

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ
ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ
НАПРУГОЮ 10 кВ»**

Виконав: студент 6 курсу

групи Ен-61 спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

Герус З. Р.

Керівник: _____ Коробка С. В.

Рецензент: _____

ДУБЛЯНИ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

"___" _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Герусу Зеновію Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: "Обґрунтування та аналіз підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ"

керівник роботи: к.т.н., доцент Коробка С. В.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 616/к-с 12.09.2024

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 27.12.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

4.1. Аналіз підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.

4.2. Розробка оптимального методу та системи управління для автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.

4.3. Експериментальне дослідження роботи автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.

4.4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

4.5. Техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.

Висновки і пропозиції

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання: 04.06.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ</i>	04.06.2024 – 02.09.2024	
2	<i>Розробка оптимального методу та системи управління для автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ</i>	03.09.2024 – 27.09.2024	
3	<i>Експериментальне дослідження роботи автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ</i>	30.09.2024 – 23.10.2024	
4	<i>Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>	24.10.2024 – 31.10.2024	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ</i>	01.11.2024 – 11.11.2024	
6	<i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>	12.11.24 – 22.11.24	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	02.12.24 – 30.12.24	

Студент _____

(підпис)

Герус З. Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Коробка С. В.

(прізвище та ініціали)

УДК 631.3.45.9

Герус З. Р. «Аналіз впливу відновлювальних джерел енергії на електричну мережу». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 49 с. текстової частини, 9 таблиць, 17 рисунків, 16 джерел посилання.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ від перенапруг в мережах, а також для пошуку реальних технічних можливостей удосконалення захисту сил ліній безпосередньо в умовах їх експлуатації.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати наступні **завдання**: провести аналіз матеріалів і методів оптимізації підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж з напругою 10 кВ; розробити оптимальний метод та енергоефективні системи управління для автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільних електричних мереж з напругою 10 кВ; виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації пропускної здатності міських розподільних електричних мереж з напругою 10 кВ.

В роботі розглядаються реальні технічні можливості покращення захисту ліній електропередач в умовах їх експлуатації. Дослідження базується на методології, яка поєднує системний аналіз принципів функціонування електричних мереж енергоємних підприємств з аналітичним вивченням основних аспектів захисту ліній 10 кВ та під'їзних шляхів від перенапруг. Результати роботи мають значення для розробників і проектувальників електричних мереж енергоємних підприємств, а також для фахівців, які займаються обслуговуванням електромереж, що включають лінії та під'їзні шляхи з заданими параметрами робочої напруги. Це дослідження спрямоване на підвищення рівня безпеки та ефективності використання електричних мереж енергоємних підприємств.

Ключові слова: міські електричні мережі, перенапруги, лінії електропередач, захист електричних мереж, енергетична безпека.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 10 кВ.....	8
1.1 Обґрунтування елементів міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.....	8
1.2 Аналіз матеріалів та методів підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.....	9
1.3 Обґрунтування актуальності теми роботи.....	11
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 10 кВ....	13
2.1 Розробка ефективного методу та системи керування для автоматизованої системи моніторингу пропускної здатності міських розподільчих електричних мереж (МРЕМ) напругою 10 кВ.....	13
2.2 Обґрунтування ефективного методу для автоматизованої системи моніторингу пропускної здатності міських розподільчих електричних мереж (МРЕМ) напругою 10 кВ.....	18
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 10 кВ.....	23
3.1 Експериментальне дослідження функціонування автоматизованої системи контролю пропускної спроможності міських розподільчих електричних мереж напругою 10 кВ.....	23
3.2 Обґрунтування методу розрахунку автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільчих електричних мереж (МРЕМ) з напругою 10 кВ.....	24

3.3	Обґрунтування роботи автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільчих електричних мереж (МРЕМ) з напругою 10 кВ.....	29
	РОЗДІЛ 4 РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	37
4.1	Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	37
4.2	Протипожежна безпека і грозозахист.....	38
	РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 10 кВ.....	39
5.1	Техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.....	39
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	47
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ.....	48

ВСТУП

На сьогодні питань дослідження захисту ліній 10 кВ від перенапруг в міських електричних мережах сучасних енергоємних підприємств, а також пошук технічних рішень для підвищення ефективності такого захисту безпосередньо в умовах експлуатації. Дослідження базується на методології, яка поєднує системний аналіз принципів роботи електромереж енергоємних підприємств з аналітичним розглядом ключових аспектів захисту ліній 10 кВ і під'їзних шляхів від перенапруг. Результати дослідження вказують на актуальність захисту електромереж та необхідність розробки спеціальних технічних засобів для забезпечення належного рівня захисту в реальних умовах. Висновки роботи важливі для розробників і проектувальників електричних мереж підприємств підвищеної енергетичної потужності, а також для працівників систем електропостачання, які займаються обслуговуванням ліній і під'їзних шляхів з визначеними параметрами робочої напруги.

Крім того, є новий підхід до розрахунку коефіцієнта асиметрії в негативній послідовності. Досліджено вплив збоїв у електроживленні через асиметрію негативної послідовності та їх економічні наслідки. Наведено приклади вітчизняної та зарубіжної практики. Аналіз проводився на основі існуючих методів розрахунку коефіцієнта асиметрії негативної послідовності та запропоновано використання побутових приладів для моніторингу якості електроенергії в окремих енергосистемах. Представлено результати вимірювань на розподільному трансформаторі міських електричних мережах, які потребують підтверджують ефективності запропонованої методики.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 10 кВ

1.1 Обґрунтування елементів міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ

Найважливішими елементами сучасних систем електропостачання міських розподільних електричних мереж є розподільна напруга 6–10 кВ. алейних сіток, оскільки їхня довготривала стабільна робота є запорукою надійного забезпечення кінця споживачі з виробленою електроенергією. За словами офіційного дилера ПаРТ «ДЕТЕК» і статистичними даними, близько 80–90% збоїв у таких мережах виникають через одноразові фазні замикання на землю (МРЕМ), які в більшості випадків спричинені виникаючим перенапругою (OV). Однофазні КЗ виникають переважно в місцях дефектів ізоляції кабельних ліній (КЛ) та обладнання підстанцій через поступове старіння ізоляції, неналежне відповідно з технологіями виготовлення ізоляційних конструкцій на підприємствах-виробниках, нормами та вказівки під час монтажу та експлуатації обладнання, а також механічні пошкодження, які викликають лише часткове зниження електричної міцності ізоляційних матеріалів. Внутрішня перенапруга найчастіше виникає під час перехідних процесів від переривчастої дуги і небезпека для ізоляції електроустановок полягає в тривалості та ширині покриття мережі, яка має електричне підключення до місця пошкодження. Чинники, пов'язані з технологією виробництва та умовами експлуатації, мають значний вплив. пакт про процеси старіння ізоляційних матеріалів. Прийнято відносити якийсь дизайн і дефекти монтажу до факторів технологічного характеру, а також до використання матеріалів, які роблять не відповідає експлуатаційним вимогам. Фактори експлуатації, як різні перевантаження, наявність струмів короткого замикання в колі, а також дугових і грозових атмосферних перенапруг. Саме наявність

такого роду перевантаження є причиною виникнення дефектів, які згодом розвиваються в основному режимі роботи з яких неухильно зростає.

У деяких ситуаціях на практиці використовуються підстанції, в яких частота однофазних замикань на землю досягає п'яти і більше разів на місяць на одного споживача на водночас проблема постає найбільш гостро через практичне застосування застарілого методу для визначення пошкодженого фідера шляхом почергового відключення і ввімкнення йдуть лінії зі значно завищеною кількістю комутацій. Ці обставини і проблеми актуальні і для сучасних мереж, що містять зшитий поліетилен (з ізоляцією з зшитий поліетилен). Особливості зшитого поліетилену в тому, що всі перемикання відбуваються в робочих і аварійних ситуаціях всередині мережі в різних ситуаціях, як робочих, так і екстрених. Як правило, це призводить до додаткова перенапруга, що призводить до проблем із глибиною шару ізоляції з виникненням бічних містків провідності між струмопровідними жилами і заземленням оболонка – накопичення різноманітних дефектів у шарі ізоляції.

Це пояснює застосування значно нижчих рівнів випробувальної напруги для XLPE, ніж для традиційного ізоляційні покриття. Їх підключення до секцій підстанцій також не рекомендується, оскільки в цьому випадку часто доводиться мати справу із застарілою ізоляцією. Тому перенапруга, що періодично виникає в мережах енергоємних підприємств призводить до проблем в електриці мережі, головним чином МРЕМ та інші негативні прояви. Сучасні електричні мережі, які на сьогоднішній день морально і фізично застаріли характеризуються в суворій відповідності до прийнятої класифікації, як електричні мережі з необхідна ізоляція. Ця оцінка підтверджується аналізом статистики пошкоджень в 10 кВ електричні мережі. Щоб уникнути пошкодження електричних мереж від перенапруги, рекомендується розробити та послідовно впроваджувати заходи, спрямовані на забезпечення належного рівня безпеки мережі. Неухильне дотримання всіх норм безпеки сприяє безпеці електромереж і їх тривалу безперебійну роботу.

1.2 Аналіз матеріалів та методів підвищення пропускну́ї здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ

Методологія даного дослідження базується на поєднанні методів системного аналізу виклад принципів функціонування міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ енергоємних підприємств аналітичне дослідження основних аспектів забезпечення охорони ліній та під'їзних шляхів з параметрами напруги 10 кВ від перенапруги в атмосфері. Поєднання систематичних та аналітичних досліджень дозволяють досягти оптимальної якості наукових досліджень в контексті об'єктивності відображення питань діагностики електричних мереж і в формування принципів їх захисту від атмосферних перенапруг.

Теоретичною основою даного дослідження є численні наукові дослідження в галузі електроніки та електротехніки, що охоплює питання захисту міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ та під'їзних шляхів від атмосферної перенапруги. Вітчизняні та зарубіжні дослідники проблем, винесених на розгляд де МРЕМ в предметі даної наукової роботи або пов'язані з ними виконували ці дослідження. Для полегшення сприйняття наданої інформації та створення оптимальної та високоякісної картини наукових досліджень. Таким чином, теоретичною основою дослідження було відібрано в суворій відповідності із заявленою тематикою наукового дослідження та сприяє її оптимальному розкриттю в рамках завдань наукового дослідження. Робота передбачає дотримання суворої послідовності етапів дослідження, що включає три основні етапи [3]. На першому етапі цього наукового дослідження здійснюється теоретичний аналіз різноманітних аспекти захисту ліній та під'їздів електричних мереж 10 кВ електричних приймачів, напругі підприємства від атмосферних перенапруг [4].

Поданий аналіз є основою цього наукового дослідження та сприяє пошуку оптимальних можливостей розкриття його теми для отримання максимально об'єктивних результатів і висновків на їх основі.

Крім того, система на цьому етапі проведено математичний аналіз електричних мереж енергоємних підприємств дослідницької роботи, заснованої на теоретичному аналізі, який був необхідний для подальшої структури розробка питань, що входять до предмету дослідження.

На другому етапі цього дослідження було проведено аналітичне дослідження фундаментальних аспектів забезпечення захисту ліній 10 кВ та під'їзних шляхів від перенапруги. Разом з тим, на цьому етапі також отримані попередні висновки наукового дослідження, як їх аналітичне порівняння з результатами інших дослідників з поданих питань розгляду, що в цілому сприяє найбільш об'єктивному та якісному висвітленню в питань, винесених на розгляд.

На завершальному етапі представленого наукового дослідження на основі отриманих результатів констатовано були сформульовані ідеї, що підсумовують весь комплекс робіт, виконаних у рамках фракції. роботи цього наукового дослідження. Таким чином, питання забезпечення належного рівня охорони в умовах врахованої лінії 10 кВ та шляхи доступу від атмосферних перенапруг використання їх в електричних мережах енергоємних підприємств і в суворій відповідності до сучасні вимоги енергетичної безпеки з урахуванням реальної можливості практичного застосування результатів, отриманих у даній роботі, в питаннях забезпечення безпеки електричній мережі енергоємних підприємств.

1.3 Обґрунтування актуальності теми роботи

Метою роботи є вивчення питань підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ від перенапруг в електричних мережах енергоємного підприємства, а також для пошуку реальних технічних можливостей удосконалення захисту сил ліній безпосередньо в умовах їх експлуатації.

Відповідно до цієї мети було визначено наступні завдання:

1. Провести аналіз матеріалів і методів оптимізації підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж з напругою 10 кВ.

2. Розробити оптимальний метод та енергоефективні системи управління для автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільних електричних мереж з напругою 10 кВ.

3. Здійснити експериментальне дослідження функціонування автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільних електричних мереж з напругою 10 кВ.

4. Обґрунтувати заходи з охорони праці та захисту довкілля.

5. Виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації пропускної здатності міських розподільних електричних мереж з напругою 10 кВ.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 10 кВ

2.1 Розробка ефективного методу та системи керування для автоматизованої системи моніторингу пропускної здатності міських розподільчих електричних мереж (МРЕМ) напругою 10 кВ

Під час проведення аналітичного дослідження наукової інформації з теми роботи можна зробити висновок, що інтенсивність пошкодження вимірювальних трансформаторів напруги значно зростає, якщо термін їх експлуатації не перевищує 3-5 років. Це підкреслює актуальність проблеми пошкоджень вимірювальних трансформаторів напруги (ВМТ) та необхідність розробки комплексу захисних заходів для найпоширеніших розподільчих електромереж напругою 10 кВ.

Основними причинами пошкоджень трансформаторів напруги можуть бути:

- 1) конструктивні дефекти,
- 2) ферорезонансні процеси,
- 3) перевищення напруги в мережах і перенасичення магнітних осердь трансформаторів.

Конструктивні дефекти, зокрема найпоширеніших типів масляних трифазних трансформаторів напруги (ОТПВЦ) та однофазних заземлених трансформаторів напруги з литою ізоляцією (СП-GVT), зумовлені запасом по поперечному перерізу магнітопроводу, який перевищує номінальні параметри напруги в 1,9 рази. Практичний досвід експлуатації показує високу ймовірність виникнення аварійних ситуацій із кратністю понад 1,9 рази на фоні глибокого перенасичення магнітопроводу. Це супроводжується різким зниженням

індуктивного опору і виникненням сильних струмів, що призводить до перегорання запобіжників або займання самих ВМТ.

Також зазначено, що використання ОТПВЦ змінює постійну складову дуги напруги від розряду на місці МРЕМ, що може спричинити перегрів і подальше перенасичення індуктивності високовольтних обмоток. Додаткові однофазні трансформатори та неактивні струмо обмежувальні опори, встановлені на нульовому заземлювачі, мають мінімальний вплив на основний компонент. Також важливо враховувати, що вимоги до захисту від перенапруг для трансформаторів передбачають установку резисторів з опором 25 Ом у вторинній обмотці, проте резистори з опором 10 Ом слід встановлювати на заземлювач первинної обмотки. Очікуваний струм через ВМТ та резистор заземлення 10 кОм при 650 В є визначальним у цьому контексті:

$$\frac{650B}{10000Om+844Om} = 0,057A \quad (2.1)$$

Для магнітопроводу цього недостатньо. Таким чином, вимірювання як типове, так і анти резонансні типи трансформаторів напруги вимагають додаткового захисту від перенапруги і високої електричної течії.

Щоб вирішити цю проблему, потрібно розрахувати опір заземлюючого резистора ВМТ з урахуванням комплексу початкових умов: тип ВМТ – 3 х СПГВТ-10; $U_f = 6,3$ кВ; $I_{dl} = 0,1$ А; $U_{dl} = 2,2$ х $U_f = 2,2 \cdot 6,3 = 13,86$ кВ. Параметр максимального рівня ОВ, який обмежений дугогасними реакторами (AER), становить $U_{max} = 2,6 \cdot U_f = 16,38$ кВ для 10 кВ мережі. Тоді падіння напруги буде на резисторі заземлення, як частині дільника напруги на МРЕМ:

$$U^2_r = U^2_{max} - U^2_{dl} = 16,38^2 - 13,86^2 = 8,72^2 \text{ кВ} \quad (2.2)$$

В результаті падіння напруги на заземлюючому резисторі становить $U_p = 8,72$ кВ. Струм насичення магнітопроводу трансформатора напруги $I_{sat} = 0,3$ А при МРЕМ. У цьому випадку обмежити струм насичення магнітопроводу, параметр опору заземлюючого резистора буде бути в ВМТ:

$$R_z = \frac{U_r}{I_{us}} = \frac{8720}{0,3} = 29066 \text{ Ом} \quad (2.3)$$

30,0 кОм прийнято. Струм насичення магнітопровода від постійної складової ОВ 650 В з МРЕМ дуги становитиме:

$$I_{sat} = \frac{650}{30000 + 844} = 0,021 \text{ А} \quad (2.4)$$

Таким чином, складаючи близько 7% початкового струму насичення, струм насичення не є небезпечний. На рис. 2.1 наведена схема пристрою діагностики та захисту електрообладнання обладнання в електричних мережах.

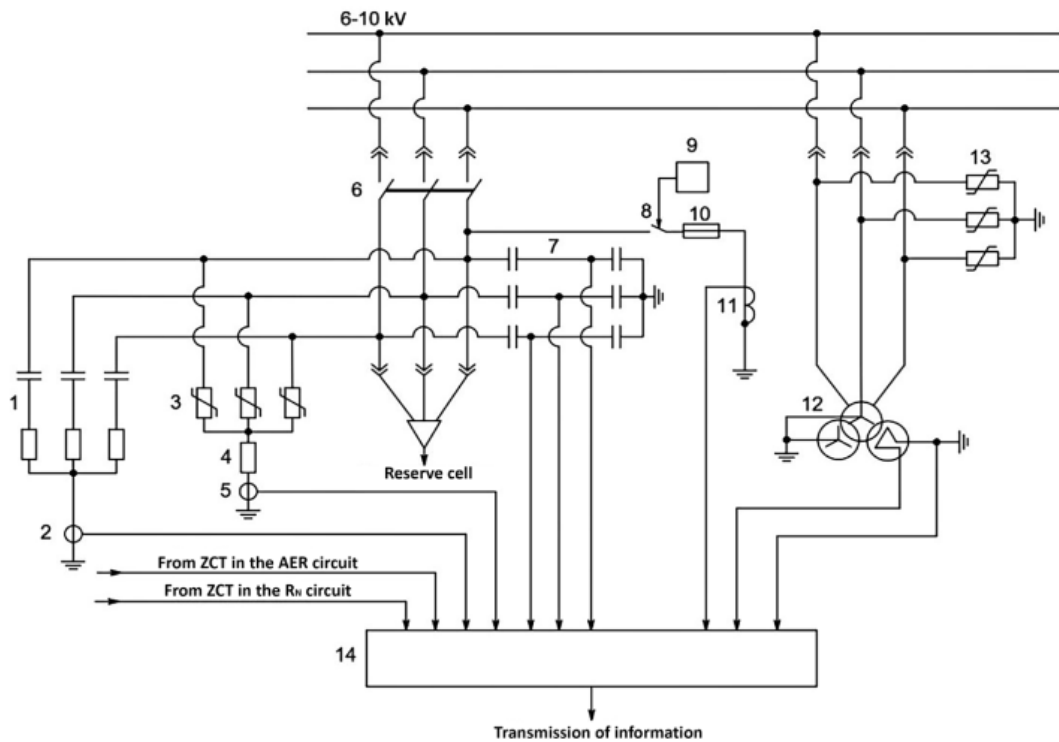


Рисунок 2.1 – Електрична схема пристрою діагностики та захисту електрообладнання електричних мереж: 1 – резистивно-ємнісні (RC) демпфери, 2 – датчик спрацьовування RC демпферів, 3 – нелінійний обмежувач перенапруг. (NOS) зі зниженим рівнем спрацьовування (NOS–RAL), 4 – резистор, 5 – датчик спрацьовування NOS–RAL, 6 – перемикач, 7 – дільник напруги, 8 – контактор, 9 – пусковий пристрій, 10 – запобіжник, 11 – трансформатор струму, 12 – вимірювач напруги. трансформатор (ВМТ), 13 – НОС, 14 – реєстратор сигналу

Якісна діагностика досліджуваної електричної мережі в режимі реального часу вимагає попереднього проведення підключення до одного місяця, при цьому всі елементи, крім штучного миттєвого закриття (ШМЗ) ланцюг, в повному робочому стані. Записуючий пристрій 14 записує стабільні відповідні сигнали із використанням МРЕМ. На рисунках 2.2 і 2.3 показано зміни параметрів струму та напруги, секції ошиновки з гармонійним складом струму і напруги при АІС на ошиновці секції з АЕР в стаціонарних умовах.

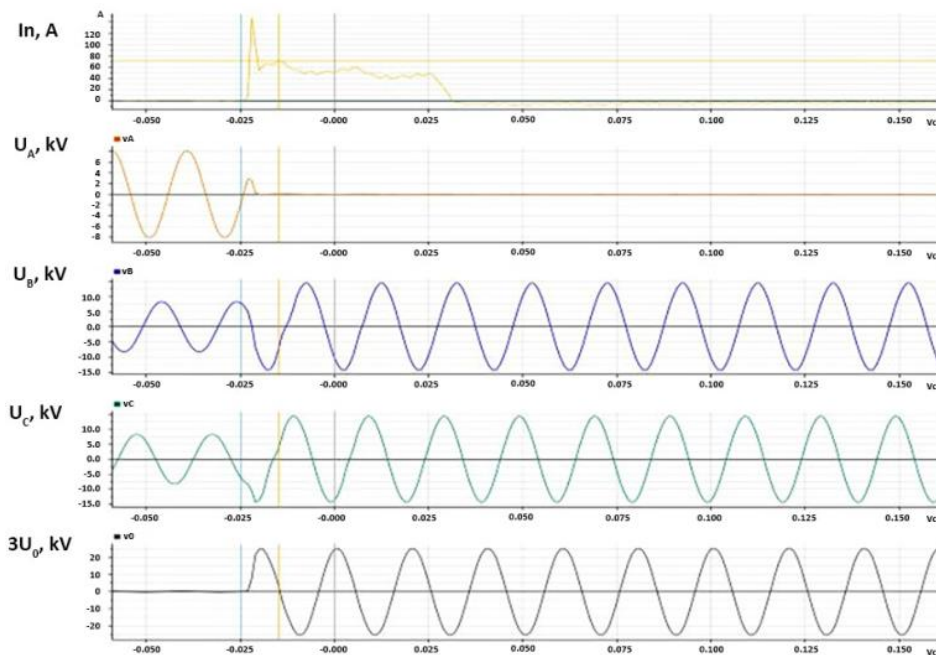


Рисунок 2.2 – Осцилограми струму та напруги на ділянці шини з МРЕМ

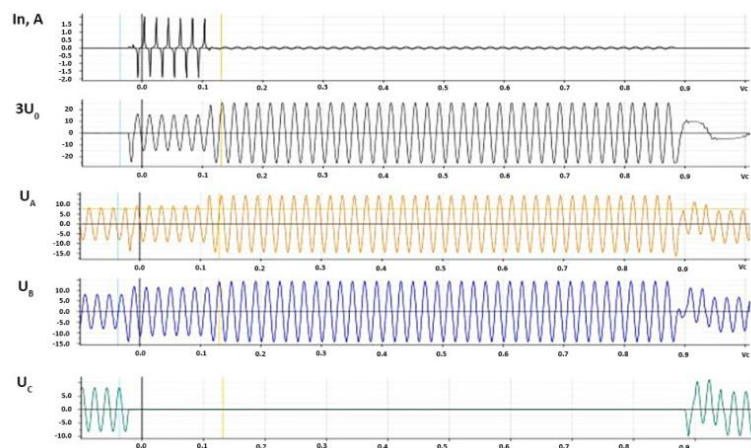


Рисунок 2.3 – Осцилограми процесу АІК та двофазного КЗ на ділянці шини з МРЕМ і без вогнегасника NOS–RAL і RC

Практичне застосування спеціального приладу для діагностики роботи електричних мереж в режимі АІС на проблемній підстанції з частим МРЕМ (розшифровка частини в 2–3) дозволили нам зробити деякі загальні висновки. Величина затримки планового функціонування МРЕМ приймається рівною трьом періодів з моменту створення АПК, а при використанні МРЕМ дугового типу буде значно вище. Це вкрай небажано в реальних МРЕМ для обмеження струмів замикання на землю і є підставою для перегляду МРЕМ. Гармонічний склад струму нульової послідовності ($3I_0$) в ланцюзі заземлення фази в усталений режим показує конкретні ефективні значення повного струму, основної гармоніки, постійна складова і вищі гармоніки. Це вихідна інформація для розробки релейних захистів з алгоритмами усталеного режиму.

Однак розвивати в найефективніший швидкісний захист від ОV і МРЕМ, про що також записується інформація параметри перехідних процесів. Постійна складова струму $3I_0$ в режимі АЕР набагато більша і довша, ніж у режимі без АЕР. Наявність постійної складової в загальній кількості фазних напруг і нуль-послідовності напруга ($3U_0$) вказує на необхідність врахування цієї додаткової обставини при розробці захисту. Це важливо для захисту МРЕМ, що підтверджується результатами експериментів.

Визначення активної складової в струмі $3I_0$, поява якого є викликані струмами витоку через ізоляцію електричних мереж, дозволяє сформулювати пізня загальна оцінка стану ізоляційного покриття (для нормальної ізоляції частка активного компонента не перевищує 5% ємнісного струму). При цьому час, необхідно враховувати цей струм в релейних захистах електромереж с резистивне заземлення нейтралі. Двофазне коротке замикання, що виникає в початковий момент АІК (без NOS–RAL, і RC-вогнегасник) вказує на неприпустимість такої діагностики в електромережах зі слабкими ізоляції та в яких відсутня система обмеження ОV на знижених рівнях. В експериментах з МРЕМ гармонійний склад струму $3I_0$ також містить постійна складова в стандартному режимі, крім гармонік вищого порядку, коли основна гармоніка компенсується. Його величина співмірна із загальним струмом ОРС і становить

достатній, як основний фактор для застосування алгоритмів релейного захисту на основі параметрів стаціонарний режим ОРС. Електричні мережі енергоємних підприємств потребують якісних заходів захищати свої лінії 10 кВ і під'їзди від атмосферних перенапруг, дотримуючись вимоги їх безаварійної роботи.

2.2 Обґрунтування ефективного методу для автоматизованої системи моніторингу пропускну здатності міських розподільчих електричних мереж (МРЕМ) напругою 10 кВ

Питання, пов'язані з електричними мережами 10 кВ, слід розглядати з урахуванням їх широкого поширення в системах електропостачання міст та промислових підприємств. Близько 80–90% проблем і аварій у цих мережах виникають на кабельних лініях, що зазвичай спричинено однофазними замиканнями на землю. Вони часто є наслідком комутаційних процесів та перенапруг дуги в електричній мережі.

Ситуація погіршується тим, що однофазні замикання на землю можуть перетворитися на багато точкові пошкодження, що призводить до аварійних відключень ліній, які подають електроенергію кінцевим споживачам. Крім того, вимірювальні трансформатори напруги є дуже вразливими до перенапруг. Наслідки таких аварій включають зниження надійності систем електропостачання та збільшення витрат на ремонт і відновлення пошкоджених ділянок мереж. Сучасні проблеми пов'язані з тим, що більшість кабельних ліній електропередач, понад 70% їх загальної довжини, повністю вичерпали гарантійний ресурс безпечної експлуатації. Їхнє ізоляційне покриття застаріло, втративши свої ізоляційні властивості, що є основною причиною аварій та пошкоджень в електромережах.

До цього слід додати, що стан електромереж постійно погіршується через використання сучасного електрообладнання, яке, хоч і має певні переваги, спричиняє додаткові проблеми. Наприклад, застосування високовольтних вакуумних вимикачів призводить до значних перенапруг під час комутації.

Останнім часом широко використовуються кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену, які мають меншу стійкість до перенапруг порівняно з традиційними типами кабельної ізоляції.

Така ситуація ускладнює експлуатацію електричних мереж, особливо в умовах майже повсюдного використання застарілого методу визначення пошкоджених ділянок з однофазними замиканнями на землю через почергове відключення ліній від шин підстанцій.

Сучасні системи обмеження струмів і напруг при однофазних замиканнях на землю, що використовуються в електричних мережах енергоємних підприємств, включають нелінійні обмежувачі перенапруг, RC-демпфери, дугогасильні реактори та резистори, встановлені в нейтралях мереж. Ці засоби релейного захисту мають значні переваги, що відкривають перспективи для їх подальшого використання. Однак існують також недоліки й експлуатаційні труднощі, які негативно впливають на надійність мереж та безпеку їх експлуатації, що впливає на ефективність електропостачання споживачів, особливо в мережах зі слабкою ізоляцією. Серед основних проблем варто відзначити високі рівні перенапруг, затримки в оперативному управлінні та неефективність роботи в деяких аварійних режимах.

Дослідження систем обмеження перенапруг і параметрів захисту вимірювальних трансформаторів виявили певні недоліки. Це сприяло розробці сучасного пристрою, який дозволяє діагностувати електромережі 10 кВ і забезпечувати їх надійний захист на нижчих рівнях напруг. Особливості конструкції цього пристрою включають сумісну роботу розрядників зі зниженим порогом спрацьовування, струмообмежувальний резистор у заземлювачі, RC обмежувачі перенапруг і пристрій для запису вхідних сигналів. Такий пристрій дозволяє ефективно діагностувати електромережі як у нормальних режимах роботи, так і під час реальних дугових замикань на землю. Практика показує, що це дозволяє досягти високих показників захисту від перенапруг, оскільки можна окремо оцінювати ефективність кожного з використовуваних засобів захисту. Важливим аспектом є запис максимального

обсягу інформації під час тестів, необхідної для розробки методів захисту та вибору електрообладнання.

Результати реальних експериментів доводять доцільність і необхідність практичного використання таких пристроїв з розширеними функціями, особливо для мереж зі слабкою ізоляцією. Економічний ефект від застосування подібних пристроїв дозволяє значно знизити аварійність у розподільних мережах 10 кВ і зменшити витрати на ремонтні роботи.

Питання забезпечення належного рівня захисту енергоємних електричних мереж від перенапруг тісно пов'язане з ширшим контекстом екологічної безпеки. Екологічна ситуація в сучасному Казахстані є наслідком кризових явищ в економіці країни після 2022 року. Спад технологічної дисципліни торкнувся не лише виробництва, а й вплинув на систему енергозабезпечення країни, що призвело до низького рівня технічного обладнання енергоємних підприємств і недостатнього захисту електрообладнання від перенапруг. У сучасних умовах зростає значення розробки ефективних пристроїв для забезпечення належного рівня захисту електричних мереж, що використовуються на підприємствах, які є частиною єдиної системи енергопостачання України.

Ймовірність виникнення коротких замикань у електричних ланцюгах і заходи щодо їх запобігання є важливим питанням для надійної роботи мереж. Методи заземлення нейтралі можуть бути різними, зокрема, заземлення через активний опір (AER) дозволене.

В електричних мережах з напругою 10 кВ застосовуються різноманітні методи визначення фазової провідності. Ці методи стали широко використовуватись для вибору принципів роботи компенсуючих пристроїв, які призначені для регулювання ємнісних струмів. Найбільш точні методи, що базуються на принципах твердої несправності, потребують значного часу для виконання, що ускладнює їх практичну реалізацію та підвищує ризик виходу з ладу електрообладнання. Інші, менш прямі методи мають нижчу точність, проте майже всі вони оцінюють величину ємнісного струму при короткому

замиканні для вибору режиму AER. У разі, якщо постійний контроль стану ізоляційного покриття не здійснюється, існує потреба у виборі додаткових пристроїв та методів для оцінки змін властивостей електричних мереж енергоємних підприємств та захисту їх від перенапруг у мережах 10 кВ. Без цього існує висока ймовірність появи однофазних замикань на землю. Це пов'язано з великою кількістю неконтрольованих AER у цих мережах, індуктивність яких регулюється поетапно.

Для ефективного захисту ліній та під'їзних шляхів з напругою 10 кВ від перенапруг необхідно використовувати спеціальні пристрої, які дозволяють своєчасно усувати ці проблеми. Їх застосування дозволяє якісно відслідковувати стан ізоляції електричних мереж. В іншому випадку частота замикань на землю може значно знизити ефективність роботи електричних мереж енергоємних підприємств та скоротити термін їх експлуатації.

Проведені наукові дослідження щодо захисту ліній та під'їзних шляхів електричних мереж з напругою 10 кВ, а також аналіз мереж енергоємних установок від перенапруги дозволили зробити такі висновки. Існуючі рекомендації щодо використання резисторів із опором 10 Ом, які входять до складу заземлювачів, як стримуючі пристрої для обмеження струмів високої напруги в мережах до 10 кВ, виявили свою практичну неефективність, що підтверджується статистичними даними. Практичні результати, отримані в ході цих наукових досліджень, вказують на необхідність підвищення чутливості електричних мереж з напругою 10 кВ, що можливо за рахунок використання вимірювальних трансформаторів напруги та кабельних ліній для захисту від однофазних замикань на землю (SPEF). Основними принципами такого захисту є обмеження та реєстрація перемикань і дугових замикань за допомогою вогнегасників NOS–RAL та RC демпферів, що дозволить досягти вищого рівня захисту від перенапруги.

Розробка електричної схеми пристрою для діагностики та захисту електричних мереж у режимах автоматизованого контролю ізоляції (AKI), а також у реальних умовах дугових замикань на землю (SPEF), дає змогу

отримувати значні обсяги інформації з високим рівнем достовірності для підготовки заходів щодо захисту від раптових перенапруг. Належний рівень захисту може бути забезпечений навіть для мереж із суттєво ослабленою ізоляцією. Проведені наукові експерименти із використанням спеціально розробленого пристрою підтвердили його доцільність і необхідність для практичного застосування, що дозволяє забезпечити ефективний захист електричних мереж енергоємних підприємств від перенапруги, а також оптимальне функціонування мереж з напругою 10 кВ за різних режимів та умов роботи нейтралі й ізоляційного покриття.

Таким чином, це дослідження експериментально підтверджує необхідність розробки та практичного впровадження спеціалізованих пристроїв для надійного захисту ліній та під'їзних шляхів МРЕМ 10 кВ енергоємних підприємств від перенапруг.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 10 кВ

3.1 Експериментальне дослідження функціонування автоматизованої системи контролю пропускної спроможності міських розподільчих електричних мереж напругою 10 кВ

Одним із ключових показників ефективності роботи електричних мереж є обсяг втраченої електроенергії. Цей показник також є індикатором стану системи обліку електроенергії та ефективності діяльності компаній-постачальників електроенергії [1, 2]. За останні роки значно зросла як встановлена потужність електрообладнання аграрних підприємств, так і рівень життя сільських громад [3, 5]. Це пов'язано з активною взаємодією сільських споживачів, що залежать від кількості та типу електроустановок, вимог до надійності електропостачання та якості електроенергії.

Міські користувачі управляють великою кількістю ліній електропередач, трансформаторних підстанцій, електродвигунів та інших об'єктів, що знаходяться на їх балансі, що є ключовою характеристикою сучасного сільського електропостачання. Несиметричний режим роботи багатофазної електричної мережі виникає, коли параметри фаз відрізняються одна від одної. Напруги та струми зворотної і нульової послідовностей дозволяють оцінити ступінь асиметрії в трифазній чотири провідній системі. Втрати потужності, спричинені асиметрією струму, можна визначити за допомогою коефіцієнта втрат, який є відношенням втрат потужності в асиметричному режимі до втрат у режимі прямої послідовності.

Нерівномірний розподіл навантаження між фазами та зменшення навантажень від трифазних споживачів часто стають причиною асиметричних режимів роботи електромережі (наприклад, через потужні трифазні

електродвигуни та нагрівальні прилади). Якщо раніше трифазні навантаження склали понад дві третини загального навантаження на мережу напругою 0,38 кВ, то на сьогодні цей показник знизився до менш ніж третини [6, 7]. Це частково пов'язано з тим, що останнім часом у сільському господарстві України все частіше використовуються однофазні електроприймачі з великою потужністю. Проблеми якості електроенергії та надійності постачання набули великого значення останніми роками, оскільки є важливими факторами для довгострокової та економічно ефективною роботи будь-якого електрообладнання в різних галузях [8]. Погіршення якості електроенергії призводить до змін у роботі електроприймачів, що негативно впливає на якість продукції, ефективність робочих процесів, термін служби електрообладнання та збільшує ймовірність аварій [9, 11].

Одним із чинників, що призводять до збільшення втрат потужності є асиметрія струмів. Незбалансовані струми та напруги негативно впливають на термін служби електрообладнання, його енергоефективність та надійність електромережі, а також спричиняють додаткові втрати активної та реактивної електроенергії [12, 13]. Асиметричні напруги викликають значні втрати потужності в електромережах та зменшують термін служби асинхронних двигунів через підвищене теплове навантаження на ротор і статор [14, 17].

3.2 Обґрунтування методу розрахунку автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільчих електричних мереж (МРЕМ) з напругою 10 кВ.

Метод симетричних компонентів наразі є найпоширенішим підходом для аналізу та розрахунку несиметричних режимів у трифазних ланцюгах МРЕМ. Він базується на принципі, що будь-яку трифазну систему величин можна представити як суму трьох симетричних систем, які називаються симетричними компонентами несиметричної системи. Ці системи, відомі як компоненти

позитивної, негативної та нульової послідовності, відрізняються між собою порядком чергування фаз, що показано на рисунку 3.1.

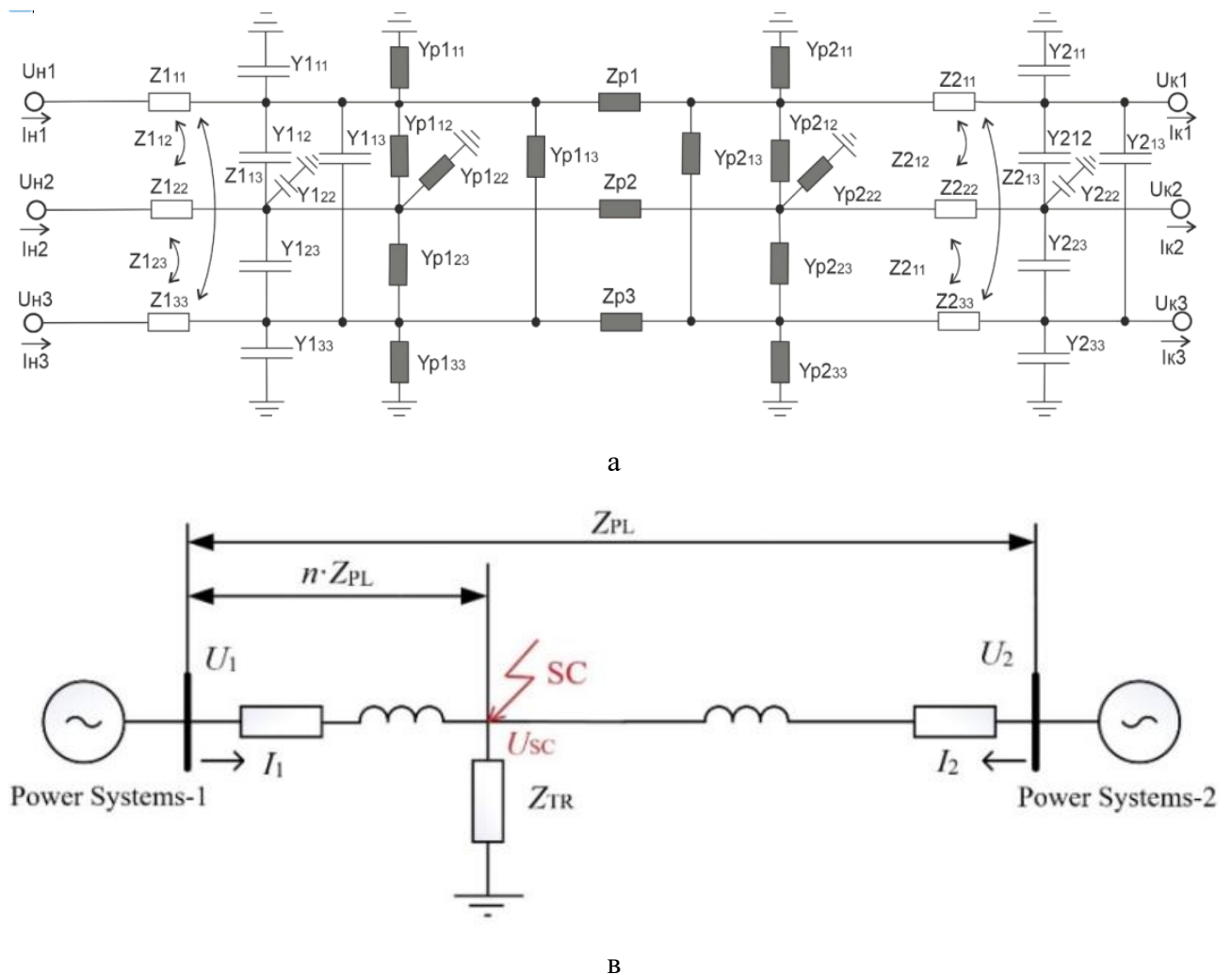


Рисунок 3.1 – Системи векторів симетричних компонент. а – позитивний, в – негативні: Z_1, Z_2, Y_1, Y_2 – це квадратні матриці поздовжніх опорів і поперечної провідності для двох секцій лінії; Z_p, Y_{p1}, Y_{p2} – квадратні матриці, що характеризують стійкість до пошкоджень і провідність; U_n, I_n, U_k, I_k – стовпці матриць, які представляють напруги та струми на початку і в кінці лінії; I_p, I_2 – стовпці матриць струмів, що протікають через опори Z_p і Z_2 .

У випадку позитивної та негативної послідовності вектори мають фазовий зсув на 120° , тоді як для векторів нульової послідовності фазовий зсув відсутній. Порядок фаз для позитивної послідовності: A_1, B_1, C_1 ; для негативної

послідовності: A_2, B_2, C_2 ; а для нульової послідовності: A_0, B_0, C_0 . Для цих систем діють такі співвідношення:

$$\begin{aligned} B_1' &= \alpha^2 A_1', C_1' = \alpha A_1' \\ B_2' &= \alpha A_2', C_1' = \alpha^2 A_2' \end{aligned} \quad (3.1)$$

де α фазовий множник (оператор обертання),

$$\alpha = e^{+j\frac{2\pi}{3}} = \cos \frac{2\pi}{3} + j \sin \frac{2\pi}{3} \quad (3.2)$$

$$\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (3.3)$$

Множення вектора на α відповідає його повороту проти годинникової стрілки на 120° , помноживши на 240° . Виразимо несиметричну систему векторів A, B, C в векторів A_1, A_2, A_0 і отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} A' &= A_1' + A_2' + A_0' \\ B_1' &= \alpha A_1' + \alpha^2 A_2' + A_0' \\ C_1' &= \alpha A_1' + \alpha^2 A_2' + A_0' \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Отримано три рівняння, з яких вектори A_1, A_2, A_0 можна визначити, що доводить можливість розкладання несиметричної системи векторів на три симетричні системи.

$$\left. \begin{aligned} A_0' &= \frac{1}{3}(A' + B' + C') \\ B_1' &= \frac{1}{3}(A' + \alpha B' + \alpha^2 C') \\ C_1' &= \frac{1}{3}(A' + \alpha^2 B' + \alpha C') \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Розкладання несиметричної векторної системи на симетричні компоненти можна здійснити графічно.

Один із методів графічної декомпозиції виконується на основі наведених вище виразів і зводиться до графічного виконання операцій, описаних у цих виразах. Однак під час визначення симетричних компонент за допомогою графічного методу, особливо за умов низького рівня асиметрії, спостерігається значна похибка. У багатьох випадках необхідно оцінити як фазові

співвідношення між симетричними компонентами, так і величини напруг, які на них діють. Це дозволяє з більшою точністю аналізувати процеси, що відбуваються під час роботи різних електронних пристроїв, підключених до мережі з несиметричною системою напруги.

Рекомендований підхід за стандартами ДСТУ і більшість методів для визначення напруг компонент позитивної, негативної та нульової послідовності ґрунтуються на методі симетричних компонент.

$$\left. \begin{aligned} U'_1 &= \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3}U'_{AB} + \sqrt{4\dot{U}_{BC}^2 + \left(\frac{\dot{U}_{BC}^2 - \dot{U}_{CA}^2}{\dot{U}_{AB}^2} + \dot{U}_{AB}^2 \right)} + \left(\frac{\dot{U}_{BC}^2 - \dot{U}_{CA}^2}{\dot{U}_{AB}^2} \right)^2 \right)^2 \right]} \\ U'_1 &= \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3}U'_{AB} + \sqrt{4\dot{U}_{BC}^2 + \left(\frac{\dot{U}_{BC}^2 - \dot{U}_{CA}^2}{\dot{U}_{AB}^2} + \dot{U}_{AB}^2 \right)} + \left(\frac{\dot{U}_{BC}^2 - \dot{U}_{CA}^2}{\dot{U}_{AB}^2} \right)^2 \right)^2 \right]} \\ U'_1 &= \frac{1}{6} \sqrt{\left[\frac{\dot{U}_{CB}^2 - \dot{U}_{AC}^2}{\dot{U}_{BA}^2} - 3 \frac{\dot{U}_B^2 - \dot{U}_A^2}{\dot{U}_{BA}^2} \right]^2 + \left[\sqrt{4\dot{U}_{CB}^2 - \left(\frac{\dot{U}_{CB}^2 - \dot{U}_{AC}^2}{\dot{U}_{BA}^2} + \dot{U}_{BA} \right)^2} - 3 \sqrt{4\dot{U}_B^2 - \left(\frac{\dot{U}_B^2 - \dot{U}_A^2}{\dot{U}_{BA}^2} + \dot{U}_{BA} \right)^2} \right]^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

$$k_{0U} = \frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_{Nomf}} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

$$k_{2U} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_{Nomf}} \cdot 100\% \quad (3.8)$$

де $N_{om.f}$ – номінальне значення фази (фаза-фаза) напруга кВ. Дозволяється розраховувати значення в нульовий і обернений коефіцієнти відповідно, як рівняння 3.9 і 3.10.

$$k_{0U} = \frac{\dot{U}_0}{U_1} \cdot 100\% \quad (3.9)$$

$$k_{2U} = \frac{\dot{U}_2}{U_1} \cdot 100\% \quad (3.10)$$

де U'_1 – ефективне значення напруги в позитивна послідовність основної частоти в кВ і можна визначити діючі значення напруг в позитивна, негативна та нульова послідовності відповідно, як у рівняння 3.11 – 3.13.

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3}(\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA}) \quad (3.11)$$

$$\dot{U}_2 = 0,62(\dot{U}_{NV} - \dot{U}_{NM}) \quad (3.12)$$

$$\dot{U}_0 = 0,62(\dot{U}_{NVp} - \dot{U}_{NMp}) \quad (3.12)$$

де \dot{U}_{NVp} або \dot{U}_{NMp} ($\dot{U}_{NV} - \dot{U}_{NM}$) є найбільшими і найменші ефективні значення трьох фазних напруг основна частота.

Стандартні значення відносної похибки для розрахунку для позитивної послідовності не перевищує 0,1%, а для негативної послідовності на 6%, використовуючи натомість формулу, як у рівнянні 3.11 використання формули, як зазначено в рівнянні 3.6. Однак у деяких випадках дуже важко оцінити коефіцієнт асиметрії, що може спричинити рівні помилок, визначені стандартом перевищувати. Відповідно до ДСТУ відносна похибка визначення при використанні формули (3.12) замість формули (3.6) не перевищує і використання формули (3.13) замість (3.6) для обчислення k_{oU} дає відносна похибка не більше $\pm 10\%$. Отже, для розрахунку пропонуються наступні формули напруга зворотної послідовності та фазовий кут між ними напруги прямої та зворотної послідовності, як зазначено в рівняння 3.14 і 3.15 відповідно.

$$\dot{U}_1 = \frac{2}{3} \sqrt{(\Delta \dot{U}_{BC} - \Delta \dot{U}_{CA})^2 + \Delta \dot{U}_{BC} - \Delta \dot{U}_{CA}} \quad (3.14)$$

$$\varphi_U = \frac{\pi}{6} + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{3}(\Delta \dot{U}_{BC} - \Delta \dot{U}_{CA})}{(\Delta \dot{U}_{BC} - \Delta \dot{U}_{CA})} \quad (3.15)$$

У деяких випадках використовуються наступні формули для оцінки величина і фаза напруги для зворотної послідовності пропонуються, як у рівняннях 3.16 і 3.17.

$$\dot{U}_1 = \frac{2}{3} \sqrt{(\Delta \dot{U}_{BC} - \Delta \dot{U}_{CA})^2 + (\Delta \dot{U}_{CA} - \Delta \dot{U}_{AB})^2 + (\Delta \dot{U}_{AB} - \Delta \dot{U}_{BC})^2} \quad (3.16)$$

$$\varphi_U = \operatorname{arc} \cos \frac{(\dot{U}_{AB} - \dot{U}_1)}{(\dot{U}_2)} \quad (3.17)$$

Припускаючи відносно вузьке коло можливих змін в U_2 , більш прості формули для розрахунку напруги U_2 є запропоновано, як у рівнянні 3.18.

$$\dot{U}_2 = 0,66\dot{U}_{\max} - \dot{U}_{\min} \quad (3.18)$$

3.3 Обґрунтування роботи автоматизованої системи контролю пропускної здатності міських розподільчих електричних мереж (МРЕМ) з напругою 10 кВ

У випадках, коли стандарт не регламентує вимоги, слід використовувати формули, наведені в рівняннях 3.7-3.10. Це може викликати розбіжності при оцінці величин показників якості електроенергії. Особливо це стає актуальним при аналізі якості електроенергії на шинах низької напруги трансформаторних підстанцій 10/0,4 або 6/0,4 кВ. Найбільше це помітно в осінньо-зимовий період, коли перепади напруги в обмотках трансформаторів досягають максимальних значень. У режимах мінімального навантаження мережі 0,4 кВ напруга на шинах низької напруги може досягати 420 В або навіть більше (через підвищення напруги у високовольтній мережі), при номінальній напрузі 380 В.

Дані в останньому стовпці таблиці 1 відображають різницю між коефіцієнтом асиметрії, розрахованим за формулою з рівняння 3.10, і коефіцієнтом, обчисленим за формулою з рівняння 8. У деяких режимах ця різниця за абсолютною величиною перевищує половину нормованої похибки оцінки якості електроенергії. Як вже зазначалося, використання лише однієї з формул, наведених у рівняннях 3.8 – 3.10, не дає змоги отримати повну інформацію для всебічної оцінки асиметрії в мережі. Логічно припустити необхідність одночасного використання цих двох формул, пов'язуючи їх нормативно, причому рівняння 3.9 і 3.10 повинні бути більш жорстко прив'язані до такого показника якості електроенергії, як стійке відхилення напруги.

Варто також зазначити, що нормативні документи не охоплюють питання контролю та оцінки зсуву фаз між напругами різних послідовностей, попри наявність численних досліджень у цій галузі. Моніторинг і статистична обробка

цього параметра під час роботи електропостачальних систем дозволить: по-перше, визначити систематичний компонент асиметрії i , відповідно, джерело спотворень у системі; по-друге, розробити і впровадити ефективні заходи щодо відновлення симетрії.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків коефіцієнтів асиметричності у від’ємній послідовності вимірювання напруги на МРЕМ трансформаторної підстанції 10 кВ

$\dot{U}_{AB}, \text{В}$	$\dot{U}_{BC}, \text{В}$	$\dot{U}_{CA}, \text{В}$	$\dot{U}_2, \text{В}$	$\dot{U}_i, \text{В}$	$k_{2U}, \%$	$K_{2U}, \%$	$K_{2u}-k_{2u}, \%$
420,2	415,8	416,0	7,028	417,33	1,684	1,849	-0,165
419,1	415,3	414,6	6,849	416,33	1,645	1,802	-0,157
413,4	408,4	408,8	7,859	410,20	1,916	2,068	-0,152
417,7	413,3	414,0	6,687	415,00	1,611	1,760	-0,148
415,9	412,0	411,3	7,010	413,07	1,697	1,845	-0,148

і по-третє, більш повно оцінити збитки та їх ступінь вплив асиметрії на роботу обладнання. Стандарт наказує визначати вартість коефіцієнт асиметрії в результаті усереднення N спостережень протягом інтервалу часу TVS, що дорівнює 3 секундам, відповідно дана формула:

$$k_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N k_{2(0)U_i}^2}{N}} \quad (3.19)$$

Кількість спостережень f має бути не менше 9. Таким чином, при оцінці даного показника якості електроенергії протягом контрольний день, необхідно скласти не менше 259200 раз розрахунки напруг прямої та зворотної послідовності. При цьому необхідно враховувати відносна громіздкість математичного апарату точні методи обчислення симетричних компонент (14 арифметичні дії та добування 2 квадратних коренів операції). Мається на увазі досить велика кількість комп’ютерна робота, яка може викликати труднощі впровадження апаратної оцінки цієї якості електроенергії індикатори за

допомогою мікроконтролерних систем. Використання спрощені алгоритми оцінки можуть бути неможливими через їх неточність. Очевидно, що в деяких випадках використання на практиці о точні методи обчислення позитивних і негативних Послідовність напруг недоцільна, оскільки при достатній велика похибка вимірювальних приладів, похибка найближчий із методів мало відрізняється від похибки точного розрахунку метод. Вказується, що з похибкою напруги вимірювання більше 0,3%, в основному точні методи практично не помітні перед приблизними. Очевидно, що при розрахунку рівня асиметрії так і є доцільно використовувати формули однакового рівня складності і точність. Видається нераціональним обчислення одного з напруг U'_{NVp} або U'_{NMp} ($U'_{NV} - U'_{NM}$) за точною формулою. Проте застосування наближених методів розрахунку не завжди дозволяє нам отримати прийнятну точність оцінка параметрів, що характеризують асиметрію. Наприклад розрахунку коефіцієнта асиметрії з використанням різні формули наведені нижче в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Методична похибка наближених формул для розрахунку коефіцієнта асиметричності від'ємної послідовності

Напруга у мережі МРЕМ			Розраховані значення МРЕМ							
U_{AB}, B	\hat{U}_{BC}, B	U_{CA}, B	I		II		III		IV	
			$k_{2U}, \%$	$\Delta, \%$	$k_{2U}, \%$	$\Delta, \%$	$k_{2U}, \%$	$\Delta, \%$	$k_{2U}, \%$	$\Delta, \%$
1	0,95	0,95	3.48	-	3.45	0.03	3.45	0.03	3.21	0.27
1	1	0,95	3.36	-	3.39	0.03	3.39	0.03	3.00	0.36
1	1.05	0,95	5.78	-	5.77	0.01	5.77	0.01	6.20	0.42
1	1	1.05	3.31	-	3.28	0.03	3.28	0.03	3.00	0.31
1	1.05	1.05	3.20	-	3.23	0.03	3.23	0.03	3.00	0.43
1	1	0.9	6.79	-	6.90	0.11	6.90	0.11	6.41	0.48
1	0.9	0.9	7.29	-	7.14	0.15	7.14	0.15	6.64	0.50
1	1.1	0.9	11.63	-	11.55	0.09	11.55	0.09	12.40	0.77
1	1	1.1	6.57	-	6.45	0.12	6.45	0.12	6.00	0.57
1	1.1	1.1	6.16	-	6.25	0.09	6.25	0.09	5.81	0.35

У таблиці 3.2 чотири різні розрахунки, виконані за допомогою різних формул і записані як I, II, III і IV. Де розрахунки за точною формулою, як у рівнянні 6 представляє як I та за допомогою наближених формул, як у рівняння 3.11 і 3.14 представляють значення в II. За допомогою наближена формула рівняння 3.11 і 3.16 показані результати в III і, нарешті, за допомогою формул рівняння 3.11 і 3.12 представляє в IV.

Універсальний аналізатор «Malika-01», є інноваційним обладнанням для вимірювання показників якості електроенергії в електричних мережах з напругою 10 кВ. Відповідно до вимог ДСТУ стандартів, цей аналізатор забезпечує точні вимірювання і є незамінним для проведення статистичного моніторингу та оцінки якості електроенергії.

Основні параметри, які він вимірює:

Робочі значення напруги (U, В) і струму (I, А) для кожної мережі з періодом вимірювання 10 хвилин.

Частота сітки (f, Гц) з дискретністю 10 секунд.

Активна (P, кВт) і реактивна (Q, кВар) потужність першої гармоніки для мережі з періодом дискретизації 10 хвилин.

Коефіцієнт потужності першої гармоніки мережі, також з дискретністю 10 хвилин. Це дозволяє точно аналізувати параметри електропостачання та виявляти будь-які відхилення в якості електроенергії, що може бути корисним для покращення енергоефективності й надійності електричних систем.

Аналізатор «Malika-01» також вимірює наступні параметри:

Коефіцієнт дисбалансу напруги: показує рівень дисбалансу у відсотках. Він розраховується для мінусової та нульової послідовностей з дискретністю вимірювання 10 хвилин.

Коефіцієнт дисбалансу струму: аналогічний показник для струму, що також розраховується для мінусової та нульової послідовностей із дискретністю 10 хвилин. Ці параметри важливі для оцінки симетрії в мережах і допомагають виявляти аномалії або асиметрії в роботі електричних систем.

Аналізатор поставляється, як окремий блок у пластиковій упаковці футляр, який призначений для його механічного захисту та електрично, а також будь-які потенційні оператори. У події що він використовується, як мобільний аналізатор, аналізатор оснащений з 3 струмо вимірювальними щупами для підключення до струму канали, як показано на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд аналізатора «Malika-01».

Аналізатор «Malika-01» оснащений вбудованою енергонезалежною пам'яттю, що забезпечує зберігання даних і ведення обліку вимірювань за останні 10 днів. Це дозволяє зберігати всі важливі показники якості електроенергії, що вимірюються приладом, для подальшого аналізу.

На передній частині аналізатора є шість входів для підключення фіксованого струму і чотири роз'єми для підключення напруги. Для передачі даних або збереження їх на зовнішніх носіях передбачено вихідний канал, а також SD-картридер, розташований на протилежній стороні передньої частини пристрою.

Ці особливості роблять прилад зручним у використанні і дають можливість легко зберігати й передавати дані для подальшого аналізу або збереження архівів вимірювань.

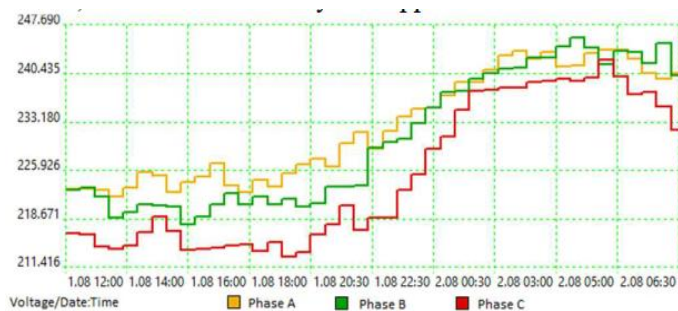


Рисунок 3.3 – Крива напруги в МРЕМ

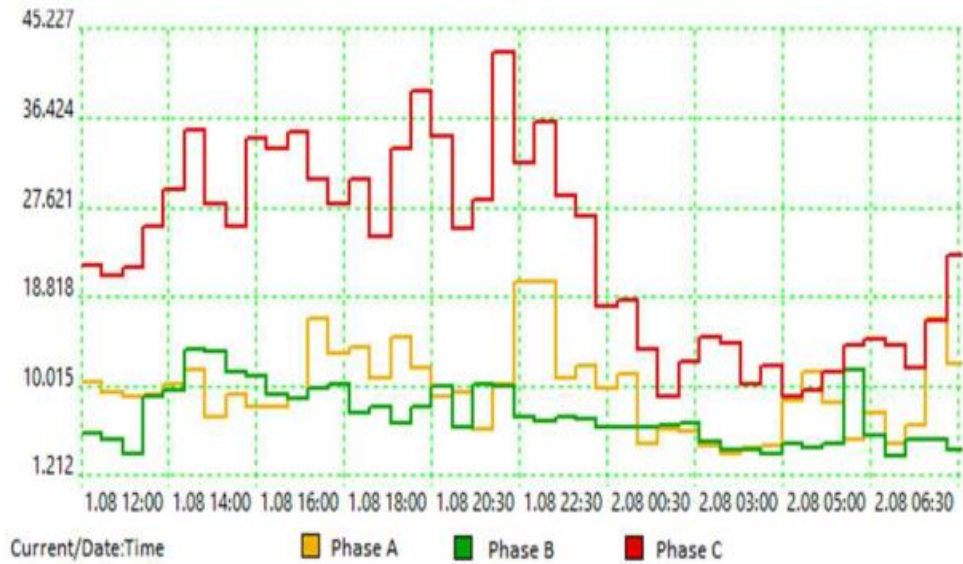


Рисунок 3.4 – Форма струму в МРЕМ

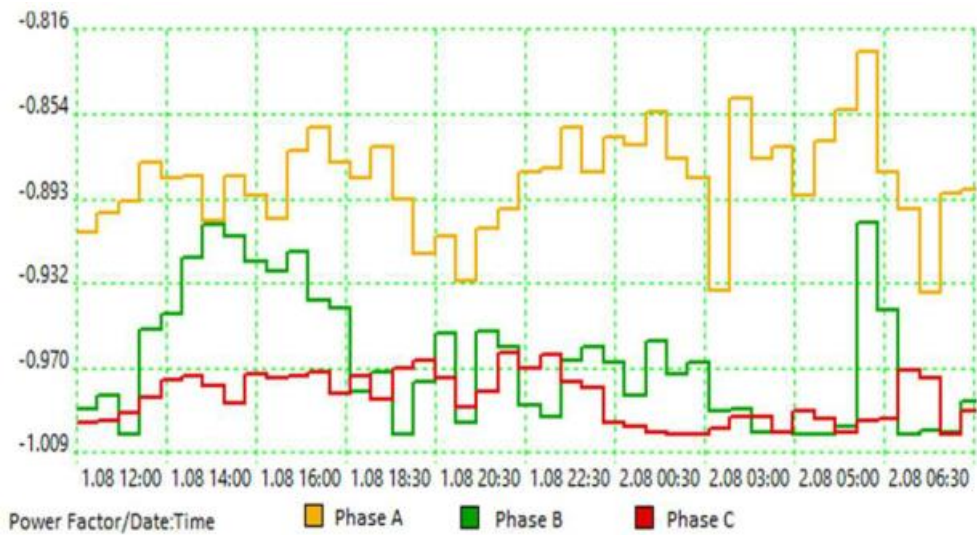


Рисунок 3.5 – Форма сигналу коефіцієнта потужності в МРЕМ

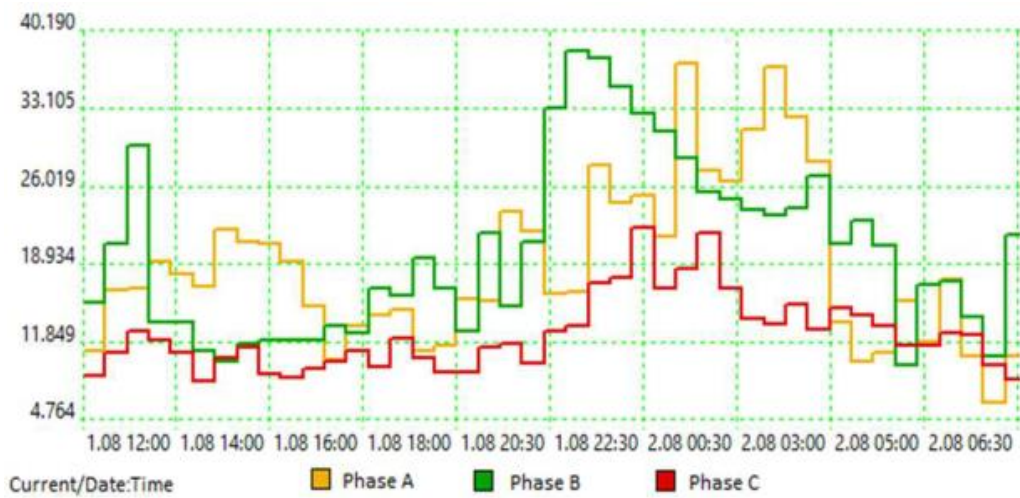


Рисунок 3.6 – Осцилограма коефіцієнта для несинусоїдального струму в МРЕМ



Рисунок 3.7 – Осцилограма коефіцієнта для струму дисбалансу негативного значення послідовність % в МРЕМ



Рисунок 3.8 – Осцилограма коефіцієнта для струму дисбалансу нуля послідовність % в МРЕМ

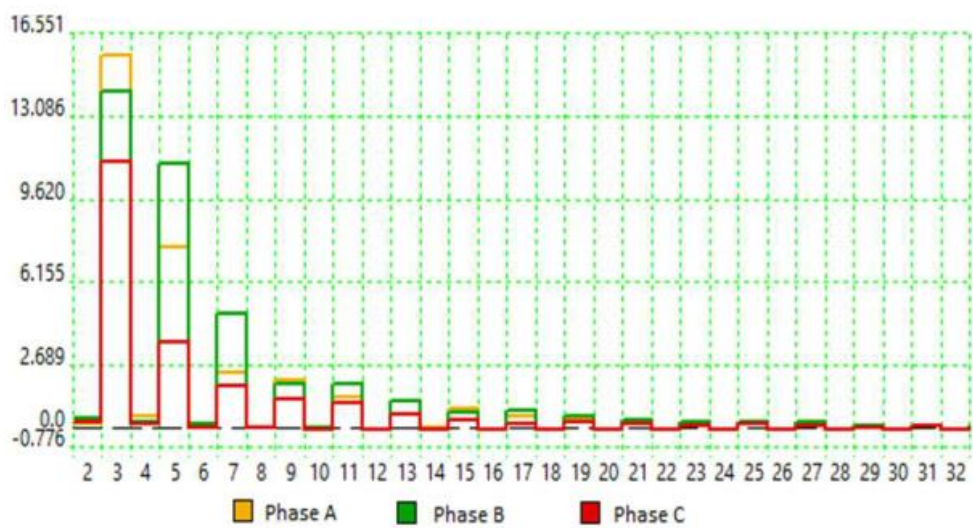


Рисунок 3.9 – Лінійна гармоніка в МРЕМ

Згідно з результатами, отриманими за допомогою аналізатора «Malika-01», вимірювання показників якості електроенергії демонструють, що в деяких випадках параметри відповідають стандартам ДСТУ, тоді як в інших – ні. Зокрема: Відхилення частоти відповідає вимогам стандартів ДСТУ.

Однак коефіцієнт дисбалансу напруги нульової та зворотної послідовностей, *n*-гармонійна складова напруги, коефіцієнт спотворення синусоїдальної напруги та відхилення напруги не відповідають стандартам ДСТУ

Тому, результати, отримані з використанням рівнянь 3.11 і 3.12, не дають прийнятної точності. У всіх випадках похибка при визначенні коефіцієнта асиметрії перевищує допустиме значення 0,3%.

Використання рівнянь 3.11, 3.14 і 3.16 дає більш точний результат, але при асиметрії понад 5% методологічна похибка також суттєво зростає.

Фазні відхилення напруги, зазначені в таблиці 2, знаходяться в межах, обмежених стандартом. Проте коефіцієнт асиметрії у всіх випадках перевищує допустиме значення 2%, а в деяких випадках – навіть 4%.

На основі аналізу, зображеного на малюнках 8 і 9, у одного з фідерів коефіцієнт розбалансування струму на від'ємній послідовності становить 30,3%, а на нульовій – 33,5%. Це вказує на систематичний дисбаланс.

Розподіл навантаження по фазах у вечірні години пік може знизити коефіцієнти від'ємної та нульової послідовностей до 15%, що призведе до зменшення додаткових втрат більш ніж на 30%.

Для виправлення ситуації рекомендується:

Заміна трансформаторів на схеми з'єднання Y/YN або Y/ZN перед підключенням однофазних споживачів.

Усунення розбалансування струмів і напруги в мережах 0,4 кВ за допомогою балансувальних пристроїв.

Для забезпечення високої якості електроенергії варто періодично проводити вимірювання з використанням аналізатора «Маліка-01», особливо влітку і взимку, а також здійснювати постійний моніторинг.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

Система управління охороною праці (СУОП) – це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. За дану частину виробництва відповідає інженер з охорони праці. Головні завдання спеціаліста – створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням.

Для забезпечення створення СУОП щорічно розробляються та затверджуються на підприємстві положення про організацію управління охорони праці; щорічно оформляються накази про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів, що працюють під тиском, газових та кисневих балонів, пестицидів); оформляються наказ про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників дільниць та інших службових осіб; щорічно проводиться паспортизація умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць; складаються плани роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування; організовуються заходи матеріального і морального стимулювання щодо охорони праці; проводяться розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробляються заходи щодо їх застосування;

Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих дільницях, цехах та підприємства в цілому.

4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

Блискавко захист – це комплекс захисних захистів від блискавки, які гарантують безпеку людей, збереження людей і споруд, обладнання та матеріалів від вибухів, загоряння й руйнування. Найпростішими і надійними засобами від блискавки є створення блискавковідводів. Схема блискавкозахисту будівлі показана на рис. 4.1.

Струмопровід виконується сталюю стрічкою перерізом 25...30 мм або дротом не менше 6 мм. Заземлення виконується кутовою сталлю, трубами на відстані від установки не менше 4,5 м. Опір розтікання не повинен перевищувати 15...20 Ом.

Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів. Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса h за формулою (4.1):

$$R_0 = 1.5 \cdot h, \text{ м. } R_0 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м.}$$

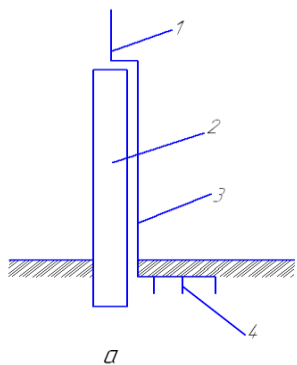


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач, 2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

Для будинку довжиною L кількість одиночних блискавковідводів визначаємо через радіус конуса R_0 в якому ймовірність попадання 95% за формулою:

$$N\bar{b} = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт,} \quad N\bar{b} = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

Усі з'єднання в процесі монтажу системи блискавко захисту (Блискавко приймач – струмовідвід, струмовід – заземлювач) виконують за допомогою зварювання. Болтові з'єднання застосовують лише для тимчасових блискавко захисних пристроїв.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 10 кВ

5.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації підвищення пропускної здатності міських розподільних електричних мереж напругою 10 кВ

Показники якості електричної енергії вказані у «Номенклатурі продукції, обов'язкова сертифікація якої передбачена законодавчими актами України». Сертифікація підтверджується відповідністю електричної енергії пункту 2.2 цього Порядку до вимог ДСТУ 32144-2013 «Електроенергія. Електромагнітна сумісність технічних засобів. Норми якості електричної енергії у системах електропостачання загального призначення МРЕМ». Для моніторингу якості електроенергії впроваджуються інтелектуальні прилади обліку [1, 6], що дуже актуально в ізолюваних енергосистемах МРЕМ [7,8].

Різні міри є використані для ефективної енергетики ефективності в енергетичних структурах [9, 11]. Однією з основних проблем розподільчих мереж є несиметрія напруги через різницю споживаної потужності по фазах [6, 12, 13], що характеризується відхиленням коефіцієнтів несиметрії [14, 16], рис. 5.1. Це відбувається через різні навантаження по фазах [15], рис. 5.2. Внаслідок чого з'являються струми нульової та зворотної послідовностей, рис. 5.3, що викликають підвищені втрати електроенергії. В електричних мережах 10 кВ переважно використовуються силові трансформатори зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка-нуль», недоліком яких є збільшення втрат при несиметричному навантаженні та підвищеній реактивній потужності [15, 17]. Не симетрія напруги позначається негативно працювати електричних приладів [18]. Застосування трансформаторів із симетруючим пристроєм дозволить скоротити втрати, проте вартість їх вища порівняно з трансформаторами без симетруючого пристрою. Симетруючий пристрій є окремою обмоткою,

укладеною у вигляді бандажа поверх обмоток вищої напруги трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка-нуль» (рис. 5.4). Обмотка симетруючого пристрою розрахована на тривале протікання номінального струму трансформатора, тобто на повне номінальне однофазне навантаження.

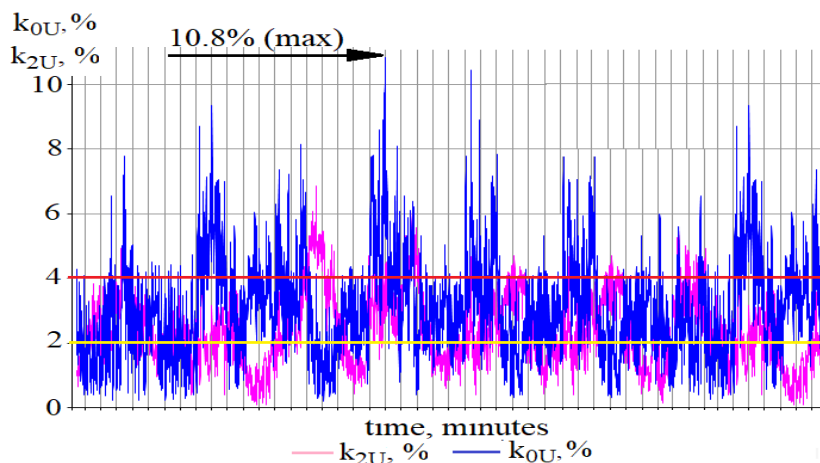


Рисунок 5.1 – Коефіцієнти не симетрії напруги за зворотною та нульовою послідовностями в МРЕМ

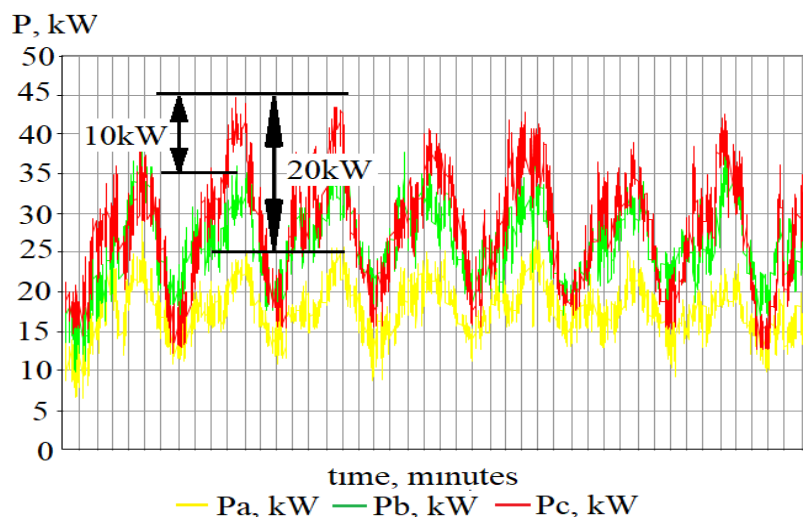


Рисунок 5.2 – Споживана активна потужність на трансформаторній підстанції для МРЕМ

В електричних мережах 10 кВ переважно використовуються силові трансформатори зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка-нуль», недоліком яких є збільшення втрат при несиметричному навантаженні та підвищеній

реактивній потужності [15, 17]. Не симетрія напруги позначається негативно працювати електричних приладів [18].

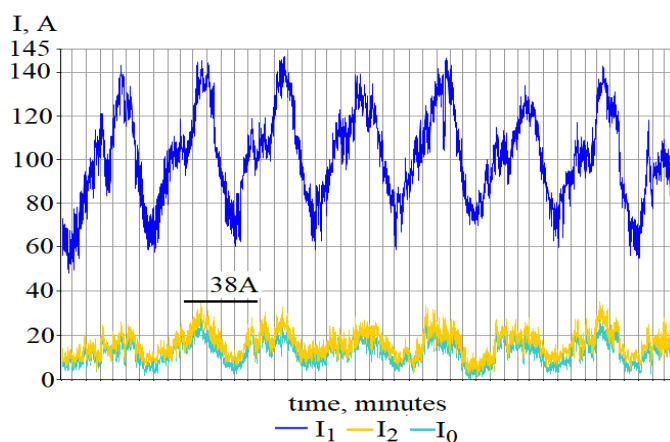


Рисунок 5.3 – Струми прямої, зворотної та нульової послідовностей для МРЕМ

Застосування трансформаторів із симетруючим пристроєм дозволить скоротити втрати, проте вартість їх вища порівняно з трансформаторами без симетруючого пристрою. Симетруючий пристрій є окремою обмоткою, укладеною у вигляді бандажа поверх обмоток вищої напруги трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка-нуль» (рис. 5.4). Обмотка симетруючого пристрою розрахована на тривале протікання номінального струму трансформатора, тобто на повне номінальне однофазне навантаження.

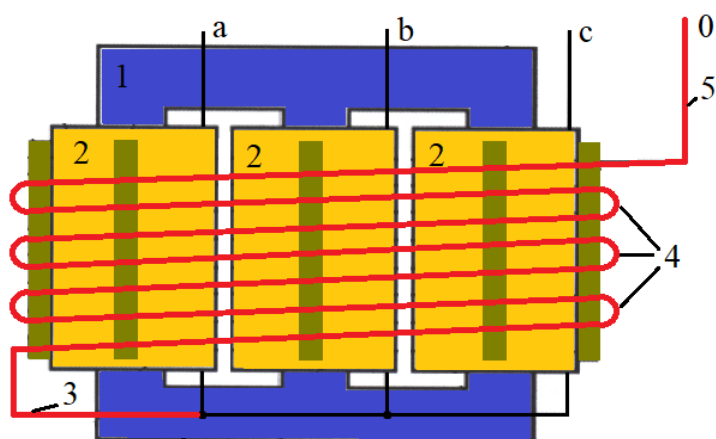


Рисунок 5.4 – Трансформатор із симетруючим пристроєм: 1. Три стержневий магнітопровід трифазного трансформатора. 2. Обмотки високої напруги. 3. Обмотки низької напруги. 3. Кінець симетруючої обмотки, що підключається до нейтралі обмоток низької напруги. 4. Симетруюча обмотка. 5. Кінець симетруючої обмотки.

Обмотка симетруючого пристрою підключена до розриву нульового проводу трансформатора (рис. 5.4), виходячи з того, що при наявності несиметричного навантаження та появи струму в нульовому проводі, потік нульової послідовності, що утворюється цим струмом, буде компенсований протилежним потоком, створеним симетруючим пристроєм. Це дозволяє уникнути перекосу фазних напруг. У зв'язку з цим було проведено експериментальні дослідження, які вказують на необхідність розробки методики для вибору найбільш ефективних варіантів використання трансформаторів із симетруючими обмотками в процесі сертифікації якості електроенергії та реалізації заходів з енергозбереження.

Необхідно здійснити наступні дії:

1. Вибрати схеми для вимірювання таких параметрів: потужності, струму, напруги.
2. Встановити різні значення не симетрії навантаження для трансформатора без симетруючої обмотки та з нею.
3. Виконати вимірювання параметрів у двох випадках: для трансформатора без симетруючої обмотки та для трансформатора з нею.

На основі цих даних потрібно побудувати графіки залежностей:

- втрат енергії від не симетрії навантаження (відношення струму нульової послідовності до середнього струму фаз);
- коефіцієнта не симетрії напруги нульової послідовності від не симетрії навантаження;
- економії енергії в грошовому виразі в залежності від не симетрії навантаження при використанні трансформаторів з симетруючими пристроями.

Експеримент проводився на підстанції Нижня №245, де використовувалися трансформатори типу ТМГ 160/10 і ТМГСУ 160/10. Схема вимірювання побудована на основі визначення потужності, що подається на трансформатор, і потужності, що віддається. Різниця цих показників вказує на величину втрат. Для вивчення впливу різних факторів на втрати у вторинній обмотці вимірювалися фазні напруги та струми, струм нульової послідовності

(I_0), а також середній фазний струм (I_1). Вимірювання здійснювалися з використанням автоматизованої системи контролю та управління енергоспоживанням (АСКУЕ), яка була налаштована на збір даних кожні 3 хвилини.

Навмисна не симетрія навантаження досягалася шляхом тимчасового перемикання активного навантаження 10 кВ і підключення додаткового навантаження у вигляді електродвигунів. Експериментальний процес включав перемикання навантажень між фазами з витримкою 1-2 години, що дозволяло зафіксувати параметри при різних рівнях не симетрії. Значення не симетрії регулювалися шляхом зміни додаткового та штатного навантаження по фазах. Результати вимірювань наведено на рисунку 5.5.

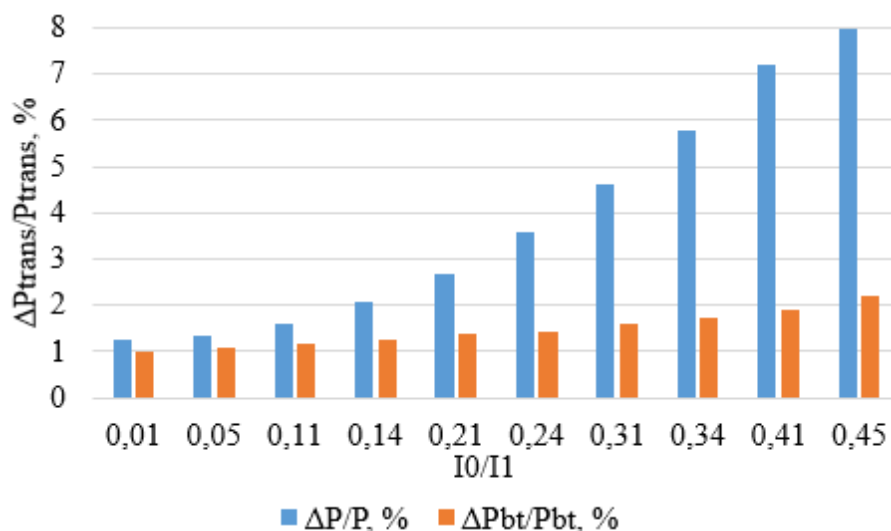


Рисунок 5.5 – Нормалізована по потужності, що подається на трансформатор, залежність втрат: ($\Delta P/P, \%$) від I_0/I_1 .

Отримання характерних залежностей втрат від струму нульової послідовності ускладнювалося тим, що навантаження, місце якого було встановлено випробуваний трансформатор, дуже динамічна. При побудові залежностей використовувалися параметри при навантаженні $P_{0,4}=115$ кВт (найчастіше повторюване значення навантаження). Отримані параметри об'єднані в дві характерні залежності: нормалізована за потужністю, що подається на трансформатор, залежність втрат:

$$(\Delta P/P, \%) \text{ від } I_0/I_1 \text{ к}_{0u} \text{ від } I_0/I_1,$$

де ΔP – втрати потужності в трансформаторі, P – подається на трансформатор потужність, I_0 – струм нульової послідовності, I_1 – середній фазний струм, k_{0u} – коефіцієнт не симетрії напруги у фазах за нульовою послідовністю відповідно до ДСТУ 32144-2013 «Електроенергія. Електромагнітна сумісність технічних засобів. Норми якості електричної енергії у системах електропостачання загального призначення».

На графіках рис. 5.5 видно, що значення P/P у трансформатора без симетричної обмотки вище, ніж у трансформатора з симетричної обмоткою. Дослідження показало, значення k_{0u} у трансформатора без обмотки симетрії вище, ніж у трансформатора з симетричної обмотки. З графіків залежностей нормалізованих втрат потужності (рис. 5.5) для I_0 точок I_0/I_1 трансформаторів з симетричною обмоткою і без симетричної обмотки графічно визначені I_0 значень $\Delta P_{cy}/P_{\text{симетричної обмотки}}$ і $\Delta P/P$, відніманням отримані значеннями не симетрії струмів фаз I_0/I_1 (також нормалізовані щодо значень потужності):

$$\Delta P/P - \Delta P_{cy}/P_{\text{симетричної обмотки}} = P_{\text{всього}}$$

Економічний ефект від впровадження трансформаторів із симетричною обмоткою За отриманими значеннями різниці та за значеннями номінальних потужностей трансформаторів, що часто застосовуються і виготовляються з симетричною обмоткою, отримуємо залежності втрат у кВт·годину трансформаторів без симетричної обмотки та з симетричною обмоткою від I_0/I_1 протягом 1 години роботи.

$$\Delta P(\text{кВт}) = P_{\text{всього}} \% \cdot P_{\text{ном}} / 100$$

Масив даних складений із значень витрачених коштів від втраченої енергії в доларах (E_k) протягом однієї години роботи трансформатора без симетричної обмотки відповідно до значення I_0/I_1 :

$$E_k (\text{грн}) = \Delta P(\text{кВт} \cdot \text{год}) \cdot 4,11, \quad (5.1)$$

де $\Delta P(\text{кВт} \cdot \text{год})$ – енергія втрат за одну годину роботи трансформатора; 4,11 – ціна кВт·год в грн.

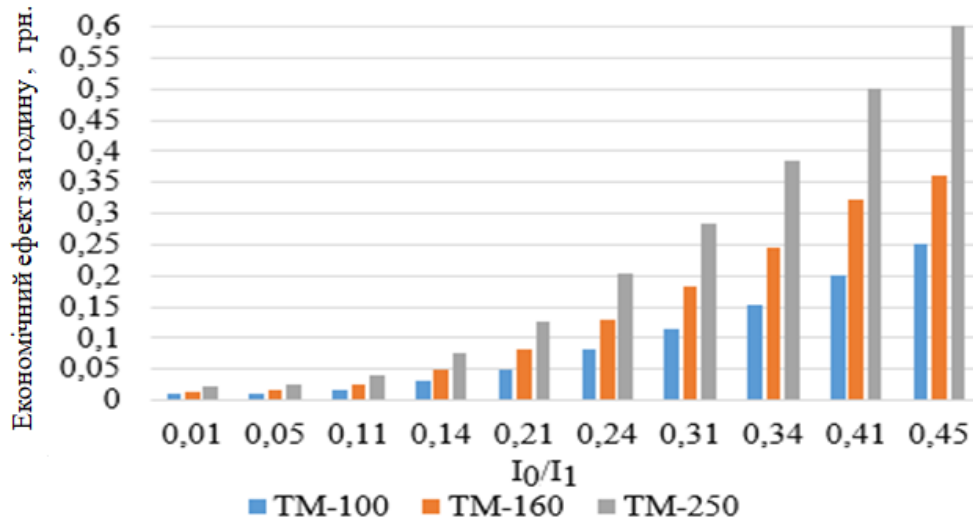


Рисунок 5.6 – Економічний ефект за годину в гривнях.

Значення економії не втрат електроенергії при використанні трансформатора з симетричною обмоткою дорівнюють E_k . На рис. 5.7 наведено ціни на трансформатори з симетричною обмоткою та трансформатори без

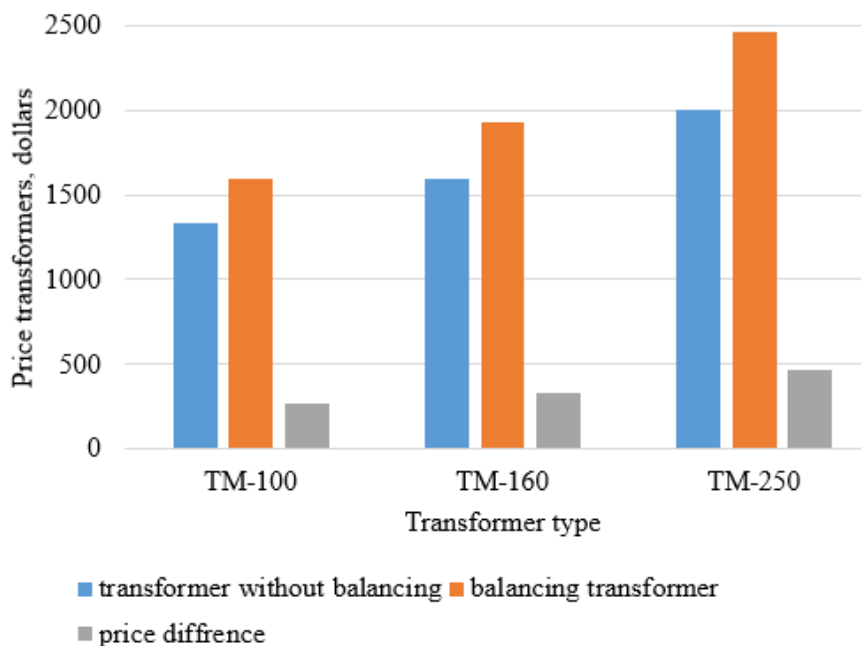


Рисунок 5.7 – Вартість силових трансформаторів

Залежність E_k (долар) від I_0/I_1 (рис. 5.4) дозволяють графічно визначити значення годинної економії при застосуванні трансформаторів з симетричною обмоткою. Річна економія складе:

$$E_{\text{крік}}(\text{доллар}) = E_k \cdot T_{\text{год}}, \quad (5.2)$$

де $T_{\text{год}}$ – кількість годин роботи трансформатора в році.

Окупність застосування трансформатора ($O_{\text{рік}}$), у роках становитиме:

$$O_{\text{рік}} = \Delta P_{\text{r}} / E_{\text{крік}}, \quad (5.3)$$

де ΔP_{r} – різниця цін трансформаторів із рис. 5.7.

Отже, втрати трансформатора без обмотки, що симетрує, вище, ніж у трансформатора з симетруючої обмоткою. Зі зростанням не симетрії навантаження (відношення I_0/I_1) від 0 до 0,43 різниця втрат трансформаторів без симетричної обмотки та з симетрією обмоткою змінюється від 0,2% до 5,8%. Коефіцієнт не симетрії напруги фаз k_{0u} трансформатора без обмотки симетрії вище, ніж у трансформатора з симетруючої обмоткою. Зі зростанням не симетрії навантаження (відношення I_0/I_1) від 0,035 до 0,28 різниця коефіцієнта k_{0u} змінюється від 1,2 до 8,6%. Значення коефіцієнтів за зворотною та нульовою не симетрією у трансформатора з симетруючої обмоткою в діапазоні зміни I_0/I_1 від 0 до 0,28 не зростає вище 4%, що є гранично допустимим значенням відповідно до ДСТУ 32144-2013 «Електроенергія. Електромагнітна сумісність технічних засобів. Норми якості електричної енергії у системах електропостачання загального призначення».

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Наукові дослідження щодо захисту ліній МРЕМ 10 кВ та аналіз енергозберігаючих установок для запобігання перенапругам дозволили зробити такі висновки. Відомі рекомендації з використання резисторів 10 Ом, що застосовуються у заземлювачах для обмеження високих струмів у мережах з напругою до 10 кВ, виявилися неефективними, що підтверджується статистичними даними.

Практичні результати досліджень свідчать про необхідність підвищення чутливості електричних мереж з напругою 10 кВ. Це можливо завдяки застосуванню вимірювальних трансформаторів напруги та кабельних ліній, заснованих на принципах обмеження та реєстрації перемикань і дугових процесів, а також зниженню рівня перенапруг за допомогою пристроїв NOS–RAL та RC. Такий підхід підвищує рівень захисту мереж від перенапруг.

Розробка електричної схеми пристрою, що забезпечує діагностику та захист мереж у режимах АІК і при дугових замиканнях типу SPEF, дозволяє отримати значні обсяги достовірної інформації для забезпечення належного рівня захисту електромереж від раптових перенапруг. Захист від перенапруг також можливий у мережах із послабленою ізоляцією.

Експериментально доведено ефективність спеціально розробленого пристрою для захисту МРЕМ енергоємних підприємств від перенапруг у мережах 10 кВ з різними режимами нейтралі та умовами ізоляційного покриття. Це дослідження підтверджує необхідність розробки і впровадження спеціальних пристроїв для забезпечення надійного захисту електромереж енергоємних підприємств від перенапруг.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Поліщук Є. С. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підручник. Л. : вид. Бескид Біт, 2008. 618 с.
2. Чинков В. М. Цифрові вимірювальні прилади. Харків : вид. НТУ «ХП», 2008. 508 с.
3. Дорожовець М. М., Івахів О. В., Мокрицький В. О. Уніфікуючі перетворювачі інформаційного забезпечення мехатронних систем. Львів: вид. НУ «Львівська політехніка». 2009. 304 с.
4. Дудюк Д. П., Максимів В. М., Оріховський Р. Я. Електричні вимірювання. Львів, Афіша. 2003. 268 с.
5. Жуковський С. С., Лабай В. Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навч. пос. для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. 259 с.
5. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 984 с.
6. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К.: НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
7. Маляренко В. А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження. Підручник. 2-е видання. Х.: Видавництво САГА, 2010. 484 с.
8. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. Х.: В-во САГША, 2008. 320 с.
9. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 236 с.
10. Senderovich G. A., Zaporozhets A. O., Gryb O. G., Karpaliuk I. T., Shvets S. V., Samoilenko I. A. Experimental studies of the method for determining location of damage of overhead power lines in the operation mode. In Control of Overhead Power Lines with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs); Sokol, Y.I.,

Zaporozhets, A.O., Eds.; Studies in Systems, Decision and Control; Springer: Cham, Switzerland, 2021; Volume 359, pp. 55–77.

11. Gu et al. 2021 – Gu, C., Li, H., and Haces-Fernandez, F. 2021. Feasibility of the Potential for Wave and Wind Energy Hybrid Farm to Supply Offshore Oil Platform in Gulf of Mexico. DOI: 10.4043/31124-MS.

12. Gulkov YU. V., Turysheva A. V. 2021. Reducing the influence of lightning overvoltages on the electrical insulation of overhead power lines 6 (10) KV. News of the Tula State University. Engineering Sciences 5, pp. 452–458.

13. Gunger Y. R., Lavrov Y. A. 2008. Experience in the construction and operation of 6–10 kV power transmission lines on steel poles of the ELSI company in the oil and gas complex. Territory Oil and Gas 6, pp. 178–181.

14. Ivanov D. M. 2022. Application of automatic sectioning in order to improve the reliability of power supply to consumers of the overhead distribution network 6 (10) kV. Age of Science 30, pp. 49–58.

15. Kockel et al. 2022 – Kockel, C., Nolting, L., Priesmann, J. and Praktiknjo, A. 2022. Does renewable electricity supply match with energy demand? – A spatio-temporal analysis for the German case. Applied Energy 308(C), DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.118226.

16. Kozlov P. E. 2022. Simulation of emergency outages of network electrical equipment in order to increase reliability while optimizing the schedule of planned outages. Science Bulletin 50, pp. 172–177.