

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Діагностичний комплекс контролю
роботоздатності ізоляції розподільчих мереж
відносно землі»**

08-24.МКР.004.00.000 ПЗ

Виконала: студентка 2-го курсу,
групи ЕПА-21мз
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

В.Хонич Вікторія ХОНИЧ
Керівник: д.т.н., професор каф. КЕМСК
В.Кутін Василь КУТІН
«05» 06 2023

Опонент: к.т.н., доцент. каф. ЕСЕЕМ

Л.Терешкевич Леонід ТЕРЕШКЕВИЧ
«09» 06 2023

Допущено до захисту

Завідувач кафедри КЕМСК

М.Мошноріз к.т.н., доц. . Микола МОШНОРИЗ
(прізвище та ініціали)

«07» 06 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Компютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 Електрична інженерія
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

К.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“20” 03 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ**

Хонич Вікторії Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.: Тема роботи «Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі»

керівник роботи Кутін . В.М д.т.н., проф. каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” 03 2023 року № 68

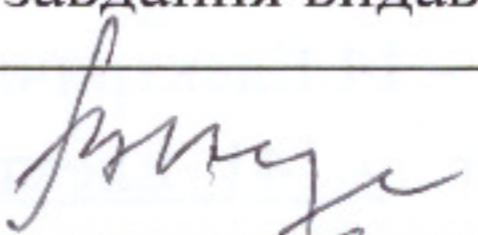
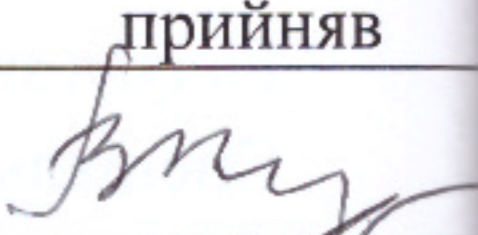

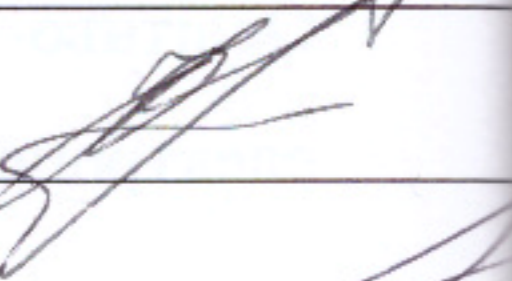

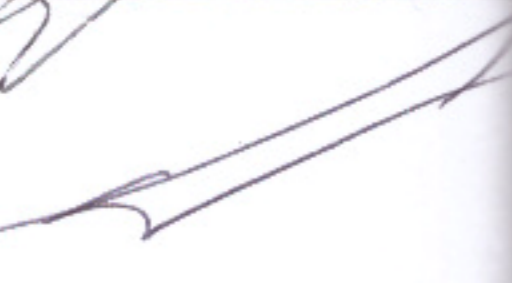
2. Строк подання студентом роботи “07” 06 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Відомості відносно конструктивного виконання та особливостей режимів роботи розподільчих електричних мереж (РЕМ). Види пошкоджень РЕМ. Системи обслуговування РЕМ. Засоби контролю ізоляції в РЕМ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Загальна характеристика об'єкту дослідження. Види і характеристика пошкодження ізоляції РЕМ. Вдосконалення методу визначення роботоздатності ізоляції РЕМ. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Матеріал необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада Консультанта | Підпис, дата | |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Спеціальна частина | Кутін В. М. д.т.н., професор |  |  |
| Економічна частина | Шулле Ю.А., к.т.н., доцент |  |  |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Кобилянський О.В., д.пед.н., завідувач кафедри, професор |  |  |


7. Дата видачі завдання «20» 03 2023 року

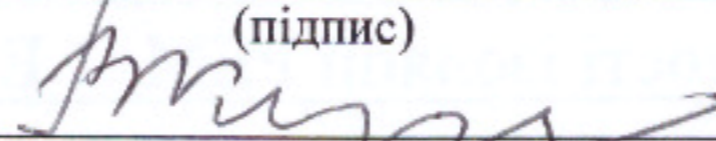
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------|
| 1 | Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) | 20.03.2023 | бек. |
| 2 | Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР | 16.05.2023 | бек. |
| 3 | Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР | 05.06.2023 | бек. |
| 4 | Виконання розділу «Економічна частина» | 05.06.2023 | бек. |
| 5 | Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» | 05.06.2023 | бек. |
| 6 | Попередній захист МКР | 07.06.2023 | бек. |
| 7 | Нормаконтроль МКР | 05.06.2023 | бек. |
| 8 | Рецензування МКР | 09.06.2023 | бек. |
| 9 | Захист МКР | | |

Студент _____

Керівник роботи _____


(підпис)


(підпис)

Хонич В. О.
(прізвище та ініціали)
Кутін В. М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.316.9

Хонич В.О. Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, ОП – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця: ВНТУ, 2023. 156 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 119 назв; рис.: 30; табл. 10

В роботі запропоновано принцип визначення працездатності ізоляції РМ відносно землі, який ґрунтується на використанні критеріїв електробезпеки і мінімуму втрат електроенергії в ізоляції від струмів стікання на землю.

Визначено умови роботоздатності ізоляції РМ відносно землі у вигляді обмежень на зміну показників роботоздатності ізоляції, узгоджених із нормативними документами і стандартами. Побудовано математичну модель для визначення роботоздатності ізоляції у вигляді залежностей її показників від параметрів ізоляції відносно з Розроблено метод визначення параметрів ізоляції фази мережі відносно землі шляхом неперервного контролю загального активного опору ізоляції і напруг фаз відносно землі при накладанні на мережу сигналу постійного струму і обробки результатів з допомогою спеціальної математичної моделі, яка подається у вигляді системи рівнянь, що відображають залежність параметрів ізоляції від контрольованих показників. нульової точки трикутника напруг на середину вектора лінійної напруги. Розроблено принципи побудови, структуру і алгоритм функціонування діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції.

Ключові слова: розподільчі електричні мережі, визначення умов робото здатності ізоляції, діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції.

ABSTRACT

UDC 621.316.9 Khonych V.O. A diagnostic complex for monitoring the performance of insulation of distribution networks relative to the ground. Master's qualification thesis on specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, OP - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU, 2023. 156 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 119 titles; Fig.: 30; table 10

The paper proposes the principle of determining the efficiency of insulation of the RM relative to the ground, which is based on the use of electrical safety criteria and the minimum loss of electricity in the insulation from leakage currents to the ground. The conditions for the performance of insulation of the RM relative to the ground in the form of restrictions on the change of indicators of the performance of the insulation, agreed with normative documents and standards, have been determined. A mathematical model was built to determine the performance of the insulation in the form of the dependence of its indicators on the insulation parameters relative to A method was developed for determining the insulation parameters of the network phase relative to the ground by continuous control of the total active resistance of the insulation and phase voltages relative to the ground when applying a direct current signal to the network and processing the results using a special mathematical model, which is presented in the form of a system of equations reflecting the dependence of insulation parameters on controlled indicators. zero point of the voltage triangle to the middle of the linear voltage vector. The principles of construction, the structure and the functioning algorithm of the diagnostic complex for monitoring the workability of insulation have been developed.

Key words: electrical distribution networks, determination of insulation performance conditions, insulation performance monitoring diagnostic complex.

ЗМІСТ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВСТУП..... | 5 |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ | 9 |
| 1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 10 |
| 1.1 Загальна характеристика розподільчих мереж напругою 6-10 кВ, як об'єкта дослідження..... | 10 |
| 1.2 Причини та характер пошкодження ізоляції елементів розподільчих мереж напругою 6-10 кВ..... | 12 |
| 1.3 Аналіз існуючих методів і засобів контролю ізоляції розподільчих мереж напругою 6-10 кВ..... | 17 |
| 1.4 Висновки по розділу..... | 35 |
| 2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6-10 КВ..... | 37 |
| 2.1 Вибір сукупності контрольованих показників для визначення умов роботоздатності ізоляції розподільчої мережі..... | 37 |
| 2.2 Побудова діагностичної моделі визначення умов роботоздатності ізоляції розподільчої мережі змінного струму..... | 42 |
| 2.3 Оцінювання адекватності побудованої моделі визначення умов роботоздатності ізоляції розподільчої мережі..... | 49 |
| 2.4 Висновки по розділу..... | 63 |
| 3 ВИБІР МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЇЇ РОБОТОЗДАТНОСТІ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ ЗМІННОГО СТРУМУ..... | 65 |
| 3.1 Основні вимоги до методу контролю ізоляції розподільчих мереж напругою 6-10 кВ..... | 65 |
| 3.2 Метод визначення втрат потужності в ізоляції від струмів стікання на землю в розподільних мережах напругою 6-10 кВ..... | 67 |
| 3.3 Метод перевірки результатів неперервного контролю ізоляції в розподільчих мережах змінного струму..... | 72 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4 Побудова структури діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції розподільчої мережі змінного струму..... | 76 |
| 3.5 Висновки по розділу..... | 84 |
| 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА..... | 86 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 96 |
| 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта..... | 96 |
| 5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць..... | 96 |
| 5.1.2 Електробезпека..... | 99 |
| 5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії..... | 100 |
| 5.2.1 Мікроклімат..... | 100 |
| 5.2.2 Склад повітря робочої зони..... | 101 |
| 5.2.3 Виробниче освітлення..... | 101 |
| 5.2.4 Виробничий шум..... | 102 |
| 5.2.5 Психофізіологічні фактори..... | 104 |
| 5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в умовах дії загрозливих чинників НС..... | 105 |
| 5.3.1 Дослідження безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в умовах дії іонізуючих випромінювань..... | 107 |
| 5.3.2 Дослідження безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в умовах дії електромагнітного імпульсу..... | 108 |
| 5.3.3 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в умовах надзвичайних ситуацій..... | 109 |
| ВИСНОВКИ..... | 112 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 114 |
| Додаток А . Технічне завдання..... | 129 |
| Додаток Б. Ілюстративні матеріали | 133 |

ВСТУП

Актуальність проблеми. Розподільчі мережі напругою 6-10 кВ складають біля 80% загальної довжини електричних мереж. Серед них самими ненадійними є розподільчі мкремі з повітряними лініями електропередачі (ПЛЕП). Досвід їх експлуатації показав, що 60-80 % пошкоджень є однофазні замикання на землю (ОЗЗ). Причиною їх виникнення є пошкодження ізоляції між струмоведучою частиною і землею та утворення шунтувальних зв'язків, які приводять до виникнення небезпеки враження людей електричним струмом, зниження якості електропостачання. Збільшення струмів витікання на землю приводить до понаднормованих втрат електроенергії. Правила технічної експлуатації нормують параметри ізоляції лише окремих елементів ПЛЕП, а методи контролю параметрів ізоляції, що застосовуються енергопостачальними компаніями України основані на вимірюванні струмів і напруги нульової послідовності. Ці методи дозволяють виявити однофазні замикання на землю (ОЗЗ), які виникають через малий перехідний опір, тобто вони не чутливі до виникнення пошкодження на ранній стадії розвитку пошкодження, тобто чутливість даних методів контролю ізоляції є достатньою лише для виявлення стійких однофазних замикань на землю, або замикань через малий перехідний опір. Різноманітні пристрої релейного захисту від однофазних замикань на землю діють на сигнал. Тому для забезпечення надійної експлуатації РМ з ізольованою нейтраллю таких заходів недостатньо, оскільки після спрацювання релейного захисту, відключення не відбувається, а за час пошуку пошкодження і його усунення в зону дії струму замикання на землю може потрапити людина, що становить смертельну небезпеку для її життя і здоров'я. Тому існує необхідність створення нового підходу до визначення технічного стану і роботоздатності ізоляції РМ з ізольованою нейтраллю шляхом контролю інтегрального показника, який би дозволив виявляти пошкодження на ранній стадії їх розвитку під час експлуатації. Це дало б можливість перейти від нині діючої регламентної

системи обслуговування і ремонту обладнання до якісно кращої системи обслуговування „за технічним станом”.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Науково-дослідна робота за темою МКР виконувалась в рамках програм і планів наукових досліджень кафедри “Компютеризовані електромеханічні системи і комплекси” Вінницького національного технічного університету, а також в рамках держбюджетної теми „Діагностування розподільчих мереж».

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є підвищення рівня надійності, безпеки і ефективності експлуатації розподільних мереж напругою 6-10 кВ, шляхом вдосконалення метода визначення роботоздатності ізоляції розподільної мережі в процесі її експлуатації.

Для досягнення мети поставлені і вирішені такі задачі:

- дослідження факторів, що впливають на технічний стан ізоляції розподільної мережі з ізольованою нейтраллю;
- аналіз існуючих методів контролю ізоляції;
- визначення умов роботоздатності ізоляції розподільних мереж;
- вдосконалення методу визначення роботоздатності ізоляції в розподільчих мережах] з ізольованою нейтраллю;
- вдосконалення методів контролю параметрів ізоляції окремих фаз відносно землі;
- розробка діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції розподільчої мережі.

Об’єкт дослідження – процеси зміни технічного стану і роботоздатності ізоляції розподільчої мережі під час її експлуатації.

Предмет дослідження – діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі.

Методи досліджень. Використані теоретичні та експериментальні методи досліджень. Зокрема, алгоритмічний, сигнально-параметричний, фізичний та евристичний методи опису технічного стану системи електропостачання для визначення технічного стану розподільної мережі як

групи взаємодіючих, розподілених в просторі елементів; методи електротехніки для визначення струмів через шунтувальний зв'язок і отримання умов роботоздатності ізоляції; методи аналізу чутливості та врахування інформаційного аспекту при виборі сукупності контрольованих показників; метод об'єктно-орієнтованого аналізу для визначення структури і алгоритму функціонування системи контролю технічного стану ізоляції; методи аналізу експериментальних даних і їх співставлення з результатами теоретичних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Вдосконалено метод визначення роботоздатності ізоляції розподільчої мережі відносно землі, який дозволяє : контролювати роботоздатність її ізоляції за діагностичними ознаками, що обмежують величину струму через шунтувальний зв'язок за критеріями електробезпеки і активну потужність втрат в ізоляції від струмів стікання на землю, для підвищення рівня надійності, безпеки і ефективності її експлуатації

- Отримав подальший розвиток метод визначення параметрів ізоляції фази мережі відносно землі шляхом неперервного контролю загального активного опору ізоляції і напруг фаз відносно землі, який забезпечує виявлення пошкоджень ізоляції відносно землі на ранніх стадіях їх розвитку.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі запропонованого методу розроблено спосіб побудови технічних засобів контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі, а також алгоритмічне програмне забезпечення для обробки результатів контролю і автоматизації розрахунків на ЕОМ. На основі об'єднання отриманих технічних і програмних рішень розроблено діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції (ДККП) РМ, рекомендований для контролю ізоляції в розподільних мережах напругою 6-10 кВ енергопостачальних компаній.

Особистий внесок студента.

Полягає у подальшому розвитку і вдосконаленні системи

діагностичного контролю технічного стану ізоляції РМ, а також у розробці оптимальних методів визначення роботоздатності ізоляції РМ.

Апробації результатів МКР

Основні результати дисертації доповідались: на науково- технічній конференції м. Вінниця і опубліковані тези у співавторстві «Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж напругою 6-10 кВ»

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ДК - діагностичний комплекс
- КЗ - коротке замикання
- ДККРІ -діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції
- ОД - обект діагностування
- ОЗЗ - однофазне замикання на земля
- ПЛЕП – повітряна лінія електропередачі
- ПН ДКРІ - підсистема неперервногодіагностичного контролю роботоздатності ізоляції
- ППП - пакет прикладних програм
- РМ – розподільча мережа
- ТС - технічний стан
- ТН –трансформатор напруги
- РЗ - релейний захист
- СТОР - система технічного обслуговування і ремонту
- ЕК - енергопостачальна компанія
- БНКІ-- блок неперервного контролю ізоляції

1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальна характеристика розподільчих мереж напругою 6-10 кВ, як об'єкта дослідження

Розподільча мережа (РМ) напругою 6-10 кВ є складним об'єктом, вона розподілена в просторі, має високу ціну відмов, значну відстань від бази обслуговування, складається з багатьох груп елементів, які відрізняються конструкцією, принципом дії, функціональним призначенням, фізичними властивостями. Для оцінки якості функціонування РМ необхідно перш за все вибрати загальні показники, які б давали вичерпну інформацію про стан даного об'єкту.

Основними показниками якості функціонування РМ є надійність роботи, безпека експлуатації і ефективність використання за призначенням. Підтримання цих показників на заданому рівні здійснюють шляхом контролю технічного стану (ТС) обладнання розподільної мережі.

Досвід експлуатації РМ показав, що основним фактором, який впливає на роботоздатність всієї розподільної мережі є електрична ізоляція обладнання відносно землі, а саме ізолятори ПЛЕП, ввідні ізолятори (ізоляційна система) силових трансформаторів та комутаційної апаратури, ізоляційна система кабельних вставок.

В діючій СТОВ РМ [12] основний акцент робиться на контроль технічного стану ізоляції з використанням різних методів і засобів випробувань чи вимірювань, що передбачають оцінку технічного стану за рядом фізичних, хімічних, електричних і візуальних ознак чи параметрів. Під ці методи підведені напрацьовані два шляхи для визначення технічного стану ізоляції: шляхом проведення випробувань ізоляції (вимірювання електричних характеристик як руйнівними, так і неруйнівними методами) при виведенні РМ із експлуатації; шляхом застосування методів і засобів діагностичного контролю, що дозволяють визначати технічний стан ізоляції

під час експлуатації під робочою напругою.

Найбільше розповсюдженим є другий шлях, оскільки при його застосуванні підвищуються одночасно усі три показники якості функціонування РМ.

Класифікація методів визначення технічного стану ізоляції має вигляд, приведений на рис.1.1.

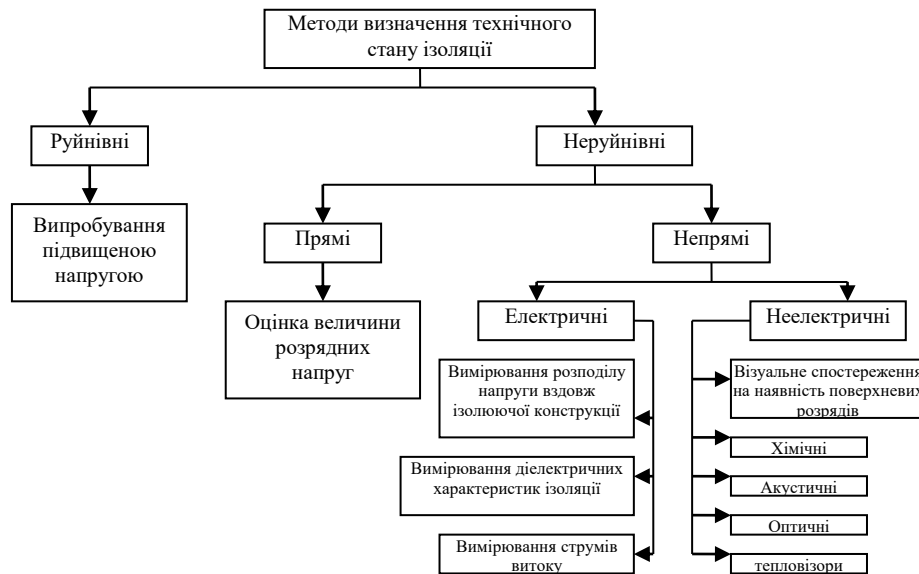


Рисунок 1.1 – Класифікація методів визначення технічного стану ізоляції

Слід зазначити, що до цього часу не напрацьовано чітких норм і стандартизованих вимог, що мають визначатись до ТС ізоляції РМ, відомі лише норми для оцінки технічного стану окремих елементів ізоляції, зокрема ізоляторів. Наприклад, стандартизовані показники електричної міцності (пробійна напруга, провідність тіла і поверхні ізоляційного матеріалу), а також показники механічної міцності для ізоляторів (механічне зусилля на розлом), що визначаються шляхом проведення випробувань в умовах технологічного процесу виготовлення ізоляторів [14, 15].

Застосовують чутливий релейний захист від однофазних замикань на землю [16-26], який в більшості випадків діє на сигнал і має недостатню чутливість, щоб виявляти ОЗЗ з великим перехідним опором в місці пошкодження. Методи контролю шляхом вимірювання часткових розрядів,

кута діелектричних втрат, струму поляризації і релаксації [4-9, 27-37]; зміни режиму роботи нейтралі шляхом її заземлення через резистор можуть бути ефективними лише при виведенні обладнання із ремонту. . Виходячи з цього задача визначення моменту переходу в режим обслуговування обладнання, для усунення пошкодження ізоляції на ранніх стадіях його розвитку, не вирішуєть для обслуговуючого персоналу потрібний чіткий показчик, який би однозначно інформував про виникнення пошкодження ізоляції на ранніх стадіях його розвитку при якому ізоляція може перебувати лише в двох станах – роботоздатному і не робото здатному, необхідно дослідити процеси, що протікають в ізоляції для визначення найбільш поширених причин виникнення пошкоджень і здійснити напрацювання діагностичних ознак для їх виявлення.

1.2 Причини та характер пошкоджень ізоляції елементів розподільчих мереж напругою 6-10 кВ

Самою ненадійною частиною розподільної мережі є повітряна лінія електропередач (ПЛЕП) [1], де в якості ізоляції використовуються скляні і фарфорові і полімерні ізолятори. Зовнішній вплив створює забруднення поверхні ізоляторів пилом, брудом, соляними сполуками, а при зволоженні в на поверхні ізолятора виникає провідне середовище і, відповідно, струму стікання на землю.

Особливістю молекулярної структури твердого діелектрика є те, що він має як поверхневу, так і об'ємну провідність [44], коли поверхня діелектрика пориста, то волога проникає у внутрішню поверхню і призводить до протікання струмів витоку в об'ємі (всередині) діелектрика і, відповідно, до існування об'ємної провідності g_v . В результаті процесу фізичної адсорбції газ, що контактує з поверхнею твердого тіла, конденсується на ній, утворюючи дуже тонку рідку плівку. Сумісна дія такої цих факторів викликає появу поверхневої провідності діелектрика g_s . Процес поверхневої

провідності є в основному електролітичним [45]. Такі електротехнічні матеріали як кварц, слюда, парафін високої молекулярної маси, ізомерії стиrolу, плівки нітроцелюлози практично не володіють поверхневою провідністю [46], але скло, має поверхневу провідність, що піддається вимірюванню при всіх значеннях вологості вище 10% [47].

Залежність між поверхневою провідністю і відносною вологістю для більшості електротехнічних матеріалів можна представити формулою

$$g_s = 10^{-c} e^{\left(\frac{P}{P_s}\right)^d}, \quad (1.1)$$

де c, d – коефіцієнти, що залежать від матеріалів;

P/P_s – відносний тиск повітря.

Експериментально було встановлено, що залежність поверхневої провідності від відносної вологості є нелінійною функцією [48], наприклад, T при збільшенні вологості від 40 до 100%, поверхнева провідність збільшується в 1000, або навіть в 10000 раз за рахунок збільшення товщини адсорбованої плівки до моменту, коли товщина адсорбованої плівки не набуде критичного значення, рівного приблизно 6-10 мономолекулярним шарам, Далі потім залежність стає лінійною.

Також було доведено [49], що на поверхні скла під дією вологи відбувається гідроліз, при якому утворюється кремнієва плівка, насичена водними розчинами продуктів гідролізу. Ця кремнієва плівка має дуже високу абсорбційну здатність. Процес гідролізу з послідуєчим утворенням кремнієвої плівки не відбувається миттєво, і тому, відповідно, поверхнева провідність скла може змінюватись протягом тривалого часу після збільшення вологості.

В цих процесах закладена ще одна потенційна небезпека для розвитку пошкоджень скляних ізоляторів. При протіканні струмів витoku через адсорбовану плівку відбувається іонний витік лугів зі скла, що в кінцевому рахунку може призвести до його механічного пошкодження.

Розглядаючи ізолятор як складову частину ізоляції ПЛЕП, слід звернути

увагу на те, що його поверхня забруднюється нерівномірно [50]. Тому завжди виникатиме неоднорідність вздовж поверхні стікання струму витоку, що призводить до появи ділянок з більшою і меншою поверхневою провідністю. Розподіл падінь напруги вздовж поверхні теж буде неоднорідним. Це викликає появу часткових розрядів у вигляді стримерів між ділянками з більшою і меншою поверхневими провідностями. Такі явища також негативно відображаються на ізоляційних властивостях матеріалу ізоляторів, призводячи до появи жолобів, тріщин і інших видів пошкоджень на поверхні і в тілі ізоляторів.

Досвід експлуатації систем електропостачання показав [1-3], що самим ненадійним елементом СЕП, з точки зору виникнення пошкоджень ізоляції, є РМ з повітряними лініями електропередачі. Основними причинами пошкоджень повітряних мереж (ПМ) є зовнішні чинники: навантаження від вітру, вібрація мереж, загоряння дерев'яних опор, навантаження від вітру, вібрація мереж, загоряння дерев'яних опор, грозові перебиття ізоляції, перебиття ізоляції вітками дерев, ожеледь, послаблення механічної міцності, пошкодження опор та мереж автотранспортом та різними механізмами. Ці зовнішні збурюючі дії призводять до перебиття ізоляції, розриву фарфорових та скляних ізоляторів, оплавлення механічних елементів, обриву провідників, послаблення їх механічної міцності під час вібрації та коливання окремих провідників, падіння опор разом з провідниками, дуже важкі наслідки викликає ожеледь. Відбувається порушення нормальної роботи ПМ. Воно пов'язане з такими факторами: порушення правил монтажу та спорудження ПМ, недоліки існуючої системи обслуговування . неправильне використання електрообладнання, дефекти, які були допущені при виготовленні опор, ізоляторів, перевищення фактичних зовнішніх навантажень розрахункових значень. В таблиці 1.1. приведено статистичні дані причин пошкоджень повітряних РМ напругою 10 кВ, зібрані у ВАТ "АК Вінницяобленерго" за 2020р. Кількість пошкоджень за рік становила 1498. В залежності від причин виникнення вони

розподілились таким чином:

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика відключень ПЛЕП 6-10 кВ із-за пошкоджень обладнання в РМ ВАТ „АК Вінницяобленерго” за 2020р.

| 5461 | Всього відключень Відключення без пошкодження ЛЕП з успішним АПВ і РПВ | | Відключення з пошкодженням ЛЕП | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------|--|---------|--|--------------|--|-----------------------|--|-------------------|--|--------|--|-------------------------------------|--|------|--|
| | | | Всього | | Елементів ПЛ | | | | | | | | Кабельних вставок | | | | | | | |
| | | | | | Опор | | проводу | | Ізоляції | | Арматури кріплення | | Інше | | кабелю | | Муфти з'єднувальної, кінцевої | | Інше | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3969 | | | 1492 | | 122 | | 414 | | 552 | | 130 | | 154 | | 35 | | 66 | | 19 | |
| 72,68 | | | 27,32 | | 8,18 | | 27,75 | | 37,00 | | 8,71 | | 10,32 | | 2,35 | | 4,42 | | 1,27 | |

Як видно з таблиці 1.1 основним видом пошкоджень є пошкодження ізоляції елементів РМ.

Статистичні дані по видах порушень приводиться в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Класифікація основних причин технологічних порушень при обслуговуванні ПЛЕП 6-10 кВ в розподільних мережах ВАТ „АК Вінницяобленерго” за 2020р.

| 4173 | З вини персоналу | | | | Стихійні явища | | | | Інші | | | | | | | | | | |
|------|-----------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------|---------------|---------|------|----------------------|---------------|----------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|---------------------|------|--|--|
| | Недоліки тех. обслуговування та ремонту | Помилкові дії персоналу | Хибна дія РЗА | Інші причини з вини персоналу | Грозові перенапруги | Сильний вітер | ожеледь | інші | Забруднення ізоляції | Падіння дерев | Дефект монтажу | Дії сторонніх осіб (організацій) | Ненормальний режим роботи ЛЕП | Через пошкодження на суміжних ділянках ПЛ | Пошкодження обладнання ПС | Нез'ясовані причини | інші | | |
| 16 | 1 | 44 | | | 720 | 792 | 195 | 210 | 105 | 240 | 17 | 70 | 6 | 25 | 214 | 1263 | 255 | | |

Аналіз даних таблиці 1.2. показав, що кількість пошкоджень, які супроводжувались стійкими ОЗЗ, складала 63,2%, міжфазних коротких замикань - 9,7%, подвійних замикань на землю - 5,2%, інші - 21,9%.

Серед інших видів пошкодження повітряної мережі є зміна стріли провисання, корозія провідників, пошкодження провідників біля затискувачів

та з'єднань, накиди, розрив або перегорання окремих провідників, сліди перекриття. Для підвісок та арматури основними видами пошкоджень є: забруднення поверхні ізолятора, неправильна насадка ізоляторів, перетирання або деформація окремих елементів арматури, механічні пошкодження фарфору або скла ізоляторів, сліди перекриття в ізоляторах, дефектні ізолятори, Відносно опор та фундаментів, основними пошкодженнями є тріщини та пошкодження приставок опор, ослаблення з'єднань, загнивання елементів опори, присутність на опорах пташиних гнізд та інших сторонніх предметів, які створюють можливість перекриття між фазами, нахил опори вздовж або поперек мережі понад допустиму норму, деформація окремих частин опори, заглиблення фундаменту опори або його підйом,

Характерними пошкодження заземлюючих пристроїв є незадовільний контакт з'єднання заземлювача з тілом опори, понад допустиму величину опору заземлювача опори, руйнування корозією контуру заземлюючого пристрою, або обрив заземлюючого спуску на опорі та біля землі, та інші.

Комутаційні апарати в більшості випадків пошкоджуються при вимиканні коротких замикань та при виконанні ними різних операцій, 60-70% від загальної кількості пошкоджень комутаційних апаратів пошкоджуються роз'єднувачі

В більшості випадків кабельні мережі пошкоджуються із-за порушення їх механічної стійкості будівельними механізмами та машинами при проведенні земляних роботах (60-70% від загальної кількості), іншими причинами є старіння міжфазної та поясної ізоляції, інтенсивна корозія оболонки кабелю, попадання вологи в кабель, порушення ізоляції гризунами.

До основних причинами пошкоджень силових трансформаторів відносять: пошкодження перемикаючих пристроїв, пошкодження вводу трансформатора із-за перекриття зовнішньої та внутрішньої ізоляції, механічні пошкодження ізоляції обмоток трансформатора через дефекти конструкції та виготовлення під час дії зовнішніх перенапруг в мережі та

струмів коротких замикань, пошкодження неякісних з'єднань.

Таким чином, самим розповсюдженим видом відмов в РМ є зміна технічного стану ізоляції між струмопровідною частиною і землею. Виникаючі зміни приводять до виникнення міжфазних та однофазних замикань на землю і вимикання електричних мереж релейним захистом або оперативним персоналом, тому для підтримання ТС РМ на заданому умовами експлуатації рівні необхідно контролювати технічний стан ізоляції РМ.

1.3 Аналіз існуючих методів і засобів контролю ізоляції розподільчих мереж напругою 6-10 кВ

Методи перевірки технічного стану ізоляції поділяють на функціональні, тестові та комбіновані. Функціональні методи застосовують до об'єктів, що знаходяться в робочому стані, вимірюються робочі сигнали і параметри ізоляції визначають за результатами вимірювань. Тестові методи застосовують до об'єктів, які виводяться в ремонт, або вводяться в експлуатацію і передбачають накладання сигналів на РМ за спеціальною програмою. Для комбінованих системах використовуються як робочі, так і тестові сигнали. Методи контролю за періодичністю можна розділити на постійно діючі, періодично діючі і разові. Методи неперервного контролю мають незаперечні переваги, але не завжди можна контролювати з потрібною точністю та прийнятною вартістю [13, 52].

Методи контролю ізоляції за періодичністю контролю можна поділити на методи неперервного та періодичного контролю ізоляції

Серед методів неперервного контролю найбільш поширеними є функціональні методи. Вони передбачають вимірювання напруги фаз мережі відносно землі або напруги нульової послідовності U_0 за допомогою вольтметрів ввімкнених у вторинні обмотки трансформаторів напруги типу

НОМ або НТМИ [53].

Розглянемо ефективність метода контролю ізоляції на основі вимірювання фазних напруг. Користуючись методом зміщення нейтралі, визначимо напругу на вольтметрах U_{vA} , U_{vB} , U_{vC}

$$\begin{aligned} \underline{U}_{vA} &= U_{\phi} \cdot \frac{\underline{Y}_B \cdot (1 - a^2) + \underline{Y}_C \cdot (1 - a) + 3 \cdot g_v}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + 3 \cdot g_v}; \\ \underline{U}_{vB} &= U_{\phi} \cdot \frac{\underline{Y}_A \cdot (a^2 - 1) + \underline{Y}_C \cdot (a^2 - a) + 3 \cdot a^2 \cdot g_v}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + 3 \cdot g_v}; \\ \underline{U}_{vC} &= U_{\phi} \cdot \frac{\underline{Y}_A \cdot (a - 1) + \underline{Y}_B \cdot (a - a^2) + 3 \cdot a \cdot g_v}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + 3 \cdot g_v}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

де $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$ – комплекси повних провідностей фаз мережі відносно землі;

U_{ϕ} – фазна напруга мережі зі сторони силового трансформатора енергосистеми;

$a = e^{j \cdot 120^\circ}$ – оператор фазового кута;

g_v – активна провідність вольтметра контролю ізоляції.

Із системи рівнянь очевидно, що при рівних провідностях ізоляції фаз мережі відносно землі $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C$ напруги, які вимірюються вольтметрами, будуть рівні фазній, незалежно від значень цих провідностей, тобто метод не реагує на симетричне зниження опору ізоляції. В разі замикання на землю одної фази, наприклад А ($\underline{Y}_A \rightarrow \infty$), будемо мати

$$U_{vA}=0, U_{vB}=U_{vC}=\sqrt{3} \cdot U_{\phi} \quad (1.2.1)$$

напруга вольтметра пошкодженої фази рівна нулю, а два інших знаходяться під лінійною напругою мережі. Тому, метод можна використати для контролю ізоляції пошкодженої фази.

при наявності додаткової провідності в фазі А

$$\underline{I}_{зА} = \underline{U}'_A \cdot (\underline{Y}_\Sigma + \underline{Y}_d). \quad (1.4)$$

Використовуючи (1.3) і (1.4) отримаємо

$$\underline{Y}_\Sigma = \frac{\underline{U}'_A \cdot \underline{Y}_d}{\underline{U}_A - \underline{U}'_A}. \quad (1.5)$$

Активна складова повної провідності мережі визначається як дійсна частина, а реактивна складова – як уявна частина комплексу у виразі (1.5):

$$g_\Sigma = \operatorname{Re} \left[\frac{\underline{U}'_A \cdot \underline{Y}_d}{\underline{U}_A - \underline{U}'_A} \right], \quad \omega C_\Sigma = \operatorname{Im} \left[\frac{\underline{U}'_A \cdot \underline{Y}_d}{\underline{U}_A - \underline{U}'_A} \right]. \quad (1.6)$$

Напряга фази А відносно землі виражається через модулі відповідних напруг інших фаз

$$\underline{U}_A = \frac{2U_A^2 - (U_B^2 + U_C^2)}{6U_\phi} + U_\phi + j \cdot \frac{U_C^2 - U_B^2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_\phi}. \quad (1.7)$$

Будемо вважати, що $\underline{U}_A = a + j \cdot d$, $\underline{U}'_A = a' + j \cdot d'$,

$$a = \frac{2U_A^2 - (U_B^2 + U_C^2)}{6U_\phi} + U_\phi; \quad a' = \frac{2U_A'^2 - (U_B'^2 + U_C'^2)}{6U_\phi} + U_\phi; \\ d = \frac{U_C^2 - U_B^2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_\phi}; \quad d' = \frac{U_C'^2 - U_B'^2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_\phi}. \quad (1.8)$$

Тоді, вважаючи $\underline{Y} = j\omega \cdot C_d$ (C_d – додаткова ємність, що вмикається в мережу відносно землі для створення незалежного режиму), з (1.6), (1.7) отримаємо

$$g_\Sigma = \frac{1}{r_\Sigma} = \frac{\omega \cdot C_d \cdot (d \cdot a' - d' \cdot a)}{(a - a')^2 + (d - d')^2}; \quad C_\Sigma = \frac{C_d \cdot [a' \cdot (a - a') + d' \cdot (d - d')]}{(a - a')^2 + (d - d')^2}, \quad (1.9)$$

і при активному додатковому опорі r_d

$$g_\Sigma = \frac{a' \cdot (a - a') + d' \cdot (d - d')}{r_d [(a - a')^2 + (d - d')^2]}; \quad C_\Sigma = \frac{1}{\omega \cdot r_d} = \frac{d' \cdot (a' + a) + a' \cdot (d' + d)}{(a - a')^2 + (d - d')^2}. \quad (1.10)$$

Запропонований метод дозволяє визначити параметри ізоляції мережі відносно землі з допомогою показів вольтметрів контролю ізоляції згідно залежностей (1.9) – (1.10), а також параметрів ізоляції окремих фаз мережі.

Для визначення комплексів провідностей окремих фаз можна використати метод, оснований на використанні системи рівнянь, одне з яких отримане для мережі із зміненим чергуванням фаз (третій незалежний режим). Для теоретичного обґрунтування методу використовується схема рис.1.2. В початковому стані система описується одним рівнянням відносно невідомих провідностей $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$ згідно з першим законом Кірхгофа

$$\underline{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \underline{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \underline{U}_C \cdot \underline{Y}_C = 0, \quad (1.11)$$

де $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ – комплекси напруг окремих фаз відносно землі у вихідному стані;

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{r_A} + j\omega \cdot C_A; \quad \underline{Y}_B = \frac{1}{r_B} + j\omega \cdot C_B; \quad \underline{Y}_C = \frac{1}{r_C} + j\omega \cdot C_C$$
 – комплекси

повних провідностей кожної фази відносно землі.

Для складання другого рівняння, роз'єднувачем QS3 введемо в любую фазу, наприклад А, додаткову провідність \underline{Y}_d , тоді новий стан системи описується рівнянням, подібним до (1.11), з правою частиною, відмінною від нуля:

$$\underline{U}'_A \cdot \underline{Y}_A + \underline{U}'_B \cdot \underline{Y}_B + \underline{U}'_C \cdot \underline{Y}_C = -\underline{U}'_A \cdot \underline{Y}_d, \quad (1.12)$$

Для зміни чергування фаз в мережі розімкнемо роз'єднувач QS1 і замкнемо роз'єднувач QS2 при розімкненому роз'єднувачі QS3, тоді напруга фази А відносно землі буде прикладена до провідності \underline{Y}_B , а напруга фази В – до провідності \underline{Y}_A і третє рівняння буде мати вигляд

$$\underline{U}''_A \cdot \underline{Y}_B + \underline{U}''_B \cdot \underline{Y}_A + \underline{U}''_C \cdot \underline{Y}_C = 0. \quad (1.13)$$

Із отриманої системи незалежних рівнянь можна визначити провідності $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$, а також відповідні параметри ізоляції окремих фаз $r_A, r_B, r_C, C_A, C_B, C_C$:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \underline{U}_A & \underline{U}_B & \underline{U}_C \\ \underline{U}'_A & \underline{U}'_B & \underline{U}'_C \\ \underline{U}''_A & \underline{U}''_B & \underline{U}''_C \end{vmatrix} \neq 0. \quad (1.14)$$

Враховуючи зв'язок комплексів $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ з їх модулями, що

представлені формулою (1.7), можна визначати параметри ізоляції мережі відносно землі використовуючи лише покази вольтметрів контролю ізоляції, (рівняння (1.14.)

Коли параметри ізоляції фаз мережі однакові і має місце рівність $U_A=U_B=U_C$, достатньо розв'язати систему рівнянь при активному додатковому опорі r_d

$$\left. \begin{aligned} (a'_A + a'_B + a'_C) \cdot \frac{1}{r} + (d'_A + d'_B + d'_C) \cdot \omega \cdot C &= -\frac{1}{r_d} \cdot a'_A \\ (d'_A + d'_B + d'_C) \cdot \frac{1}{r} + (a'_A + a'_B + a'_C) \cdot \omega \cdot C &= -\frac{1}{r_d} \cdot d'_A \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

Суттєвим недоліком даного методу слід вважати проблему збіжності результатів рішення системи рівнянь (1.14).

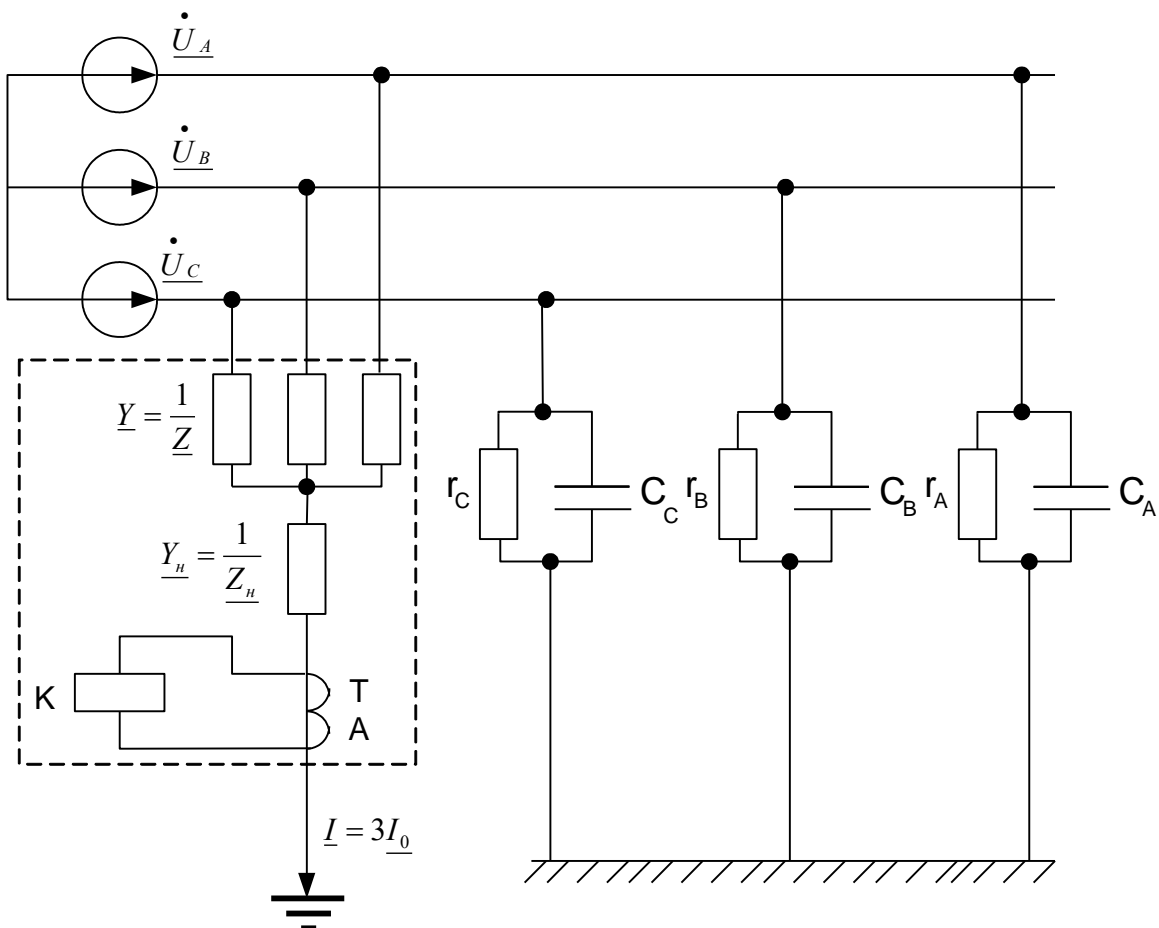


Рисунок 1.3 – Схема до методу асимметра.

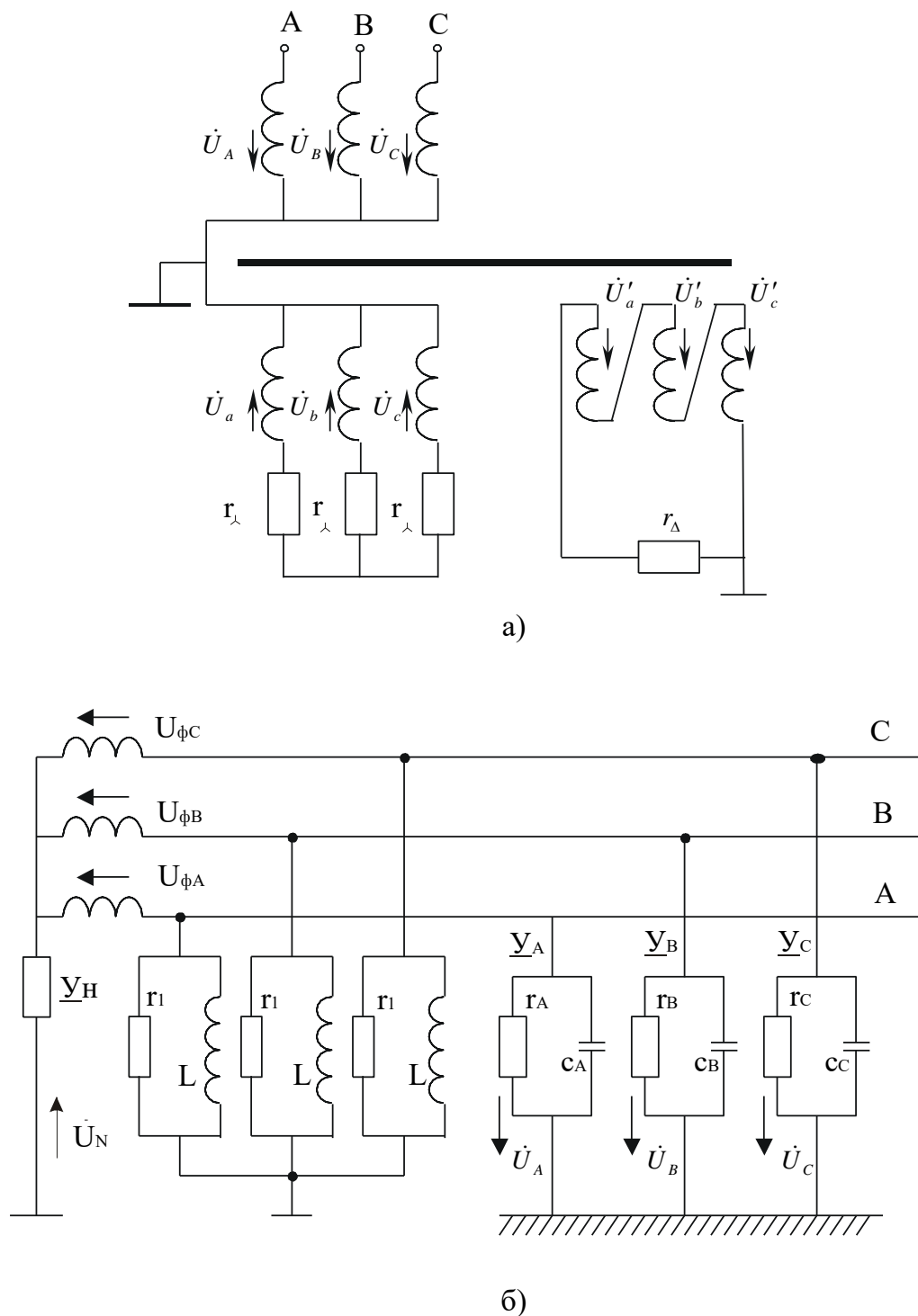


Рисунок 1.4 – Схема з'єднань трансформатора напруги типу НТМИ – а); та розрахункова 3-х ф. мережі з урахуванням опору обмоток НТМИ – б).

Для визначення параметрів ізоляції використовують асиметричний склад, який складається із трьох рівних по значенню опорів (активних або реактивних), з'єднаних в зірку. Через первинну обмотку трансформатора струму нульова

точка зірки асиметра приєднується до заземлюючого пристрою, кінці променів зірки приєднуються до фаз мережі А, В, С (рис.1.3)

Комплекс первинного струму в колі трансформатора струму можна визначити як

$$\underline{I} = 3U_{\phi} \cdot \frac{\underline{Y}_A + a^2 \cdot \underline{Y}_B + a \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + 3\underline{Y}_0} \cdot \underline{Y}_0, \quad (1.16)$$

де $\underline{Y}_0 = \frac{\underline{Y}_H \cdot \underline{Y}}{3\underline{Y} + \underline{Y}_H}$ - еквівалентна провідність нульової послідовності одної фази, що вноситься в мережу асиметром.

З останнього рівняння зрозуміло, що при рівних опорах мережі відносно землі, коли $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C$, струм в колі навантаження асиметра дорівнює нулю, тобто, як і в схемі з вольтметрами (рис.1.2), пристрій не реагує на симетричне зниження опору ізоляції, крім цього недоліком методу є те, що зміна струму в нульовому проводу, із за впливу значення ємності мережі, однозначно не відображає зміни активного опору ізоляції мережі відносно землі. З цих причин, асиметри використовують лише як пристрої контролю однофазних замикань на землю.

Принципова схема методу контролю напруги нульової послідовності зображена на рис. 1.4, де r_A, r_B, r_C - активний опір ізоляції відповідної фази мережі відносно землі; C_A, C_B, C_C - ємність фаз мережі відносно землі; r_1, L_1 активний опір і індуктивність трансформатора напруги контролю ізоляції.

Для трансформатора типу НТМИ, згідно [54, 57] r_1 можна визначити як

$$r_1 = \frac{n_1^2 n_2^2 r_{\Delta} r_Y}{n_2^2 r_{\Delta} + 3n_1^2 r_Y}, \quad (1.17)$$

де n_1, n_2 - відповідно коефіцієнти трансформації між первинною, вторинною основною і додатковою обмотками НТМИ;

r_{Δ} та r_Y - активний опір навантаження на вторинній обмотці.

Для випадку, коли $C_A = C_B = C_C = C$, $r_A = r_B = r_C = r$, і виникло погіршення ізоляції фази А відносно землі, контрольовану напругу нульової

послідовності в загальному випадку можна визначити як

$$U_0 = \frac{U_\Phi}{n_2} \frac{\frac{1}{r_{II}}}{\frac{1}{r_{II}} + 3 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r} + \frac{1 - \omega^2 L_1 C}{j\omega L_1} \right) + Y_H} = \frac{U_\Phi}{n_2} \cdot K. \quad (1.18)$$

Із виразу (1.18) зрозуміло, що з контрольована напруга буде залежати від значення коефіцієнту K , який залежить від параметрів мережі і пристрою контролю. Враховуючи те, що контроль ізоляції здійснюється за допомогою реле напруги, з уставку спрацювання $U_{c.p} \geq 0,3 \frac{U_\Phi}{n_2}$, тобто воно має спрацьовувати, коли величина $K \geq 0,3$, то необхідна чутливість спрацювання може бути забезпечена лише при малих значеннях опору шунтувального зв'язку $r_{II} \leq 1$ кОм.

Проведений аналіз показав, що метод є достатньо простим, але має ряд суттєвих недоліків: не дозволяє отримати кількісну характеристику про рівень активної провідності фаз мережі відносно землі; не реагує на симетричне зниження опору ізоляції відносно землі; не забезпечує необхідної чутливості, тобто на виникнення пошкодження ізоляції на ранній стадії його розвитку.

Метод накладання джерела випрямленої напруги

Найпоширенішим комбінованим методом контролю активного опору ізоляції є метод накладання джерела випрямленої напруги на контрольовану мережу [12 Принципова схема вентильного пристрою контролю ізоляції показана]. на рис.1.5. Згідно [54] в схемі середня величина випрямленого струму не залежить від ємності мережі відносно землі і може бути визначена як

$$I_c = \frac{1,5U_{m.l}}{\pi(R_{л} + r_0)}, \quad (1.19)$$

де $U_{m.l}$ – амплітуда лінійної напруги контрольованої мережі;

$R_{л}$ – еквівалентний опір вимірювального кола, який можна визначити як

$$R_{\text{л}} = R_3 + R_{\text{PR}} + \frac{R_y R_{\text{KL}}}{(R_y + R_{\text{KL}})};$$

r_0 – загальний активний опір ізоляції мережі відносно землі; π – коефіцієнт, який враховує тип схеми випрямляча ($\pi=1,2\dots$).

Чутливість вентильної схеми визначають як відношення зміни струму ΔI_c до зміни загального активного опору ізоляції мережі Δr_0 , тобто

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta r_0}. \quad (1.20)$$

Найбільшу чутливість схема має коли $r_0 \rightarrow 0$. За умовами безпеки $R_{\text{л}}$ повинно бути достатньо великим, ($R_{\text{л}} > 10 \div 100$ кОм), тому навіть максимальна чутливість вентильних схем має відносно малу величину, для виявлення пошкодження на ранній стадії його розвитку

$$S_{\text{max}} \approx \frac{-1,5U_{\text{м.л.}}}{\pi R_{\text{л}}}. \quad (1.21)$$

Недоліками методу є обмеженість його застосування в мережа напругою до 1000В та залежність вимірювального струму від коливання напруги контрольованої мережі.

Достатньо широке застосування знайшла схема контролю ізоляції в мережах 6 – 10 кВ, де джерело створюється трансформатором та випрямлячем [54], а вимірювальне коло відокремлене від високої напруги роздільним трансформатором Т2, рис.1.6.Схема методу за допомогою вимірювального пристрої PR дозволяє контролювати загальний опір ізоляції r_0 та його симетричне зниження. До недоліків методу слід віднести вплив несиметрії ізоляції окремих фаз на результати вимірювання загального активного опору ізоляції.

Існують також методи неперервного контролю ізоляції, які використовують принцип накладання на контрольовану мережу змінного струму промислової та зниженої частоти [54] та виділення із загального струму в вимірювальному пристрою з активної складової струму. Перевагою

цих методів перед іншими є властивість селективного контролю . і можливість селективного визначення пошкодженого приєднання до шин підстанції. Складність реалізації методу полягає в виділенні активної складової із повного струму, що протікає через коло вимірювання, так як реактивна складова в більшості випадків значно перевищує активну. Тому ці методи не забезпечують необхідну чутливість і використовуються в мережах які мають малу довжину.

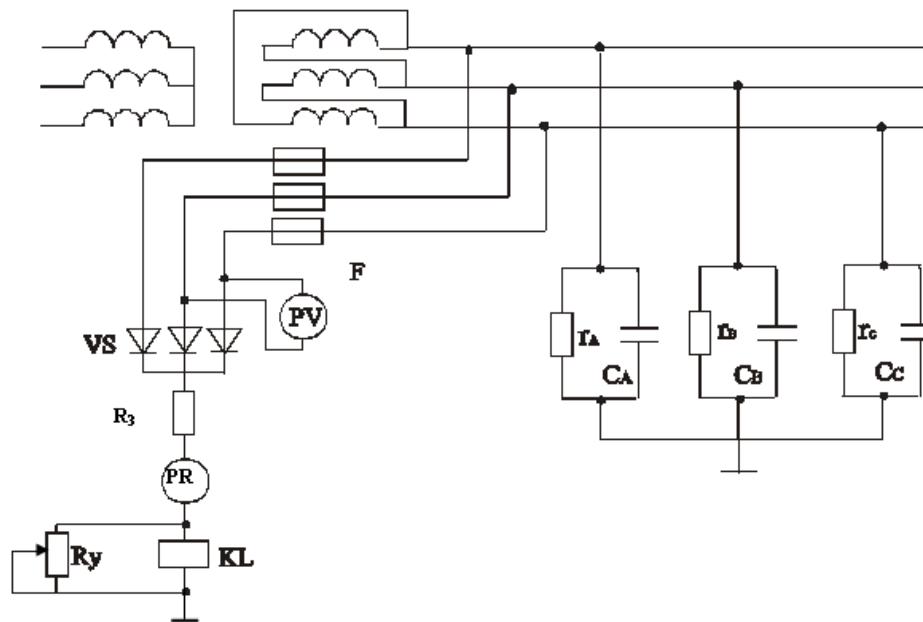


Рисунок 1.5 – Вентильна схема неперервного контролю ізоляції

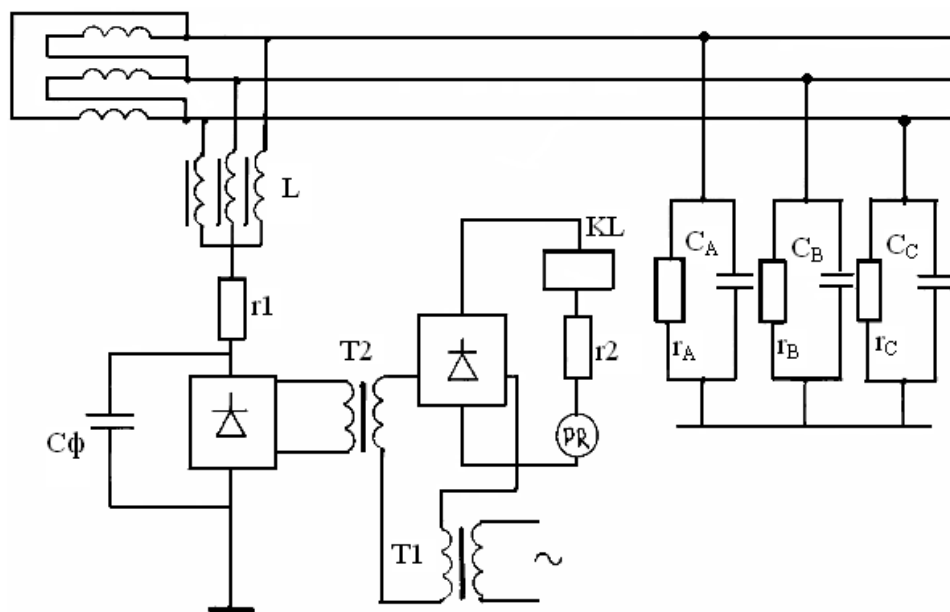


Рисунок 1.6 – Схема пристрою неперервного контролю ізоляції за принципом накладання випрямленого струму

Для зменшення похибки визначення активної складової струму намагаються зменшити частоту сигналу, або застосовують спеціальний диференційний трансформатор струму нульової послідовності (ДТНП) [58],

Суттєвим недоліком вище розглянутих методів є те, що вони не дозволяють контролювати динамічну характеристику активного опору ізоляції. В процесі експлуатації РМ розвивається квазімонотонне погіршення параметрів ізоляції РМ, яке проявляється по-різному: під впливом підвищення вологи навколишнього середовища відбувається плавна зміна активного опору ізоляції, наявність шунтувальних зв'язків та перенапруги викликає стрибкоподібну зміну активного опору ізоляції [3, 52]. Метод контролю повинен фіксувати як плавну зміну активного опору ізоляції, так і стрибкоподібну зміну.

В методі, запропонованому проф. Кутіним В.М. [3, 59, 60, 61], плавна зміна активного опору ізоляції фаз мережі відносно землі фіксується шляхом накладання на контрольовану мережу тестового сигналу, випрямленої напруги, а стрибкоподібна зміна активного опору ізоляції фіксується шляхом використання напруги, пропорційної активному опору ізоляції РМ відносно землі перехідного процесу в колі попередньо зарядженого конденсатора. д

Схема, методу, зображена на рис.1.7, вона містить блок контролю ізоляції 1, вимірювальний трансформатор напруги 2, ємнісний фільтр 3. із джерело випрямленого струму 4; попередньо заряджений конденсатор 5 (C_0); обмежувальні резистори R_1 та R_2 , пристрій 6, що реагує на плавне зниження ізоляції; пристрій 7, що реагує на раптову зміну опору ізоляції; омметр 8 для контролю величини активного опору ізоляції фаз мережі відносно землі; коло R_3 , SB_1 , яке дозволяє перевіряти пошкодження елементів пристрою; блок сигналізації 9, який подає сигнал в разі плавного зниження опору ізоляції до граничної величини і виникненні раптового пробою ізоляції, якщо через певний момент часу t_3 він супроводжується зниженням загального опору ізоляції (спрацьовує пристрій 6). Фільтр приєднання містить конденсатор C_1 та розрядник F .

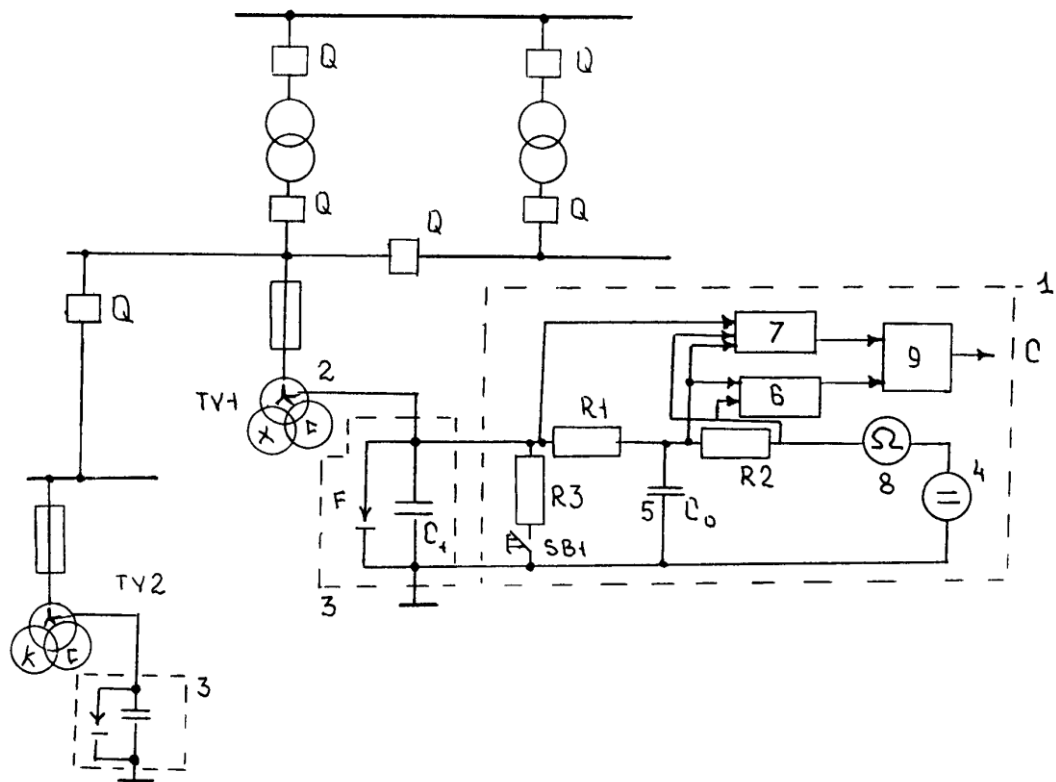


Рисунок 1.7 – Схема технічної реалізації методу накладення постійного струму і використання енергії попередньо зарядженого конденсатора.

Для запобігання шунтування сигналу від джерела накладання сигналу в нейтраль трансформатора напруги вмикають ємнісні фільтри. Блок контролю запропонований метод має значну перевагу порівняно з попередніми, оскільки дозволяє з прийнятною для задач контролю точністю визначити загальний опір ізоляції мережі відносно землі.

Для контролю ізоляції кабельних мереж частіше всього озастосовують метод контролю кута діелектричних втрат в каналі нульової послідовності

Для його реалізації на контрольовану мережу накладають низькочастотний сигнал (3-6 Гц) і вимірюють реакцію ізоляції мережі відносно землі на даний сигнал[63]. Для виділення струму стікання на землю використовується трансформатор струму нульової послідовності і контролюють кут зсуву між струмом і напругою в каналі нульової послідовності, виміряний на частоті джерела накладення низькочастотного

сигналу. Основна перевага даного методу – селективність і достатньо висока чутливість до зміни технічного стану ізоляції кабелів.

Методи періодичного контролю ізоляції

Всі існуючі методи періодичного контролю ізоляції умовно за принципом дії можна поділити на тестові методи періодичного контролю ізоляції та функціональні методи періодичного контролю ізоляції

Серед тестових методів періодичного контролю ізоляції розрізняють:

метод контролю часткових розрядів, ізометричне вимірювання струму релаксації (IRC-аналіз), вимірювання напруги поляризації-деполяризації, вимірювання $\text{tg}\delta$.

Метод контролю часткових розрядів [6-9, 64-66] застосовують в мережах напругою 110 кВ і вище. Для мереж 6-10 кВ, величина часткового розряду є дуже малою, тому даний метод не знайшов широкого практичного застосування.

Метод ізотермічного вимірювання струму релаксації [4, 3, 67-69] не знайшов застосування в Україні, перевагою даного методу є висока точність вимірювання. Метод вимірювання напруги поляризації-деполяризації [70] також не знайшов застосування, тому що обов'язковою умовою його застосування є виведення ділянки мережі, що діагностується з експлуатації для проведення серії випробувань.

Вимірювання $\text{tg}\delta$ ізоляції здійснюють досить великою кількістю вимірювальних комплексів [34-36] вони досить поширені за кордоном. Основною перевагою їх є висока точність завдяки прямим вимірюванням електричних величин, що безпосередньо характеризують стан ізоляції.

Функціональних методів періодичного контролю ізоляції в основному базуються на штучному зміщенні нейтралі мережі відносно землі, що знаходиться під робочою напругою, шляхом введення додаткової провідності між фазою мережі і землею [71, 72].

В цих методах трифазну мережу розглядають як активний двополюсник, внутрішній опір якого є опором ізоляції фаз мережі відносно

землі. Характеристика його може бути описана рівнянням $\dot{U} = A + B\dot{I}$, звідки коефіцієнти A та B можуть бути обчислені із двох незалежних режимів роботи розподільної мережі, створених шляхом послідовного введення провідності $\underline{Y}_{д1}$, а потім $\underline{Y}_{д2}$, тоді напругу фази мережі відносно землі можна визначити як

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \frac{\dot{I}_{з1}}{\underline{Y}_0 + \underline{Y}_{д1}} ; \\ \dot{U}_2 &= \frac{\dot{I}_{з2}}{\underline{Y}_0 + \underline{Y}_{д2}} , \end{aligned} \right\} \quad (1.22)$$

де $\dot{I}_{д1}$, $\dot{I}_{д2}$ – комплекси струмів замикання фази на землю;

\underline{Y}_0 – комплекс повної провідності ізоляції мережі відносно землі.

Розв'язок системи рівнянь (1.22) дає результат

$$\underline{Y}_0 = \frac{\underline{Y}_{д2} \dot{U}_2 - \underline{Y}_{д1} \dot{U}_1}{\dot{U}_1 - \dot{U}_2} = g_0 + jb_0, \quad (1.23)$$

де g_0, b_0 – відповідно, загальна активна та реактивна провідності ізоляції мережі відносно землі.

Специфіка вимірювання в трифазній мережі полягає в тому, що опір ізоляції – величина непостійна. Виключити вплив цього фактору можна дублюванням експерименту. Крім цього для виключення додаткових похибок необхідно зменшувати кількість границь розділу та співвідношення імпедансу та навантаження.

Функціональні методи дозволяють визначають провідності ізоляції окремих фаз мережі відносно землі. Наприклад, в методі Sahülka [71]. активні провідності фаз g_1, g_2, g_3 і реактивна провідність мережі відносно землі b_0 , при рівності ємностей окремих фаз $C_1 = C_2 = C_3 = C$, визначались на основі використання режиму холостого ходу та введення додаткової провідності. Шляхом вимірювання напруги кожної фази мережі відносно землі та лінійні напруги складають чотири незалежних рівняння, необхідних

для визначення невідомих величин. Розв'язок системи рівнянь потребує попереднього визначення 14 коефіцієнтів.

В методі, запропонованому проф. Л.В. Гладіліним [72], не потрібно виконувати громіздких обчислень, але використовується більшу кількість не співпадаючих в часі режимів.

В методі, запропонований проф. Е.Ф. Цапенком [54], за відомими y_0, b_0, g_0 вимірюють напруги фаз мережі відносно землі U_1, U_2, U_3 , а невідомі величини g_1, g_2, g_3 визначають шляхом розв'язання числовим методом системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{U_{\text{л}}}{y_0} \sqrt{g_2^2 + g_3^2 + g_2 g_3 - \sqrt{3} \omega C (g_3 - g_2) + 3 \omega^2 C^2}; \\ U_2 &= \frac{U_{\text{л}}}{y_0} \sqrt{g_1^2 + g_3^2 + g_1 g_3 - \sqrt{3} \omega C (g_1 - g_3) + 3 \omega^2 C^2}; \\ U_3 &= \frac{U_{\text{л}}}{y_0} \sqrt{g_1^2 + g_2^2 + g_1 g_2 - \sqrt{3} \omega C (g_2 - g_3) + 3 \omega^2 C^2}. \end{aligned} \right\} \quad (1.24)$$

Метод [74-76], розроблений проф. Кутінім В.М., базується на використанні режиму штучного зміщення нейтралі мережі на середину вектора лінійної напруги [75] при визначенні провідності фази мережі. Досягається це шляхом введення між двома іншими фазами мережі і землею зірочки опорів, параметри якої вибрані таким чином, що, незалежно від параметрів ізоляції фаз мережі відносно землі, напруга на досліджуваній фазі підвищується до $1,5U_{\text{ф}}$, а на двох інших знижується до половини лінійного і знаходиться в протилежних фазах.

Схему методу та векторну діаграму показано на рис.1.8 а, б.

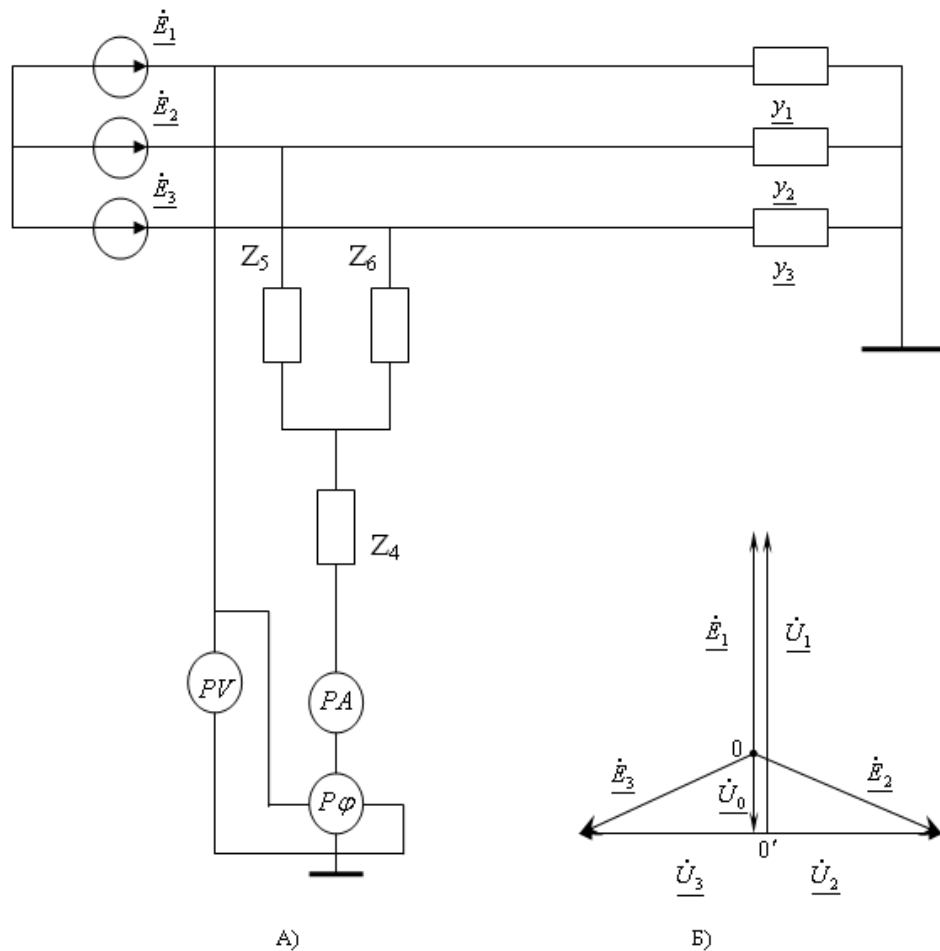


Рисунок 1.8 – Розрахункова схема методу – а) ; б) – векторна діаграма напруг коли досліджується перша фаза

В методі напруга зміщення нейтралі визначається як

$$\dot{U}_0 = U_\Phi = \frac{\underline{Y}_1 + a^2(\underline{Y}_2 + \underline{Y}_d) + a(\underline{Y}_3 + \underline{Y}_d)}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + 2\underline{Y}_d}, \quad (1.25)$$

$$\text{де } \underline{Y}_d = \frac{1}{\underline{Z}_4 + \frac{\underline{Z}_5 \underline{Z}_6}{\underline{Z}_5 + \underline{Z}_6}}.$$

$$\text{Якщо вважати } \underline{Z}_4 = r_d + j\omega L, \text{ а } \underline{Z}_5 = \underline{Z}_6 = -\frac{j}{\omega C}, \text{ то } \underline{Y}_d = \frac{1}{r_{др} + j\omega L - \frac{j}{2\omega C}}.$$

Параметри дроселя Z_4 і конденсаторів можна підібрати так, щоб $\omega L = 1/2\omega C$, $r_{др} \rightarrow 0$, тоді $\underline{Y} \rightarrow \infty$ і (1.26) буде мати вигляд

$$\dot{U}_0 = -U_\Phi / 2. \quad (1.26)$$

врахуваючи (1.26) визначемо комплекси напруги фази мережі відносно землі

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_1 - \dot{U}_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\text{л}}; \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - \dot{U}_0 = \frac{-j}{2} U_{\text{л}}; \\ \dot{U}_3 &= \dot{E}_3 - \dot{U}_0 = \frac{j}{2} U_{\text{л}}, \end{aligned} \right\} \quad (1.27)$$

де $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$ – е.р.с. джерела;

$U_{\text{л}}$ – лінійна напруга.

Комплексний струм в опорі Z_4 при дослідженні будь-якої фази

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_1 Y_1 + \dot{U}_2 Y_2' + \dot{U}_3 Y_3'. \quad (1.28)$$

Із рівнянь (1.27) та (1.28), знайдемо зв'язок між комплексами вимірних провідностей $\underline{Y}_{B_1}, \underline{Y}_{B_2}, \underline{Y}_{B_3}$ і активною g_k та реактивною b_k провідностями мережі.

$$\left. \begin{aligned} \underline{Y}_{B_1} &= g_1 + j \left[b - \frac{1}{\sqrt{3}} (g_2 - g_3) \right]; \\ \underline{Y}_{B_2} &= g_2 + j \left[b - \frac{1}{\sqrt{3}} (g_3 - g_1) \right]; \\ \underline{Y}_{B_3} &= g_3 + j \left[b - \frac{1}{\sqrt{3}} (g_1 - g_2) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (1.29)$$

Таким чином, активна провідність ізоляції фаз мережі відносно землі, може бути визначена за результатами вимірювання струму I_k в дроселі, напруги на досліджуваній фазі та кута зсуву φ_k між ними, тобто

$$g_k = \left(\frac{I_k}{U_k} \right) \cos \varphi_k = |\underline{Y}_{B_k}| \cos \varphi_k, \quad (1.30)$$

а реактивна провідність мережі відносно землі

$$b_0 = \left(\frac{I_1}{U_1} \right) \sin \varphi_1 + \left(\frac{I_2}{U_2} \right) \sin \varphi_2 + \left(\frac{I_3}{U_3} \right) \sin \varphi_3. \quad (1.31)$$

Перевагою методу є те, що він дозволяє контролювати параметри ізоляції кожної фази РМ відносно землі шляхом проведення безпосередніх вимірювань, що співпадають у часі.

1.4 Висновки по розділу

1. Підвищити рівень надійності, безпеки та ефективності експлуатації РМ можно шляхом неперервного контролю роботоздатності її ізоляції відносно землі.

2. Основна причина зміни ТС ізоляції РМ є руйнівний вплив зовнішнього середовища та експлуатаційного навантаження різної природи. Результати досліджень експлуатації РМ показали ,що самою ненадійною є мережа з повітряною ЛЕП. Руйнівний вплив зовнішнього середовища зумовлений виникненням пошкоджень ізоляторів повітряних ЛЕП, забруднення їх поверхні з одночасним зволоження, 60-90% від загальної кількості пошкоджень пов'язана із зміною технічного стану ізоляції окремих елементів відносно землі.

3. Серед методів контролю ізоляції достатньо ефективним є метод накладання постійного струму і використання енергії попередньо зарядженого конденсатора,але загальний активний опір ізоляції відносно землі не може давати чіткої картини про розвиток пошкодження. для цього необхідно контролювати активний опір ізоляції кожної фази відносно землі. Найбільш ефективним методом періодичного контролю ТС ізоляції кожної фази відносно землі є використання режиму зміщення нейтралі мережі на середину вектора лінійної напруги в разі випробовування однієї з фаз.

Напрямки подальших досліджень:

1. Теоретичне обґрунтування і розробка принципу і методу визначення роботоздатності ізоляції.

2. Вдосконалення методів неперервного і періодичного контролю ізоляції для підвищення чутливості до зміни технічного стану параметрів ізоляції кожної фази відносно землі в мережах 6-10 кВ .

3. Технічна реалізація методів неперервного та періодичного контролю ізоляції у вигляді пристроїв та систем контролю ТС і роботоздатності ізоляції РМ.

4. Необхідно створити діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж змінного струму.

2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗ ПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

2.1 Вибір сукупності контрольованих показників для визначення умов роботоздатності ізоляції розподільчої мережі

Задача визначення роботоздатності ізоляції РМ в умовах експлуатації є складною тому, що не існує кількісних методів оцінки впливу факторів, що погіршують стан ізоляції. Технічний стан ізоляції погіршується із-за процесів старіння, зволоження, забруднення (зовнішнє середовище), механічні впливи, перенапруги і т.п., тому для визначення технічного стану ізоляції на практиці використовують її електричні показники: тангенс кута діелектричних втрат, загальний активний опір мережі відносно землі, струм і напругу нульової послідовності, провідності фаз мережі відносно землі. Визначення роботоздатності ізоляції шляхом аналізу зміни цілої групи параметрів це вже задача великої розмірності, тому намагаються зменшити їх кількість. Якщо умови роботоздатності задані в формі обмежень на переміщення полюсів і нулів передавальної функції, можна упорядкувати показники, які характеризують стан об'єкта за ступенем їх впливу на положення полюсів та нулів на комплексній площині.

Для упорядкування показників можна використати вектор відносних чутливостей $T_{\lambda_p} = (t_{1p}, t_{2p}, \dots, t_{np})$. Його компоненти для простих векторів визначаються як [14]

$$t_{kp} = \left| \frac{1}{R_0 x_k^0} \cdot \frac{\partial F / \partial \lambda_p}{\partial F / \partial x_k} \cdot (x_k^0, \lambda_0) \right| \quad (k = 1 \dots n). \quad (2.1)$$

Упорядкування показників здійснюється за формулою норми векторів

$$\|T_{\lambda_p}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2}. \quad (2.2)$$

При цьому вважається, що $\lambda_p \geq \lambda_m$, якщо $T_{\lambda_p} \geq T_{\lambda_m}$.

Здійснивши повне упорядкування показників можна вибрати сукупність контрольованих показників.

Перевірка кожного показника зменшує ступінь невизначеності і дає певну інформацію про стан об'єкта. Оцінивши об'єм інформації, яку дає кожний показник, можна визначити ймовірність $P(v)$ правильної оцінки дійсного стану об'єкта, яка досягається при здійсненні вибраної категорії перевірок. При визначенні $P(v)$ враховують два фактори: вагу кожного показника в оцінці ТС (надають найбільшу вагу тому показнику, який найсуттєвіше впливає на роботоздатність об'єкта або навпаки, який є найбільш чутливим до змін, що відбуваються в об'єкті); технічну реалізацію об'єкта, тобто тип елементів, із яких складається об'єкт, та спосіб їх з'єднання. В останньому випадку кожен об'єкт може характеризуватись ймовірністю безвідмовної роботи P_i елементів вузлів, що визначають формування показників. Ймовірність можна визначити як [14]

$$P(v) = \frac{\sum_{i=1}^m k_i S_i z_i}{\sum_{i=1}^n k_i S_i z_i}, \quad (2.3)$$

де m , n — відповідно, кількість контрольованих показників та загальна кількість показників, які характеризують роботоздатність об'єкта;

$k_i = \frac{1}{P_i}$ — коефіцієнт, який враховує безвідмовність при технічній

реалізації i -го показника;

S_i — чутливість i -го показника;

z — індекс i -го показника.

Знаючи $P(v)$ можна визначити міру невизначеності $H(\alpha)$ стану об'єкта, яка залишається при контролі обмеженої сукупності показників, що характеризують технічний стан. Можна також визначити інформацію $I(\alpha_i, \alpha)$ про дійсний стан об'єкта, яку ми отримуємо при здійсненні перевірки або сукупності перевірок та розрахувати її як середнє значення випадкової величини. Наприклад, перед початком оцінювання роботоздатності об'єкт характеризується невизначеністю (ентропією)

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i = \log_2 n, \dots \dots \dots (2.4)$$

де n — загальна кількість показників, що визначають технічний стан об'єкта.

Використання m показників несе інформацію

$$I(m) = H - H(m),$$

де $H(m) = P(v) \cdot \log_2 P(v) + (1 - P(v)) \cdot \log_2 (1 - P(v))$ — умовна ентропія після здійснення перевірки.

Рекомендується використовувати таку сукупність показників, яка має $P(v) > 0,5$.

Результати досліджень показали, що ємності фаз мережі відносно землі C_a, C_b, C_c залежать від конструктивних параметрів мережі (її загальної протяжності і конструкції опор), і тому їх величини можна вважати постійними. В процесі зволоження поверхні ізоляторів спостерігається незначне зростання загальної ємності мережі, але активні провідності ізоляції фаз відносно землі g_a, g_b, g_c можуть змінюватись в широкому діапазоні і суттєво впливає на технічний стан ізоляції. Основною причиною цього є

виникнення шунтувальних зв'язків між фазами мережі і землею [3]. На рис.2.1. показано розрахункову схему РМ з ізолюваною нейтраллю для аналізу зміни технічного стану ізоляції відносно відносно землі.

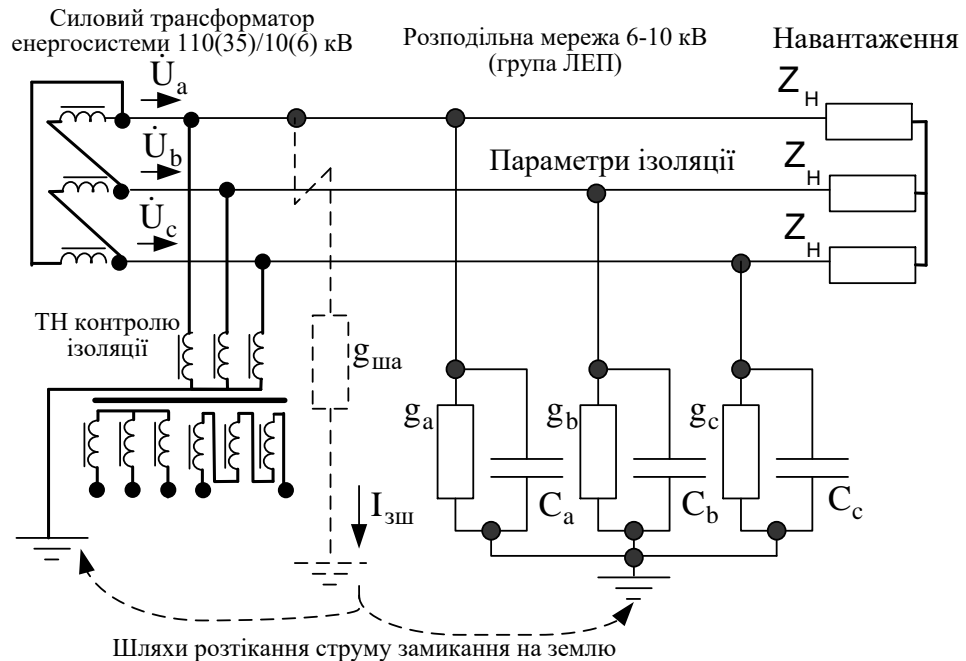


Рисунок 2.1 - Спрощена заступна схема розподільної мережі з ізолюваною нейтраллю

При зміні технічного стану розрізняти два процеси: симетричне підвищення активних провідностей ізоляції фаз відносно землі внаслідок зволоження і забруднення поверхні ізоляторів; підвищення активної провідності окремої фази відносно землі внаслідок появи в них шунтувальних зв'язків із землею.

Для оцінювання технічного стану можна використати такі показники за результатами вимірювання : тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$, напруга зміщення нейтралі U_0 , загальний активний опір мережі відносно землі R_0 , загальний струм стікання на землю I_{30} , втрати потужності в ізоляції від струмів стікання на землю ΔP_{i3} .

В даній роботі запропоновано оцінювати роботоздатність ізоляції за інтегральним критерієм, який розраховується за критерієм електробезпеки експлуатації, та втрати потужності ізоляції від струмів стікання на землю.

“Згідно з даним існуючого Державного Стандарту [43] (ГОСТ 12.1038-82 при визначенні критерію безпеки експлуатації стандартом:» обмежується струм, що може протікати через тіло людини, величиною 6 мА в мережах, де тривалість дії захисту від однофазних замикань на землю (ОЗЗ) перевищує 1с; при вимірюванні напруги дотику і струму через тіло людини при частоті 50 Гц, тіло людини в електричному ланцюзі моделюється резистором з опором: при тривалості дії захисту від ОЗЗ до 1 с – 1 кОм, більше 1 с – 6 кОм.»

Вище наведені показники технічного стану, не можуть оцінити рівень безпеки експлуатації ізоляції РМ, тому необхідно визначити показник технічного стану, який тісно пов'язаний із процесом пошкодження ізоляції і струмом через тіло людини, що виникає при цьому. Це може бути струм в шунтувальному зв'язку $I_{зш}$, який утворює людина при її дотику до струмопровідних частин обладнання в місці пошкодження ізоляції [94].

З другого боку, мірою економічності функціонування розподільних мереж є втрати від струмів стікання на землю при передачі електроенергії. Охарактеристикою миттєвих втрат електроенергії є їх потужність ΔP ., яку можна обґрунтовано вважати мірою економічності функціонування ізоляції РМ і, відповідно, показником її роботоздатності при застосуванні даного критерію.

Значення втрат електроенергії від струмів стікання на землю можна визначити за рівнянням:

$$\Delta P_{i3\Sigma} = \Delta P_{i3A} + \Delta P_{i3B} + \Delta P_{i3C} = U_A^2 \cdot g_a + U_B^2 \cdot g_b + U_C^2 \cdot g_c \quad (2.5)$$

Потужності втрат в ізоляції $\Delta P_{i3\Sigma}$ порівнюють з нормативним $\Delta P_{i3}^{\text{норм}}$, яке можна розрахувати. Для цього потрібно мати технічні дані про мережу, такі як тип ПЛ чи КЛ, загальну довжину L, номінальну напругу та переважаючу марку кабелів. Використовуючи методику, викладено в [95], отримаємо

$$\Delta P_{i3\Sigma} \leq \Delta P_{i3}^{\text{норм}} \quad (2.6)$$

Для кожної фази окремо

$$\Delta P_{\text{ізА}} \leq \Delta P_{\text{із}}^{\text{норм}} / 3; \Delta P_{\text{ізВ}} \leq \Delta P_{\text{із}}^{\text{норм}} / 3; \Delta P_{\text{ізС}} \leq \Delta P_{\text{із}}^{\text{норм}} / 3 \quad (2.7)$$

Для можливих станів навколишнього середовища нормативну потужність втрат в ізоляції можна визначити за методикою [95].

2.2 Побудова діагностичної моделі для визначення умов роботоздатності ізоляції розподільчої мережі змінного струму

На рис. 2.2 зображено функціональна схема РМ-об'єкта дослідження. Необхідно побудувати діагностичну модель для визначення умов роботи здатності ізоляції РМ.

Для побудови моделі з порушенням розглянемо заступну схему, яка зображена на рис.2.3.

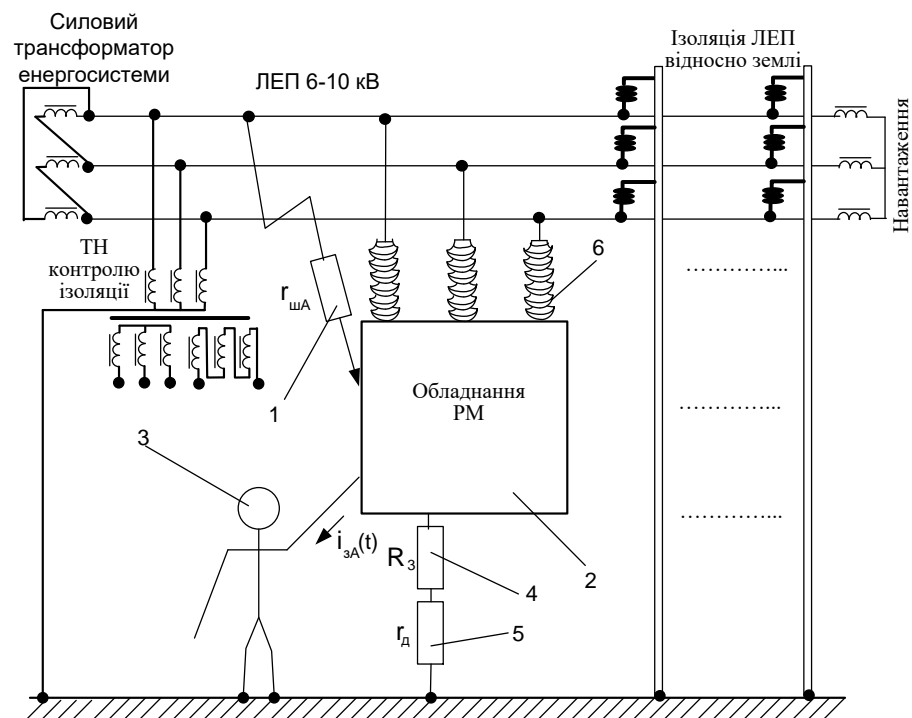


Рисунок 2.2 - Модель виникнення пошкодження ізоляції ; 1 – шунтувальний зв'язок; 2 – металічні конструкції електрообладнання (корпус, арматура і т.п.); 3 – людина; 4 – опір заземлюючого пристрою; 5 – додатковий перехідний опір заземлення; 6 – ізоляція РМ.

Заступна схема мережі, зображена на рис.2.3 На рис.2.3 r_A, r_B, r_C – активні опори ізоляції фаз РМ; C_A, C_B, C_C – ємності окремих фаз відносно землі, r_1, L_1 – параметри заступної схеми ТН контролю ізоляції; Z_H – еквівалентний повний опір навантаження (на характер протікання струмів ОЗЗ не впливає); r_L – опір тіла людини, рівний 6 кОм (згідно [43]); R_3 – опір заземлюючого пристрою, (згідно [89] не повинен перевищувати 10 Ом для мереж 6-10 кВ); r_d – додатковий перехідний опір заземлення.

Будемо розглядати випадок, коли дотик людини відбувається до заземлених частин електроустановки в фазі А. В процесі дослідження об'єкт не переходить з одного стану в інший. Ймовірність пошкодження ізоляції фаз однакова. Опір електричної дуги в місці замикання близький до нуля. Замикання фази А; утворює шунтувальний зв'язок, по якому починає протікати струм стікання на землю $I_3(t)$, який в свою чергу викликає окислення ґрунту в місці стікання струму на землю через заземлення

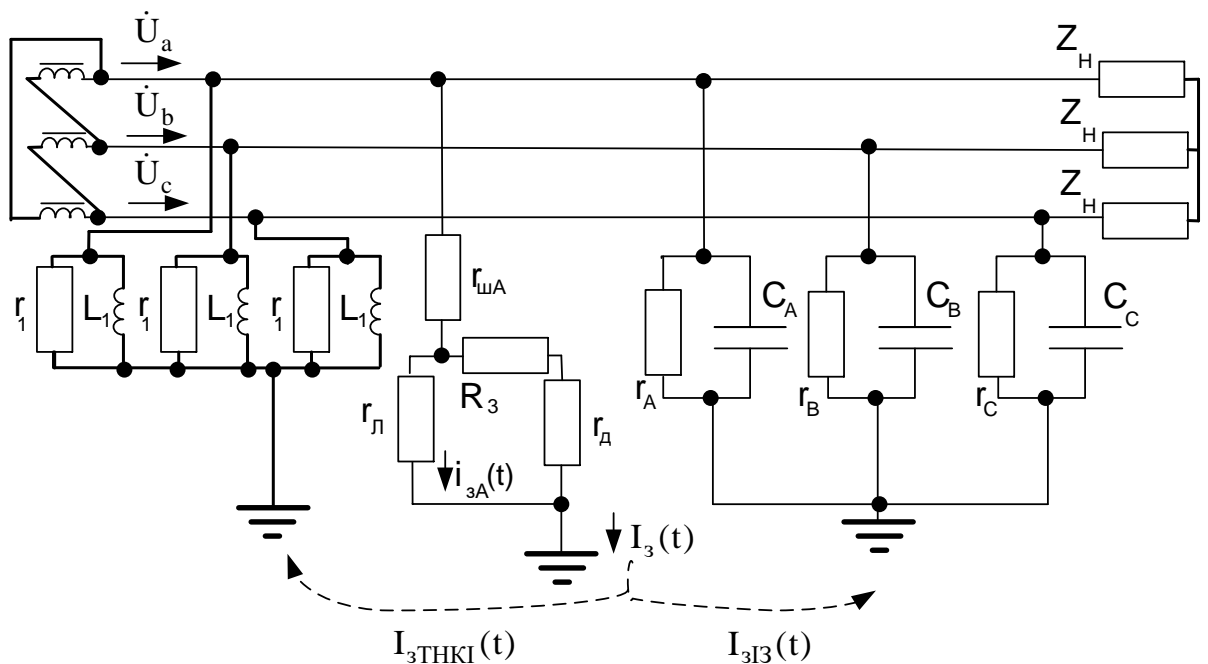


Рисунок 2.3 - Заступна схема для опису процесу виникнення шунтувального зв'язку в РМ і дотику людини до заземлених елементів електроустановки

і це приводить до виникнення додаткового перехідного опору в заземленні r_d та появи на заземлених металевих частинах обладнання небезпечного потенціалу.

Як доведено в [77] додатковий перехідний опір заземлення r_d приймає значення, обмежені величиною 100 Ом. По тілу людини починає протікати струм $I_{зА}(t)$, який згідно вимог до електробезпеки не повинен перевищувати 6 мА. і може бути визначений як

$$\begin{aligned} I_{зА} &= U_A \frac{g_{шА} \cdot g_l}{g_{шА} + g_l + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ А}; \\ I_{зВ} &= U_B \frac{g_{шВ} \cdot g_l}{g_{шВ} + g_l + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ А}; \\ I_{зС} &= U_C \frac{g_{шС} \cdot g_l}{g_{шС} + g_l + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ А}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

де U_A, U_B, U_C – напруги фаз А, В і С відносно землі (діючі значення);

$g_{шА}, g_{шВ}, g_{шС}$ – провідності шунтувальних зв'язків при виникненні пошкодження у відповідних фазах;

g_l – провідність тіла людини, рівна $g_l = 1/r_l = 1/(6 \cdot 10^3) \text{ См}$;

g_3 – провідність заземлення, що визначається як $g_3 = 1/R_3 + 1/r_d$, де R_3 – номінальний опір заземлюючого пристрою, який для даного типу мереж не повинен перевищувати 10 Ом,

r_d – додатковий перехідний опір заземлення обмежений величиною 100 Ом.

Для визначення провідностей шунтувальних зв'язків для різних варіантів їх виникнення у фазах $g_{шА}, g_{шВ}, g_{шС}$ по попередньо шляхом вимірювання визначають активний опір ізоляції фаз відносно землі в початковий момент часу ($r_{А0}, r_{В0}, r_{С0}$), наприклад, після введення в експлуатацію електроустановки або її поточного ремонту, а потім визначають ці опори в любий момент часу (r_A, r_B, r_C) і подальшого їх порівняння з початковими значеннями за формулами:

$$\begin{aligned} g_{шA} &= 1/r_A - 1/r_{A0} - 1/r_s ; g_{шB} = 1/r_B - 1/r_{B0} - 1/r_s ; \\ g_{шC} &= 1/r_C - 1/r_{C0} - 1/r_s , \end{aligned} \quad (2.9)$$

де r_s – симетричне зниження опору ізоляції відносно землі внаслідок зволоження поверхні ізоляторів під час атмосферних опадів, яке можна визначити за формулою:

$$r_s = \text{Min}((r_{A0} - r_A); (r_{B0} - r_B); (r_{C0} - r_C)) \quad (2.10)$$

Використання значення струму в шунтувальному зв'язку в якості показника технічного стану ізоляції дозволяє обмежити множину роботоздатних станів ізоляції, виходячи з умов безпечної експлуатації обладнання. Значення напруги в фазах відносно землі також залежать від параметрів ізоляції:

$$\begin{aligned} U_A &= \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \cdot \\ &\quad \cdot \sqrt{\left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_c - C_b) \right]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2} ; \\ U_B &= \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \cdot \\ &\quad \cdot \sqrt{\left[g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_a - C_c) \right]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2} \\ U_C &= \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \cdot \\ &\quad \cdot \sqrt{\left[g_a + g_b + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_b - C_a) \right]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_b) - \frac{2B_L}{3} \right]^2} \end{aligned} \quad (2.11)$$

де U_f – фазна напруга розподільної мережі;

ω – кутова частота РМ;

C_a, C_b, C_c – ємності фаз мережі відносно землі;

g_a, g_b, g_c – активні провідності фаз мережі відносно землі;

B_L – сумарна реактивна провідність всіх індуктивних елементів, підключених до РМ відносно землі (обмоток трансформаторів напруги для

контролю ізоляції типу ЗНОМ і НТМИ, а також дугогасильних реакторів ДГР і пристроїв для резонансного заземлення нейтралі) індуктивності обмоток ТНКИ.

$$B_L = \frac{3}{\omega \cdot (L_{ТНКИ\Sigma} + L_{ДГР} + L_{ПРЗН})}.$$

Після підстановки (2.8) у вирази умов роботоздатності ізоляції (2.12) і (2.5) у (2.13) отримаємо вирази для математичної моделі визначення роботоздатності ізоляції при застосуванні вище запропонованих критеріїв.

При застосуванні критерію безпеки експлуатації математична модель для визначення роботоздатності ізоляції має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{зА} = \frac{g_{шА} \cdot g_{л}}{g_{шА} + g_{л} + g_{з}} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \cdot \sqrt{\left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_c - C_b) \right]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}; \\ I_{зВ} = \frac{g_{шВ} \cdot g_{л}}{g_{шВ} + g_{л} + g_{з}} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \cdot \sqrt{\left[g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_a - C_c) \right]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}; \\ I_{зС} = \frac{g_{шС} \cdot g_{л}}{g_{шС} + g_{л} + g_{з}} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \cdot \sqrt{\left[g_a + g_b + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_b - C_a) \right]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_b) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}. \end{array} \right. \quad (2.12)$$

При застосуванні критерію економічності функціонування математична модель для визначення працездатності ізоляції матиме наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \Delta P_{i3A} &= \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_a}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2} \cdot \left[\left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_c - C_b) \right]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right]; \\
 \Delta P_{i3B} &= \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_b}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2} \cdot \left[\left[g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_a - C_c) \right]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right]; \\
 \Delta P_{i3C} &= \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_c}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2} \cdot \left[\left[g_a + g_b + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_b - C_a) \right]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_b) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right].
 \end{aligned} \right.$$

(2.13)

Відобразимо діагностичні моделі визначення умов роботоздатності за вибраними критеріями у вигляді чотирьох полюсників (рис.2.4)

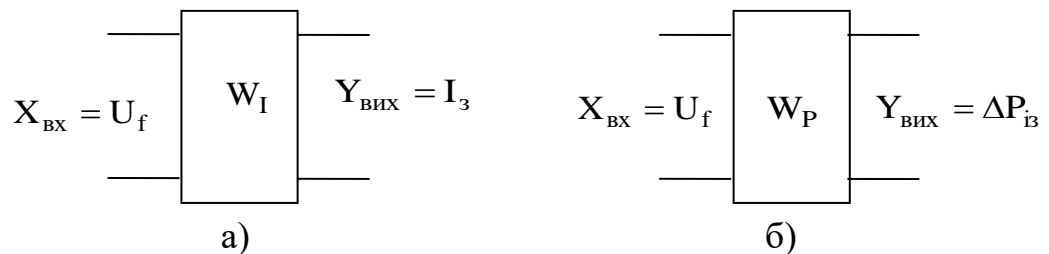


Рисунок 2.4 - Діагностична модель для визначення роботоздатності ізоляції; а) – при застосуванні критерію безпеки експлуатації; б) – при застосуванні критерію економічності функціонування; на схемі W_I , W_P відповідно передатна функція при застосуванні в якості вихідного сигналу струму в шунтувальному зв'язку та потужності втрат електроенергії від струмів стікання на землю.

Підставивши значення вхідного сигналу (2.11) та вихідного сигналу (2.8), отримаємо вираз для передатної функції W_I та W_P , так як і струм в

шунтувальному зв'язку, і потужність втрат електроенергії від струмів стікання на землю залежать від напруг фаз мережі відносно землі, то

$$W_I = |W(i\omega)| \cdot \frac{g_{шX} \cdot g_L}{g_{шX} + g_L + g_3}; \quad W_P = |W(i\omega)|^2 \cdot g_x, \quad (2.1.4)$$

де x – відповідна фаза мережі;

$W(i\omega)$ – комплекс передатної функції, при якій в якості вихідного сигналу використовується напруга фази x мережі відносно землі.

Для визначення умов роботоздатності ізоляції мережі, в якості діагностичної моделі використаємо знаменник передаточної функції $W(i\omega)$. (характеристичного рівняння).

Для рішення поставленої задачі визначимо комплекси передатних функцій при розгляді різних фаз мережі за рівнянням

$$W_X(i\omega) = \frac{\dot{U}_X}{U_f}.$$

Для спрощення рішення задачі, будемо вважати, що в мережі з ізолюваною нейтраллю, відсутні індуктивні елементи, що мають зв'язок із землею, а тому $B_L=0$ і тому

$$\begin{aligned} W_A(i\omega) &= \frac{\sqrt{3} \cdot \left[(g_b + i\omega \cdot C_b) \cdot e^{i30^\circ} + (g_c + i\omega \cdot C_c) \cdot e^{-i30^\circ} \right]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega \cdot (C_a + C_b + C_c)}; \\ W_B(i\omega) &= \frac{\sqrt{3} \cdot \left[(g_c + i\omega \cdot C_c) \cdot e^{i30^\circ} + (g_a + i\omega \cdot C_a) \cdot e^{-i30^\circ} \right]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega \cdot (C_a + C_b + C_c)}; \quad (2.15) \\ W_C(i\omega) &= \frac{\sqrt{3} \cdot \left[(g_a + i\omega \cdot C_a) \cdot e^{i30^\circ} + (g_b + i\omega \cdot C_b) \cdot e^{-i30^\circ} \right]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega \cdot (C_a + C_b + C_c)}. \end{aligned}$$

Для системи (2.15) запишемо передатну функцію в операторній формі запису, тоді отримаємо

$$W(p) = \frac{\sqrt{3} \cdot (a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0)}{(g_a + g_b + g_c)^2 + \omega^2 \cdot (C_a + C_b + C_c)^2}, \quad (2.16)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти характеристичного рівняння,

прирівняти чисельник виразу (2.61) до нуля

$$a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0 = 0 \quad (2.17)$$

Коефіцієнти характеристичного рівняння для фази А:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_3 = - \left[\frac{1}{2 \cdot w} \cdot (C_b - C_c) \cdot (C_a + C_b + C_c) \right]; \\ a_2 = \frac{1}{2 \cdot w} \cdot (C_b - C_c) \cdot (g_a + g_b + g_c) - \\ \quad - \left[\frac{1}{2 \cdot w} \cdot (g_b - g_c) + \frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot (C_b + C_c) \right] \cdot (C_a + C_b + C_c); \\ a_1 = \left[\frac{1}{2 \cdot w} \cdot (g_b - g_c) + \frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot (C_b + C_c) \right] \cdot (g_a + g_b + g_c) - \\ \quad - \frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot (g_b + g_c) \cdot (C_a + C_b + C_c); \\ a_0 = \frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot (g_b + g_c) \cdot (g_a + g_b + g_c). \end{array} \right. \quad (2.18)$$

Коефіцієнти характеристичного рівняння для фаз В і С є аналогічними виразам (2.18) з тією лише різницею, що замість множників $(g_b \pm g_c)$ і $(C_b \pm C_c)$ для фази В будуть множники $(g_c \pm g_a)$ і $(C_c \pm C_a)$, а для фази С – $(g_a \pm g_b)$ і $(C_a \pm C_b)$.

2.3 Оцінювання адекватності побудованої моделі визначення умов роботоздатності ізоляції розподільчої мережі

Для дослідження адекватності побудованої моделі, проведемо дослідження чутливості коренів характеристичного рівняння (2.18) до зміни діагностичних показників – активних провідностей ізоляції РМ відносно землі на прикладі реальної РМ з повітряними ЛЕП напругою 10 кВ, загальною довжиною до 70 км..

На першому кроці визначемо нормативну потужність втрат в ізоляції для всіх трьох станів навколишнього середовища згідно методики [95] за

формулою

$$\Delta P_{iz_i}^{норм} = I_{zi}^2 \cdot R_i \cdot T_i \cdot \frac{L}{100},$$

де I_{zi} – питоме квадратичне значення струму замикання на землю (приведений в табличному вигляді в [95] для повітряних РМ різних класів напруг) для відповідного і-го рівня вологості навколишнього середовища, А/100км;

R_i – питоме значення еквівалентного активного опору ізоляції відносно землі для і-го рівня вологості, Ом·100км;

T_i – тривалість за рік погоди з і-м рівнем вологості, год (із довідки гідрометеоцентру);

L – сумарна довжина РМ.

Використовуючи дані РМ отримаємо

$$\Delta P_{iz_100\%}^{норм} = 23377 \text{ Вт}; \Delta P_{iz_80-100\%}^{норм} = 17910 \text{ Вт}; \Delta P_{iz_<80\%}^{норм} = 6643 \text{ Вт}.$$

Для отримання інших кількісних характеристик введемо обмеження на досліджувані параметри.

1. Будемо вважати, що активні опори ізоляції фаз мережі відносно землі є симетричними і не перевищують $r_{A0}=r_{B0}=r_{C0}=100$ кОм, а активної провідності ізоляції фази відносно землі $g_n=10^{-5}$ См., а поточного значення її відхилення $g_i=g_n+\lambda_i$.

2. Ємності ізоляції фаз відносно землі симетричні і не перевищують $C_a=C_b=C_c=C_f=0.5$ мкФ і залишаються незмінними.

3. В процесі дослідження об'єкт. не переходить з одного стану в інший.

4.. Для умов роботоздатності (2.7) і (2.8) проведено моделювання і визначено границі зміни активних провідностей:

- для умов роботоздатності (2.8) при дослідженні впливу активної провідності фази В – $\lambda_B=5.39 \cdot 10^{-5}$; фази С – $\lambda_C=6.692 \cdot 10^{-5}$;

- для умов роботоздатності (2.7) при дослідженні впливу активної провідності

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| фази В: $\lambda_{B_100\%} = 4.118 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{B_80-100\%} = 2.992 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{B_<80\%} = 8.766 \cdot 10^{-5}$; ; | фази С: $\lambda_{C_100\%} = 4.118 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{C_80-100\%} = 2.992 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{C_<80\%} = 8.766 \cdot 10^{-5}$; ; |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

При одночасному симетричному зменшенні опорів ізоляції трьох фаз одночасно:

$$\lambda_{\text{sym_100\%}} = 2,238 \cdot 10^{-4},$$

$$\lambda_{\text{sym_80-100\%}} = 1,691 \cdot 10^{-4},$$

$$\lambda_{\text{sym_<80\%}} = 5,644 \cdot 10^{-5};$$

З урахуванням визначених умов характеристичне рівняння буде квадратичним і матиме наступні корені:

$$x_1 = \frac{g_a + g_b + g_c}{C_a + C_b + C_c} = \frac{g_n}{C_f};$$

$$x_2 = \frac{-\frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot (g_b + g_c)}{\frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot (g_b + g_c) + -\frac{1.5}{\sqrt{3}} \cdot (C_b + C_c)} = -\frac{g_n}{C_f}. \quad (2.19)$$

З врахуванням початкових умов, визначимо вирази характеристичного рівняння для випадків коли відбуваються відхилення g_a :

$$-3\sqrt{3} \cdot C_f^2 \cdot x^2 + \sqrt{3} \cdot C_f \cdot \lambda \cdot x + 3\sqrt{3} \cdot g_n^2 + \sqrt{3} \cdot g_n \cdot \lambda = 0. \quad (2.20)$$

відхилень g_b :

$$-\left(\frac{3C_f}{2w} \cdot \lambda + 3\sqrt{3}C_f^2\right) \cdot x^2 + \left[\left(\frac{\lambda^2}{2w}\right) + \left(\sqrt{3}C_f + \frac{3g_n}{2w} - \frac{3\sqrt{3}C_f}{2}\right) \cdot \lambda\right] \cdot x + 3\sqrt{3}g_n^2 + \frac{5\sqrt{3}g_n}{2} \cdot \lambda + \lambda^2 = 0 \quad (2.21)$$

відхилень g_c :

$$\left(\frac{3C_f}{2w} \cdot \lambda - 3\sqrt{3}C_f^2\right) \cdot x^2 + \left[\left(\frac{-\lambda^2}{2w}\right) + \left(\sqrt{3}C_f - \frac{3g_n}{2w} - \frac{3\sqrt{3}C_f}{2}\right) \cdot \lambda\right] \cdot x + 3\sqrt{3}g_n^2 + \frac{5\sqrt{3}g_n}{2} \cdot \lambda + \lambda^2 = 0 \quad (2.22)$$

Ступінь впливу чутливості полюсів до діагностичних показників і їх впорядкування за будемо здійснювати методом норми вектора відносних чутливостей [96]:

в разі відхилення g_a :

$$T_a(\lambda) = \text{const} = \sqrt{\left[\frac{\sqrt{3}C_f \cdot x_1 + \sqrt{3}g_n}{-6\sqrt{3}C_f \cdot g_n \cdot x_1}\right]^2 + \left[\frac{\sqrt{3}C_f \cdot x_2 + \sqrt{3}g_n}{6\sqrt{3}C_f \cdot g_n \cdot x_2}\right]^2}, \quad (2.23)$$

при відхиленні g_b :

$$T_b(\lambda) = \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{-3C_f}{2w}\right) \cdot x_1^2 + \left(\frac{\lambda}{w} + \frac{3g_n}{2w} - \frac{\sqrt{3}C_f}{2}\right) \cdot x_1 + 2\lambda + \frac{5\sqrt{3}g_n}{2}}{-6\sqrt{3}C_f \cdot g_n \cdot x_1}\right]^2 + \left[\frac{\left(\frac{-3C_f}{2w}\right) \cdot x_2^2 + \left(\frac{\lambda}{w} + \frac{3g_n}{2w} - \frac{\sqrt{3}C_f}{2}\right) \cdot x_2 + 2\lambda + \frac{5\sqrt{3}g_n}{2}}{6\sqrt{3}C_f \cdot g_n \cdot x_2}\right]^2}, \quad (2.24)$$

при дослідженні відхиле g_c :

$$T_c(\lambda) = \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{3C_f}{2w}\right) \cdot x_1^2 + \left(\frac{-\lambda}{w} - \frac{3g_n}{2w} - \frac{\sqrt{3}C_f}{2}\right) \cdot x_1 + 2\lambda + \frac{5\sqrt{3}g_n}{2}}{-6\sqrt{3}C_f \cdot g_n \cdot x_1}\right]^2 + \left[\frac{\left(\frac{3C_f}{2w}\right) \cdot x_2^2 + \left(\frac{-\lambda}{w} - \frac{3g_n}{2w} - \frac{\sqrt{3}C_f}{2}\right) \cdot x_2 + 2\lambda + \frac{5\sqrt{3}g_n}{2}}{6\sqrt{3}C_f \cdot g_n \cdot x_2}\right]^2}. \quad (2.25)$$

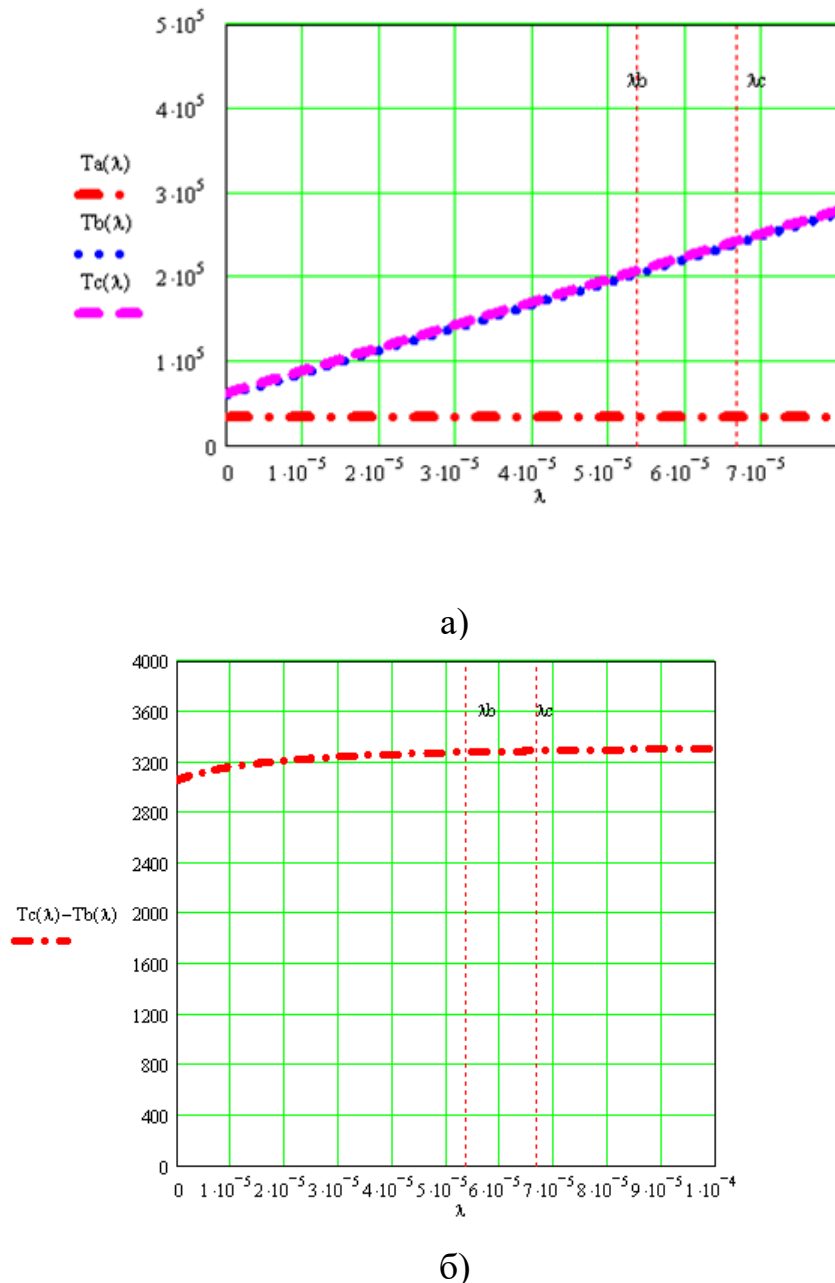


Рисунок 2.5 - Залежності норм векторів відносних чутливостей від відхилення: а – загальний графік залежностей; б – функція різниці норми чутливості до g_c і норми чутливості до g_b

Аналіз графічних залежностей рис.2.5 показав, що вплив всіх трьох провідностей фаз на полюси (корені характеристичного рівняння) має приблизно одини порядок величин, причому впливи g_c і g_b є майже однаковими, тому сукупність діагностичних показників була вибрана правильно. Необхідно контролювати усі три активні провідності фаз мережі

відносно землі I діагностична модель є адекватною. Найбільший вплив на роботоздатність ізоляції при виникненні шунтувального зв'язку в фазі А має провідність g_c і дещо меншу g_b , на рис.2.5.б представлено залежність у формі функції різниці норм векторів чутливості для фаз В і С від відхилення. На рис.2.5,б нанесені границі роботоздатності, тобто граничні відхилення активних провідностей в фазах В і С за умов виконання (2.8), вони є різними. Ця розбіжність з попередніми висновками пояснюється тим, що норма вектора чутливості не дає інформації щодо характеру впливу показника, а лише оцінює ступінь його впливу.

Слід також зауважити, що умови роботоздатності (2.7) при високих рівнях несиметрії не забезпечують однозначного виконання умов роботоздатності (2.8), але такий режим роботи РМ мало ймовірний так як спрацьовує релейний захист і забезпечується базова вимога до безпеки експлуатації

Для прикладу, з використанням параметрів конкретної мережі, побудуємо залежності умов виконання роботоздатності від зміни параметрів. Використано такі допущення та вхідні дані.

Ємність фаз мережі відносно землі однакові, одночасно можуть пошкоджуватись ізоляція в двох фазах, тому кількість змінних зменшується до двох, і побудову залежностей $F_{g_c = \text{const}}(g_a, g_b)$ можна проводити у тривимірному просторі.

Вхідні дані. Розглядається повітряна мережа напругою 10 кВ загальною довжиною 70 км.. Ємності крайніх фаз мережі більші від ємності середньої фази на 5% ($C_a = C_c = 0.5$ мкФ, $C_b = 0.475$ мкФ), чим враховується різна висота підвісу проводів крайніх і середньої фази ПЛЕП.. Нормативне значення потужності втрат в ізоляції від струмів стікання на землю розраховано за методикою [95] лише для двох крайніх станів вологості навколишнього середовища і складає: для опадів – 23.377 кВт, для сухої погоди – 6.642 кВт.

Початкові значення активних опорів ізоляції відносно землі рівні $r_{A0} = r_{B0}$

$=r_{C0}=100$ кОм. В результаті розвитку пошкодження в суху погоду шунтувальні зв'язки за умовами дослідження одночасно виникають у двох фазах мережі (А і В), але з різною інтенсивністю. Для випадку впливу опадів на ТС ізоляції активний опір ізоляції фаз відносно землі із-за зволоження ізоляторів знижується симетрично до величини $r_{A0}=r_{B0}=r_{C0}=20$ кОм і одночасно виникають пошкодження у двох фазах мережі (теж А і В) з різною інтенсивністю розвитку.

Для обробки результатів дослідження і графічного їх представлення використано пакет прикладних програм „MathCAD”. При аналізі залежностей, замість активних провідностей ізоляції фаз відносно землі використано активні опори ізоляції фаз відносно землі.

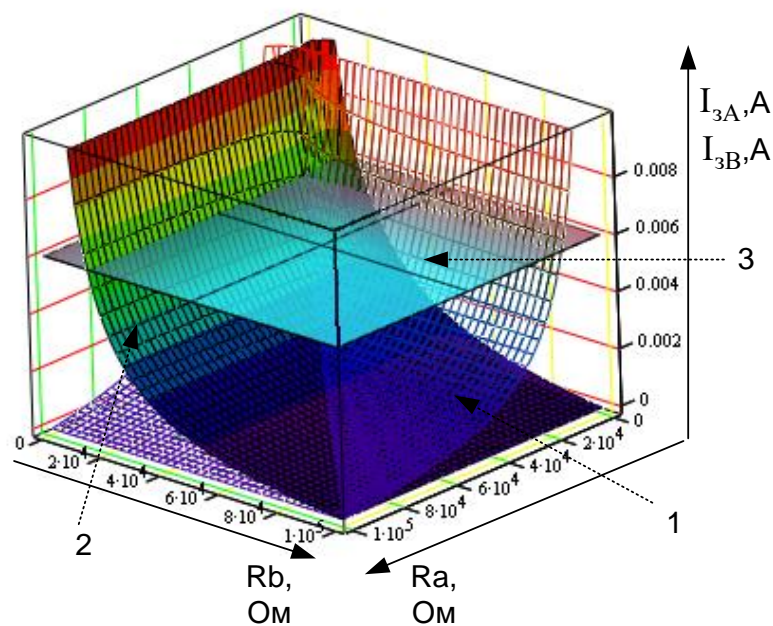


Рисунок 2.6,а - Суміщені поверхні залежностей струмів через шунтувальний зв'язок у фазах, де виникають пошкодження, від обернених величин діагностичних показників для сухої погоди, де 1 – поверхня залежності струму I_{3A} від опорів R_a і R_b , 2 – поверхня залежності струму I_{3B} від опорів R_a і R_b , 3 – границя роботоздатності ізоляції.

Аналогічно, були побудовані наступні залежності:

1. Залежності (суміщені поверхні) $I_{3A}=F(r_a, r_b)$, $I_{3B}=F(r_a, r_b)$ для сухої

погоди – рис.2.6.а, та залежність $\Delta P_{\Sigma} = F(r_a, r_b)$ для сухої погоди – рис.2.7.а, коли симетричного зниження активного опору ізоляції фаз не спостерігається.

2. Аналогічні залежності для вологої погоди з опадами, коли спостерігається симетричне зниження активного опору ізоляції фаз відносно землі: рис.2.6.б і рис.2.7.б

На рис.2.6.б побудовано дві поверхні – для вологої (зовнішня) і сухої (внутрішня) погоди. Як бачимо, вплив зволоження (симетричного зниження активного опору ізоляції відносно землі) є незначним (поверхні практично збігаються). Отже, в подальших дослідженнях впливом даного явища можна знехтувати.

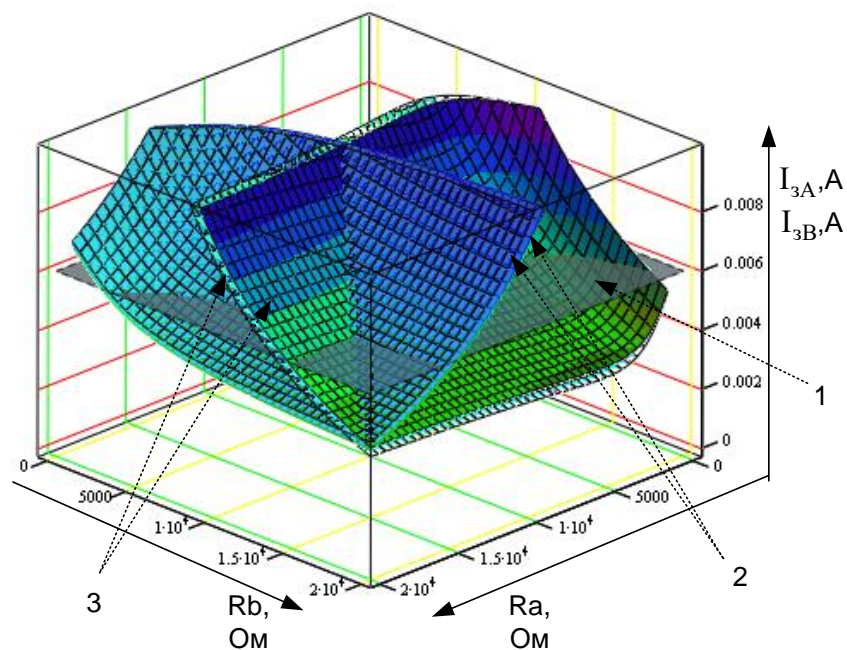


Рисунок 2.6.б - Суміщені поверхні залежностей струмів через шунтувальний зв'язок і тіло людини у фазах, де виникають пошкодження, від обернених величин діагностичних показників

де 1 – границя роботоздатності ізоляції, 2 – поверхні залежності струму I_{3A} від опорів R_a і R_b для вологої (зовнішня поверхня) і сухої (внутрішня поверхня) погоди, 3 – поверхня залежності струму I_{3B} від опорів R_a і R_b для вологої (зовнішня) і сухої (внутрішня) погоди.

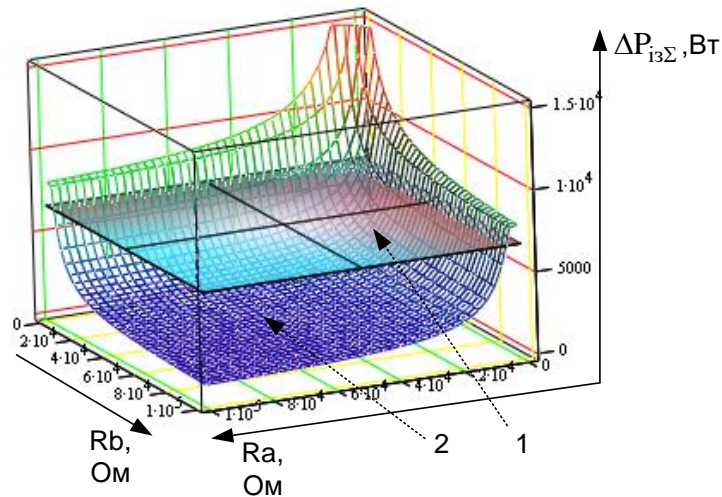


Рисунок 2.7.а - Поверхня залежності потужності втрат в ізоляції із-за струмів стікання на землю від обернених величин діагностичних показників для сухої погоди

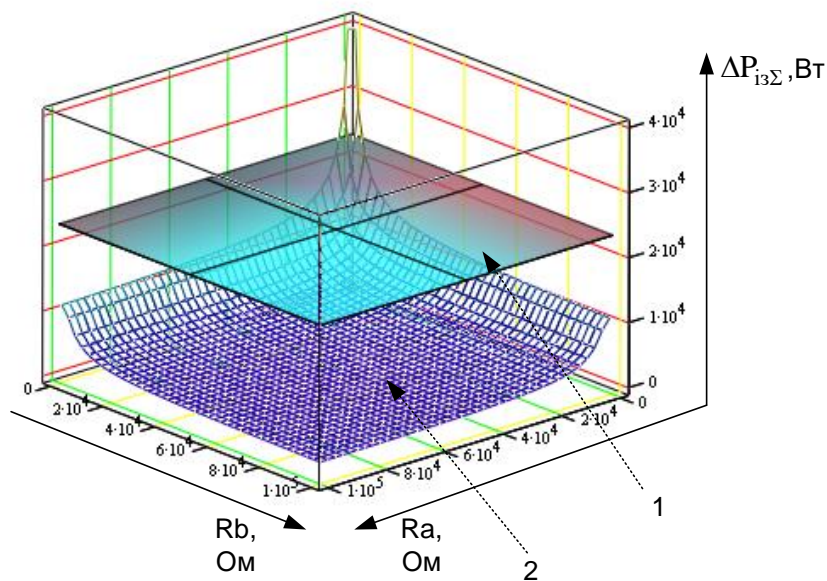


Рисунок 2.7.б - Поверхня залежності потужності втрат в ізоляції із-за струмів стікання на землю від обернених величин діагностичних показників для вологої погоди

де 1 – границя роботоздатності ізоляції; 2 – поверхня залежності $\Delta P_{из}$ від опорів R_a і R_b .

Для запропонованого методу було побудовано залежність потужності втрат в ізоляції із-за струмів стікання на землю від загального опору мережі відносно землі R_0 $\Delta P_{из} = f(R_0)$ (зображено на рис.2.8). Вважається, що

активні опори ізоляції фаз мережі відносно землі є симетричними. Дана залежність відображає діапазони зміни R_0 і вказує на границі роботоздатності ізоляції при різних рівнях вологості навколишнього середовища. Виходячи з цього, для заданої мережі визначена можливість накладати обмеження на зміну R_0 при симетричному зниженні опору ізоляції відносно землі для різних станів навколишнього середовища.

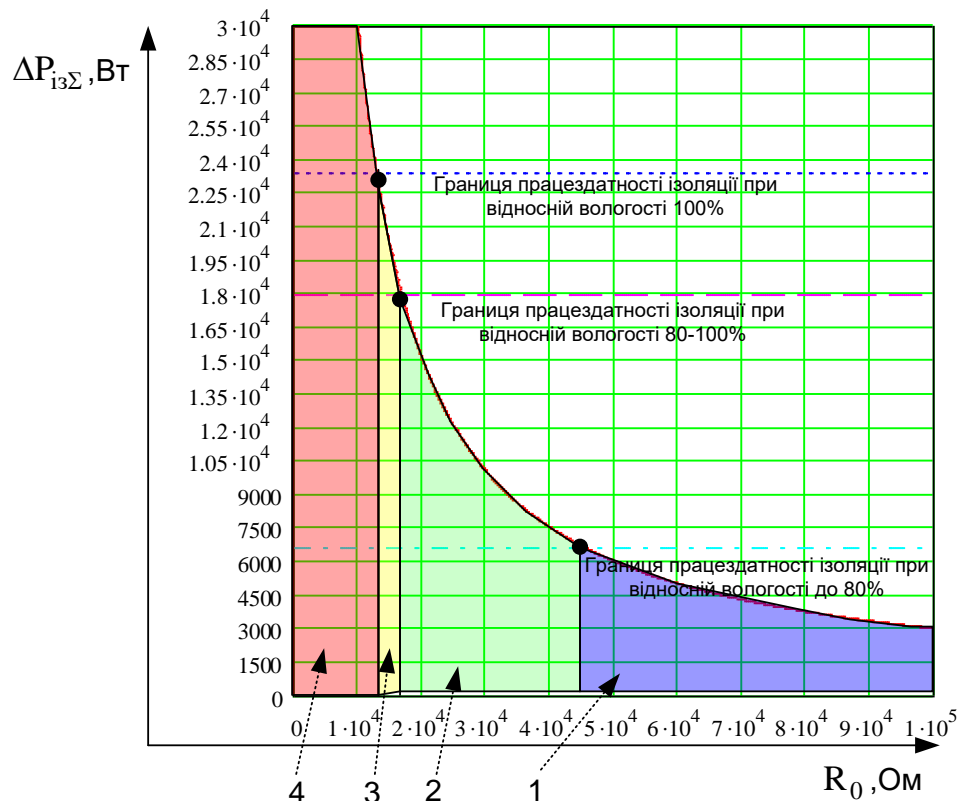


Рисунок 2.8 - Залежність потужності втрат в ізоляції із-за струмів стікання на землю від загального опору ізоляції відносно землі $\Delta P_{із} = f(R_0)$

На рис.2.8: 1 – зона роботоздатної ізоляції при рівні вологості до 80% ($45.1 \rightarrow \infty$ кОм), 2 – зона роботоздатної ізоляції при рівні вологості 80-100% ($16.7 \rightarrow 45.1$ кОм), 3 – зона роботоздатної ізоляції при рівні вологості 100% ($12.8, 6.7$ кОм), 4 – зона нероботоздатної ізоляції ($0 \rightarrow 12.8$ кОм).

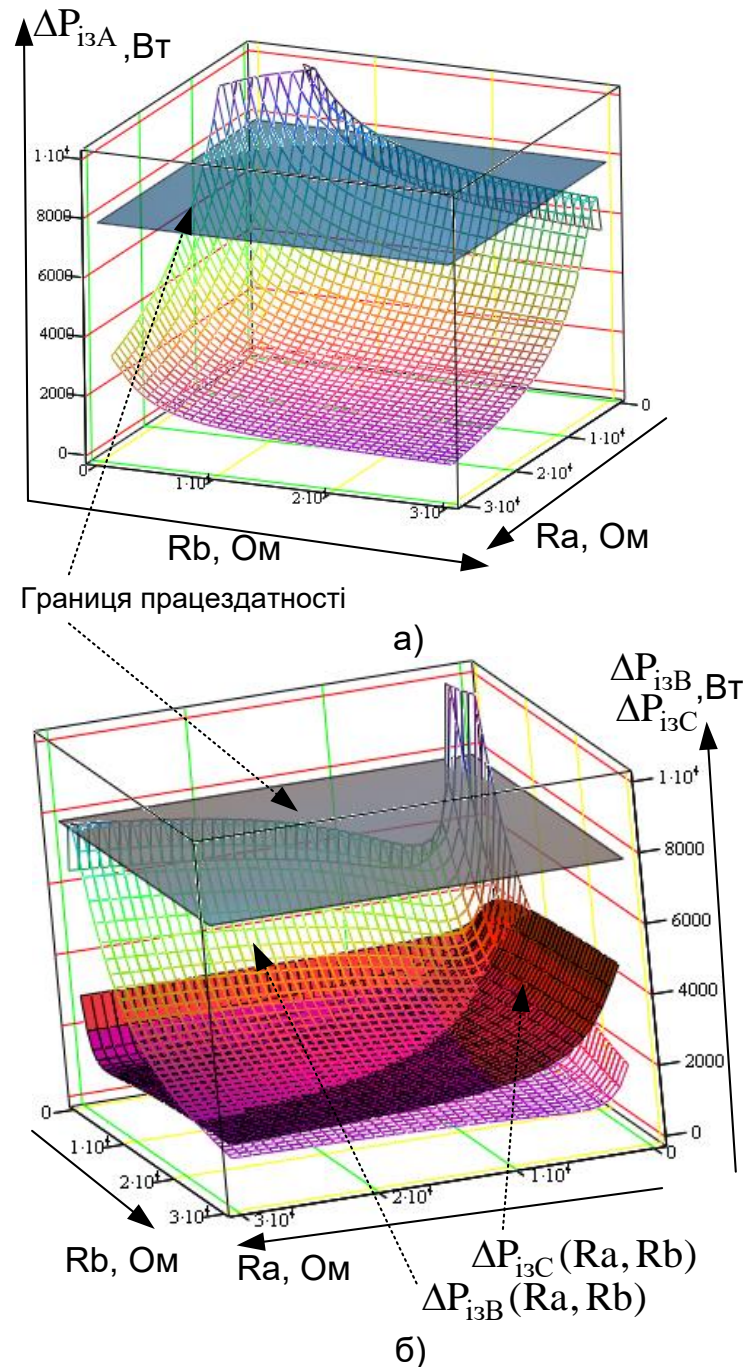


Рисунок 2.9 - Поверхні залежностей потужностей втрат електроенергії в окремих фазах із-за струмів стікання на землю від обернених величин діагностичних показників (активних опорів фаз А і В відносно землі)

При використанні умов роботоздатності (2.2.1) можна обмежувати зниження активного опору ізоляції відносно землі для окремих фаз. Для аналізу можливості розмежування станів ізоляції на роботоздатний і нероботоздатний окремих фаз побудовано залежності $\Delta P_{изА} = F(r_a, r_b)$, $\Delta P_{изВ} =$

$F(r_a, r_b)$, $\Delta P_{i3C} = F(r_a, r_b)$, які зображено на рис. 2.9.

Дослідження похибки методу визначення роботоздатності ізоляції проводилось методом обчислювального експерименту. Порівнювались моделі – узагальнена (без допущень) і розрахункова (з прийнятими допущеннями). На основі ППП MathCAD було створено обчислювальний математичний апарат і побудовано залежності відносної похибки визначення показників роботоздатності ізоляції від параметрів на які впливають зроблені допущення.

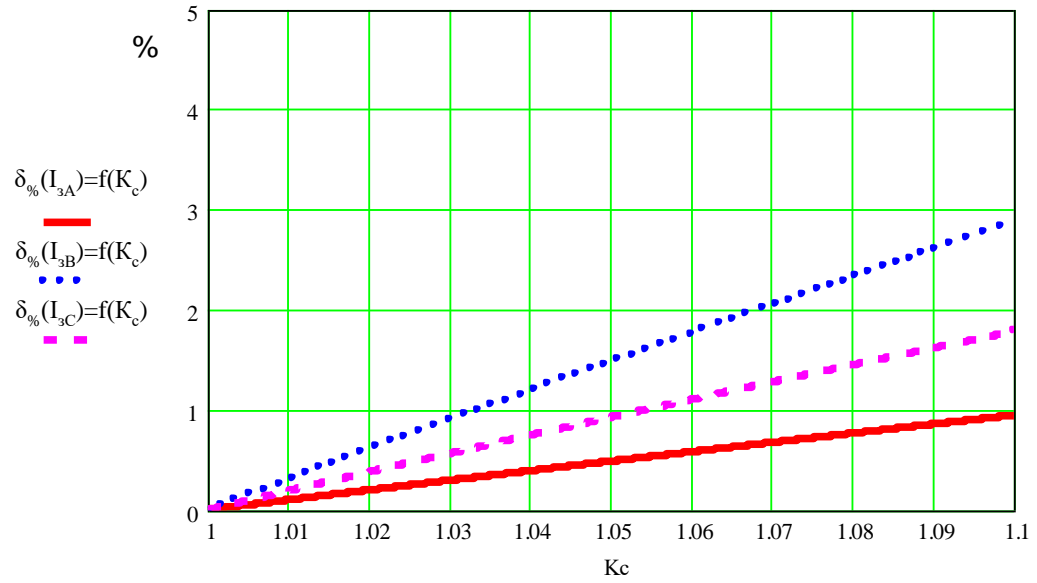
Допущення похибки про рівність ємностей окремих фаз будемо проводити, шляхом визначення залежності похибок визначення струмів і потужностей згідно математичної моделі (2.12) і (2.13) від ступеню несиметрії ємностей ізоляції відносно землі крайньої і середньої фази $K_c = C_A / C_B$.

Для цього побудуємо такі графіки залежностей

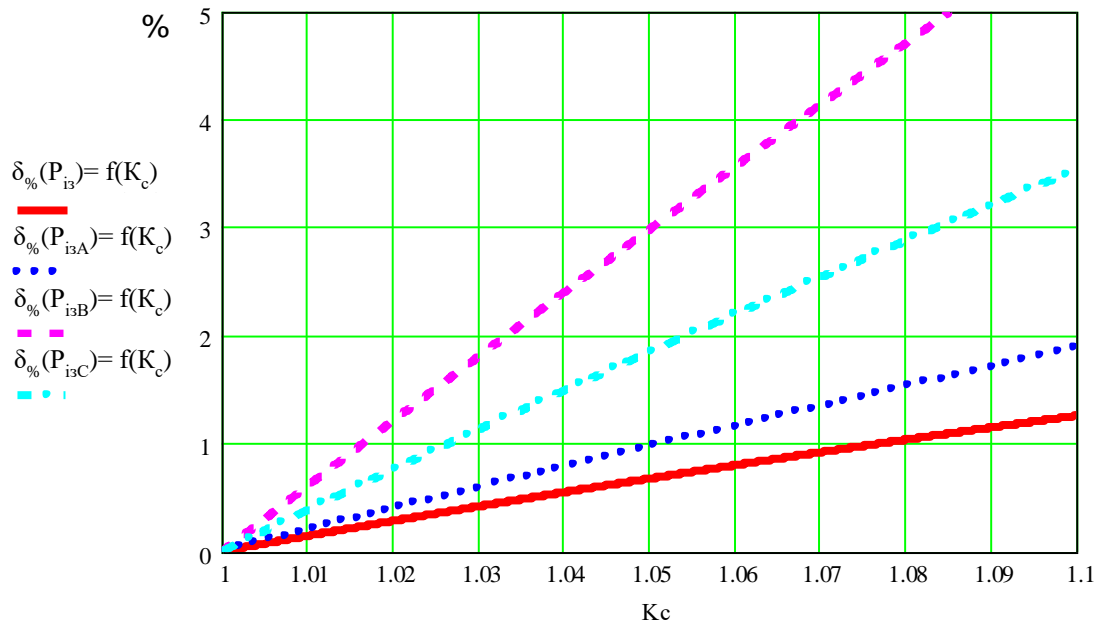
1) $\delta\%(I_{3A}) = f(K_c)$, $\delta\%(I_{3B}) = f(K_c)$, $\delta\%(I_{3C}) = f(K_c)$ для аналізу мат. моделі (2.7);

2) $\delta\%(\Delta P_{i3\Sigma}) = f(K_c)$, $\delta\%(\Delta P_{i3A}) = f(K_c)$, $\delta\%(\Delta P_{i3B}) = f(K_c)$, $\delta\%(\Delta P_{i3C}) = f(K_c)$ при виконанні таких умов: активні опори ізоляції фаз відносно землі не змінюються і складають: 10 кОм для пошкодженої фази і 20 кОм для менш пошкодженої фази, 100 кОм для непошкодженого (1); моделюється поступове збільшення K_c до величини 1.05 (2).; ємності ізоляції фаз мережі відносно землі на початковому етапі дослідження є симетричними і складають 0.5 мкФ на фазу.

При побудові будемо використовувати симетричний відносний приріст ємності δC для аналізу математичної моделі (2.13).



a)

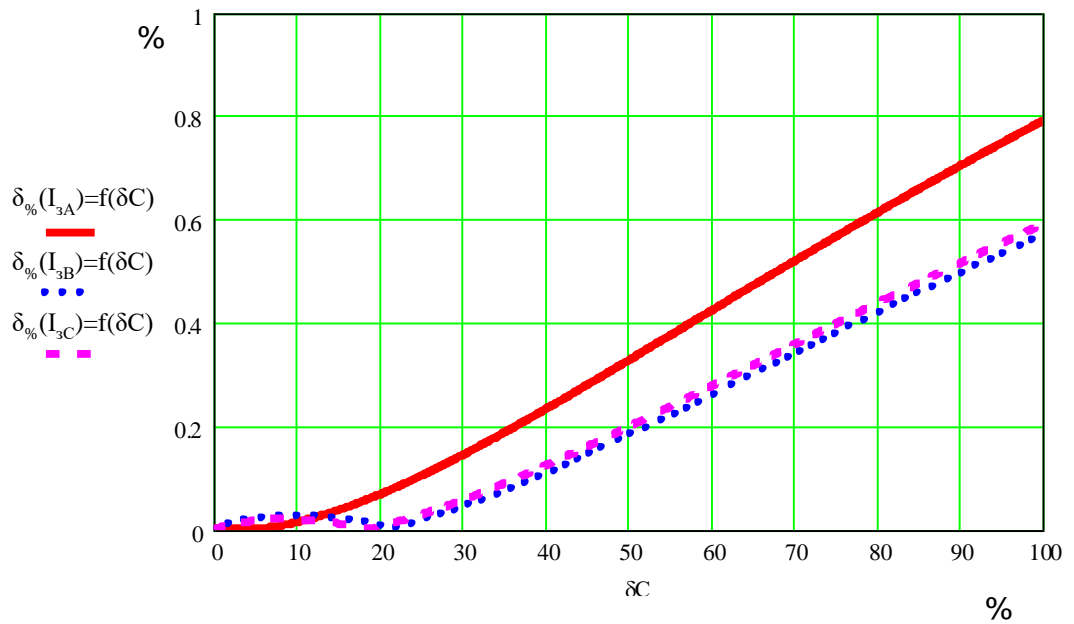


б)

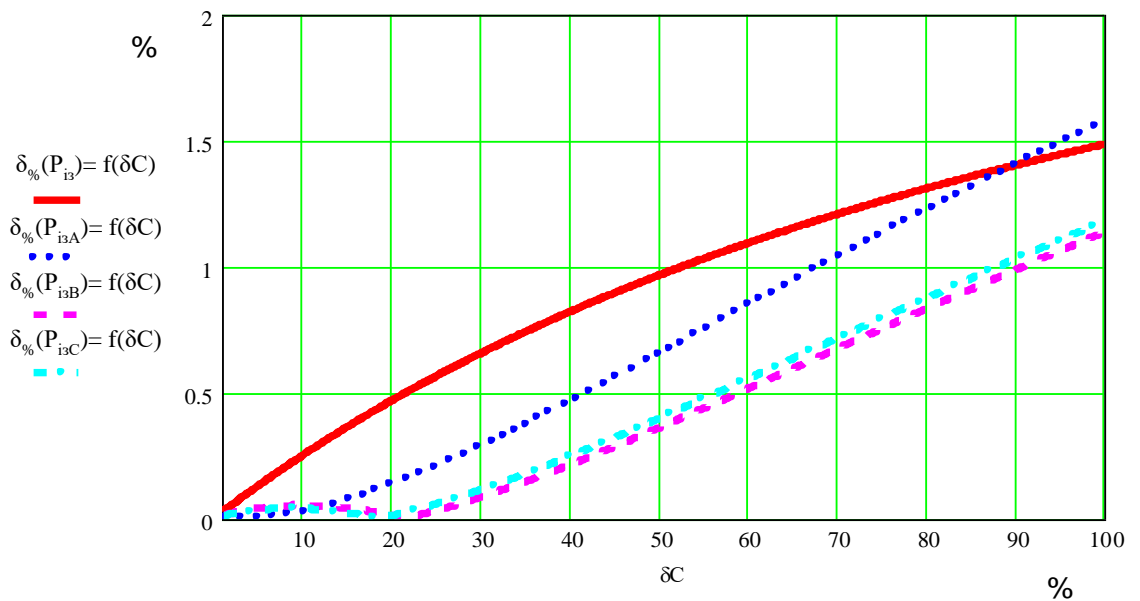
Рисунок 2.10 - Відносна похибка методу при введенні допущення (1): а) – для математичної моделі (2.12); б) – для математичної моделі (2.13)

Аналіз похибки, що виникає в результаті введення допущення постійного значення ємності мережі в процесі експлуатації будемо

проводити аналогічно.



а)



б)

Рисунок 2.11 - Відносна похибка методу при введенні допущення (2): а) – для математичної моделі (2.7); б) – для математичної моделі (2.8)

В результаті аналізу графіків залежностей, зображених на рис.2.10 і 2.11 отримано наступні висновки:

Із аналізу графіків рис.2.10,2.11 очевидно, що несиметрія ємностей

ізоляції фаз мережі відносно землі практично не впливає на результати розрахунків (максимальна похибка 4 %)

2. 4 Висновки по розділу

1. В якості критеріїв методу визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі, доцільно використовувати безпеку експлуатації електроізоляційного обладнання РМ та економічність функціонування ізоляції РМ.

2. В якості показників технічного стану ізоляції РМ слід використовувати струм в шунтувальному зв'язку, що проходить через тіло людини при її дотику до заземлених струмопровідних частин обладнання в місці виникнення пошкодження ізоляції та потужність втрат електроенергії в ізоляції від струмів стікання на землю.

3. Шляхом представлення РМ у вигляді чотириполюсника і визначення характеристичного рівняння його передатної функції, можна побудувати математичну модель (2.12) і (2.13) для реалізації запропонованого методу визначення роботоздатності ізоляції.

4. При визначенні сукупності контрольованих показників для їх ранжування по ступеню впливу на технічний стан ізоляції доцільно використовувати вектор відносних чутливостей.

5. Для зменшення кількості контрольованих показників доцільно використати такі обмеження: одночасно можуть виникнути пошкодження в двох фазах; ємності окремих фаз відносно землі однакові.

6. Використання умов роботоздатності (2.8) є достатньо ефективним способом обмежити множину роботоздатних станів при будь-якому значенні несиметрії параметрів ізоляції відносно землі, використовуючи для цього критерій безпеки експлуатації.

7. Застосування умов роботоздатності (2.12) є ефективним засобом обмеження симетричного збільшення провідності ізоляції фаз відносно землі

8 Умови роботоздатності (2.12), дозволяють обмежувати несиметричне збільшення активних провідностей ізоляції кожної з фаз мережі відносно землі, застосовуючи при цьому критерій економічності функціонування ізоляції РМ.

3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЯ ІЗОЛЯЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЇЇ РОБОТОЗДАТНОСТІ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ ЗМІННОГО СТРУМУ

3.1 Основні вимоги до методу контролю ізоляції розподільчих мереж напругою 6-10 кВ

При формулюванні вимог до методів контролю ізоляції необхідно передусім дослідити процеси пошкодження ізоляції і режими роботи мереж, які виникають при цьому, а також вплив різних відхилень від усталених режимів роботи РМ: перенапруга, несиметрія навантаження, неповнофазні режими, однофазні замикання на землю, вищі гармоніки, ферорезонанс, які зумовлюють розвиток пошкоджень ізоляції. Дослідженню таких режимів присвячено велика кількість робіт [70,78,80-89,90-93,96], а також частково розглянуто в першому та другому розділах даної роботи.

Враховуючи результати досліджень в цих роботах можна зробити наступні висновки:

1. В разі виникнення ОЗЗ через перехідний опір в одній із фаз на двох інших виникає перенапруга і пошкодження ізоляції в цих фазах мережі.

2. Якщо замикання виникає через дугу з частотою загоряння дуги більше одного періоду промислової частоти, то це також приводять до значних перенапруг і може викликати пошкодження ізоляції непошкоджених фаз мережі і подвійне замикання на землю.

3. В мережах із підключеними ТНКІ, які мають малу довжину (з малими ємнісними струмами замикання на землю) можуть виникати резонансні процеси на промисловій частоті, що призводить до виникнення перенапруг і пробоїв ізоляції.

4. Ферорезонансні процеси можуть, виникати і при дугових замиканнях на землю, вони також сприяють виникнення значних перенапруг і пошкодження ізоляції, а також обмоток ТНКІ.

Враховуючі ці аварійні режими роботи і умови експлуатації РМ можна сформулювати вимоги до проектування, виготовлення та експлуатацію засобів контролю ізоляції.

1. На стадії проектування засобам контролю потрібно надати властивість контролепридатності, відмовостійкості, технічну досконалість.

2. Методи контролю ізоляції обов'язково повинні бути пристосовані до контролю параметрів ізоляції окремих фаз РМ, так як саме така реалізація дозволяє достовірно оцінити перебіг процесів в ізоляції РМ і визначити її роботоздатність.

3. Засоби контролю ізоляції повинні забезпечити контроль як симетричного зниження активного опору ізоляції відносно землі, так і виникнення шунтувальних зв'язків ізоляції в окремих фазах.

4. Засоби контролю ізоляції повинні бути безпечні в експлуатації

5. Метод контролю ізоляції повинен забезпечити чутливість, достатню для виявлення пошкоджень ізоляції на ранній стадії його розвитку.

6. Засоби контролю ізоляції повинні мати мінімальну кількість не співпадаючих з часом вимірювань і передбачати дублювання експеримента.

Для вдосконалення методів контролю ізоляції можна використати існуючі методи, які найбільше задовольняють вище приведеним вимогам. Наприклад, в [61] запропоновано метод накладання постійного струму на контрольовану мережу і використання енергії попередньо зарядженого конденсатора. На основі цього методу можна проводити подальшу розробку методу неперервного контролю ізоляції шляхом вимірювання загального активного опору і напруг фаз мережі відносно землі. Відносно ж методів контролю ізоляції, які можуть бути використані для визначення параметрів ізоляції окремих фаз мережі відносно землі, то в даному випадку доцільним буде вдосконалити існуючий метод [74-76] контролю ізоляції з використанням режиму зміщення нейтралі мережі на середину вектора лінійної напруги в разі випроування фази.

3.2 Метод визначення втрат потужності в ізоляції від струмів стікання землю в розподільчих мережах напругою 6-10 кВ

В другому розділі було запропоновано форму (2.1), для визначення потужності втрат в ізоляції від струмів стікання на землю. Для її реалізації потрібно визначати активні провідності ізоляції окремих фаз РМ. Відомі методи по фазного контролю ізоляції застосовують лише для періодичного контролю ізоляції і вони використовують значну кількість не співпадаючих з часом операцій. Тому виникає необхідність розробки методу неперервного контролю втрат потужності в ізоляції. В роботі запропоновано замість активних провідностей ізоляції фаз відносно землі безперервно контролювати напруги фаз мережі U_A , U_B , U_C і загальний активний опір ізоляції відносно землі R_0 . Напруги окремих фаз відносно землі:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{\left[g_b + g_c + \frac{\omega C_0 (K_c - 1)}{3\sqrt{3}} \right]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \frac{\omega C_0 \cdot (1 + K_c) - 2B_L}{3} \right]^2} = U_A \\ \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{\left[g_a + g_c \right]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 \cdot K_c - 2B_L}{3} \right]^2} = U_B \\ \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{\left[g_a + g_b + \frac{\omega C_0 (1 - K_c)}{3\sqrt{3}} \right]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \frac{\omega C_0 \cdot (K_c + 1) - 2B_L}{3} \right]^2} = U_C \end{array} \right. \quad (3.1)$$

де $K_c = C_{кр}/C_{сер}$ – коефіцієнт несиметрії ємностей крайніх фаз мережі відносно землі по відношенню до середньої який може змінюватись в діапазоні $K_c = 1 \div 1.05$;

C_0 – загальна ємність мережі відносно землі (попередньо вимірюється, наприклад, методом контролю ізоляції з використанням режиму зміщення нейтралі мережі на середину вектора лінійної напруги і вважається незмінною в процесі подальших вимірювань $C_0 = \text{const}$);

B_L – сумарна реактивна провідність трансформаторів напруги контролю ізоляції типу ЗНОМ і НТМИ, а також дугогасильних реакторів ДГР і пристроїв для резонансного заземлення.

Дослідження впливів різних обмежень на похибку визначення потужності втрат в ізоляції від струмів стікання на землю, показало, що вони не перевищує 3.5%. Вона є допустимою для задач контролю (не повинна перевищувати 20%). Тому систему рівнянь (3.1) можна спростити до наступного вигляду:

$$\begin{cases} \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_b + g_c]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_A \\ \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_a + g_c]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_B \\ \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_a + g_b]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_C \end{cases} \quad (3.2)$$

З врахуванням розв'язку системи нелінійних рівнянь (3.2) запропоновано розрахункову формулу визначення ΔP_{i3} :

$$\Delta P_{i3\Sigma} = \frac{U_f}{R_0 \cdot (U_A + U_B + U_C)} \cdot (U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) \quad (3.3)$$

Для запропонованого методу шляхом моделювання в ППП „MathCAD” досліджувалась похибка розрахункової формули (3.3). Результати досліджень отримано за умовою зміни активних провідностей двох фаз мережі відносно землі при симетричних ємностях фаз відносно землі.

Дослідження показали, що похибка не перевищує $\xi < 5\%$ при рівні несиметрії активних провідностей ізоляції фаз відносно землі $g_{\max}/g_{\min} < 10$, і $\xi < 1\%$ при рівні несиметрії $g_{\max}/g_{\min} < 5$. Такі похибки є достатніми тому, що така значна несиметрія виникає поза зоною роботоздатності ізоляції.

Нарис.3.1 зображено функціональну схему пристрою для контролю активного опору ізоляції відносно землі і фазних напруг.

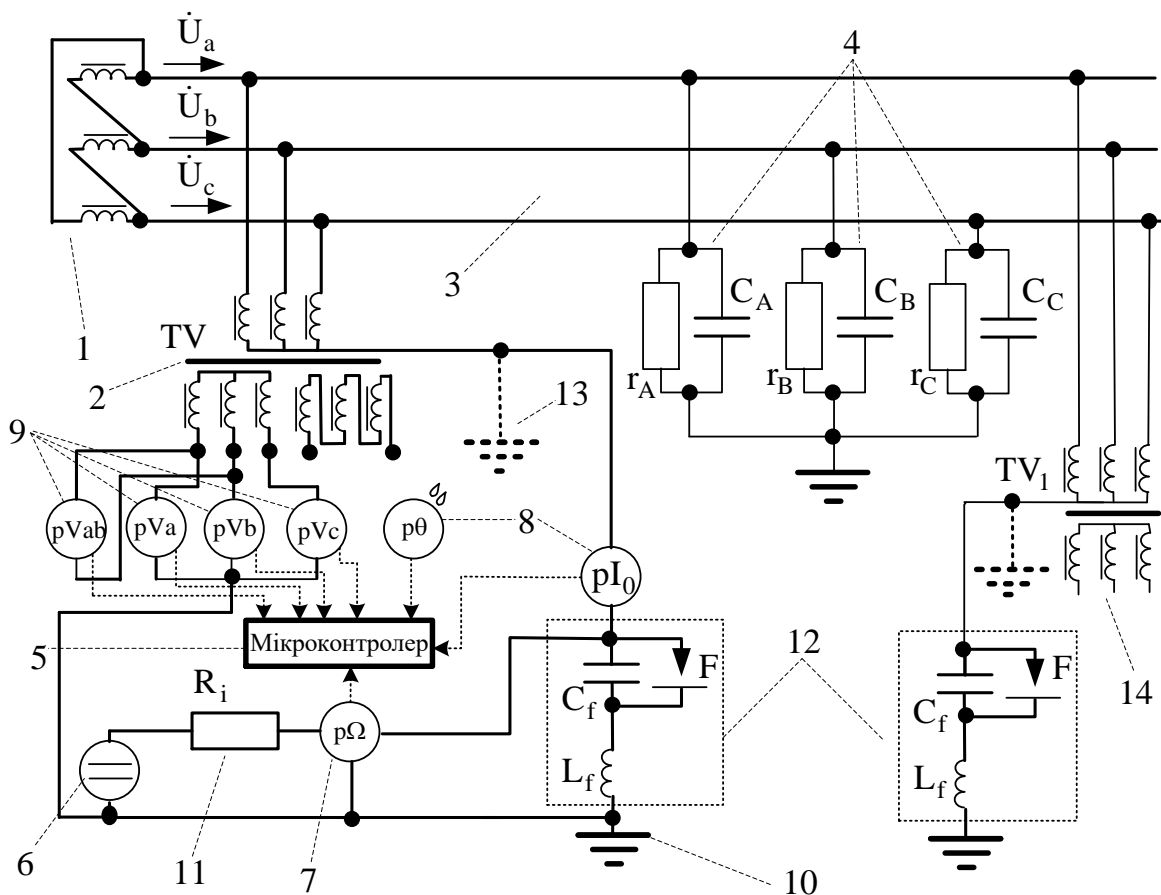


Рисунок 3.1 - Структурна схема пристрою методу контролю ізоляції шляхом вимірювання загального активного опору ізоляції і напруг фаз мережі відносно землі,

де 1 – вторинна обмотка силового трансформатора; 2 – трансформатор напруги типу НТМИ; 3 – розподільна мережа; 4 – параметри ізоляції розподільної мережі; 5 – мікроконтролер, що виконує функції збору і накопичення даних вимірювань, визначення роботоздатності ізоляції РМ; 6 – джерело постійного струму; 7 – сенсор опору для вимірювання загального

опору РМ відносно землі (суміщені датчики струму і напруги для зняття ВАХ); 8 – сенсори для вимірювання струму в нейтралі НТМИ I_0 (для визначення C_0) і вологості повітря навколишнього середовища; 9 – сенсори напруги силового трансформатора (pVab) та напруг фаз розподільної мережі відносно землі (pVa, pVb, pVc); 10 – основне заземлення НТМИ; 11 – резистор для обмеження внутрішнього опору кола постійного струму; 12 – фільтр для резонансного заземлення нейтралі первинної обмотки НТМИ та обмеження впливу змінної складової струму в колі накладання постійного струму; 13 – заземлення нейтралі первинної обмотки НТМИ, яке вилучається з кола шляхом його заміни резонансним фільтром 12 з метою уникнення шунтування сигналу постійного струму, що накладається на мережу; 14 додаткові НТМИ, включені в розподільну мережу.

Запропонований засіб контролю роботоздатності ізоляції працює наступним чином. Сигнали пропорційні величинам $\theta\%$, U_A , U_B , U_C , U_f , I_0 і R_0 , які контролюються сенсорами 8 і 9, попадають у внутрішню пам'ять і обробляються мікропроцесорним контролером 5, в якому реалізується у вигляді інструкцій мікропрограми розрахунковий алгоритм методу і на базі подальших розрахунків визначає роботоздатність ізоляції РМ з подальшою сигналізацією результатів.

Ємність ізоляції мережі відносно землі визначалась за на формулою

$$C_0 = \frac{1}{\omega \cdot \left(X_{\text{ТНКИ}} - \sqrt{\left(\frac{I_0 \cdot n_{\text{ТНКИ}}}{\left(\frac{2U_A^2 - (U_C^2 + U_B^2)}{6U_f} \right)^2 + \left(\frac{U_C^2 - U_B^2}{2\sqrt{3}U_f} \right)^2} \right)^2 - R_0^2} \right)}, \quad (3.4)$$

де I_0 – струм, виміряний в нейтралі ТН контролю ізоляції (НТМИ), А; $X_{\text{ТНКИ}}$ – сумарний індуктивний опір всіх обмоток ТН контролю ізоляції відносно землі, Ом; $n_{\text{ТНКИ}}$ – загальна кількість ТН контролю ізоляції в мережі; R_0 – загальний активний опір ізоляції відносно землі, Ом; U_f – фазна напруга

мережі, В.

При наявності в мережі ДГР формула (3.4) матиме наступний вигляд:

$$C_0 = \frac{1}{\omega \cdot \left[X_{\text{ТНКИ}} - \sqrt{\left(\frac{I_0 \cdot \left(n_{\text{ТНКИ}} + \frac{X_{\text{ТНКИ}}}{X_{\text{ДГР}}} \right)}{\left(\frac{2U_A^2 - (U_C^2 + U_B^2)}{6U_f} \right)^2 + \left(\frac{U_C^2 - U_B^2}{2\sqrt{3}U_f} \right)^2} \right)^2 - R_0^2} \right]}, \quad (3.5)$$

де $X_{\text{ДГР}}$ – загальний індуктивний опір обмоток ДГР відносно землі, Ом.

При визначенні інструментальної похибки методу I сумарна відносна похибка вимірювання напруги матиме дві складові:

$$\varepsilon_{U\Sigma} = \varepsilon_V + \varepsilon_{U_{\text{в.г.}}}$$

де ε_V – максимальна відносна похибка вимірювача напруги (згідно класу точності пристрою);

$\varepsilon_{U_{\text{в.г.}}}$ – похибка вимірювання напруги, зумовлена впливом вищих гармонік.

Відносна похибка визначення струму – $\varepsilon_{I\Sigma} = \varepsilon_I + \varepsilon_{I_{\text{в.г.}}}$, активного опору

$$\varepsilon_R = \frac{\varepsilon_{I\Sigma}}{\varepsilon_{U\Sigma}}.$$

Використовуючи вирази для цих похибок і вираз (3.3), отримаємо значення сумарної метрологічної похибки

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_{U\Sigma}^2 + \left(\frac{3\varepsilon_{U\Sigma}}{\varepsilon_{I\Sigma}} \right)^2} + 6\varepsilon_{U\Sigma}^2 = \sqrt{7\varepsilon_{U\Sigma}^2 + \frac{9\varepsilon_{U\Sigma}^2}{\varepsilon_{I\Sigma}^2}}$$

Якщо вважати, що похибка від впливу вищих гармонік по струму і напрузі складає, відповідно, 2% і 2.5%, тоді сумарна похибка діагностичного комплексу складатиме $\varepsilon_{\Sigma} = 8.4\%$.

Якщо розроблений метод застосовано для мережі з компенсованим режимом роботи нейтралі необхідно в місці заземлення реакторів послідовно вмикати ємнісний фільтр

Перевірка точності контролю параметрів ізоляції запропонованим методом неперервного контролю здійснюють шляхом дублювання експерименту. Для цього доцільно засувати більш точний метод періодичного контролю ізоляції.

3.3 Метод перевірки результатів неперервного контролю ізоляції в розподільчих мережах змінного струму

В [94].запропоновано метод періодичного контролю ізоляції який ґрунтується на принципі зміщення нульової точки трикутника напруг на середину вектора лінійної напруги. Досягається це шляхом підключення до фаз мережі і землі зірочки провідностей, які налагоджені у послідовний резонанс, рис.3.14.В схемі заміщення (рис.3.14) з'являється додаткова

провідність, рівна
$$\underline{Y}_d = \frac{1}{r_{др} + j\omega L - \frac{j}{2\omega C}}$$
, так як параметри дротеля і

конденсаторів підбирають так, щоб $\omega L = \frac{1}{2\omega C}$, $r_{др} \rightarrow 0$

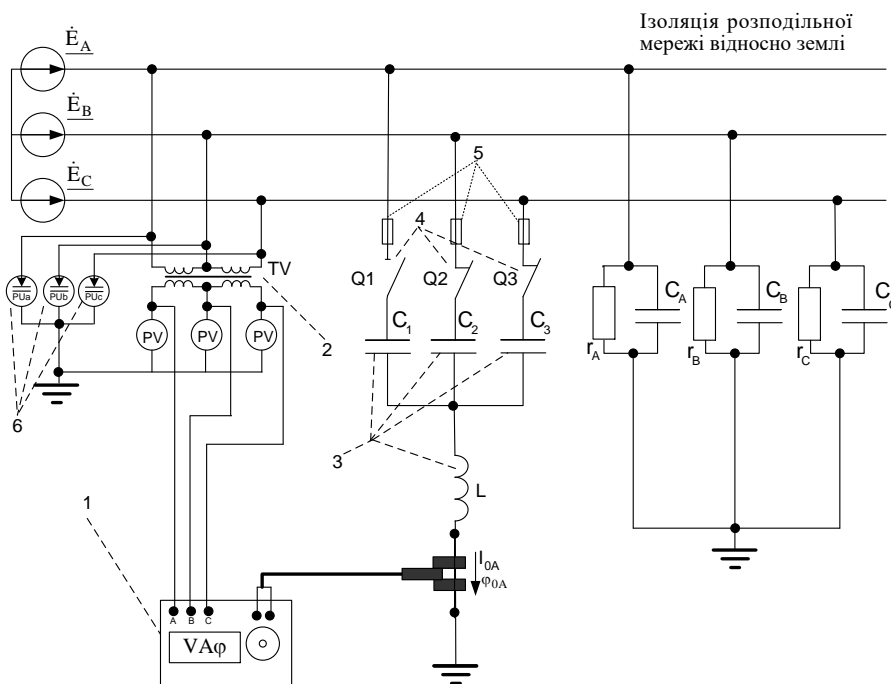


Рисунок 3.2 - Принципова схема пристрою контролю ізоляції окремих фаз відносно землі,

де 1 – ВАФ для вимірювання величини струму і кута його зміщення відносно вектора лінійної напруги; 2 – вимірювальний трансформатор напруги; 3 – елементи зірочки провідностей для створення зміщення нейтралі; 4 – вимикачі (рубильники) для попарного вмикання ємностей C_1 , C_2 і C_3 відповідно до фази, відносно якої проводяться вимірювання; 5 – запобіжники; 6 – електростатичні кіловольтметри для вимірювання напруги фаз мережі відносно землі.

Під час використання пристрою за допомогою приладу ВАФ вимірюють струм у нижньому промені зірочки I_0 і його кут зміщення φ_0 відносно лінійної напруги U_{BA} . Вимикачі (рубильники) Q1, Q2, Q3 замикаються попарно: при вимірюванні у фазі А замикаються Q2 і Q3, у фазі В – Q1 і Q3, у фазі С – Q1 і Q2. При вимірюванні ізоляції випробуваної фази напруга відносно землі на ній зростає до величини $1.5U_{\phi}$, а напруга на двох інших фазах зменшається до величин $0.5U_{\phi}$ і знаходяться в протифазі при любых значеннях провідностей фаз мережі відносно землі (див. рис.3.3.а).

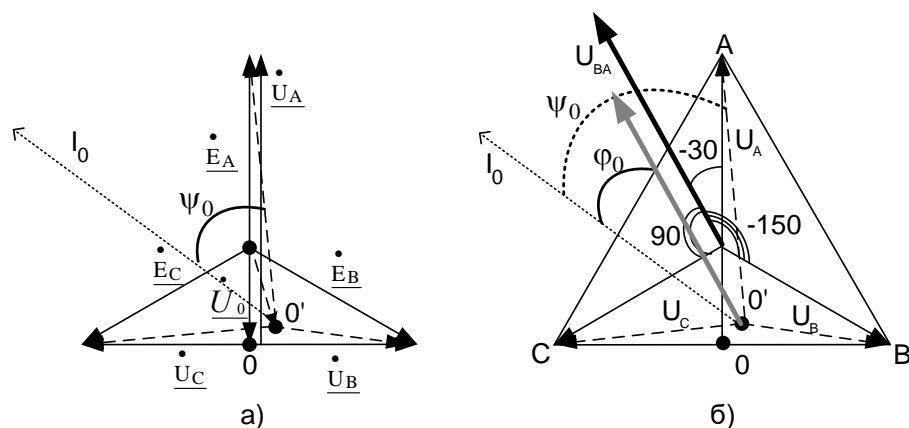


Рисунок 3.3 - Векторна діаграма до методу контролю ізоляції

а) – пояснення принципу зміщення нейтралі б) – пояснення до формул для визначення параметрів ізоляції фаз на основі показів ВАФу.

Зв'язок між параметрами ізоляції та результатами вимірювань можна

відобразити системою рівнянь (3.6.)

$$\left\{ \begin{array}{l} g_a + \frac{\omega}{\sqrt{3}} \cdot (C_b - C_c) = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0A}}{1.5U_{\text{л}}} \cdot \cos(\varphi_{0A} - 30^0); \\ g_b + \frac{\omega}{\sqrt{3}} \cdot (C_c - C_a) = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0B}}{1.5U_{\text{л}}} \cdot \cos(\varphi_{0B} - 150^0); \\ g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}} \cdot (C_a - C_b) = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0C}}{1.5U_{\text{л}}} \cdot \cos(\varphi_{0C} + 90^0); \\ \frac{g_c - g_b}{\sqrt{3}} + \omega \cdot C_a - \frac{B_L}{3} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0A}}{1.5U_{\text{л}}} \cdot \sin(\varphi_{0A} - 30^0); \\ \frac{g_a - g_c}{\sqrt{3}} + \omega \cdot C_b - \frac{B_L}{3} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0B}}{1.5U_{\text{л}}} \cdot \sin(\varphi_{0B} - 150^0); \\ \frac{g_b - g_a}{\sqrt{3}} + \omega \cdot C_c - \frac{B_L}{3} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0C}}{1.5U_{\text{л}}} \cdot \sin(\varphi_{0C} + 90^0); \end{array} \right. \quad (3.6)$$

де g_A, g_B, g_C – активні провідності фаз РМ відносно землі; C_A, C_B, C_C – ємності фаз РМ відносно землі; I_{0A}, I_{0B}, I_{0C} – виміряні значення струму в зірочці провідностей; $\varphi_{0A}, \varphi_{0B}, \varphi_{0C}$ – кути зміщення між струмом в зірочці I_0 і лінійною напругою U_{BA} ; ω – кутова частота мережі; $U_{\text{л}}$ – лінійна напруга джерела живлення; B_L – сумарна реактивна провідність всіх індуктивних елементів, підключених до РМ відносно землі (трансформаторів напруги контролю ізоляції типу ЗНОМ і НТМИ, а також дугогасних реакторів ДГР і пристроїв для резонансного заземлення нейтралі).

Якщо ємності фаз мережі відносно землі однакові то систему рівнянь (3.6) можна значно спростити і можна користуватись наступними формулами:

$$g_A = \frac{I_{0A}}{U_A} \cdot \cos(\psi_{0A}); \quad g_B = \frac{I_{0B}}{U_B} \cdot \cos(\psi_{0B}); \quad g_C = \frac{I_{0C}}{U_C} \cdot \cos(\psi_{0C}); \quad (3.7)$$

$$C_A = C_B = C_C = \frac{C_0}{3}; \quad (3.8)$$

, коли існує несиметрія активних і реактивних провідностей фаз мережі активну і реактивну складову всієї мережі можна визначити, користуючись формулами:

$$g_0 = \frac{I_{0A}}{U_A} \cdot \cos(\psi_{0A}) + \frac{I_{0B}}{U_B} \cdot \cos(\psi_{0B}) + \frac{I_{0C}}{U_C} \cdot \cos(\psi_{0C}); \quad (3.9)$$

$$C_0 = \frac{1}{3\omega} \left(\frac{I_{0A}}{U_A} \cdot \sin(\psi_{0A}) + \frac{I_{0B}}{U_B} \cdot \sin(\psi_{0B}) + \frac{I_{0C}}{U_C} \cdot \sin(\psi_{0C}) \right) - \frac{B_L}{\omega} \quad (3.10)$$

Похибки пристрою періодичного контролю ізоляції можна визначити як

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{g_{B_k}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial g_{B_k}}{\partial I_k} \frac{dI_k}{g_{B_k}} \right)^2 + \left(\frac{\partial g_{B_k}}{\partial U_k} \frac{dU_k}{g_{B_k}} \right)^2 + \left(\frac{\partial g_{B_k}}{\partial \varphi_k} \frac{d\varphi_k}{g_{B_k}} \right)^2}; \\ \varepsilon_{b_{B_k}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial b_{B_k}}{\partial I_k} \frac{dI_k}{b_{B_k}} \right)^2 + \left(\frac{\partial b_{B_k}}{\partial U_k} \frac{dU_k}{b_{B_k}} \right)^2 + \left(\frac{\partial b_{B_k}}{\partial \varphi_k} \frac{d\varphi_k}{b_{B_k}} \right)^2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

Після підстановки

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{g_{B_k}} &= \sqrt{\varepsilon_i^2 + \varepsilon_u^2 + (\Delta\varphi \cdot \operatorname{ctg}\delta_0)^2}; \\ \varepsilon_{b_{B_k}} &= \sqrt{\varepsilon_i^2 + \varepsilon_u^2 + (\Delta\varphi / \operatorname{ctg}\delta_0)^2}, \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

де $\varepsilon_i, \varepsilon_u$ – відповідно граничні відносні похибки визначення струму та напруги; $\operatorname{ctg}\delta_0 = b_{B_k} / g_{B_k}$;

$\Delta\varphi$ – абсолютна похибка визначення кута.

Якщо ВАХ має клас точності 1 при вимірюванні струмів в діапазоні 0.1 ÷ 5 А, абсолютна похибка визначення кута 5° , вольтметри в системі з трансформатором напруги мають клас точності 1 і 0.5 то прийнявши $g_{0кр} = 0.001$ См, а $b_{0кр} = 2\pi 50 \cdot 10^{-6} = 0.000314$ См, визначемо похибку визначення активних провідностей фаз мережі відносно землі:

$$\varepsilon_{g_{B_k}\%} = 100\% \cdot \sqrt{(0.01)^2 + (0.015)^2 + \left(5^\circ / 180^\circ \cdot (0.000314 / 0.001) \right)^2} = 2\%$$

Для реактивної провідності:

$$\varepsilon_{b_{B_k}\%} = 100\% \cdot \sqrt{(0.01)^2 + (0.015)^2 + \left(5^\circ / 180^\circ \cdot (0.001 / 0.000314) \right)^2} = 9\% .$$

3.4 Побудова структури діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції розподільчої мережі змінного струму

Враховуючі отримані результати вище зазначених досліджень діагностичний комплекс (ДК) контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі має відповідати наступним вимогам:

1. ДК контролю роботоздатності ізоляції (ДККРІ) в своєму складі повинен мати засоби неперервного та періодичного контролю ізоляції, технічну реалізацію яких розглянуто в розділі 3;

2. Похибка визначення сукупності контрольованих показників не повинна перевищувати 20%;

3. При проектуванні та конструктивному виконанні ДККРІ необхідно забезпечити виконання таких вимог як контролепридатність, відмовостійкість, технічна досконалість, безпека обслуговування.

4. Технічна реалізація повинна передбачати застосування мікропроцесорної техніки і обчислювальних можливостей ЕОМ, а також повинна забезпечувати високу вірогідність результату контролю при прийнятних витратах на її впровадження.

5. Взаємодії оператора і ДККРІ повинні бути забезпечені необхідними засобами, максимально спрощеними і пристосованими до сучасних умов експлуатації;

Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції призначено для рішення наступних задач: визначити роботоздатність ізоляції, використовуючи результати неперервного і дублюючого періодичного контролю діагностичних показників; визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі за допомогою ЕОМ і спеціального програмного забезпечення; інформувати оператора про ТС ізоляції РМ у зручній для аналізу формі, наприклад, погодинні графіки зміни показників роботоздатності ізоляції і їх порівняння з границею роботоздатності.

На рис 3.4. показано структурну схему побудови діагностичного

комплексу контролю роботоздатності (ДККПІ) розподільчої мережі

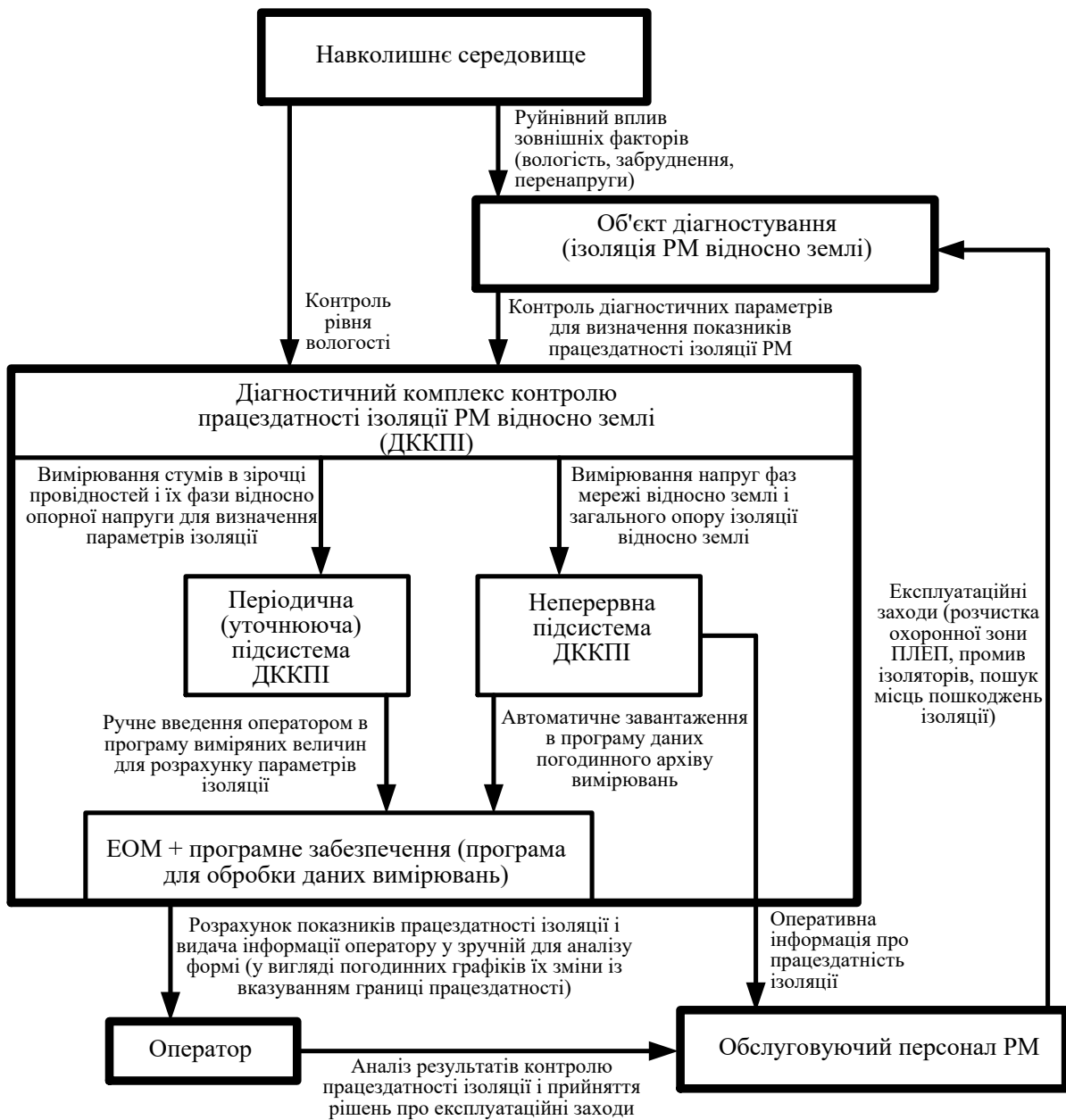


Рисунок 3.4 - Схема побудови діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі

Схема містить пристрій неперервного контролю роботоздатності ізоляції, пристрій для періодичного контролю роботоздатності ізоляції а також програмне забезпечення, що дозволяє по результатам вимірювань визначати і контролювати роботоздатність ізоляції РМ відносно землі.

PM; 6 – джерело постійного струму, 7 – сенсор опору для вимірювання загального опору; 8 – сенсор вологості повітря навколишнього середовища; 9 – сенсори напруги силового трансформатора (pV_{ab}) та напруг фаз розподільної мережі відносно землі (pV_a , pV_b , pV_c); 10 – сенсор струму для вимірювання I_0 (для визначення C_0), 11 – мікроконтролер БНКІ; 12 – резистор номіналом $R_i=1000$ Ом для обмеження внутрішнього опору кола постійного струму; 13 – фільтр для резонансного заземлення нейтралі первинної обмотки НТМИ та обмеження впливу змінної складової струму в колі накладання постійного струму ($C_f=100$ мкФ, 1000 В; $L_f=101$ мГн; F – розрядник на 900 В); 14 – заземлення нейтралі первинної обмотки НТМИ, яке вилучається з кола шляхом його заміни резонансним фільтром 13 з метою уникнення шунтування сигналу постійного струму, що накладається на мережу; 15 інший НТМИ, включений в розподільну мережу.

В якості мікроконтролера і системної логіки використано мікропроцесори „інтелектуальних” лічильників електричної енергії типу „Енергія-9”, „Елвін”, „АРГО”, „Євроальфа”, SL-7000 Smart, EPQS (ELGAMA). Схема мікроконтролера БНКІ зображена на рис.3.6.

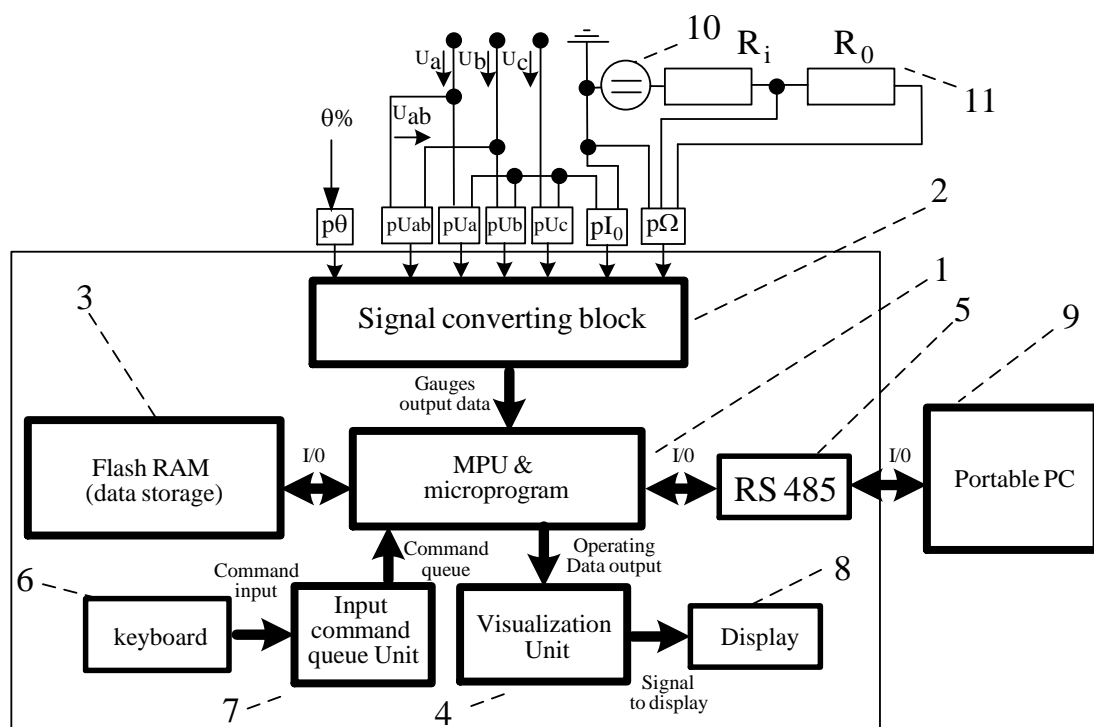


Рисунок 3.6 - Структура мікроконтролера БНКІ

На рис.3.6. 1 – мікропроцесорний програмований контролер управління БНКІ (мікропроцесор і мікропрограма управління); 2 – блок перетворення сигналів з сенсорів, які контролюють і в у цифровий код (шина для підключення каналів зв'язку з датчиками, сполучена з аналогово-цифровим перетворювачем АЦП); 3 – пристрій накопичення даних вимірювань (флеш-пам'ять та контролер доступу до комірок пам'яті); 4 – блок візуалізації (блок формування сигналів на дисплей); 5 – інтерфейс вводу-виводу даних RS 485 (інтерфейс зв'язку з портативною ЕОМ); 6 – орган ручного керування (клавіатура на 12 клавіш); 7 – блок формування черги команд (контролер формування команд в режимі ручного керування БНКІ); 8 – дисплей (10-розрядний РК дисплей для індикації режимів функціонування БНКІ); 9 – портативна ЕОМ (ПЕОМ для завантаження інформації з архіву та програмування БНКІ); 10 – джерело постійного струму; 11 – загальний активний опір ізоляції розподільної мережі відносно землі.

Блок неперервного контролю ізоляції працює за таким алгоритмом. Сигнали з сенсорів які контролюють рівень сигналів напруги, струму, опору, вологості і поступають на блок перетворення сигналів 2, і, далі, вже у вигляді цифрових кодів – на мікропроцесорний контролер БНКІ 1, він обробляє покази сенсорів, обчислює по алгоритму мікропрограми значення потужності втрат в ізоляції, потім перевіряє виконання умов роботоздатності та подає із заданою періодичністю в одну голину команди на запис цієї інформації і показів сенсорів в архів, що розміщується у флеш-пам'яті 3. Також, в архіві фіксуватимуться всі короточасні пробої ізоляції від дії комутаційних перенапруг.

На рис.3.7 зображено функціональну схему пристрою для періодичного контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі Як складова частина ДККРІ, він використовується як дублюючий контроль результатів неперервного контролю роботоздатності ізоляції

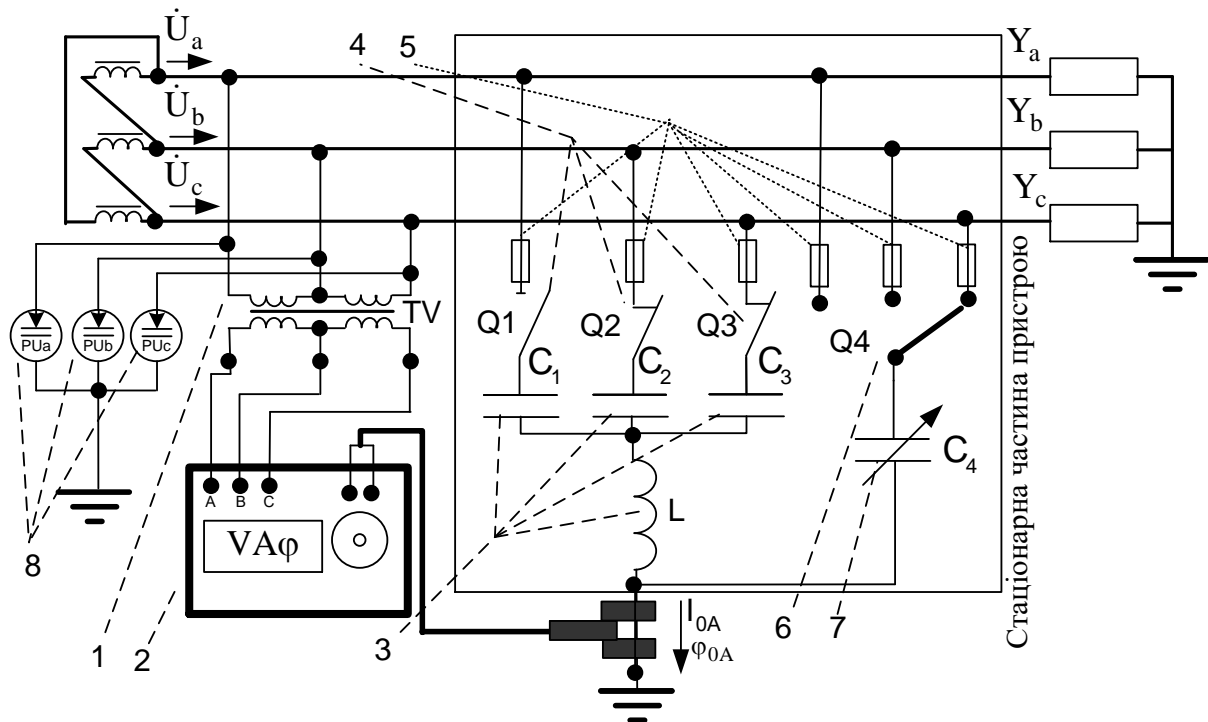


Рисунок 3.7- Принципова схема пристрою періодичного контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі

На рис.3.7: 1 – вимірювальний трансформатор напруги, 2 – ВАФ для вимірювання величини струму і кута його зміщення відносно вектлінійної напруги, 3 – елементи зірочки провідностей для створення зміщення нейтралі, 4 – вимикачі (рубильники) для попарного вмикання в мережу ємностей C_1 , C_2 і C_3 , 5 – запобіжники, 6 – блок перемикачів для підключення додаткової змінної ємності, 7 – додаткова змінна ємність для компенсації несиметрії ємностей фаз мережі відносно землі, 8 – електростатичні кіловольтметри для вимірювання напруг фаз мережі відносно землі. Вимикачі (рубильники) Q1, Q2, Q3 замикаються попарно: при вимірюванні у фазі А замикаються Q2 і Q3, у фазі В – Q1 і Q3, у фазі С – Q1 і Q2.

В таблицю 3.1 заносять результати вимірювань, а в таблицю..3.2. формули для розрахунку параметрів ізоляції фаз мережі відносно землі (активних провідностей фаз і загальної ємності мережі відносно землі) за

4. Обчислюються показники роботоздатності згідно розробленого методу визначення роботоздатності ізоляції і математичної моделі (2.7-2.8).

Таблиця 3.1. Результати вимірювань пристроєм періодичного контролю ізоляції

| Параметр | Вимірювання в фазі А | Вимірювання в фазі В | Вимірювання в фазі С |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Напруга фази відносно землі в усталеному режимі, В | $U_{A'}$ | $U_{B'}$ | $U_{C'}$ |
| Струм в зірочці провідностей, А | I_{0A} | I_{0B} | I_{0C} |
| опорна напруга, і напруги фаз відносно землі при підключеній зірочці провідностей, В | U_{BA}, U_A, U_B, U_C | U_{BA}, U_A, U_B, U_C | U_{BA}, U_A, U_B, U_C |

Таблиця 3.2. Формули для розрахунку параметрів ізоляції фаз мережі відносно землі по даним вимірювання пристроєм періодичного контролю ізоляції

| Параметр | Розрахункова формула |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ψ_{0A} | $\psi_{0A} = (\varphi_{0A} - 30^0) + \arctan \left(\frac{U_C^2 - U_B^2}{\frac{2 \cdot U_A^2 - U_B^2 - U_C^2}{\sqrt{3}} + \frac{2 \cdot U_{BA}^2}{\sqrt{3}}} \right)$ |
| ψ_{0B} | $\psi_{0B} = (\varphi_{0B} - 150^0) - 180^0 + \arctan \left(\frac{U_C^2 - U_B^2 - U_{BA}^2}{\frac{2 \cdot U_A^2 - U_B^2 - U_C^2}{\sqrt{3}} - \frac{U_{BA}^2}{\sqrt{3}}} \right)$ |
| ψ_{0C} | $\psi_{0C} = (\varphi_{0C} + 90^0) + 180^0 + \arctan \left(\frac{U_C^2 - U_B^2 + U_{BA}^2}{\frac{2 \cdot U_A^2 - U_B^2 - U_C^2}{\sqrt{3}} - \frac{U_{BA}^2}{\sqrt{3}}} \right)$ |
| g_A | $g_A = I_{0A} \cdot \cos(\psi_{0A}) / U_A$ |
| g_B | $g_B = \frac{I_{0B}}{U_B} \cdot \cos(\psi_{0B})$ |
| g_C | $g_C = \frac{I_{0C}}{U_C} \cdot \cos(\psi_{0C})$ |
| C_0 | $C_0 = \frac{1}{3\omega} \left(\frac{I_{0A}}{U_A} \cdot \sin(\psi_{0A}) + \frac{I_{0B}}{U_B} \cdot \sin(\psi_{0B}) + \frac{I_{0C}}{U_C} \cdot \sin(\psi_{0C}) \right) - \frac{B_L}{\omega}$ |

В ДККРІ програмне забезпечення виконує наступні функції: для кожної години архіву вимірювань пристрою неперервного контролю роботоздатності ізоляції шляхом розв'язання системи рівнянь (3.1), забезпечити визначення параметрів ізоляції мережі відносно землі; за допомогою математичній моделі (2.12) і (2.13), визначити значення робото здатність ізоляції. за даними вимірювань пристрою періодичного контролю ізоляції визначити параметри розподільчої мережі

Розроблена програма контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі в своїй структурі має такі складові підпрограму: обробки і завантаження даних архіву вимірювань підсистеми неперервного контролю ізоляції, визначення параметрів ізоляції згідно даним архіву вимірювань підсистеми неперервного контролю ізоляції, визначення параметрів ізоляції згідно даних вимірювань підсистеми періодичного контролю ізоляції, визначення показників роботоздатності ізоляції згідно даних розрахунку параметрів ізоляції, впорядкування вихідної інформації і формування графіків зміни роботоздатності ізоляції відносно землі в часі для їх видачі в графічному режимі користувачу .

Алгоритм програми контролю роботоздатності ізоляції представлено на рис.3.8

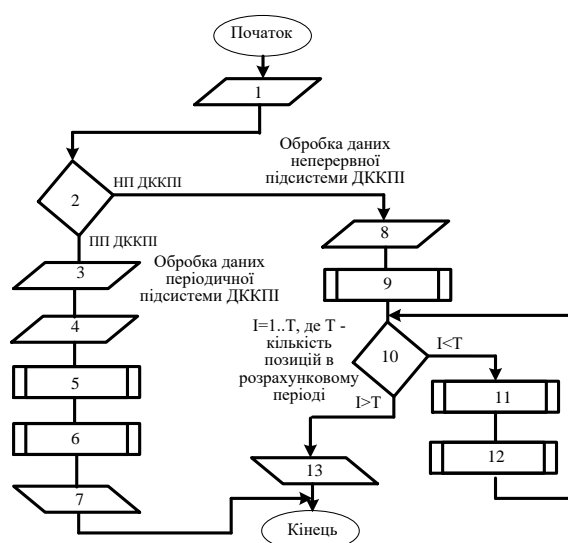


Рисунок 3.8 - Блок-схема алгоритму програми контролю роботоздатності ізоляції

На рис.3.8: 1 – завдання режиму роботи програми; 2 – перевірка умови заданого режиму (НП ДККРІ чи ПП ДККРІ); 3 – введення початкових даних для режиму ПП ДККРІ; 4 – введення результатів вимірювань ПП ДККРІ; 5 – підпрограма розрахунку параметрів ізоляції за даними вимірювань; 6 – підпрограма визначення показників працездатності; 7 – видача результатів роботи програми (режим ПП ДККРІ); 8 – введення початкових даних для режиму НП ДККРІ; 9 – підпрограма завантаження масиву даних з архіву пристрою неперервного контролю; 10 – цикл обробки позицій погодинного архіву; 11 – підпрограма визначення параметрів ізоляції для I-ї позиції архіву вимірювань; 12 – підпрограма визначення показників роботоздатності для I-ї позиції архіву; 13 – видача результатів роботи програми у вигляді їх експорту у файл MS Excel для побудови погодинних графіків зміни показників роботоздатності.

3.5 Висновки по розділу

1. Результати проведених досліджень показали, що покращення характеристик методу визначення параметрів ізоляції окремих фаз відносно землі можна здійснити на основі неперервного контролю загального активного опору ізоляції і напруг фаз мережі відносно землі. Активні провідності ізоляції фаз РМ відносно землі можна визначити шляхом розв'язання системи нелінійних рівнянь (3.1) при відомих напругах фаз мережі відносно землі та загальному опорі і загальній ємності ізоляції мережі відносно землі.

2. Проведено дослідження похибки методу, яка складає 3.5% (у випадку розв'язання системи нелінійних рівнянь при визначенні показників роботоздатності) і 8,5% при визначенні потужності втрат в ізоляції від струмів стікання на землю за спрощеним алгоритмом (використовуючи формулу (3.3)). Розглянуто спосіб технічної реалізації даного методу (структурна схема і алгоритм проведення вимірювань). Розраховано також

похибку технічного пристрою контролю працездатності ізоляції, основанийо на розробленому методі, яка складає 8.34%.

3. Для підвищення вірогідності контролю доцільно додатково використовувати метод періодичного контролю ізоляції окремих фаз відносно землі. Він ґрунтується на принципі зміщення нейтралі мережі за рахунок підключення зірочки провідностей, параметри яких налагоджені у послідовний резонанс.

4. Діагностичного комплекс для визначення роботоздатності ізоляції РМ повинен складатися з підсистеми неперервного і підсистеми періодичного контролю ізоляції, а також програмного забезпечення – визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі, використовуючи ЕОМ.

5. Для створення НП ДККРІ пропонується використати мікроконтролер мікропроцесорного лічильника шляхом модифікації його мікропрограми управління і підключення до нього додаткових сенсорів через аналогово-цифровий перетворювач.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Запропонований діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції призначений для виявлення пошкоджень ізоляції РМ відносно землі на ранніх стадіях їх розвитку. Це дозволяє зменшити кількість відмов, зумовлених пошкодженням ізоляції (ОЗЗ і міжфазних КЗ), підвищити рівень надійності та безпеки експлуатації РМ. Крім цього, маючи в розпорядженні об'єктивну інформацію про рівень втрат в розподільній мережі від струмів стікання на землю, можна оптимізувати експлуатаційні заходи в РМ, беручи за критерій оптимальності мінімум понаднормативних втрат в ізоляції. Це в свою чергу є значним підґрунтям для переходу від нині діючої регламентної системи обслуговування обладнання РМ до більш ефективної системи обслуговування „за технічним станом”.

Для оцінювання ефективності застосування ДККРІ, в якості критерія..., будемо використовувати річний недовідпуск електроенергії від виникнення ОЗЗ, а також рівень економії електроенергії від виявлення ділянок РМ з понаднормативними втратами в ізоляції і їх усунення внаслідок проведення більш ефективного і оптимізованого обслуговування обладнання.

Виходячі з цього, річний недовідпуск електроенергії із-за виникнення ОЗЗ в розподільній мережі 10 кВ визначемо як

$$\Delta W = P \cdot L \cdot \omega_{\text{ОЗЗ}}^0 (\tau_{\text{ОЗЗ}} + p_{\text{КЗ}} \tau_{\text{КЗ}}), \quad (4.1)$$

де P - потужність споживачів, що підключені до мережі (кВт);

L – сумарна протяжність розподільчої мережі, км;

$\omega_{\text{ОЗЗ}}^0$ - питома частота ОЗЗ (рік·км)⁻¹ ($\omega_{\text{ОЗЗ}}^0 = 0.88$);

$\tau_{\text{ОЗЗ}}, \tau_{\text{КЗ}}$ - відповідно, час пошуку ОЗЗ та к.з. (год);

$p_{\text{КЗ}}$ - ймовірність переходу ОЗЗ в стійкі відмови, якщо час існування режиму $t_{\text{о.з.з.}} \geq 4$ год ($p_{\text{КЗ}} = 0.35$).

Застосування ДККРІ дозволяє зменшити кількість відмов та час їх пошуку, а тому і недовідпуск електроенергії, тобто

$$\delta\Delta W = P \cdot L \cdot \frac{\omega_{O33}^{\circ} (\tau_{O33} + p_{K3} \tau_{K3}) - \xi \omega_{O33}^{\circ} \tau_{O33}}{M_e}, \quad (4.2)$$

де M_e – коефіцієнт ефективності обраної стратегії пошуку місць пошкоджень ізоляції при застосуванні ДККРІ (для спрощення методики розрахунку приймаємо рівним 1.5, вважаючи, що розроблений ДККРІ дозволяє підвищити ефективність пошуку місць пошкодження і знизити час простою на 50% при почерговій перевірці всіх ділянок (фідерів) РМ шляхом проведення комутацій за спеціальним алгоритмом); $\xi = 0,33$ – коефіцієнт, що враховує зменшення наслідків відновлення електропостачання за результатами контролю ізоляції в порівнянні з раптовими відмовами.

ДККРІ доцільно застосовувати, коли

$$B_n \delta\Delta W \geq B_{ДККРІ}, \quad (4.3)$$

де $B_{ДККРІ}$ – витрати на виготовлення, обладнання та обслуговування ДККРІ;

B_n – питомі витрати підвищення надійності: ($B_n = 2$ грн/кВт·год).

Порівнюючи ліву та праву частину цього виразу і враховуючи рівняння (4.2), можна отримати рівняння для граничного значення навантаження мережі

$$P_{gp} = B_{ДККРІ} \left\{ B_n L \left[\omega_{O33}^{\circ} (\tau_{O33} + p_{K3} \tau_{K3}) - \xi \omega_{O33}^{\circ} \tau_{O33} \right] \right\}^{-1}. \quad (4.4)$$

Із (4.4) можна знайти залежність $P_{gp} = f(L)$, але краще таку залежність визначати у відносних одиницях

$$P_{gp}^* = \frac{P_{gp}}{B_{ДККРФСМІ}} = \left\{ B_n L \left[\omega_{O33}^{\circ} (\tau_{O33} + p_{K3} \tau_{K3}) - \xi \omega_{O33}^{\circ} \tau_{O33} \right] \right\}^{-1}.$$

Частоту відмов ПЛ 10 кВ можна визначити як

$$\omega = \left(\omega_{оп}^{\circ} + \omega_{д}^{\circ} + \omega_{із}^{\circ} + \omega_{сп}^{\circ} + \omega_{ін}^{\circ} \right) L,$$

де складові правої частини формули – частоти відмов через пошкодження опор, дротів, ізоляції, складних пошкоджень та інших причин, що визначаються за статистичними даними:

$$\omega_{оп}^o = 0,04; \omega_d^o = 0,035; \omega_{із}^o = \omega_{кз}^o + \omega_{озз}^o = 0,25 + 0,88 = 1,1;$$

$$\omega_{сп}^o = 0,025; \omega_{ін}^o = 0,05 \text{ (рік} \cdot \text{км)}^{-1}$$

Рішення про доцільність застосування діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції для конкретної розподільної мережі ПС енергосистеми (з вхідними даними P_i, L_i) приймається в залежності від положення на графіку точки з координатою $\left(\frac{P_i}{B_{ДККП}}, L_i \right)$.

Для визначення оціночного значення рівня понаднормативних втрат електроенергії від струмів стікання на землю в реальній розподільній мережі напругою 6-10 кВ з визначеною сумарною довжиною всіх ділянок повітряних і кабельних ЛЕП пропонується наступна формула:

$$\Delta W_{із}^{понаднорм.оц} = \Delta W_{із}^{норм} \cdot (k_{п.н} \cdot k_{п.і} \cdot k_{ох.з} \cdot k_{с.із} - 1), \quad (4.5)$$

де $\Delta W_{із}^{норм}$ – нормативні втрати електроенергії в ізоляції РМ від струмів стікання на землю, розраховані згідно методики [95];

$k_{п.н}$ – коефіцієнт, що враховує виникнення понаднормативних втрат в ізоляції із-за підвищення рівня напруги на збірних шинах 10(6) підстанцій енергосистеми (1.1-1.15 $U_{ном}$) з допомогою РПН для компенсації падіння напруги в фідерах довжиною більше 40 км із-за втрат в мережі (в т.ч. і в ізоляції – приймається рівним $k_{п.н} = 1.15^2 = 1.32$);

$k_{п.і}$ – коефіцієнт, що враховує збільшення кількості пошкоджень ізоляції із-за підвищення напруги на збірних шинах 10 кВ ПС 110(35)/10 кВ вище номінальної (пропонується приймати рівним $k_{п.і} = 1.05$);

$k_{ох.з}$ – коефіцієнт, що враховує стан охоронної зони ПЛЕП (наявність віток дерев, через які може виникати пробій на землю – пропонується

приймати рівним $k_{ox.з}=1.2$);

$k_{c.із}$ – коефіцієнт, що враховує стан ізоляторів ПЛЕП (наявність значних забруднень і пошкоджень на поверхні ізоляторів із-за недостатніх експлуатаційних заходів – пропонується приймати рівним $k_{c.із}=1.1$).

Значення коефіцієнтів $k_{n.н}$, $k_{n.і}$, $k_{ox.з}$, $k_{c.із}$ отримані шляхом аналізу статистичних даних по основним причинам відключень в РМ 6-10 кВ ВАТ „АК Вінницяобленерго”, приведених в табл. 1.1. і 1.2 (див. розділ 1).

Проведемо усі необхідні техніко-економічні розрахунки, використовуючи наступні початкові дані:

1. Розглядається розподільна мережа одного із структурних підрозділів енергопостачальної компанії (Замостянських районних електричних мереж) з сумарною довжиною всіх ПЛ – 758 км, всіх КЛ – 86,5 км (всього 60 фідерів 10 кВ від 12 ПС 110(35)/10 кВ із встановленою потужністю 150,162 МВт при середньому коефіцієнті завантаженості $k_з=0.13$. Отже, середньозважена сумарна потужність усіх підключених споживачів становить $P=0.13*150.162=19,489$ МВт).

2. Сумарні нормативні втрати в ізоляції (згідно розрахунків по методиці [95]) в 2020р. склали $\Delta W_{із}^{норм}=1357800$ кВт.год.

3. За 2020р. кількість пошкоджень ізоляції ПЛ 10 кВ відносно землі склала 46. При цьому середній час пошуку місця виникнення ОЗЗ склав $\tau_{ОЗЗ}=12$ год, а час пошуку місця к.з. $\tau_{кз}=5$ год.

4. Загальні витрати на ремонт і обслуговування розподільних мереж 10 кВ в 2020р. склали 184.3 тис. грн., з них на розчистку охоронної зони ПЛЕП витрачено 12.5 тис. грн.

Визначимо річний економічний ефект від зменшення понаднормативних втрат в ізоляції при застосуванні ДККРІ.

Спочатку розрахуємо оціночне значення понаднормативних втрат в ізоляції за формулою (5.5).

$$\Delta W_{із}^{понаднорм.оц} = 1357800 \cdot (1.32 \cdot 1.05 \cdot 1.2 \cdot 1.1 - 1) = 1126322 \text{ кВт.год}$$

При застосуванні ДККРІ понаднормативні втрати в ізоляції можна суттєво зменшити і довести до економічно обґрунтованого рівня шляхом контролю потужності втрат в ізоляції від струмів стікання на землю і більш оптимального проведення експлуатаційних заходів (розчистка охоронної зони ПЛЕП, очищення прохідних ізоляторів на КТП від забруднень і т.п.) в залежності від даного показника (по результатам контролю).

Економічно обґрунтованим рівнем будемо вважати зменшення втрат в ізоляції до рівня нормативних.

Отже, річна економія коштів від зменшення понаднормативних втрат в ізоляції при застосуванні ДККРІ

$$\begin{aligned} E_{із}^{ДККРІ} &= \Delta W_{із}^{понаднорм.оц} \cdot c_{сер} = 112632 \cdot 23,6 = \\ &= 4055555547592 \text{ грн} / \text{кВт.год} \end{aligned} \quad (4.6)$$

де $c_{сер}=3.6$ грн/кВт.год – середнє значення відпускного тарифу на

електроенергію для споживачів в РМ енергопостачальної компанії (усереднення між тарифом для населення і тарифом 2 класу для підприємств). грн.

Визначимо річний недовідпуск електроенергії із-за виникнення ОЗЗ по формулі (4.2), враховуючи, що максимум 2 фідери 10 кВ з 60 наявних вимикаються при виникненні пошкоджень ізоляції.

В базовому варіанті (без застосування ДККРІ):

$$\Delta W_{\text{ОЗЗ}}^{\text{б}} = \frac{2}{60} \cdot 19489 \cdot 758 \cdot 0.88 \cdot (12 + 0.35 \cdot 5) = 5960977 \text{ кВт.год.}$$

При застосуванні ДККРІ зменшення річного недовідпуску від виникнення ОЗЗ становить

$$\delta \Delta W_{\text{ОЗЗ}}^{\text{ДККРІ}} = \frac{2}{60} \cdot 19489 \cdot 758 \cdot \frac{0.88 \cdot (12 + 0.35 \cdot 5) - 0.33 \cdot 0.85 \cdot 12}{1.5} = 2829477 \text{ кВт.год.}$$

Економія коштів від зменшення річного недовідпуску електроенергії при застосуванні ДККРІ:

$$E_{\text{к}}^{\text{ДККРІ}} = (\delta \Delta W_{\text{ОЗЗ}}^{\text{ДККРІ}}) \cdot E_{\text{н}} , \quad (4.7)$$

де $E_{\text{н}}$ – питомі економічні втрати енергопостачальної компанії від нереалізованої комерційної вигоди із-за недовідпуску електроенергії споживачу, грн/кВт.год.

$$E_{\text{н}} = c_{\text{сер}} - C_{\text{пок}} \cdot K_{\text{норм}} ,$$

де $C_{\text{пок}}$ – базовий тариф на покупку електроенергії з енергоринку (для

енергопостачальної компанії може знаходитись в межах $C_{\text{пок}}=3.3-3.6$ грн/кВт.год – приймаємо рівним $C_{\text{пок}}=3.4$ грн/кВт.год – за даними від ВАТ „АК Вінницяобленерго”); $k_{\text{норм}}=1.05$ – коефіцієнт, що враховує подорожчання електроенергії при її транзиті по мережах 110(35) кВ до периметру 10 кВ РМ районних електричних мереж.

$$E_{e_n} = 3.6 - 1.88 \cdot 1.05 = 1.626 \text{ грн/кВт.год. } E_{k_{\text{ОЗЗ}}}^{\text{ДККПІ}} = 2829477 \cdot 1,626 = 20029893.6 \text{ грн.}$$

Користуючись формулою (4.3) визначимо для кожної ПС доцільність встановлення на них ДККРІ для двох варіантів завантаженості мережі (реального $k_n=0.13$ і оптимального $k_n=0.9$). Результати розрахунків представлено в таблиці 4.1.

$$B_{\text{ДККПІ}} = B_{\text{НПДККПІ}} + B_{\text{ППДККПІ}}^{\text{ком}} + B_{\text{ППДККПІ}}^{\text{ВАФ}} / n_{\text{ППДККПІ}} \quad (4.8)$$

Отримані результати показали, що за умов врахування реального коефіцієнта завантаженості мереж $k_n=0.13$, впровадження ДККРІ в повному обсязі (НП ДККРІ + ПП ДККРІ) на всіх ПС є недоцільним, якщо за критерій доцільності брати витрати на підвищення надійності електропостачання. При цьому доцільним є встановлення НП ДККРІ на 4-ох ПС.

де $B_{\text{НПДККПІ}} = 6765$ грн. – витрати на встановлення НП ДККРІ (див. табл. 4.5. і 4.6.);

$$B_{\text{ППДККПІ}}^{\text{ком}} = 9325 \text{ грн. – витрати на встановлення комірки ПП ДККРІ;}$$

$$B_{\text{ППДККПІ}}^{\text{ВАФ}} = 4360 \text{ грн. – витрати на придбання ВАФу;}$$

$n_{\text{ПДККП}}$ – кількість ПС, на яких доцільним є встановлення ПП ДККРІ.

Таблиця 4.1 - Результати визначення доцільності встановлення ДККРІ

| ПС | L, км | $P_{\text{ном}}$, МВт | Кільк. фідерів | $P_{\text{сер}}$ при $\kappa_n=0.13$ | $P_{\text{сер}}$ при $\kappa_n=0.9$ | $V_n \delta \Delta W$ * грн при $\kappa_n=0.13$ | $V_n \delta \Delta W$ грн при $\kappa_n=0.9$ |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ПС Агрономічне | 73.330 | 16.364 | 5 | 14.728 | 2.124 | 6 912 | 47 931 |
| ПС Вороновиця | 75.470 | 15.621 | 7 | 14.059 | 2.027 | 4 851 | 33 636 |
| ПС Лаврівка | 80.160 | 15.544 | 9 | 13.990 | 2.017 | 3 987 | 27 650 |
| ПС Міз. Хутора | 35.200 | 6.626 | 4 | 5.963 | 0.860 | 1 679 | 11 645 |
| ПС Степанівка | 29.020 | 5.903 | 4 | 5.313 | 0.766 | 1 233 | 8 553 |
| ПС Оленівка | 130.840 | 18.738 | 8 | 16.864 | 2.432 | 8 826 | 61 205 |
| ПС Тюшки-тяга | 39.660 | 6.021 | 3 | 5.419 | 0.781 | 2 292 | 15 897 |
| ПС Східна | 28.410 | 5.756 | 1 | 5.180 | 0.747 | 4 710 | 32 659 |
| ПС Західна | 118.420 | 28.294 | 7 | 25.465 | 3.672 | 13 786 | 95 595 |
| ПС Північна | 34.230 | 9.795 | 4 | 8.816 | 1.271 | 2 414 | 16 740 |
| ПС Південна | 22.200 | 4.621 | 2 | 4.159 | 0.600 | 1 477 | 10 244 |
| ПС Нова | 91.390 | 16.879 | 6 | 15.191 | 2.191 | 7 405 | 51 346 |
| Сума | 758.3 | 150.1 | 60 | 19.489 | 135.14 | 59 573 | 413 101 |
| ПС | При $\kappa_n=0.13$ | | | при $\kappa_n=0.9$ | | | |
| | Доцільність встановл. НП ДККРІ | Доцільність встановл. ПП ДККРІ | Загальні витрати на ДККРІ, грн. | Доцільність встановл. НП ДККРІ | Доцільність встановл. ПП ДККРІ | Загальні ** витрати на ДККРІ, грн. | |
| ПС Агрономічне | + | - | 6 765 | + | + | 16 713 | |
| ПС Вороновиця | - | - | 0 | + | + | 16 713 | |
| ПС Лаврівка | - | - | 0 | + | + | 16 713 | |
| ПС Міз. Хутора | - | - | 0 | + | - | 6 765 | |
| ПС Степанівка | - | - | 0 | + | - | 6 765 | |
| ПС Оленівка | + | - | 6 765 | + | + | 16 713 | |
| ПС Тюшки-тяга | - | - | 0 | + | - | 6 765 | |
| ПС Східна | - | - | 0 | + | + | 16 713 | |
| ПС Західна | + | - | 6 765 | + | + | 16 713 | |
| ПС Північна | - | - | 0 | + | - | 6 765 | |
| ПС Південна | - | - | 0 | + | - | 6 765 | |
| ПС Нова | + | - | 6 765 | + | + | 16 713 | |
| Сума | 4 | 0 | 27 060 | 12 | 7 | 150 815 | |

*Примітка: розрахунок $V_n \delta \Delta W$ проводився за умов, що на окремо взятій ПС вимикається максимум 2

фідери 10 кВ при виникненні пошкодження ізоляції.

**Примітка: загальні витрати на впровадження ДККРІ на ПС розраховуються по формулі:

За умов, коли $\kappa_3=0.9$, впровадження ДККРІ в повному обсязі є доцільним на 7 ПС з 12. На 5-ти ПС доцільним буде обмежитись

встановленням НП ДККРІ.

Загальні витрати на впровадження ДККРІ в окремому районному підрозділі енергопостачальної компанії (Замостянські ЕМ) можна визначити за формулою:

$$B_{\Sigma}^{\text{ДККРІ}} = C^{\text{ДККРІ}} + E_n \cdot K^{\text{ДККРІ}}$$

де $C^{\text{ДККРІ}}$ – собівартість ДККРІ (згідно таблиці. 4.1, складає

$$C^{\text{ДККРІ}} = B_{\text{ДККРІ}\Sigma} \cdot k_{\text{обс}} = 150815 \cdot 1,05 = 158355 \text{ грн.},$$

де $k_{\text{обс}} = 1.05$ – коефіцієнт, що враховує витрати на обслуговування ДККРІ в собівартості);

$E_n = 0.15$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$K^{\text{ДККРІ}}$ – капіталовкладення на побудову ДККРІ

($K^{\text{ДККРІ}} = B_{\text{ДККРІ}\Sigma} = 15081500 \text{ грн.}$).

Отже, $B_{\Sigma}^{\text{ДККРІ}} = 158355 + 0.15 \cdot 52693695.6 = 953764.25 \text{ грн.}$

Визначимо сумарний річний економічний ефект від впровадження ДККРІ на 12 підстанціях Замонстянских РЕМ АК «Вінницяобленерго»

$$E\phi_{\Sigma}^{\text{ДККРІ}} = E\kappa_{\text{із}}^{\text{ДККРІ}} + E\kappa_{\text{ОЗЗ}}^{\text{ДККРІ}} - B_{\Sigma}^{\text{ДККРІ}} \quad (4.9)$$

$$E\phi_{\Sigma}^{\text{ДККРІ}} = 321002 + 20029893.6 - 18081500 = 2269395.6 \text{ грн.}$$

Розрахунковий термін окупності ДККРІ:

$$T_{\text{окуп}}^{\text{ДККРІ}} = \frac{B_{\Sigma}^{\text{ДККРІ}}}{E\phi_{\Sigma}^{\text{ДККРІ}}} \cdot 12 = 2860580 / 2269395 \cdot 12 = 15,1 \text{ міс. .}$$

Отриманий термін окупності є 1.3 року і вказує на достатню прибутковість впровадження ДККРІ.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці та цивільного захисту, що стосуються експлуатації діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі. Аварії в електричних мережах, а також невиконання правил з їхньої безпечної експлуатації призводять до серйозної загрози життю та здоров'ю людей через небезпеку падінь з висоти, поранень, опіку, уражень електричним струмом тощо. Отже, на електротехнічний оперативний персонал, що здійснює експлуатацію обладнання для здійснення діагностування роботоздатності ізоляції розподільчих мереж, впливають такі шкідливі виробничі фактори [108, 109]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі переважно фіброгенної дії (нетоксичний пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Під час експлуатації обладнання для діагностування роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі для убезпечення працівників [111, 112] всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і

напруги потрібно постійно заземлювати. За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів і реле кола вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорочується на спеціально призначених для цього затискачах. Розривати кола, підключені до вторинної обмотки трансформатора струму, забороняється. За необхідності розриву цих кіл вони мають бути попередньо замкнуті перемичкою, встановленою до передбачуваного місця розриву (рахуючи від трансформатора струму). Під час встановлення перемички слід застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками.

Під час роботи на трансформаторах струму або в колах, підключених до їх вторинних обмоток, слід виконувати такі заходи безпеки: затискачі вторинних обмоток до закінчення монтажу кіл, що до них підключаються, мають бути замкнені накоротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід переносити на найближчу збірку затискачів і знімати тільки після повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл; під час перевірки полярності до подавання імпульсів струму в первинну обмотку прилади слід приєднувати до затискачів вторинної обмотки. Забороняється використовувати шини первинних обмоток як струмопровідні під час монтажних та зварювальних робіт.

Робота в колах пристроїв релейного захисту, електроавтоматики і телемеханіки (РЗА і Т) проводиться за виконавчими схемами. Під час робіт в пристроях РЗА і Т слід користуватися слюсарно-монтажним інструментом з ізолювальними рукоятками. Під час перевірки кіл вимірювання, сигналізації, керування і захисту за необхідності в приміщенні електроустановок напругою понад 1000 В дозволяється залишатися одному члену бригади за умовами роботи (зокрема, регулювання вимикачів, перевірка ізоляції); працівник, який перебуває окремо від керівника робіт, повинен мати групу Ш. Під час робіт в колах трансформаторів напруги з подачею напруги від

стороннього джерела знімаються запобіжники з боку вищої і нижчої напруги, а також відключаються автомати від вторинних обмоток.

За необхідності проведення будь-яких робіт в колах чи на апаратурі РЗА і Т за умови ввімкненого основного обладнання слід вжити додаткових заходів щодо запобігання його випадковому відключенню. Забороняється на панелях або поблизу місця розміщення релейної апаратури провадити роботи, які викликають сильний струс релейної апаратури, що може спричинити до помилкових дій реле.

Перемикання, вмикання і вимикання вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, пускання і зупинення агрегатів, регулювання режиму їх роботи, необхідні під час налагодження або перевірки пристроїв РЗА і Т, провадять тільки оперативні працівники. Записувати покази вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в РУ, дозволяється: одноособово працівникам з групою II за наявності місцевих оперативних працівників (з чергуванням двох осіб) і з групою III – без місцевих оперативних працівників; працівникам інших організацій з групою III у супроводі місцевого оперативного працівника.

В електроустановках до 1000 В споживачів, які не мають електротехнічних працівників, оформлення робіт нарядом (розпорядженням), підготовку робочих місць і допуск до робіт з електролічильниками, за показами яких здійснюються розрахунки за спожиту електроенергію, можуть виконувати працівники електропостачальної організації. Встановлення та зняття вимірювальних приладів, підключених до вимірювальних трансформаторів, повинні провадити за нарядом зі зняттям напруги два працівники, один з яких повинен мати групу IV, а другий – групу III. Приєднання вимірювальних приладів, встановлення і зняття електролічильників, підключених до вимірювальних трансформаторів, за наявності випробувальних блоків або спеціальних затискачів, що дають змогу безпечно закорочувати кола струму, виконуються без зняття навантаження і напруги.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III. Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця; розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою. В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

5.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ ПБЕ [111, 112] умови

праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення. Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустановками використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі та струм вимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [113]. Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наведені в таблиці 5.1. Робота з монтажу та експлуатації системи діагностики стану ізоляції відноситься до категорії Пб по важкості праці.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

| Період року | Категорія робіт | Температура, °С | Відносна вологість | Швидкість руху, X |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------------------|
| Холодний | Пб | 13-23 | 75 | не більше 0,4 |
| Теплий | | 15-29 | 70 при 25 °С | 0,2-0,5 |

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [113].

Під час експлуатації виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [113] наведено в таблиці 5.2.

Для забезпечення допустимих показників мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до ДБН проектом передбачені наступні рішення [114]: застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення; необхідно здійснювати контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні; застосовувати природну вентиляцію: організовану та неорганізовану.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні монтажника

| Назва речовини | ГДК, мг/м ³ | | Клас небезпечності |
|-----------------|------------------------|-----------------|--------------------|
| | Максимально разова | Середньо добова | |
| Пил нетоксичний | 0,5 | 0,15 | 4 |

5.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи. Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але вечері постає проблема в штучному освітленні. Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [115] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 5. 3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

| Характер зорової роботи | Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм | Розряд зорової роботи | Під-розряд зорової роботи | Контраст об'єкта з фоном | Характеристика фону | Штучне при системі комбінованого освітлення | | Природне Ен пр | Сумісне Е сум |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------------------|------------------------|----------------|---------------|
| | | | | | | всього | у т. ч. від загального | | |
| Середньої точності | Від 0,5 до 1,0 включно | IV | г | середній | світлий | - | 200 | 4 | 2,4 |

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

Під час монтажу системи опалення на будівництві джерелом шуму є будівельне обладнання, машини, механізми та переносний електроінструмент – механічний шум. Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності. Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи: нормування за гранично допустимим спектром шуму; нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра. За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою – постійний; за походженням – гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [116] і наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

| Робоче місце | Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| На постійних Робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства | 107 | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 |

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

5.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [108]. Робота електромонтажника потребує значних фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кґ/м) – до 290; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кґ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні (за участю м’язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кґ – до 30 кґ; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м’язів кистей та пальців рук)- до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кґ/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю м’язів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або

фіксованій позі (неможливість зміни взаємного розташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності

Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) – більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – одностійна (без нічної зміни).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в умовах дії загрозливих чинників НС

Стійкість об'єктів електроенергетики у надзвичайних ситуаціях є важливою в мирний і в воєнний час з точки зору роботи промислового

комплексу та обороноздатності держави. Один із самих уразливих елементів електричних систем це лінії електропередачі, так як це обладнання відкритого типу постійно зазнає впливу різних факторів і дуже уразливе при дії екстремальних природних явищ. Тому для забезпечення надійної роботи ліній електропередачі необхідно забезпечувати її захист різними пристроями в залежності від виду впливів, а особливо ізоляції. Системи електропостачання, як частина енергетичного господарства зустрічається повсюди, тому їх функціонування є надзвичайно важливим при НС. Вихід з ладу системи електропостачання збільшить кількість жертв в разі і призведе до зупинки підприємств, викидів небезпечних речовин, зупинки об'єктів інфраструктури тощо.

Найбільш піддаються впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) системи управління, сигналізації електропостачання. ЕМІ ушкоджують напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. ЕМІ має велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Слід також пам'ятати, що механічний захист апаратури не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може бути знищена навіть знаходячись у надійних спорудах [116]. Системи електропостачання в умовах НС вони повинні працювати без перебоїв, тому розробка заходів щодо покращення їх роботи в умовах ЕМІ та дії іонізуючих випромінювань є актуальною задачею при проектуванні.

Дія електромагнітного імпульсу також може призвести до загоряння чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних блоках діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, елементи, викликає коротке замикання тощо. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання. Він може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в контрольних пристроях. ЕМІ пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає

коротке замикання. Це призводить до пожеж та знеструмлення. Саме тому є необхідність дослідження впливу цього фактору на обладнання діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції.

5.3.1 Дослідження безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази, при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції ще буде працювати з необхідною якістю. Максимально допустимі значення потужності дози елементів діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Максимально допустимі потужності дози діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції

| № | Блок | Елементи блоків діагностичного комплексу | $P_{гр,i}$ (Р/год) | $P_{гр}$ (Р/год) |
|---|------|------------------------------------------|--------------------|------------------|
| 1 | БЖ | Транзистори КТЗ102В | 10^5 | 10^4 |
| | | Діоди загального призначення S1M | 10^5 | |
| 2 | БП | Конденсатори SMD1206 1nf, 16V | 10^6 | |
| | | Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм | 10^6 | |
| 3 | БКП | Мікросхеми PIC16F877 | 10^4 | |
| | | Діелектрики GTP15 | 10^4 | |

1. За мінімальним значенням $p_{гр}$ (див. табл. 5.1) межа стійкості $p_{гр}$ роботи системи складає $p_{гр} = 10^4$ (Р/год).

2. Для оцінки безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($p_{гр}$) за наступною формулою:

$$P_{гр} = K \times p_{гр} \times K_{нос}, \quad (5.1)$$

де: K – коефіцієнт надійності, $K = 0,9..0,95$;

$r_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{пос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{пос} = 2$),

$$P_{гр} = 0,94 \times 10^4 \times 2 = 1,88 \times 10^4 \text{ (Р/год)}.$$

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 1,88 \times 10^4$ (Р/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час перебування комплексу на території в умовах дії іонізуючих випромінювань та ЕМП:

$$D_m = \frac{2P_{зр}(\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1}, \quad (5.2)$$

де: $t_{доп} = 12,342 \times 10^3$ (год).

Отже діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції буде працювати безпечно в умовах поміркованого впливу іонізуючих випромінювань.

5.3.2 Дослідження безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в умовах дії електромагнітного імпульсу

В якості показника безпеки елементів системи до дії електромагнітного імпульсу використовують коефіцієнт безпеки [119]:

$$K_{\delta} = 20 \lg \frac{U_{\delta}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 \text{ дБ}, \quad (5.3)$$

де U_{δ} - допустиме коливання напруги живлення;

$U_{B(\Gamma)}$ - напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних системах.

Спочатку визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\delta} = U_{\text{жс}} + \frac{U_{\text{жс}}}{100} \cdot N, \quad (5.4)$$

де N - допустимі коливання (приймається $N = 5\%$)

Шляхом підстановки числових даних в (5.4) отримується:

$$U_{\delta} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6(B).$$

Визначається максимально очікувана напруга в горизонтальних лініях[119]:

$$U_B = \frac{U_{\delta}}{10^{\frac{20}{K}}} \quad (5.5)$$

Після підстановки числових даних:

$$U_B = \frac{12,6}{10^{\frac{40}{20}}} = 0,126(B).$$

З формули визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля [119]:

$$U_B = E_{\Gamma} \cdot l_B. \quad (5.6)$$

Отже, E_{Γ} визначається:

$$E_{\Gamma} = \frac{U_B}{l_B}. \quad (5.7)$$

Після підстановки числових даних в формулу (5.7):

$$E_{\Gamma} = \frac{0,126}{5} = 0,0252(B/m).$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з формули [127]:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B. \quad (5.8)$$

Тоді E_B буде:

$$E_B = 0,0252 \cdot 1000 = 25,2 (В/м).$$

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції в умовах надзвичайних ситуацій

Дія підвищення безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції необхідно використовувати екранування РЕА і довгих ліній. Для цього визначимо перехідне гасіння енергії електричного поля сталевим екраном.

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.6)$$

де f - найбільш характерна частота, ($f = 15$ кГц).

Для блоків системи електропостачання:

$$t_1 = \frac{40 - 38,72}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,0025 \text{ (см)};$$

Обираємо товщину стінки на порядок вище, для того щоб забезпечити необхідний захист обладнання. Прийmemo $t=1$ мм.

$$A = 5,2 * 0,102 * \sqrt{15000} = 65 \text{ (дБ)}.$$

Отже нам потрібно взяти сталевий екран товщиною 1 мм, який забезпечує згасання енергії електричного поля не менше 65 дБ.

Висновки. Також в результаті проведених розрахунків визначено, що безпека роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції забезпечується при рівні радіації до $1,88 \times 10^4$ (Р/год). До дії ЕМІ на комплекс електропостачання необхідно застосовувати екранування РЕА і довгих провідників це суттєво підвищує її стійкість в умовах дії

електромагнітного імпульсу. В результаті застосування пасивних екранів в діагностичному комплексі контролю роботоздатності ізоляції він буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 25,2 В/м. Ще одним не реалізованим напрямком підвищення безпеки роботи діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції є зменшення струмопровідних провідників шляхом вдосконалення схемоустаткування пристроїв.

ВИСНОВКИ

Дослідження виконані в магістерській кваліфікаційній роботі дозволили зробити наступні висновки щодо результатів роботи:

1. Шляхом аналізу причин і характеру пошкодження ізоляції доведено, що зміна технічного стану ізоляції окремих елементів РМ зумовлена утворенням шунтувальних зв'язків між струмоведучою частиною і землею. Змінюється активний опір ізоляції мережі відносно землі. Проведені дослідження (розділ 1) показали, що існуючі методи контролю не дозволяють контролювати динамічну характеристику активного опору ізоляції мережі, не нормується і його величина, тому існує необхідність побудови та аналізу діагностичної моделі для визначення умов роботоздатності ізоляції.

2. В МКР запропоновано метод визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі, який ґрунтується на використанні критеріїв електробезпеки і мінімуму втрат електроенергії в ізоляції від струмів стікання на землю.

3. Побудовано математичну модель для визначення умови роботоздатності ізоляції РМ відносно землі у вигляді обмежень на зміну показників роботоздатності ізоляції, узгоджених із нормативними документами і стандартами. Встановлено, що введені при формуванні моделі допущення призводять до виникнення похибки методу не більше 3.5%.

4. Вдосконалено метод визначення параметрів ізоляції фази мережі відносно землі. Метод передбачає неперервний контроль загального активного опору ізоляції і напруг фаз відносно землі при накладанні на мережу сигналу постійного струму і обробки результатів з допомогою спеціальної математичної моделі. Математична модель має вигляд системи рівнянь, що відображають залежність параметрів ізоляції від

контрольованих показників. Застосування даного методу підвищує чутливість контролю, а тому забезпечує виявлення пошкоджень ізоляції відносно землі на ранніх стадіях їх розвитку.

5. Для підвищення точності діагнозу технічного стану ізоляції передбачається дублювання експерименту відомим методом періодичного контролю параметрів ізоляції фази мережі відносно землі. Метод ґрунтується на принципі штучного зміщення нейтралі мережі до значення середини вектора лінійної напруги. Це досягається шляхом включення в мережу відносно землі зірочки провідностей, параметри яких налагоджені у послідовний резонанс. Запропонований метод доповнено способом врахування несиметрії ємностей фаз мережі відносно землі. Розроблено спосіб технічної реалізації даного методу, пристосований до сучасних умов проведення вимірювань в діючих РМ.

6. Розроблено принципи побудови, структуру і алгоритм функціонування діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції, який складається з підсистем неперервного і періодичного контролю, а також алгоритмічного програмного забезпечення, яке використовується для обробки даних вимірювань і визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі на основі мікропроцесора.

7. Впровадження діагностичного комплексу (ДК) контролю роботоздатності ізоляції в РМ напругою 6-10 кВ підвищує рівень надійності і безпеки експлуатації за рахунок забезпечення експлуатаційного персоналу інформацією для вчасного проведення обслуговування, що запобігає аварійним відключенням і попаданню людей під дію небезпечних струмів замикання на землю. Можливим стає усунення багатьох недоліків експлуатації обладнання повітряних РМ, зокрема, неякісної розчистки

охоронної зони ПЛЕП, незадовільного контролю за станом ізоляторів на трансформаторних підстанціях і опорах ПЛ і т.п.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кутін В.М. Визначення умов роботоздатності розподільчих мереж / В.М. Кутін, С.В. Матвієнко –Вінниця; ВНТУ, 2015.-145 с.
2. Mnhagger D.S. Insulator surface conduction // Scienc and General Record-1965.-V. ІУ- 140 р.
3. Кутин В.М., Кобылянский А.В. Диагностика повреждения изоляции распределительных сетей выше 1000 В с изолированной нейтралью. // Промышленная энергетика.- 1984.- № 7.- С. 11-14.
4. Alff J., Houhanessian V. D., Zaengl W. S., Kachler A. J. Compact Instrument for the Measurement and Evaluation of Relaxation Currents conceived for On-Site Diagnosis of Electric Power Apparatus // Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, IEEE Publication 00CH37075. – 2000. – PP. 161-167.
5. Widmaier K. Durchführung – eine höchstbeanspruchte Komponente // Micafil Symposium 2002 Werterhaltung von Isolationssystemen in Transformatoren, Schaltanlagen und Kabeln. – 2002. – PP. 38-39.
6. Boeck W. Sensitivity verification of partial discharge detection systems for GIS with the UHF method and the acoustic method // ELECTRA. – 1999. – №183. – PP. 75–87.
7. König D. Teilentladungen in Betriebsmitteln der Energietechnik // VDE Verlag. – 1993. – PP. 38-42.
8. Lemke E. Advanced diagnostic tool for PD fault location in power cables using the CDA-technology // 12th ISH Bangalore. – 2001. – PP. 6-46.
9. Klaus A., Gerlach H.G. Teilentladungsmessung an Hochspannungsapparatem in Ungeschirmten elektrischen Verteilanlagen // Hochspannungsprüfung vor Ort. – 1988. – PP. 23-37.

10. Кутін В.М., Матвієнко С.В. Контроль провідності ізоляції фази відносно землі в трифазних системах з ізольованою нейтраллю // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002.– №2.– С.60-65.

11. Кутін В.М., Свиридов М.П., Матвієнко С.В. Проблеми діагностування ізоляції повітряних ліній напругою 6-10 кВ // Вісник ВПІ.– 2003. – №6.– С.238-240.

12.Кутін В.М. Вдосконалення методу розрахунку індуктивного опору систем електропостачання з повітряними лініями електропередачі напругою 6-35 кВ./В.М. Кутін, М.В. Кутіна //Вісник Вінницького політехнічного інституту=2014.-№3.-С. 65-69 .

13.Вдосконалення системи керування технічним станом розподільних мереж /В.М. Кутін, М.О. Ілюхін //Наукові праці Донецького національного технічного університету. СеріяЕлектротехніка і енергетика.-2011.-Вип. 11 X186).С 226 -230.

14.Лабзун М.П. Методика та засоби діагностування опорно- стрижневих ізоляторів монографія / М.П. Лабзун, О.Є. Рубаненко,В.М. Кутін- Вінниця: ВНТУ,2010.-323 с.

15. Норми випробування електрообладнання : СОУ-Н ЕЕ 20.302. 2007-Офіц. Вид.-К.ГРІФРЕ: М-во. Палива та енергетики. Україна. 2007.-П .262 с.- (Нормативний документ Мінпалив енерго Україна. Норми.

16. Засоби діагностування релейного захисту та автоматики електроенергетичних систем навчальний посібник /В.М.Кутін, М. В. Кутіна,М.О. Ілюхін; Він. Нац..техн. університет Вінниця: ВНТУ, 2007.=120с.

17/Lapp A., Kranz H.-G., Hücker T., Schichler U. On-site Application of an Advanced PD defect Identification System for GIS // 11th ISH. – London, UK. – 1999. – Vol. 5. – PP. 252-255.

18. Lapp A., Kranz H.-G. Konzeption eines automatisierten TE-Diagnosesystems für den Prüffeld und Vor-Ort-Einsatz // VDE-ETG-Fachveranstaltung, Teilentladungen (TE) in Betriebsmitteln der Elektrischen Energietechnik. Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, April 1999.– Teil II 1.5. – S.55-57.

19. Kranz H.-G., Lapp A. Neuro-Fuzzy-Diagnosesystem mit bewerteter Diagnosezuverlässigkeit und hoher Rauschtoleranz // Anwendungen von Fuzzy Technologien und Neuronalen Netzen, Anwendersymposium. Berlin, Germany. – 1996. – PP. 5-11.

20. Kranz H.-G., Steinbrink D., Merschel F. IRC-Analysis: A new test procedure for laid XLPE-Cables // ISH 97. Montreal.– Vol.4.– PP. 207-210.

21. Hofmann R., Kranz H.-G., Steinbrink D. IRC-Analysis: Destruction Free Dielectric Diagnosis of Mechanical and Service Aged Polymeric Insulation // ISH 99. London, UK. – P. 4.253.P2.

22. Hoff G., Kranz H.-G. Isothermal Relaxation Current Analysis: A New Non-destructive Diagnostic Tool for Polymeric Power Distribution Cables // IEEE PES Panel on Diagnostic Measurement Techniques for Power Cables. New Orleans, USA. – 1999. – PP. 239-242.

23. Hvidsten S., Faremo H., Benjaminsen J.-T., Ildstad E. Condition assessment of water treed service aged xlpe cables by dielectric response measurements // Cigre Session. – Paris. – 2000. – PP.28-34.

24. Патент 34689 Украина. МКИ G01N 27/00, G01R 31/00. Пристрій автоматичного контролю ізоляції електричної мережі змінного струму / Н.В. Гребченко// Бюл. №6, 2002. – 4 с.

25. Пристрій захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором/В.М.

Кутін, В.І. Голінько, О.О. Шпачук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2016. - №2. - С.133-138..

26. Roberts Jeff, Dr. Daqing Hou, Fernando Calero, Dr. Hector J. Altuve New directional ground-fault elements improve sensitivity in ungrounded and compensated networks. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.selinc.com/>.

27. Klaus A., Gerlach H.G. Teilentladungsmessung an Hochspannungsapparaten in ungeschirmten elektrischen Verteilanlagen // Bull. SEV/VSE 79. – 1988. – №13. – S. 769-774.

28. Biasiutti G. Vorortprüfung von Kunststoffenergiekabeln mittels Gleichspannung // Bull. SEV/VSE 78. – 1987. – №23. – S.1431-1437.

29. Jäkle E. Prüfung von Kabelanlagen mit Resonanz-Prüfgeräten // Elektrizitätswirtschaft 86. – 1987. – №7. – S.260-262.

30. Zaengl W. Dielectric spectroscopy in time and frequency domain for HV power equipment // Theoretical considerations. Part I. – IEEE Electr. Insul. Magazine. – Vol. 19. – 2003. – No.5. – PP. 5-19.

31. Gockenbach E. Testing and monitoring as basis of the dielectric diagnostic // 11th ISH, London. – 1999. – P. 501-510.

32. Beigert M., Kranz H.-G., Kaubisch D., Meurer D. Computergestützte zerstörungsfreie Alterungsdiagnose für VPE-isolierte Mittelspannungskabel // Elektrizitätswirtschaft Bd. 93. – 1994. – Nr. 11. – S. 615-618.

33. Hoff G., Kranz H.-G., Beigert M., Petzold F., Kneissl Ch. Zustandsorientierte Instandhaltung eines Polymerisolierten 20-KV Kabelnetzes mit der IRC-Analyse // Elektrizitätswirtschaft Jg. 100. – 2001. – Heft 22.

34. Patsch R., Romero P. Verlustfaktormessungen bei unterschiedlichen Frequenzen als Diagnoseverfahren water tree geschädigter Isolierungen // 40IWK. – Ilmenau. – 1995. – S. 35-38.

35. Hamon B.V. An approximate method for deducing dielectric loss factor from dielectric current measurements // *Insulation Monograph*. – No.27 – 1952. – 250 p.

36. Kuschel M. Diagnose des Alterungszustandes von PE VPE-isolierten Kabeln mittels Verlustfaktormessung bei Niedrigfrequenz (VLF) und Depolarisationsstrom- bzw. Rückkehrspannungsmessung // *Elektrizitätswirtschaft* Bd. 98. – 1999. – Nr. 3. – S. 218-223.

37. Patsch R., Kouzmine O. P-factor, A meaningful Parameter for the evaluation of return voltage measurements // *CEIDP Cancun, Mexico*. – 2002. – PP. 23-27.

38. Аналіз наявної системи діагностики електричних розподільних мереж і шляхи її вдосконалення/В.М.Кутін, В. В .Вашковский//Вісник Вінницького політехнічного інституту1999.-№4.-С 31-35.

39.Вдосконалення захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора/В.М.Кутін, О.О.Шпачук//Вісник Вінницького політехнічного інституту.-2012.-№1.-С.105-108.

40.Вибір діагностичних параметрів на основі топологічної моделі об'єкта./В. М. Кутін, М.В.Кутіна,М.О.Ілюхін //Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім.. Михайла Остроградського.-2008 – Вип..4 (51) .ч.2.-С. 70-73.

41.Конспект лекцій з дисципліни..»Надійність і діагностика електрообладнання» для студентів за напрямом 6.050702 «Електротехніка» Укл.: к.т.н.,доцент Ключев О.В.-Дніпродержинск: ДДТУ,2013,143 с.

42.ГДК 34.20.507-2003 «Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж.Правила»[Чинний від 2009-03-27]. Львів: ОРГРЕС,2003, 597 с.

43. ГОСТ 12.1038-82. Предельно допустимые уровни напряжения и токов. – Введ. 01.01.85. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.

44. McIlhagger D.S., Salthouse E.C. Insulator surface conduction // Science and General Record. – 1965. – vol. 112. – №7. – PP. 27-38

45. Безменнікова Л.М., Квітеа С.О., Вовк О.Ю. Діагностування силових трансформаторів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету-2011.-№3.-С.137-142.

46. Sommermann G.M.L. Стійкість полімерів до утворення проводячого сліду. // Trans.AIEE. – 1960. – Pt. III, vol. 79. – PP. 969-974.

47. Albright M.W., Starr W.T. Методи досліджування на стійкість до утворення проводячого сліду // Trans.AIEE. – 1956. – Pt.III, vol.75. – PP.441-448.

48. Курашкін С, Ф., Попова І.О. Механізм пошкодження елементів конструкції силового трансформатора // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенко.-2017.-№186.-С.62-63.

49. Mathes K.N., M. C. Govan E.J. Електричне пошкодження – разряд по поверхні при наявності забруднення.. Дослідження методом похилої площини з зволженим забрудненням // Trans. AIEE. – 1961. – Pt.1, vol. 80. – PP.238-244.

50. Лабзун М.П. Вдосконалення системи контролю стану опорно-стрижневих ізоляторів в експлуатації./М,П, Лабзун, В.Л. Таловеря., О.Є. Рубаненко, П,І, Пірожок//Новини енергетики.-2009.-0№9.С.53-53.

51. Луцяк В.В. Дослідження параметрів аварійного режиму при визначенні місця пошкодження в РМ дистанційними методами/В.В.Луцяк //Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств: науково-технічний семінар: тез. доп.-Луцк,2007.-С.22-25.

52. Луцяк В.В. Точність вимірювання відстані до місця пошкодження дистанційним методом в розподільних мережах/В.В.Луцяк, В.М.Кутін-

[збірн.наук. праць] //Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім.. М.Остроградського; збірник наук. Праць.-Вип3.-С.97-99.

53Луцяк В.В. Дистанційний метод визначення місця між фазного короткого замикання в розподільній мережі 6-35кВ з повітряними лініями електропередачі /В.В.Луцяк В.М.,Кутін, С.В. Матвієнко// Вісник Криворізького технічного університету: збірник наук. Праць.-2006.-С.112-

54. Пристрій захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора,що працює в блоці зтрансформатором /В.М. Кутін, О.О. Шпачук //Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ-2015) :3-я Міжнародна науково- технічна конференція, м. Вінниця, 14-15 жовтня 2015 р.- Вінниця,2015.-С37 .

55.Мікропроцесорний захист від однофазних замикань в синхронних генераторах [Електронний ресурс]/М.О. Ілюхін,В.М.Кутвн //ХЛІ регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу,співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці, 28 лютого-16 березня 2012 р.С.188-194.

56.Математична модель відновлення працездатності розподільчої мережі напругою 6-35 кВ /В.М Кутін//Математичне моделювання в електроенергетиц: тези доповідей Першої міжнародної конференції, м. Львів,9-10 квітня 1995.- С.309.

57. Цапенко Е.Ф. О настройке дугогасящих катушек для компенсации токов однофазного замыкания на землю в сетях 6-35 кВ // Промышленная энергетика.- 1980.- № 7.- С. 41-43.

58. Шулика Н.М., Сирота И.М., Богаченко А.Е. Контроль состояния изоляции электрических сетей: Препр. 632 ИЭД АН УССР. - Киев, 1990. - 42с.

59. Устройство для защиты сети переменного тока с изолированной нейтралью от однофазного замыкания на землю: А.с. 877686 СССР. -МКИ Н 02 Н 3/16./ В.М. Кутин, Л.П. Любонько (СССР) – № 2885112/24-07; Заявл. 19.02.80; Оpubл. 30.10.81, Бюл. №40.- 4с.

60. Устройство для защиты сети переменного тока с изолированной нейтралью от однофазных замыканий на землю: А.с. 1065951 СССР. -МКИ Н02Н3/17 / В.М. Кутин, А.В. Кобылянский (СССР) – № 3486774/24-07; Заявл. 06.09.82; Оpubл. 07.01.84, Бюл. №1.- 4с.

61. Кутин В.М., Рубаненко А.Е. Непрерывный контроль изоляции в распределительных сетях 6-10 кВ / Электробезопасность и надёжность эксплуатации электрооборудования: маркетинг разработок. Тезисы докл. Всесоюзного семинара. – Калининград – Светлогорск. - 1991. - С. 15

62. Кутин В.М. Комбінована система діагностування систем електропостачання змінного та постійного струму (теорія, дослідження та розробка): Дис. ... докт. техн. наук.: 6.11.2002; – Дніпропетровськ, 2002. – 518 с.

63. Сабарно Л.Р. особенности мониторинга изоляции кабельных линий среднего класса напряжения // Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. – К.: Наук. Думка. – 1998. – С.165-170.

64. Lapp A., Kranz H.-G., Hücker T., Schichler U. On-site Application of an Advanced PD defect Identification System for GIS // 11th ISH. – London, UK. – 1999. – Vol. 5. – PP. 252-255.

65. Lapp A., Kranz H.-G. Konzeption eines automatisierten TE-Diagnosesystems für den Prüffeld und Vor-Ort-Einsatz // VDE-ETG-Fachveranstaltung, Teilentladungen (TE) in Betriebsmitteln der Elektrischen Energietechnik. Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, April 1999.– Teil II

1.5. – S.55-57.

66. Kranz H.-G., Lapp A. Neuro-Fuzzy-Diagnosesystem mit bewerteter Diagnosezuverlässigkeit und hoher Rauschtoleranz // Anwendungen von Fuzzy Technologien und Neuronalen Netzen, Anwendersymposium. Berlin, Germany. – 1996. – PP. 5-11.

67. Kranz H.-G., Steinbrink D., Merschel F. IRC-Analysis: A new test procedure for laid XLPE-Cables // ISH 97. Montreal.– Vol.4.– PP. 207-210.

68. Hofmann R., Kranz H.-G., Steinbrink D. IRC-Analysis: Destruction Free Dielectric Diagnosis of Mechanical and Service Aged Polymeric Insulation // ISH 99. London, UK. – P. 4.253.P2.

69. Hoff G., Kranz H.-G. Isothermal Relaxation Current Analysis:A New Non-destructive Diagnostic Tool for Polymeric Power Distribution Cables // IEEE PES Panel on Diagnostic Measurement Techniquesfor Power Cables. New Orleans, USA. – 1999. – PP. 239-242.

70. Hvidsten S., Faremo H., Benjaminsen J.-T., Ildstad E. Condition assessment of water treed service aged xlpe cables by dielectric response measurements // Cigre Session. – Paris. – 2000. – PP.28-34.

71. Sahulka E. Bestimmung des Isolationswiderstandes und der Kapazität einzelner Leiter von Wechselströmanlagen während des Betriebes. Ets. – 1907. – 250 s.

72. Гладилин Л.В. Анализ условий безопасности в подземных кабельных сетях // Электрооборудование подземных выработок угольных шахт. -М.: Углетехиздат, 1955. - С. 43-46.

73. Гладилин Л.В., Меньшов Б.Е. Прибор для исследования состояния изоляции электрических сетей низкого напряжения // Горный журнал. - 1960. -№5.- С. 38-41.

74. Кутин В.М. Определение проводимости изоляции фазы относительно земли в трехфазной сети с изолированной нейтралью // Изв. вузов. Энергетика.- 1978.- №2.- С. 123-127.

75. Устройство для измерения полной проводимости изоляции: А.с. 261567 СССР, МКИ G 01 r 27/04. / В.М. Кутин, Л.С. Тонкошкур (СССР).-№1230831/24 – 7; Заявлено 04.04.68; Опубл. 13.1.1970, Бюл. № 12 - 3с.

76. Кутин В.М., Жогов В.А. Приставка для непрерывного контроля проводимости изоляции фаз сети // Промышленная энергетика. - 1978. - № 1. - С. 39-41.

77. Иванов Е.И. Замыкания на землю и заземления // Новости Электротехники. – № 5 (11), 2001.– С. 73–75.

78. Petersen W. Erdschlussströme in Hochspannungsanlagen // ETZ. – 1916. – Heft 37, 38.

79. Petersen W. Der aussetzende (intermittierende) Erdschluss // ETZ. – 1917. – Heft 47, 48.

80. Федоров М.М., Пинчук О.Г. К вопросу о влиянии напряжения обратной последовательности на электромеханические характеристики асинхронного двигателя / Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика». Випуск 50. – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – 190с.

81. Нейман Л.Р. Демирчян К.С Теоретические основы электротехники. - М.-Л.: Энергия, 1976.- 522 с.

82. Алексеев В.Г., Зихерман М.Х. Феррорезонанс в сетях 6-10 кВ. - Электрические станции. – 1979. – №1. – С.63-65.

83. Базанов В.П., Путова Т.Е. О режимах работы трансформаторов напряжения. - Электрические станции.– 1987.– №2. – С.56.

84. Дударев Л.Е., Волошек И.В. Защита трансформаторов напряжения от токовых перегрузок с помощью резисторов в цепи нейтрали. - Промышленная энергетика. – 1987. – №4. – С.34-37.

85. Волошек И.В. Компенсационный эффект трансформаторов напряжения. - Изв. вузов СССР, Энергетика. – 1988. - №3. – С.43-46.

86. Волошек И.В. Анализ переходных процессов в сетях 6-10 кВ при замыканиях на землю через перемежающуюся дугу методами математического моделирования. - Автореф. дисс. ... канд. техн. наук / МЭИ. – М., 1988. – 21с.

87. Дударев Л.Е., Волошек И.В. Численный анализ феррорезонансных процессов в сетях с изолированной нейтралью. - Электрические станции. – 1991.– №1. – С.66.

88. Дударев Л.Е., Эль-Хатиб Аднан. Подавление феррорезонансных процессов в сетях с изолированной нейтралью. - Электрические станции.– 1993. – №10.– С.62-65.

89. Ларионов В.П., Базуткин В.В., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 464с.

90. Цапенко Е.Ф. Влияние трансформаторов контроля изоляции на перенапряжения в сетях 6-35 кВ. - Промышленная энергетика. – 1983.– №12. – С.22-23.

91. Арриллага Дж, Брэдли Д., Роджер П. Гармоники в электрических системах / Пер. с англ. - М.: Энер-гоатомиздат, 1990. – 230 с.

92. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-ое изд. пер. доп. – М.: Энергоиздат, 2000. – 331 с.

93. Климов В.П., Москалев А.Д. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания // Практическая силовая электроника.

Науч.-техн.сб./Под ред. Малышкова Г.М., Лукина А.В.- М.: АОЗТ "ММП-Ирбис", 2002. Вып 5. – С.58-60

94. Кутін В.М., Матвієнко С.В. Система контролю працездатності ізоляції розподільної мережі напругою 6-10 кВ // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2005.– №7.– С.123-128.

95. Структура балансу електроенергії в електричних мережах 0.38-154 кВ – Методики складання, аналізу складових та нормування технологічних витрат електроенергії, Київ. – 2003. – 71с.

96. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Вопросы качества электроэнергии в электроустановках. – Мариуполь: ПГТУ, 1996. – 173с.

97. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Визначення технічного стану ізоляції розподільних мереж напругою 6-10 кВ з урахування впливу несиметрії параметрів ізоляції відносно землі // Вісник Вінницького Політехнічного Інституту. – 2005. – №6. – С.142-145.

98. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. - М.: Энергия, 1986. - 547с.

99. Правила устройств электроустановок М: Энергоатомиздат, 1985.- 640 с.

100. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Луцяк В.В. Визначення умов працездатності ізоляції в розподільних мережах напругою 6-10 кВ // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. праць.– Кременчук, 2003.– №6(23).– С.34-37.

101. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Луцяк В.В. Керування технічним станом електротехнічних комплексів в процесі їх експлуатації // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. праць.– Кременчук, 2005.– №3(32).– С.152-155.

102. Кутін В.М., Матвієнко С.В. Вибір сукупності діагностичних

показників для оцінки працездатності ізоляції відносно землі мережі 6-35 кВ // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. праць.– Кременчук, 2006.– №3(38).– С.96-99.

103. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Луцьк В.В. Визначення технічного стану ізоляції повітряних мереж напругою 6-10 кВ // Підвищення ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: I Міжнародна науково-технічна конференція. Луцьк, 26-28 червня 2006р.– Луцьк, 2006.– С.33-34.

104. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Кутіна М.В. Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж // Автоматика-2006: XIII Міжнародна конференція. Вінниця, 25-28 вересня 2006р.– Вінниця, 2006.– С.116.

105. Кутін В.М., Матвієнко С.В. Визначення технічного стану ізоляції розподільних мереж напругою 6-10 кВ з врахуванням впливу несиметрії параметрів ізоляції відносно землі // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005): VIII Міжнародна конференція. Вінниця, 24-27 жовтня 2005р.– Вінниця, 2005.– С.155.

106. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Система контролю технічного стану ізоляції розподільних мереж 10 кВ // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. праць.– Кременчук, 2007.– №3(44).– С.117-120.

107. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Кутіна М.В. Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №1. – С.37-42.

108. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості

трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.

109. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

110. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

111. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

112. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

113. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

114. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

115. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

116. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

117. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

118. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

119. Сакевич В. О. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах. Навч. Посбник. Вінниця: ВДТУ, 2001. 109 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ


ПОГОДЖЕНО
Заст. Декана ФЕЕЕ
к.т.н., доц.
Віра ГЕПТЯ
" 24 " 03 2023р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
В. о. зав. кафедри КЕМСК
к.т.н., доц.
Микола МОШНОРІЗ
" 24 " 03 2023_р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

**ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ
РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ ВІДНОСНО
ЗЕМЛІ**

08-24.МКР.004.00.000 ТЗ

Науковий керівник:

д.т.н., проф. Василь КУТІН


(підпис)

« 24 » 03 2023 р.

Виконавець: студентка гр. ЕПА - 21мз

Вікторія ХОНИЧ


(підпис)

« 24 » 03 2023 р.

Вінниця 2023 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі»

Скорочене найменування розробки - «Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі»

Замовник – Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Підвищення рівня надійності, безпеки і ефективності експлуатації розподільних мереж напругою 6-10 кВ, шляхом вдосконалення методу визначення роботоздатності ізоляції розподільної мережі в процесі її експлуатації.

4 Мета і призначення МКР

Мета – підвищення рівня надійності, безпеки і ефективності експлуатації розподільчих мереж напругою 6-10 кВ, шляхом вдосконалення методу визначення технічного стану ізоляції РМ в умовах експлуатації ;

Призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

5 Вихідні дані для розробки магістерської роботи

Відомості про конструкцію та режими роботи розподільчих мереж; відомості про види пошкоджень ізоляції РМ; відомості про методи і засоби контролю ізоляції розподільчих мереж напругою 6-10 кВ; основні техніко-економічні показники РМ.

6 Джерела розробки

1. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Г.Л. Лисенко, А.Г. Буда, Р.Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 60 с,
2. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.
3. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с. – Бібліогр. : с. 450-452. ISBN 978-966-622-862-1
4. Кутін В.М. Визначення умов роботоздатності розподільчих мереж/В.М. Кутін , С.В.Матвієнко .-Вінниця : ВНТУ,2015.-148с.
5. Кутін, В. М. Визначення технічного стану ізоляції розподільчих мереж напругою 6-10 кВ з урахуванням несиметрії параметрів ізоляції відносно землі /В, М, Кутін, С.В. Матвієнко //Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2005.-№6.-С.142-145.

7 Етапи виконання

| Зміст етапу | Термін виконання | |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|
| | Початок | Кінець |
| Збір інформації, яка необхідна для дослідження | | |
| Проведення дослідних розрахунків | | |
| Розробка робочих креслень | | |
| Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи | | |

8 Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні ілюстративні матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

9 Технічне обслуговування та ремонт

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

10 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

11 Очікуваний економічний ефект

В разі використання ДККРІ зменшується недовідспук електроенергії за рахунок зменшення кількості відмов зумовлених пошкодженням ізоляції.

12 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ

ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ РОБОТОЗДАТНОСТІ
ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ ВІДНОСНО ЗЕМЛІ

Актуальність проблеми

Розподільчі мережі напругою 6-10 кВ складають біля 80% загальної довжини електричних мереж. Серед них самими ненадійними є розподільчі мережі з повітряними лініями електропередачі (ПЛЕП). Досвід їх експлуатації показав, що 60-80 % пошкоджень є однофазні замикання на землю (ОЗЗ). Причиною їх виникнення є пошкодження ізоляції між струмоведучою частиною і землею та утворення шунтувальних зв'язків, які приводять до виникнення небезпеки враження людей електричним струмом, зниження якості електропостачання. Збільшення струмів витікання на землю приводить до понаднормованих витрат електроенергії.

Правила технічної експлуатації нормують параметри ізоляції лише окремих елементів ПЛЕП, а методи контролю параметрів ізоляції, що застосовуються енергопостачальними компаніями України не чутливі до виникнення пошкодження на ранній стадії розвитку пошкодження, різноманітні пристрої релейного захисту від однофазних замикань на землю діють на сигнал. Тому для забезпечення надійної експлуатації РМ з ізольованою нейтраллю таких заходів недостатньо, оскільки після спрацювання релейного захисту, відключення не відбувається, а за час пошуку пошкодження і його усунення в зону дії струму замикання на землю може потрапити людина, що становить смертельну небезпеку для її життя і здоров'я.

Тому існує необхідність створення нового підходу до визначення технічного стану і роботоздатності ізоляції РМ з ізольованою нейтраллю шляхом контролю інтегрального показника, який би дозволив виявляти пошкодження на ранній стадії їх розвитку під час експлуатації. Це дало б можливість перейти від нині діючої регламентної системи обслуговування і ремонту обладнання до якісно кращої системи обслуговування „за технічним станом”.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є підвищення рівня надійності, безпеки і ефективності експлуатації розподільних мереж напругою 6-10 кВ, шляхом вдосконалення метода визначення роботоздатності ізоляції розподільної мережі в процесі її експлуатації.

Для досягнення мети поставлені і вирішені такі задачі:

- дослідження факторів, що впливають на технічний стан ізоляції розподільної мережі з ізолюваною нейтраллю;
- аналіз існуючих методів контролю ізоляції;
- визначення умов роботоздатності ізоляції розподільних мереж;
- вдосконалення методу визначення роботоздатності ізоляції в розподільчих мережах] з ізолюваною нейтраллю;
- вдосконалення методів контролю параметрів ізоляції окремих фаз відносно землі;
- розробка діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції розподільчої мережі.

Об'єкт дослідження – процеси зміни технічного стану і роботоздатності ізоляції розподільчої мережі під час її експлуатації.

Предмет дослідження – діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі.

Методи досліджень. Використані теоретичні та експериментальні методи досліджень. Зокрема, алгоритмічний, сигнально-параметричний, фізичний та евристичний методи опису технічного стану системи електропостачання для визначення технічного стану розподільної мережі; методи електротехніки для визначення струмів через шунтувальний зв'язок і отримання умов роботоздатності ізоляції; методи аналізу чутливості та врахування інформаційного аспекту при виборі сукупності контрольованих показників.

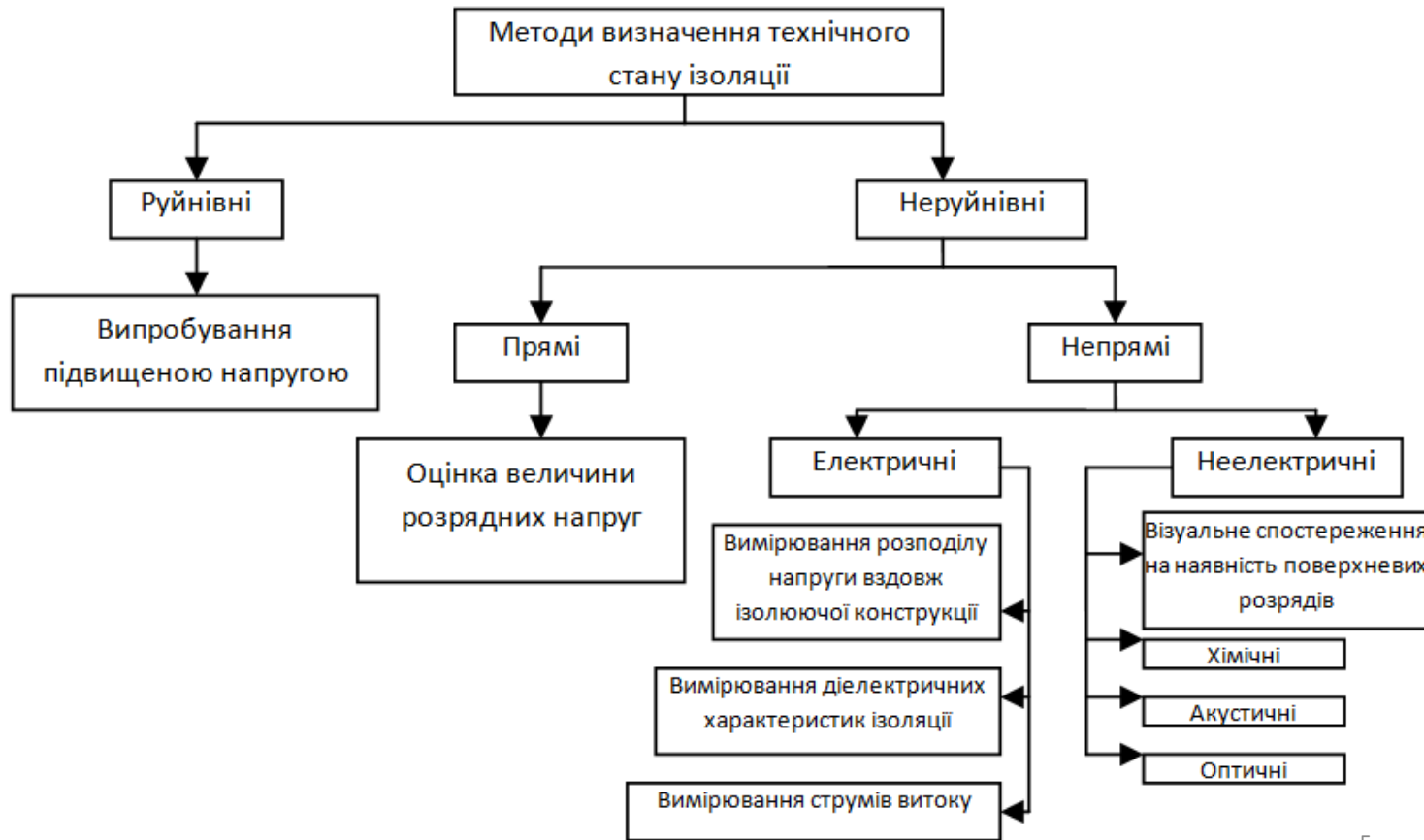
Таблиця 1. Порівняльна характеристика відключень ПЛЕП 6-10 кВ із-за пошкоджень обладнання в РМ АТ «Вінницяобленерго» за 2020р

| Всього відключень | Відключення без пошкодження ЛЕП з успішним АПВ і РПВ | | Відключення з пошкодженням ЛЕП | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------------------------------------------|-------|--------------------------------|-------|---------|------|----------|-------|--------------------|-------------------|-------|------|--------|-------|-------------------------------|------|-------|------|----|------|
| | | | Елементів ПЛ | | | | | | | Кабельних вставок | | | | | | | | | | |
| | Всього | | Опор | | Проводу | | Ізоляції | | Арматури кріплення | | Інше | | кабелю | | Муфти з'єднувальної, кінцевої | | Інше | | | |
| | к-сть | % | к-сть | % | к-сть | % | к-сть | % | к-сть | % | к-сть | % | к-сть | % | к-сть | % | к-сть | % | | |
| 5461 | 3969 | 72,68 | 1492 | 27,32 | 122 | 8,18 | 414 | 27,75 | 552 | 37,00 | 130 | 8,71 | 154 | 10,32 | 35 | 2,35 | 66 | 4,42 | 19 | 1,27 |

Таблиця 2. Класифікація основних причин технологічних порушень при обслуговуванні ПЛЕП 6-10 кВ в розподільних мережах АТ «Вінницяобленерго» за 2020р

| Всього порушень | З вини персоналу | | | | Стихійні явища | | | | Інші | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------|---------------|---------|------|----------------------|---------------|----------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|---------------------|------|
| | Недоліки тех. обслуговування та ремонту | Помилкові дії персоналу | Хибна дія РЗА | Інші причини з вини персоналу | Грозові перенапруги | Сильний вітер | ожеледь | інші | Забруднення ізоляції | Падіння дерев | Дефект монтажу | Дії сторонніх осіб (організацій) | Ненормальний режим роботи ЛЕП | Через пошкодження на суміжних ділянках ПЛ | Пошкодження обладнання ПС | Нез'ясовані причини | Інші |
| 4173 | 16 | 1 | 44 | | 720 | 792 | 195 | 210 | 105 | 240 | 17 | 70 | 6 | 25 | 214 | 1263 | 255 |

Класифікація методів визначення технічного стану ізоляції



Вибір сукупності контрольованих показників для визначення умов роботоздатності ізоляції розподільчої мережі

Задача визначення роботоздатності ізоляції РМ в умовах експлуатації є складною тому, що не існує кількісних методів оцінки впливу факторів, що погіршують стан ізоляції. Для упорядкування показників, при виборі їх сукупності, використано вектор відносних чутливостей $T_{\lambda,p} = (t_{1p}, t_{2p}, \dots, t_{np})$. Його компоненти для простих векторів визначаються як

$$t_{kp} = \left| \frac{1}{R_0 X_k^0} \cdot \frac{\partial F / \partial \lambda_p}{\partial F / \partial X_k} \cdot (X_k^0, \lambda_0) \right| (k=1..n). \quad (1)$$

Упорядкування показників здійснюється за формулою
норми векторів

$$\|T_{\lambda,p}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2}.$$

При цьому вважається, що $\lambda_p \geq \lambda_m$, якщо $T_{\lambda,p} \geq T_{\lambda,m}$.

Здійснивши повне упорядкування показників можна вибрати сукупність контрольованих показників. Перевірка кожного показника дає певну інформацію про стан об'єкта. Оцінивши об'єм інформації, яку дає кожний показник, можна визначити ймовірність $P(v)$ правильної оцінки дійсного стану об'єкта,

$$P(v) = \frac{\sum_{i=1}^m k_i S_i z_i}{\sum_{i=1}^n k_i S_i z_i}, \quad (2)$$

де m, n — відповідно, кількість контрольованих показників та загальна кількість показників, які характеризують роботоздатність; S_i — чутливість i -го показника; z — індекс i -го показника.

Критерії для визначення роботоздатності ізоляції РМ

Значення втрат електроенергії від струмів стікання на землю можна визначити за рівнянням:

$$\Delta P_{i3\Sigma} = \Delta P_{i3A} + \Delta P_{i3B} + \Delta P_{i3C} = U_A^2 \cdot g_a + U_B^2 \cdot g_b + U_C^2 \cdot g_c \quad (1)$$

Потужності втрат в ізоляції $\Delta P_{i3\Sigma}$ порівнюють з нормативним $\Delta P_{i3}^{\text{норм}}$, яке можна розрахувати. Для цього потрібно мати технічні дані про мережу, такі як тип ПЛІ чи КЛ, загальну довжину L, номінальну напругу та переважаючу марку кабелів, отримаємо

$$\Delta P_{i3\Sigma} \leq \Delta P_{i3}^{\text{норм}} \quad (2)$$

Для кожної фази окремо

$$\Delta P_{i3A} \leq \Delta P_{i3}^{\text{норм}} / 3; \Delta P_{i3B} \leq \Delta P_{i3}^{\text{норм}} / 3; \Delta P_{i3C} \leq \Delta P_{i3}^{\text{норм}} / 3 \quad (3)$$

Для можливих станів навколишнього середовища нормативну потужність втрат в ізоляції можна визначити за відомою методикою

Математична модель визначення роботоздатності ізоляції

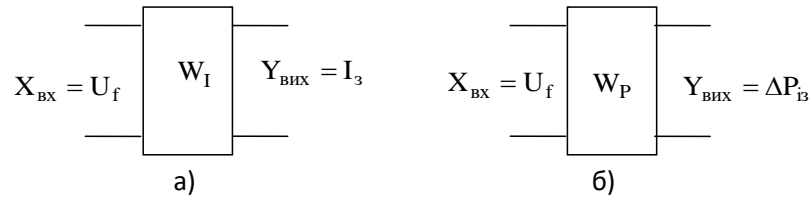


Рис. 1. Діагностична модель для визначення роботоздатності ізоляції;

на схемі W_I – передатна функція при застосуванні в якості вихідного сигналу струму в шунтувальному зв’язку, W_P – передатна функція при застосуванні в якості вихідного сигналу потужності втрат електроенергії від стікання струму на землю.

$$\begin{aligned}
 I_{3A} &= U_A \frac{g_{шA} \cdot g_L}{g_{шA} + g_L + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ A} \\
 I_{3B} &= U_B \frac{g_{шB} \cdot g_L}{g_{шB} + g_L + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ A} ; \\
 I_{3C} &= U_C \frac{g_{шC} \cdot g_L}{g_{шC} + g_L + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ A} ,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де U_A, U_B, U_C – напруги фаз А, В і С відносно землі (діючі значення); $g_{шA}, g_{шB}, g_{шC}$ – провідності шунтувальних зв’язків при виникненні пошкодження у відповідних фазах; g_L – провідність тіла людини, $g_L = 1/r_L = 1/(6 \cdot 10^3) \text{ См}$ – провідність заземлення, що визначається як $g_3 = 1/R_3 + 1/r_d$, де R_3 номінальний опір заземлюючого пристрою, який для даного типу мережі повинен перевищувати 10 Ом, r_d – додатковий перехідний опір заземлення

Математична модель визначення умов роботоздатності ізоляції (продовження)

При застосуванні критерію безпеки експлуатації математична модель для визначення роботоздатності ізоляції має вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} I_{3A} &= \frac{g_{uA} \cdot g_l}{g_{uA} + g_l + g_3} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \sqrt{\left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_c - C_b) \right]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}; \\ I_{3B} &= \frac{g_{uB} \cdot g_l}{g_{uB} + g_l + g_3} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \sqrt{\left[g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_a - C_c) \right]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}; \\ I_{3C} &= \frac{g_{uC} \cdot g_l}{g_{uC} + g_l + g_3} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}} \sqrt{\left[g_a + g_b + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_b - C_a) \right]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_b) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

При застосуванні критерію економічності функціонування математична модель для визначення працездатності ізоляції матиме наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_{i3A} &= \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_a}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2} \left[\left[g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_c - C_b) \right]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right]; \\ \Delta P_{i3B} &= \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_b}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2} \left[\left[g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_a - C_c) \right]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right]; \\ \Delta P_{i3C} &= \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_c}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega(C_a + C_b + C_c) - B_L)^2} \left[\left[g_a + g_b + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_b - C_a) \right]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_b) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right]. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Шляхом аналізу виразів (1), (2), отримаємо вираз для передатної функції W_I та W_P , так як і струм в шунтувальному зв'язку, і потужність втрат електроенергії від струмів стікання на землю залежать від напруг фаз мережі відносно землі, то

$$W_I = |W(i\omega)| \cdot \frac{g_{шX} \cdot g_L}{g_{шX} + g_L + g_3}; \quad W_P = |W(i\omega)|^2 \cdot g_X, \quad (3)$$

де x – відповідна фаза мережі; $W(i\omega)$ – комплекс передатної функції, при якій в якості вихідного сигналу використовується напруга фази x мережі відносно землі.

Якщо $W_X(i\omega) = \frac{\dot{U}_X}{U_f}$, і для спрощення рішення задачі, будемо вважати, що в мережі з ізольованою нейтраллю, відсутні індуктивні елементи, що мають зв'язок із землею, а тому $B_L=0$ і тому:

$$W_A(i\omega) = \frac{\sqrt{3} \cdot \left[(g_b + i\omega \cdot C_b) \cdot e^{i30^\circ} + (g_c + i\omega \cdot C_c) \cdot e^{-i30^\circ} \right]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega \cdot (C_a + C_b + C_c)};$$

$$W_B(i\omega) = \frac{\sqrt{3} \cdot \left[(g_c + i\omega \cdot C_c) \cdot e^{i30^\circ} + (g_a + i\omega \cdot C_a) \cdot e^{-i30^\circ} \right]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega \cdot (C_a + C_b + C_c)}; \quad (4)$$

$$W_C(i\omega) = \frac{\sqrt{3} \cdot \left[(g_a + i\omega \cdot C_a) \cdot e^{i30^\circ} + (g_b + i\omega \cdot C_b) \cdot e^{-i30^\circ} \right]}{(g_a + g_b + g_c) + i\omega \cdot (C_a + C_b + C_c)}.$$

Аналіз залежностей умов роботоздатності від параметрів ізоляції

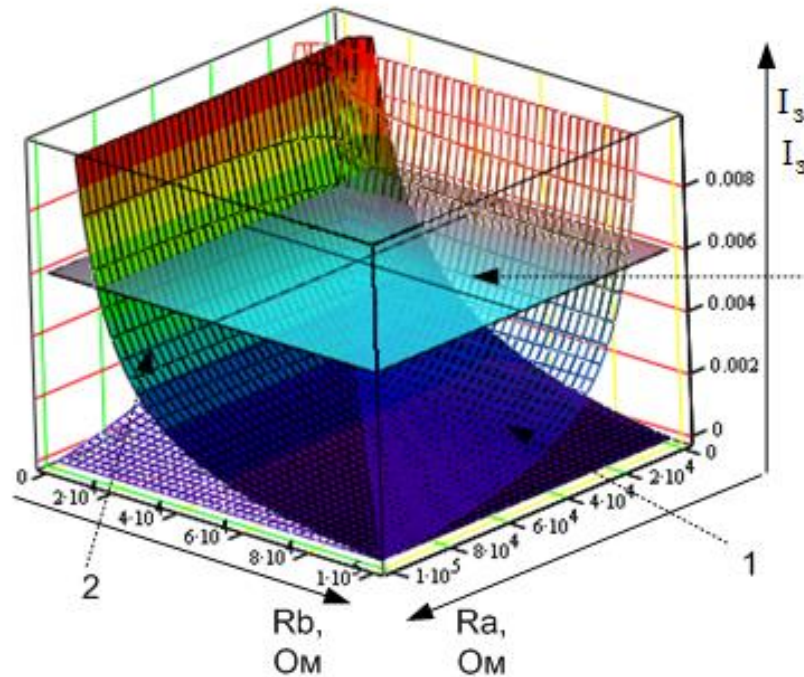


Рисунок 1 - Суміщені поверхні залежностей струмів шунтувальних зв'язків в фазах де виникають пошкодження, від обернених величин діагностичних показників для сухої погоди,

де 1 – поверхня залежності струму I_{3A} від опорів R_a і R_b ,
 2 – поверхня залежності струму I_{3B} від опорів R_a і R_b ,
 3 – границя роботоздатності ізоляції.

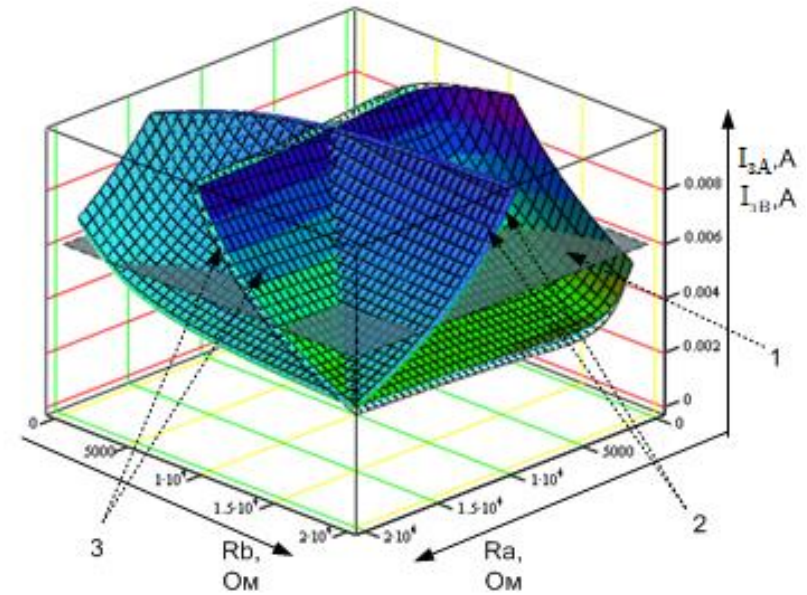


Рисунок 2 - Суміщені поверхні залежностей струмів через шунтувальний зв'язок і тіло людини у фазах, де виникають пошкодження, від опорів .

Аналіз залежності умов роботоздатності від параметрів ізоляції (продовження)

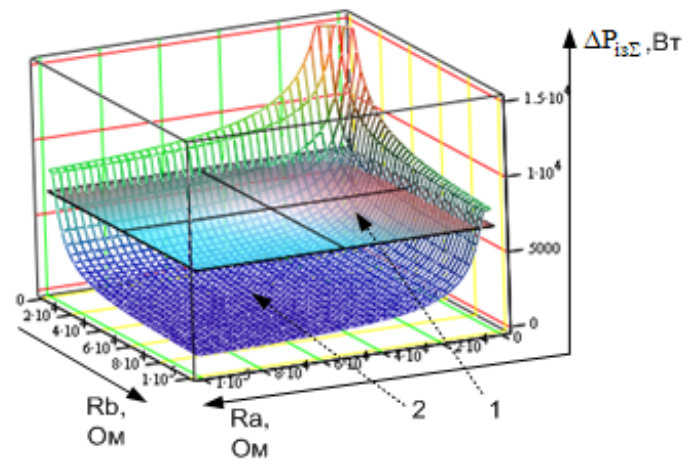


Рисунок 3.а - Поверхня залежності потужності втрат в ізоляції із-за струмів стікання на землю від обернених величин діагностичних показників для сухої погоди

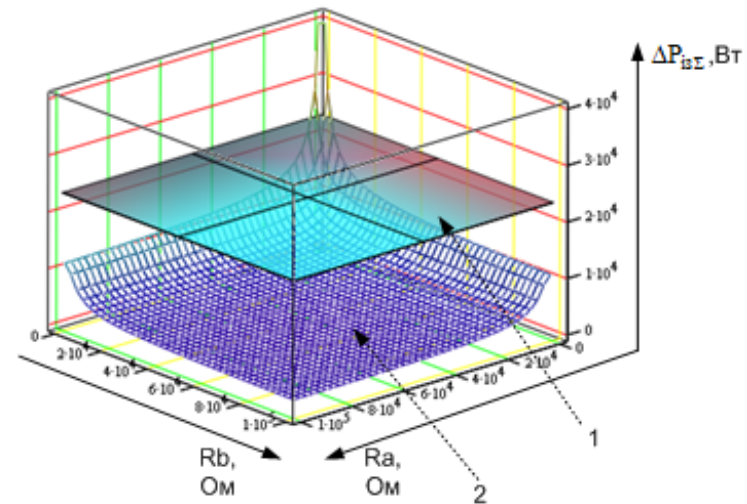


Рисунок 3.б - Поверхня залежності потужності втрат в ізоляції із-за струмів стікання на землю від обернених величин діагностичних показників для вологої погоди

де 1 – границя роботоздатності ізоляції; 2 – поверхня залежності $\Delta P_{из}$ від опорів R_a і R_b .

Функціональна схема пристрою для контролю активного опору ізоляції відносно землі і фазних напруг

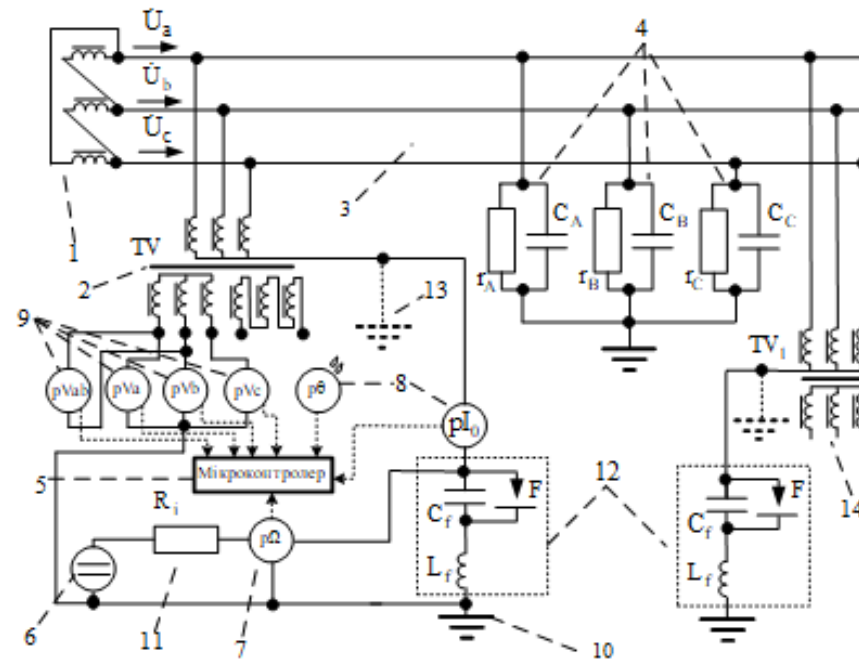


Рис.1. Структурна схема пристрою методу контролю ізоляції шляхом вимірювання загального активного опору ізоляції і напруг фаз мережі відносно землі,

де 1 – вторинна обмотка силового трансформатора; 2 – трансформатор напруги типу НТМИ; 3 – розподільна мережа; 4 – параметри ізоляції розподільної мережі; 5 – мікроконтролер, що виконує функції збору і накопичення даних вимірювань, визначення робоздатності ізоляції РМ; 6 – джерело постійного струму; 7 – сенсор опору для вимірювання загального опору РМ відносно землі (суміщені датчики струму і напруги для зняття ВАХ); 8 – сенсори для вимірювання струму в нейтралі НТМИ I_0 (для визначення C_0) і вологості повітря навколишнього середовища; 9 – сенсори напруги силового трансформатора (pV_{ab}) та напруг фаз розподільної мережі відносно землі (pV_a , pV_b , pV_c); 10 – основне заземлення НТМИ; 11 – резистор для обмеження внутрішнього опору кола постійного струму; 12 – фільтр для резонансного заземлення нейтралі первинної обмотки НТМИ та обмеження впливу змінної складової струму в колі накладання постійного струму; 13 – заземлення нейтралі первинної обмотки НТМИ, яке вилучається з кола шляхом його заміни резонансним фільтром 12 з метою уникнення шунтування сигналу постійного струму, що накладається на мережу; 14 – додаткові НТМИ, включені в розподільну мережу.

Розрахункові формули для визначення параметрів ізоляції

В роботі запропоновано замість активних провідностей ізоляції фаз відносно землі безперервно контролювати напруги фаз мережі U_A, U_B, U_C і загальний активний опір ізоляції відносно землі R_0 . Напруги окремих фаз відносно землі можна представити у вигляді системи нелінійних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_b + g_c]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_A \\ \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_a + g_c]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_B \\ \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_a + g_b]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_C \end{cases} \quad (1)$$

З врахуванням розв'язку системи нелінійних рівнянь (1) запропоновано розрахункову формулу визначення ΔP_{is} :

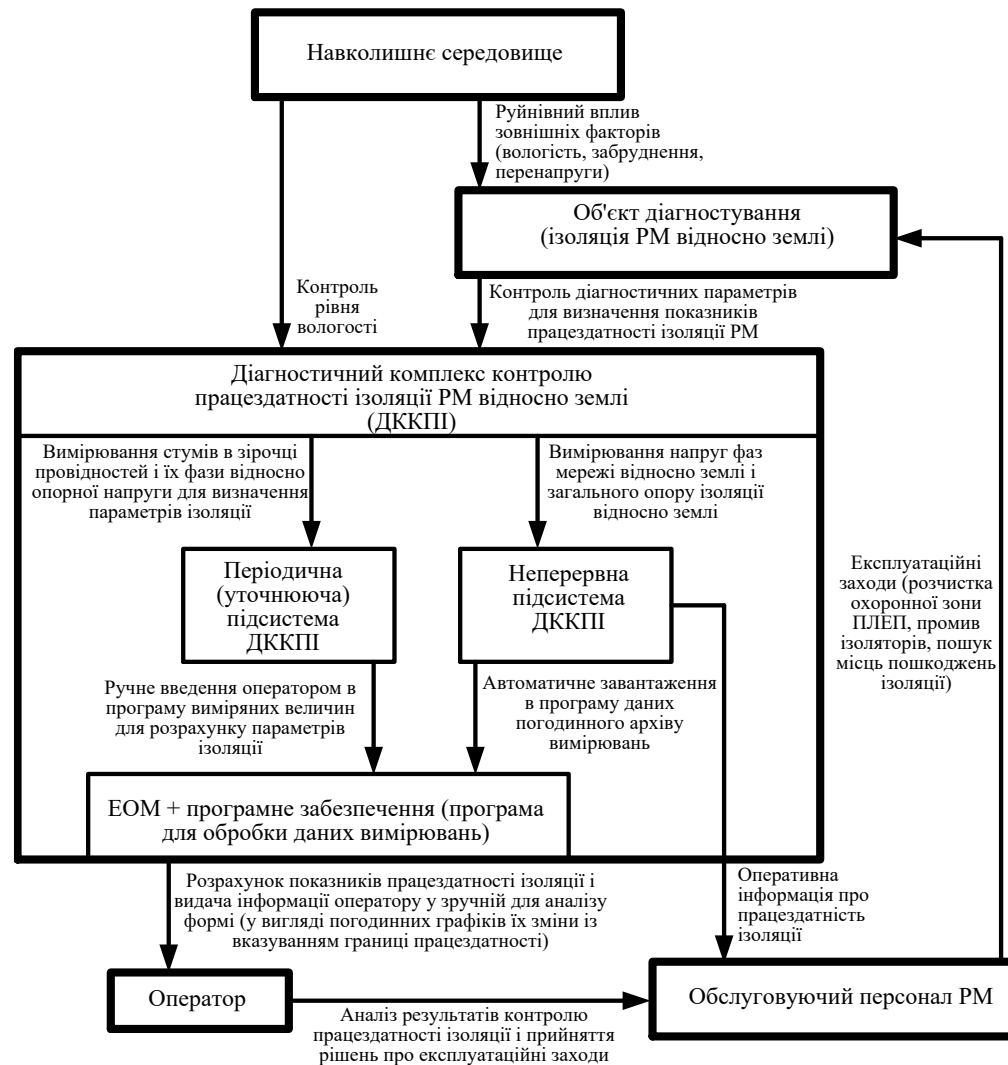
$$\Delta P_{is\Sigma} = \frac{U_f}{R_0 \cdot (U_A + U_B + U_C)} \cdot (U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) \quad (2)$$

Ємність ізоляції мережі відносно землі визначалась за на формулою

$$C_0 = \frac{1}{\omega \cdot \left[X_{ТНКИ} - \sqrt{\left(\frac{I_0 \cdot n_{ТНКИ}}{\left(\frac{2U_A^2 - (U_C^2 + U_B^2)}{6U_f} \right)^2 + \left(\frac{U_C^2 - U_B^2}{2\sqrt{3}U_f} \right)^2} \right)^2 - R_0^2} \right]} \quad (3)$$

де I_0 – струм, виміряний в нейтралі ТН контролю ізоляції (НТМИ), А; $X_{ТНКИ}$ – сумарний індуктивний опір всіх обмоток ТН контролю ізоляції відносно землі, Ом; $n_{ТНКИ}$ – загальна кількість ТН контролю ізоляції в мережі; R_0 – загальний активний опір ізоляції відносно землі, Ом; U_f – фазна напруга мережі, В. Для запропонованого методу шляхом моделювання в ППП „MathCAD” досліджувалась похибка розрахункової формули (1). Дослідження показали, що похибка не перевищує $\xi < 5\%$ при рівні несиметрії активних провідностей ізоляції фаз відносно землі $g_{max}/g_{min} < 10$, і $\xi < 1\%$ при рівні несиметрії $g_{max}/g_{min} < 5$. Такі похибки є достатніми тому, що така значна несиметрія виникає поза зоною роботоздатності ізоляції.

Структурна схема побудови діагностичного комплексу контролю роботоздатності (ДККПІ) розподільчої мережі



Програма контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі

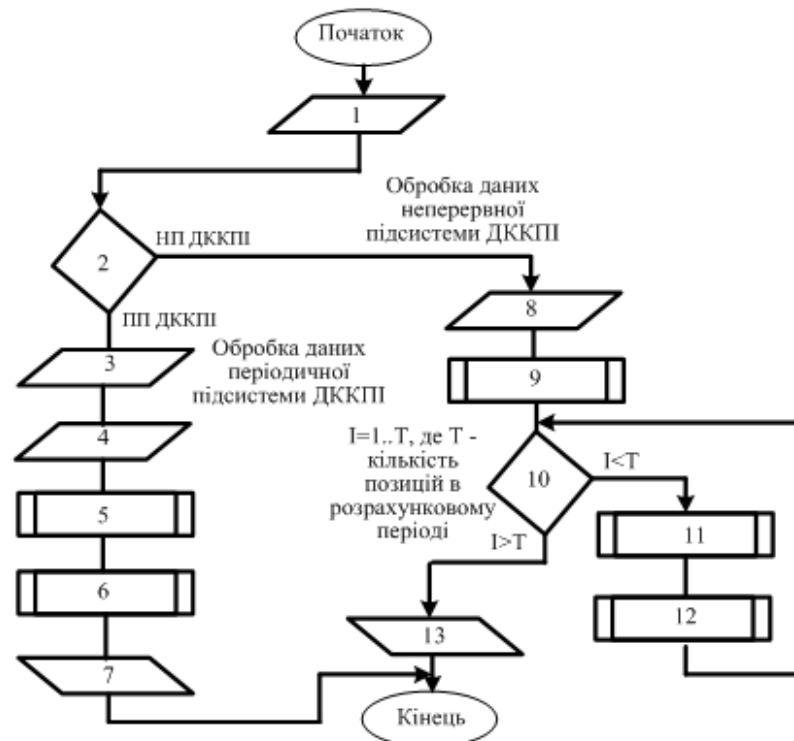


Рис. 1. Блок-схема алгоритму програми контролю роботоздатності ізоляції

На рис.1: 1 – завдання режиму роботи програми; 2 – перевірка умови заданого режиму (НП ДККРІ чи ПП ДККРІ); 3 – введення початкових даних для режиму ПП ДККРІ; 4 – введення результатів вимірювань ПП ДККРІ; 5 – підпрограма розрахунку параметрів ізоляції за даним; 6 – підпрограма визначення показників роботоздатності; 7 – видача результатів роботи програми (режим ПП ДККРІ); 8 – введення початкових даних для режиму НП ДККРІ; 9 – підпрограма завантаження масиву даних з архіву пристрою неперервного контролю; 10 – цикл обробки позицій погодинного архіву; 11 – підпрограма визначення параметрів ізоляції для позиції архіву вимірювань; 12 – підпрограма визначення показників роботоздатності для позиції архіву; 13 – видача результатів роботи програми у вигляді їх експорту у файл MS Excel для побудови погодинних графіків зміни показників роботоздатності.

Економічний ефект від впровадження ДККРІ

Для оцінювання ефективності застосування ДККРІ, в якості критерія..., використано річний недовідпуск електроенергії від виникнення ОЗЗ, а також рівень економії електроенергії від виявлення ділянок РМ з понаднормативними втратами в ізоляції і їх усунення внаслідок проведення більш ефективного і оптимізованого обслуговування обладнання.

Виходячи з цього, річний недовідпуск електроенергії із-за виникнення ОЗЗ в розподільній мережі 10 кВ визначемо як

$$\Delta W = P \cdot L \cdot \omega_{O33}^0 (\tau_{O33} + p_{K3} \tau_{K3}), \quad (1)$$

де P - потужність споживачів, що підключені до мережі (кВт); L - сумарна протяжність розподільчої мережі, км;

ω_{O33}^0 - питома частота ОЗЗ (рік·км)⁻¹ ($\omega_{O33}^0 = 0.88$); τ_{O33}, τ_{K3} - відповідно, час пошуку ОЗЗ та к.з. (год); p_{K3} - ймовірність переходу ОЗЗ в стійкі відмови, якщо час існування режиму $t_{o.z.z.} \geq 4$ год ($p_{K3} = 0.35$).

Застосування ДККРІ дозволяє зменшити кількість відмов та час їх пошуку, а тому і недовідпуск електроенергії, тобто

$$\delta \Delta W = P \cdot L \cdot \frac{\omega_{O33}^0 (\tau_{O33} + p_{K3} \tau_{K3}) - \xi \omega_{O33}^0 \tau_{O33}}{M_e}, \quad (2)$$

де M_e - коефіцієнт ефективності обраної стратегії пошуку місць пошкоджень ізоляції при застосуванні ДККРІ.

Визначимо сумарний річний економічний ефект від впровадження ДККРІ на 12 підстанціях Замонстянских РЕМ АТ «Вінницяобленерго»

$$E\phi_{\Sigma}^{DKKPI} = E\kappa_{is}^{DKKPI} + E\kappa_{O33}^{DKKPI} - B_{\Sigma}^{DKKPI} \quad (3)$$

$$E\phi_{\Sigma}^{DKKPI} = 321002 + 20029893.6 - 18081500 = 2269395.6 \text{ грн.}$$

Отриманий термін окупності складає 1.3 року і вказує на достатню прибутковість впровадження ДККРІ.

ВИСНОВКИ

Дослідження виконані в магістерській кваліфікаційній роботі дозволили зробити наступні висновки щодо результатів роботи:

1. Шляхом аналізу причин і характеру пошкодження ізоляції доведено, що зміна технічного стану ізоляції окремих елементів РМ зумовлена утворенням шунтувальних зв'язків між струмоведучою частиною і землею. Змінюється активний опір ізоляції мережі відносно землі. Проведені дослідження (розділ1) показали, що динамічна характеристику активного опору ізоляції мережі, не нормується, тому існує необхідність побудови та аналізу діагностичної моделі визначення умов роботоздатності ізоляції.
2. В МКР запропоновано метод визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі, який ґрунтується на використанні критеріїв електробезпеки і мінімуму втрат електроенергії в ізоляції від струмів стікання на землю.
3. Побудовано математичну модель для визначення умови роботоздатності ізоляції РМ відносно землі у вигляді обмежень на зміну показників роботоздатності ізоляції, узгоджених із нормативними документами і стандартами. Встановлено, що введені при формуванні моделі допущення призводять до виникнення похибки методу не більше 3.5%.
4. Вдосконалено метод визначення параметрів ізоляції фази мережі відносно землі. Метод передбачає неперервний контроль загального активного опору ізоляції і напруг фаз відносно землі при накладанні на мережу сигналу постійного струму і обробки результатів з допомогою спеціальної математичної моделі. Математична модель має вигляд системи рівнянь, що відображають залежність параметрів ізоляції від контрольованих показників. Застосування даного методу підвищує чутливість контролю, а тому забезпечує виявлення пошкоджень ізоляції відносно землі на ранніх стадіях їх розвитку. Для підвищення точності діагнозу технічного стану ізоляції передбачає дублювання експерименту відомим методом періодичного контролю параметрів ізоляції
5. Розроблено принципи побудови, структуру і алгоритм функціонування діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції, який складається з підсистем неперервного і періодичного контролю, а також алгоритмічного програмного забезпечення, яке використовується для обробки даних вимірювань і визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі на основі мікропроцесора.
6. Впровадження діагностичного комплексу (ДК) контролю роботоздатності ізоляції в РМ напругою 6-10 кВ підвищує рівень надійності і безпеки експлуатації за рахунок забезпечення експлуатаційного персоналу інформацією для вчасного проведення обслуговування, що запобігає аварійним відключенням і попаданню людей під дію небезпечних струмів замикання на землю. Можливим стає усунення багатьох недоліків експлуатації обладнання повітряних РМ.

Наукова новизна та практична цінність одержаних результатів.

- Вдосконалено метод визначення роботоздатності ізоляції розподільчої мережі відносно землі, який дозволяє : контролювати роботоздатність її ізоляції за діагностичними ознаками, що обмежують величину струму через шунтувальний зв'язок за критеріями електробезпеки і активну потужність втрат в ізоляції від струмів стікання на землю, для підвищення рівня надійності, безпеки і ефективності її експлуатації
- Отримав подальший розвиток метод визначення параметрів ізоляції фази мережі відносно землі шляхом неперервного контролю загального активного опору ізоляції і напруг фаз відносно землі, який забезпечує виявлення пошкоджень ізоляції відносно землі на ранніх стадіях їх розвитку.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі запропонованого методу розроблено спосіб побудови технічних засобів контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі, а також алгоритмічне програмне забезпечення для обробки результатів контролю і автоматизації розрахунків на ЕОМ. На основі об'єднання отриманих технічних і програмних рішень розроблено діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції (ДККПІ) РМ, рекомендований для контролю ізоляції в розподільних мережах напругою 6-10 кВ енергопостачальних компаній.

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Актуальність | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Мета і задачі дослідження | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Порівняльна характеристика та класифікація відключень і пошкоджень ПЛІЕП 6-10 кВ із-за пошкоджень обладнання в РМ АТ «Вінницяобленерго» за 2020р | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | y | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Класифікація методів визначення технічного стану ізоляції | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | y | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Класифікація методів визначення технічного стану ізоляції | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | y | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Вибір сукупності контрольованих показників для визначення умов робоздатності ізоляції розподільчої мережі | Літ. | | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Критерії для визначення робоздатності ізоляції РМ | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Математична модель визначення робоздатності ізоляції | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|--|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Математична модель визначення робоздатності ізоляції | Літ. | Маса | Масштаб | |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|--|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Математична модель визначення робоздатності ізоляції | Літ. | Маса | Масштаб | |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Аналіз залежностей умов роботоздатності від параметрів ізоляції | Літ. | | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Аналіз залежностей умов роботоздатності від параметрів ізоляції | Літ. | | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатност ізоляції розподільчих мереж відносно землі Функціональна схема пристрою для контролю активного опору ізоляції відносно землі і фазних напруг | Літ. | | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|--|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Розрахункові формули для визначення параметрів ізоляції | Літ. | Маса | Масштаб | |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Структурна схема побудови діагностичного комплексу контролю робоздатності (ДККРІ) розподільчої мережі | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | y | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | | гр. ЕПА-21мз | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

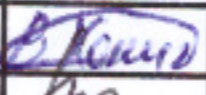
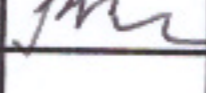



| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Програма контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Економічний ефект від впровадження ДККРІ | Літ. | | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

08-24.МКР.004.00.000

| | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Висновки | Літ. | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--|---------|---------|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Наукова новизна та практична цінність одержаних результатів | Літ. | | Маса | Масштаб |
| Розробив: | Хонич В. О. | | | | | у | | | |
| Перевірив | Кутін В. М. | | | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | | |
| | | | | | | Аркуш | | Аркушів | |
| Рецензент | Терешкевич Л. Б. | | | | гр. ЕПА-21мз | | | | |
| Норм.кон. | Паянок О.А. | | | | | | | | |
| Затверд. | Мошноріз М. М. | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|------------|------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----|-----|
| | | | | | 08-24.МКР.004.00.000 | | | |
| Зм. | Арк. | № докумен. | Підпис | Дата | Діагностичний комплекс контролю робоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі Мета і задачі дослідження | Літ. | Мо | Рок |
| Розробив: | | Хонич В. О. |  | 05.06.20 | | у | | |
| Перевірів | | Кутін В. М. |  | 05.06.20 | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | | |
| Рецензент | | Терешкевич Л. Б. |  | 09.06.20 | | Аркуш | | |
| Норм. кон. | | Паянок О. А. |  | 05.06.20 | | гр. ЕПІА-2100 | | |
| Затверд. | | Мошноріз М. М. |  | 05.06.20 | | | | |

Таблиця 1. Порівняльна характеристика відключень ПЛЕН 6-10 кВ із за пошкодженням обладнання в РМ АТ «Вінницяобленерго» за 2020р

| |
|--------------------------------|
| Відключення з пошкодженням ЛЕП |
| РЛВ |
| ПЛЕН 3 |
| 3 |

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції розподільчих мереж відносно землі

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-21мз

Науковий керівник: д.т.н., проф. Кутін В.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

| | |
|----------------|-------|
| Оригінальність | 89,8% |
| Схожість | 10,2% |

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____

ініціали)



Паянок О.А.

(підпис) (прізвище,

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

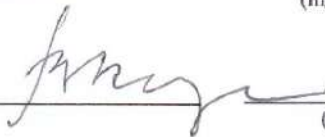
Автор роботи _____



Хонич В.О.

(підпис)(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____



Кутін В.М.

(підпис)(прізвище, ініціали)

Маса

Масштаб

Аркуші

ЕПА-21мз