Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Контроль ізоляції та захист мереж оперативного постійного струму»

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ЕСМ-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні системи і мережі»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
_____ Лізанець О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: ~~д.т.н., доц.~~, професор каф. ЕСС
_____ Рубаненко О.О.
(прізвище та ініціали)
«____» _____ 2023 р.

Опонент: доц. каф. ЕСВЕОМ Ph.D
_____ Ковбаса І.В.
(прізвище та ініціали)
«14» грудня 2023 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСС
_____ д.т.н., проф. Комар В. О.
(прізвище та ініціали)
«04» грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти ІІ-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні системи і мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

18 вересня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лізанця Олександра Васильовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Контроль ізоляції та захист мереж оперативного постійного струму
керівник роботи д.т.н., доц., професор каф. ЕСС Рубаненко О.О.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247
2. Строк подання студентом роботи 4 грудня 2023 року
3. Вихідні дані до роботи:
Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання: 1. Жук І. А. Контроль ізоляції мережі оперативного постійного струму гідроелектростанцій / І. А. Жук, О. С. Рубаненко, В. П. Дмуховский // Гідроенергетика України. - 2018. - № 3-4. - С. 33-38; 2. O. Rubanenko, O. Rubanenko and L. Gevorkov, "The Method of Monitoring of the State of Insulation for Operational DC Grids in Power Plants and Substations," Electric Power Quality and Supply Reliability Conference Symposium on Electrical Engineering and Mechatronics (SEEM), Kärdla, Estonia, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/PQ.2019.8818274; Вихідні дані для проведення обчислювальних експерементів: статистичні дані пошкоджуваності мереж оперативного постійного струму, дані щодо зміни опору полюсів (розд.2 - табл. 2.2, табл. 2.3)
4. Зміст текстової частини:
Вступ. 1 Аналіз існуючих методів та засобів контролю мереж оперативного постійного струму; 2 Дослідження закономірностей зміни опору полюсів відносно землі; 3 Засоби контролюю ізоляції мереж оперативного ПС; 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; 5 Економічна частина; Висновки Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1.Актуальність; 2. Мета та задачі; 3. Особливості об'єкта контролю; 4. Аналіз пошкоджень в мережах ОПС; 5-6 Фактори, які впливають на величину опору ізоляції; 7-9 Результати досліджень; 10. Засоби контролю ізоляції мереж оперативного ПС; 11. Програмне забезпечення пристрою ПКІ-2; 12. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання видав	Підпис, дата виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Рубаненко О.О., д.т.н., доц., проф. кафедри ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В. д.п.н., проф., зав. каф. БЖДПБ		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

7. Дата видачі завдання 18 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Пр... ма...
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	18.09.23	20.09.23	
2	Аналіз існуючих методів та засобів контролю мереж оперативного постійного струму	21.09.23	02.10.23	
3	Дослідження закономірностей зміни опору полюсів відносно землі	03.10.23	10.10.23	
4	Засоби контролюю ізоляції мереж оперативного ПС	11.10.23	24.10.23	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.11.23	01.11.23	
6	Економічна частина	02.11.23	16.11.23	
7	Оформлення пояснювальної записки	17.11.23	27.11.23	
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	28.12.23	30.11.23	
9	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	01.12.23	07.12.23	
10	Опонування МКР	08.12.23	10.12.23	
	Захист МКР	III декада грудня (за графіком)		

Студент _____ О.В. Лізанець

(підпис)

Керівник роботи _____ О.О. Рубаненко

(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311.1

Лізанець Олександр Васильович «Контроль ізоляції та захист мереж оперативного постійного струму». Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця : ВНТУ. 2023. 94 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 18 назв; рис.: 45; табл. 9.

В магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено питання методів контролю ізоляції та засобів захисту мереж оперативного постійного струму.

В першому розділі розглядаються причини пошкодження мереж оперативного постійного струму, виконано аналіз методів та засобів контролю опору ізоляції мереж оперативного постійного струму.

В другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи досліджено закономірності зміни опору полюсів відносно землі. Визначено аналітичні залежності імовірностей зменшень опорів від контрольованих параметрів.

В третьому розділі аналізуються засоби контролю ізоляції мереж оперативного ПС та програмного забезпечення до них.

В економічній частині визначено основні техніко-економічні показники від застосування пристрою контролю ізоляції мереж оперативного струму на Дністровській ГАЕС.

Ключові слова: мережі оперативного струму, опір ізоляції, пошкодження контроль ізоляції.

ABSTRACT

Oleksandr Lizanets "Insulation control and protection of operational direct current networks". Master's qualification work in specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU. 2023. 94 c.

In Ukrainian. Bibliography: 18 titles; Figures: 45; Table 9.

The master's qualification work investigated the issue of insulation control methods and means of protection of operational direct current networks.

The first chapter discusses the causes of damage to operational DC networks, analyzes the methods and means of monitoring the insulation resistance of operational DC networks.

In the second chapter of the master's thesis, the regularities of changes in pole resistance relative to the ground are investigated. The analytical dependencies of the probabilities of resistance reduction on the controlled parameters are determined.

The third chapter analyzes the means of controlling the insulation of operational substation networks and their software.

In the economic part, the main technical and economic indicators of the application of the insulation control device for the operating grids at the Dniester HPP are determined.

Keywords: direct current networks, insulation resistance, damage, insulation control.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 4
ВСТУП 5
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ 8
1.1 Особливості об'єкта контролю 8
1.2 Аналіз пошкоджень в мережах ОПС 13
1.3 Методи та засоби контролю опору ізоляції мереж оперативного ПС 15
1.4 Пристрої з накладанням на контрольовану мережу змінного сигналу 16
Висновки до розділу 1 23
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ОПОРУ ПОЛЮСІВ ВІДНОСНО ЗЕМЛІ 24
2.1 Фактори, які впливають на величину опору ізоляції 24
2.2 Результати експериментальних досліджень величини активного опору в місці замикання 30
2.2.1 Дослідження короткочасних змін опору полюсів відносно землі 39
2.3 Визначення аналітичних залежностей імовірностей зменшень опорів від контрольованих параметрів 43
Висновки по розділу 2 55
3 ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПС 56
3.1 Структурна схеми пристрою загальномережевого контролю ізоляції 56
3.2 Розробка електричних принципових схем модулів пристрою загальномережевого контролю ізоляці 58
3.3 Програмне забезпечення пристрою ПКІ-2 66
Висновки до розділу 3 69

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 70
4.1 Задачі розділу 70
4.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об’єкта 74
4.3 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії 74
4.3.1 Мікроклімат 75
4.3.2 Склад повітря робочої зони 75
4.4 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою підстанції 330 кВ 77
Висновки по розділу 4 83
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 84
ВИСНОВКИ 92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 93
ДОДАТКИ 95
Додаток А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень 96
Додаток Б Технічне завдання МКР 97
Додаток В Знаходження оптимальних параметрів контролю 101
Додаток Г Дослідження стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайної ситуації 110
Додаток Д Ілюстративна частина 116
Додаток Ж Захист мереж оперативного постійного струму 122

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АБ – акумуляторна батарея;

ВАЗП – вентильний агрегат зарядно-підзарядний;

ВРП – відкритий розподільний пристрій;

ВРУ – відкрите розподільне устаткування;

ГАЕС – гідроакумулююча електростанція;

ГЕС – гідроелектростанція;

ЕРС – електрорушійна сила;

ЗЗП – замикання на землю полюсів;

КЛ – кабельна лінія;

МОПС – мережа оперативного постійного струму;

ОПС – оперативний постійний струм;

ПВПК – пристрій визначення пошкодженого кабелю;

ПВХ – полівінілхлорид;

РЗА – релейний захист та автоматика;

ВСТУП

Складні умови експлуатації електроенергетичних систем обумовлюють виникнення аварій, які часто стають причиною не тільки економічних втрат, але й людських жертв.

Мережі оперативного постійного струму є важливою складовою систем електропостачання, зокрема гідроелектростанцій, вони призначені для безперебійного живлення пристроїв релейного захисту, сигналізації та автоматики, відповідальних механізмів власних потреб, аварійного освітлення, приводів високовольтних вимикачів і т. п. Важливість таких споживачів висуває високі вимоги до надійності мереж оперативного ПС.

Існує багато пристроїв визначення пошкодженої кабельної лінії МОПС, однак специфіка об’єкта контролю потребує: збільшення достовірності правильного визначення появи небезпечного зниження опору ізоляції на ранній стадії; визначення пошкодженого кабелю та забезпечення швидкого знаходження місця замикання при зниженні активного опору ізоляції полюса відносно землі до 20-0 кОм без додаткових перемикань в мережі; простоти і надійності в експлуатації, безперервного контролю значення опору ізоляції; спрацьовування на сигнал; не погіршення параметрів мережі (симетрії напруг полюсів відносно землі, значення опорів ізоляції, коефіцієнта пульсацій напруги на шинах АБ та ін.). Так, наприклад, відомо [1], що підзарядна акумуляторна установка повинна забезпечувати стабілізацію напруги на шинах АБ з відхиленнями, які не перевищують встановлені заводом-виробником АБ, але не більше 2 % номінальної напруги (4,6 В). Однак, значна частина відомих пристроїв передбачають накладання на контрольовану мережу тестового сигналу напругами 45 В, 7 та 20 В , 60 В, 70 В (EDS470 фірми BENDER). Використані в цих пристроях джерела тестових сигналів зменшують опір полюса відносно землі, наприклад: – 240 Ом. Підключення генератора тестового сигналу тільки до одного полюса МОПС призводить до багаторазової зміни симетрії мережі і перерозподілу заряду ємності полюсів мережі відносно

«землі» та до протікання розрядного струму цих ємностей в колах релейного захисту (РЗА), що погіршує надійність пристроїв РЗА [2]. Використання переносних сенсорів обмежується мережами, придатними для під'єднання цих сенсорів, що не завжди можливо в умовах експлуатації. Отже, отже підвищення вимог по надійності роботи пристроїв контролю ізоляції мереж оперативного ПС спричинила постановку і проведення досліджень, а отже тема є **актуальною.**

Метою роботи є вдосконалення контролю ізоляції та засобів захисту мереж оперативного постійного.

Згідно поставленої мети в роботі вирішено наступні задачі:

- виконати аналіз існуючих методів контролю ізоляції мереж оперативного ПС;

- дослідити закономірності зміни опору полюсів відносно землі;

- дослідити засоби контролю ізоляції мереж оперативного ПС:

- виконано розрахунок економічної ефективності застосування пристроїв визначення стану ізоляції мереж оперативного ПС.

Об'єктом дослідження є процес зміни стану ізоляції під час експлуатації кабельних ліній оперативного постійного струму гідроелектростанцій.

Предметом досліджень є методи та засоби контролю ізоляції та визначення пошкодження мереж оперативного ПС.

Методи досліджень. Теорія електричних кіл, операторний метод розрахунку перехідних процесів для побудови математичної моделі процесів зміни струмів в кабелях та пошкодження кабельної ізоляції мереж оперативного ПС при замиканні полюса на «землю».

Новизна отриманих результатів. Отримав подальший розвиток метод розрахунку зміни опору ізоляції мереж оперативного ПС.

Практичне значення полягає у результатах розрахунків, що можуть бути використані для оптимізації процесу визначення місць пошкоджень в мережах оперативного постійного струму.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської роботи, отримані автором самостійно.

Результати магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані у збірнику матеріалів конференції «Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку», 2023.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1 Особливості об’єкта контролю

Система оперативного струму електричних станцій і підстанцій складається з джерел живлення, кабельних ліній, шин, комутаційного обладнання, пристроїв сигналізації і інших елементів оперативних кіл [3]. На електричних станціях України застосовується нове, вартісне обладнання (рис. 1.1), однак ефективність, надійність і безпека його експлуатації, серед інших чинників, залежить від надійності мереж оперативного ПС [1-.3].

Рисунок 1.1 – КРУЕ-330 кВ Дністровської ГАЕС із елегазовими вимикачами

Особливістю споживачів, які отримують живлення за допомогою мереж оперативного постійного струму, а саме: релейного захисту, технологічної автоматики, телемеханіки, протиаварійної автоматики, апаратури дистанційного

керування, аварійної і попереджувальної сигналізації, аварійного освітлення, електродвигунів маслонасосів, є те, що втрата живлення цих і подібних до них споживачів може призвести до аварій, до пошкодження вартісного електроенергетичного обладнання.

Залежно від особливостей споживачів оперативного струму на електростанціях і підстанціях застосовуються такі системи оперативного струму:

1) постійний оперативний струм – система живлення оперативних кіл, при якій як джерела живлення застосовується акумуляторна батарея;

2) змінний оперативний струм – система живлення оперативних кіл, при якій як основні джерела живлення використовуються вимірювальні трансформатори струму приєднань, що захищаються, вимірювальні трансформатори напруги, трансформатори власних потреб, а як додаткові джерела живлення імпульсної дії використовуються заздалегідь заряджені конденсатори;

3) випрямлений оперативний струм – система живлення оперативних кіл, в якій змінний струм перетворюється у випрямлений за допомогою блоків живлення і випрямних силових пристроїв;

4) змішана система оперативного струму – система живлення оперативних кіл, при якій використовуються різні системи оперативного струму (постійний і випрямлений, змінний і випрямлений).

Основними джерелами постійного оперативного струму є як застарілі акумуляторні батареї з акумуляторами типу СК (рис. 1.2), так і нові фірмові акумуляторні батареї (рис. 1.3) з акумуляторами, наприклад, VARTA, та багато років відомі зарядно-підзарядні агрегати типу ВАЗП (рис. 1.4), або нові зарядні-підзарядні агрегати (рис. 1.5).

Рисунок 1.2 – Акумуляторна батарея типу СК

Рисунок 1.3– Сучасна акумуляторна батарея

Рисунок 1.4 – Випрямний зарядно-підзарядний агрегат ВАЗП-380/260-40/80

Рисунок 1.5 – Випрямний зарядно-підзарядний агрегат BENNING D400 G216/200

Ознакою фірмових акумуляторних батарей та зарядно-підзарядних агрегатів є більш жорсткі вимоги до пульсацій напруги в мереж оперативного ПС (не більше 0,5% [4]), що унеможливлює використання багатьох методів та засобів контролю ізоляції мереж оперативного ПС, які передбачають накладання на мереж оперативного ПС стороннього тестового сигналу.

Проблема ускладнюється при використанні стандартних значень номінальних напруг постійного оперативного струму, які менші за 220 В (а саме, 24, 48, 110 В). При напругах менше 220 В напруга тестового сигналу має бути зменшена, щоб не перевищити максимальну допустиму напругу пульсацій в мереж оперативного ПС [5].

Споживачами ОПС на електричних станціях і підстанціях є приводи вимикачів (рис. 1.1), оперативні кола захисту, пристрої автоматики, апаратура дистанційного керування, аварійна і попереджувальна сигналізація. При порушеннях нормальної роботи гідроелектростанцій джерела ОПС використовуються для аварійного освітлення і для електропостачання особливо відповідальних механізмів власних потреб.

Від джерел оперативного струму потребується підвищена надійність, тому генерована ними напруга повинна бути високостабільною, ізоляція повинна бути високоомною, джерела оперативного струму повинні бути резервовані. Особливої уваги заслуговують такі види навантаження мереж оперативного ПС, як сучасні мікропроцесорні пристрої захисту, наприклад, основний захист лінії ДсГЕС L-90GE КРУЕ-330кВ Дністровської ГАЕС (ДсГАЕС), диференційний захист шин КРУЕ-330кВ ДсГАЕС, комплект резервних захистів 330кВ ЛадТЕС Siemens 7SA522 КРУЕ-330кВ ДсГАЕС та інші, у яких опір вхідних кіл не менше 1 МОм і тому зменшення опору полюсів мережі ОПС відносно «землі» сприяє появі напруги на цих входах і, як наслідок, помилковому спрацьовуванню захисту. Відповідно до [1-3] для потужних електростанцій, що входять в енергосистему, акумуляторні батареї мають забезпечити живлення споживачів ОПС протягом не менше 30 хв, а для ізольованих від енергосистеми електричних станцій протягом не менше 1 години. Враховуючи важливу роль споживачів ОПС, особливо в аварійних та післяаварійних режимах, з метою підвищення надійності МОПС секціонується на ряд ділянок, які мають самостійне живлення від збірних шин батареї (рис. 1.6).

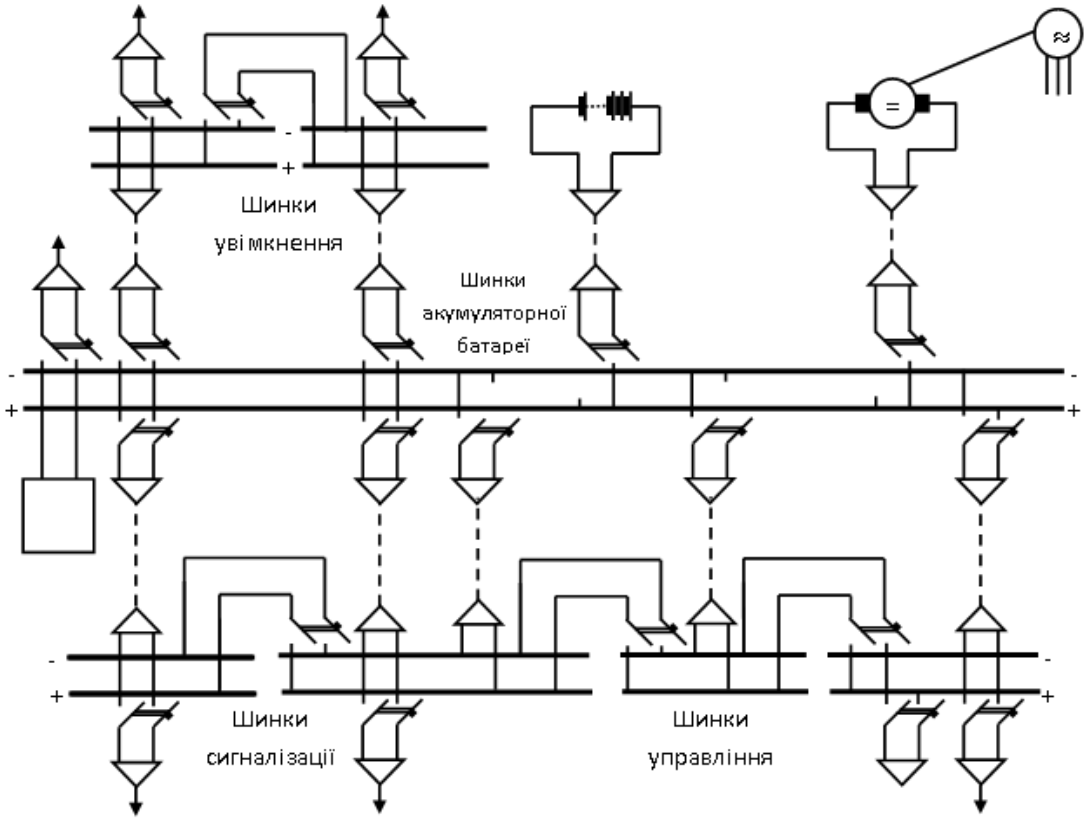


Рисунок 1.6 – Фрагмент схеми мереж оперативного ПС

Найбільш відповідальними є кола керування. Вони приєднуються до окремих шин керування (ШК) та розділені на секції рубильниками. На кожний вимикач живлення подається через окремі автоматичні вимикачі або запобіжники. Окремі шинки передбачаються для живлення котушок електромагнітів увімкнення масляних вимикачів, які споживають великі струми (рис.1.7). Завдяки великій кількості кабельних ліній сумарна ємність полюса МОПС відносно землі зростає і може досягти 40 мкФ, а ємність однієї лінії – до 4 мкФ. В експлуатації знаходяться кабелі з паперовою, полівінілхлоридною та гумовою ізоляцією (рис. 1.8) з мідними або алюмінієвими провідниками, наприклад: КВВГ-2,5, АВВГ-1,5 і інші [6. 7], які в процесі експлуатації можуть пошкоджуватись.

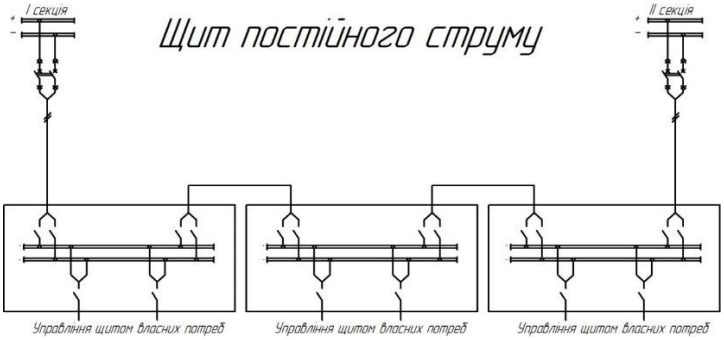
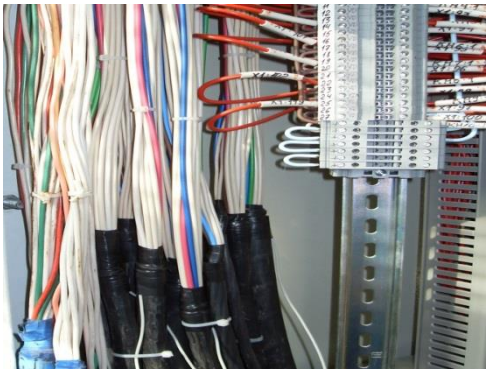


Рисунок 1.7 – Фрагмент схеми живлення системи управління щитами власних потреб 6/0,4 кВ



а)

б)

в)

Рисунок 1.8 – Кабелі з : а) ПВХ ізоляцією; б) гумовою ізоляцією, з надітою на нею ПВХ трубкою; в) з паперовою ізоляцією

1.2 Аналіз пошкоджень в мережах ОПС

На деяких електричних станціях і підстанціях такі кабельні лінії експлуатуються вже понад 40 років. Надійність застарілих ліній МОПС зменшується. Тому актуальною є задача дослідження пошкоджуваності в системах ОПС. Був проведений аналіз пошкоджень в МОПС Дністровської

ГАЕС, Дністровської ГЕС-1 та Дністровської ГЕС-2 за період з 2017 року по 2020 рік. Дослідження свідчать про те, що найбільш частими пошкодженнями є зменшення опору ізоляції одного з полюсів МОПС відносно «землі» до значення, яке не перевищує 20 кОм (уставка спрацьовування на сигнал пристрою контролю ізоляції при напрузі МОПС – 220 В), при нормованому значенні опору ізоляції не менше 1 МОм (рис. 1.9).

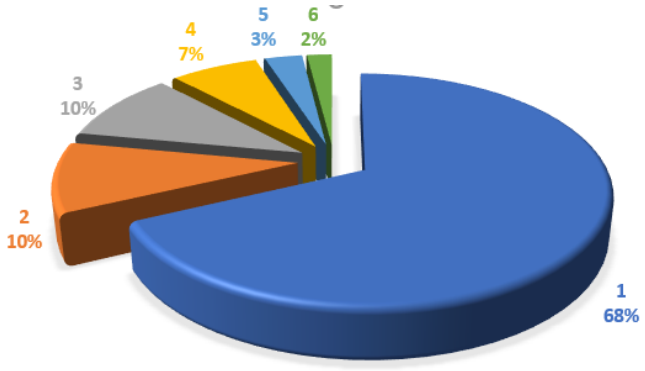


Рисунок 1.9 – Розподіл пошкоджень в мережах ОПС

На рис. 1.9. введено наступні позначення: 1 – Коротке замикання одного полюса на «землю», 2 – Коротке замикання двох полюсів на «землю», 3 – Коротке замикання двох полюсів між собою, 4 – Вихід з ладу елементів акумуляторних батарей, 5 – Вихід з ладу елементів ВАЗП, 6 – Вихід з ладу інших елементів

Найчастішим видом пошкоджень в системі ОПС є замикання одного полюса на «землю». Якщо його вчасно не усунути, то при зниженні опору ізоляції іншого полюса може статися помилкова робота РЗА, відключення відповідальних споживачів мереж ОПС.

Виконання робіт під напругою, за таких умов, в цій мережі не допускається, за винятком робіт з пошуку місця замикання.

Не усунена протягом 8 годин «земля» в мереж ОПС гідроелектростанцій вважається відмовою в роботі другого ступеня [3], тому що значно підвищується ризик міжполюсних замикань та помилкових спрацьовувань реле, викликаних шунтувальними зв’язками.

За таких умов помилкова робота реле відбувається і внаслідок перезаряду

через їх котушку сумарної власної ємності полюсів мережі при замиканні на «землю» між котушкою реле і контактом, який подає напругу на цю котушку.

Існуюча в наш час методика визначення пошкодженої ділянки мережі і пошуку місця замикання передбачає почергове відключення кабелів, що знижує надійність роботи РЗА, а за певних умов спричиняє їх помилкове спрацьовування.

Тому досить значна увага в мережах ОПС приділяється пристроям контролю опору ізоляції мереж ОПС і пристроям сигналізації про значне зменшення цього опору.

1.3 Методи та засоби контролю опору ізоляції мереж оперативного ПС

Найпоширеніші методи контролю ізоляції як всієї мережі оперативного постійного струму, так і окремих фідерів, подано на рис. 1.10.

Рисунок 1.10 – Методи контролю ізоляції ОПС

Відомі пристрої контролю ізоляції МОПС [4-7] можна поділити за принципом дії на: пристрої, що реагують на різницю значень опорів ізоляції полюсів, утворюючи плечі вимірювального моста, в діагональ якого включено

реагуючий орган (мостові схеми); пристрої контролю зміни накладеного на МОПС струму тестового змінного сигналу різної форми і частоти; пристрої, які реагують на струм перехідного процесу при замиканні полюса на землю; пристрої, що використовують комбіновані принципи [8].

1.4 Пристрої з накладанням на контрольовану мережу змінного сигналу

Ці пристрої умовно можна розділити на пристрої з накладенням підвищеної частоти (400 Гц, 125 Гц, 100 Гц), промислової частоти (50 Гц) [9,10], низької частоти (25 Гц, 12,5 Гц, 1-2 Гц) [11]. Їх, в свою чергу можна розділити на пристрої: з виділенням активної складової струму замикання, з компенсацією ємнісної складової струму замикання спеціально включеною індуктивністю, з накладенням сигналу трикутної форми, прямокутного, знакозмінного сигналу, амплітудно-модульованого сигналу. За способом накладення на контрольовану мережу змінного сигналу їх можна розділити на пристрої: з шунтуванням ізоляції низькоомним резистором; з періодичним зарядом-розрядом конденсатора, що додатково підключається; а також пристрої, у яких джерело змінного сигналу підключене між землею і мережею, що контролюється за допомогою трансформатора і роздільних (за постійним струмом) конденсаторів.

Для таких приладів характерним є те, що чим більша частота генератора, тим більшим буде вплив ємності кабелів відносно «землі» на струм *I*. Сумарна ємність мережі оперативного постійного струму на електростанціях може досягати 40 мкФ, а ємність одного фідера – 4 мкФ на полюс [12]. Якщо для загальномережних пристроїв контролю опору ізоляції коливання ємності мережі вносять похибку у вимірювання значення опору ізоляції, то для пристроїв селективного контролю і пошуку місця замикання це може призвести до неробототздатності.

При замиканні полюса через 20 кОм активний струм значно менший ємнісного для частоти накладеного сигналу 400-50 Гц. Тому було запропоновано знизити частоту до 25 Гц; 12, 5 Гц; 1-2 Гц. При цьому виникли труднощі з

накладенням сигналу на мережу, що контролюється. Велика частина сигналу втрачалася на вихідному трансформаторі генератора змінного сигналу і на ємнісному опорі конденсаторів фільтра приєднання. Зниження частоти сигналу, що накладається, призвело до значного зменшення чутливості датчиків струму, які дозволяють визначати пошкоджений кабель і місце замикання. Тому було запропоновано збільшити амплітуду накладеного сигналу до 45 В, 35 В або періодично шунтувати опір ізоляції полюса мережі. Шунтування ізоляції викликає перезаряд ємностей полюсів мережі, створює додатковий шлях протіканню струму при замиканні на «землю» між керувальним контактом і обмоткою реле.

Для автоматичного усунення впливу зміни ємності контрольованої мережі і спрощення пристрою контролю, підвищення надійності В. С. Дзюбан і В. П. Кононенко запропонували пристрій автоматичного контролю ізоляції ($R_{із}$) мереж постійного струму (УАКІП) [11].

Чутливий орган виконаний у вигляді *L*-*C*–генератора ($C_с$) і дроселя з регульованою індуктивністю $L_{др}$, який має обмотку управління, що включена на вихід *L*-*C*–генератора, а паралельно випрямному мосту підключено компенсувальне джерело постійного струму (E). $R_{сх}$ – опір сенсора струму.

Дросель автоматично настроюється так, щоб забезпечувалася рівність (1.3):

$$\omega L_{др} = \frac{1}{\omega C_с}, \qquad (1.3)$$

тобто резонанс струмів.

При цьому струм через реле (1.4) буде активним

$$I_{ро} = E\sqrt{\frac{1}{(R_{із}+R_{сх})^2}+(\omega C_с-\frac{1}{\omega L_{др}})^2} = \frac{E}{R_{із}+\mathrm{R}_{\Sigma}}. \qquad (1.4)$$

Якщо нехтувати для простоти розрахунків втратами в дроселі Др і опором обмотки виконавчого реле і конденсаторів фільтрів приєднання ($C_ф >> C_с$), то струм через реле буде дорівнювати (1.5):

$$I_{ро} = E\sqrt{\frac{1}{R_{із}^{\ 2}} + (\omega C_с - \frac{1}{\omega \mathrm{L}_{др}})^2} = \frac{E}{R_{із}}. \qquad (1.5)$$

Однак істотним недоліком цього пристрою є неможливість застосування його для селективного контролю ізоляції і визначення місця замикання, оскільки в кожному кабелі, при такому включенні, буде протікати ємнісний струм на «землю», який буде вносити похибку у вимірювання.

У [10] описано метод та побудований за ним прилад з накладанням тестових сигналів двох різних частот, що дає можливість компенсувати вплив ємності мережі на вимірювання та визначити активний опір ізоляції всієї мережі, а отже, реагувати на її зміни, проте даний пристрій не забезпечує селективності контролю і пошуку пошкодженого приєднання.

З метою забезпечення селективності дії пристрою контролю ізоляції в мережах оперативного постійного струму з великою розподіленою ємністю були запропоновані пристрої з частотою оперативного сигналу нижчою за 50 Гц. Синусоїдальний сигнал частотою 25 Гц використовується в пристрої «Сапфір» [10]. Пристрій за допомогою трансформаторів струму, встановлених на контрольованих кабелях і струмопровідних клемах приладу ВАФ-86, реагує на значення змінного струму. Фільтр виділяє частоту 25 Гц, а потім сигнал посилюється, з нього виділяється активна складова всього 8-4% від отриманого сигналу. Очевидно, що при опорі ізоляції 20 кОм, напруга генератора дорівнює 45 В, значення корисного сигналу дуже мале, великі втрати сигналу в сенсорі струму.

Для зменшення впливу розподіленої ємності мережі на роботу пристрою пошуку пошкодженої дільниці і місця замикання інженерами Борухманом В. А.

і Кулдикіним А. І. був розроблений прилад ІПІ-1 [8, 12]. За допомогою цього приладу напруга між полюсом контрольованої мережі і «землею» змінюють з частотою 1,25 Гц. Амплітуда коливань – 35 В.

Пристрій працює таким чином: генератор ІПІ-1 встановлений на щиті постійного струму і в нормальному режимі відключений від мережі і від джерела живлення. При виникненні замикання на землю ключем К він підключається до контрольованої мережі і джерела живлення. При цьому відключається пристрій безперервного контролю ізоляції. Генератор повинен підключатися до негативного полюса мережі, що забезпечує зниження потенціалу цього полюса відносно землі. Формувач трикутної напруги являє собою пасивний *R*-*C*– чотириполюсник, параметри якого вибрані такими, що при роботі на мережу постійного струму з великою ємністю відносно «землі» вихідна напруга його має симетричну трикутну форму. Амплітуда вихідної напруги – 35 вольт. Вихідний опір генератора – не менше за 20 кОм. Блок комутації періодично підключає і відключає блок живлення через випрямляч до формувальника трикутної напруги (ФТН). Підібравши час заряджання ємності ФТН і мережі, параметри пасивного чотириполюсника (ємність і опір) і значення напруги на виході випрямляча відповідно до параметрів контрольованої мережі (ємності і опору ізоляції, які визначаються опором замикання) в підключеному стані випрямляча напруга зміщення на виході генератора, а значить і полюси мережі відносно «землі», змінюють згідно з лінійним у часі законом. Відключаючи контакт блоку комутації, забезпечують розряд розподіленої ємності мережі через опір її ізоляції.

Далі накладають струмовимірювальні кліщі почергово на проводи дільниць мережі, що відходять від загальної шини полюса мережі із зниженою ізоляцією, який був заздалегідь визначений за допомогою вимірювальної частини пристрою безперервного контролю ізоляції УКІ-1. За найбільшим показом вимірювального блока, що оцінює середнє за період значення абсолютного значення першої або подальших похідних струмів, що протікають по дільницях, визначають дільницю із зниженою ізоляцією.

Струм, що накладається, має низьку частоту 1,25 Гц і мале значення (1,7 мА при замиканні через 20 кОм). Трансформувати такий струм за допомогою струмових кліщів приладу "ВАФ-85" важко. Рівень перешкод на виході кліщів може на два-три порядки перевищувати корисний сигнал. Тому в переносному приймачі застосовані фільтри і підсилювачі.

У [7] описано пристрій, в якому використовується для тестування ізоляції мережі амплітудно-модульований сигнал, чутливий орган даного пристрою реагує при замиканні на збільшення струму низької частоти.

До переваг таких пристроїв слід віднести можливість селективного контролю ізоляції, проте їх використання супроводжується труднощами накладання і уловлення тестового сигналу (для схем із застуванням низьких частот) та компенсації впливу ємності мережі при застосуванні високочастотного сигналу.

Розглянемо модель мережі з пристроєм контролю, який використовує змінний тестовий сигнал.

Спрощена схема пристрою контролю ізоляції зі стороннім джерелом змінного сигналу наведена на рис. 1.14.

На схемі рис. 1.11 джерело змінного сигналу включене між полюсами контрольованої мережі через розділові конденсатори фільтра $C_ф$, і землею через вхідний опір реагувального органу (РО). Опір джерела постійного струму (акумуляторної батареї) і навантаження мережі постійного струму дуже малі порівняно з опорами ізоляції. Тому ними можна знехтувати. Тоді спрощена розрахункова схема має вигляд, поданий на рис. 1.12, на якій U – діюче значення напруги джерела змінного сигналу, U = 10 В; ω – кутова частота, $\omega = 2\pi f$, де f – частота сигналу; $R_{сх}$ – опір сенсора струму, $R_{сх}$ = 1 кОМ, C – сумарна ємність полюсів мережі відносно землі, C = 50 мкФ; $C_ф$ – ємність роздільного фільтра, $C_ф$ = 200 мкФ; r_Σ – сумарний активний опір полюсів мережі ОПС при небезпечному зниженні опору ізоляції r_Σ = 20 кОм. Крім того більшість таких пристроїв використовують вузькосмугові фільтри для виділення сигналу тестової частоти з інформації, яку дає сенсор струму витоку, тому при розробці і аналізі цих

математичних моделей слід вважати, що в схемі протікають синусоїдальні струми однієї частоти.

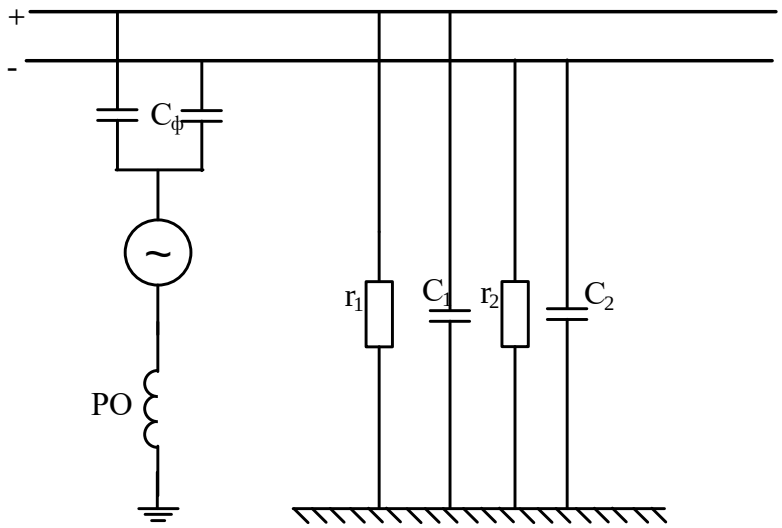


Рисунок 1.11 – Схема мережі з підключеним пристроєм контролю ізоляції

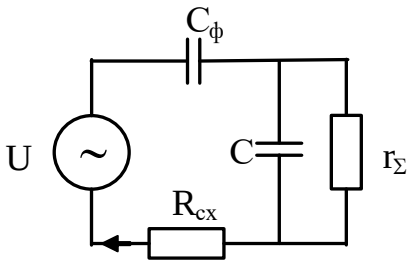


Рисунок 1.12 – Розрахункова схема для визначення струму через реагувальний орган при накладанні змінного тестового сигналу

Модель мережі ОПС за такою схемою зручно будувати за комплексним методом розрахунку кіл змінного струму. За цим методом визначаємо діюче значення повного опору схеми (1.6):

$$Z = \sqrt{\left(R_{\text{сх}} + r_{\Sigma}(\omega^2 c^2 r_{\Sigma}^{\,2} + 1)^2 + \frac{1}{\omega c_{\text{ф}}} + \frac{\omega c r_{\Sigma}^{\,2}}{(1 + \omega^2 c^2 r_{\Sigma}^{\,2})} \right)^2}, \qquad (1.6)$$

тоді діюче значення струму у вимірювальному колі схеми контролю ізоляції,

тобто струм, що проходить через реагувальний орган, визначається за виразом (1.7):

$$I = \frac{U}{\sqrt{\left(R_{\text{сх}} + r_{\Sigma}(\omega^2 c^2 r_{\Sigma}^{\,2} + 1)^2 + \frac{1}{\omega c_{\text{ф}}} + \frac{\omega c r_{\Sigma}^{\,2}}{(1 + \omega^2 c^2 r_{\Sigma}^{\,2})} \right)^2}}. \qquad (1.7)$$

Характеристики мережі, розраховані за цією моделлю, наведені на рис. 1.13. Тут показано відношення струму, що протікає через активний опір ізоляції при виникненні небезпечного зниження опору, до струму, що протікає через реагувальний орган.

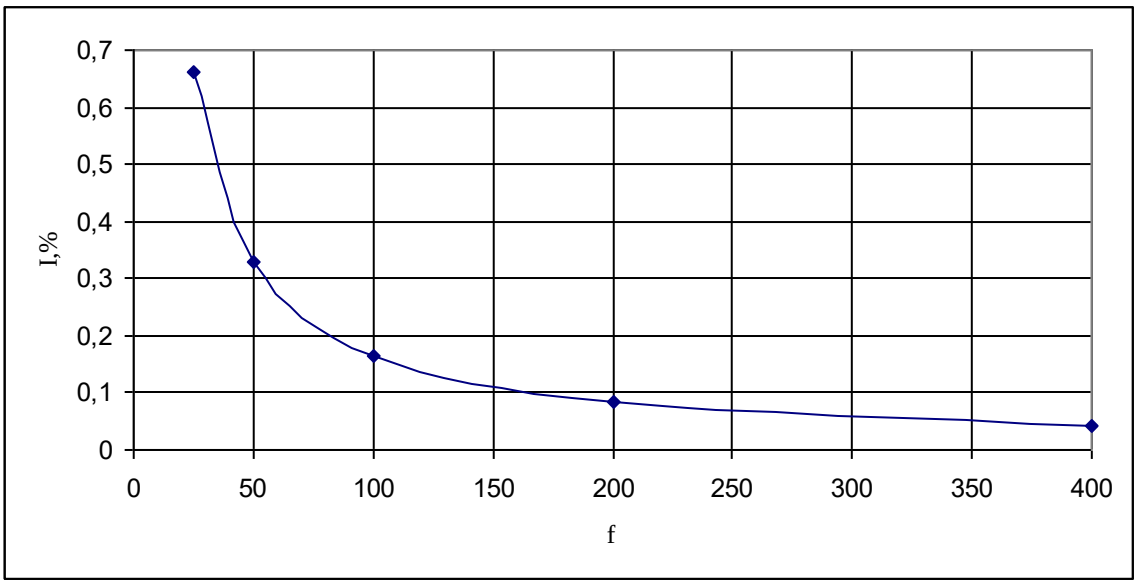


Рисунок 1.13 – Відношення струмів, що протікають через реагувальний орган в місці пошкодження

Дана математична модель придатна і для аналізу особливостей роботи приладів, які використовують періодичний тестовий сигнал складної форми при розкладанні кривої тестового сигналу на гармоніки ряду Фур'є.

Незважаючи на складну залежність струму через реагувальний орган від контрольованих параметрів мережі видно, що чим більша частота генератора,

тим більше позначається вплив ємності кабелів відносно «землі» на струм *I*. Сумарна ємність мережі оперативного постійного струму на підстанціях може досягати 40 мкФ, а ємність одного фідера – 4 мкФ на полюс. Якщо для загальномережних пристроїв контролю опору ізоляції коливання ємності мережі вносять похибку у вимірювання значення опору ізоляції, то для пристроїв селективного контролю і пошуку місця замикання це може призвести до неробототздатності.

Висновки до розділу 1

Існує багато пристроїв контролю мереж постійного струму, однак специфіка об’єкта контролю потребує збільшення ймовірності правильного визначення появи небезпечного зниження ізоляції та забезпечення селективного визначення місця пошкодження.

Оскільки кожен з розглянутих засобів контролю ізоляції має свої переваги і недоліки, то перспективним є застосування комбінованих принципів при розробці нових, а також модернізації існуючих методів та пристроїв селективного контролю і пошуку пошкоджень в мережах ОПС, проте такий шлях призводить до ускладнення схем пристрою контролю.

Застосування мікроконтролерів при розробці пристроїв контролю ізоляції мереж ОПС дозволить гнучко реагувати на зміну параметрів мережі (шляхом підбору найбільш інформативного їх співвідношення) та обробку інформації, яка надходить від сенсорів контролю параметрів МОПС, зокрема активного опору полюсів мережі відносно «землі».

Використання мостових схем потребує доволі точного розрахунку струмів перехідного процесу для визначення небалансу у вимірювальній діагоналі схеми та налаштування реагувального органа. Оскільки такі прилади не можуть здійснювати селективний контроль мережі, то її розподілені параметри в таких моделях відображаються зосередженими. Важливим елементом схеми заміщення є опір реагувального приладу.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ОПОРУ ПОЛЮСІВ ВІДНОСНО ЗЕМЛІ

2.1 Фактори, які впливають на величину опору ізоляції

Для навантаження 15А - 20А в мережах ОПС застосовуються двожильні кабелі з паперово-масляною ізоляцією, а для менших струмів - з полівінілхлоридної, з алюмінієвим або мідним проводом. На ізоляцію полюсів у системі ОПС, що знаходяться під робочою напругою, впливають механічні, електричні й атмосферні впливи. Особливо сильно на ізоляцію МОПС впливають атмосферні опади: дощ, роса і туман.

Крім атмосферних опадів на ізоляцію клемників, комутаційної апаратури впливають також тверді, рідкі і газоподібні частки різних речовин, що знаходяться в повітрі. Вони осаджуються на поверхні ізоляції й утворюють при зволоженні атмосферною вологою (роса) провідний шар, що істотно знижує електричну міцність ізоляції.

При впливі на ізоляцію робочої напруги в сполученні з забрудненням і зволоженням поверхні, як правило, порушується симетрія ізоляції полюсів щодо землі, що знижує електробезпеку і може призвести до зміни уставок пристроїв релейного захисту, сигналізації й автоматики. Виникає імовірність перекриття ізоляції. Імовірність збігу того, що на ізоляцію впливає робоча напруги і того, що існують несприятливими метеорологічними умови дуже велика.

У такий спосіб на електричну ізоляцію діють постійні змінні і випадкові навантаження.

З метою з'ясування закономірності зміни опору ізоляції, зібрані статистичні дані про величину цього опору. Для цього на підстанції ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1 були встановлені два реєструючі блоки типу ILW200 (фірми SE), із внутрішньому опором не менше 1000 кОм. Ці прилади PSV1 і PSV2 підключені між полюсами контрольованої мережі і землею. Перед проведенням вимірів прилади були прокалібровані шляхом підключення між позитивним і негативним полюсом мережі і землею опору заздалегідь відомої

величини. Також черговий персонал за допомогою пристрою УКІ-1 один раз у 3 години вимірював опір полюсів мережі відносно землі.

Отримані в 2019-2022 роках дані свідчать про те, що на стан ізоляції впливає вологість середовища, у якому відбувається експлуатація. Вона прискорює процес старіння ізоляції. Серед факторів, що впливають на підвищення вологи в забрудненій ізоляції й у самому діелектрику можна виділити дощ, росу, туман, паморозь.

На рис. 2.1 показана залежність опору ізоляції від тривалості дощу. Отримана залежність показує, що при тривалості дощу до 30 хвилин опір ізоляції істотно не змінюється. У наступної 3-4 години опір повільно знижується до 100-80 кОм, після чого відбувається замикання полюса на землю через опір 0-3 кОм, викликане комутаційними перенапругами, поверхневими дуговими розрядами.

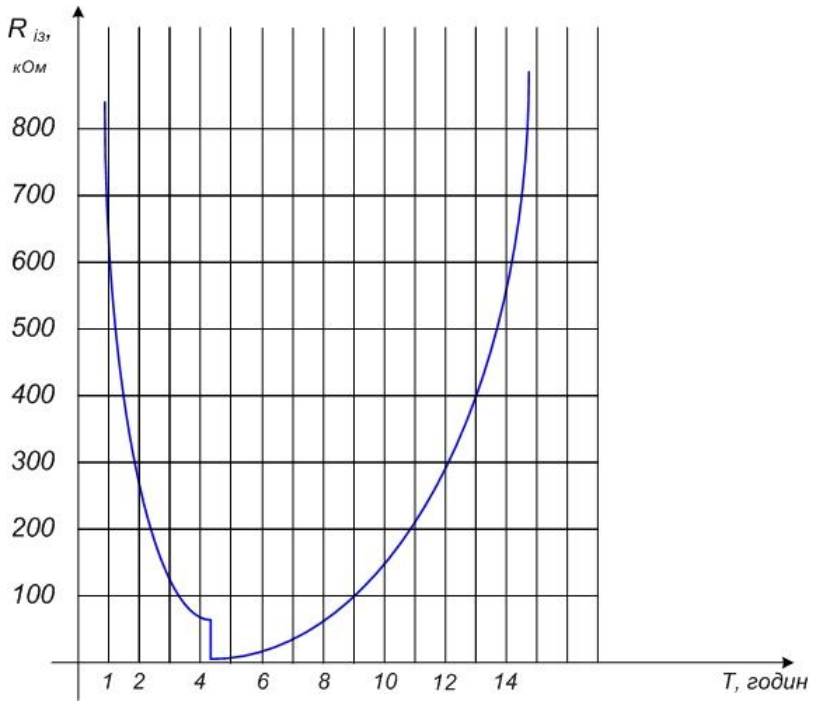


Рисунок 2.1 − Залежність опору одного полюса мережі відносно землі від тривалості дощу

На рис. 2.1 показаний фрагмент стрічки самописця, на якому зафіксований найбільш характерний для дощу розвиток замикання полюса контрольованої

мережі на землю.

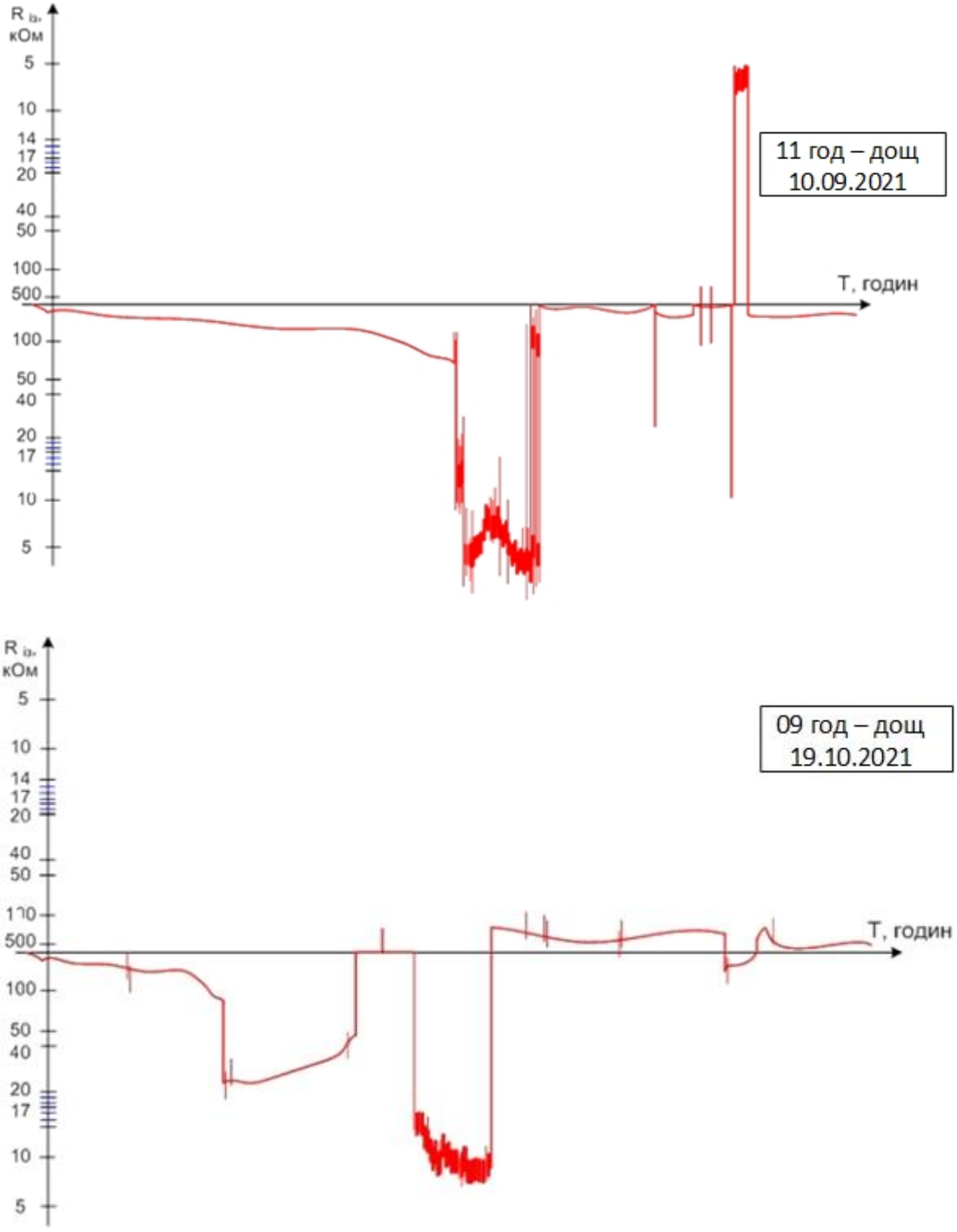


Рисунок 2.2 − Розвиток замикання полюса на землю під час дощу (фрагмент стрічки самописця)

Незахищені ізоляцією струмоведучі поверхні кабелів, клеммників знаходяться в приміщенні або захищені від прямого влучення дощу шафами,

тунелями, лотками. Під час дощу великі краплі руйнуються об стінки шафи й у виді значно більш дрібних, через щілини й отвори, попадають усередину шафи, утворюючи на поверхні ізоляції провідний шар. У процесі експлуатації поверхня шаф керування деформується, захисні прокладки руйнуються. Помічено, що часто під час дощу вода накопичується на поверхні шафи керування, а потім, стікаючи, попадає в усередину, викликаючи замикання полюса на землю. Через тривалу експлуатацію (більш 20 років) ізоляція кабелів і якість захищеності кабельних тунелів погіршилися. Протягом 3-4 годин дощу (кількість опадів, що випали, 8-10 мм). Волога потрапляє в кабельний тонель, викликаючи зволоження ізоляції кабелю. Як бачимо, через захищеність ізоляції об'єкта контролю від прямого влучення крапель дощу, не кожен навіть сильний дощ викликає зниження опору ізоляції менш 100 кОм.

Аналіз замикань, що відбулися протягом 2019-2022 років на підстанції ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1, дозволив побудувати гістограму, представлену на рис. 2.3.

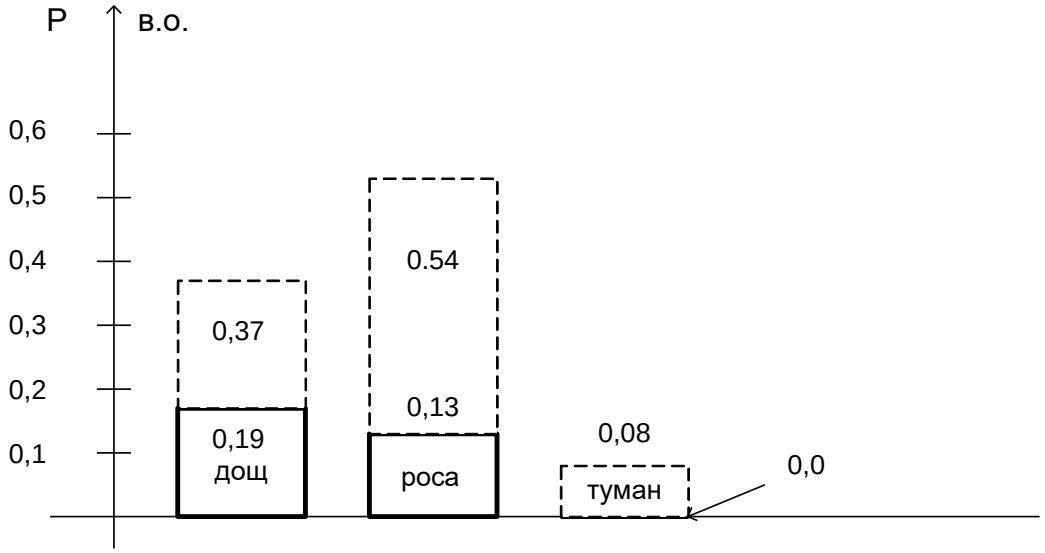


Рисунок 2.3 − Гістограма розподілу ймовірностей виникнення замикання на землю через опір від 0 до 30 кОм при різних видах атмосферних опадів.

З цієї гістограми видно, що в середньому, з кожних 10 дощів п'ять призводили до зниження ізоляції полюса менш 100 кОм.

Конденсація водяної пари, що утримується в повітрі, може відбутися в машинному залі теплової електростанції під час пуску блоку. На поверхні ізоляції і металевих шаф крапельки роси звичайно зливаються в більш великі краплі, які, стікаючи, можуть зашунтувати ізоляцію полюса щодо землі. Ймовірність того, що роса викликає погіршення властивостей ізоляції (опір - нижче 100 кОм) ще більш низька, чим при дощі. Якщо протягом десяти днів випадала роса (рис.2.3), то за два-три дні опір ізоляції міг знизитися до 100 кОм і менше.

Однак, навіть і таке зниження опору ізоляції дуже рідко призводить до її руйнування або зниження опору менш 20 кОм. Часто цей процес повільно змінюється в часі і являє собою не локальне порушення ізоляції, а погіршення ізоляції багатьох кабелів мережі до опору 700-1200 кОм.

Дослідження показали, що зниження опору до 500 кОм під дією роси відбувається протягом 3-4 годин щодня, коли роса випадає. Незабаром волога випаровується через велику поверхню й ізоляція відновлюється.

На території досліджуваної підстанції в 2019 році 7 разів був туман. Туман стабільно викликав зниження опору ізоляції до 200-300 кОм. Процес зволоження ізоляції під впливом туману повільний у часі.

Після зникнення тумана ізоляція відновлювалася протягом 1-2 годин. Це свідчить про те, що туман проникав у ті місця на території ВРУ, де розташовані оголені частини кабелів, що знаходяться під робочою напругою. При цьому, у багатьох місцях відбувається незначне погіршення ізоляції, що разом викликає зниження ізоляції полюса до 200 кОм. Якщо під час дії дощу або роси кількість однополюсних замикань значно перевищує двохполюсні, то при тумані ізоляція погіршується майже симетрично. При паморозі опір ізоляції полюса нижче 500 кОм не знижувався.

У зимовий час кількість замикань на землю різко скоротилася. Отримані за допомогою самописців коливання величини опору ізоляції дозволяють побудувати графіки найбільших добових змін активного опору ізоляції полюса мережі відносно землі, які не призвели до аварійного (20 кОм і нижче) зниження

опору ізоляції (рис. 2.4). На рисунку показані: 1 - зміна опору ізоляції для весняного й осіннього сезонів; 2 - літнього і 3 - зимового. На рис. 2.3 показані графіки добових змін температури і відносної вологості за даними метеостанції "Вінницька", розташованої на відстані ≈ 10 км від досліджуваної підстанції в одній кліматичній зоні. На рис. 2.5 зміни температури Т °С та відносної вологості V % протягом доби показані 1 і 2 - для весняного й осіннього сезонів, 3 і 4 - літнього і 5 і 6 - зимового.

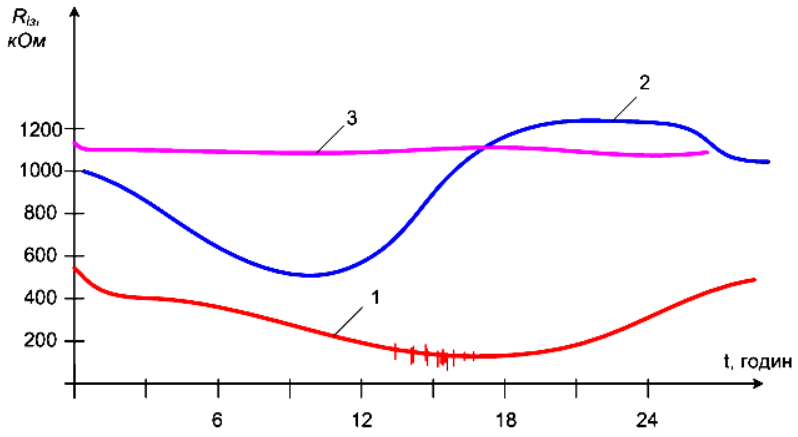


Рисунок 2.4 – Добові зміни активного опору ізоляції: 1-весна, осінь; 2-літо; 3-зима

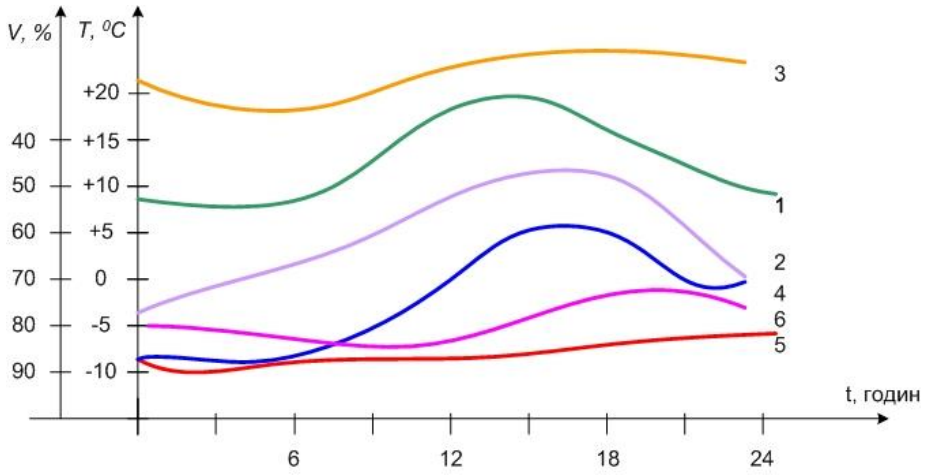


Рисунок 2.5 – Добові зміни температури Т °С і відносної вологості V %

Різкі коливання рівня опору в нижній частині графіку 1 на рис. 2.3 і на рис. 2.5 викликані появою дугових поверхневих розрядів, що виникають внаслідок впливу комутаційних перенапруг, при низьких рівнях активного опору ізоляції.

На рис. 2.3 показаний розвиток пошкодження під час дощу до відключення пошкодження оперативним персоналом або захистом.

2.2 Результати експериментальних досліджень величини активного опору в місці замикання

З метою обґрунтування уставки спрацьовування пристрою безперервного контролю ізоляції були проаналізовані результати (таблиця 2.1) трирічних спостережень за опором ізоляції підстанції ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1 у 2019-2022 роках. В таблицю 2.1 записані параметри замикань, які продовжувалися довше 1хвилини (в більшості випадків більше 10 хвилин).

З 2019 по 2022 рік усі зниження опору ізоляції до 30 кОм і нижче носили раптовий характер. Від 1 М0м до 200 кОм опір ізоляції частіше знижувалося плавно.

Зниження ізоляції може бути викликано шунтуванням ізоляції в одному місці і появою безлічі шунтуючих зв'язків полюса з землею на різних ділянках системи які, будучи рівнобіжними з'єднаннями і володіючи високим опором 700-1200 кОм, у кілька разів зменшують опір ізоляції. Очевидно, що в першому випадку зниження ізоляції може швидко перейти у коротке замикання, а в другому випадку ізоляція практично завжди відновлюється, волога випаровується, опір ізоляції збільшується (рис. 2.6).

Отже, пристрій безперервного контролю опору ізоляції, вирішуючи задачу діагностування стану ізоляції, повинен сигналізувати лише про ті зниження опору ізоляції, що з великим ступенем імовірності можуть призвести до коротких замикань.

Дані, наведені в таблиці 2.1 свідчать про те, що в 2019-22 роках на підстанції ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1 відбулося 80 спрацьовувань пристрою контролю ізоляції УКІ-1 (яким передували тривалі, більше 1 хвилини, зменшення опору полюса відносно землі), викликаних замиканням полюса мережі на землю через опір від 0 до 20 кОм.

Хоча велика частина цих замикань існувала не більш однієї години - це

небезпечний з погляду надійності експлуатації режим. 20 замикань у діапазоні від 20 до 30 кОм надалі привели до більш глибокого зниження ізоляції, викликавши спрацьовування УКІ-І. Кількість коротких замикань або близьких до них дуже мало.

Значно більше замикань було через опір 10-30 кОм. Замиканням через опори 1-5 кОм, як правило, передувало плавне зниження ізоляції до 80-200 кОм, а потім випливало замикання через 10-20 кОм.

Таблиця 2.1 − Кількість замикань (за 2019- 2022 р.р.) на п/ст ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1 у мережах ОПС

Опір ізоляції полюса до замикання, кОм / Опір в місці замикання, кОм	0-20	20-30	30-40	40-80	80-90	90-100	0-100	100-200	200-300	300-400	400 і більше
0-5	20	12	1	1	-	2	36	3	-	1	3
5-10	2	7	-	-	1	1	11	11	-	2	1
10-15	-	1	-	-	-	1	2	13	1	2	1
15-20	-	-	-	-	-	-	-	9	3	3	1
20-25	-	-	-	-	1	1	2	8	3	2	1
25-30	-	-	-	-	-	1	-	6	1	1	-
30-35	-	-	-	-	-	-	1	3	-	1	1
35-40	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1
40-45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
45-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
50-75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3

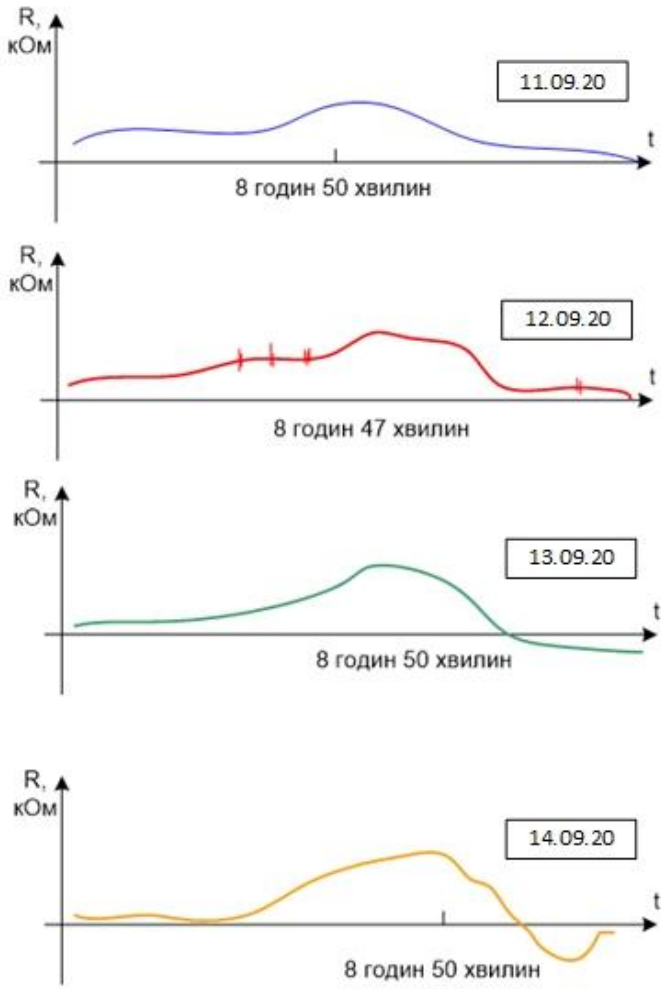


Рисунок 2.6 – Зміна активного опору ізоляції під впливом роси

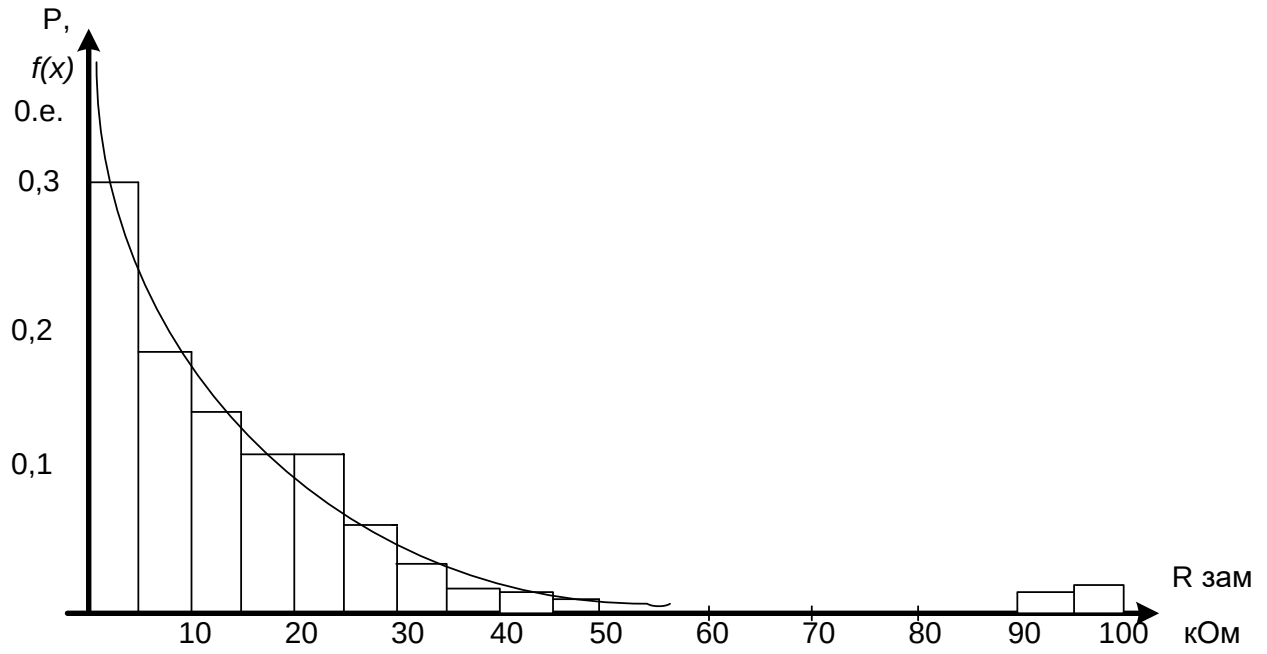


Рисунок 2.7 – Гістограма розподілу опору замикання і крива показникового розподілу

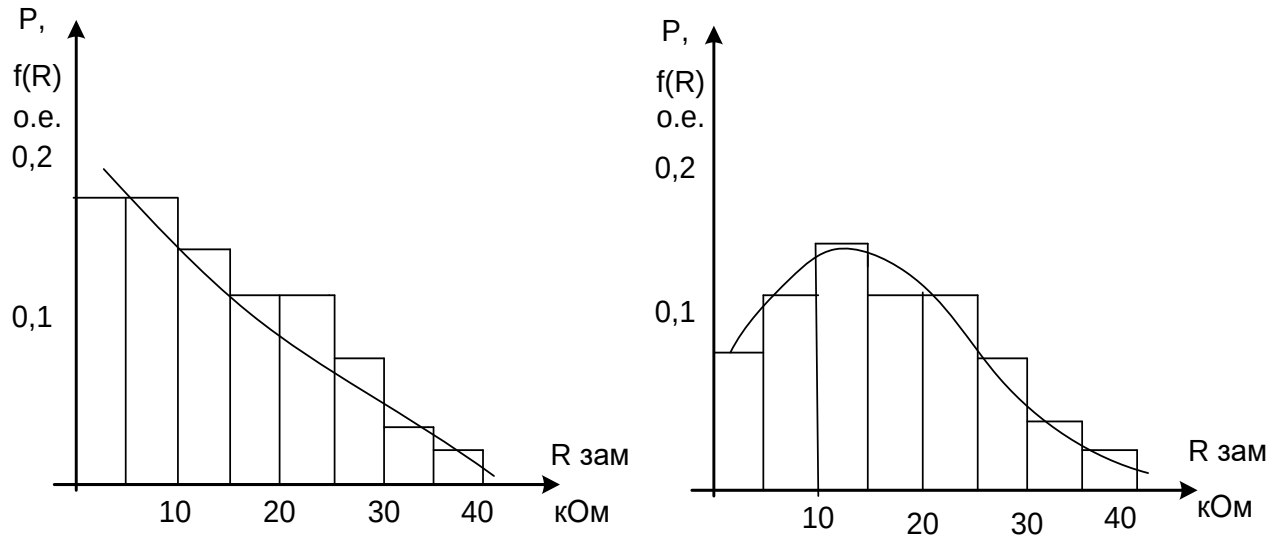


Рисунок 2.8 −Гістограми і криві розподілу опору замикання при уставці спрацьовування: а) - 20 кОм, б) - 30 кОм.

Ймовірність зниження ізоляції до 30-80 кОм і замикання, при такому рівні ізоляції, дуже мала, тому що зниження ізоляції від 1000 до 30 кОм в діапазоні від 500 до 80 кОм супроводжується значно великою кількістю замикань через 0-30 кОм, що знижує опір ізоляції до величини менш 30 кОм, зменшуючи імовірність влучення в інтервал 30-80 кОм.

Розподіл 142 значень величини опору в місці замикання для системи досліджуваної мережі оперативного постійного струму варто представити у вигляді гістограми, показаної на рис. 2.7.

З рис. 2.7 випливає, що залежність $P = f(R)$ нагадує криву показникового закону розподілу. Експоненційна регресія (наближення функції по методу найменших квадратів) забезпечує одержання параметрів функції $f(R) = b_0 \, exp(b_1 \cdot R)$, за формулами:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N} R_i \sum_{i=1}^{N} ln\, y_i - N \sum_{i=1}^{N} R_i \, ln\, y_i}{\left(\sum_{i=1}^{N} R_i \right)^2 - N \sum_{i=1}^{N} R_i^2}, \qquad (2.1)$$

$$b_1 = \exp\left[\frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N}\ln y_i - b_0\sum^{N} R_i\right)\right] \qquad (2.2)$$

Щільність імовірності показового закону записується залежністю [9]

$$f(R) = \lambda \cdot exp(-\lambda R), \qquad (2.3)$$

де λ - густина або інтенсивність (середнє число) подій на одиницю опору. У показниковому законі густина є величиною зворотньою математичному очікуванню

$$\lambda = \frac{1}{[m(R)]}. \qquad (2.4)$$

Вирівнюємо показовим законом отриманий за даними вимірів розподіл активного опору замикання. Як бачимо, аналітична крива досить точно відповідає даним статистичних розрахунків.

З таблиці 2.1 випливає, що велика частина замикань відбувається через опір 0-15 кОм. Це є небезпечним за умови електробезпеки і надійної роботи РЗ і ПА режимом.

Однак, серед цих замикань чимало таких, котрі були розвитком попередніх знижень ізоляції до 20-30 кОм. Так, велика частина знижень опору ізоляції полюса від 20 до 30 кОм протягом 1-3 годин призвели до замикань від 0 до 10 кОм.

Якщо розроблені пристрої контролю ізоляції і пошуку місця замикання допоможуть експлуатаційному персоналові усунути замикання протягом 15-20 хвилин за рахунок автоматичного визначення ушкодженої ділянки і застосування пристрою пошуку місця замикання, то можна припустити, що кількість замикань через 0-15 кОм скоротиться при зміні уставки спрацьовування від 20 кОм до 30 або 40 кОм.

Для оцінки ефективності дії пристроїв контролю ізоляції і пошуку замикання за даними таблиці побудуємо гістограми розподілу опорів у місці замикання при різних уставках спрацьовування (рис. 2.8). На відміну від рис. 2.7, тут не враховувалися замикання, що виникли при спрацюванні пристрою контролю, тому що передбачається, що вони будуть усунуті. З рис. 2.8 видно, що з 40 кОм до 30 кОм імовірність замикань дуже мала, тому при побудові гістограми 2.8 враховувалися лише замикання 0-40 кОм.

Побудований за даними вимірів розподіл опорів замикання (рис. 2.8а) вирівнюємо показовим законом, а представлене на рис 3.8б логарифмічно нормальним законом.

Відомо [9, 10] , що розподіл величини буде нормальним, якщо $y = \ln x$ розподіляється по нормальному закону

$$f(y) = \frac{exp\left[\frac{-(y-a)^2}{2\sigma^2}\right]}{\sigma\sqrt{2\pi}} \tag{2.3}$$

де a і σ, відповідно дорівнюють математичному очікуванню і дисперсії нормального закону розподілу.

Густина логарифмічного нормального розподілу опору замикання визначається виразом

$$f(R) = \frac{exp\left[\frac{(\ln R - a)^2}{2\sigma^2}\right]}{2\sigma\sqrt{2\pi}}. \tag{2.4}$$

Параметри a і δ можна знайти при рішенні системи рівнянь

$$\begin{cases} m_R = e^{\frac{a+\sigma^2}{2}} \\ D_R = e^{2a+\sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1), \end{cases} \tag{2.5}$$

де $m = 21,59$ *кОм* і $D_R = 12,26$ *кОм* статистичні оцінки отриманого дослідним шляхом розподілу активного опору ізоляції R (рис. 2.9 б).

Вирішуючи систему, одержуємо a і σ^2

$$a = ln\frac{m_R^2}{\sqrt{D_R + m_R^2}}, \qquad \sigma^2 = ln\frac{D_R + m_R^2}{m_R^2}. \tag{2.6}$$

Графіки залежності ймовірностей і отримані розрахунковим шляхом значення щільностей свідчать про зсув спектру опорів замикань відповідно до максимального значення ймовірності їхньої щільності розподілу з діапазону 0-5 кОм (найбільш небезпечний діапазон) у діапазон 10-15 кОм, при зміні уставки спрацьовування пристрою контролю від 20 до 30 кОм. Уставка спрацьовування 20 кОм зменшує імовірність замикання через 0,5 кОм з 0,31 до 0,21, але це спектр опорів не зміщує. Максимум щільності розподілу при уставці від 30 до 40 кОм лежить у діапазоні опорів замикань від 10 до 16 кОм.

На підставі даних таблиці можна обчислити вірогідність попадання замикань в обумовлений установкою спрацьовування пристрою контролю ізоляції інтервал опорів замикань. Ця величина визначає імовірність того, що пристрій спрацює при заданій уставці спрацьовування і замиканнях, наведених у таблиці 2.1.

Для цього визначаємо середнє арифметичне значення опору замикання

$$\overline{R} = \sum\frac{R_i}{n} = 15\,\hat{e}\hat{I}\grave{i} \quad . \tag{2.7}$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}\frac{\left(R_i - \overline{R}\right)}{n}} \approx 8.034 \tag{2.8}$$

Знаючи, що для пристрою контролю ізоляції поле допуску з однієї сторони

обмежено значенням 0 кОм, а з іншого боку - уставкою спрацьовування, визначаємо довірчі відстані до меж смуги допуску у відносних одиницях

$$\rho_{i} = \frac{(\overline{R} - A_{i})}{\sigma_{y}}; \qquad \sigma_{B} = \frac{\left(A_{B} - \overline{R}\right)}{\sigma_{y}}. \tag{2.9}$$

Для уставки:

- 20 кОм – $\rho_н$ = 1,88 $\rho_в$=0,625;
- 30 кОм – $\rho_н$ = 1,88 $\rho_в$ =1,88;
- 40 кОм – $\rho_н$ = 1,88 $\rho_в$ =3,125.

По графіках рис. 3.8 знаходимо значення довірчих рівнів при заданій кількості спостережень $v_н$ =0,96, $v_в$ =0,55; $v_н$ =0,96, $v_в$ =0,96; $v_н$ =0,96, $v_в$ =0,99.

Вірогідність попадання в заданий інтервал $D(Г)=0,5(v_н + v_в)$ для уставки спрацьовування *20 кОм - D = 0,765;*

30 кОм - D= 0,96;

40 кОм - D = 0,975.

Як бачимо, імовірність при уставці спрацьовування 30 кОм досить велика і збільшення її на 0,015 - несуттєво.

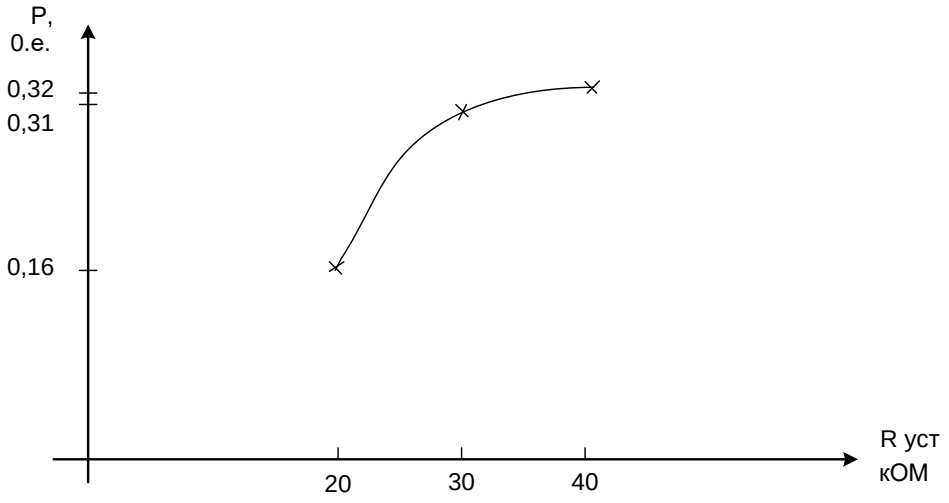


Рисунок 2.9 – Залежність ймовірності появи повторного замикання на землю

З метою з'ясування ефективності використання пристрою контролю побудована залежність імовірності появи повторних замикань, після спрацьовування цього пристрою при різних уставках спрацьовування. З рис. 2.9 випливає, що імовірність появи повторних замикань велика при уставці спрацьовування 20 кОм.

Залежність імовірності появи повторного замикання на землю після спрацьовування пристрою контролю від уставки спрацьовування - це 0,16 від загальної кількості замикань, наведених у таблиці 2.1, тобто 22 замикання. При уставці 30 кОм - 0,31, тобто 42 замикання, а при 40 кОм - 43 замикання. Зрозуміло, що збільшення уставки від 30 кОм до 40 кОм не доцільно. Збільшення уставки з 20 кОм до 30 кОм буде ефективне, якщо пристрій контролю ізоляції дозволяє автоматично визначити пошкоджений кабель, у короткий час (15-420 хвилин) знайти місце замикань і усунути його. Збільшення уставки спрацьовування до 100-200 кОм не виправдано, тому що більш 64,7 % таких знижень ізоляції через росу, дощу і т.п. закінчилися самостійним відновленням ізоляції і не призвели до більш низького зниження опору.

На рис.2.10 показані гістограми розподілу опорів ізоляції, які передували замиканню полюса на землю. З цих гістограм видно, що найбільша ймовірність замикання відповідає попередньому зменшенню опору ізоляції полюса від 100 до 200 кОм.

Тому що шкала самописця нелінійна, а діапазон від 500 кОм до ∞ займає 2 мм, то всі замикання від 500 кОм і вище також поміщені (у таблиці 2.1) у діапазон 400-500 кОм.

Аналіз причин замикань дозволяє припустити, що імовірність замикань, при опорі ізоляції більш 300 кОм мала і дорівнює 0,09. В основному - це випадкові замикання, наприклад, помилкові дії експлуатаційного персоналу. Якщо опір зменшився до 100-200 кОм, то в цьому діапазоні опорів ізоляції імовірність замикань більше. Замикання в цих випадках були викликані перекриттям дощовою водою або росою поверхні ізоляції клемників, виникненням поверхневого дугового розряду, при зволоженні сильно

забрудненої поверхні ізоляції, механічним руйнуванням.

Майже через усі місця зі зруйнованої, сильно забрудненої, зволоженою ізоляцією відбувається замикання полюса на землю при зниженні опору ізоляції до 100 кОм. Від 40 кОм і нижче зростає кількість повторних замикань. Їхня імовірність досягає 0,36. Застосування пристроїв контролю ізоляції покликано виключити повторні замикання після їхнього спрацьовування. Тоді (пунктирна лінія на рис. 2.1) імовірність замикань у діапазоні 0-100 кОм повинна зменшиться від 0,36 до 0,07, а в діапазоні 0-30 кОм - від 0,3 до 0.

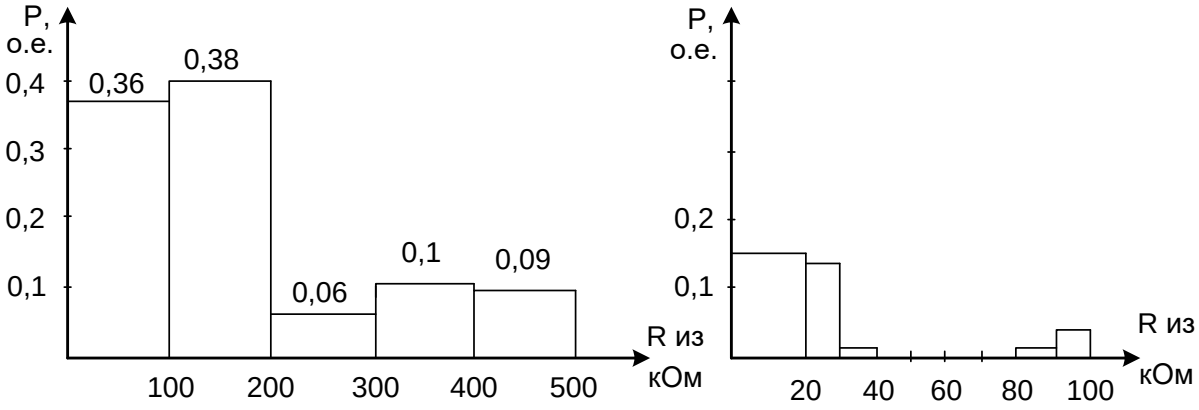


Рисунок 2.10 − Гістограми розподілів опору ізоляції перед замиканням полюса на землю

2.2.1 Дослідження короткочасних змін опору полюсів відносно землі

З метою завчасного прогнозування зменшень опору ізоляції до уставки спрацьовування пристрою контролю ізоляції УКІ-1 (тобто до 20 кОм) потрібно дослідити статистику попередніх змін опору.

Тому були проаналізовані зміни опору полюсів, які тривали до 1 хвилини, і шляхом обробки статистичних даних були визначені:

- кількості короткочасних зменшень опору полюсів на протязі року в залежності від величини зменшення опору $R1_{пол}$, які в майбутньому привели до тривалого зменшення опору до 20 кОм і менше;

- кількості короткочасних зменшень опору полюсів, які в майбутньому

привели до тривалого зменшення опору до 20 кОм і менше, в залежності від проміжку часу *T*, за який була порахована ця кількість імпульсів, та в в залежності від величини зменшення опору $R1_{пол}$;

- кількості короткочасних зменшень опору полюсів, які в майбутньому привели до тривалого зменшення опору до 20 кОм і менше, в залежності від кількості *k* короткочасних зменшень опору полюсів за визначений проміжок часу спостережень, за який була порахована ця кількість імпульсів, та в в залежності від величини зменшення опору $R1_{пол}$.

Результати статистичних досліджень наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Результати статистичних досліджень

$R1_{пол}$	*кількість*	*T*	*кількість*	*k*	*кількість*	$R2_{пол}$	*кількість*
30	2	1	1	2	1	30	5
40	6	1	1	2	1	40	18
80	15	1	2	2	2	80	52
100	22	1	2	2	1	100	83
200	2	1	0	2	0	200	216
300	1	1	0	2	0	300	348
30	2	2	1	4	1	30	5
40	6	2	3	4	3	40	18
80	15	2	4	4	4	80	52
100	22	2	3	4	1	100	83
200	2	2	0	4	0	200	216
300	1	2	0	4	0	300	348
30	2	4	0	5	0	30	5
40	6	4	2	5	2	40	18
80	15	4	6	5	6	80	52

продовження таблиці 2.2

$R1_{пол}$	*кількість*	*T*	*кількість*	*k*	*кількість*	$R2_{пол}$	*кількість*
100	22	4	3	5	13	100	83
200	2	4	1	5	1	200	216
300	1	4	0	5	0	300	348
30	2	8	0	7	0	30	5
40	6	8	3	7	3	40	18
80	15	8	4	7	4	80	52
100	22	8	1	7	1	100	83
200	2	8	0	7	0	200	216
300	1	8	0	7	0	300	348
30	2	24	0	8	0	30	5
40	6	24	0	8	0	40	18
80	15	24	8	8	3	80	52
100	22	24	0	8	0	100	83
200	2	24	0	8	0	200	216

З метою визначення найбільш інформативних (з точки зору достовірності прогнозування тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше) величин контрольованих параметрів, порахуємо імовірність виникнення тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше для різних величин сукупностей контрольованих параметрів.

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.3. В таблиці 2.3 показані:

- імовірності (*P1*) тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше в залежності від величини зменшення опору $R1_{пол}$. Вона визначалась, як відношення кількості зменшень опору полюса (при певній величині цього опору), які в подальшому призвели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше, до загальної кількості тривалих зменшень опору полюсів до 20 кОм і менше;

- імовірності (*P2*) тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше в залежності від величини часу спостережень. Вони визначались, як відношення кількості зменшень опору полюса (при за певний час спостережень), які в подальшому привели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше, до загальної кількості тривалих зменшень опору полюсів до 20 кОм і менше;

- імовірності (*P3*) тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше в залежності від кількості (*k*) короткочасних зменшень опору за певний час. Вони визначались, як відношення кількості зменшень опору полюса (при певній кількості зменшень опору полюсів за певний час до певного опору), які в подальшому привели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше, до загальної кількості тривалих зменшень опору полюсів до 20 кОм і менше;

- імовірності (*P4*) тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше в залежності від величини зменшення опору $R2_{пол}$. Вони визначались, як відношення кількості зменшень опору полюса (при певній величині цього опору), які в подальшому привели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше, до загальної кількості короткочасних зменшень опору полюса цієї ж величини опору (тобто до сумарної кількості таких зменшень опору, які призводили в майбутньому до зменшень 20 кОм і менше, разом з кількістю зменшень опору, які **не** призводили в майбутньому до зменшень 20 кОм і менше)

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків імовірностей

$R1_{пол}$	$P(R1_{пол})$	*T*	*P(T)*	*k*	*P(k)*	$R2_{пол}$	$P(R2_{пол})$
30	0,042	1	0,5	2	0,5	30	0,4
40	0,125	1	0,166667	2	0,166667	40	0,33
80	0,313	1	0,133333	2	0,133333	80	0,288
100	0,46	1	0,090909	2	0,045455	100	0,265
200	0,042	1	0	2	0	200	0,01
300	0,02	1	0	2	0	300	0,0028
30	0,042	2	0,5	4	0,5	30	0,4

продовження таблиці 2.3.

$R1_{пол}$	$P(R1_{пол})$	T	$P(T)$	k	$P(k)$	$R2_{пол}$	$P(R2_{пол})$
40	0,125	2	0,5	4	0,5	40	0,33
80	0,313	2	0,266667	4	0,266667	80	0,288
100	0,46	2	0,136364	4	0,045455	100	0,265
200	0,042	2	0	4	0	200	0,01
300	0,02	2	0	4	0	300	0,0028
30	0,042	4	0	5	0	30	0,4
40	0,125	4	0,333333	5	0,333333	40	0,33
80	0,313	4	0,4	5	0,4	80	0,288
100	0,46	4	0,227273	5	0,590909	100	0,265
200	0,042	4	0,5	5	0,5	200	0,01
300	0,02	4	1	5	1	300	0,0028
30	0,042	8	0	7	0	30	0,4
40	0,125	8	0	7	0	40	0,33
80	0,313	8	0,2	7	0,2	80	0,288
100	0,46	8	0,181818	7	0,181818	100	0,265
200	0,042	8	0,5	7	0,5	200	0,01
300	0,02	8	0	7	0	300	0,0028
30	0,042	24	0	8	0	30	0,4
40	0,125	24	0	8	0	40	0,33
80	0,313	24	0	8	0	80	0,288
100	0,46	24	0,363636	8	0,136364	100	0,265

2.3 Визначення аналітичних залежностей імовірностей зменшень опорів від контрольованих параметрів

Під час обробки результатів експериментальних досліджень часто описують отримані (експериментальним шляхом, шляхом спостережень) табличні результати, рівнянням. В більшості випадків таке рівняння згладжує

експериментальні дані, тобто апроксимує їх. Тому для побудови досліджуваних закономірностей використаємо математичні методи апроксимації табличних даних, отриманих експериментальним шляхом. Основне завдання апроксимації – побудова наближеної (що апроксимує) функції, яка найбільш близько проходить навколо заданих точок або біля заданої неперервної функції

Апроксимація – процес підбору емпіричної функції $g(x)$ для встановлення з спостережень функціональної залежності $y= g(x)$. Емпіричні формули використовують для аналітичного зображення дослідних даних. У простому випадку завдання апроксимації експериментальних даних виглядає таким чином. Нехай є деякі дані, отримані практичним шляхом (в ході експерименту або спостереження), які можна представити парами чисел (x,y). Залежність між ними відображає таблиця 2.4.

Таблиця 2.4 − Дані, отримані експериментальним шляхом

x_i	x_0	x_1	x_2	.	x_n
y_i	y_0	y_1	y_2	.	y_n

На основі цих даних потрібно підібрати функцію $y=g(x)$, яка найкращим чином згладжувала б експериментальну залежність між змінними і по можливості точно відображала загальну тенденцію залежності між x і y, виключаючи похибки вимірювань і випадкові відхилення. Це означає, що відхилення y_i-$g(x_i)$ були б найменшими.

Зазвичай завдання апроксимації розкладається на дві частини:

1. Спочатку встановлюють вид залежності $y=f(x)$ і, відповідно вид емпіричної формули, тобто вирішують, чи є вона лінійною, квадратичною, логарифмічною або якою-небудь іншою.

2. Після цього визначаються чисельні значення невідомих параметрів вибраної емпіричної формули, для яких наближення до заданої функції виявляється найкращим.

Існує і інший підхід до рішення задачі апроксимації. Якщо немає яких-небудь теоретичних міркувань для підбору виду формули, зазвичай вибирають функціональну залежність з числа найбільш простих, порівнюючи їх графіки з графіком заданої функції [13. 14].

Після вибору виду формули визначають її параметри. Для найкращого вибору параметрів задають міру близькості апроксимації експериментальних даних. У багатьох випадках, особливо якщо функція *f(x)* задана графіком або таблицею (на дискретній множині точок), для оцінки ступеня наближення розглядають різниці $f(x_i)-g(x_i)$ для точок $x_0, x_1 ..., x_n$.

Звичайне визначення параметрів при відомому виді залежності здійснюють по методу найменших квадратів. При цьому функція *g(x)* вважається найкращим наближенням до *f(x)*, якщо для неї сума квадратів нев'язок $\varepsilon_i=f(x_i)-g(x_i)$ або відхилень "теоретичних" значень $g(x_i)$, знайдених по емпіричній формулі, від відповідних дослідних значень y_i, має найменше значення в порівнянні з іншими функціями, з числа яких вибирається шукане наближення.

$$\sigma = \sum_{i=0}^{n} \left| f\left(x_i\right) - \varphi\left(x_i\right) \right|^2 \to min\,. \qquad (2.10)$$

Використовуючи методи диференціального числення, метод найменших квадратів формулює аналітичні умови досягнення сумою квадратів відхилень (2.10) свого найменшого значення. Так, якщо функція *g(x)* цілком визначається своїми параметрами *a, b, c* , то кращі значення цих параметрів знаходяться з вирішення системи рівнянь.

Наприклад, в простому випадку, коли функція *g(x)* представлена лінійним рівнянням $y=ax+b$, система має вигляд:

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot y_i \\ a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i + b \cdot n = \sum_{i=1}^{n} y_i \end{cases} . \qquad (2.11)$$

З'ясувати вид функції можна або з теоретичних міркувань, або аналізуючи розташування точок (x_i, y_i) на координатній площині. Наприклад, нехай точки розташовані так, як показано на рис. 2.10.

Враховуючи те, що практичні дані отримані з деякою похибкою, обумовленою неточністю вимірювань, необхідністю округлення результатів і так далі, можна припустити, що тут має місце лінійна залежність $y=ax+b$. Щоб функція прийняла конкретний вигляд, необхідно певним чином обчислити a і b. Для цього можна розв'язати систему (2.11).

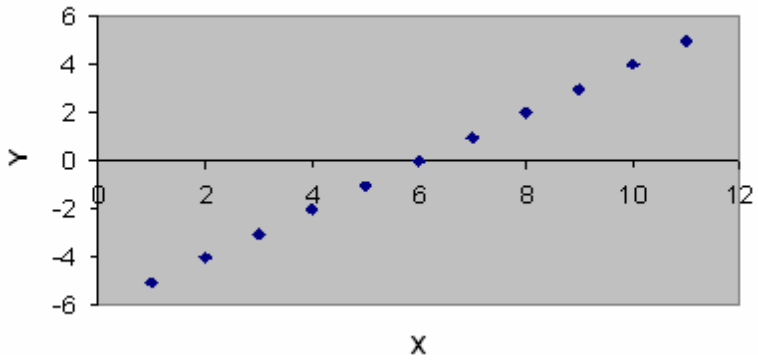


Рисунок 2.10 − Перший варіант розташування експериментальних точок

Розташування експериментальних точок у вигляді кривої на рис. 2.11 показує, що залежність обернено пропорційна і функцію $g(x)$ потрібно підбирати у вигляді $y=a+b/x$. Тут також необхідно обчислити параметри a і b.

Таким чином, розташування експериментальних точок може мати різний вигляд, і кожному відповідає конкретний тип функції. Побудова емпіричної функції зводиться до обчислення вхідних в неї параметрів, так щоб зі всіх функцій такого вигляду вибрати ту, яка краще за інших описує залежність між величинами, що вивчаються. Тобто сума квадратів різниці між табличними

значеннями функції в деяких точках і значеннями, обчисленними за отриманою формулою, повинна бути мінімальна.

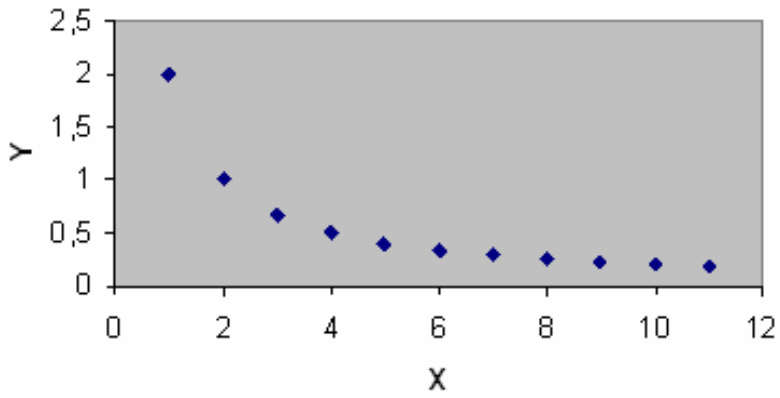


Рисунок 2.11 – Другий варіант розташування експериментальних точок

З метою автоматизації процесу розрахунків використовують різні програмні засоби, наприклад, *MathCad, MS Excel* та інші.

У MS Excel апроксимація експериментальних даних здійснюється шляхом побудови їх графіка (x – уявні величини) або точкового графіка (x – має конкретні значення) з подальшим підбором відповідної апроксимуючої функції (лінії тренда). Можливі наступні варіанти функцій. Лінійна функція – $y=ax+b$. Зазвичай застосовується в простих випадках, коли експериментальні дані зростають або убувають з постійною швидкістю. Поліноміальна – $y=a_0+a_1x+a_2x_2+.+a_nx^n$, де до шостого порядку включно ($n \leq 6$), a_i– константи. Використовується для опису експериментальних даних, що поперемінно зростають і убувають. Ступінь полінома визначається кількістю екстремумів (максимумів або мінімумів) кривої. Поліном другого ступеня можна описати тільки одним максимумом або мінімумом, поліном третього ступеня може мати один або два екстремуми, четвертого ступеня – не більше трьох екстремумів і так далі. Логарифмічна залежність – $y=a\cdot ln(x)+b$, де a і b – константи, ln – функція натурального логарифма. Функція застосовується для опису експериментальних даних, які спочатку швидко зростають або убувають, а потім поступово стабілізуються. Степенева – $y=b\cdot xa$, де a і b – константи.

Апроксимація степеневою функцією використовується для експериментальних даних з швидкістю росту, що постійно збільшується (або що убуває). Дані не повинні мати нульових або від'ємних значень. Експоненціальна – $y=b\cdot e^{ax}$, a і b – константи, e – основа натурального логарифма. Застосовується для опису експериментальних даних, які швидко ростуть або убувають, а потім поступово стабілізуються. Часто її використання витікає з теоретичних міркувань.

Ступінь близькості апроксимації експериментальних даних вибраною функцією оцінюється коефіцієнтом детермінації (R^2).

Таким чином, якщо є декілька відповідних варіантів типів апроксимуючих функцій, можна вибрати функцію з великим коефіцієнтом детермінації (прямуючим до 1).

Аналізуючи дані таблиці 2.3 бачимо, що імовірність вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм в залежності від величини попереднього короткочасного зменшення цього опору нагадує криву нормального закону розподілу, тому використання засобів *MS Excel* не дозволяє якісно визначити аналітичний опис апроксимуючої залежності. Для більш якісного аналітичного опису скористаємось можливостями MathCad. отримано рівняння (2.12)

$$P1=-4.378e\text{-}3+8.233e\text{-}5\cdot R1+2.649e\text{-}5\cdot R1^2+7.003e\text{-}7\cdot R1^3+2.143e\text{-}9\cdot R1^4-$$
$$-8.607e\text{-}11\cdot R1^5\ -4.431e\text{-}13\cdot R1^6+5.522e\text{-}15\cdot R1^7\ . \qquad (2.12)$$

Це рівняння дозволяє визначити імовірність ($P1$) тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше в залежності від величини зменшення опору $R1_{пол}$. Вони визначались, як відношення кількості зменшень опору полюса (при певній величині цього опору), які в подальшому привели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше, до загальної кількості тривалих зменшень опору полюсів до 20 кОм і менше.

Аналіз даних табл.2.3, виразу 2.12 дозволяють зробити висновок про те, що якщо мали місце попередні короткочасні зменшення опору полюса близько до **100 кОм**, то імовірність виникнення в найближчому майбутньому тривалого

зменшення опору полюса до 20 кОм є найбільшою і становить **46%**.

Аналізуючи дані таблиці 2.3 бачимо, що імовірність вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм в залежності від тривалості часу спостережень (*T*) для величини попереднього короткочасного зменшення опору полюса 100 кОм нагадує криву логарифмічного закону розподілу (рис.2.13).

Тому використання засобів MS Excel дозволяє з середньоквадратичною похибкою, яка не перевищує 3,67% визначити аналітичний опис апроксимуючої залежності 2.13

$$P2(T)_{100\,кОм} = 0{,}092Ln(T) + 0{,}0927. \qquad (2.13)$$

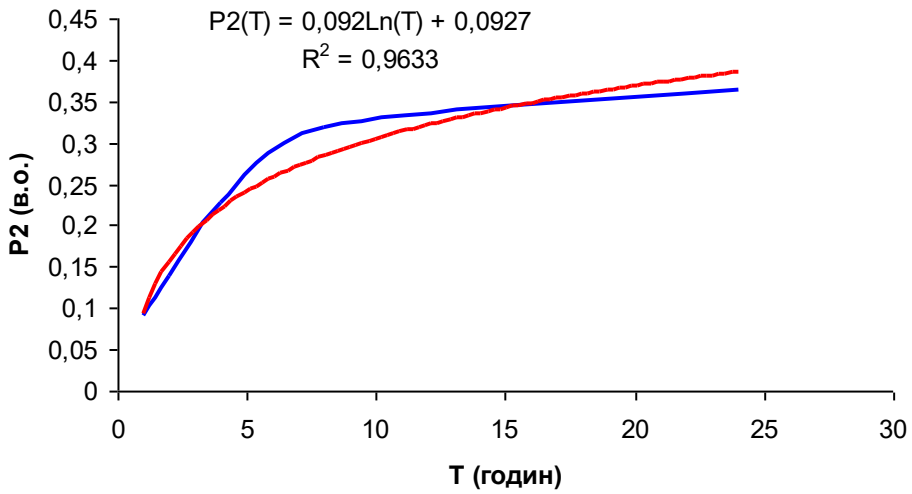


Рисунок 2.12 – Залежність імовірності вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм від тривалості часу спостережень (при *R1=100 кОм*)

Як бачимо ця залежність є зростаючою. На рис. 2.12 синім показана експериментальна залежність, а червоним апроксимована крива, отримана за виразом 2.13.

Подібним шляхом були отримані залежності (рис.2.13) для інших опорів, наприклад для *R1=30 кОм* (вираз 2.14):

$$P2(T)_{30\ кОм}=--0.004395161+0.22459041861\cdot T+0.18216471196\cdot T^2—$$
$$-0.06227893364\cdot T^3-0.05630232039T^4+0.00692750398\cdot T^5-0.0004232207\cdot T^6-$$
$$-0.00047277457\cdot T^7+0.00001626184\cdot T^8+0.0000199899\cdot T^9 . \quad (2.14)$$

На рис. 2.14 позначені імовірність вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм: $P2_{екс}$, як Z – для експериментальних даних (пунктирна лінія), $P2_{розр}$, як $y1$ - для розрахункових даних (суцільна червона лінія), а величини часу спостережень T, як $X1$ та $X2$ відповідно для $Z(X1)$ та $y1(X2)$.

Аналізуючи дані таблиці 2.3 бачимо, що імовірність ($P3$) вірного прогнозування тривалого зменшення опору полюса до 20 кОм в залежності від кількості (k) короткочасних зменшень опору за певний час нагадує криву нормального закону розподілу, тому використання засобів MS Excel не дозволяє якісно визначити аналітичний опис апроксимуючої залежності.

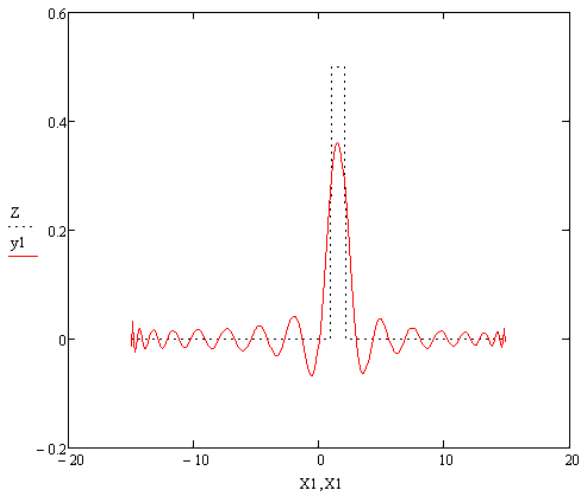


Рисунок 2.14 – Залежність імовірності вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм від тривалості часу спостережень (при R1=30 кОм)

Тому скористаємось можливостями *MathCad*. В результаті апроксимації отримано рівняння 2.15

$$P3(k)_{100\ кОм} =12.502-12.62248333333\cdot k+4.232725\cdot k^2-0.06227893364\cdot k^3—$$
$$0.57181666667k^4+0.026975\cdot k^5. \quad (2.15)$$

Як бачимо ця залежність має максимальне значення при *k=5, R1=100 кОм*, Т=4 години.

Аналізуючи дані таблиці 2.3 бачимо, що імовірність (*P4*) вірного прогнозування тривалого зменшення опору полюса до 20 кОм в залежності від величини зменшення опору $R2_{пол}$ спадає при зростанні $R2_{пол}$. Причому $P4(R2_{пол})$ визначалась, як відношення кількості зменшень опору полюса (при певній величині цього опору), які в подальшому привели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше, до загальної кількості короткочасних зменшень опору полюса до цієї ж величини опору (тобто до сумарної кількості таких зменшень опору, які призводили в майбутньому до зменшень 20 кОм і менше, разом з кількістю зменшень опору, які не призводили в майбутньому до зменшень 20 кОм і менше). Ця крива нагадує криву, яка описує поліноміальне рівняння і тому використаємо засоби MS Excel для визначення аналітичного опису апроксимуючої залежності. В результаті апроксимації отримано рівняння 2.16.

$$P4(R2_{пол})=0{,}4873-0{,}0032\cdot R2_{пол}+5E\text{-}06\cdot R2_{пол}^{2}. \quad (2.16)$$

Як бачимо ця залежність є спадаючою. На рис. 2.14 синім показана експериментальна залежність, а червоним апроксимована крива, отримана за виразом 2.12.

Маючи імовірності прогнозування зменшення опору ізоляції полюсів відносно землі в залежності від зміни по кожному з контрольованих параметрів, визначаємо загальну вірогідність безпомилкового прогнозування P_{Σ} в залежності від одночасного впливу всіх параметрів (2.17)

$$P_{\Sigma}(R1_{пол}, T, k, R2_{пол})=P1(R1_{пол})\cdot P2(T)\cdot P3(k)\cdot P4(R2_{пол}). \quad (2.17)$$

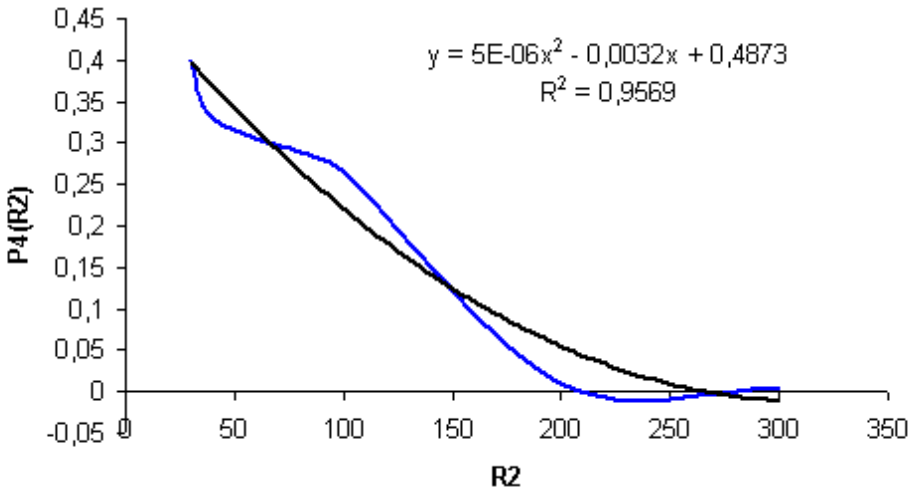


Рисунок 2.14 – Залежність імовірності вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм від величини попереднього короткочасного зменшення цього опору

Результати розрахунків загальної вірогідності прогнозування у відповідності до таблиці 2.3 та виразу (2.17) наведені в таблиці 2.5.

Аналіз даних таблиці 2.5 свідчить про те, що наявніть 5 короткочасних зменшень опору полюсів відносно землі, величиною до 100 і менше кОм, які зафіксовані на протязі 5 годин, в майбутньому призведе до зменшення опору полюса до 20 кОм і менше.

З метою визначення аналітичної залежності $P_{\Sigma}=f(R1_{пол},\ T,\ k,\ R2_{пол})$ апроксимуємо дані таблиці 2.5 кривою, яка відповідає поліноміальному рівнянню другої степені (2.18)

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} N_i \prod_{j=1}^{m} X^{I_{ji}}, \qquad (2.18)$$

де N_i – коефіцієнти перед додатками, n – кількість додатків, $X_1 = R1_{пол}$, $X_2 = T$, $X_3 = k$, $X_4 = R2_{пол}$, m – кількість аргументів ($m=4$), B – показник степені кожного аргументу в кожному додатку.

Для визначення кількості *n*, величин *N* та *B* скористаємось програмою, яка працює в середовищі *MathCad*.

З урахуванням даних, які наведені в таблиці 3.6, вираз 3.18 запишимо у вигляді 2.19

$$P_{\Sigma}=(-0.0000000371 \cdot R1_{пол} \cdot R2_{пол}) + 0.0000004926 \cdot T \cdot R2_{пол} + +(-0.000000574 \cdot k \cdot R2_{пол}) + + (-0.0000000371 \cdot R2_{пол}^{2}) + 0.0000102602 \cdot R2_{пол} + +(-0.000000574 \cdot R1_{пол} k) - -0.0009760619 \cdot T \cdot k + (-0.0004285026 \cdot k^{2}) + 0.0058791808 \cdot k + .0000004926 \cdot R1_{пол} \cdot T + (-0.0000203018 \cdot T^{2}) + 0.0028419419 \cdot T + + (-0.0051634684 \cdot 1) + 0.0000102602 \cdot R1_{пол} + (-0.0000000371 \cdot R1_{пол}^{2}) \quad (2.19)$$

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків загальної імовірності прогнозування

$R1_{пол}$, *кОм*	*T, годин*	*k, штук*	$R2_{пол}$, *кОм*	P_{Σ}, *в.о.*
30	1	2	30	0,0042
40	1	2	40	0,001157
80	1	2	80	0,001523
100	1	2	100	0,000499
200	1	2	200	0
300	1	2	300	0
30	2	4	30	0,0042
40	2	4	40	0,010313
80	2	4	80	0,004687
100	2	4	100	0,000762
200	2	4	200	0
300	2	4	300	0
30	4	5	30	0
40	4	5	40	0,004492
80	4	5	80	0,009141

продовження 2.5

$R1_{пол}$, *кОм*	*T, годин*	*k, штук*	$R2_{пол}$, *кОм*	P_{Σ}, *в.о.*
100	**4**	**5**	**100**	**0,016326**
200	4	5	200	0,000105
300	4	5	300	0,000056
30	8	7	30	0
40	8	7	40	0
80	8	7	80	0,00649
100	8	7	100	0,007055
200	8	7	200	0,000105
300	8	7	300	0
30	24	8	30	0
40	24	8	40	0
80	24	8	80	0
100	24	8	100	0,006035
200	24	8	200	0
300	24	8	300	0

Результати розрахунку коефіцієнтів рівняння (2.18) та показників степені кожного аргументу в кожному додатку – наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку параметрів рівняння (2.18)

№ додатку	Показники степені при аргументах				Коефіцієнти перед додатками
	$R1_{пол}$	T	k	$R2_{пол}$	
1	1	0	0	1	-0.0000000371
2	0	1	0	1	0.0000004926
3	0	0	1	1	-0.000000574
4	0	0	0	2	-0.0000000371

5	0	0	0	1	0.0000102602

продовження табл.2.6

№ додатку	Показники степені при аргументах				Коефіцієнти перед додатками
	$R1_{пол}$	T	k	$R2_{пол}$	
6	1	0	1	0	-0.000000574
7	0	1	1	0	-0.0009760619
8	0	0	2	0	-0.0004285026
9	0	0	1	0	0.0058791808
10	1	1	0	0	0.0000004926
11	0	2	0	0	-0.0000203018
12	0	1	0	0	0.0028419419
13	0	0	0	0	-0.0051634684
14	1	0	0	0	0.0000102602
15	2	0	0	0	-0.0000000371

Знаходження оптимальних параметрів контролю показано в додатку В.

Висновки по розділу 2

Тривалим зменшенням опору ізоляції полюса мережі оперативного постійного струму передують короткочасні зменшення цього опору.

Короткочасні зменшення опору полюса відносно землі до 100 кОм і менше можуть бути ознакою стійкого зменшення цього опору до 20 кОм і менше в майбутньому.

Якщо кількість короткочасних (менше 1 хвилини) зменшень опору полюса відносно землі до 100 кОм і менше буде не менше 3 разів на протязі не більше 6 годин, то імовірність прогнозування стійкого зменшення цього опору до 20 кОм і менше в майбутньому (на ранній стадії розвитку дефекту) буде найбільшою

3 ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПС

3.1 Структурна схеми пристрою загальномережевого контролю ізоляції

Результати досліджень проведених в розділі 2 свідчать про необхідність створення пристрою загальномережевого контролю ізоляції мереж оперативного постійного струму електричних станцій і підстанцій з метою фіксації замкнень полюсів цих мереж на землю (а в подальшому і виявлення місць з погіршеною ізоляцією) на ранній стадії розвитку дефекту.

Розроблюваний пристрій загальномережевого контролю ізоляції (ПКІ-2) має здійснювати безперервний моніторинг стану ізоляції полюсів мережі оперативного постійного струму. ПКІ-2 не замінює, а доповнює відомий пристрій УКІ-1. На відміну від існуючого, ПКІ-2 дозволяє виявляти короткочасні, тривалістю не більше 1 хвилини, зменшення опору позитивного, або негативного полюсів ОПС, пристрою загальномережевого контролю ізоляції.

Пристрій ПКІ-2 приєднується до мережі ОПС напругою 220 В (позитивного і негативного полюсів, а також до мережі 220 В, 50 Гц змінного струму, має приєднання до пристрою заземлення).

Опір вхідних вимірювальних кіл ПКІ-2 (між кожним з вхідних вимірювальних каналів і землею) – не менше 1 МОм.

Опір вхідних вимірювальних кіл ПКІ-2 (між вхідними вимірювальними каналами) – не менше 1 МОм.

Опір ізоляції вхідних вимірювальних кіл ОПС – не менше 1 МОм.

Опір ізоляції кіл живлення 220В, 50 Гц – не менше 1 МОм.

Прилад призначений для роботи в закритих приміщеннях при температурах від -5°С до + -50 °С і вологості не більше 85%.

Пристрій повинен мати вбудований електронний годинник реального часу.

Прилад реагує на короткочасні зменшення опору полюса відносно землі до 100 кОм і менше та запам’ятовує дату і час таких зменшень.

Якщо кількість короткочасних (менше 1 хвилини) зменшень опору полюса відносно землі до 100 кОм і менше буде не менше 3 разів на протязі не більше 6 годин, то в приладі засвітиться світло діод та замкнуться контакти вихідного реле, які задіяні в колах звукової сигналізації оперативного персоналу електричних станцій та підстанцій.

Прилад дозволяє отримати ретроспективну інформацію про виявленні раніше випадки зменшення опору полюсів мережі ОПС відносно землі. Така інформація потрібна оперативному персоналу електричних станцій та підстанцій.

Розробка пристроїв контролю, релейного захисту та автоматики починається з розробки їх структурних схем.

На структурних схемах показуються зображення загальної структури пристроїв без виділення окремих елементів та інших апаратів. Вони не за допомогою чітко визначених умовних позначень, а у вигляді цілих вузлів або органів пристрою та взаємних зв’язків між ними. Вузли і органи, зазвичай, показуються прямокутниками, в яких розташовуються надписи або умовні індекси, які пояснюють призначення даного вузла або органа. Для зображення структурних схем використовують також умовні позначення логічних елементів [15].

Структурна схема ПКІ-2 показана на рис.3.1.

Ознакою сьогодення є те, що більшість фірм виробників устаткування для контролю параметрів відповідального електричного обладнання РЗА припиняють випуск електромеханічних вимірювальних приладів, реле і пристроїв і переходять на цифрову елементну базу [15].

Перехід на нову елементну базу не призводить до зміни принципів роботи приладів контролю, релейного захисту і електричної автоматики, а тільки розширює їх функціональні можливості, спрощує експлуатацію і знижує її вартість. Саме з цих причин мікропроцесорні пристрої дуже швидко займають місце застарілих електромеханічних і мікроелектронних приладів контролю, реле і автоматики [16].

Основні характеристики мікропроцесорних пристроїв контролю вищі, ніж у мікроелектронних, а тим більше електромеханічних. Так, потужність, споживана від вимірювальних трансформаторів струму і напруги, знаходиться на рівні 0,1—0,5 ВА, апаратна похибка — в межах 2—5%, коефіцієнт повернення вимірювальних органів релейного захисту складає 0,96—0,97. Більшість фірм виробників устаткування контролю припиняють випуск електромеханічних пристроїв і переходять на цифрову елементну базу.

Тому створюваний пристрій буде мікропроцесорним пристроєм. Пропонуємо структурну схему пристрою, яка показана на рис. 3.1.

3.2 Розробка електричних принципових схем модулів пристрою загальномережевого контролю ізоляції

Вибираємо мікро контролер типу AVR. Цікаво, що система команд і внутрішня побудова чіпів AVR розроблялися спільно з фірмою IAR Systems - виробником компіляторів мов програмування C/C++, що забезпечило унікальні характеристики цих мікроконтролерів. В результаті для AVR стало можливим одержувати високу щільність коду при використанні мов високого рівня, практично не втрачаючи в продуктивності в порівнянні з програмами, написаними на низько рівневій мові Асемблера.

Мікроконтролери AVR розроблені фірмою Atmel і мають наступні основні характеристики:

- дуже швидка гарвардська RISC-архітектура завантаження і виконання більшості інструкцій протягом одного циклу тактового генератора. При цьому досягається швидкість роботи приблизно 1 MIPS на 1 МГц. Частота тактового генератора багатьох типів мікроконтролерів AVR може досягати 10... 16 МГц (10... 16 MIPS) (MIPS - Millions Instructions per Second - мільйонів операцій в секунду). Відсутнє внутрішнє ділення частоти, як, наприклад, в мікроконтролерах PIC. Таким чином, якщо використовується кварцовий

резонатор з частотою 16 МГц, то Мікроконтролер працює зі швидкодією майже 16 MIPS;

Тому вибираємо AVR мікроконтролер типу ATMEGA8515 фірми Atmel. Електрична принципова схема підключення цього мікроконтролера показана на рисунку 3.2.

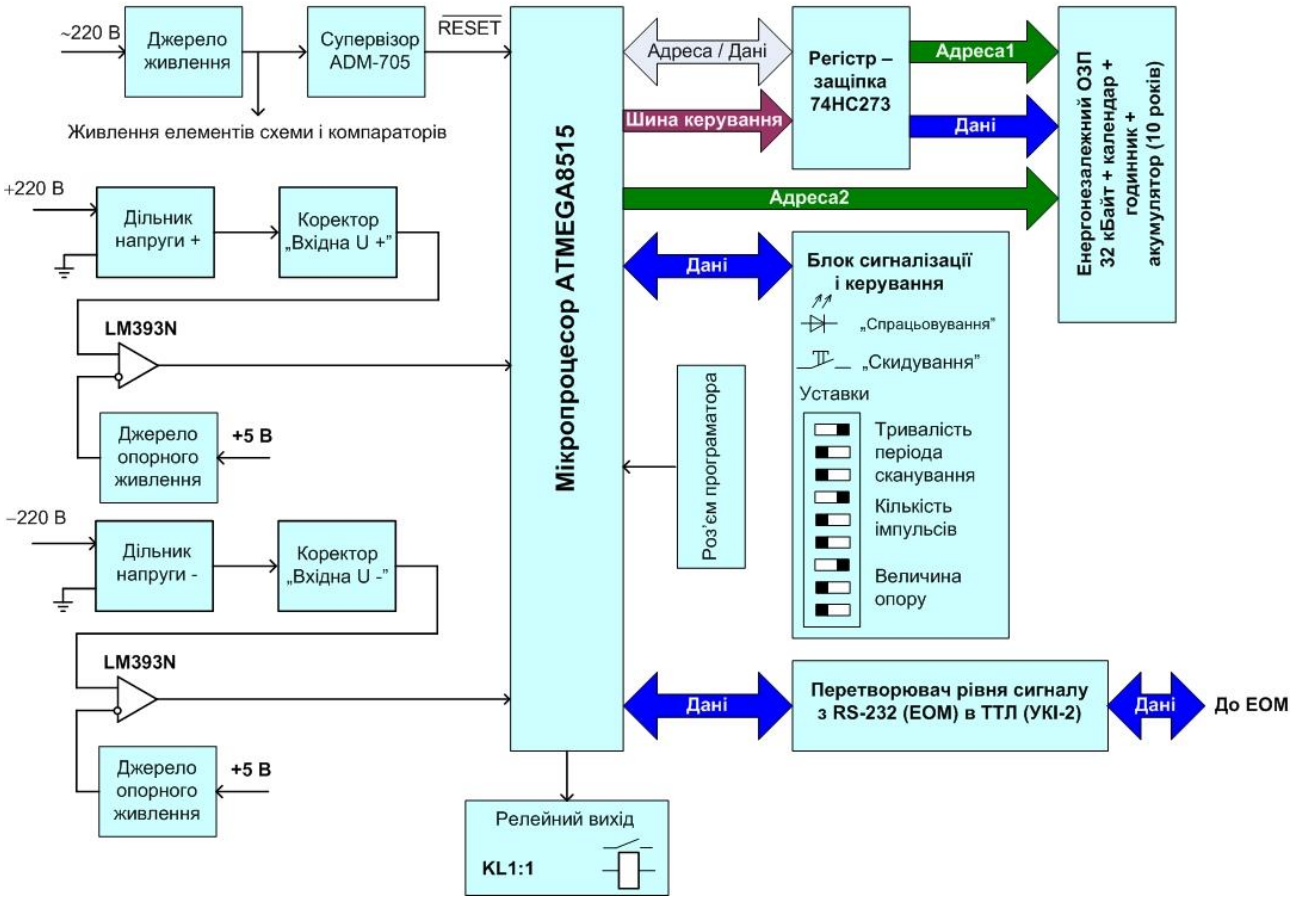


Рисунок 3.1 – Структурна схема пристрою ПКІ-2 загальномережевого контролю ізоляції мереж ОПС

Для розділення універсальної шини адрес і даних на шину даних і шину адрес використовуємо регістр защіпку 74HC273. Схема підключення регістра защіпки 74HC273 показана на рис. 3.3.

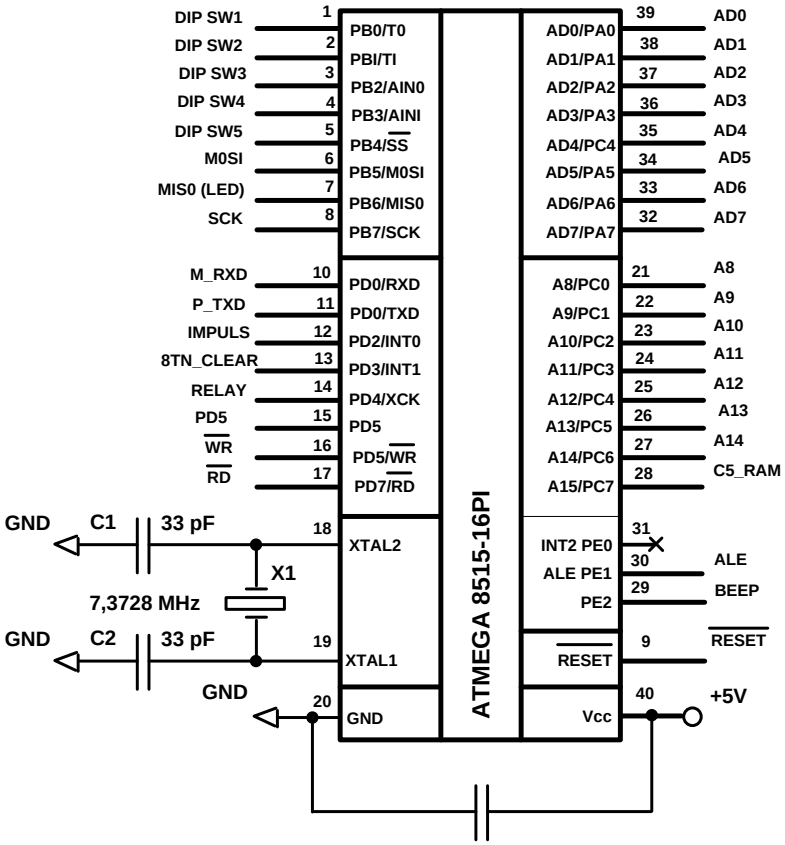


Рисунок 3.2 − Схема підключення AVR мікроконтролера типу ATMEGA8515

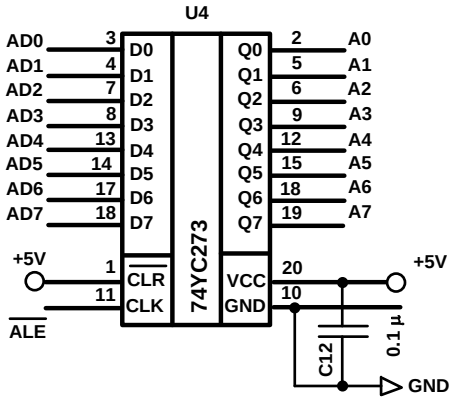


Рисунок 3.3 − Схема підключення регістра защіпки 74HC273

При увімкнені пристрою ПКІ-2 починає працювати програма моніторингу складових елементів ПКІ-2 та вхідних портів. Вона записана в регістрах мікросхеми перепрограмовуваного пристрою пам’яті EEPROM HIN232CB. Схема підключення HIN232CB показана на рис.3.4.

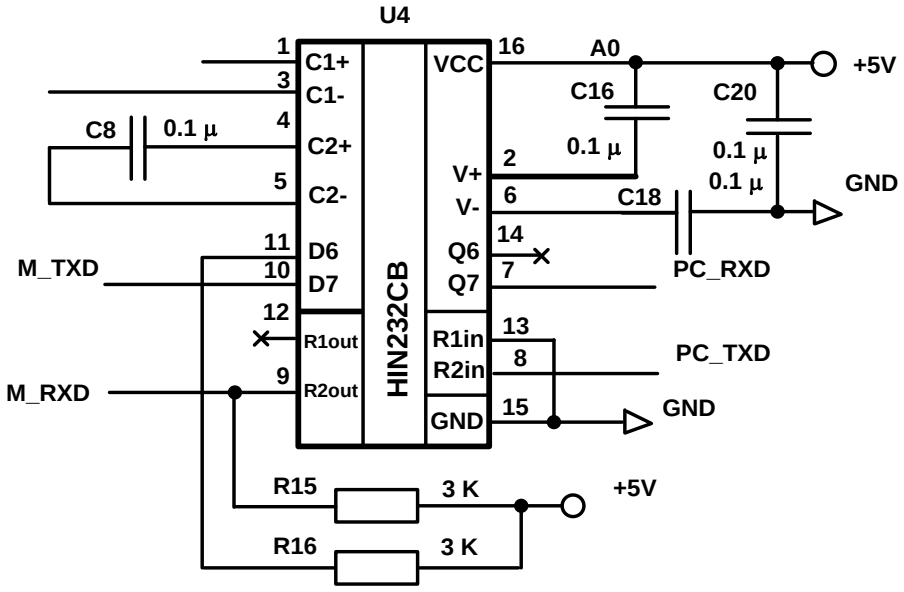


Рисунок 3.4 − Схема підключення мікросхеми пам’яті EEPROM HIN232CB

Під час роботи отримана інформація про дату і час замикань полюса на землю зберігається в регістрах мікросхеми енергонезалежної пам’яті з довільним доступом M48T35AV (NVRAM – Non Volable Random Acces Memory). Схема підключення M48T35AV показана на рис.3.5.

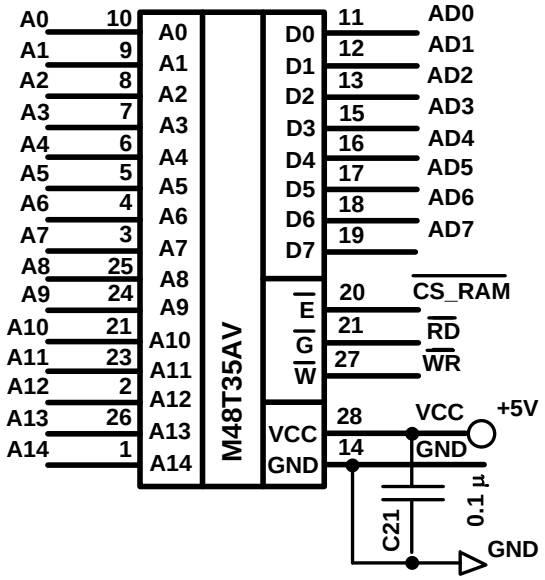


Рисунок 3.5 − Схема підключення мікросхеми пам’яті NVRAM M48T35AV

Для уникнення помилкових спрацьовувань ПКІ-2 в разі втрати живлення

використовуємо мікросхему супервізора живлення, яка виробляє сигнал мікроконтролеру для блокування його роботи. Схема підключення мікросхеми супервізора живлення ADM705 показана на рис. 3.6.

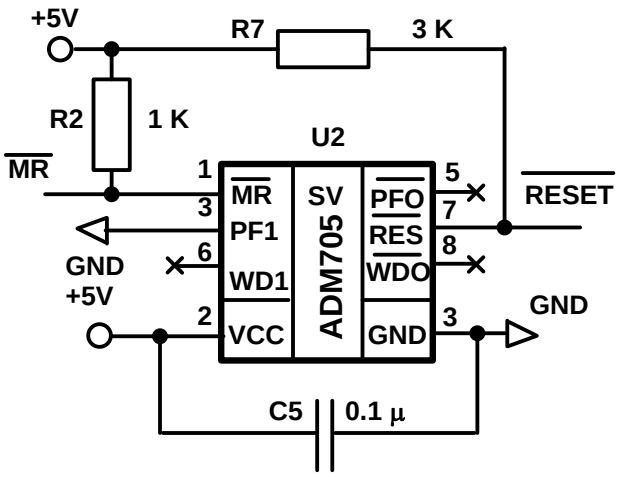


Рисунок 3.6 – Схема підключення мікросхеми супервізора живлення ADM705

Для узгодження рівнів вхідних напруг ПКІ-2 з максимальною допустимою напругою аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера використовуємо мікросхему компараторів LM393M. Схема підключення мікросхеми компаратора регулятора рівня вхідної напруги в каналі АЦП (LM393M) показана на рис. 3.7.

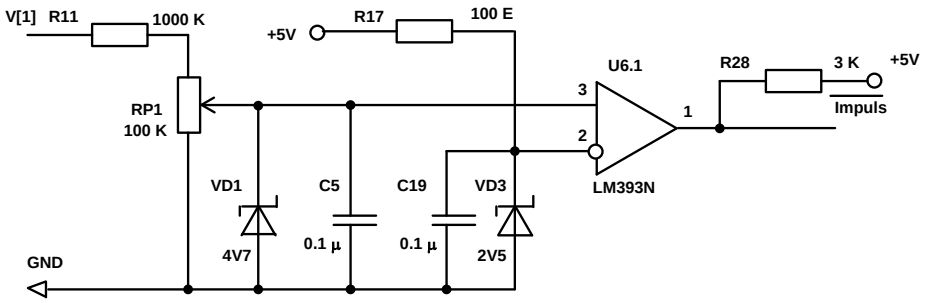


Рисунок 3.7 − Схема підключення мікросхеми компаратора LM393M

Для захисту мікросхем ПКІ-2 від повільних і короткочасних коливань

напруг живлення використовуємо ємнісні та індуктивно-ємнісні фільтри. Схеми фільтрів в колах живлення різних мікросхем приладу ПКІ-2 показані на рис. 3.8.

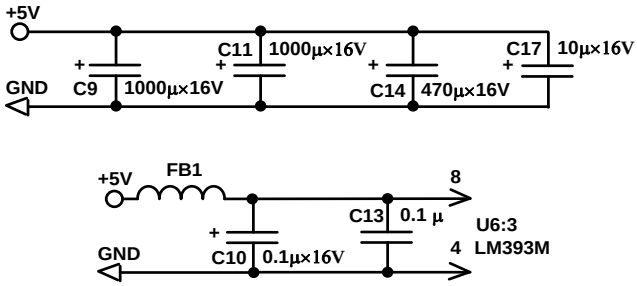


Рисунок 3.8 − Схеми фільтрів в колах живлення різних мікросхем приладу ПКІ-2

Загальна електрична принципова схема приладу ПКІ-2 показана на рис. 3.9.

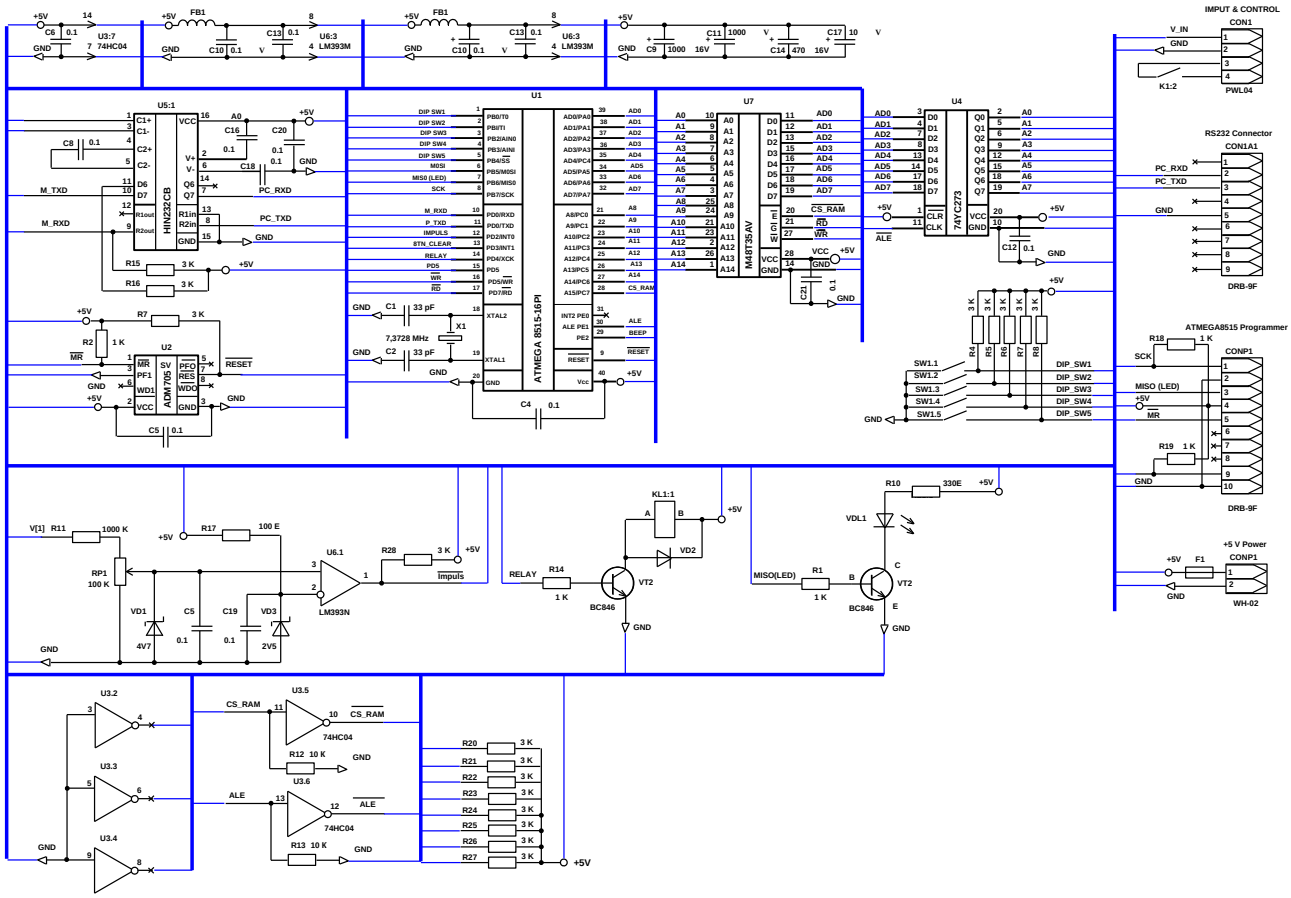
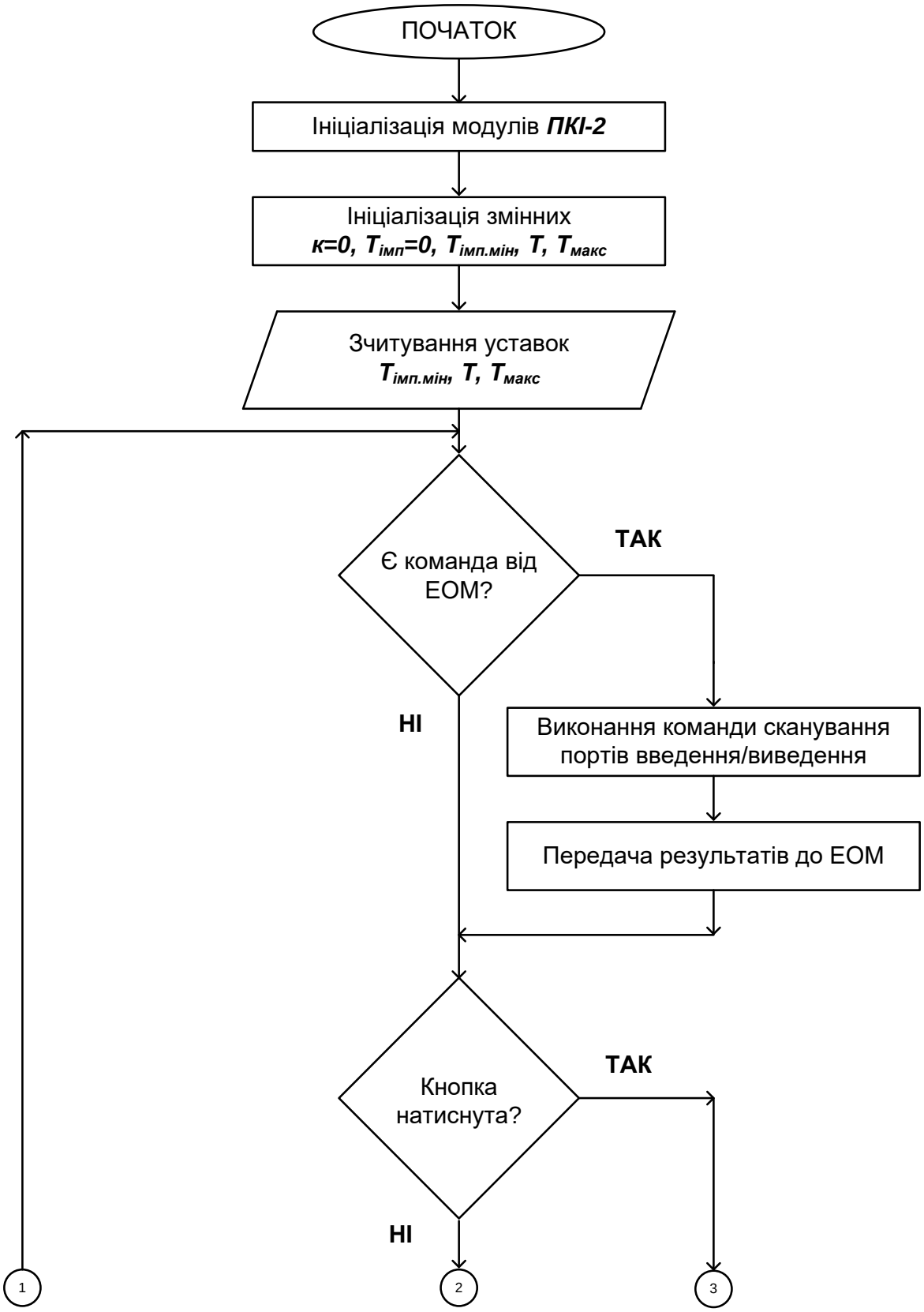
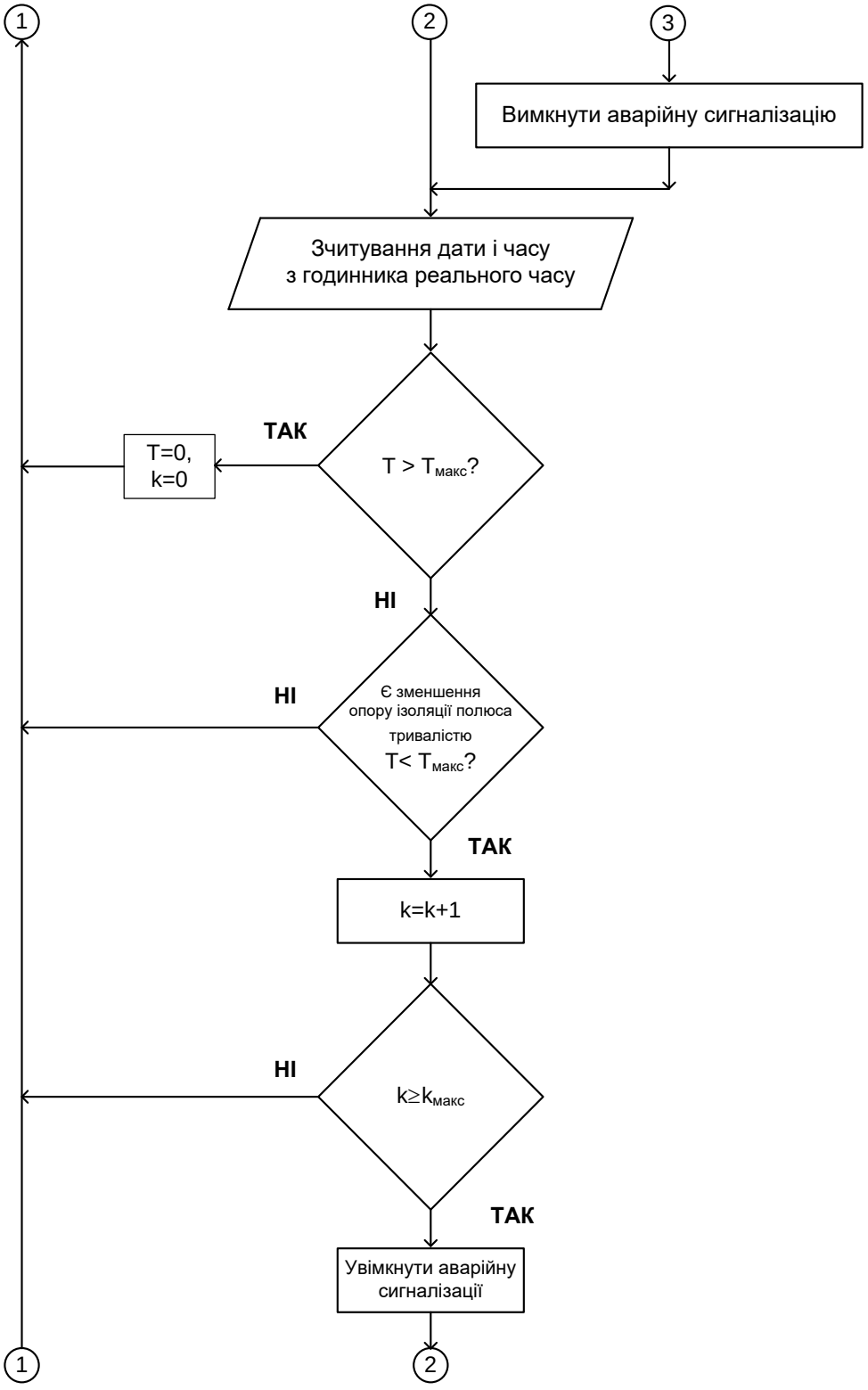


Рисунок 3.9 − Загальна електрична принципова схема приладу ПКІ-2


ПОЧАТОК
Ініціалізація модулів ПКІ-2
Ініціалізація змінних
к=0, Тімп=0, Тімп.мін, Т, Тмакс
Зчитування уставок
Тімп.мін, Т, Тмакс
Є команда від ЕОМ?
ТАК
НІ
Виконання команди сканування портів введення/виведення
Передача результатів до ЕОМ
Кнопка натиснута?
ТАК
НІ
1
2
3

а


1
2
3
Вимкнути аварійну сигналізацію
Зчитування дати і часу
з годинника реального часу
T > Tмакс?
ТАК
T=0,
k=0
НІ
Є зменшення
опору ізоляції полюса
тривалістю
T< Tмакс?
НІ
ТАК
k=k+1
k≥kмакс
НІ
ТАК
Увімкнути аварійну
сигналізації
1
2

б

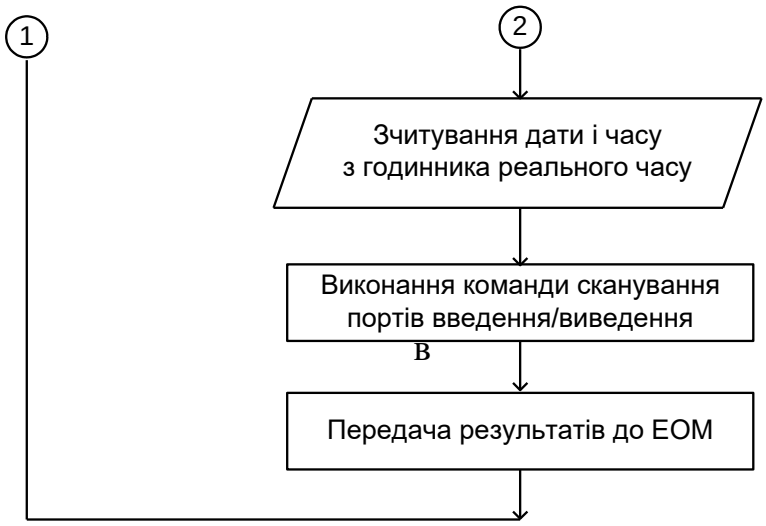


Рисунок 3.10 – Блок-схема алгоритму програми мікроконтролера

3.3 Програмне забезпечення пристрою ПКІ-2

Розроблений пристрій ПКІ-2 працює у відповідності до алгоритму програми, блок-схема якого, показана на рис.3.10.

Програма, яка відповідає цьому алгоритму написана на мові програмування Асемблер для мікроконтролера Atmel 8515. Ця програма має наступний текст.

Для зчитування даних з ПКІ-2 про час і кількість спрацьовувань цього пристрою, передбачено використання переносного комп'ютера (Notebook). Для цього розроблена програма, яка працює в середовищі операційної системи Windows XP (виконуваний файл DCIsoCtrl.exe). Послідовність дій, при роботі з з програмою показана на рис. 3.11 – 3.17.

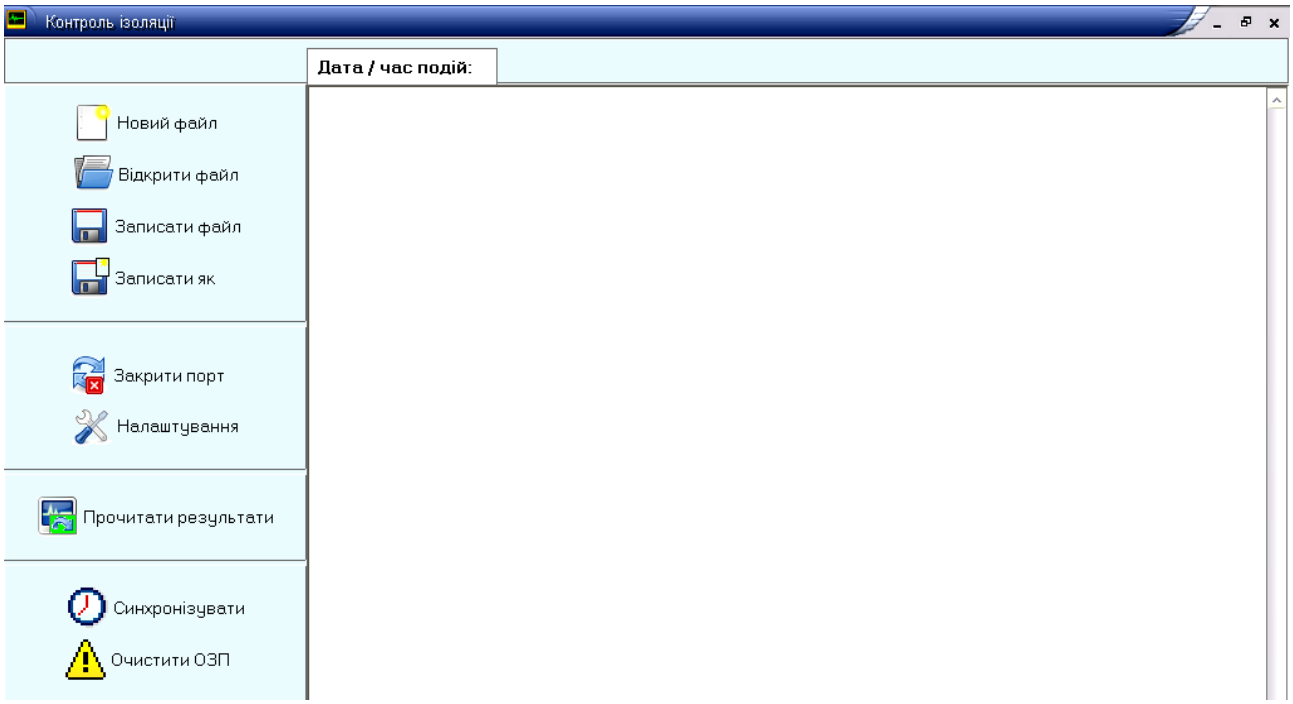


Рисунок 3.12 – Головна сторінка програми

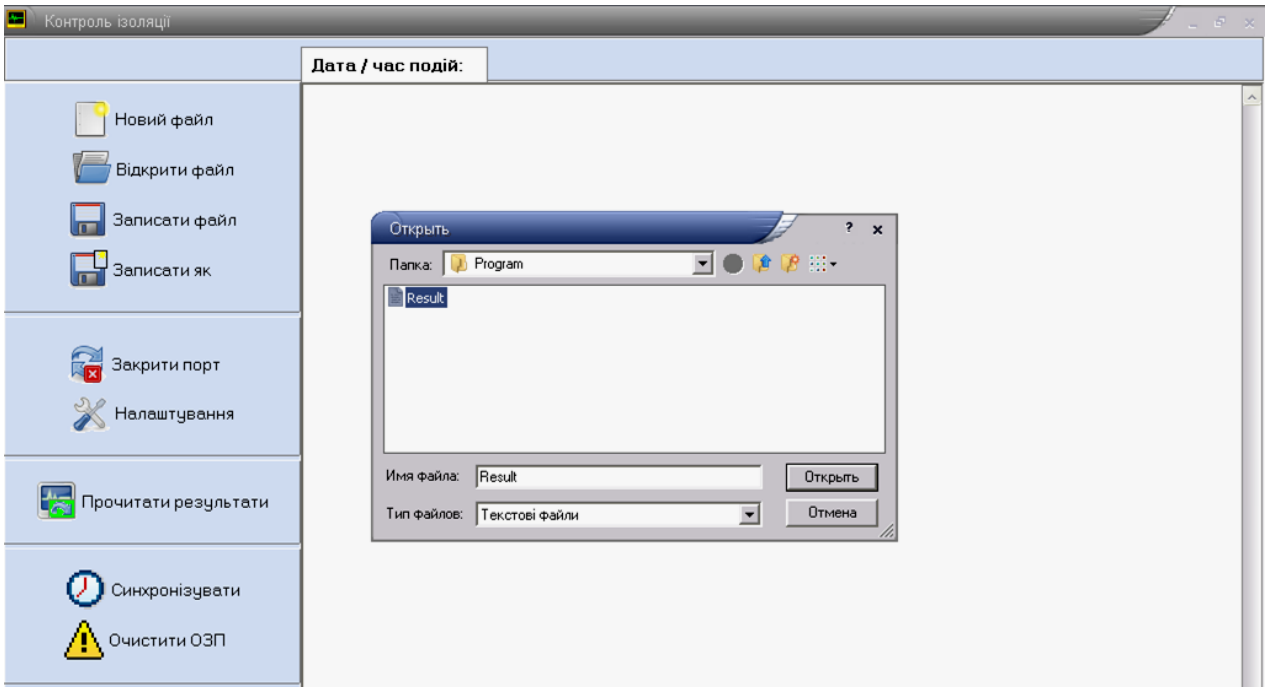


Рисунок 3.13 – Відкриття раніше збереженого файлу

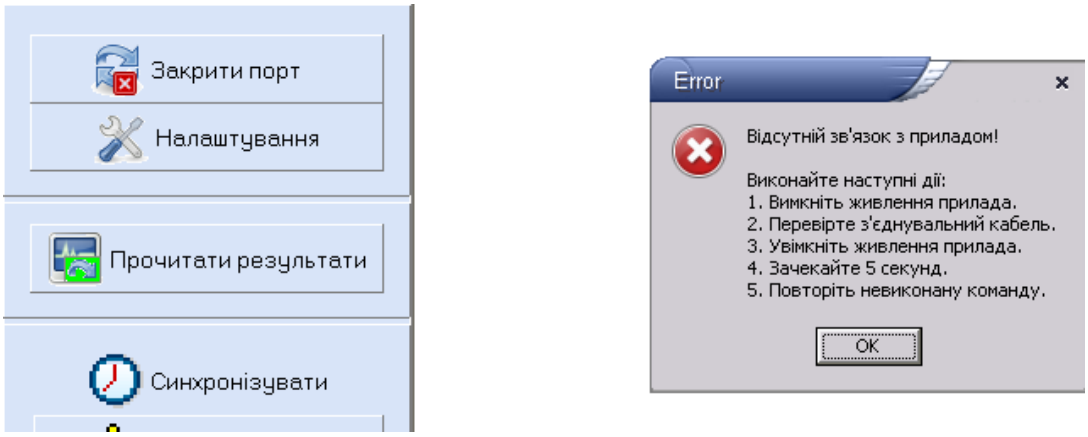


Рисунок 3.14 – Помилка зчитування даних при вимкненому живленні ПКІ-2

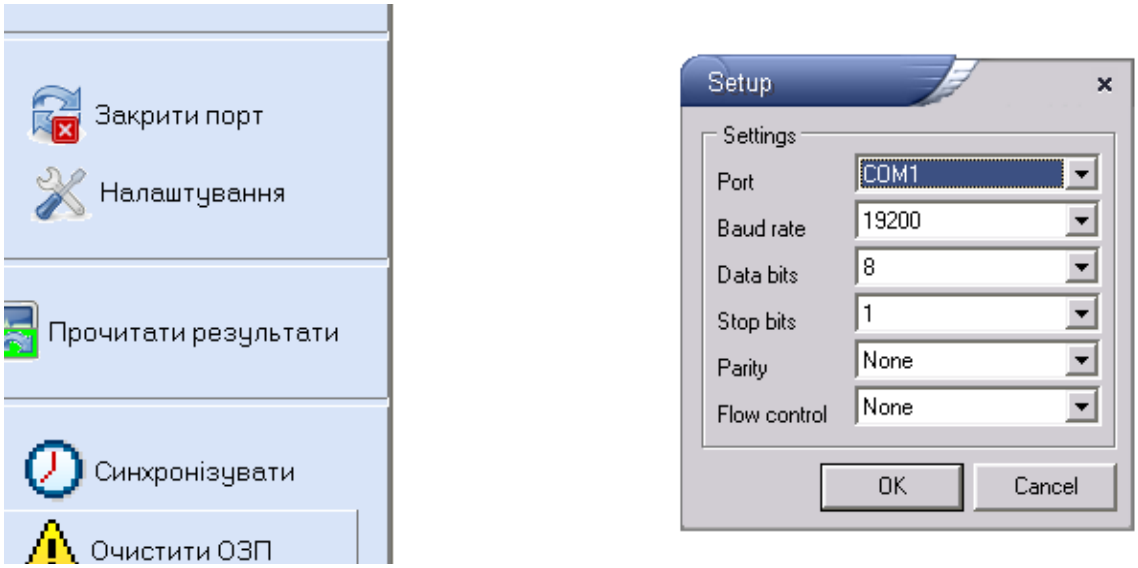


Рисунок 3.15 – Налаштування параметрів передачі даних від ПКІ-2 до переносного комп’ютера

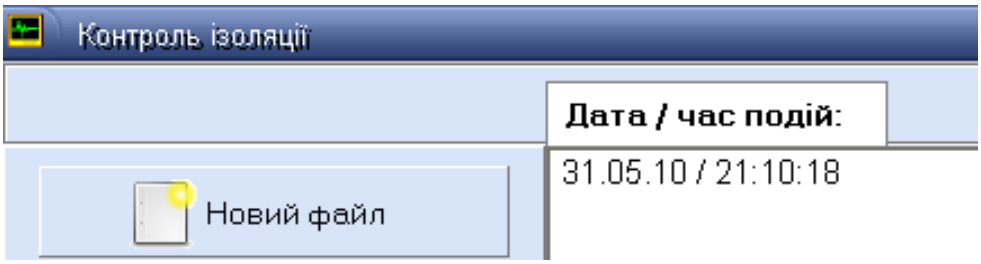


Рисунок 3.16 – Індикація даних, записаних в NVRAM ПКІ-2, на екрані ЕОМ

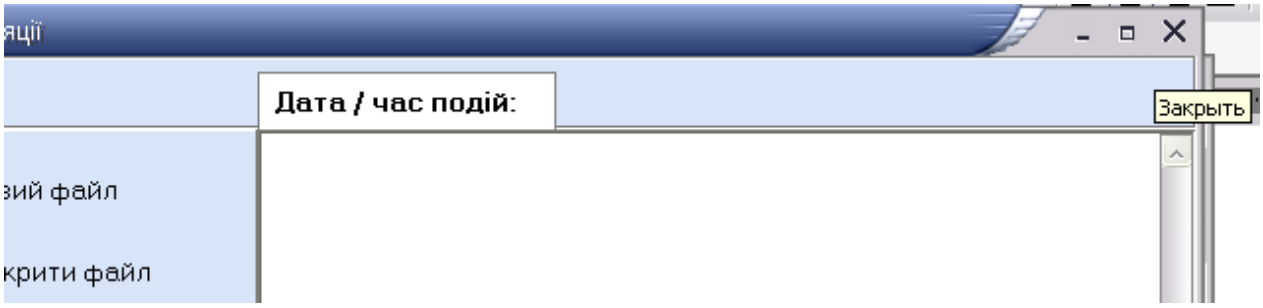


Рисунок 3.17 – Закінчення роботи з програмою

На основі розробленої електричної принципової схеми ПКІ-2 був розроблений зовнішній вигляд цього приладу (рис.3.18).

Висновки до розділу 3

Розроблена на мові Асемблера програма для мікроконтролера ATMEGA8515 забезпечує функціонування пристрою ПКІ-2.

Розроблена програма PROGRAM забезпечує зчитування даних з ПКІ-2 в пам’ять ПЕОМ для подальшого їх аналізу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Задачі розділу

Враховуючи те, що для мінімізація ризику професійного захворювання та травматизму працівників що займаються питаннями експлуатації мереж оперативного постійного струму вимагає вирішення цілого комплексу питань з охорони праці, тому сформулюємо основні задачі охорони праці за темою МКР:

1. Провести аналіз умов праці при виконанні робіт, пов’язаних з діагностикою систем оперативного ПС, які працюють у складі електроенергетичної системи України

2. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при експлуатації релейного захисту підстанції розташованому на ВРП 330 кВ. Розрахувати параметри заземлюючого пристрою для підстанції 330 кВ.

3. Визначити області працездатності електричної підстанції 330 кВ в умовах дії загрозливих чинників НС.

Кожна людина в Україні має право на охорону праці. Гарантії прав на охорону праці починаються вже з моменту обговорення та укладання трудової угоди, оскільки згідно ст. 5 Закону «Про охорону праці» умови трудового договору не можуть містити положень, що суперечать законам та іншим НПАОП. Під час укладання трудового договору роботодавець повинен проінформувати працівника під розписку про умови праці та про наявність на його робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які ще не усунуто, можливі наслідки їх впливу па здоров'я та про права працівника на пільги і компенсації за роботу в таких умовах.

Працівнику не може пропонуватися робота, яка за медичним висновком протипоказана йому за станом здоров'я. До виконання роби підвищеної небезпеки та тих, що потребують професійного добору, допускаються особи за наявності висновку психофізіологічної експертизи.

В приміщенні є небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Відносно наступних з них в проекті передбачені рішення з охорони праці:

Фізичні:

-небезпечний рівень напруги в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини;

-підвищена або знижена відносна вологість повітря;

-підвищена або знижена температура повітря робочої зони;

-підвищена або знижена швидкість руху повітря.

-підвищена запиленість повітря в робочій зоні;

-недостатня освітленість робочої зони;

-недостача природного світла;

Психофізіологічні:

-статичні (розумове напруження, перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

4.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об’єкта

Експлуатація електричного обладнання висуває ряд специфічних вимог з охорони праці як при роботі з ним [17].

Для розробки рішень з охорони праці при електричному монтажі сисетм оперативнного постійного струму були проаналізовані Державні стандарти релейного захисту та автоматики України (табл. 4.1). та Галузеві керівні документи:

ГДК 34.20.507 – 2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила: Об’єднання енергетичних підприємств "Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики"

Аналіз нормативно-технічної літератури дозволив виділити ряд однотипних операцій при експлуатації мереж ОПС.

Таблиця 4.1 − Державні стандарти України з релейного захисту та автоматики

1	ДНАОП 1.1.10-1.1.01.97	Правила безпечної експлуатації електроустановок	чинний
2	ДНАОП 1.1.10-1.07-01	Правила експлуатації електрозахисних засобів затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України	чинний
3	ДНАОП 1.1.10-1.04-01	Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями	чинний
4	*ДСТУ* IEC 60050-604:2004	Словник електротехнічних термінів	чинний

Підготовчі роботи включають в себе визначення кліматичних умов на місці проведення робіт, підготовку робочої площадки, перевірку справності інструментів та пристосувань, перевіряйте опорні конструкції, перевірку ізоляції системи, підйомних механізмів що використовується, та окремих елементів, інструктаж та перевірку знань з безпеки праці персоналу.

Кліматичні умови визначаються шляхом вимірювання температури, відносної вологості та швидкості руху повітря. Відповідно до вимог, ці показники не повинні виходити за межі установлених допустимих значень:

- температура повітря в теплу пору року не більше плюс 28 °С;
- швидкість вітру 0,2- 0,6 м/с;
- відносна вологість не більше 75 %.

Робота із монтажем пристроїв РЗА слід проводити в світлий час доби, значення освітленості на робочому місці монтажника повинно бути не менше 200 лк.

Підготовка робочої площадки полягає в розчищенні місця, де розстилають брезент, на який в певному порядку розкладають приладдя і інструмент. Ретельно перевіряють їх цілісність і відсутність дефектів, терміни випробування і придатність ізолювальних засобів. Перевіряють і одягають комплект одягу. Одягають захисні каски і запобіжні пояси.

За безпекою виконання всіх технологічних операцій стежить керівник

робіт. В процесі робіт здійснюється постійний нагляд за всіма членами бригади. Керівник робіт не може безпосередньо брати участь в роботах.

В процесі установки релейного захисту блоку генератор-трансформатор для мінімізації ризику травматизму необхідно дотримуватися наступних організаційно-технічних вимог техніки безпеки та виробничої санітарії:

- виконання електромонтажних робіт дозволяється особам, що пройшли медичний огляд і спеціальне навчання для роботи на електроустановках;
- основні операції установлення генератора повинні проводитися на рівні землі;
- при проведенні робіт на висоті повинні встановлюватися обгороджування і позначатися в установленому порядку межі небезпечних ділянок;
- при неможливості облаштування обгороджувань монтажні роботи повинні виконуватися із застосуванням запобіжного пояса і страхувального каната;
- електричні з’єднання повинні проводитися за розробленою монтажною схемою системи.
- протягом встановлення релейного захисту блоку генератор-трансформатор у місце встановлення має бути від’єднане живлення;
- забороняється наближатися до рухомих приладів на небезпечну відстань, коли вони знаходяться в роботі;
- не слід поєднувати при контактних електричних з’єднаннях разом різні метали (наприклад, мідь і алюміній);
- всі електричні кабелі електроживлення повинні мати надійну ізоляцію та відповідати технологічним вимогам:
- для захисту людей від ураження електричним струмом повинно бути виконано заземлення.

4.3 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.3.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99. Мікроклімат енергопідприємства характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання. Роботи по обслуговуванню електротехнологічного обладнання відносяться до категорії Іб по важкості праці. Енерговитрати за цією категорією становлять - до 140-174Вт.

Склад повітря робочої зони забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м3 . На енергооб’єктах 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. Відповідно до [18].

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до [18] проектом передбачені наступні рішення: - застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами , які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення; - необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні; - застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

Незважаючи на нетоксичність цеоліту, використовуваного при заповненні фільтрів вимикача, наявність пилу цеоліту в повітрі може викликати ерозію носоглотки. Допустима концентрація пилу цеоліту в повітрі приміщення - 2 мг / м. Роботи щодо заповнення фільтрів або їх спорожнення повинні проводитися персоналом в спецодязі і респіраторах (або в витяжній шафі) в спеціально обладнаному приміщенні.

4.3.2 Склад повітря робочої зони

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

На енергооб’єктах 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 [18] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 − Гранично допустима концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	Величина ГДК, $мг / м^3$		Клас небезпеки
	Максимальна разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Елегаз	1	0,08	2

Роботи з обслуговування масляних трансформаторів на трансформаторних підстанціях проводяться за розпорядженням або в порядку поточної експлуатації не менше ніж двома працівниками, один з яких має групу з електробезпеки не нижче IV, інший - не нижче III.

До робіт з експлуатації масляних трансформаторів допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичне обстеження, інструктаж та навчання на робочому місці, перевірку знань правил з охорони праці відповідно до Положення про порядок навчання та перевірки знань з охорони праці керівників, спеціалістів та робітників підприємств, установ та організацій зв'язку.

Кожен працівник повинен бути забезпечений спеціальним одягом та засобами індивідуального захисту відповідно до Типових галузевих норм безкоштовної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту.

При обслуговуванні масляних трансформаторів можливі дії наступних небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- небезпечної напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини;
- небезпеки виникнення пожежі

Працівники, які обслуговують масляні трансформатори, зобов'язані:

- Виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку;
- Дотримуватись інструкції щодо заходів пожежної безпеки;
- Виконувати роботи тільки в тому обсязі та в тій технологічній послідовності, що передбачена інструкцією з технічної експлуатації для даного типу трансформаторів;
- Вміти надавати першу медичну допомогу постраждалим від електричного струму та за інших нещасних випадків
- У разі травмування або нездужання сповістити свого безпосереднього керівника;
- Про кожен нещасний випадок постраждалий або очевидець негайно повідомляє безпосереднього керівника.

Вимоги безпеки під час роботи.

Забороняється:

- Виконувати роботи та перемикання на трансформаторі, включеному в мережу хоча б з одного боку.
- Залишати перемикач у проміжному положенні без фіксації.
- Експлуатувати трансформатор без олії або при зниженні рівня олії у розширювачі нижче температурної позначки.
- Експлуатувати трансформатор за невідповідності відібраного масла нормам якості за результатами фізико-хімічного аналізу.

- Експлуатувати трансформатор із пошкодженими вводами (тріщини, сколи).
- Вмикати трансформатор без заземлення блоку.
- Під час роботи дозволяється користуватися переносною лампою напругою не вище 12 В.
- Доливання масла проводиться за допомогою широкої лійки та спеціальною посудиною ємністю до 3-х літрів.
- При використанні гайкових ключів їх слід підбирати за розмірами гайок. Викрутити гайки ключами великого розміру з прокладкою металевих пластин між гранями гайки і ключа, подовжувати гайкові ключі другим ключем або трубою забороняється.
- При обслуговуванні масляних трансформаторів забороняється застосування металевих драбин і драбин.

Перш ніж розпочати роботу на сходах, необхідно забезпечити її стійкість. Забороняється експлуатація трансформаторів при виявленні:

- Сильного нерівномірного шуму та потріскування трансформатора.
- Ненормального та постійного зростаючого нагрівання трансформатора при нормальних навантаженнях та охолодженні.
- Викиду олії з розширювача.

4.4 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою підстанції 330 кВ

Заземлювач характеризується опором, що навколишня земля робить стікаючому з його струму.

Грунт мінерального або органічного походження, у якому відбувається розтікання струму з заземлювача, має в сухому стані незначну електропровідність твердої основи. Однак різні солі і кислот, що утримуються в землі, при наявності вологи створюють електроліти, що і визначають в основному електропровідність землі. Чим менше розміри часток грунту, тим більше його вологоємність. Пісок має пористу структуру і має дуже малу

вологоємність, глина і перегній мають колоїдну будову часток, значну вологоємність.

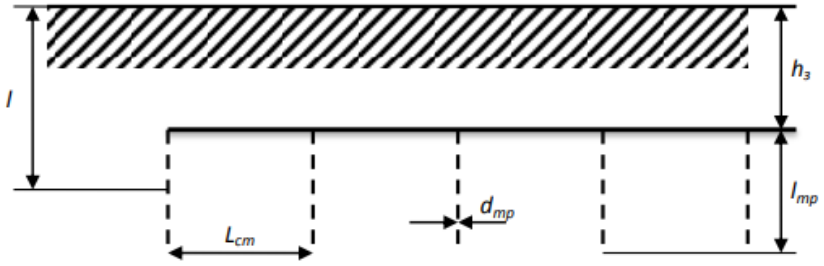


Рисунок 4.1 – Схема заземлюючого пристрою

Наближені значення питомого опору деяких грунтів наведені в табл. 4.3.

Визначаємо питомий опір грунту $\rho_{табл}$, який рекомендовано для розрахунків, $Ом \cdot см$ (табл. 4.3).

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів $K_{П.Т}$ та для з'єднувальної полоси $K_{П.С}$, які враховують зміну опору грунту в різні пори року залежно від наявності опадів.

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для розрахунку заземлення

Вид заземлювача	стрижневий
Довжина заземлювача, l_{mp}, см	500
Діаметр заземлювача, d_{mp}, см	4
Глибина занурення вимикача, $h_з$, см	80
Ширина з'єднувальної смуги, b_c, см	5
Грунт	глина
Кліматична зона	II

Наближені значення питомого опору деяких грунтів наведені в табл. 4.3.

Визначаємо питомий опір грунту $\rho_{табл}$, який рекомендовано для розрахунків, $Ом \cdot см$ (табл. 4.3).

Таблиця 4.4 – Приблизні значення питомих опорів грунтів

Грунт	Значення, які рекомендуються для розрахунків, $Ом \cdot см$
Пісок	70000
Супісок	30000
Суглинок	10000
Глина	4000
Чорнозем	2000

Визначаємо підвищувальні коефіцієнти для труб вертикальних заземлювачів $K_{П.Т}$ та для з'єднувальної полоси $K_{П.С}$, які враховують зміну опору грунту в різні пори року залежно від наявності опадів.

Таблиця 4.5 – Значення підвищувальних коефіцієнтів за кліматичними зонами

Кліматична зона	Тип заземлювача	
	Горизонтально прокладені заземлювачі, $K_{П.С}$	Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі, $K_{П.Т}$
I	4,5-7	1,8-2
II	3,5-4,5	1,6-1,8
III	2,5-4	1,4-1,6
IV	1,5-2	1,2-1,4

Знаходимо питомий розрахунковий опір грунту для вертикальних електродів з урахування несприятливих умов за допомогою підвищувального коефіцієнта:

$$\rho_{розр.т} = 4000 \cdot K_{П.Т}\ , Ом \cdot см. \qquad (4.1)$$

$$\rho_{розр.т} = 4000 \cdot 1,7 = 6800(Ом \cdot см).$$

Визначаємо питомий розрахунковий опір грунту для горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги):

$$\rho_{розр.п} = \rho_{табл} \cdot K_{П.С}\ , Ом \cdot см. \qquad (4.2)$$

Розраховуємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_3 + \frac{l_{тр}}{2}, см. \qquad (4.3)$$

$$t = 80 + \frac{500}{2} = 330(см).$$

де h_3 - глибина заглиблення труб, см; $l_{тр}$ - довжина вертикального заземлювача.

Знаходимо опір розтікання струму для одиночного вертикального заземлювача, який розташований нижче від поверхні землі:

$$R_{розр.Т} = 0,366 \frac{\rho_{розр.т}}{l_{тр}} \left(\lg \frac{2l_{тр}}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l_{тр}}{4t - l_{тр}} \right),\ (Ом); \qquad (4.4)$$

$$R_{розр.Т} = 0,366\frac{6800}{500}\left(\frac{1}{2}\lg\frac{2\cdot 500}{4}+\frac{1}{2}\lg\frac{4\cdot 330+500}{4\cdot 330-500}\right)=0,862(Ом).$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами $h_{ст}$ із співвідношення $c=\frac{L_{ст}}{l_{тр}}$. Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким c = 1.

$$L_{ст} = l_{тр}\cdot c,\ см. \qquad (4.5)$$

Розраховуємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування. У відповідності до вимог ПУЕ визначаємо допустимий опір розтікання струму в заземленні: R_3 = 0,5 Ом (для мереж з напругою 330 кВ).

$$n_Т = \frac{R_{розр.Т}}{R_3},\ шт. \qquad (4.6)$$

$$n_Т = \frac{0,862}{0,5}\approx 2(шт).$$

Результат розрахунку округлюємо для найближчого цілого числа.

Знаходимо коефіцієнт екранування труб $n_{Е.Т}$ при числі труб $n_Т$. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування (при $n_Т$ =2, $n_{Е.Т}$ =0,85):

$$n_{Т.Е.} = \frac{R_{розр.Т}}{R_3\cdot\eta_{Е.Т}},\ шт. \qquad (4.7)$$

$$n_{T.E.} = \frac{0,862}{0,5 \cdot 0,85} = 2(од.).$$

Результат розрахунку округлюємо для найближчого цілого числа.

Знаходимо розрахунковий опір розтікання струму при взятому числі вертикальних заземлювачів:

$$R_{розр.n_{TE}} = \frac{R_{розр.T}}{n_{T.E} \cdot \eta_{E.T}},\ Ом; \qquad (4.8)$$

$$R_{розр.n_{TE}} = \frac{0,862}{2 \cdot 0,85} = 0,507(Ом).$$

Знаходимо довжину з'єднувальної смуги:

$$L_{З.С} = 1,05 L_{ст}(1 - n_{T.E}),\ см. \qquad (4.9)$$

$$L_{З.С} = 1,05 \cdot 500(1 - 0,85) = 78,75(см).$$

Визначаємо опір розтікання струму в з'єднувальній смузі:

$$R_{З.С} = 0,366 \frac{\rho_{розр.п}}{L_{З.С}} \lg \frac{2L^2_{З.С}}{h_З \cdot b_c},\ Ом. \qquad (4.10)$$

$$R_{З.С} = 0,366 \frac{0,507}{78,75} \lg \frac{2 \cdot 78,75^2}{80 \cdot 5} = 0,004(Ом).$$

Де $h_З$ - глибина заглиблення вертикальних заземлювачів, см;

b_c - ширина з'єднувальної смуги, см.

Визначаємо розрахунковий опір для розтікання електричного струму в з’єднувальній смузі з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{розр.С} = \frac{R_{З.С}}{n_{ЕС} \cdot \eta_{Е.З.С}},\ Ом. \tag{4.11}$$

$$R_{розр.С} = \frac{0,004}{1 \cdot 0,77} = 0,005(Ом).$$

де $n_{ЕС}$ - дорівнює 1.

Знаходимо загальний розрахунковий теоретичний опір розтікання струму від вертикальних заземлювачів та з’єднувальної смуги:

$$R_{заг.розр} = \frac{1}{\frac{1}{R_{розр.Т}} + \frac{1}{R_{розр.С}}},\ Ом. \tag{4.12}$$

$$R_{заг.розр} = \frac{1}{\frac{1}{0,862} + \frac{1}{0,005}} = 0,0049(Ом).$$

Отриманий результат порівнюємо із допустимим за вимогами ПУЕ значенням опору розтіканню струму в заземленні.

Безпека підстанції в умовах НС приведена в додатку Г.

Висновки по розділу 4

Також в даному розділі було оцінено стійкість роботи електричної мережі внаслідок НС метеорологічного характеру, а саме стійкість роботи ПС 330 кВ при іонізуючому випромінюванні та дії ЕМІ. Для захисту елементів релейного захисту та автоматики від дії ЕМІ необхідне встановлення захисного екрану товщиною стінок 0,177 (см).

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Визначення економічної ефективності від застосування нових пристроїв контролю ізоляції і протиаварійної автоматики, призначених для забезпечення безпечної експлуатації електроустановок, дуже складне через імовірнісний характер початкових значень, тобто розрахунок буде точний для великої кількості випадків роботи за умови тривалої експлуатації пристроїв. Розрахунок же економічної ефективності для даних рідко працюючих, а тим новіших, пристроїв, має обмежену точність.

Цими ж причинами пояснюється необхідність визначення розрахункової економічної ефективності при проектуванні нових пристроїв контролю ізоляції і автоматики з подальшим розрахунком фактичного економічного ефекту, що підраховується до кінця певного проміжку часу (зазвичай року), в конкретній цифрі на кожному конкретному підприємстві, який при підсумовуванні визначає економічний ефект для народного господарства в цілому [12].

Ефект від застосування пристрою полягає в підвищенні надійності роботи пристроїв РЗА, в зменшенні помилкових включень і відключень вимикачів, в скороченні часу пошуку та усуненні замикання МОПС на «землю».

Мережі оперативного постійного струму дуже розгалужені і закільцьовані. Враховуючи велику протяжність та умови експлуатації кабелів оперативного постійного струму на ГЕС повністю уникнути замикань полюса на «землю» неможливо. Існуюча нині методика пошуку місця замикання припускає почергове відключення кабелів до тих пір, поки не буде виявлено місце замикання. При великій кількості таких перемикань зростає ймовірність помилкових дій персоналу, можлива неправильна робота пристроїв РЗА через перезаряду власних ємкостей мережі під час перемикань при зниженій ізоляції полюса.

За даними експлуатації в 2020р. сталося 4 замикання в мережі постійного

струму Дністровської ГАЕС а час пошуку і усунення одного замикання склав, в середньому, 7 годин.

Випробування, проведені на Дністровській ГАЕС показали, що пристрій дозволяє скоротити час пошуку місця замикання до 1 години. Існуюча методика пошуку припускає участь одного електромонтера V розряду та одного електромонтера III розряду дільниці власних потреб.

Розрахунок економічної ефективності проводимо шляхом розрахунку різниці витрат на пошук пошкодження МОПС за 7 годин і за 1 годину.

В наш час на основі діючих нормативних документів є три варіанти формування кошторисів, актів виконаних робіт на ремонт електрообладнання силами служби ремонтів.

По-перше, на основі відомчих укрупнених розцінок на ремонт і технічне обслуговування електричних мереж і енергооб'єднань. По-друге, на основі прейскуранта з урахуванням довідника структурних показників. Третій варіант формується на основі каталогу укрупнених одиничних розцінок, які розраховуються за відомчими укрупненими одиничними розцінкам, нормами часу і витратам матеріалів на ремонт обладнання і, як правило, затверджується головним інженером підприємства

В той же час через довільне зростання основних вартісних показників оплати праці, цін на допоміжні матеріали, накладних витрат, використання довідкових і директивних документів, що використовувались раніше, стає проблемним. Тому виправдано застосування універсальної спрощеної методики оцінення вартісних показників з ремонту і монтажу електротехнічного обладнання. Розраховані за цією методикою ціни можуть бути базою для визначення і узгодження договірних цін на виконання робіт з ремонту обладнання.

Загальна кошторисна вартість з ремонту і монтажу електротехнічного обладнання визначається як сума прямих витрат, накладних витрат і прибутків.

Прямі витрати включають в себе основну заробітну плату виробничих

робітників, затрати на використання машин і механізмів, на придбання матеріалів і виробів.

Накладні витрати розраховуються в процентах від основної заробітної плати і структурно складаються з:

- допоміжної заробітної плати робітників;
- відрахувань на соціальне страхування, в фонд зайнятості і т. д.;
- витрат на утримання і експлуатацію електрообладнання;
- цехових витрат (витрат підприємства);
- плати за землю і т. д.

Прибуток нараховують, виходячи з рентабельності підприємства.

Укрупнена вартість ремонтних робіт електротехнічного обладнання.

Укрупнена вартість виконаної роботи залежить від таких складових:

- основна заробітна плата виробничих робітників *($О_{з/п}$)*;
- вартість проїзду бригади до місця роботи і назад *($С_{п}$)*;
- вартість експлуатації машин і механізмів *($С_{м}$)*, перегону механізмів до місця роботи і назад *($С_{пм}$)*;
- вартість матеріалів і запасних частин з транспортно-заготівельними витратами *($С_{з/ч}+С_{мат}$)*.

Прямі витрати з виконання робіт можна визначити таким чином:

$$С_{пз}=(О_{з/п}\cdot k_1+С_{п})\cdot k_2\cdot k_3\cdot k_4\cdot k_5+(С_{м}+С_{пм})\cdot k_2\cdot k_3\cdot k_4\cdot k_6+(С_{з/ч}+С_{мат}) \quad (5.1),$$

де k_1 – поправковий коефіцієнт, який враховує преміальні і інші виплати стимулювального і компенсукального характеру (у випадку Дністровської ГАЕС (k_1=1,3);

k_2 – поправковий коефіцієнт, який враховує виконання ремонтних робіт в екрануючих костюмах в зоні впливу електромагнітного поля напруженістю більше 5 кВ/м (k_2=1);

k_3 – поправковий коефіцієнт, який враховує виконання робіт в зимових

умовах на відкритому повітрі (k_3=1,13);

k_4 – поправковий коефіцієнт, який враховує виконання робіт в обмежених умовах (k_4=1,1);

k_5 – поправковий коефіцієнт, який враховує виконання робіт в стаціонарних умовах (k_5=0,9);

k_6 – територіальний поправковий коефіцієнт із затрат на експлуатацію машин і механізмів (k_6=0,98).

Основна заробітна плата робітників за виконання ремонту і монтажу електротехнічного обладнання визначається на основі погодинних і місячних тарифних ставок, які склались на ремонтному підприємстві на даний момент на основі відповідних документів.

Основну заробітну плату можна визначити за формулою:

$$O_{з/п}=T_р \cdot T\ ,\ (грн), \qquad (5.2),$$

де $T_р$ – трудозатрати на виконання роботи, (чол/год);

T – середня погодинна тарифна ставка одного робітника ремонтної ланки (грн/чол.).

При цьому значення $T_р$ визначається таким виразом:

$$T_p=t \cdot n, \qquad (5.3)$$

де t – час, який потрібно затратити бригаді на виконання роботи, (год);

n – кількість чоловік, зайнятих виконанням роботи, (чол.). При цьому n можна ще записати в такому вигляді:

$$n=\sum_{i=1}^{K_p} n_i, \qquad (5.4)$$

де n_i – кількість робітників i-го розряду;

K_p – кількість розрядів.

З урахуванням виразів (5.3, 5.4) значення T з (5.2) основної заробітної плати:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{K_p} n_i T_i}{n}, \tag{5.5}$$

де T_i – погодинна тарифна ставка робочого i-го розряду.

2. *Вартість проїзду бригади* до місця роботи і назад у випадку виконання роботи силами працівників станції на території станції становить 0.

3. *Вартість матеріалів і запасних частин.* Витрати на використані матеріали, запасні частини і вироби враховуються по фактичній на момент складання кошторису вартості їх придбання на основі номенклатурного переліку необхідних матеріалів і запчастин. При складанні кошторису передбачається можливість використання існуючих цінників і прейскурантів з наступним множенням на відповідні підвищувальні коефіцієнти.

У випадку усунення зниження рівня ізоляції в мережі оперативного постійного струму використовується стрічка типу ЛЕТСАР та стрічка типу ПВХ в середньому по 0,25 кг на одне пошкодження. Вартість стрічки типу ЛЕТСАР становить на грудень 2023р. (за даними Торгово-промислової палати України) 900 грн/кг, ПВХ – 350 грн/кг.

Тоді прямі витрати із виконання робіт по усуненню одного пошкодження можна визначити за виразом (5.1) із врахуванням (5.2) та (5.3):

$$C_{\text{пз_7год}}=(O_{\text{з/п_Vрозр}}\cdot k_1+O_{\text{з/п_IIIрозр}}\cdot k_1+C_{\text{п}})\cdot k_2\cdot k_3\cdot k_4\cdot k_5+(C_{\text{м}}+C_{\text{пм}})\cdot k_2\cdot k_3\cdot k_4\times$$
$$\times k_6+(C_{\text{з/ч}}+C_{\text{мат}})=(7\cdot 1\cdot 94\cdot 1{,}3+7\cdot 1\cdot 82\cdot 1{,}3+0)\cdot 1\cdot 1{,}13\cdot 1{,}1\cdot 0{,}9+$$
$$+900\cdot 0{,}25+350\cdot 0{,}25=2106{,}5 \text{ грн},$$

$C_{пз_1год}=(O_{з/п_Vрозр}\cdot k_1+O_{з/п_IIIрозр}\cdot k_1+C_п)\ \cdot k_2\ \cdot k_3\ \cdot k_4\ \cdot k_5+(C_м+C_{пм})\ \cdot k_2\ \cdot k_3\ \cdot k_4\times$ $\times k_6+(C_{з/ч}+C_{мат})=$ $(1\ \cdot\ 1\ \cdot\ 94\ \cdot\ 1{,}3\ +1\ \cdot\ 1\ \cdot\ 82\ \cdot\ 1{,}3)\ \cdot\ 1\ \cdot\ 1{,}13\ \cdot\ 1{,}1\ \cdot 0{,}9\ +$ $+900\ \cdot\ 0{,}25\ +\ 350\ \cdot\ 0{,}25\ =\ 568{,}7$ грн.

Тоді економічний ефект із скорочення часу робіт на 6 год. становить:

$$C_{\sum} = C_{пз_7год} - C_{пз_1год} = 2106{,}5 - 568{,}7 = 1537{,}3 \text{ грн.}$$

Взагалі, за рік зменшено витрати коштів на зарплату робітникам за рахунок зменшення часу обслуговування обладнання:

$$C_{\sum_рік} = C_{\sum} \cdot N = 1537{,}3 \cdot 3 = 4612 \text{ грн,}$$

де N – кількість замикань за рік.

Згідно з вимогами «Правил технічної експлуатації електроустановок» при замиканні на «землю» одного з полюсів мережі ОПС через опір від 20 кОм і нижче (для 220 кВ) мають бути припинені усі роботи в колах РЗА і негайно вжиті заходи із усунення замикання. Дністровська ГАЕС працює в піковому режимі, відбувається пуск та зупинення генераторів протягом дня. Наявність замикання в мережі ОПС, а також часті перемикання при пошуку замикання знижують надійність роботи РЗА під час пуску генераторів.

Згідно з Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики на відпуск електричної енергії ПАТ «Укргідроенерго»:

- ставка плати за електричну енергію на 2019 р. становить 41,3 коп за 1 кВт·год (без ПДВ);
- ставка плати ГАЕС за робочу потужність (середня) 51 442,25 грн за 1 МВт (без ПДВ) за один місяць.

Як зазначено, за звітний період було скорочено за допомогою розробленого

пристрою не лише час пошуку місця пошкодження, а і час простою агрегату на Дністровській ГАЕС із 7 годин до 1 години, тобто на 6 годин. Ставка робочої потужності за час пошуку місця знаходиться з виразу:

Як зазначено, за звітний період було скорочено за допомогою розробленого пристрою не лише час пошуку місця пошкодження, а і час простою агрегату на Дністровській ГАЕС із 7 годин до 1 години, тобто на 6 годин. Ставка робочої потужності за час пошуку місця знаходиться з виразу:

$$C_{\text{Р}} = C_{\text{М}} / (D \cdot H) \cdot T_{\text{роб}} \cdot P_{\text{ген}} = 51442{,}25 / (30 \cdot 24) \cdot 6 \cdot 320 = 137\,178{,}6 \text{ грн}, \quad (5.6)$$

де $C_{\text{М}}$ – ставка робочої потужності за місяць,

D – кількість днів в місяці *(30 днів)*,

H – кількість годин в добі *(24 год)*,

$T_{\text{роб}}$ – зменшення часу простою агрегату *(6 год)*,

$P_{\text{ген}}$ – потужність агрегату Дністровської ГАЕС в генераторному режимі *(320 МВт)*.

За звітний період (один рік) ставка робочої потужності на пошук місця замикання на землю одного полюса МОПС становить:

$$C_{\text{рік}} = C_{\text{Р}} \cdot N = 137\,178{,}6 \cdot 3 = 411\,535{,}8 \text{ грн}. \quad (5.7)$$

Отже, економічний ефект від впровадження пристрою контролю опору ізоляції і пошуку місця замикання в мережі оперативного постійного струму становитиме:

$$C = C_{\text{рік}} + C_{\sum_\text{рік}} - P_{прил.} = 411\,535{,}8 + 4\,612 - 8\,500 = 407\,647 \text{ грн}. \quad (5.8)$$

де $P_{\text{прил.}}$ – вартість приладу (8 500 грн).

Висновок по розділу 5

Хоча пристрої контролю ізоляції і протиаварійної автоматики самі безпосередньо не створюють економії, але без них, за умовами безпеки, експлуатація електроустановок неможлива.

Зважаючи на це, економія від застосування вказаних пристроїв практично є частиною загальної ефективності від впровадження в енергетиці високоефективних електроустановок великої одиничної потужності.

Впровадження пристроїв селективного контролю ізоляції в мережі постійного оперативного струму дозволить скоротити час на усунення замикання в цій мережі.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання вдосконалення контролю ізоляції та засобів захисту мереж оперативного постійного.

Застосування мікроконтролерів при розробці пристроїв контролю ізоляції мереж ОПС дозволить гнучко реагувати на зміну параметрів мережі (шляхом підбору найбільш інформативного їх співвідношення) та обробку інформації, яка надходить від сенсорів контролю параметрів МОПС, зокрема активного опору полюсів мережі відносно «землі».

Тривалим зменшенням опору ізоляції полюса мережі оперативного постійного струму передують короткочасні зменшення цього опору.

Короткочасні зменшення опору полюса відносно землі до 100 кОм і менше можуть бути ознакою стійкого зменшення цього опору до 20 кОм і менше в майбутньому.

Якщо кількість короткочасних (менше 1 хвилини) зменшень опору полюса відносно землі до 100 кОм і менше буде не менше 3 разів на протязі не більше 6 годин, то імовірність прогнозування стійкого зменшення цього опору до 20 кОм і менше в майбутньому (на ранній стадії розвитку дефекту) буде найбільшою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ministry of Energy and Coal Mining of Ukraine. http://mpe.kmu.gov.ua/. [Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Статистична інформація].

2. Жук І. А. Контроль ізоляції мережі оперативного постійного струму гідроелектростанцій / І. А. Жук, О. Є. Рубаненко, В. П. Дмуховский // Гідроенергетика України. - 2018. - № 3-4. - С. 33-38;

3. O. Rubanenko, O. Rubanenko and L. Gevorkov, "The Method of Monitoring of the State of Insulation for Operational DC Grids in Power Plants and Substations" 2019 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference Estonia, 2019;

4. I. A. Zhuk, "Implementation of the Method of Control of the Insulation of Operational Direct Currect Networks", *Naukovi Pratsi Donetsky National Technical Technical University*, pp. 103-106, 2013, ISSN 2074-2630.

5. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

6. ГДК 34.20.507-2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила.

7. Жук, І. А., О. Є. Рубаненко. "Дослідження закономірностей зміни опору ізоляції мереж оперативного постійного струму." Енергетика 3 (2014): 59-64.

8. MCDONALD, John D. Electric power substations engineering. CRC press, 2016.

9. Patent for developed ICD, is available via website: http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=197633.

10. Olszowiec, P. Influence of Insulation Monitoring Devices on the Operation of DC Control Circuits. *Power Technol Eng* , 653–656 (2017).

11. Seyed Amir Hosseini, Behrooz Taheri, Seyed Hossein Hesamedin Sadeghi & Adel Nasiri (2023) An Overview of DC Microgrid Protection Schemes and the Factors Involved, Electric Power Components and

Systems, DOI: 10.1080/15325008.2023.2251469

12. A. Meghwani, et al., “A non-unit protection scheme for DC microgrid based on local measurements,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 32, no. 1, pp. 172–181, 2017. DOI: 10.1109/TPWRD.2016.2555844.

13. A. Abdali, et al., “A precise fault location scheme for low-voltage DC microgrids systems using multi-layer protection neural network,” *Sigma J. Eng. Nat. Sci./Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 36, pp. 821–834, 2018.

14. Матвійчук В. А. Діагностування електрообладнання. Навч. посіб. / В. А. Матвійчук, О. Є.Рубаненко, І.О. Гунько – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 172 с.

15. Мікропроцесорна техніка. Використання AVR мікроконтролерів ATMEL : лабораторний практикум / Рубаненко О. Є., Кравцов К. І., Рубаненко О. О. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 115 с.

16. Мікропроцесорна техніка [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності «Електроніка» / В. Я. Жуйков, Т. О. Терещенко, Ю. С. Ямненко, А. В. Заграничний ; НТУУ «КПІ» ; ред. О. В. Борисов. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 440 с.

17. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього ступеня магістра галузі знань 14 «Електрична інженерія» / уклад.: С. В. Дембіцька, І. М. Кобилянська, О. В. Кобилянський. − Вінниця: ВНТУ, 2022. – 52 с

18. 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.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ
ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Контроль ізоляції та захист мереж оперативного постійного струму

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 81,4% Схожість 18,6%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. 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 _____ Вишневський С.Я.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Лізанець О.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Рубаненко О.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б

Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізв.)

_____
(підпис)
"_____"_____ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: КОНТРОЛЬ ІЗОЛЯЦІЇ ТА ЗАХИСТ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

08-21.МКР.010.00.95 ТЗ

Науковий керівник: д.т.н., доц.,
професор кафедри ЕСС
_____ Рубаненко О.О.
Магістр групи 1ЕСМ-22м
_____ Лізанець О.В.

Вінниця 2023 р.

Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) мережі оперативного постійного струму електричних станцій і підстанцій призначені для живлення пристроїв релейного захисту і автоматики, систем сигналізації, відповідальних механізмів власних потреб, аварійного освітлення, котушок увімкнення та вимкнення високовольтних вимикачів підвищення вимог по надійності роботи пристроїв контролю ізоляції мереж оперативного ПС спричинила постановку і проведення досліджень, а отже тема є **актуальною**.

б) наказ ректора ВНТУ № 247 від 18 вересня 2023 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) мета − вдосконалення контролю ізоляції та засобів захисту мереж оперативного постійного.

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Жук І. А. Контроль ізоляції мережі оперативного постійного струму гідроелектростанцій / І. А. Жук, О. Є. Рубаненко, В. П. Дмуховский // Гідроенергетика України. - 2018. - № 3-4. - С. 33-38;

2. O. Rubanenko, O. Rubanenko and L. Gevorkov, "The Method of Monitoring of the State of Insulation for Operational DC Grids in Power Plants and Substations," 2019 SEEM, Kärdla, Estonia, 2019, pp. 1-4.

3. I. A. Zhuk, "Implementation of the Method of Control of the Insulation of Operational Direct Currect Networks", *Naukovi Pratsi Donetsky National Technical Technical University*, pp. 103-106, 2013, ISSN 2074-2630.

4. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видпнмицтно «Форт*, 2017. - 760 с.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Дані по спрацюванню пристрою контролю ізоляції на ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1 у період з 2019 по 2022 рік. На підстанції відбулося 80 спрацьовувань пристрою контролю ізоляції УКІ (яким передували тривалі, більше 1 хвилини, зменшення опору полюса відносно землі), викликаних замиканням полюса мережі на землю через опір від 0 до 20 кОм.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники від застосування пристрою контролю ізоляції мереж оперативного струму на Дністровській ГАЕС.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	2	3	4	5
1	Розроблення технічного завдання	18.09.23	20.09.23	формування технічного завдання
2	Аналіз існуючих методів та засобів контролю мереж оперативного постійного струму	21.09.23	02.10.23	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Дослідження закономірностей зміни опору полюсів відносно землі	03.10.23	10.10.23	розділ 2
4	Засоби контролюю ізоляції мереж оперативного ПС	11.10.23	24.10.23	розділ 3
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.11.23	01.11.23	розділ 4
6	Економічна частина	02.11.23	16.11.23	розділ 5
7	Оформлення пояснювальної записки	17.11.23	27.11.23	пояснювальна записка
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	28.12.23	30.11.23	презентація

1	2	3	4	5
9	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	01.12.23	07.12.23	Результат перевірки на плагіат, відгук керівника
10	Опонування МКР	08.12.23	10.12.23	Відгук опонента
	Захист МКР	III декада грудня (за графіком)		Доповідь та відповіді на запитання

7. Очікувані результати В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи очікується одержання обґрунтованих рекомендацій та пропозицій, які можуть бути використані з метою підвищення ефективності застосування досліджуваного об’єкта та покращення енергоефективності.

8. Матеріали, що подаються до захисту МКР Пояснювальна записка МКР (паперовий екземпляр), ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук опонента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, протокол перевірки МКР на наявність текстових запозичень.

9. Порядок контролю виконання та захисту МКР Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником та завідувачем кафедри ЕСС згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

10. Вимоги до оформлення МКР Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

11. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом Відсутні

ДОДАТОК В

Знаходження оптимальних параметрів контролю

Знайдемо за яких величин параметрів $R1_{пол}$, T, k, $R2_{пол}$ параметр P_{Σ} матиме максимальне значення.

Побудуємо поверхні рішень (рис.В.1) для вибору можливих варіантів пошуку оптимального рішення. Скористаємось моливостями пакету MathCad.

Середньоквадратична похибка розрахунків порівняно зі статистичними даними (табл.В.1) не перевищує 0.017 в.о.

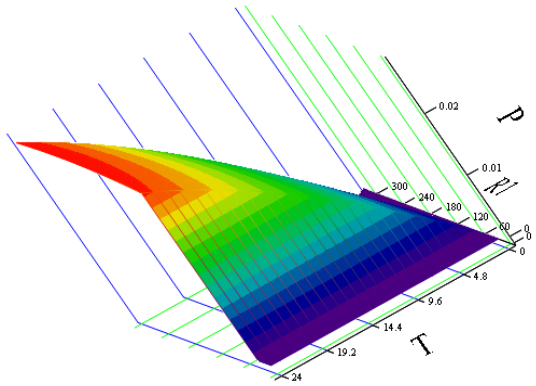


Рисунок В.1 − Залежність P_{Σ} від $R1_{пол}$ та T за результатами розрахунку за виразом В.1 для $R1_{пол} \in 30..300$ *кОм*, $T \in 1..24$ *години*, $k=5$ *штук*, $R2_{пол}=100$ *кОм*.

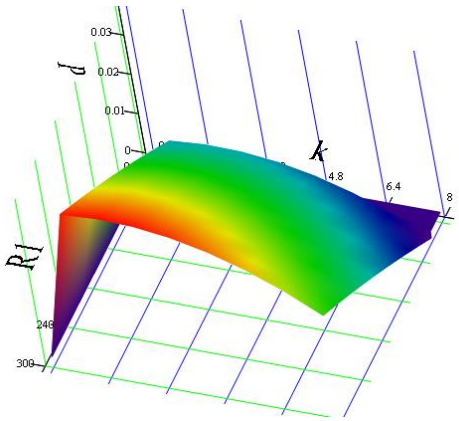


Рисунок В.2 − Залежність P_{Σ} від $R1_{пол}$ та k за результатами розрахунку для $R1_{пол} \in 30..300$ *кОм*, $k \in 1..5$ зменшень опору, $T=4$ *години*, $R2_{пол}=100$ *кОм*.

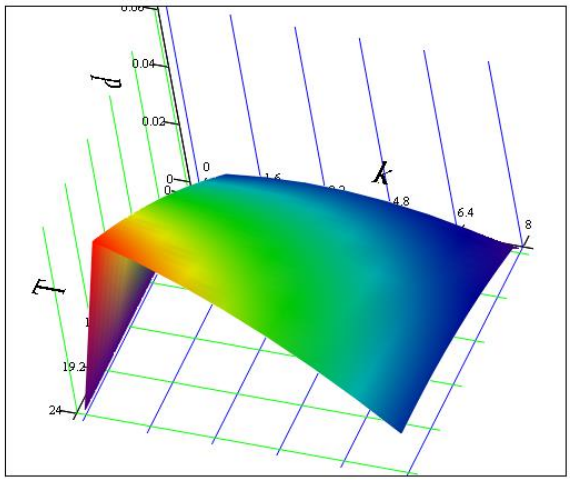


Рисунок В.3 - Залежність P_Σ від T та k за результатами розрахунку для $T \in 1..24$ *години*, $k \in 1..5$ зменшень опору, $R1_{пол}$ *=4 години*, $R2_{пол}$*=100 кОм*

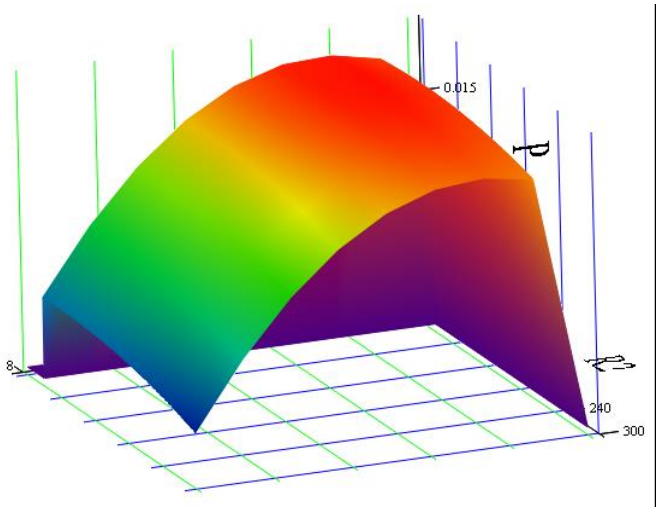


Рисунок В.4 − Залежність P_Σ від k та $R2$ за результатами розрахунку для T*=4 години*, $k \in 1..5$ зменшень опору, $R2_{пол}$ *= 30* $\in$*300 кОм*, $R1_{пол}$*=100 кОм.*

Аналіз кривих показаних на рисунках В.1 – В.4 свідчить про те, що:

- залежність В.1 нелійна та зростаюча;

- залежність, яка показана на рисунку В.1 нелінійна, спочатку зростаюча, а потім спадаюча (має екстремум);

- залежності В.2, В.3 нелійні та спадаючі (рис.В.3).

За таких умов визначити максимальне значення імовірності P_Σ($R1_{пол}$, T, k, $R2_{пол}$) важко, тому скористаємось традиційним методом пошуку екстремуму багатопараметричної функції.

Для цього складемо систему рівнянь (В.1), яка утворена з перших похідних по $R1_{пол}$, T, k, $R2_{пол}$.

Перші похідні по $R1_{пол}$,, T, k, $R2_{пол}$:

$$\frac{d}{d(R1_{їїë})}P_{\Sigma} = -7.42e-8\cdot R1_{їїë} + 4.926e-7\cdot Ò - 5.74e-7\cdot k - 3.71e-8\cdot R2_{їїë} + 0.000102602$$

$$,\frac{d}{d(Ò)}P_{\Sigma} = 4.926e-7\cdot R1_{їїë} - 0.0000406\cdot T + 0.0009761\cdot k + 4.926e-7\cdot R2_{їїë} + 0.002842,$$

$$\frac{d}{d(k)}P_{\Sigma} = -5.74e-7\cdot R1_{їїë} + 0.0009761\cdot T - 0.000857\cdot k - 5.74e-7\cdot R2_{їїë} + 0.0058791,$$

$$\frac{d}{d(R2_{їїë})}P_{\Sigma} = -3.71e-8\cdot R1_{їїë} + 4.926e-7\cdot T - 5.74e-7\cdot k + -7.42e-8\cdot R2_{їїë} + 0.00001026$$

.Тому

$$\begin{cases} -7.42e-8\cdot R1_{їїë} + 4.926e-7\cdot Ò - 5.74e-7\cdot k - 3.71e-8\cdot R2_{їїë} + 0.000102602 = 0 \\ 4.926e-7\cdot R1_{їїë} - 0.0000406\cdot T + 0.0009761\cdot k + 4.926e-7\cdot R2_{їїë} + 0.002842 = 0 \\ -5.74e-7\cdot R1_{їїë} + -0.0009761\cdot T - 0.000857\cdot k - 5.74e-7\cdot R2_{їїë} + 0.0058791 = 0 \\ -3.71e-8\cdot R1_{їїë} + 4.926e-7\cdot T - 5.74e-7\cdot k + -7.42e-8\cdot R2_{їїë} + 0.00001026 = 0 \end{cases} \quad (В.1)$$

За допомогою MathCad знаходимо рішення :

$$R1_{пол}=1746\ кОм,\ T=3\ години,\ k=3\ рази,\ R2_{пол}=743\ кОм. \quad (В.2)$$

Це рішення не задовольняє початковим умовам (таблиця 3.2)

$$30 < R1_{пол} < 300\ кОм,\ 1<T<24\ годин\ ,\ 2<k<8\ штука,\ 30<R2_{пол}<300\ кОм.$$

Знаходимо рішення, скореговані початковими умовами:

$$R1_{пол}=300\ кОм,\ T=3\ години\ ,\ k=3\ рази,\ R2_{пол}=300\ кОм.$$

Як бачимо умови по значення по $R1_{пол}$ та по $R2_{пол}$ не оптимальні. Однак значення цільової фукції за отриманих рішень буде:

$$P_{\Sigma}=0.002246\ в.о.$$

Однак при введені в програму для MathCad всіх обмежень, MathCad рішення не знаходить.

Тому використаємо метод крітеріального багатопараметричного [10] програмування.

Функцію можна представити у вигляді

$$Y(X)=\sum_{i=1}^{m} b_i \prod_{j=1}^{n} x_j^{\alpha_{ji}},$$

де b_i, α_{ji} – сталі коефіцієнти, x_{ji} – змінні параметри, $Y(X)=P_{\Sigma}(R1_{пол}, T, k, R2_{пол})$, $X \in (x_1,x_2,x_3,x_4)$, $x_1=R1_{пол}$, $x_2=T$, $x_3=k$, $x_4=R2_{пол}$.

Для порівняння поточного варіанту $Y(X)$ з оптимальним введемо величини $Y_{опт}$ і $X_{j\,опт}$.

Позначимо

$$Y(X)=Y_{*}\cdot Y_{опт},\ x_j=x_{j*}\cdot x_{j\,опт},$$

де $Y_{*}=Y(A)/Y_{опт}$, $x_{j*}=x_j/x_{j\,опт}$ – відносні значення параметрів.

Підставивши отримаємо

$$Y_{*}\times Y_{îïò}=\sum_{i=1}^{m} b_i \prod_{j=1}^{n} x_{j*}^{\alpha_{ji}} \cdot x_{j\,îïò}^{\alpha_{ji}}$$

де m=15 – кількість членів рівняння, n=2 – кількість множників в членах рівняння, α_{ji} –показник степені при множниках членів рівняння.

Зробивши тотожнє перетворення і ввівши змінну у вигляді критерію подібності

$$\pi_{з\,îïò}=\frac{b_i \prod_{j=1}^{n} x_j^{\alpha_{ji}}}{Y_{îïò}},$$

отримаємо критеріальну форму запису рівняння (2.29)

$$Y_{*}=\sum_{i=1}^{m} \pi_{i\,îïò} \cdot \prod_{j=1}^{n} x_{j*}^{\alpha_{ji}}.$$

Для оптимального варіанту, коли $Y(x)=Y_{опт}$ критеріальне рівняння відповідає умові нормування і має вигляд:

$$1 = \pi_1+\pi_2+\ldots+\pi_n,$$

де $\pi_1, \pi_2,\pi_3,\pi_4,\ldots$- критерії подібності (за методом інтегральних аналогів [11, 12]) доданків рівняння цільової функції загального (поточного набору величин контрольованих параметрів мережі оперативного постійного струму) доданкам оптимального поточного набору величин контрольованих параметрів мережі оперативного постійного струму. Враховуючи те, що опори полюсів, час спостереження, кількість короткочасних зменшень опору полюсів за контрольований проміжок часу завжди більші за нуль ($x_j>0$), а також те, що функція $Y(X)$ випукла і диференційована на заданому інтервалі значень змінних величин x_j, то рішення задачі знаходиться за умови прирівнювання до нуля перших похідних цільової функції по аргументам (x_1, x_2), а порядковий номер аргументу позначимо, як s:

$$\frac{dY(X)}{d(x_S)} = \sum_{i=1}^{m} \alpha_{si} \frac{b_i}{x_S} \prod_{j=1}^{n} x_j^{\alpha_{ji}} = 0, \text{ при } s = \overline{1,n}.$$

Приведемо до критеріальної форми. Для цього помножимо його ліву і праву частини на $x_s/Y_{опт}$. Тоді отримаємо:

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_{si} \frac{1}{Y_{îïò}} \prod_{j=1}^{n} x_j^{\alpha_{ji}} = 0, \text{ при } s = \overline{1,n}.$$

В нашому випадку під оптимальним значенням цільової функції розуміємо максимальне значення, тобто максимальну вірогідність прийняття вірного рішення про зменшення (в майбутньому) опору полюса мережі оперативного постійного струму до 20 кОм і менше.

З урахуванням запишемо у відповідності до умови ортого-нальності в критеріальній формі:

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_{si} \cdot \pi_{i\ opm} = 0, \text{ при } s = \overline{1,n}.$$

Таким чином для *s=j* умова максимуму функції *Y(X)* з урахуванням запишеться так:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} \alpha_{ji} \cdot \pi_{i\,opm} = 0, \quad j = \overline{1,n} \\ \sum_{i=1}^{m} \pi_{i\,opm} = 1 \end{cases}.$$

Враховуючи те, що додатків в рівнянні 15 штук, то крітеріїв подібності буде – 15. Однак змінних x_j, а саме $R1_{пол}$*=200 кОм, T=56 годин , k=20 штук,* $R2_{пол}$*=37 кОм*, лише *4*. Тому система рівнянь має *15* невідомих, а саме 15 критеріїв подібності π_j (де $j \in 1..15$) степінь складності *t=4-15-1<0* і задача однозначного рішення не має.

Однак аналіз коефіцієнтів (*-0.0000000371, 0.0000004926, -0.000000574, -0.0000000371, 0.0000102602, -0.000000574, -0.0009860619, -0.0004285026, 0.0058791808, 0.0000004926, -0.0000203018, 0.0028419419, -0.0051634684, 0.0000102602, -0.0000000371*) рівняння свідчить про те, що вони відрізняються в більше ніж *1000* разів. Тому потрібно дослідити чутливість кожного з додатків цільової функції до значення цільової функції.

Коефіцієнт чутливості для окремо для кожного набору контрольованих параметрів та окремо для кожного (*i*) додатку цільової функції визначається за виразом:

$$k_{\text{÷óòë i}} = \frac{b_i \prod_{j=1}^{n} x_j^{\alpha_{ji}}}{\sum_{i=1}^{m} b_i \prod_{j=1}^{n} x_j^{\alpha_{ji}}}.$$

Вибираємо найбільш впливові додатки. Їх виявилось п’ять, а саме: 7, 8, 9, 11, 12, однак в цьому варіанті не розглядається $R2_{пол}$ (тобто в подальшому π_4). Для рішення системи рівнянь потрібно, щоб матриця коефіцієнтів $\alpha_{j,i}$ не була виродженою, тобто її визначник не дорівнював нулю. Були розглянуті багато варіантів сукупності додатків цільвої функції і нажаль в більшості з них матриця показників $\alpha_{j,i}$ виявилась виродженою. Тому в подальшому будемо розглядати додатки поліному цільової функції: 7, 9, 12 з двома обмеженями:

$R1_{пол} \cdot k \le 2400$ *та* $R1_{пол} \cdot R2_{пол} \le 900$ *або* $R1_{пол} \cdot k - 2400 \le 0$ *та* $R1_{пол} \cdot R2_{пол} - 900 \le 0$, *або*

$R1_{пол} \cdot k - 2400 = 0$ *та* $R1_{пол} \cdot R2_{пол} - 900 = 0$.

Якщо в цільовій функції кількість додатків дорівнює m, то з урахуванням кількості обмежень $k \in 1..p$ (в нашому випадку $p=2$, тобто у нас два обмеження), а також з урахуванням кількості r_k членів поліному (додатків) в функції g_k (в нашому випадку таких додатків по два в кожному з двох обмежень), яка описує обмеження, можна записати ці обмеження в загальному вигляді

$$g_k = \sum_{i=\gamma_{k-1}+1}^{\gamma_k} b_i \prod_{j=1}^{n} x_j^{\alpha_{ji}} \le G_k ,$$

тобто

$$g_k \le G_k ,$$

де γ - лічильник кількості членів цільової функції разом з членами функцій всіх обмежень, так

$$\gamma_0 = m,$$

$$\gamma_k = \gamma_{k-1} + r_k.$$

Тому для нашої задачі кількість додатків в цільовій функції лишаємо $m=3$ (це 7, 9, 12 додатки замість $m=15$), кількість зміних $n=4$ – по чотири (x_1, x_2, x_3, x_4) в кожному додатку, $\gamma_0=3$.

Для першого обмеження: номер обмеження $k=1$, кількість додатків (членів функції обмежень) $r_1=2$, порядковий номер останнього члена цільової функції без обмежень $\gamma_{k-1}=\gamma_0=3$, порядкові номери членів першого обмеження в цільовій функції $i \in (\gamma_{k-1}+1)..\gamma_k$, починаючи з першого $i=\gamma_{k-1}+1$ та закінчуючи останнім для першого обмеження $i=\gamma_k$

$$\gamma_k=\gamma_1=\gamma_{k-1}+r_k=\gamma_0+r_1=3+2=5,$$

$i \in (3+1), (3+2)$, тобто i складається з 2 членів, які дорівнюють 4 та 5,

$$g_1=\sum_{i=3+1}^{3+2} b_i \prod_{j=1}^{4} x_j^{\alpha_{j,i}} = b_4 \cdot x_1^{\alpha_{1,4}} x_2^{\alpha_{2,4}} x_3^{\alpha_{3,4}} x_4^{\alpha_{4,4}} + b_5 \cdot x_1^{\alpha_{1,5}} x_2^{\alpha_{2,5}} x_3^{\alpha_{3,5}} x_4^{\alpha_{4,5}},$$

$$g_1 = 1 \cdot x_1^1 x_2^0 x_3^1 x_4^0 + (-2400) \cdot x_1^0 x_2^0 x_3^0 x_4^0 = R1 \cdot k - 2400.$$

Для другого обмеження: порядковий номер другого обмеження $k=2$, кількість членів другого обмеження $r_2=2$, кількість членів цільової функції разом з членами першого обмеження $\gamma_{k-1}=\gamma_1=5$, кількість членів цільової функції разом з членами першого і другого обмежень

$$\gamma_k=\gamma_{k-1}+r_k=\gamma_0+r_1=5+2=7,$$

$i \in (\gamma_{k-1}+1)..\gamma_k$, $i \in (\gamma_{2-1}+1)..\gamma_2$, $i=(\gamma_1+1)..\gamma_k=(5+1)..(5+2)$, тобто i складається лише з 2 членів, які дорівнюють 6, 7

$$g_2=\sum_{i=5+1}^{5+2} b_i \prod_{j=1}^{4} x_j^{\alpha_{j,i}} = b_6 \cdot x_1^{\alpha_{1,6}} x_2^{\alpha_{2,6}} x_3^{\alpha_{3,6}} x_4^{\alpha_{4,6}} + b_7 \cdot x_1^{\alpha_{1,7}} x_2^{\alpha_{2,7}} x_3^{\alpha_{3,7}} x_4^{\alpha_{4,7}},$$

$$g_2 = 1 \cdot x_1^1 x_2^0 x_3^0 x_4^1 + (-900) \cdot x_1^0 x_2^0 x_3^0 x_4^0 = x_1^1 \cdot x_4^1 - 900 = R1_{\text{їїё}} \cdot R2_{\text{їїё}} - 900.$$

Показники степені при аргументах цільової функції та коефіцієнти при додатках цільової функції наведені в таблиці В.1.

Таблиця В.1 – Параметри цільової функції

№ додатка	Показники степені аргументів				Коефіцієнт
	$R1_{пол}$	T	k	$R2_{пол}$	
1	1	0	0	1	-0.0000000371
2	0	1	0	1	0.00000049263
3	0	0	1	1	-0.00000057397
4	0	0	0	2	-0.0000000371
5	0	0	0	1	0.00001026021
6	1	0	1	0	-0.00000057397
7	0	1	1	0	-0.00098606186
8	0	0	2	0	-0.0004285026
9	0	0	1	0	0.00587918076
10	1	1	0	0	0.00000049263
11	0	2	0	0	-0.00002030175
12	0	1	0	0	0.00284194189
13	0	0	0	0	-0.00516346838
14	1	0	0	0	0.00001026021
15	2	0	0	0	-0.0000000371

ДОДАТОК Г

Дослідження стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайної ситуації

Підстанція 330 кВ може підлягати впливу надзвичайних ситуацій техногенного, природного, військового походження, яких в країні може виникнути багато. Вони наносять непоправну шкоду об'єктам енергетичного господарства. Серед надзвичайних ситуацій можна виділити найбільш небезпечні: наявність у довкіллі шкідливих речовин понад ГДК, аварії із загрозою викиду ХНР і біологічних небезпечних засобів, радіоактивне забруднення, вплив ЕМІ.

Головну небезпеку для підстанції становить землетрус, буревій, ударна хвиля, вторинні вражаючі фактори і радіоактивне зараження місцевості. Проте іноді доводиться враховувати і вплив проникаючої радіації та електромагнітного імпульсу.

Приймачами ЕМІ є предмети, що проводять електричний струм: лінії електропередач, конденсаторні батареї, кабельні лінії, системи релейного захисту. Апаратура, яка не оснащена спеціальним захистом може бути пошкоджена внаслідок ЕМІ.

Внаслідок проходження гамма – випромінювання через елементи електронної апаратури, через переміщення вільних зарядів може виникнути імпульс який може призвести до помилкового спрацювання обладнання. Також одним із наслідків такого опромінення є підвищення провідності матеріалів, збільшення протікання струму та зменшення опору, в газорозрядних приладах зменшується напруга запалення. Існує актуальна проблема розрахунку і підвищення стійкості електричних підстанцій. Для цього на об'єкті завчасно, керуючись розрахунками, планують і проводять відповідні організаційні та

інженерно – технічні заходи. Сучасний рівень науки та техніки дозволяють реалізувати такі рішення, що забезпечать стійкість підприємства.

Г.1 Оцінка стійкості роботи електричної підстанції 330 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо експозиційні дози при яких в елементах РЕА можуть виникнути незворотні зміни. Дані заносимо в таблицю

Самий уразливий елемент РЕА – фотодіоди блоку управління релейного захисту і автоматики, $Д_{гр} = 10^3$ Р.

Визначаємо можливу дозу опромінення:

$$Д_М = \frac{2P_1(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_П})}{K_{посл}}, \quad (Г.1)$$

де $К_{посл}$ – коефіцієнт послаблення, 1

$Т_п$ – час початку опромінення, 1 год

$Т_к$ – максимальна триваліть роботи, 20 років

$Р_1$ – рівень радіації на 1 год після аварії

$$Д_М = \frac{2 \cdot 4,73(\sqrt{175200} - \sqrt{1})}{1} = 4950(Р).$$

Визначаємо допустимий час роботи РЕА:

$$t_{доп} = \left(\frac{Д_{гр} \cdot K_{посл} + 2 \cdot P_1\sqrt{t_п}}{2P_1} \right)^2, \quad (Г.2)$$

$$t_{доп} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,73\sqrt{1}}{2 \cdot 4,73} \right)^2 = 11386(год).$$

Порівняємо отримані дані:

$Д_{гр} = 10^3 < Д_М = 4950$.

Таблиця Г.1 −Експозиційні дози

№	Підсистеми	Елементи електричної частини ГЕС	$Д_{грн\ і,}$ (Р)	$Д_{гр,}$ (Р)
1	Система живлення	Дросель ФРОС-1000/0,5УЗ	10^7	10^3
		Контролер SP 0,5 LED	10^3	
		Діод Д 123-250-20	10^5	
		Діод MG 150M2YK1	10^5	
		Перетворювач струму MC44603P	10^3	
		Інвертор UKC SSK	10^4	
2	Система керування	Пускач ПМЛ-1210	10^6	
		Тумблер ASW-29D	10^7	
		Транзистори SS8050 TO92 NPN	10^4	
		Конденсатор К73-16-8,2 мкФ 250В	10^6	
		Резистори CR-2W-130, 0,25W-36	10^4	
3	Мікропроцесорна система	Мікросхема П1 регулятор струму BTA41-800b	10^5	
		Блок обмеження струму К342ЕН8Б	10^6	
		Тахогенератор ТД-102	10^5	

Отже, так як $Д_{гр} = 10^3 < Д_М = 4150$, то для забезпечення стійкості роботи $К_{посл}$ потрібно збільшити в 4 рази. Робота РЕА буде стійкою протягом 11386 годин.

Г.2 Оцінка стійкості електричної частини ПС 330 кВ в умовах дії ЕМІ

При здійсненні оцінювання впливу ЕМІ на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ мають горизонтальну та вертикальну складові напруженості електричного поля і тому повинні визначатися значеннями

напруги на вертикальних та горизонтальних ділянках лінії. Для оцінки безпеки роботи в умовах дії електромагнітних випромінювань, необхідно визначити значення вертикальної складової напруженості електромагнітного поля, при коефіцієнті безпеки $К_б$ = 40 дБ.

На об’єкті підстанції розподіляються на різні блоки:

1. Система живлення
2. Система керування
3. Мікропроцесорна система

На кожній ділянці визначаємо максимальну довжину вертикальної та горизонтальної струмопровідної частини: $L_{в1}$=5 м, $L_{в2}$ = 4,5 м, $L_{в3}$ = 5,2 м, $L_{г1}$ = 4,7 м, $L_{г2}$ = 4,3 м, $L_{г3}$ = 5,1 м.

Напругу наводки вертикальної струмопровідної частини визначаємо за формулою:

$$K_{б(в,г)} = 20\lg\frac{U_{доп}}{U_{(в,г)}} \geq 40(дБ). \qquad (Г.3)$$

Після математичних перетворень, отримаємо наступні значення:

$$U_в = E_г \cdot l_в, U_г = E_в \cdot l_г.$$
$$E_г = E_в \cdot 10^{-3}(кВ/м). \qquad (Г.4)$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення:

При $U_{доп1}$ = 12(В), $U_{доп1}$ = 12,6(В);

При $U_{доп2}$ = 380(В), $U_{доп2}$ = 399(В);

При $U_{доп3}$ = 127(В), $U_{доп3}$ = 132(В).

Результати розрахунку заносимо в таблицю Г.2

Таблиця Г.2 − Результати розрахунків

№	Елемент системи	$L_в$(м)	$L_г$(м)	$U_в$(В)	$U_г$(В)	$К_{б(в)}$(дБ)	$К_{б(г)}$(дБ)
1	Система живлення	5	4,7	59,4	55836	-13,892	-72,931
2	Система керування	4,5	4,3	53,46	51084	17,035	-42,146
3	Мікропроцесорна система	5,2	5,1	61,776	60588	6,26	-53,236

Аналізуючи таблицю Г.5 можна зробити висновок про необхідність екранування.

Г.3 розробка заходів по підвищеню стійкості роботи електричної частини ГЕС у надзвичайних ситуаціях

Для забезпечення якомога швидшого відновлення виробництва на випадок виходу з ладу основних джерел енергоживлення повинен бути створений резерв джерел енерго- і водопостачання (переносні електростанції та насосні агрегати з автономними двигунами).

Стійкість систем електропостачання об’єкта підвищують, підключаючи його до декількох джерел живлення, віддалених одне від одного на відстань, що виключає можливість їх одночасного пошкодження одним ядерним вибухом.

Для забезпечення надійного управління діяльністю об’єкта у надзвичайних ситуаціях мирного та воєнного часу в одному із сховищ обладнується пункт управління. Диспетчерські пункти і радіовузли розміщують по можливості у найміцніших спорудах і підвальних приміщеннях. Повітряні лінії зв’язку до найважливіших виробничих ділянок переводять на підземно – кабельні. Стійкість засобів зв’язку можна підвищити прокладанням енергопостачальних фідерів на автоматичну телефонну станцію (АТС) та радіовузол об’єкта,

підготовкою пересувних електростанцій для заряджання акумуляторів АТМ і для живлення радіовузла при відключенні основних джерел електропостачання. При розширенні мережі підземних кабельних ліній необхідно прокладати дводротові, захищені екранами від впливу ЕМІ.

Для цього проведемо розрахунок товщини стінки екрану, для цього визначимо перехідне затухання в екрані. Вибираємо стальний екран $К_е = 5,2$.

Система живлення:

$$t_1 = \frac{A_e}{K_e \cdot \sqrt{f}}.$$

$$t_1 = \frac{-72,931 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,177(см).$$

Система керування:

$$t_1 = \frac{-42,146 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,129(см).$$

Мікропроцесорна система:

$$t_1 = \frac{-53,236 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,146(см).$$

Таким чином при екрануванні системи живлення з використанням екрану товщиною 0,177 см із сталі, система автоматики буде стійкою в умовах дії ЕМІ. При екрануванні схем релейного захисту з використанням екрану товщиною 0,129 см із сталі, схеми постійного струму будуть стійкими в умовах ЕМІ. Для схем постійного струму потрібен екран товщиною 0,146 см.

ДОДАТОК Д

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

КОНТРОЛЬ ІЗОЛЯЦІЇ ТА ЗАХИСТ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Студент _____ _____

(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ _____

(підпис) (ініціали та прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

Контроль ізоляції та захист мереж оперативного постійного струму

Виконав: ст. гр 1ЕСМ-22м ***Лізанець Олександр***
Керівник: к.т.н., професор каф. ЕСС ***Рубаненко О.О.***

2023 р.

Актуальність

2

Складні умови експлуатації електроенергетичних систем обумовлюють виникнення аварій, які часто стають причиною не тільки економічних втрат, але й людських жертв.

Мережі оперативного постійного струму є важливою складовою систем електропостачання, зокрема гідроелектростанцій, вони призначені для безперебійного живлення пристроїв релейного захисту, сигналізації та автоматики, відповідальних механізмів власних потреб, аварійного освітлення, приводів високовольтних вимикачів і т. п. Важливість таких споживачів висуває високі вимоги до надійності мереж оперативного ПС.

Існує багато пристроїв визначення пошкодженої кабельної лінії мереж оперативного постійного струму , однак специфіка об'єкта контролю потребує: збільшення достовірності правильного визначення появи небезпечного зниження опору ізоляції на ранній стадії; визначення пошкодженого кабелю та забезпечення швидкого знаходження місця замикання при зниженні активного опору ізоляції полюса відносно землі до 20-0 кОм без додаткових перемикань в мережі; простоти і надійності в експлуатації, безперервного контролю значення опору ізоляції; спрацьовування на сигнал; не погіршення параметрів мережі (симетрії напруги полюсів відносно землі, значення опорів ізоляції, коефіцієнта пульсацій напруги на шинах АБ та ін.).

Підвищення вимог по надійності роботи пристроїв контролю ізоляції мереж оперативного ПС спричинила постановку і проведення досліджень, а отже тема є ***актуальною****.*

Мета та задачі дослідження

3

Метою роботи є вдосконалення контролю ізоляції та засобів захисту мереж оперативного постійного.

Згідно поставленої мети в роботі вирішено наступні задачі:
- виконати аналіз існуючих методів контролю ізоляції мереж оперативного ПС;
- дослідити закономірності зміни опору полюсів відносно землі;
- дослідити засоби контролю ізоляції мереж оперативного ПС;
- виконано розрахунок економічної ефективності застосування пристроїв визначення стану ізоляції мереж оперативного ПС

Об'єктом дослідження є процес зміни стану ізоляції під час експлуатації кабельних ліній оперативного постійного струму гідроелектростанцій.

Предметом досліджень є методи та засоби контролю ізоляції та визначення пошкодження мереж оперативного ПС.

Особливості об’єкта контролю

4

Система оперативного струму електричних станцій і підстанцій складається з джерел живлення, кабельних ліній, шин, комутаційного обладнання, пристроїв сигналізації і інших елементів оперативних кіл.

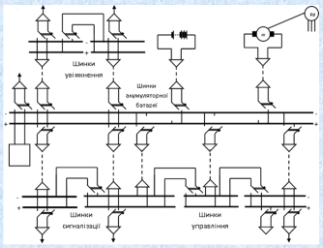


Рисунок 1 – Фрагмент схеми мереж оперативного постійного струму

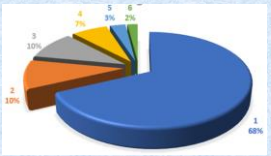
Споживачами ОПС на електричних станціях і підстанціях є приводи вимикачів, оперативні кола захисту, пристрої автоматики, апаратура дистанційного керування, аварійна і попереджувальна сигналізація. При порушеннях нормальної роботи гідроелектростанцій джерела ОПС використовуються для аварійного освітлення і для електропостачання особливо відповідальних механізмів власних потреб.

Від джерел оперативного струму потребується підвищена надійність, тому генерована ними напруга повинна бути високостабільною, ізоляція повинна бути високоомною, джерела оперативного струму повинні бути резервовані.

Аналіз пошкоджень в мережах ОПС

5

На деяких електричних станціях і підстанціях такі кабельні лінії експлуатуються вже понад 40 років. Надійність застарілих ліній МОПС зменшується. Тому актуальною є задача дослідження пошкоджуваності в системах ОПС. Був проведений аналіз пошкоджень в МОПС Дністровської ГАЕС, Дністровської ГЕС-1 та Дністровської ГЕС-2.



1 – Коротке замикання одного полюса на «землю»,
2 – Коротке замикання двух полюсів на «землю»,
3 – Коротке замикання двух полюсів між собою,
4 – Вихід з ладу елементів акумуляторних батарей,
5 – Вихід з ладу елементів ВАЗП,
6 – Вихід з ладу інших елементів

Рисунок 2 – Розподіл пошкоджень в мережах оперативного постійного струму

Найчастішим видом пошкоджень в системі ОПС **є замикання одного полюса на «землю».**

Якщо його вчасно не усунути, то при зниженні опору ізоляції іншого полюса може статися помилкова робота РЗА, відключення відповідальних споживачів мереж ОПС.
Не усунена протягом 8 годин «земля» в МОПС гідроелектростанцій **вважається відмовою в роботі другого ступеня, тому що значно підвищується ризик міжполюсних замикань та помилкових спрацьовувань реле, викликаних шунтувальними зв’язками.**

Фактори, які впливають на величину опору ізоляції

6

На ізоляцію полюсів у системі ОПС, що знаходяться під робочою напругою, впливають механічні, електричні й атмосферні впливи. Особливо сильно на ізоляцію мереж оперативного ПС впливають атмосферні опади: дощ, роса і туман.
Крім атмосферних опадів на ізоляцію клемників, комутаційної апаратури впливають також тверді, рідкі і газоподібні частки різних речовин, що знаходяться в повітрі. Вони осаджуються на поверхні ізоляції й утворюють при зволоженні атмосферною вологою (роса) провідний шар, що істотно знижує електричну міцність ізоляції.
При впливі на ізоляцію робочої напруги в сполученні з забрудненням і зволоженням поверхні, як правило, порушується симетрія ізоляції полюсів щодо землі, що знижує електробезпеку і може призвести до зміни уставок пристроїв релейного захисту, сигналізації й автоматики. Виникає імовірність перекриття ізоляції.

Отримані в 2019-2022 роках дані свідчать про те, що на стан ізоляції впливає вологість середовища, у якому відбувається експлуатація. Вона прискорює процес старіння ізоляції. Серед факторів, що впливають на підвищення вологи в забрудненій ізоляції й у самому діелектрику можна виділити дощ, росу, туман, паморозь.

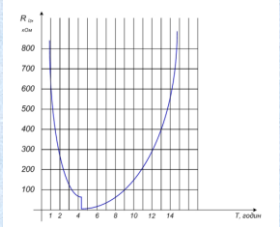


Рисунок 3 – Залежність опору одного полюса мережі відносно землі від тривалості дощу

Фактори, які впливають на величину опору ізоляції

7

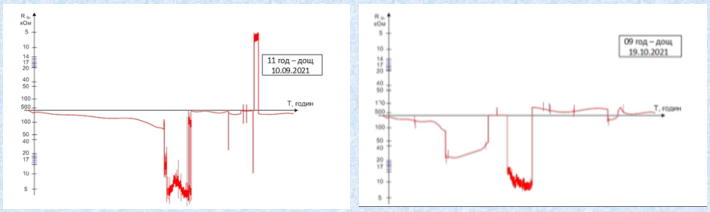


Рисунок 4 – Розвиток замикання полюса на землю під час дощу (фрагмент стрічки самописця)

На рисунку показаний фрагмент стрічки самописця, на якому зафіксований найбільш характерний для дощу розвиток замикання полюса контрольованої мережі на землю.
Незахищені ізоляцією струмоведучі поверхні кабелів, клеммників знаходяться в приміщенні або захищені від прямого влучення дощу шафами, тунелями, лотками. Під час дощу великі краплі руйнуються об стінки шафи й у виді значно більш дрібних, через щілини й отвори, попадають усередину шафи, утворюючи на поверхні ізоляції провідний шар. У процесі експлуатації поверхня шаф керування деформується, захисні прокладки руйнуються. Помічено, що часто під час дощу вода накопичується на поверхні шафи керування, а потім, стікаючи, попадає в усередину, викликаючи замикання полюса на землю.

Результати досліджень

8

З метою обґрунтування уставки спрацьовування пристрою безперервного контролю ізоляції були проаналізовані результати трирічних спостережень за опором ізоляції підстанції ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1 у 2019-2022 роках. З 2019 по 2022 рік усі зниження опору ізоляції до 30 кОм і нижче носили раптовий характер. Від 1 МОм до 200 кОм опір ізоляції частіше знижувалося плавно.

Таблиця 1 – Кількість замикань (за 2019- 2022 р.р.) на п/ст ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1 у мережах оперативного ПС

Опір ізоляції полюса до замикання, кОм / Опір в місці замикання, кОм	0-20	20-30	30-40	40-80	80-90	90-100	0-100	100-200	200-300	300-400	400 і більше
0-5	20	12	1	1	-	2	36	3	-	1	3
5-10	2	7	-	-	1	1	11	11	-	2	1
10-15	-	1	-	-	-	1	2	13	1	2	1
15-20	-	-	-	-	-	-	-	9	3	3	1
20-25	-	-	-	-	1	1	2	8	3	2	1
25-30	-	-	-	-	-	1	-	6	1	1	-
30-35	-	-	-	-	-	-	1	3	-	1	1
35-40	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1
40-45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
45-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
50-75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3

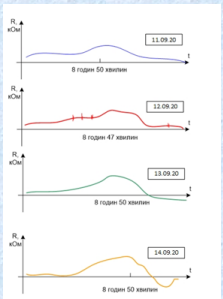


Рисунок 5 – Зміна активного опору ізоляції під впливом роси

Результати досліджень

9

Дослідження короткочасних змін опору полюсів відносно землі

З метою завчасного прогнозування зменшень опору ізоляції до уставки спрацьовування пристрою контролю ізоляції УКІ-1 (тобто до 20 кОм) потрібно дослідити статистику попередніх змін опору.
Тому були проаналізовані зміни опору полюсів, які тривали до 1 хвилини, і шляхом обробки статистичних даних були визначені:
- кількості короткочасних зменшень опору полюсів на протязі року в залежності від величини зменшення опору $R1_{пол}$, які в майбутньому привели до тривалого зменшення опору до 20 кОм і менше;
- кількості короткочасних зменшень опору полюсів, які в майбутньому привели до тривалого зменшення опору до 20 кОм і менше, в залежності від проміжку часу *T*, за який була порахована ця кількість імпульсів, та взалежності від величини зменшення опору $R1_{пол}$;
- кількості короткочасних зменшень опору полюсів, які в майбутньому привели до тривалого зменшення опору до 20 кОм і менше, в залежності від кількості *k* короткочасних зменшень опору полюсів за визначений проміжок часу спостережень, за який була порахована ця кількість імпульсів, та взалежності від величини зменшення опору $R1_{пол}$.

Таблиця 1 – Кількість замикань (за 2019- 2022 р.р.) на п/ст ВРУ-110/330кВ Дністровської ГЕС-1 у мережах оперативного ПС

$R1_{пол}$	кількість	*T*	кількість	*k*	кількість	$R1_{пол}$	кількість
30	2	1	1	2	1	30	5
40	6	1	1	2	1	40	18
80	15	1	2	2	2	80	52
100	22	1	2	2	1	100	83
200	2	1	0	2	0	200	216
300	1	1	0	2	0	300	348
30	2	2	1	4	1	30	5
40	6	2	3	4	3	40	18
80	15	2	4	4	4	80	52
100	22	2	3	4	1	100	83
200	2	2	0	4	0	200	216
300	1	2	0	4	0	300	348
30	2	4	0	5	0	30	5
40	6	4	2	5	2	40	18
80	15	4	6	5	6	80	52
100	22	4	3	5	13	100	83
200	2	4	1	5	1	200	216
300	1	4	0	5	0	300	348
30	2	8	0	7	0	30	5
40	6	8	3	7	3	40	18
80	15	8	4	7	4	80	52
100	22	8	1	7	1	100	83
200	2	8	0	7	0	200	216
300	1	8	0	7	0	300	348
30	2	24	0	8	0	30	5
40	6	24	0	8	0	40	18
80	15	24	8	8	3	80	52
100	22	24	0	8	0	100	83
200	2	24	0	8	0	200	216

Результати досліджень

10

Визначення аналітичних залежностей імовірностей зменшень опорів від контрольованих параметрів

Імовірність вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм в залежності від величини попереднього короткочасного зменшення цього опору нагадує криву нормального закону розподілу, тому використання засобів MS Excel не дозволяє якісно визначити аналітичний опис апроксимуючої залежності. Для більш якісного аналітичного опису скористаємось можливостями MathCad, отримано рівняння (1)

$$P1=-4.378e\text{-}3+8.233e\text{-}5\cdot R1+2.649e\text{-}5\cdot R1^2+7.003e\text{-}7\cdot R1^3+2.143e\text{-}9\cdot R1^4-8.607e\text{-}11\cdot R1^5-4.431e\text{-}13\cdot R1^6+5.522e\text{-}15\cdot R1^7 \quad (1)$$

Рівняння (1) дозволяє визначити імовірність (P1) тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше в залежності від величини зменшення опору R1пол .

Вони визначались, як відношення кількості зменшень опору полюса (при певній величині цього опору), які в подальшому привели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше, до загальної кількості тривалих зменшень опору полюсів до 20 кОм і менше.

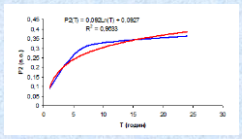


Рисунок 6 – Залежність імовірності вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм від тривалості часу спостережень (при R1=100 кОм)

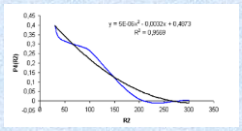


Рисунок 7 – Залежність імовірності вірного прогнозування зменшення опору полюса до 20 кОм від величини попереднього короткочасного зменшення цього опору

Засоби контролю ізоляції мереж оперативного ПС

11

Ознакою сьогодення є те, що більшість фірм виробників устаткування для контролю параметрів відповідального електричного обладнання РЗА припиняють випуск електромеханічних вимірювальних приладів, реле і пристроїв і переходять на цифрову елементну базу. Перехід на нову елементну базу не призводить до зміни принципів роботи приладів контролю, релейного захисту і електричної автоматики, а тільки розширює їх функціональні можливості, спрощує експлуатацію і знижує її вартість. Саме з цих причин мікропроцесорні пристрої дуже швидко займають місце застарілих електромеханічних і мікроелектронних приладів контролю, реле і автоматики.

Пристрій контролю ізоляції мереж ПС створено на мікропроцесорній базі. Структурна схема пристрою, показана на рис. 8

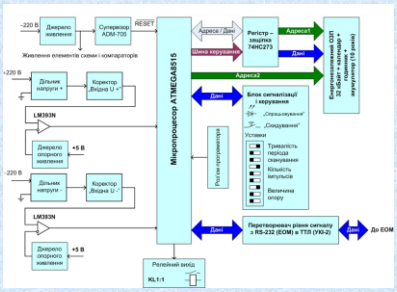


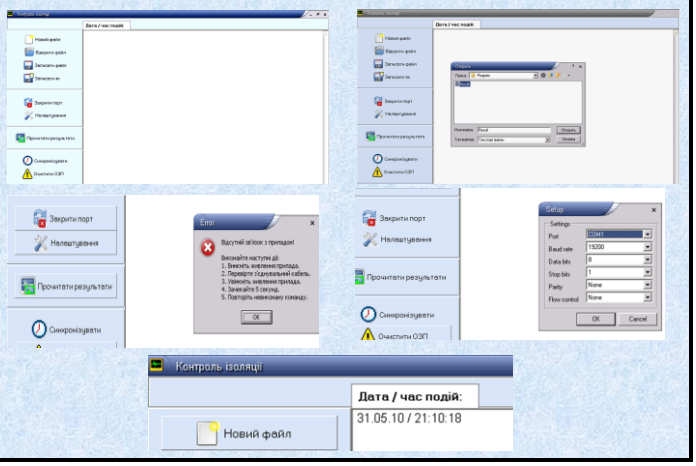
Рисунок 8 – Структурна схема пристрою ПКІ-2 загальномережевого контролю ізоляції мереж ОПС

В пристрої встановлено мікроконтролер типу AVR типу ATMEGA8515 фірми Atmel.

Програмне забезпечення пристрою ПКІ-2

12

Програма, на мові програмування Асемблер для мікроконтролера Atmel 8515.



Висновки

13

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання вдосконалення контролю ізоляції та засобів захисту мереж оперативного постійного.

Застосування мікроконтролерів при розробці пристроїв контролю ізоляції мереж ОПС дозволить гнучко реагувати на зміну параметрів мережі (шляхом підбору найбільш інформативного їх співвідношення) та обробку інформації, яка надходить від сенсорів контролю параметрів МОПС, зокрема активного опору полюсів мережі відносно «землі».

Тривалим зменшенням опору ізоляції полюса мережі оперативного постійного струму передують короткочасні зменшення цього опору.

Короткочасні зменшення опору полюса відносно землі до 100 кОм і менше можуть бути ознакою стійкого зменшення цього опору до 20 кОм і менше в майбутньому.

Якщо кількість короткочасних (менше 1 хвилини) зменшень опору полюса відносно землі до 100 кОм і менше буде не менше 3 разів на протязі не більше 6 годин, то імовірність прогнозування стійкого зменшення цього опору до 20 кОм і менше в майбутньому (на ранній стадії розвитку дефекту) буде найбільшою.

ДОДАТОК Ж

Захист мереж оперативного постійного струму

Мережі оперативного постійного струму напругою 220 В використовуються на електричних станція підстанціях напругою 110-150 кВ для живлення відповідальних споживачів таких як: релейний захист та автоматика, аварійне освітлення та ін. Ці мережі отримують живлення від акумуляторних батерей та зарядно-підзарядних агрегатів з використанням шаф постійного струму (рис. Ж.1).

Рисунок Ж.1 – Шафа оперативного постійного струму

Основними видами пошкоджень мереж ПС є однополюсні та між полюсні замкнення. Враховуючи відповідальність оперативного ПС під час однополюсних замкнень не рекомендується автоматично відключати лінії та споживачів ПС тому захисти ПС в таких випадках працюють на сигнал вони попереджають експлуатуючий персонал про виникнення однополюсних замкнень. Також функцію сигналізації виконує реле напруги пристрою РН – 52 пристрою контроля ізоляції ПКІ–1. Після отримання сигналу від пристрою ПКІ–1 оперативний персонал має на протязі 8 годин знайти і ліквідувати замкнення інакше аварійна ситуація прирівнюється до відмови другого

ступеня. Робота мереж оперативного ПС в режимі однополюсного замкнення знижує надійність релейного захисту, викликаючи його помилкові спрацьовування, та електричної підстанції в цілому. Однак відомо що не усуненні однополюсні короткі замкнення призводять до міжполюсних замкнень.

Для захисту від міжполюсних замкнень використовуються автоматичні запобіжники та автоматичні вимикачі на напругу 220В постійного струму. Ці автоматичні вимикачі бувають двох типів однополюсні (рис. Ж.2) та двополюсні (рис. Ж.3). Вони мають як електромагнітний розчеплювач з мінімальною витримкою часу спрацьовування та тепловий розчеплювач. Тому в залежності від задач вимикачі реалізують незалежну захисну характеристику, зворотню струмо-залежну характеристику та комбіновану захисну характеристику.

Рисунок Ж.2 – Двополюсні автоматичні вимикачі постійного струму

Таблиця Ж.1 – Параметри двополюсного вимикача

Параметри
Серія: ETIMAT 10 DC
Виконання: Модульний
Розчіплювач: Тепловий, Електромагнітний
Тип пристрою: Автоматичний вимикач
Підключення: 1 — фаза
Кількість полюсів: 2
Характеристика відключення: C
Номінальний струм, А: 63

продовження таблиці Ж.1

Максимальний струм короткого замикання: 6 kA
Тип монтажу: DIN-рейка
Тип робочої напруги: DC (постійний струм)
Робоча напруга, V: 440
Можливість використання сполучної шини: Так
Тип сумісної з'єднувальної шини: FORK (вилка)
Можливість монтажу додаткового приладдя: Так
Комплектуючі: Автомат
Розмір на din-рейці: 2 модуля

Рисунок Ж.3 – Однополюсні автоматичні вимикачі постійного струму

Таблиця Ж.2 – Параметри однополюсного вимикача

Параметри
• Пропозиція: Standart, Professional, Industry
• Серія: ETIMAT 10 DC
• Виконання: Модульний
• Розчіплювач: Тепловий, Електромагнітний
• Тип пристрою: Автоматичний вимикач
• Підключення: 1 — фаза
• Кількість полюсів: 1
• Характеристика відключення: C