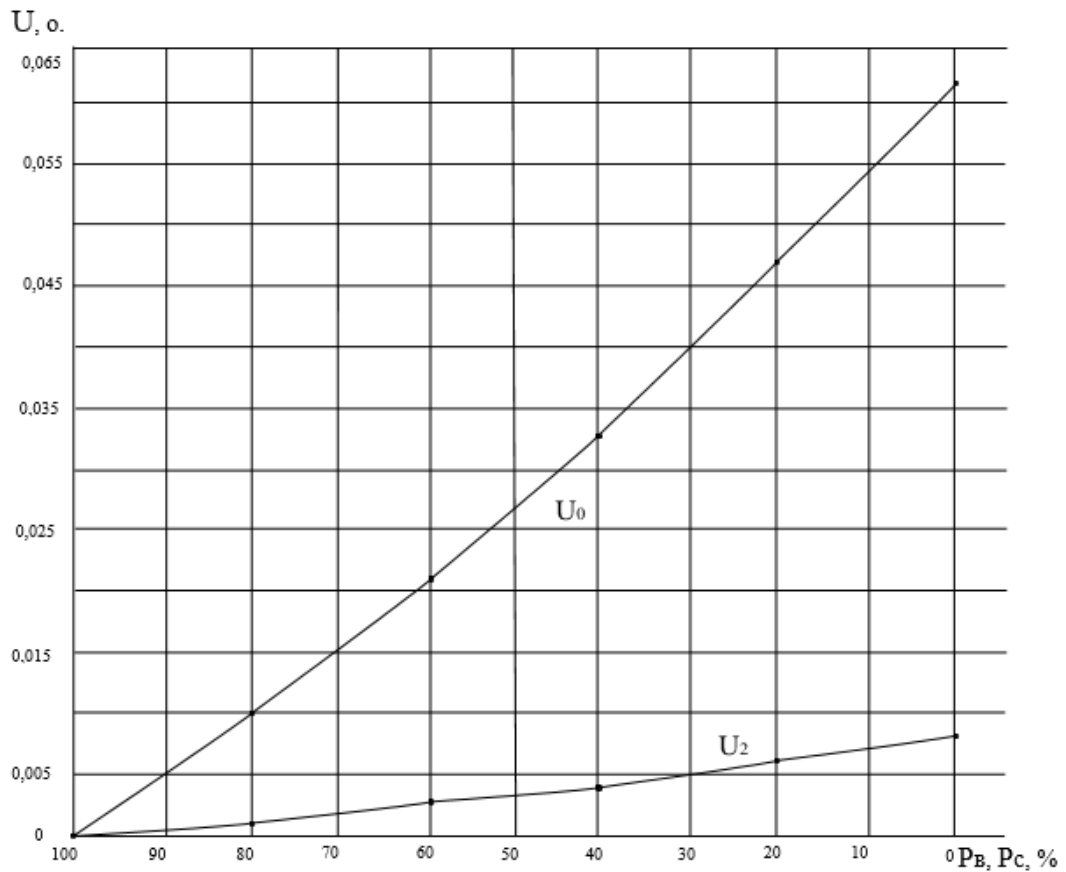


Рисунок 2.7 – Зміна напруги електричної мережі при нормальному

режимі її роботи в залежності від навантаження фаз В і С, $R_{зп.п} = 30 \text{ Ом}$

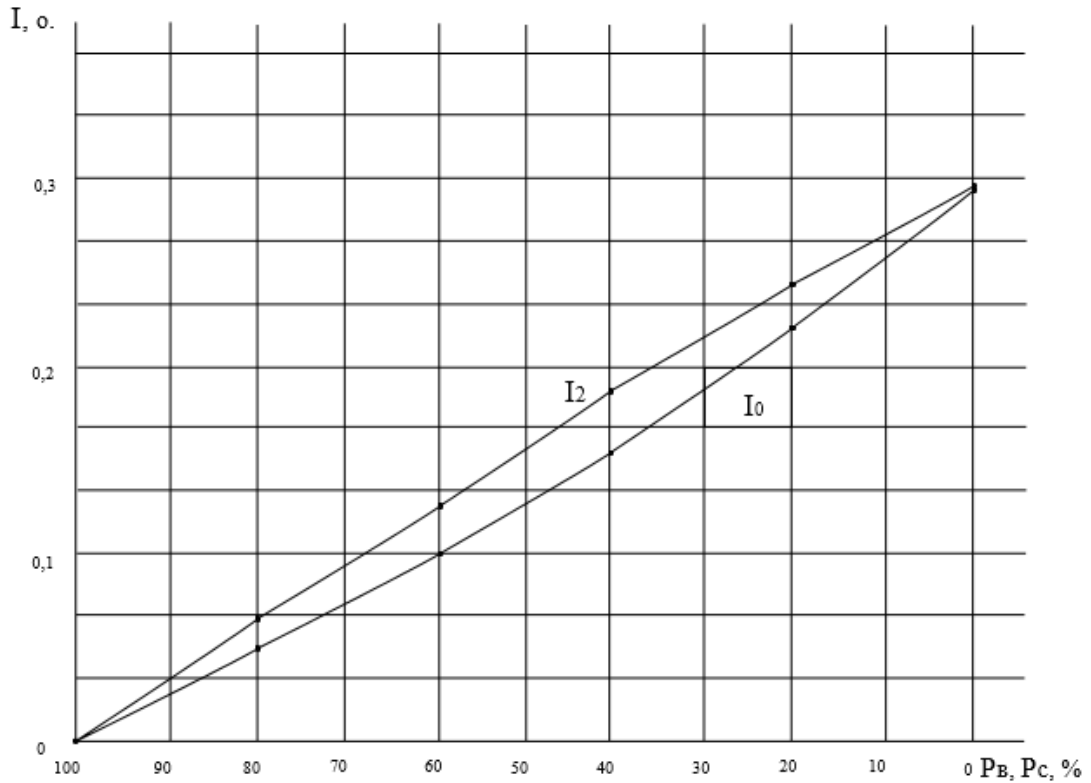


Рисунок 2.8 – Зміна струмів електричної мережі за нормального режиму її роботи в залежності від навантаження фаз В і С, $R_{зп.п} = 30 \text{ Ом}$

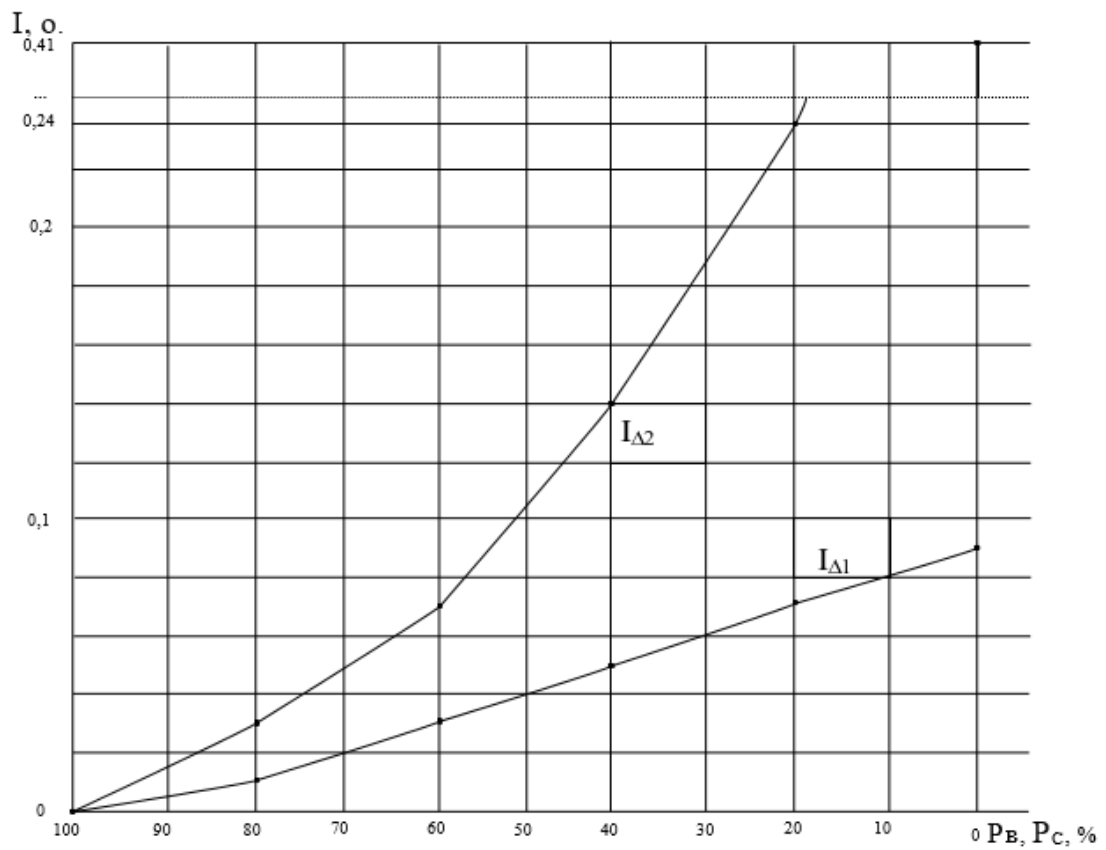


Рисунок 2.9 – Зміна диференціальних струмів електричної мережі при

нормальному режимі її роботи в залежно від навантаження фаз В і С, $R_{зп.п} = 30 \text{ Ом}$

При моделюванні вироблялася зміна потужності однофазних споживачів. Спочатку змінювалася активна потужність споживача, приєднаного на фазу С. Зміна проводилася від 100% до 0%. На другому етапі аналогічним чином одночасно змінювалася активна потужність двох споживачів, приєднаних до фаз В і С.

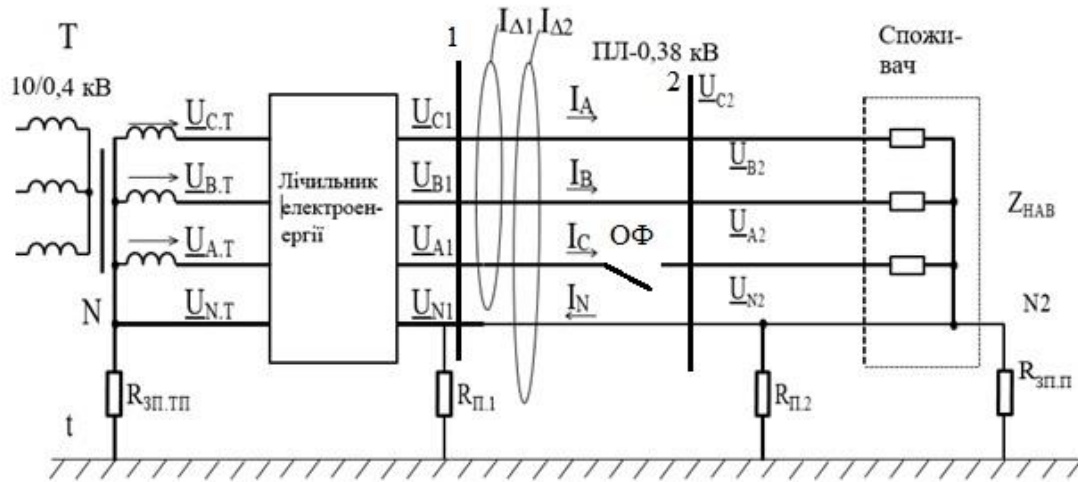


Рисунок 2.10 – Принципова схема електричної мережі напругою 380В з повітряною лінією електропередачі при обриві фазного проводу

На рисунках 2.11 - 2.16 наведено графіки зміни струмів і напруг електричної мережі в залежності від різних варіантів несиметрії навантажень споживача. Залежності отримані при комп'ютерному моделюванні.

На рисунку 2.11 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі С від 100 % до 0 %) напруги нульової та зворотної послідовностей: U_0 зростає до 0,063 в.о.; U_2 знижується до 0,07 в.о.; співвідношення напруг U_0/U_2 змінюється в межах 6,4 - 8,7.

На рисунку 2.12 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі С від 100 % до 0 %) струми нульової та зворотної послідовностей: I_0 зростає до 0,298 в.о.; I_2 знижується до 0,297 в.о.; співвідношення струмів I_0/I_2 змінюється в межах 0,7 - 1.

На рисунку 2.13 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі від 100 % до 0 %): диференціальний струм $I_{\Delta 1}$ змінюється

в межах 0,009 в.о.; диференціальний струм $I_{\Delta 2}$ змінюється в межах 0,89 в.о.

На рисунку 2.14 видно, що зі збільшенням несиметрії одночасно двох фазах (зменшенням навантаження на фазах В і С від 100 % до 0 %) напруги нульової і зворотної послідовностей: U_0 знижується до 0,001 в.о.; U_2 знижується до 0 в.о.; співвідношення напруг U_0/U_2 змінюється межах 6,4 – 8,7.

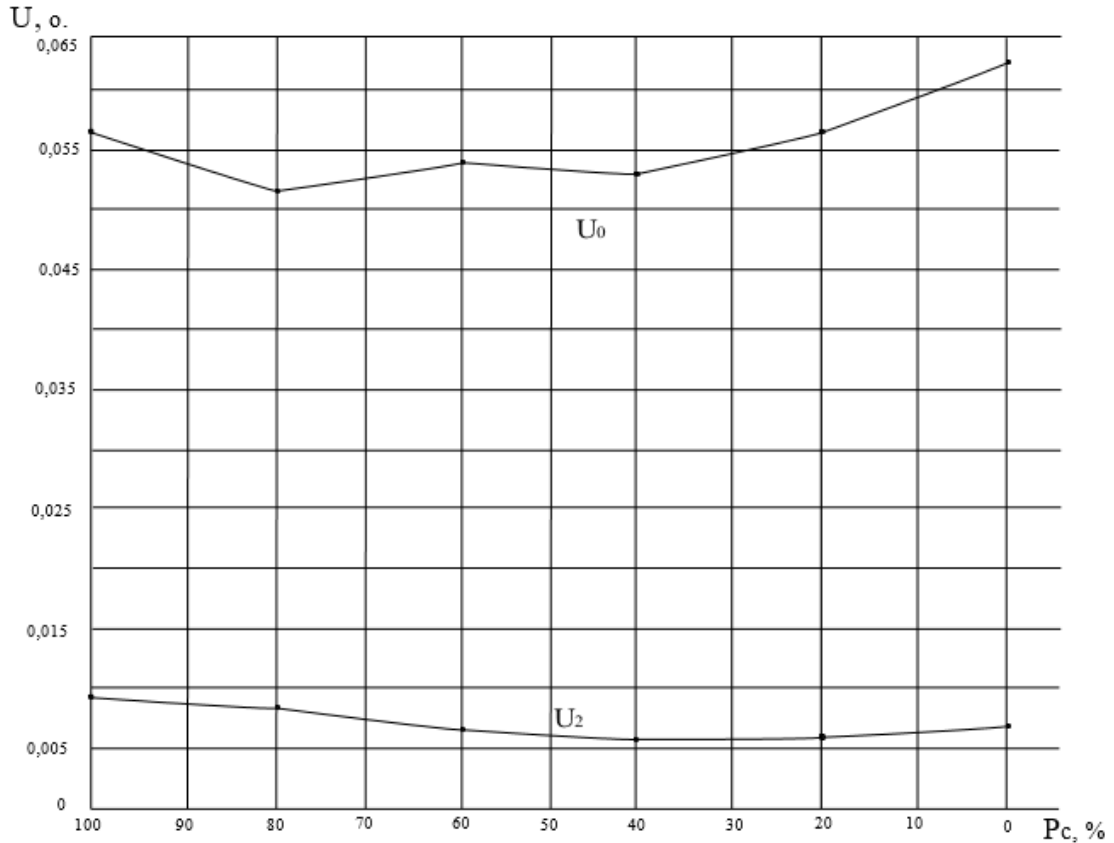


Рисунок 2.11 – Зміна напруги електричної мережі залежно від навантаження фази С при урвищі дроти фази А, $R_{зп.п} = 30$ Ом

На рисунку 2.15 видно, що зі збільшенням несиметрії одночасно двох фазах (зменшенням навантаження на фазах В та С від 100 % до 0 %) струми нульової та зворотної послідовностей: I_0 знижується до 0,004 в.о. I_2 знижується до 0,004 в.о.; співвідношення струмів I_0/I_2 одно 0,019.

На рисунку 2.16 видно, що зі збільшенням несиметрії одночасно двох фазах (зменшенням навантаження на фазах В і С від 100 % до 0 %): диференціальний струм $I_{\Delta 1}$ падає та змінюється не більше 0,008 – 0 в.о.; диференціальний струм $I_{\Delta 2}$ падає з 0,807 до 0,011 в.о.

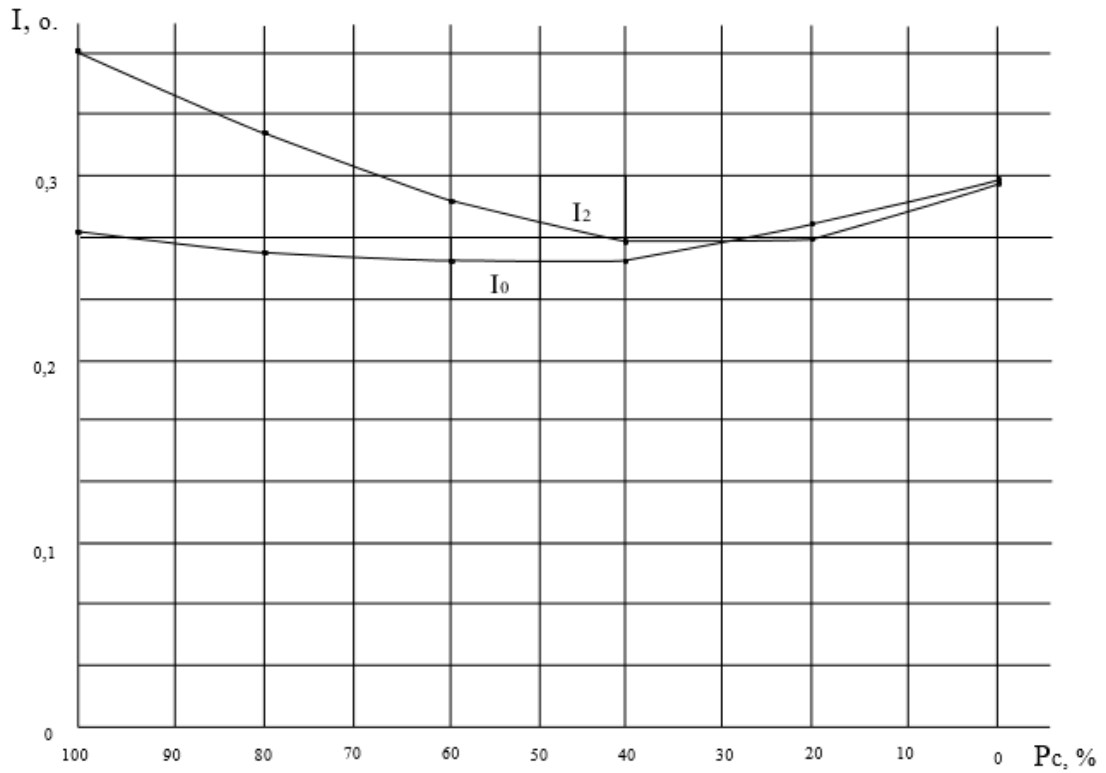


Рисунок 2.12 – Зміна струмів електричної мережі залежно від навантаження фази С при обриві проводу фази А, $R_{\text{зп.л}} = 30 \text{ Ом}$

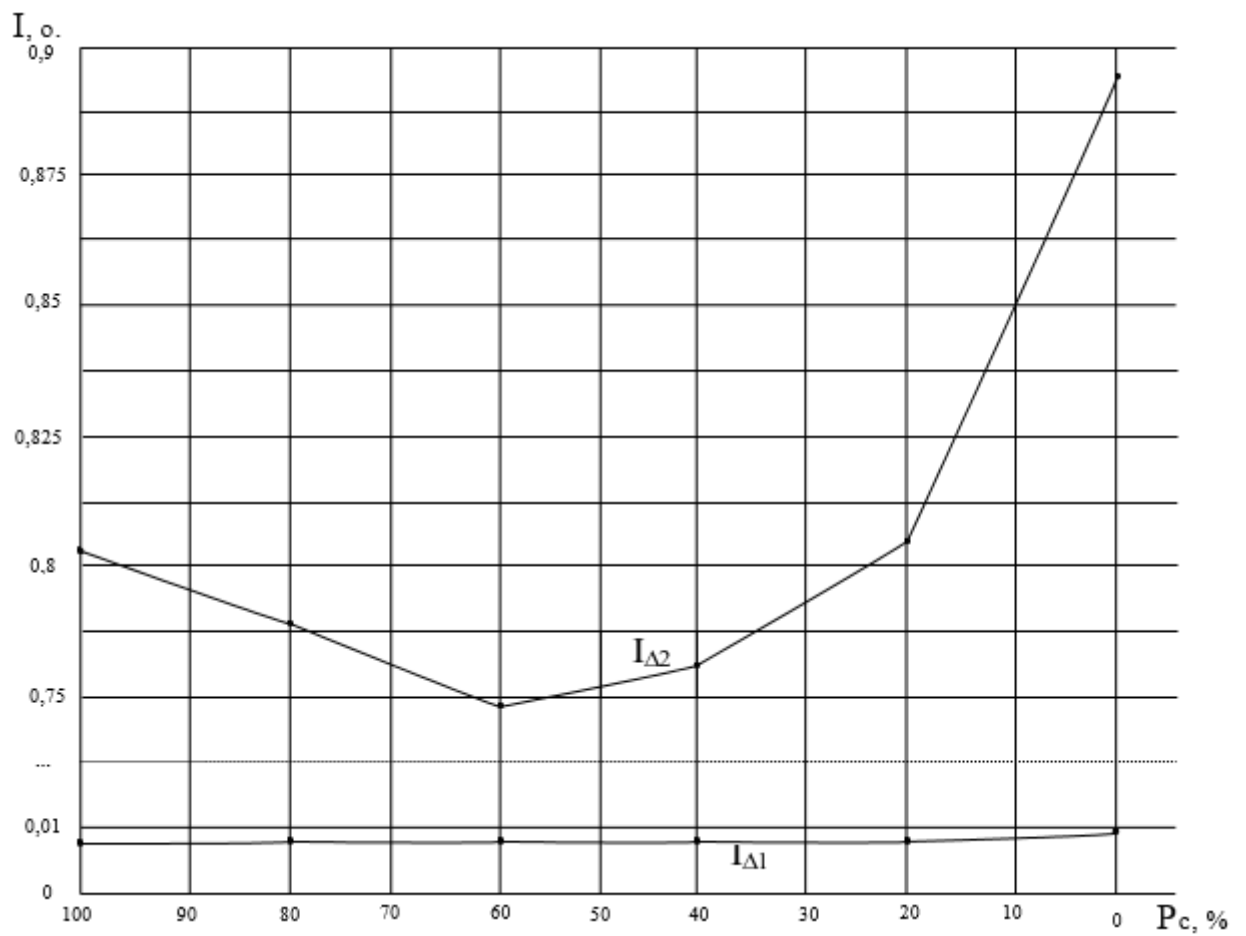


Рисунок 2.13 - Зміна диференціальних струмів електричної мережі в залежності від навантаження фази С при обриві проводу фази А, $R_{зп.п} = 30$ Ом

Дослідження на комп'ютерній моделі струмів електричної мережі при обриві нульового проводу

Було проведено моделювання повітряної лінії напругою 380 В з обривом нульового проводу в цьому випадку лінійні напруги залишаються незмінними, а фазні напруги на однофазних споживачах змінюються назад пропорційно їх потужності.

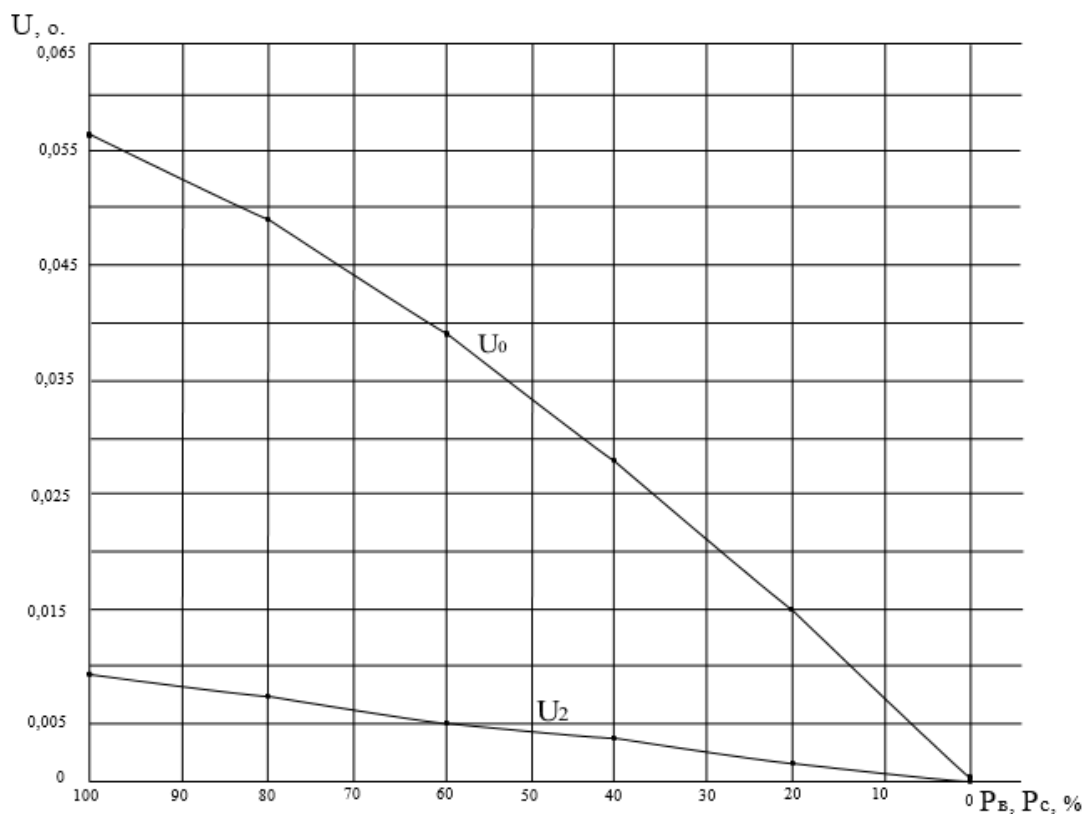


Рисунок 2.14 – Зміна напруги електричної мережі залежно від навантаження фаз В і С при обриві проводу фази А, $R_{зп.п} = 30$ Ом

На рисунку Б.5 наведено схему живлення однофазних споживачів, з'єднаних у зірку, по повітряній лінії 380 В з обірваним нульовим проводом (обозначення аналогічні розглянутому вище режиму). Усі повторні заземлювачі ПЛ знаходяться до місця обриву нульового проводу.

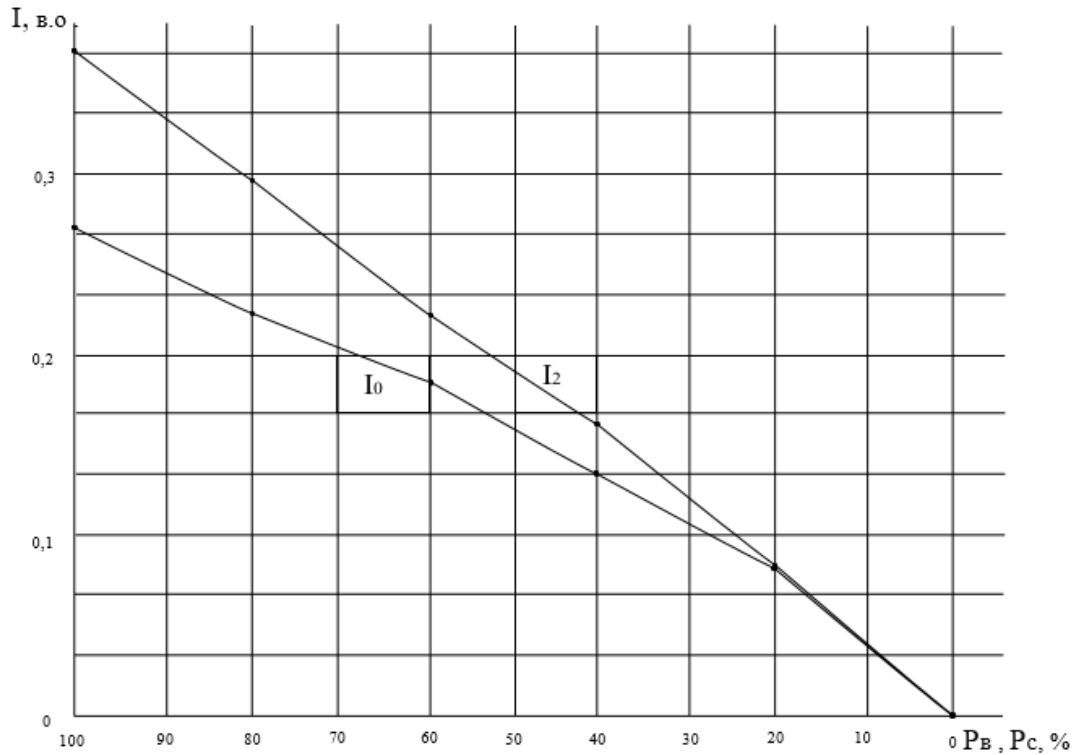


Рисунок 2.15 – Зміна струмів електричної мережі залежно від навантаження фаз В і С при обриві проводу фази А, $R_{ЗП.П} = 30 \text{ Ом}$

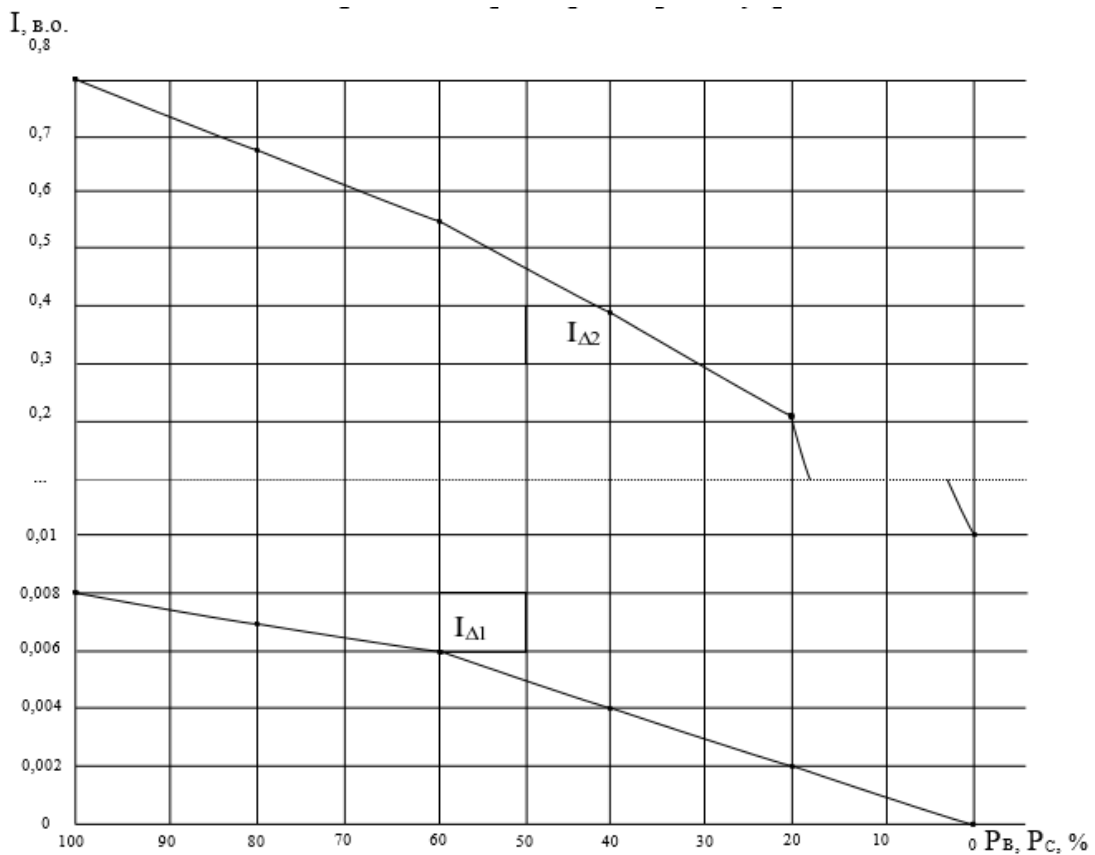


Рисунок 2.16 - Зміна диференціальних струмів електричної мережі в залежності від навантаження фаз В і С при обриві проводу фази А, $R_{ЗП.П}$

= 30 Ом

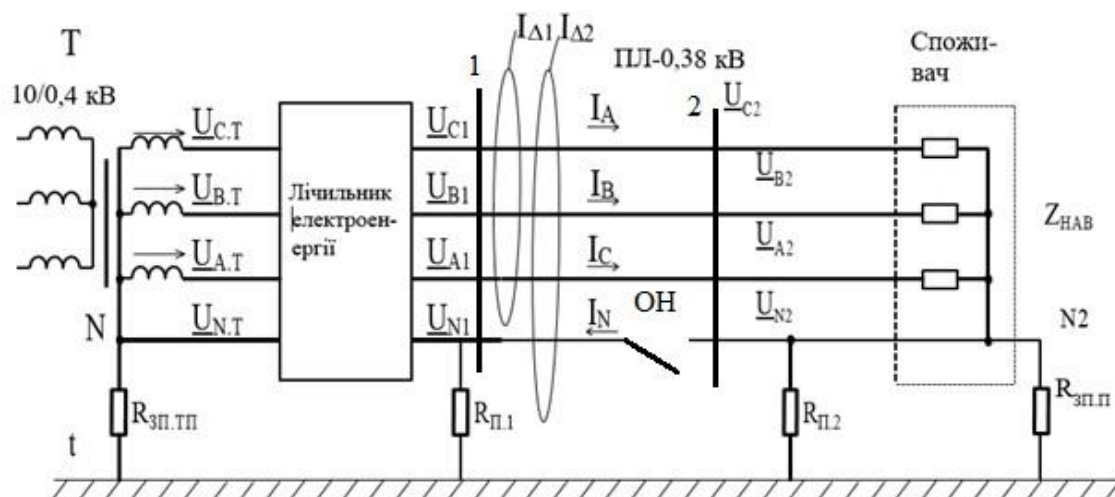


Рисунок 2.17 – Принципова схема електричної мережі напругою 380 В повітряної лінії електропередачі при обриві нульового проводу

При моделюванні вироблялося зміна потужності однофазних споживачів. Спочатку змінювалася активна потужність споживача, приєднаного на фазу С. Зміна проводилася від 100% до 0%. На другому етапі аналогічним чином одночасно змінювалася активна потужність двох споживачів, приєднаних до фаз В і С. Опір заземлювального пристрою споживача $R_{зп.п}$ приймалося рівним 1; 30 і ∞ Ом.

На рисунках 2.17 – 2.19 наведено графіки зміни напруг електричної мережі залежно від різних варіантів несиметрії навантажень. Залежності отримані при комп'ютерному моделюванні.

На рисунку 2.17 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі С від 100 % до 0 %) напруги нульової і зворотної послідовностей: U_0 зростає до 0,002 в.о.; U_2 зростає до 0,012 в.о. співвідношення напруг U_0/U_2 змінюється в межах 0 - 0,161.

На рисунку 2.18 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі З від 100 % до 0 %) струми нульової і зворотної послідовностей: I_0 зростає до 0,009 в.о.; I_2 зростає до 0,492 в.о.; співвідношення струмів I_0/I_2 одно 0,079.

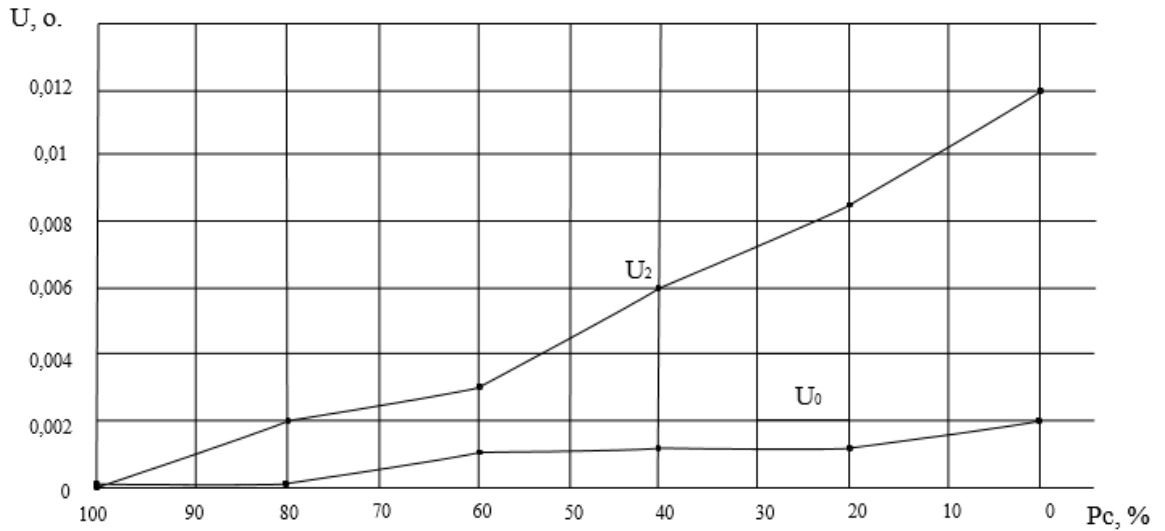


Рисунок 2.17 – Зміна напруги електричної мережі залежно від навантаження фази С при обриві нульового проводу, $R_{зп.п} = 30 \text{ Ом}$

На рисунку 2.19 видно, що з збільшенням несиметрії (зменшенням навантаження на фазі від 100 % до 0 %): диференціальний струм $I_{\Delta 1}$ зростає до 0,022 в.о.; диференціальний струм $I_{\Delta 2}$ зростає до 0,028 в.о.

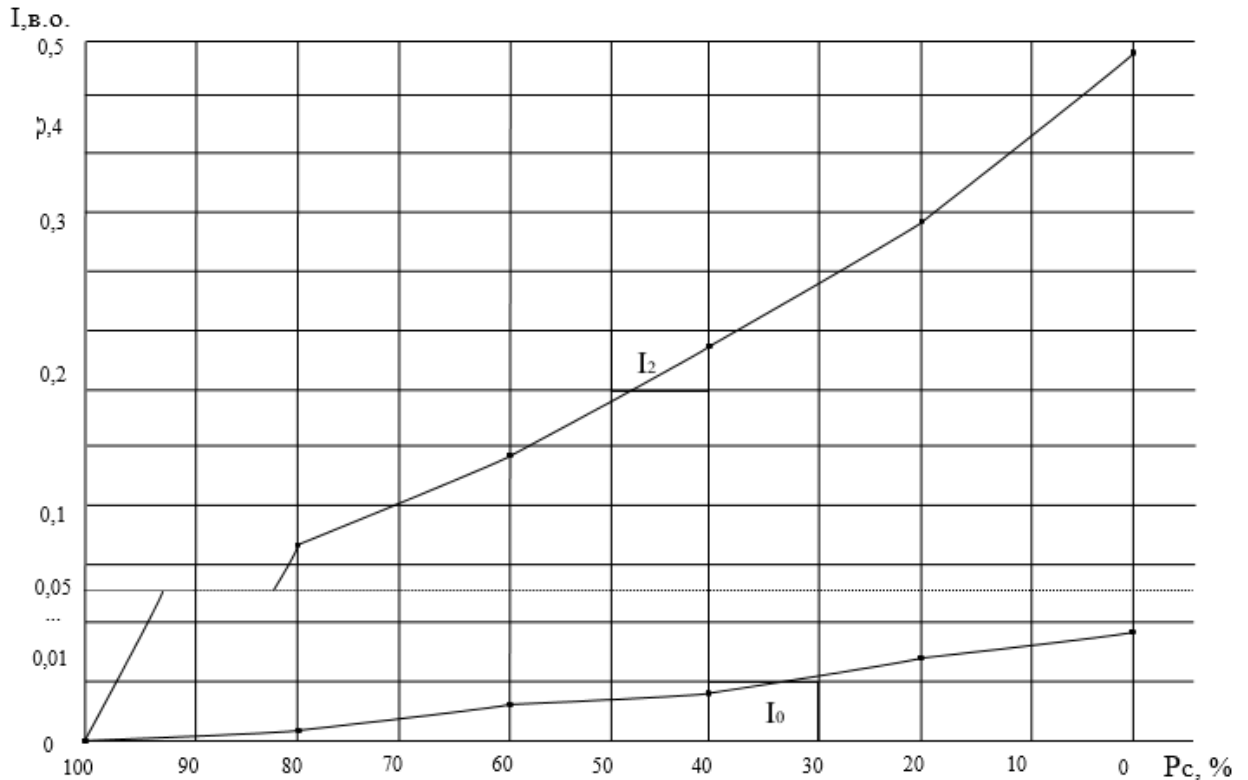


Рисунок 2.18 – Зміна струмів електричної мережі залежно від навантаження фази З при обриві нульового проводу, $R_{зп.п} = 30 \text{ Ом}$

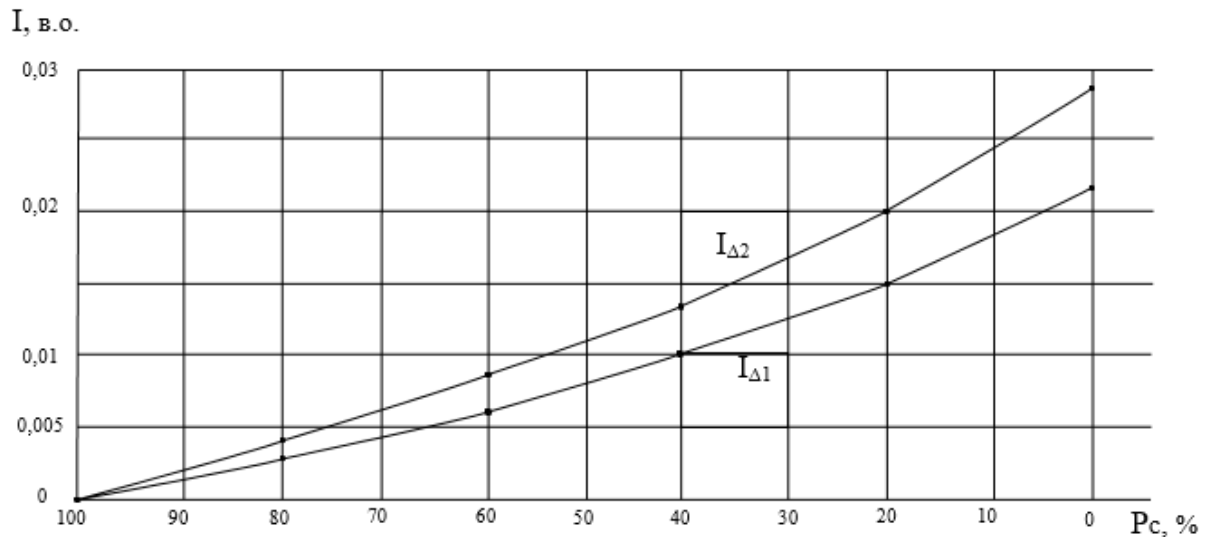


Рисунок 2.19 -Зміна диференціальних струмів електричної мережі в залежності від навантаження фази C при обриві нульового проводу, $R_{\text{зп.п}} = 30$ Ом

Висновки по другому розділу

1 При виникненні поздовжньої несиметрії електричної мережі, наприклад, при урвищах нульового і фазних проводів повітряної лінії електропередачі напругою 380 В змінюються напруги фаз щодо нульового дроти, перерозподіляються струми в електричній мережі і одночасно з'являються симетричні складові напруг і струмів зворотної та нульової послідовності.

2 У роботі досліджено зміни шести параметрів на початку ПЛ-380 ($U_0, U_2, I_0, I_2, I_{\Delta 1}, I_{\Delta 2}$) при різних режимах роботи ПЛ-380 (обриви фазних і нульового проводів, зміна несиметрії навантажень споживачів) на комп'ютерній та фізичній моделях, зроблено аналіз експериментальних даних, проведених у дослідній електричній мережі. Отримано кількісні зміни зазначених напруг і струмів, побудовано відповідні графіки зміни струмів і напруг в залежності від режиму роботи мережі і навантаження фаз.

3 Результати комп'ютерного та фізичного моделювання, а також експериментів в дослідній електричній мережі якісно і кількісно збіглися практично повністю.

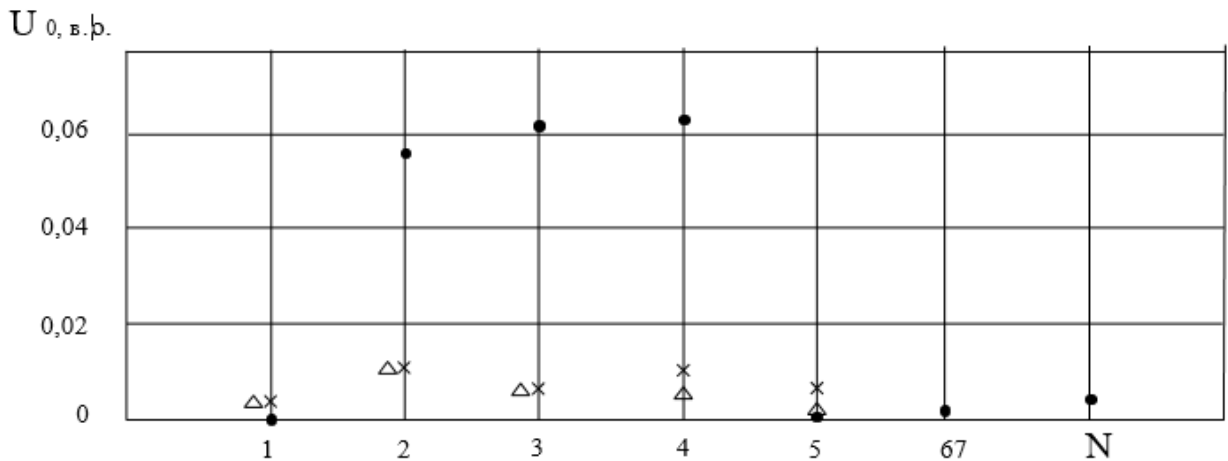


Рисунок 2.16 – Залежність напруги нульової послідовності U_0 від режиму роботи електричної мережі

4 Результати досліджень показали:

4.1 Напруги нульової та зворотної послідовності, отримані на початку ПЛ-380, неоднозначно характеризують і адекватно не відображають стан ПЛ, в результаті не дозволяють чітко ідентифікувати обриви фазних і нульового проводів ПЛ.

4.2 Струми нульовий I_0 , і зворотній I_2 послідовності, а також диференціальні струми $I_{\Delta 1}$, $I_{\Delta 2}$ дозволяють ідентифікувати обриви проводів тільки при симетричному навантаженні ПЛ-380 В, або при несиметрії навантажень, що не перевищує 70-80% (в реальних межах зміни навантажень електричної мережі). Однак, при виникненні несиметрії фазних навантажень ПЛ виникають окремі режими, які чітко не ідентифікуються.

4.3 Для побудови захисту, встановлюваної в початку лінії, найбільш інформаційними є струми I_2 і $I_{\Delta 1}$ (векторна сума фазних струмів). Але для заключного прийняття рішення які струми використовувати необхідно проведення додаткових досліджень.

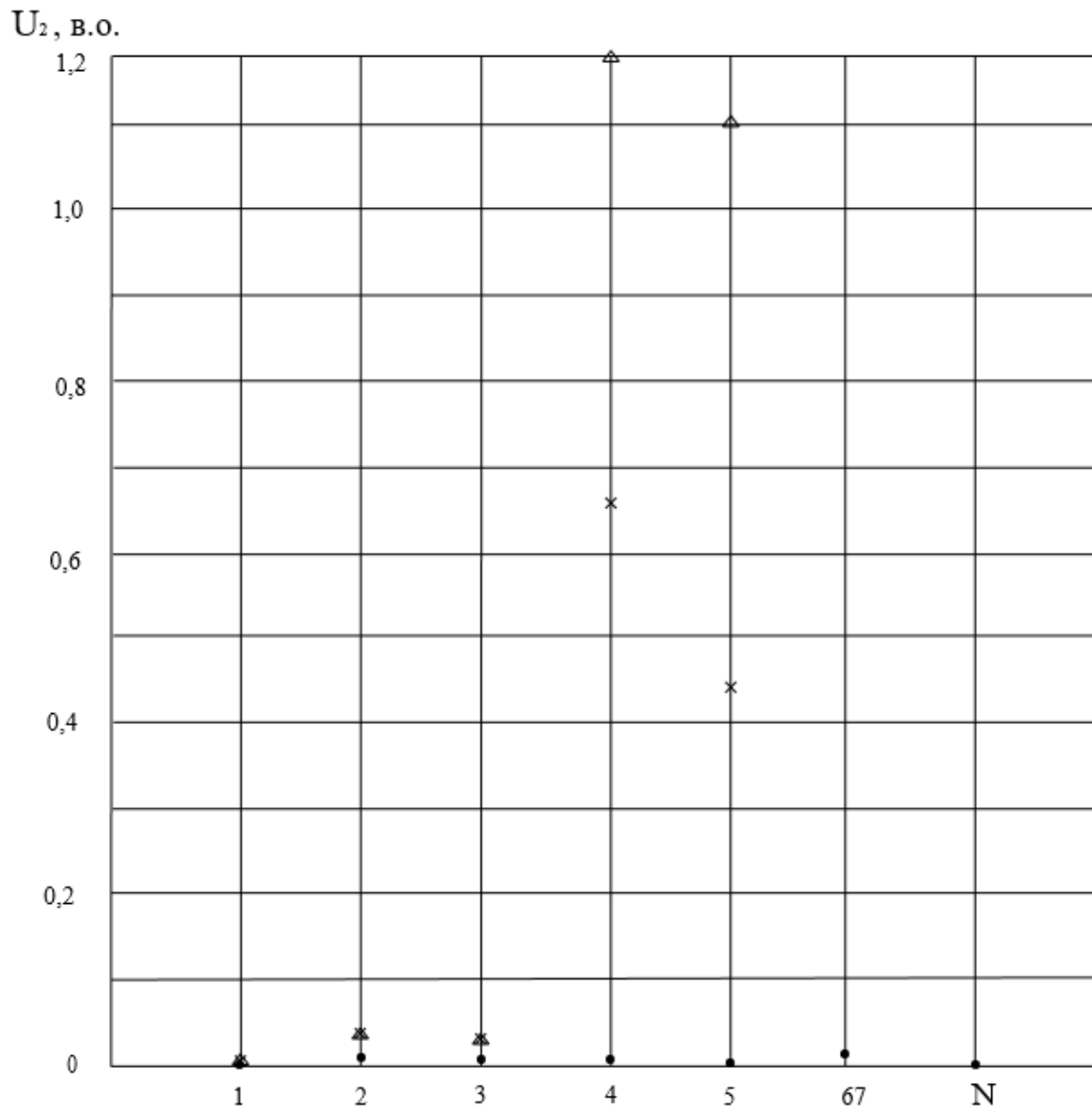


Рисунок 2.17 – Залежність напруги зворотної послідовності U_2 відрежиму роботи електричної мережі

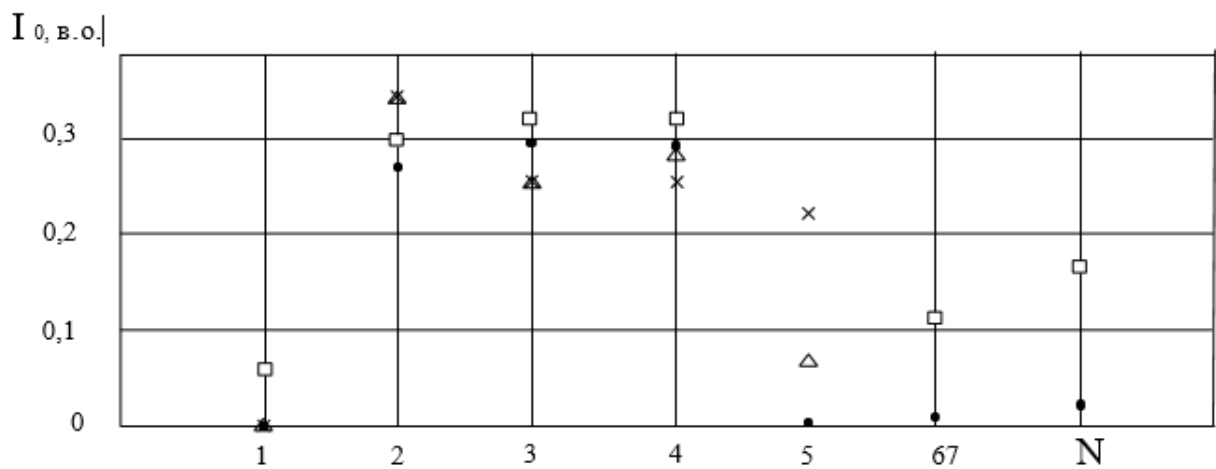


Рисунок 2.18-Залежність токанолювої послідовності I_0 відрежиму роботи електричної мережі

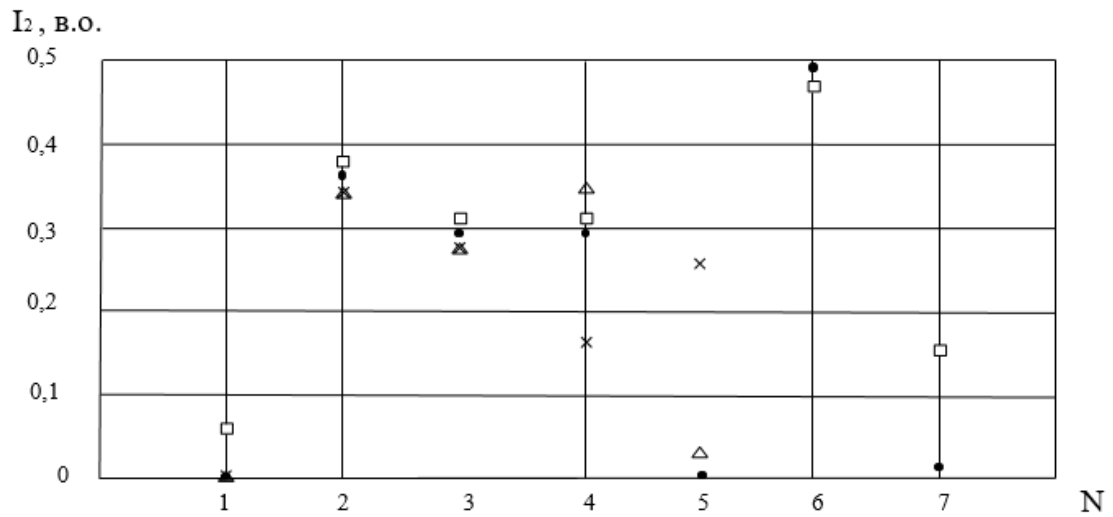


Рисунок 2.19 – Залежність струму зворотної послідовності I_2 від режиму роботи електричної мережі

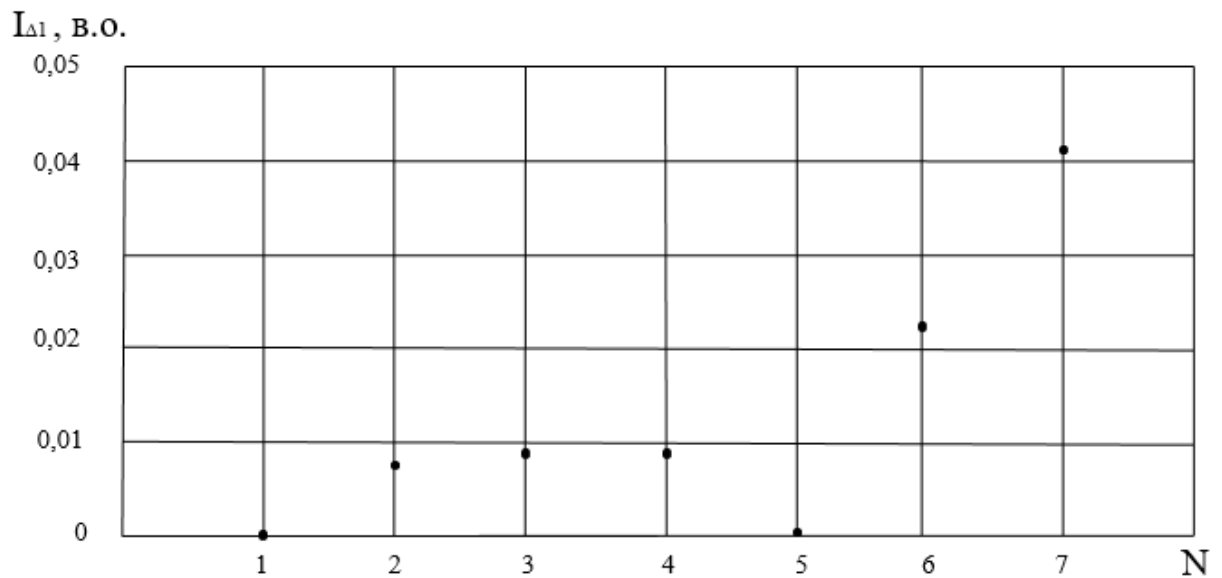


Рисунок 2.20 – Залежність диференціального струму $I_{\Delta 1}$ від режиму роботи електричної мережі

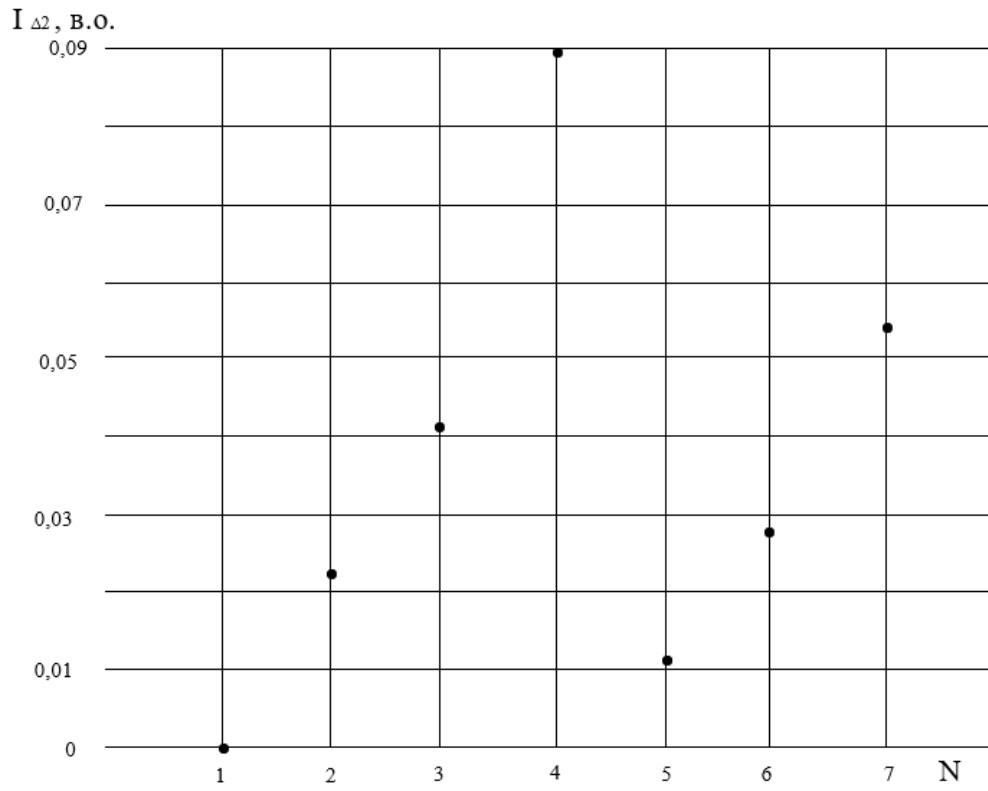


Рисунок 2.21 – Залежність диференціального струму $I_{\Delta 2}$ від режиму роботи електричної мережі

ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано нове вирішення актуального науково-технічного завдання, що складається в забезпеченні умов електробезпеки при експлуатації повітряних ліній напругою 380 за допомогою впровадження в експлуатацію системи захисту при обривах фазних та нульового проводів в зазначених лініях.

Виконані дослідження дозволяють сформулювати такі основні результати та висновки роботи:

1 На комп'ютерній моделі електричної мережі напругою 380 були проведені дослідження різних режимів її роботи при обривах фазних та нульового проводів, результати яких дозволили встановити закономірності в змінах напруг та струмів.

2 Аналіз встановлених закономірностей в зміні напруг і струмів при виникненні обривів фазних і нульового проводів дав можливість обґрунтувати логічні ознаки, характеризуючі різні режими, виникаючі при експлуатації повітряних ліній напругою 380 В, і що дозволяють виявляти ці режими.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Федосєєв, А.М. Релейна захист електроенергетичних систем. Релейна захист мереж / А.М. Федосєєв. - М. Енергоатоміздат, 1984. - 520 с.
- 2 Григоренко, А.В. Аналіз стану сільських електромереж Волині/ А.В. Григор'єв, А.І. Селіва-хін, В.І. Сукманів. - Луцьк: Волинь. - 2014. - 48 с.
- 3 Херсонський, О.С. Приставка до автоматичних вимикачів для захисту сільських електромереж 0,4 кВ/О.С. Херсонський, Я.М. Фексон // Електричні станції. - 1977. - № 10. - С. 69-70.
- 4 Перехідні процеси в електроенергетичних системах/І.П. Крючків, В.А. Старшинів, Ю.П. Гусєв, В.В. Піраторів; під ред. І.П. Крючкова. - М.: Вида-тельський будинок МЕІ, 2008. – 416 с.
- 5 Будзько, І.А. Електропостачання сільського господарства/І.А. Будзько, Т.Б. Ле- щинська, В.І. Сукманів. - М.: Колос, 2000. - 536 с.
- 6 Halevidis, CD Proposal of a protection метод against probable consequences to humans and the environment from short-circuit or abruption of a low-voltage distribution line conductor. - IET Generation, Transmisson & Distribution, 2010, Vol. 4, Iss. 7, pp. 793-800.
- 7 Клочков, О.М. Пристрій для виявлення трифазних мереж з обривом фазного проводу / О.М. Клочків // Вісник КрасГАУ. - 2011 року. - № 1. - З. 221-223.
- 8 Сагутдінов, Р.Ш. Захист електричних мереж 0,38 кВ при обриві проводів / Р.Ш. Сагутдінов, В.І. Красніков, В.Г. Головацький// Електричні станції. - 1982. - № 7. - С. 56–58
- 9 ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» (EN 50160:2010, IDT)/ НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ.