

ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Бондарчук Вадим Васильович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування функціонування та розробка принципової схеми управління
релейним захистом
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

Бондарчук В. В.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Журавльов Валерій Пилипович
(прізвище, ім'я, по батькові)
д.ф-м.н., професор кафедри вищої
та прикладної математики
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Бондарчук В. В. Обґрунтування функціонування та розробка принципової схеми управління релейним захистом. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка адаптивної інформаційно-керуючої системи релейного захисту повітряних ліній електропередачі з автоматичною корекцією впливу зовнішніх факторів на уставку.

Предмет дослідження. Системи релейного захисту та автоматики повітряних ліній електропередачі з адаптацією до зовнішніх факторів.

Ключові слова: релейний захист, система управління, модернізація.

ABSTRACT

Bondarchuk V. V. Justification of the functioning and development of the basic control scheme of relay protection. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The goal of the qualification work is the development of an adaptive information and control system for the relay protection of overhead power lines with automatic correction of the influence of external factors on the set point.

Subject of study. Systems of relay protection and automation of overhead power lines with adaptation to external factors.

Keywords: relay protection, control system, modernization.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ	7
1.1 Аналіз причин неправильного функціонування пристроїв релейний захисту і автоматики	8
1.2 Огляд сучасних мікропроцесорних терміналів релейного захисту і автоматики СЕП	12
1.3 Огляд алгоритмів функціонування керуючих систем захисту, які володіють підвищеною чутливістю	17
Висновки по розділу 1	20
РОЗДІЛ 2 ФУНКЦІОНАЛЬНА І ПРИНЦИПАЛЬНА СХЕМА АДАПТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ	22
2.1 Функціональна блок-схема релейного захисту з автоматичною корекцією струму уставки	23
2.2 Принципова схема системи релейний захисту	27
Висновки по розділу 2	31
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ІЗ БЛОКОМ КОРЕКЦІЇ	33
3.1 Захист в мережах 6 – 35 кВ з ізольовані нейтраллю	33
3.2 Захист у мережах 110 кВ та вище з ефективно-заземленою нейтраллю	34
Висновки по розділу 3	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46

ВСТУП

Актуальність теми роботи. У другій половині 20 століття зростання промислового та сільськогосподарського виробництва зумовило бурхливий розвиток електроенергетичного комплексу, будувалися великі гідро-і теплоелектростанції, широко поширювалася атомна енергетика, збільшувалася довжина ліній електропередачі, ускладнювалася конфігурація мереж. На початку 90-х років стався спад економіки в Україні, у результаті, знизилася споживання і вироблення електроенергії, припинилося будівництво нових електроенергетичних об'єктів і практично призупинилося модернізація і реконструкція існуючих. У результаті збільшилася кількість аварій на об'єктах і відмов спрацьовування пристроїв релейного захисту та автоматики систем електропостачання. В даний час ситуація змінюється на краще, в електроенергетичних підприємствах виробляють модернізацію обладнання та систем захисту, але даний процес йде повільно, тому за даними НЕК «Укренерго» все ще залишається значна кількість одиниць застарілого та зношеного обладнання, близько 55% . Частка відмов реле через їхнє старіння – близько 34% від усіх випадків відмови [15]. На сьогоднішній день, широкими кроками йде розвиток пристроїв релейного захисту та автоматики, на зміну електромеханічним реле приходять мікропроцесорні термінали захистів. Пропонується великий вибір терміналів РЗА іноземних фірм (ABB, ЗАТ Шнайдер-електрик та ін). Пристрої РЗА мають не тільки функції захисту, але й додаткові, такі як визначення місця пошкодження, запис осцилограм аварійних ситуацій, контроль параметрів мережі і т.д., закладеними виробниками, на відміну від попередників мікропроцесорні термінали мають високу точність в установці параметрів захисту. Але, незважаючи на цей пристрій РЗ досі, можуть спрацьовувати «хибно», або «зайве» або «не спрацьовати». Причина такої поведінки мікропроцесорних терміналів полягає у не врахуванні зовнішніх факторів, що впливають на ПЛЕП, у зв'язку з чим за певних умов похибка може перевищувати нормоване 5% значення, розраховане лише для нормальних погодних умов.

Параметри повітряних ліній електропередачі використовуються алгоритмами багатьох пристроїв релейного захисту та автоматики, правильне їх визначення необхідне для забезпечення коректного функціонування систем релейного захисту та автоматики. При визначенні поздовжніх і поперечних параметрів ВЛЕП використовують усереднені дані, такі як провідність ґрунту, фізичні властивості провідників, атмосферні умови і геометричне розташування фазних провідників щодо поверхні землі та один одного, які приймаються незмінними. УРЗА можуть функціонувати некоректно (спрацювати хибно або зайво, або не правильно визначити відстань до місця пошкодження), якщо їх уставки не відображають реального стану контрольованої ВЛЕП. Актуальним є уточнення параметрів повітряних ліній електропередачі для правильного визначення уставок релейного захисту із застосуванням імітаційних моделей.

Система релейного захисту розпізнає аварійні ситуації в електричних системах, а мікропроцесорні засоби захисту стають все більш інтелектуальними, що виявляють здатність до адаптації та навчання. Але досі часто зустрічається проблема того, що деякі пошкодження система релейного захисту не виявляє через брак отриманих даних, відсутності можливості адаптуватися під змінні зовнішні умови, або не вірного визначення місця короткого замикання.

Об'єкт дослідження. Повітряні лінії електропередачі напругою 35 - 500 кВ та системи релейного захисту та автоматики.

Предмет дослідження. Системи релейного захисту та автоматики повітряних ліній електропередачі з адаптацією до зовнішніх факторів.

Мета роботи. Розробка адаптивної інформаційно-керуючої системи релейного захисту повітряних ліній електропередачі з автоматичною корекцією впливу зовнішніх факторів на уставку.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено такі завдання дослідження:

Завдання:

1. Провести аналіз недостовірності реєстрації аварійних режимів існуючих систем релейного захисту.
2. Розробити методику автоматичної корекції струму уставки системи релейного захисту.
3. Розробити функціональну блок-схему релейного захисту, що враховує зміну кліматичних факторів і відстань до місця аварії.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Гуцал С. Г., Бондарчук В.В. РОЗРАХУНОК УСТАНОВОК МАКСИМАЛЬНИХ СТРУМОВИХ ЗАХИСТІВ ВІД МІЖФАЗНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ

Матеріали VII Міжнародна науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи» 15-17 листопада 2023 року. Житомир: Поліський національний університет, 2023.- С 47-49.

Гуцал С. Г., Бондарчук В.В. ЗАХИСТ ВІД ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 6-35 кВ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023». 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023.- С 106-108.

Бондарчук В. В АНАЛІЗ ПРИЧИН НЕПРАВИЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИСТРОЇВ РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТУ І АВТОМАТИКИ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2023» 25 жовтня 2023 року. Житомир: Поліський національний університет, 2023.- С 72-73.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ

Основним завданням енергетики є надійне транспортування електричної енергії споживачам за допомогою ліній електропередачі та трансформаторних підстанцій. Пошкодження на лініях значно знижують їх надійність. Ушкодження ізоляції залишається найпоширенішою причиною коротких замикань, які необхідно миттєво локалізувати, шляхом відключення пошкодженої лінії. Завдання контролю параметрів ліній електропередач виконує система релейний захисту.

Коротким замиканням в електричній мережі називається всяке не передбачене нормальним режимом роботи замикання між двома фазами, а в мережах, що працюють з глухозаземленою нейтраллю, також замикання однієї або двох фаз на землю або на нульовий провід, якщо мережа чотирьохпровідна. В електричних мережах, що працюють із ізольованою нейтраллю або нейтраллю, заземленою через компенсуючі пристрої, замикання однієї фази на землю називається «однофазним замиканням на землю». Значення струму при цьому виді пошкодження визначається сумарною ємнісною провідністю мережі.

Оскільки трифазне коротке замикання є строго симетричним аварійним режимом всі розрахунки виконуються для однієї фази. При несиметричних КЗ струми та напруги окремих фаз мають різні значення і несиметричні по фазах, вони називаються «поперечною несиметрією».

Крім коротких замикань в електричних мережах можливі й інші види ушкоджень, тобто. неповнофазні режими («подовжні несиметрії»). Це обриви однієї чи двох фаз, що може бути під час роботи лінії електропередачі в циклі автоматичного повторного включення при обриві проводів під час коротких замикань, невключення фаз вимикачем та ін. Неповнофазні режими можуть виникати в одній або кількох точках одночасно.

Крім того, у процесі короткого замикання можливі складніші види ушкоджень. До них відносяться одночасні несиметричні КЗ одній або кількох

точках мережі з обривом проводів («складні пошкодження»).

Імовірність коротких замикань в електричних мережах вище 110 кВ розподілено наступним чином:

- трифазне КЗ - 5%;
- двофазне КЗ - 10%;
- двофазне на землю - 20%;
- однофазне - 65%; [6]

У мережах 35 кВ основним видом ушкодження є однофазні замикання на землю, що переходять у двофазні короткі замикання (80%) при неправильному функціонуванні системи захисту.

Внаслідок тяжких наслідків КЗ, таких як зниження напруги в значній частині електроенергетичної системи, руйнування пошкодженого обладнання під дією електричної дуги, руйнування електрообладнання внаслідок термічної та динамічної дії струмів КЗ, порушення стійкості електроенергетичної системи, системи релейного захисту повинні функціонувати не тільки надійно, але й відчутно. що до всіх видів ушкоджень.

1.1 Аналіз причин неправильного функціонування пристроїв релейний захисту і автоматики

У другій половині 20 століття зростання промислового та сільськогосподарського виробництва зумовив бурхливий розвиток електроенергетичного комплексу, на початку 90-х років стався спад економіки у всій країні, в результаті, знизилася споживання та вироблення електроенергії, припинилося будівництво нових електроенергетичних об'єктів і практично призупинилося модернізація та реконструкція існуючих. У результаті збільшилось число аварій на об'єктах і відмов спрацьовування пристроїв релейного захисту та автоматики СЕС. У наш час ситуація змінюється на краще, робляться кроки з перекладу вітчизняної енергетики на шлях інноваційного та енергоефективного розвитку. Тим не менш, у вітчизняній електроенергетичній системі залишається висока частка

зношеного, морально застарілого обладнання[6].

Таблиця 1.1 - Відсоток електромеханічних та мікропроцесорних терміналів в електромереж різного напруги

	У мережах 330 - 750 кВ		У мережах 110 - 220	
	2019 р	2009 р	2019 р	2009 р
Мікропроцесорних пристроїв РЗіА	43,5%	15%	29,1%	6%
Електромеханічні пристроїв	47,4%	74%	65%	86%

Частка відмов реле через їхнє старіння – близько 34% від усіх випадків відмови. У таблиці 1.1 представлені дані щодо спрацювання пристроїв релейного захисту та автоматики, з якої випливає, що пристрої РЗА функціонують не завжди коректно, пов'язано це з різними причинами, найбільша кількість неправильного функціонування припадає безпосередньо на пристрої РЗ біля 391 випадків [11].

Таблиця 1.1 - Робота пристроїв РЗА

Вигляд пристроїв	Кількість влаштувань, шт	Випадки роботи «правильно»	Випадки роботи «неправильно», в тому числі:				Випадки роботи «не з'ясовано»
			Усього	«хибно»	«зайве»	«відмови»	
1	2	3	4	5	6	7	8
Релейний захист	254371	30298	391	186	168	37	6
Мережева автоматика	38896	12450	94	17	13	64	0
Противарійна автоматика	16636	7593	43	30	8	5	0
РАЗОМ(без обліку іншої електроавтоматики)	309903	50341	528	233	189	106	6
Технологічно-ська автоматика	274846	22180	8	6	1	1	0

РАЗОМ			536	239	190	107	6
-------	--	--	-----	-----	-----	-----	---

Для наочності аналізу випадків роботи пристроїв РЗА «неправильно» на рис. 1.1 представлені гістограми.

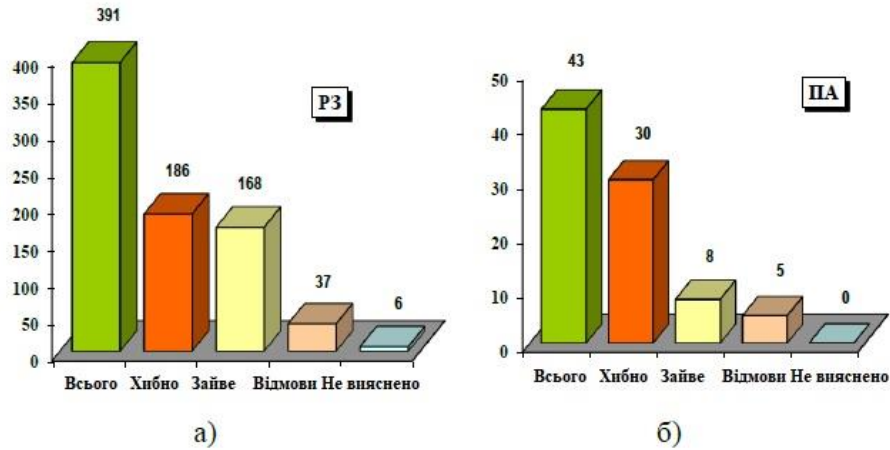


Рисунок 1.1 - Аналіз випадків роботи пристроїв РЗА «неправильно»

Причини «неправильною» роботи пристроїв РЗА представлені на рисунку 1.2 .

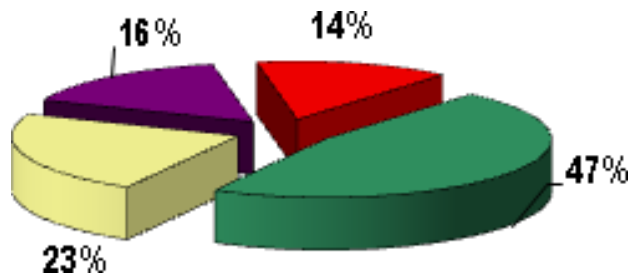


Рисунок 1.2 – Основні причини неправильної роботи пристроїв РЗА

47% - технічні причини - старіння обладнання

23% - неправильна робота знову введених пристроїв

16% - по не з'ясованим причин

14% - по причин, залежним від експлуатаційного персоналу [11].

Близько 30% «неправильної» роботи пристроїв РЗіА посідають помилки у визначенні уставок спрацьовування пристроїв і на причини, які не подаються поясненню. Отже, в цілях збільшення надійності функціонування пристроїв релейного захисту, необхідно провести аналіз щодо виявлення зовнішніх (ні ким не контрольованих на сьогоднішній день) факторів навколишнього середовища, що впливають на параметри спрацьовування захисту та визначити ступінь їх впливу.

Таблиця 1.2 – Організаційні причини неправильної роботи МП пристроїв РЗА по рокам [11]

Технічна причина-на рік	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Дефекти і несправності апаратури, %	25,6	24,4	26,9	33,3	30,3	35,1
Несправність ланцюгів, %	8,7	6,5	14,8	8,3	13,5	13,7
Помилки у схемах та уставках, %	15,5	11,0	11,2	14,4	10,9	10,8
Старіння пристроїв та контрольних кабелів, %	11,6	17,2	10,2	15,9	16,9	16,9
Помилки персоналу при операціях з комутацій-ними пристроями РЗА і помилки, приводячі до відключення при роботах на панелях в ланцюгах пристроїв РЗА, %	9,7	9,0	7,8	3,7	4,2	4,2
Порушення вимог директивних документів та інструкцій, %	2,8	1,5	0,7	2,1	4,5	1,9

Бурхливий розвиток інформаційних технологій, мікропроцесорної техніки призвело до розширення функцій та можливостей релейного захисту,

спростило експлуатацію терміналів, у зв'язку з цим світові концерни GE, AREVA (ALSTOM), ABB, SIEMENS взяли орієнтир на перехід від електромеханічної та мікроелектронної баз до цифрової. За технічними характеристиками, наприклад, за коефіцієнтом повернення ($k_v = 0,96-0,97$), апаратної похибки (2-5%), споживаної потужності (0,1-0,5 ВА) цифрові реле значно випереджають електромеханічні. На сьогоднішній день компанії виробники з України так само почали випускати мікропроцесорні термінали релейний захист.

Отже, актуальним завданням є розробка нових алгоритмів, що володіють адаптивними властивостями та побудованих, у тому числі з використанням можливостей сучасних комунікаційних технологій (цифрових каналів зв'язку, інформації від систем моніторингу перехідних процесів).

Отже, необхідно провести аналіз сучасних мікропроцесорних терміналів РЗА, які широко експлуатуються в енергосистемі по всій території України на можливість адаптації і вдосконалення відомих алгоритмів з урахуванням специфіки розподільчих мереж, в межах концепції розвитку релейного захисту та автоматики електромережного комплексу і тому для підвищення достовірності спрацьовування системи релейного захисту необхідно в систему ввести блок автоматичного коригування струму уставки.

1.2 Огляд сучасних мікропроцесорних терміналів релейного захисту і автоматики СЕП

Основним призначенням пристроїв релейний захисту є захист і автоматика розподільчих електромереж і споживачів, дані пристрої виготовляються на мікропроцесорній базі. Для реалізації функцій сигналізації і автоматики термінали оснащені дискретними входами та виходами, а також функцією самодіагностики, вбудованими для фіксації часу пошкодження та спрацьовування захисту. Мікропроцесорні пристрої застосовуються для захисту і автоматики ліній електропередачі, трансформаторів, синхронних та асинхронних двигунів, реакторів та ін.

- 1) мікропроцесорні термінали фірми «Schneider electric» серії Sepam[10].

Французька фірма «Schneider electric» випускає два типи терміналів: Seram 2000 - це універсальний пристрій здатний забезпечити практично всі потреби в електричних захистах будь-яких об'єктів (рис.1.3);

Seram 1000+ - модифікований тип терміналу, ідучий на зміну попередника.



Рисунок 1.3 - Seram 2000 (S26, S36, S46)

Seram 2000 використовується для захисту певного об'єкта: підстанції, збірних шин, трансформаторів, двигунів, генераторів, конденсаторів і т.д.

Термінал представляє собою електронний блок в металевому корпусі з заду, якого розташовані плати вводу-виводу, залежно від кількості необхідних плат для забезпечення функціонального навантаження. Існує три варіанти розміру корпусу. Особливістю даних терміналів є те, що на відміну від інших мікропроцесорних терміналів Seram 2000 універсальні, тобто можуть виконувати функції різних захистів, за рахунок використання програмованого контролера. Крім того пристрій Seram 2000 представляє спеціалізований програмований логічний контролер, тобто. блоки мають однаковий набір апаратних засобів можуть мати різне функціональне призначення. Завод виробник поставляє термінали зі стандартною програмою управління та сигналізації, але існує можливість написання

індивідуальних програм автоматики для адаптації до потреб конкретного споживача. Програмування для додавання нових функцій або зміни наявних, виробляється при допомозі програматора на мовою Logipram безпосередньо наоб'єкті. Безперечною перевагою пристрою є те, що за наявності кількох терміналів з однаковою апаратною частиною і різними функціями як резервний пристрій достатньо встановити лише один термінал, але з такою ж апаратною частиною і у разі поломки робочого блоку заміна на резервний проводиться шляхом вставки картриджа з неробочого блоку в резервний.

Seram 2000 забезпечений дисплеєм, що світиться, з великими позначеннями добре видимими при будь-кому вигляді освітлення і з великої відстані.

Для зміни або перегляду вставок необхідно окремо придбати виносний пульт TSM 2001, а інформація, що вводиться, захищається паролем. Також в даному пристрої присутня функція записи осцилограм, можливість технічного обліку електроенергії. Підключення провиводиться за допомогою клемників поєднаних з роз'ємами, тому є можливість демонтажу терміналу без з'єднувальних проводів. У свою чергу підключення струмових ланцюгів здійснюється за допомогою спеціального блоку, забезпечуючи можливість підключення та відключення струмових входів без розриву вторинних струмових ланцюгів ТС. Для підключення Seram 2000 до інформаційної системи управління та контролю необхідно окремо придбати плату зв'язку, зв'язок виготовляється по протоколу Jbus (різновид Modbus).

Seram 1000+ виробляються з 2001 у серіях 20, 40, 80 і відрізняються від попередника не тільки нижчою вартістю і меншою функціональністю, але за рахунок модульної побудови дозволяють комплектувати термінал відповідно конкретному приєднанню варіантів

Можливі кілька варіантів виконання панелі, що управляє: з індикаторними лампами або з ЖК-дисплеєм та клавіатурою, залежно від призначення. У першому випадку встановлення параметрів спрацьовування здійснюється через канал зв'язку, а в другому рідкокристалічний екран не

тільки інформує оперативний персонал про режими роботи елемента що захищається, але і здатний виставити уставку.



Рисунок 1.4 - Пристрій Seram 1000+ з інтегрованою панеллю управління

У даного терміналу існує можливість підлаштовуватися під конкретне підключення за рахунок установки додаткових модулів (рис.1.5).

За сферою застосування серії Seram 1000+ градуюються наступним чином: серія 20 використовується на об'єктах, де виникає потреба установки або струмових захистів, або захисту напруги; серія 40 – там одночасно необхідно застосовувати і струмові захисти та захисти по напрузі.

Пристрій Seram 1000+ має вільну логіку, що дає можливість адаптувати мікропроцесорний термінал під конкретного споживача. Для побудови логічних рівнянь використовується булева алгебра із заборонаю функцій АБО, НЕ, що дозволяє призначити сигнальну лампу, передати телесигнал, застосувати блокування і т.д.

Програма сама перевіряє синтаксис логічних рівнянь та супроводжується функцією «коментарів і підказок».

Пристрій Seram 1000+ серії 80 захищає об'єкти на вищому рівні напруги і відповідно застосовує більш складні захисти, ніж у попередніх серіях, має більшу кількість входів/виходів, забезпечені лічильником електроенергії та осцилографом.

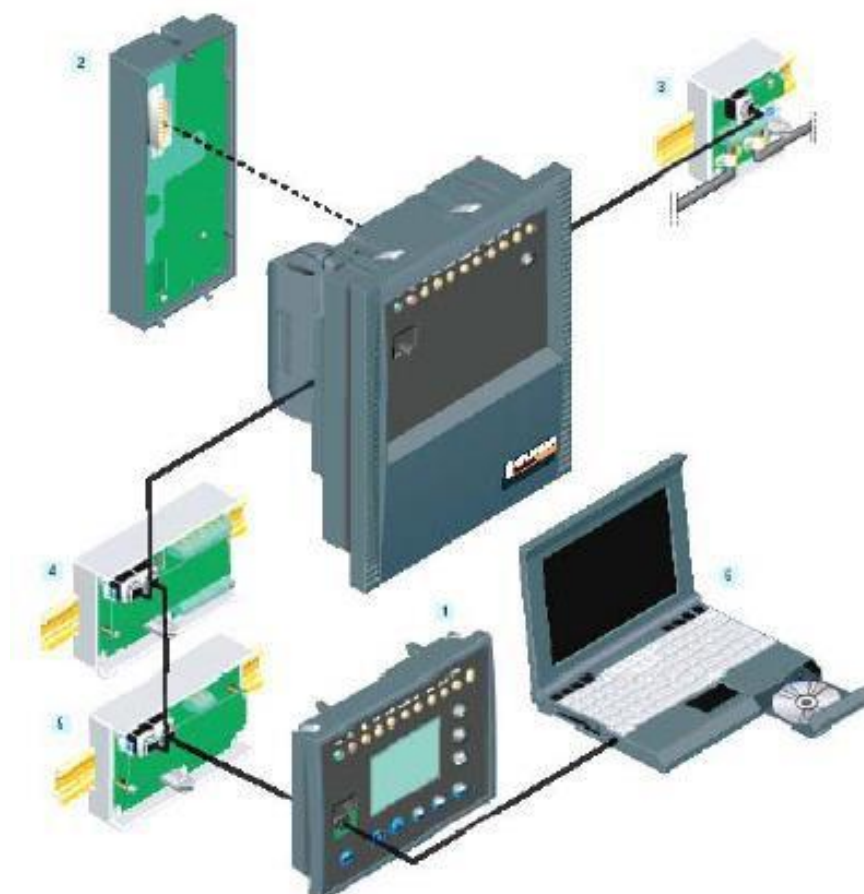


Рисунок 1.5 – Пристрій Seram 1000+ з додатковими модулями: входів/виходів, РК-дисплей, зв'язку, датчика температури, осцилограф аналогового виходу

2) термінали мікропроцесорних захистів фірми "Alstom"[5,10]

На ринках різних країн фірма "Alstom" працює близько 8 років, але пристрої випускає понад 70 років. Мікропроцесорні термінали адаптивані під Україну, вибір параметрів спрацьовування та перевірок повністю відповідає вимогам ПУЕ та ПТЕЕС.

Лінійка пристроїв захистів включає в себе 3 серії:

- MODULEX3 (рис. 1.6);
- МіCOM (рис.1.7)– має велику кількість функцій захисту та автоматики, а так а підвищеною точністю роботи;

– MODN - забезпечена розширеними можливостями управління вимикачем для спрощення схеми.



Рисунок 1.6 - Блок захисту серії MODULEX3

1.3 Огляд алгоритмів функціонування керуючих систем захисту, які володіють підвищеною чутливістю

Системи захистів, що володіють підвищеною чутливістю до коротких замикань можна класифікувати наступним чином [12]:

1. За кількістю параметрів, які система контролює.

а) однопараметричні - контроль здійснюється отриманням від датчика інформації одного сигналу.

б) багатопараметричні - проводиться контроль кількох параметрів, що надходять від датчиків інформації, в результаті даного технічного рішення, можливо, реалізувати більш досконалі алгоритми систем захисту з підвищеним коефіцієнтом чутливості.

2. За установкою системи захисту в енергосистемі

а) локальні – контрольні параметри безпосередньо у місці установки.

б) розподільчі – працюють узгоджено, контролюючи параметри енергомережі в точках установки, але при відмові будь-якого елемента системи можливий перехід в локальний режим роботи або повна відмова захистів.

3. За способом селекції аварійних режимів

а) застосування пасивних методів – система отримує інформацію від

встановлених трансформаторів струму, без застосування спеціального обладнання, у разі потреби між пристроями обміну даними використовуються прийомо-передавачі.

б) застосування активних способів - застосовується високовольтне обладнання, як правило, що виготовляється на замовлення і має високу вартість.

4. За типом завдання струму спрацьовування системи захисту (уставки)

а) з постійною уставкою – проводиться порівняння контрольованого параметра з виставленою заздалегідь уставкою, яка є фіксованою.

б) з адаптивною уставкою – проводиться аналіз поточного чи перехідного режиму електричної мережі та в залежності від її параметрів автоматично змінюється уставка системи захисту, що дозволяє підвищити чутливість захисту.

Порівняння переваг та недоліків технічних рішень захисту підвищеною чутливістю, дозволяє зробити висновок про перспективу застосування локальних адаптивних захистів.

Адаптацію систем захистів поділяють на два види:

1. Пряма адаптація - це зміна уставки спрацьовування релейного захисту під впливом початкових певних критеріїв.

2. Непряма адаптація відрізняється виміром контрольованих величин.

Існують розробки адаптивних захистів, які мають різні технічні і структурні рішення:

1. Адаптація уставки релейного захисту при зміні параметрів електромережі яка захищається за рахунок перебудови алгоритму роботи.

2. Адаптація уставки релейного захисту засобами зміни особистої характеристики.

Також деякі адаптивні захисту базуються на розроблених математичних моделях об'єктів, що захищаються, а деякі обходяться без них.

Патент [16] китайської фірми NARI описує реалізацію адаптивного

дистанційного захисту, при аварійному режимі розподіл напруги по лінії приймається рівномірним, захист спрацюватиме тільки при внутрішньому короткому замиканні, однак даний спосіб адаптації, можна, використовувати тільки на лініях без відгалужень.

Патент фірми АВВ описує спосіб завдання адаптивної полігонної характеристики спрацювання дистанційної захисту, дана характеристика змінюється за рахунок кута, який визначається різницею аргументів струму пошкодженої фази і аргументу струму зворотної послідовності. [17].

Також даною фірмою розроблена схема захисту, яка здатна збільшити характеристики дистанційного захисту дволанцюгової лінії, за рахунок запропонованого методу розрахунку струму компенсації залежно від стану паралельної лінії [18].

У патенті [19] представлена система, безперервно контролюю перетікання потужності і конфігурацію стану мережі, Адаптує дана система алгоритм захисту в залежності від конфігурації мережі.

У [20] адаптація полягає у зрушенні характеристик дистанційного захисту, ненаправлена характеристика, якої зміщується на ΔZ , здійснюючи компенсацію ефекту підживлення з віддаленого кінця лінії.

У патенті [21] американської фірми SEL характеристика захисту змінюється в залежно від напрямку потужності

Винахід, описаний у [20] являє собою реле яке захищає від замикань на землю, адаптації полягає в обліку режиму роботи енергомережі, перехідного опору в місці пошкодження та відбудови від гойдання.

У [16] китайської фірми NARI розроблено метод відбудови в режимі перевантаження від помилкових спрацювань, у разі фіксації перевантаження на лінії характеристика захисту змінює свій вигляд. В іншому патенті цієї ж фірми описаний алгоритм дистанційного захисту із застосуванням аварійних складових.

Також при використанні дистанційних захистів від однофазних замикань на землю в [22], роблять зміну нахилу частини характеристики

спрацьовування.

У [23] пропонується характеристика спрацьовування захисту, побудована за нелінійною функцією залежно від величини перехідного опору та місця ушкодження, використовується інформація в реальному часі для побудови функції.

Влаштування релейного захисту з адаптації параметрів за результатами спрацьовування [4] наведено на рисунку 1.7.

Особливістю даного пристрою є спрацювання захисту на збільшений струм замикання, за допомогою включення нейтралі через опір підбраного з умови зниження перенапруги в мережі, тим самим мим збільшуючи працездатність захисту нульової послідовності [20]. Так само у пристрої введений функціональний модуль що дозволяє, фіксувати та обчислювати показник неповноти замикання на землю та модуль адаптації параметрів спрацьовування [24].

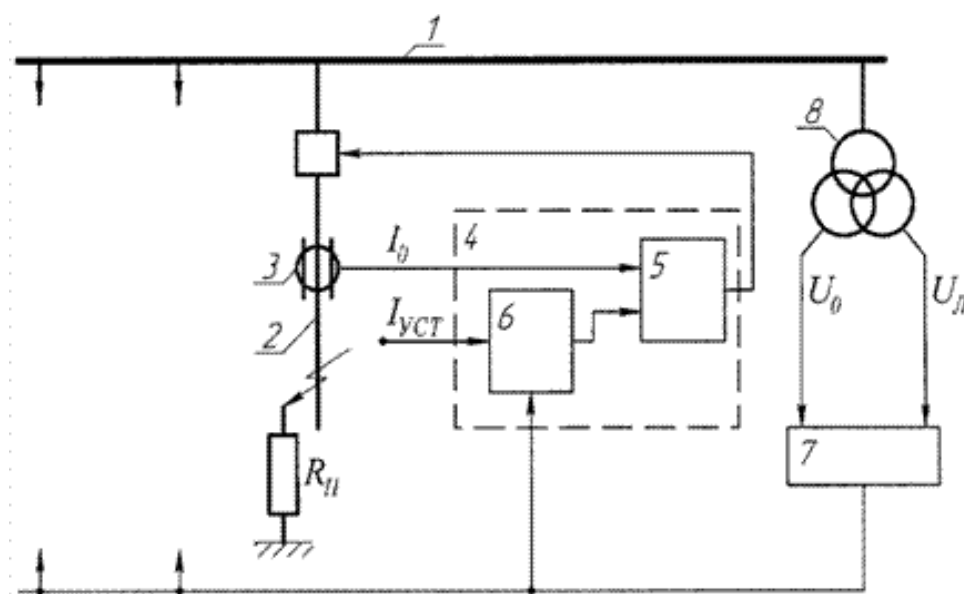


Рисунок 1.7 – Пристрій струмового захисту електричних мереж від однофазних замикань на землю 1 – секція шин, 2 – лінії, 3 – датчик струму нульовий послідовності, 4 - блок захисту, 5 – реле, 6 - блок корекції, 7 – функціональний модуль; 8 – трансформатор напруги.

Висновки по першому розділу

1. З проведеного аналізу аварійних режимів повітряних ліній електропередачі випливає, що окремим випадком є однофазне замикання на землю.

2. Найбільш складно реєструвати аварії в мережах із ізольованою нейтраллю, оскільки струм пошкодження відрізняється не настільки значно, від струму КЗ в мережах з глухо заземленою нейтраллю.

РОЗДІЛ 2

ФУНКЦІОНАЛЬНА І ПРИНЦИПАЛЬНА СХЕМА АДАПТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ РЕЛІЙНОГО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ

Проблеми, пов'язані з пристроями релейного захисту є одною з основних причин виникнення важких аварій, які періодично проходять в енергосистемах у всьому світі. За даними North American Electric Reliability Council у 74% випадків причиною важких аварій в енергосистемах були неправильні дії релейного захисту у процесі розвитку аварії, отже, від надійності релейного захисту багато в чому залежить надійність всієї енергосистеми [8].

Сучасні цифрові пристрої РЗА інтегрували в рамках єдиного інформаційного комплексу функції релейного захисту, автоматики, вимірювання, регулювання та керування електроустановкою. Такі пристрої в структурі автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) енергетичного об'єкта є закінченими пристроями збору інформації[8].

Більшість фірм виробників обладнання РЗА припиняють випуск електромеханічних реле та пристроїв і переходять на цифрову елементну основу. Перехід на нову елементну базу не призводить до зміни принципів релейного захисту та електроавтоматики, а тільки розширює її функціональні можливості, спрощує експлуатацію і знижує її кошторис. Саме по цим причин мікропроцесорні пристрої дуже швидко займають місце застарілих електромеханічних та мікроелектронних пристроїв[8].

Вище перелічені фактори, що зумовлюють необхідність розробки алгоритму функціонування релейного захисту ПЛ, що враховує зміни зовнішніх параметрів навколишнього середовища та адаптуючої автоматичної уставку, також пропонується для збільшення надійності спрацьовування та чутливості РЗ використовувати при розрахунку уставок струму короткого замикання, обумовлені за методом несиметричних

складових.

2.1 Функціональна блок-схема релейного захисту з автоматичною корекцією струму уставки

На основі проведених досліджень було розроблено пристрій інтелектуального струмового захисту електричних мереж від однофазних замикання на землю (рис. 2.1).

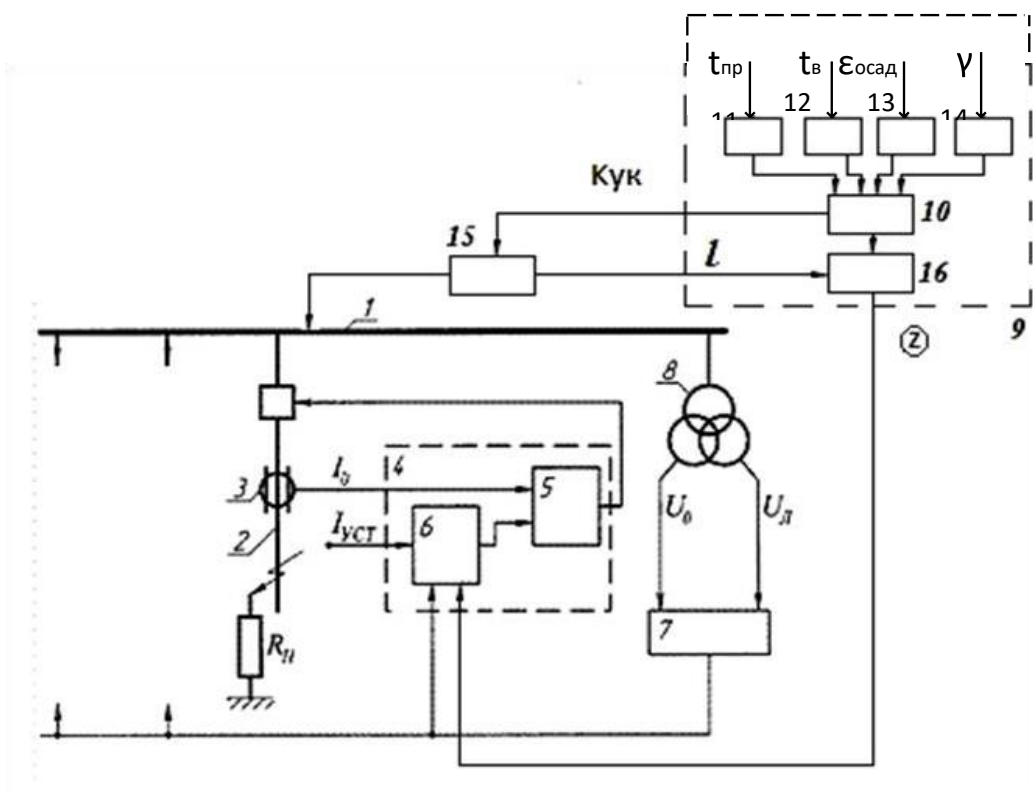


Рисунок 3.1 - Пристрій інтелектуального струмового захисту електричних мереж від однофазних замикань на землю

1 – секції шин; 2 – лінії; 3 – датчик струму нульової послідовності; 4 - блок захисту; 5 - орган релейний захисту; 6 - модуль автоматичної корекції уставки; 7 - модуль обчислення показника неповноти замикання на землю; 8 – трансформатор напруги; 9 – пристрій автоматичної корекції струму уставки; 10 – мікроконтролер; 11 - датчиків температури проводу; 12 – датчик температури повітря; 13 – датчик діелектричної проникності повітря; 14 - датчик питомої провідності землі; 15 - рефлектометр; 16 - мікроконтролер

У блоці 7 проводиться розрахунок неповноти замикання на землю шляхом знаходження відношення напруги зміщення нейтралі до фазної напруги і сигнал передається в модуль 6 для корекції уставки [9].

$$U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}}, \quad (2.1)$$

де $U_{л}$ - лінійне напруга мережі.

Підсумком операції обчислення на модулі 7 є значення показника неповноти замикання на землю:

$$n = \frac{U_0}{U_{\phi}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{U_{л}}, \quad (2.2)$$

де U_0 - Напруга зміщення нейтралі в мережі; $U_{л}$ - лінійна напруга мережі; U_{ϕ} - фазна напруга.

Пристрій 9 автоматичної корекції струму уставки, що обчислює значення опору ланцюга ОЗЗ лінії 2, включає кілька мікроконтролерів 10, 16, рефлектометр 15 та набір датчиків 11, 12, 13, 14. Мікроконтролер (МК)10 здійснює обробку інформації, що надходить від датчиків температури проводу 11, температури повітря 12, діелектричної проникності повітря 13 та питомої провідності землі 14, де за допомогою функціональних залежностей обчислює первинні параметри лінії R_0, L_0, C_0, G_0 , фазову швидкість V_{ϕ} та коефіцієнт укорочення $K_{ук}$.

За допомогою отриманих значень первинних параметрів лінії на рефлектометрі 15 відбувається обчислення скоригованої відстані від лінії 2 до місця аварії. Отримане значення відстані передається МК16, куди також надходять значення первинних параметрів, де відбувається обчислення значення опору ланцюга ОЗЗ. на модулі 6 автоматичної адаптивної корекції струму уставки реалізується операція поділу величини сигналу про струм нульової послідовності лінії I_0 на величину показника неповноти замикання на землю n [9]:

$$I_{0 \text{ скор}} = \frac{I_0}{n}, \quad (2.3)$$

де I_0 - струм нульової послідовності, n - показник неповноти замикання на землю. Отримане скориговане значення опору ланцюга передається також на модуль 6, де відбувається коригування на величину обчисленого опору.

У пропонованому пристрої перший МК 10 обчислює складні операції, яким потрібно більше часу для виконання і обробки в порівнянні з операціями другого МК 16, від роботи якого залежить швидкодія всієї системи. Тому використання двох мікроконтролерів дозволяє підвищити швидкість спрацьовування струмового захисту.

На рис.2.2 представлена докладніша структурна схема пристрою системи релейний захисту з адаптивний уставкою. ПС складається з функціонально закінчених блоків, взаємодія між якими виконується за допомогою мікропроцесорного модуля. Живлення всіх модулів здійснюється від вбудованого блоку живлення (БЖ).

Мікропроцесорний модуль приймає аналогові сигнали струму, напруги від блоку проміжних трансформаторів, а також від блоку передачі даних з підключеними до нього датчиками контролю стану довкілля (БПД). По загальній шині в цифровому вигляді МПБ здійснює прийом стану дискретних вхідних сигналів від блоку вхідних дискретних сигналів (БДВС), про стан кнопок управління від блоку індикації та управління (БІ), запити від системи верхнього рівня від блоку зв'язку (БЗ); видаються сигнали керування та сигналізації в блок вхідних реле (БВР), сигнали світлодіодної сигналізації в блок індикації та управління та відповіді на запит системи верхнього рівня в блок зв'язку; обмін інформацією по послідовному каналу із системою верхнього рівня через блок зв'язку. Прийом та видача зовнішніх сигналів здійснюється відповідно до алгоритму прикладного та системного програмного забезпечення мікропроцесорного модуля.

Мікропроцесорний блок (МПБ) здійснює обробку інформації від датчиків струму (ДС) і тих, що надходять через блок передачі даних (БПД)

від датчиків температури проводу (ДТП), температури повітря (ДТП), діелектричної проникності повітряного середовища (ДППС) і питомої провідності землі (ДППЗ).

Блок МПБ за допомогою функціональних залежностей обчислює первинні параметри лінії, фазову швидкість V_{ϕ} . За допомогою отриманого значення фазової швидкості V_{ϕ} рефлектометр (Р) здійснює обчислення відстані до місця аварії. Отримане значення відстані від рефлектометра Р передається на МПБ, де за значеннями первинних параметрів і значенню відстані до місця аварії обчислюються значення опору ланцюга короткого замикання лінії та значення уставки. Крім того, за допомогою рефлектометра здійснюється моніторинг ожеледі відкладеної на проводах. Це зумовлено тим, що відкладення ожеледі впливає на діелектричну проникність ϵ середовища між проводами лінії. При цьому збільшується ємність між проводами C , що тягне зменшення хвильового опору лінії та зменшення швидкості поширення сигналу по лінії. При цьому збільшується згасання амплітуди сигналу через зростання втрат у діелектрику (ожеледні відкладення). За відображеними сигналами від реперних точок, розташованих по лінії на відомій відстані, визначається товщина ожеледної муфти і ємність C , по якій коригується фазова швидкість імпульсів в лінії.

Необхідно відзначити, що інформація про зовнішні погодні фактори змінюється дещо повільно та відповідно рідше коригується. Ця інформація знаходиться у пам'яті мікропроцесорної системи. При реєстрації аварії рефлектометром по значенням часу повернення відбитого імпульсу і значення фазової швидкості, що знаходиться в пам'яті, визначається довжина ланцюга короткого замикання і коригується струм уставки.

Світлодіод зеленого свічення $U_{\text{жив}}$ на лицьовій панелі БІ сигналізує про нормальну роботу блоку живлення. БЖ має декілька видів вбудованих захистів (іідсікання, перевантаження і т.д.).

Блок трансформаторів забезпечує гальванічну розв'язку і масштабування вхідних сигналів від вимірювальних ТС і ТН до рівня, необхідного

аналогово-цифрової частини МСЛ.

Блок дискретних вхідних сигналів забезпечує прийом гальванічно ізольованих один від одного дискретних вхідних сигналів постійного або змінного струму. При необхідності живлення дискретних вхідних сигналів можна об'єднувати, наприклад, безпосередньо на роз'ємному клемному з'єднувачі.

Блок вихідних реле здійснює управління вихідними реле, котрі забезпечені одним перемикаючим контактом.

Мікропроцесорний блок обробляє вхідні сигнали та формує керуючий вплив по шині.

Для керування пристроєм та відображення оперативної інформації і налаштувань служить БІ.

Блок зовнішніх інтерфейсів (БЗІ) служить для обміну інформацією між мікропроцесорним терміналом і комп'ютером по послідовному каналу зв'язку.

Висновки для підключення зовнішніх ланцюгів послідовного каналу RS-485 з'єднані з клемним з'єднувачем блоку живлення пристрої.

2.2 Принципова схема системи релейний захисту

Вимірювально-керуюча система релейного захисту з адаптивною уставкою повітряної лінії електропередачі представлена на рис. 2.3.

Головна підсистема складається з приймаючого модему та комп'ютера диспетчера з встановленим програмним забезпеченням. Периферійна підсистема складається з постів вимірювання та передачі.

Пости вимірювання планується встановлювати на опорах повітряних ліній, вибір місця ґрунтується на топографії проходження лінії електро-передачі, в місцях найбільш схильних до ожеледиці і на неоднорідних рельєфах ґрунту, за основу беруться багаторічний досвід експлуатації ПЛ.

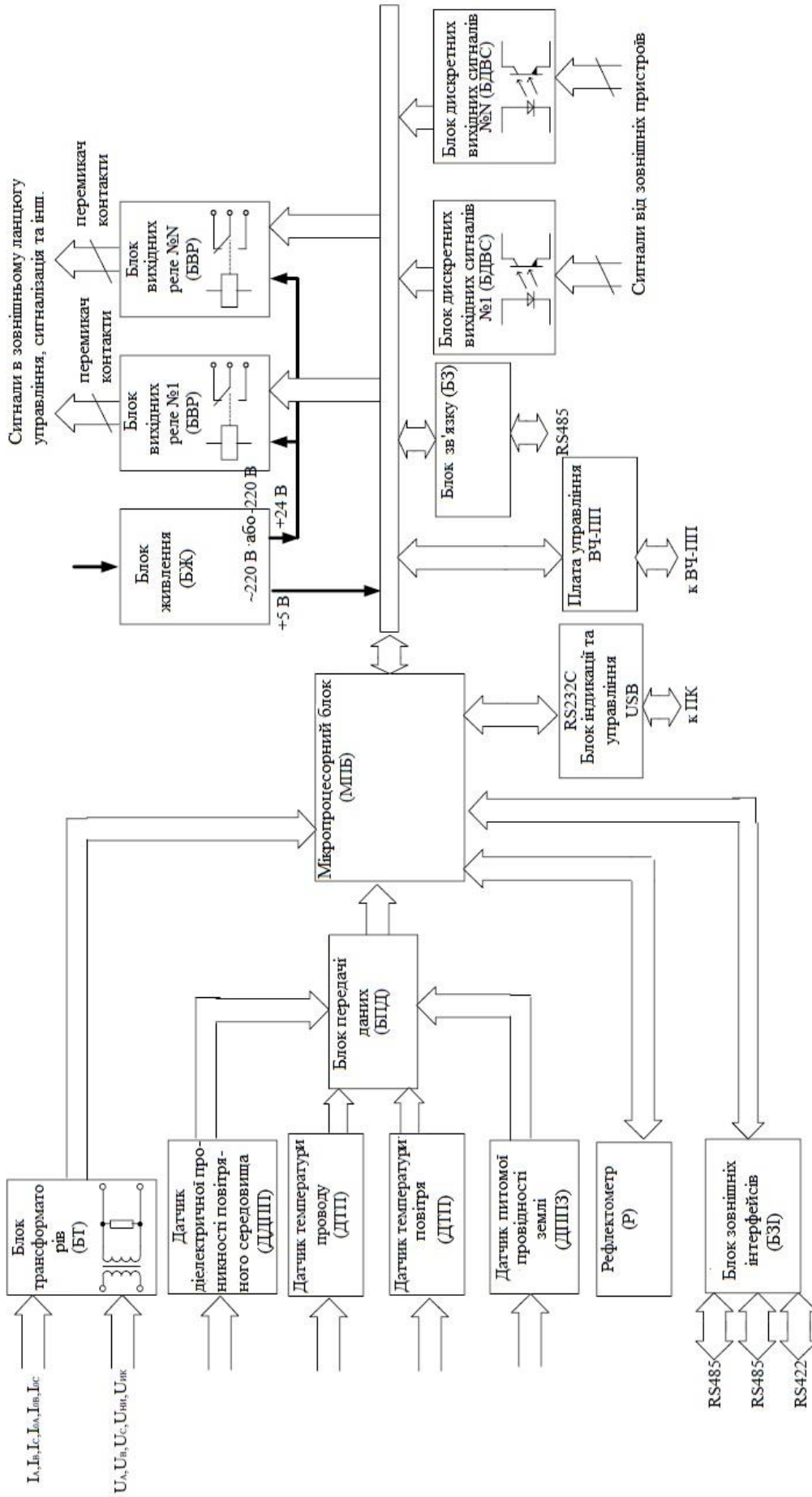


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи релейного мікропроцесорного захисту з адаптивною уставкою від міжфазних коротких замикань

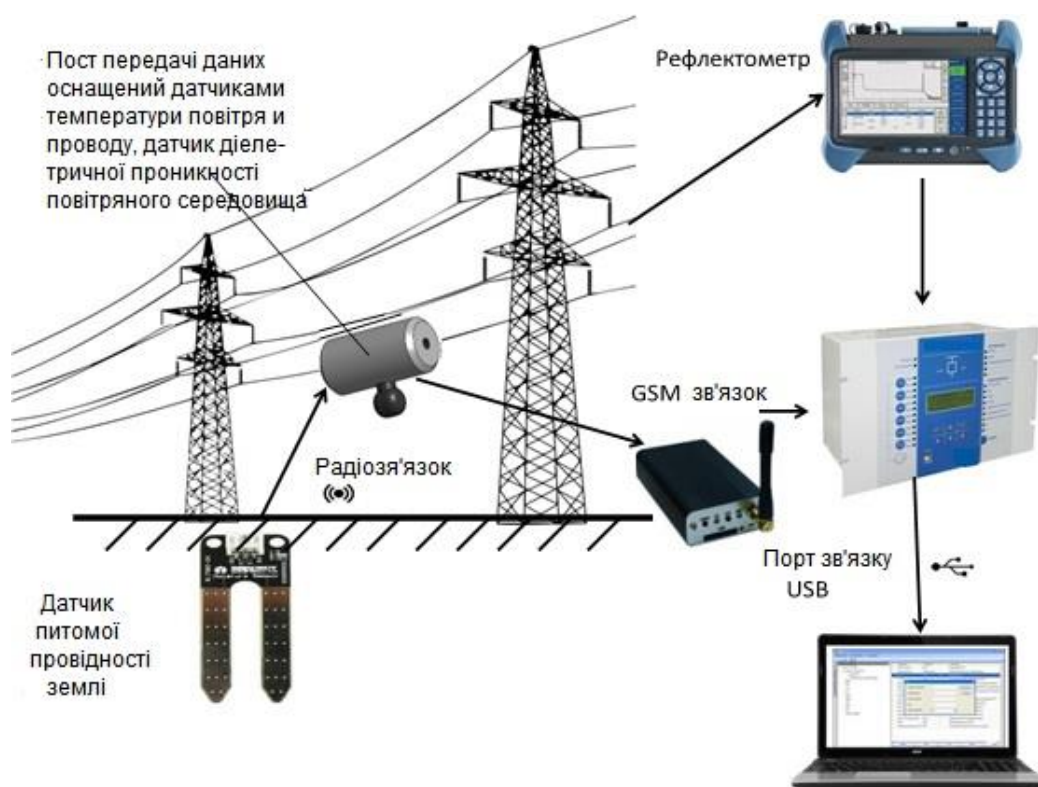


Рисунок 2.3 – Принципова схема системи релейного захисту з адаптивною уставкою, що дозволяє контролювати параметри навколишнього середовища

Пост вимірювання складається з трьох гальванічно не пов'язаних частин з забезпеченням роздільного живлення: одна з них (модуль вимірювання температури проводу) кріпиться до проводу, друга розташовується на тілі опори, третя знаходиться в ґрунті біля опори, безпосередньо під повітряною лінією електропередач.

Реалізацію передбачається проводити на елементах що випускаються і блоках, що дозволить прискорити процес впровадження системи релейного захисту електричної мережі.

Перша частина системи реалізується на блоках автоматизованої системи виявлення ожеледиці на ПЛ ASTROSE. Дана система здійснює моніторинг льодової, снігової, і вітрового навантаження ЛЕП, а також контроль допустимого струмового навантаження проводу.

Модулі встановлюються на проводах переважно близько траверс опор в

межах одного прольоту та розташовуються на відстані 500м один від одного.

Система ASTROSE дозволяє контролювати температуру дроту ПЛЕП, кут його провисання, величину струму, вібрацію проводу [4].

Вимірювання та передача даних відбувається кожні 15 хвилин/10 секунд, радіопередача даних функціонує на частоті, що не ліцензується, 2.4 ГГц, дані вимірювань, передаються бездротовою мережею від модуля до модуля до кінцевого пункту в вигляді приймальні базовий станції.

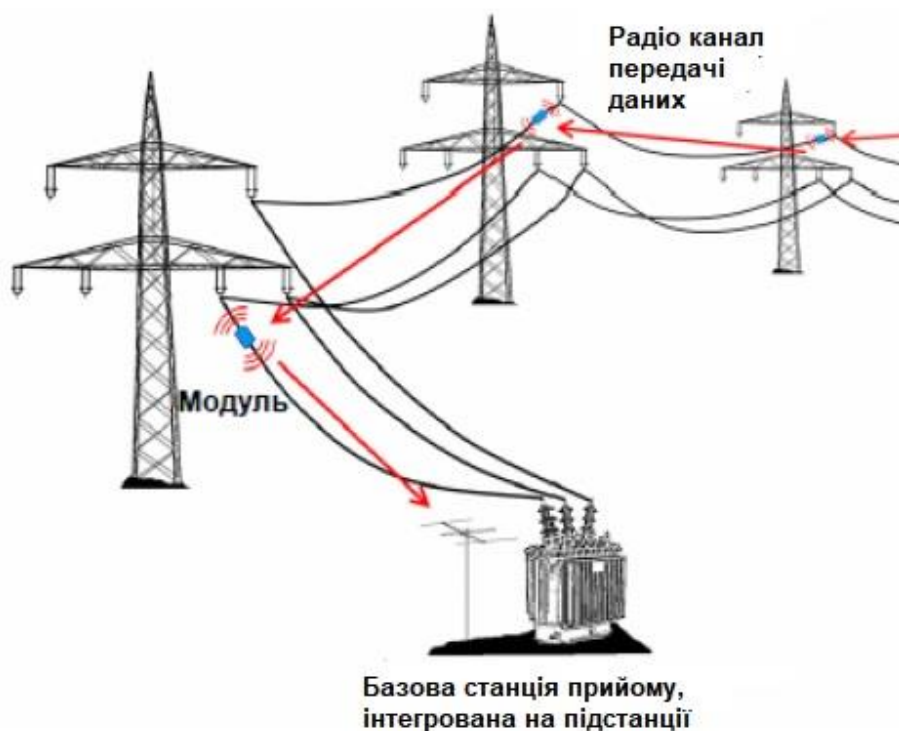


Рисунок 2.4 - Принцип роботи система ASTROSE

Для контролю вологості та температури навколишнього середовища застосовують-ється мікропроцесорний датчик ДВТ-02М, виробництва ГК Теплоприлад. Призначений для використання там, де у повітрі можуть бути присутніми агресивні речовини, а також можлива короткочасна конденсація вологи.

Датчики вологості забезпечений новим чутливим елементом вологості з кращою тимчасовою стабільністю, з доглядом параметрів - не більше $\pm 1,2\%$ відносної вологості в рік при 50% відносної вологості; допускається

короткочасна робота датчика вологості при температурі +100 ° С;

Третьою частиною є бездротовий цифровий датчик питомої провідності PASCO, виробництва компанії Zeltix, м. Харків.

Особливості:

Пост у використанні: швидко підключається без зайвих проводів та додаткових інтерфейсів;

Періодичність вимірювань, що налаштовується: вивчення найменших змін даних, а також можливість проводити вимірювання протягом кількох годин, днів або місяців;

Батарея з тривалим терміном служби;

Автономний збір даних: дані записуються безпосередньо в пам'ять датчика при проведенні довгострокових досліджень;

Високий ступінь захисту: корпус датчика захищений від пилу, потрапляння твердих речовин та вологи можливе проведення досліджень під водою на глибині до 1 метр в протягом 30 хвилин;

Для визначення місця пошкодження використовується мультифункціональний оптичний рефлектометр NK6000-SM1 для силових ліній [14].

Рефлектометр також служить для визначення ожеледиці ПЛ. При пропусканні імпульсу по проводу з ожеледицею він змінюється за рахунок збільшення ємності ПЛ і зменшення хвильового опору, так само з'являється запізнення імпульсного сигналу та зменшення амплітуди, за цими параметрами можна судити про появу ожеледиці на повітряній лінії.

Висновки по другому розділу

1. За результатами аналізу функцій впливу зовнішніх факторів на струми короткого замикання повітряних ліній електропередачі розроблена функціональна блок-схема релейного захисту з автоматичною корекцією струму уставки, яка дозволяє підвищити достовірність спрацьовування релейного захисту.

2. На основі функціональної блок-схеми спроектована принципова схема системи релейного захисту, реалізована на елементах що випускаються та блоках, що дозволить прискорити процес впровадження системи релейного захисту в електричній мережі.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ІЗ БЛОКОМ КОРЕКЦІЇ

3.1 Захист в мережах 6 – 35 кВ з ізольовані нейтраллю

Характер заземлення нейтралі у мережах 6-35 кВ впливає на перехідні процеси, усталені режими та надійність електропостачання при однофазних замикань на землю.

При однофазних замикання на землю значення струму різко не збільшується, і тому під час роботи мережі із ізольованою нейтраллю релейний захист не здійснює відключення пошкодженого елемент. При цьому напруга збільшується до лінійної і з'являється можливість утворення переміжних дуг та переходу однофазного замикання у двофазне коротке замикання. Імовірність обтяження аварійного режиму роботи мережі характеризується величиною струму, що проходить від місця замикання в землю і якщо його величина вище нормованого значення, то для компенсації емнісного струму застосовують дугогасні реактори. Отже, робочі струми, проходять по проводу повітряної лінії електропередачі, будуть більше нормованих емнісних струмів ушкодження, тому релейний захист підключається до трансформаторів струму у фільтр нульової послідовності. Релейний захист спрацьовуватиме при проходженні по обмотці реле струму нульової послідовності всієї електрично зв'язаної мережі за винятком емнісного струму ділянки де сталося ушкодження.

Умова відбудови захисту[1]:

$$I_{сз} = k_n I_{сл} \quad (3.1)$$

де k_n - коефіцієнт надійності, враховує кидок емнісного струму; при виконанні захистів без витримок часу $k_n = 4 \div 5$, з витримкою часу $k_n = 2 \div 2,5 I_{сл}$ – емнісний струм лінії[1]:

$$I_{сл} = 3U_0 \omega C_l \quad (3.2)$$

де C_l – ємність фази цієї лінії щодо землі; U_0 - напруга нульової послідовності (при металевому КЗ $U_0 = U_\phi$).

Згідно з виразами (3.1) та (3.2) проведемо аналіз впливу зміни ємнісної провідності нульової послідовності лінії на струм спрацювання захисту нульовий послідовності (рис. 3.1).

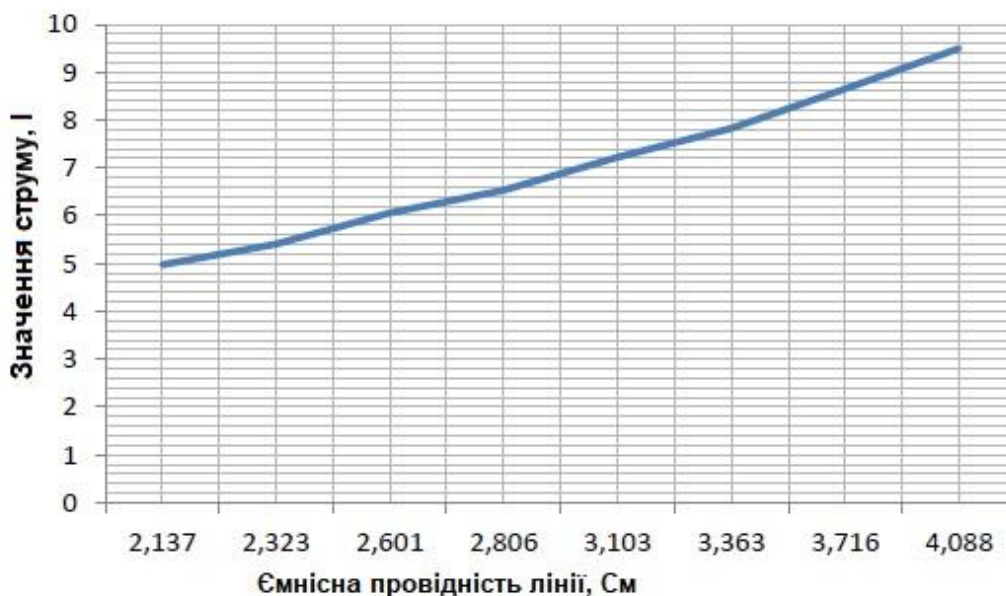


Рисунок 3.1 – Залежність струму спрацювання нульової послідовності від зміни ємнісної провідності при різній щільності мокрого снігу

З рис. 3.1 слідує, що величина струму спрацювання захисту змінюється приблизно в 2 рази в залежності від ємнісної провідності (довжина лінії прийнята 30 км), через не врахування даного параметра не надається можливим відбудувати захист із виконанням вимоги чутливості. Так як для забезпечення необхідного коефіцієнта чутливості $k_{\text{ч}} = 1,5$ в гіршому випадку ($k_{\text{н}} = 5$) мінімальний сумарний ємнісний струм повинен перевищувати власний струм лінії, що захищається не менше ніж у 8,5 разів. Це умова не завжди виконується [2].

3.2 Захист у мережах 110 кВ та вище з ефективно-заземленою нейтраллю

3.2.1 Основна захист

Для установки на пристрої релейного захисту вибирається найбільший

струм спрацьовування визначений виходячи з чотирьох умов (табл. 3.1). Так розрахунки проводяться в момент проектування системи релейного захисту і далі в процесі експлуатації за умови незмінності конфігурації мережі, навіть у сучасних пристроях мікропроцесорної релейного захисту не змінюються на всьому протязі терміну експлуатації.

Таблиця 3.1 - Розрахунок струму спрацьовування струмового відсічення заснований на традиційному порядку розрахунку уставок релейних захистів

№ п/п	Умови відбудови
1	$I_{сз} = \frac{k_{від}}{k_6} \cdot I_{н.макс}$
2	$I_{сз} = k_{від} \cdot I_{кз.макс.вн}$
3	$I_{сз} = k_{від} \cdot I_{кз.макс.тр}$
4	$I_{сз} = (4 \div 5) \cdot I_{\Sigma ном . тр}$

Зробимо аналіз зміни струму спрацьовування захисту з огляду на зміну активного та реактивного опору ПЛ пов'язаного зі зміною температури, вологості повітря, швидкості вітру та вологості ґрунту під повітряною лінією електропередач.

Дані розрахунків подано на рис. 3.2 величина струмів короткого замикання при різних видах пошкоджень визначалася при величині опіру ґрунту 20 Ом м.

Аналіз рис.3.2 показує, що вплив зміни температури проводу дає зміну струму спрацьовування струмового відсікання в межах 2,5%. При розрахунку струму трифазного короткого замикання за традиційною методикою похибка становить близько 6%. Імовірність виникнення коротких замикань в електричних мережах 110 кВ за різними видами ушкоджень розподіляється таким чином, на частку трифазних КЗ приходить 4% пошкоджень, двофазних на землю – 8%, двофазних – 5%, однофазних – 83%. Визначення

струму уставки релейного захисту за максимальним струмом трифазного короткого замикання може призводити до некоректних дій пристроїв релейного захисту. Отже, при проведенні розрахунків з використанням струму трифазного короткого замикання відсоток погрішності у визначенні уставки по струму буде виглядати наступним чином: при двофазному короткому замиканні становитиме – 22%, при однофазному – 9%, при двофазному на землю - 7%, розрахунки проводилися при опіру ґрунту 20 Ом.м.

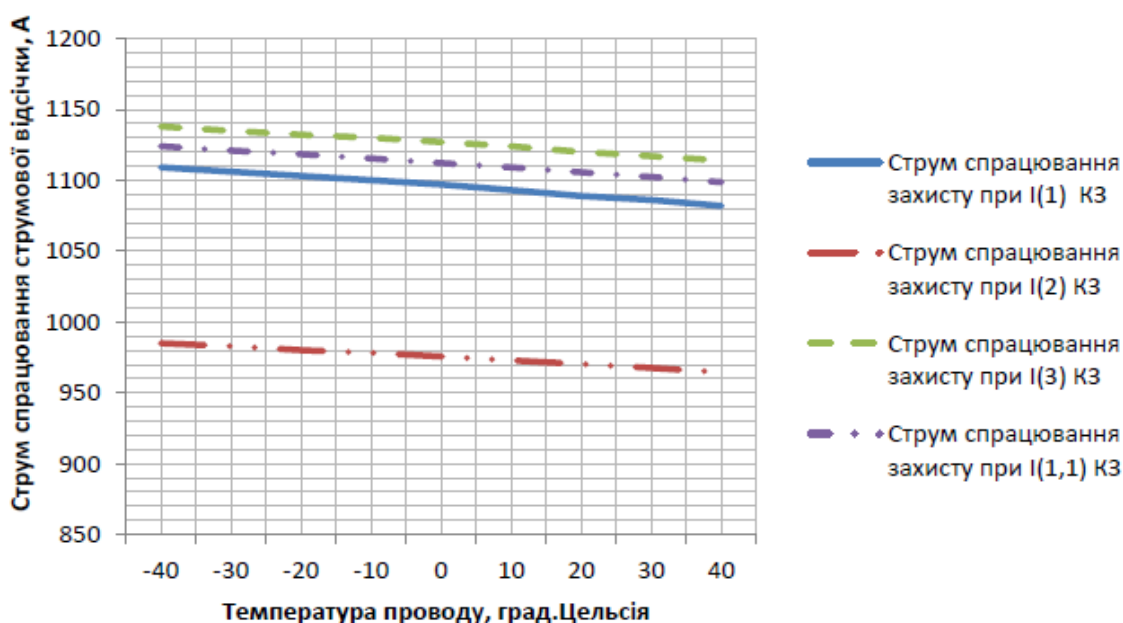


Рисунок 3.2 – Залежність зміни струму спрацювання струмового відсікання при різних видах коротких замикань від температури проводу ПЛ

Зміна опору ґрунту впливає лише на ті види ушкоджень, при яких з'являється струм нульової послідовності, тому до розгляду прийнято однофазне коротке та двофазне коротке замикання на землю. Врахування двох факторів вплив (коливань температури проводу і опору ґрунту) призводить до похибки розрахунку при визначенні струму спрацювання за однофазного КЗ до 17%, а за двофазного на землю – 7% [13].

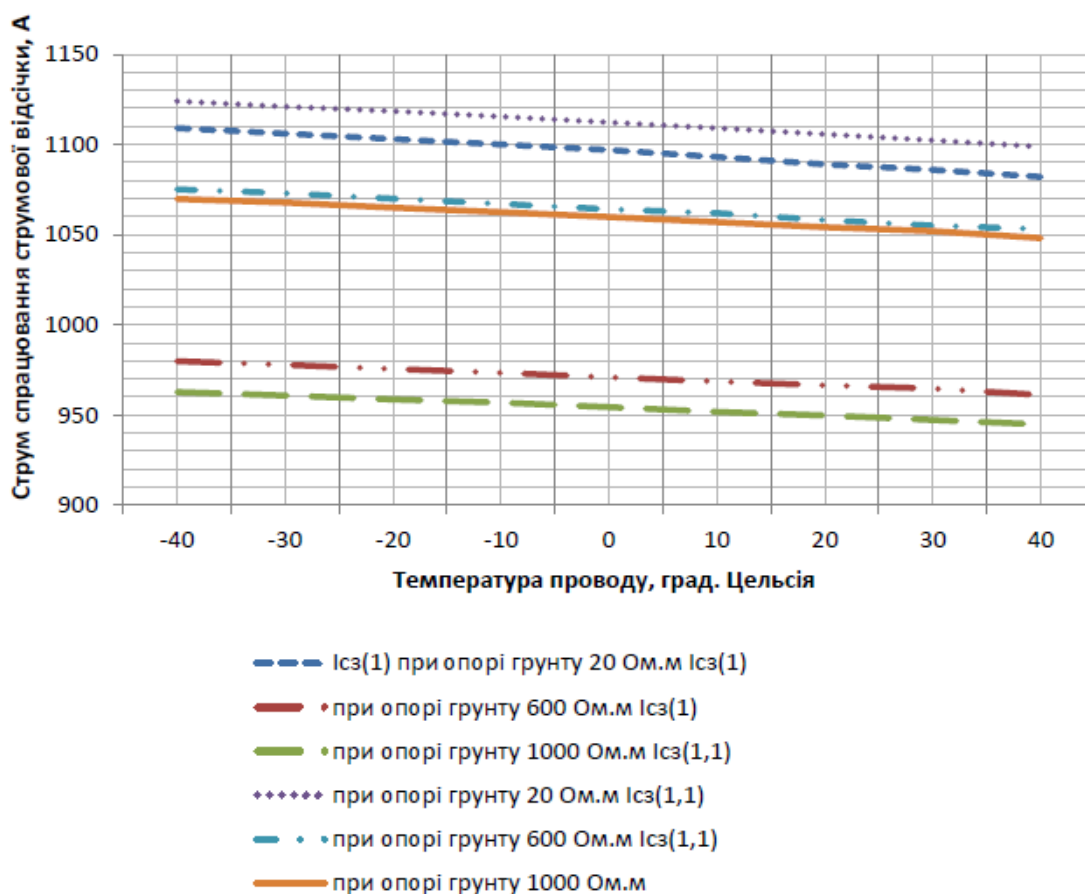


Рисунок 3.3 – Залежність зміни струму спрацьовування струмового відсікання при різних видах коротких замикань від зміни величини опору ґрунту під ПЛ

Чутливість першого ступеня визначається графічно величиною зони, що захищається при двофазному короткому замиканні або по виразу[3]

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} \quad (3.1)$$

де $I_{\text{к.мін}}^{(2)}$ - струм двофазного короткого замикання в початку лінії що захищається.

Аналіз залежностей представлених на рис. 3.4 та 3.5 показує, що в залежності від опору землі під повітряною лінією електропередачі зона «не спрацьовування» релейної захисту змінюється. «Мертва зона» при трифазному короткому замиканні при опорі проводу 20 Ом · м становитиме 33,1%, а при опорі 1000 Ом · м – 12,6% [5], решта дані зводяться в таблицю

3.2.

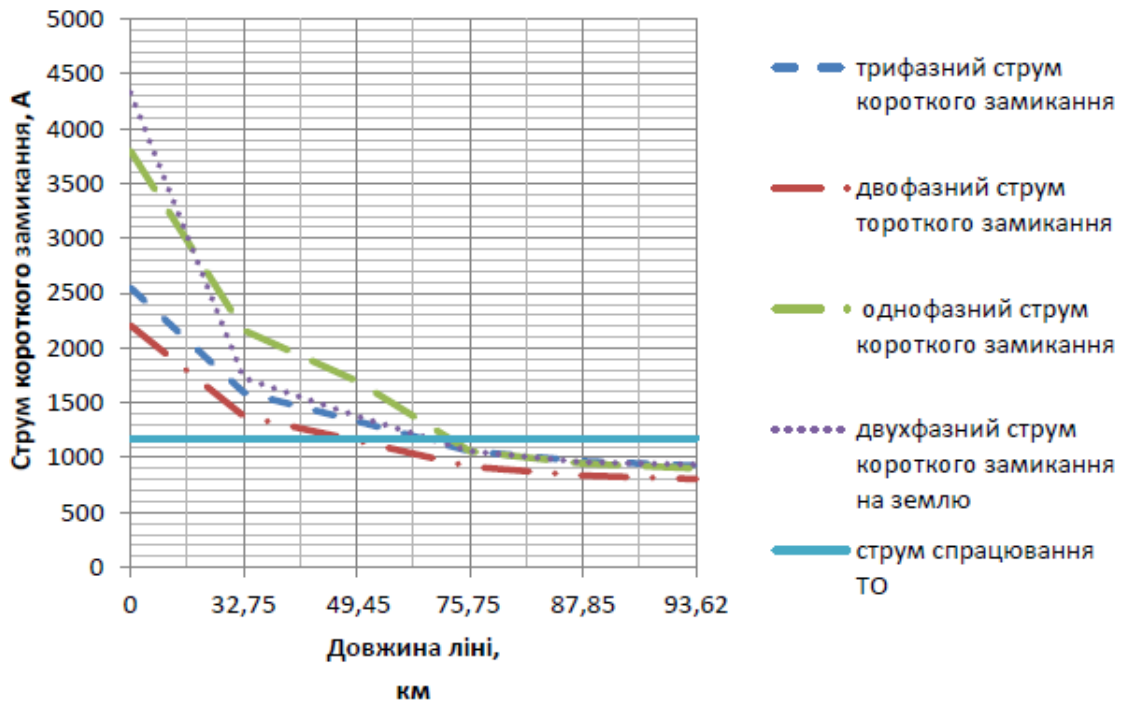


Рисунок 3.4 – Зміна величини «мертвої зони» під час опору ґрунту 20 Ом · м, уставка розрахована по традиційній методиці ПЛ

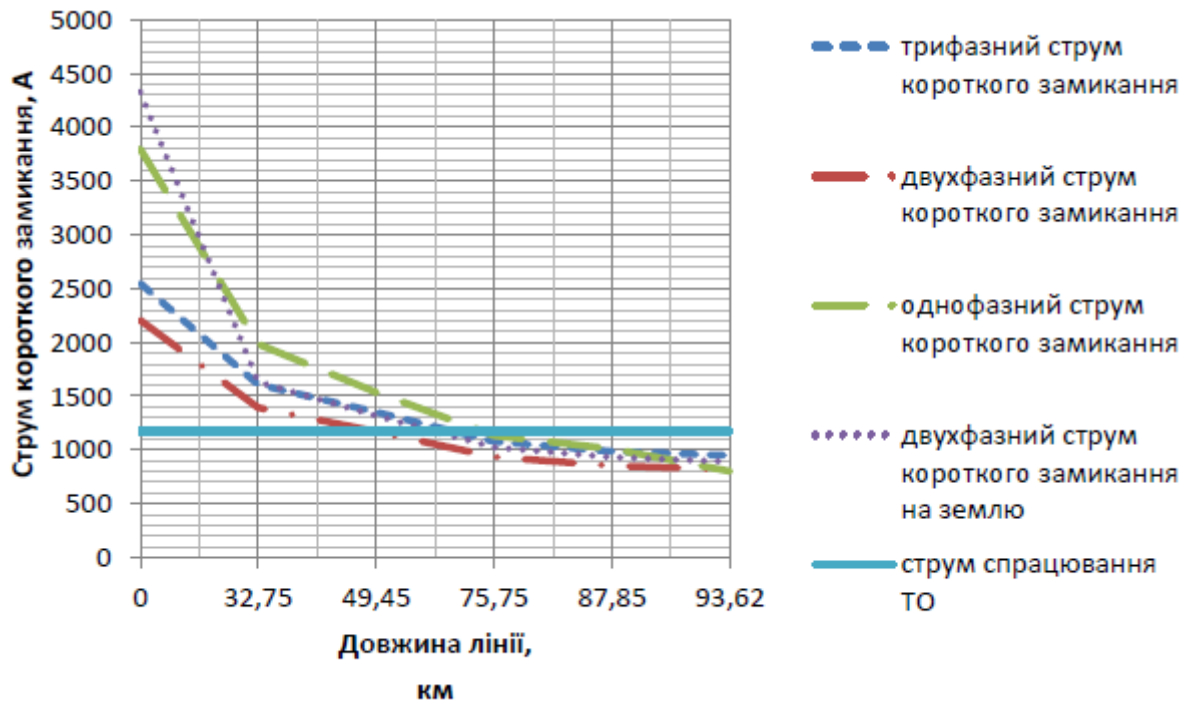


Рисунок 3.5 – Зміна величини «мертвої зони» під час опору ґрунту 1000 Ом · м, уставка розрахована за традиційною методикою ПЛ

Таблиця 3.2 - Величина «мертвої зони» ТО при різних опірах ґрунту

№ п/п	Вид ушкодження	Довжина «мертвої зони», %	
		$\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ $t_{\text{пр}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho = 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ $t_{\text{пр}} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$
1	Трифазне коротке замикання	33,1	26,11
2	Двофазне коротке замикання	47,18	40,15
3	Однофазне коротке замикання	26,11	19,08
4	Двофазне коротке замикання на землю	33,1	30,4

Ігнорування при розрахунку уставок релейного захисту сезонна зміна опору ґрунту або його зміна протягом лінії електропередачі може призвести до суттєвих похибок, особливо якщо прийняти во увага, що розрахунки по традиційній методиці ведуться для $I_{\text{сз}}^{(3)}$.

При розрахунку уставок струмового відсічення для кожного виду пошкодження окремо при опорі ґрунту $\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ величина «мертвої зони» зменшиться, дані зведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Довжина зони "не спрацьовування" ТО розрахована по пропонованій методиці

№ п/п	Уставка ТО обирається відносно виду пошкодження	Довжина «мертвої зони», %, щодо			
		$I_{\text{сз}}^{(3)}$		$I_{\text{сз}}^{(2)}$	
		$\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$\rho = 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$\rho = 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$
		$t_{\text{пр}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$			

1	Уставка при трифазному короткому замиканні	26,11	26,11	40,15	40,15
2	Уставка при двофазному короткому замиканні	23,77	23,77	37,8	37,8
3	Уставка при однофазному короткому замиканні	19,08	3,08	37,8	19,09
4	Уставка при двофазному короткому замиканні на землю	26,11	15,8	40,15	33,14

З даних представлених у табл.3.3 видно, що з розрахунку струму спрацьовування захисту враховуючи вид пошкодження та зміну погодних умов умов можна зменшити довжину «мертвої зони» при орієнтації на трифазний струм короткого замикання при найбільш поширеному вигляді пошкодження (однофазному короткому замиканні) на 28%, а при орієнтації на двофазний струм короткого замикання на 20% [5,6].

Чутливість релейного захисту - це здатність реагувати на будь-які види пошкодження на контрольованій ділянці мережі у мінімальному режимі роботи [20]. Для основних захистів коефіцієнт чутливості має бути $k_{\text{ч}} > 1,5$, розрахунок цього параметра за традиційною методикою для ПЛЕП задовольняє вимогам ПУЕ, але з табл. 3.3 слідує, що даний коефіцієнт можна збільшити змінивши методику визначення уставки захисту. Мікропроцесорні термінали релейного захисту дозволяють з високою точністю виставляти струми спрацьовування, вплоть до сотих частки ампер, завищування уставок захисту на лініях напругою 110 кВ і нижче приведе, як наслідок, до загублення струмів спрацьовування захистів з абсолютною селективністю на більш високих напругах або до необхідності встановлення додаткового ступеня, що тягне за собою необґрунтовані фінансові вкладення.

3.2.2 Резервний захист

Резервний МСЗ може виконуватися ненаправленою, або спрямованою

дією. Для ліній з одностороннім живленням, з метою підвищення надійності дії, рекомендується застосовувати (за переваги) ненаправлену дію МСЗ від усіх видів КЗ.

Таблиця 3.4 - Умови відбудови уставки спрацьовування резервного захисту

Відбудова від максимального струму навантаження лінії	$I_{сз} = \frac{k_{від} \cdot k_{con}}{k_e} \cdot I_{роб.макс}$
Узгодження з першими (другими) ступенями ДЗ (МСЗ), СЗНП, лінії (ліній) попередньої ділянки мережі	$I_{сз} = k_{узг} \cdot I_{к.макс} \cdot$
Відбудова від максимального струму при трифазних КЗ та замикання на землю на сторонах ПН і СН трансформаторів, приєднаних на всіх відгалуженнях лінії (нетупикової) яка захищається	$I_{сз} = k_{від} \cdot I_{к.макс \cdot тр}$

ПЛЕП та ТП у Поліському регіоні, так само як і в багатьох областях України було побудовано 50 – 60 рр., коли було значне споживання електричної енергії за рахунок працюючих потужних промислових підприємств. На даний момент у зв'язку з економічною ситуацією в країні підприємства скоротили споживання електроенергії як мінімум удвічі, відповідно трансформатори, встановлені на трансформаторних підстанціях, що працюють у недовантаженому режимі, зменшилися потоки потужності та значення струму в ПЛЕП. Для визначення струму спрацьовування максимального струмового захисту проводиться відбудова від максимального робочого струму в лінії, який знаходиться підсумовуванням номінальних струмів підключених силових трансформаторів до цієї лінії [1]

$$I_{роб.макс} = \frac{S_{\sum ном.тр}}{\sqrt{3}U_{ном}} \quad (3.2)$$

де $S_{\sum ном.тр}$ - сумарна номінальна потужність підключених

трансформторів (АТ), $U_{ном}$ - середня номінальна напруга мережі.

При визначенні уставки МТЗ виходячи з потужності силових трансформторів встановлених на ТП, отримаємо $I_{раб макс} = 231,2А$, $I_{сз} = 584,1А$. Дані значення далекі від реальних, тому при розрахунках використовують не значення потужності силових трансформторів, а значення заявленої навантаження, що споживається, тоді $I_{раб макс} = 99,37 А$, $I_{сз} = 251 А$, зміна в показниках становить більше 50% [10]. Крім того, значення споживаної підприємствами потужності і, як наслідок, сили струму у ПЛЕП змінюється протягом доби і залежить від сезону.

На рис. 3.6, 3.7 представлені зміни значення сили струму в літній та зимовий періоди, замір даного параметра проводився щогодини режимного дня (ремонтні роботи та перемикання в режимний день не виробляються)

Сила робочого струму, що протікає в лінії змінюється, при обліку максимального та мінімального значення при вимірах протягом доби у 9 разів в льотний період і в 22 рази в зимовий.

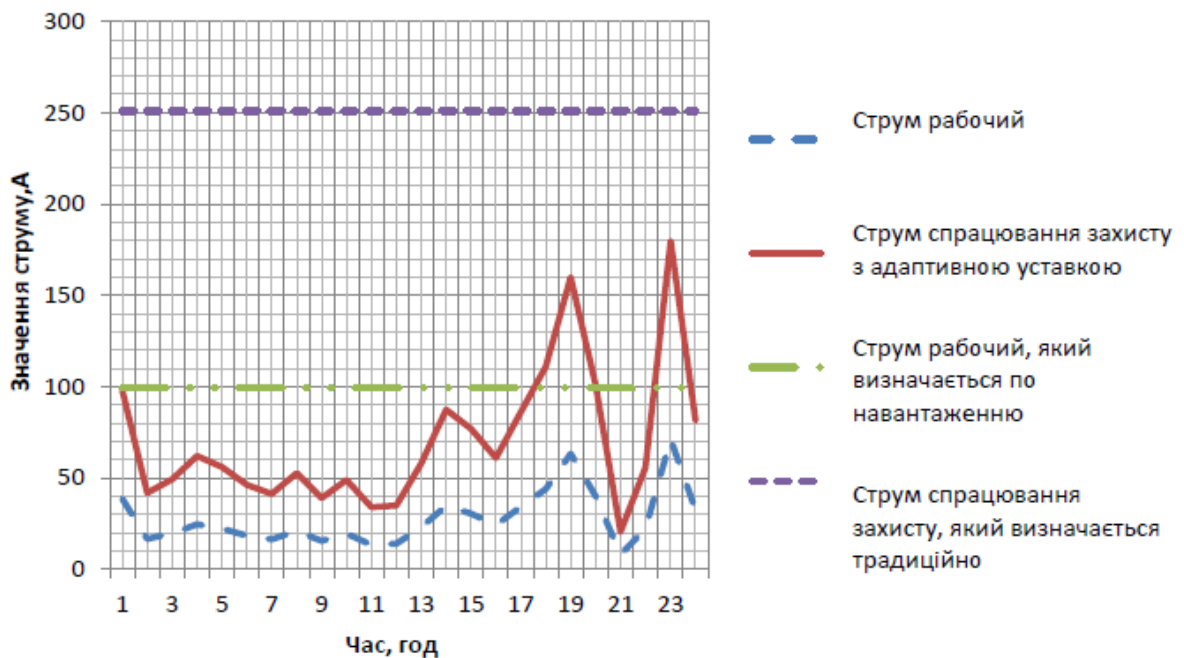


Рисунок 3.6 – Зміна робочого струму в лінії електропередачі



Рисунок 3.7 - Зміна робочого струму в лінії електропередачі

Отже, при використанні постійної уставки спрацювання, резервний захист у години мінімуму споживаної потужності відмовить у дійсності, оскільки струм пошкодження буде меншим за встановлений струм спрацювання захисту. За умови, що на тупикових лініях передбачається лише двоступінчастий захист (основний – швидкодіючий струмовий від-січка та резервна – максимальний струмовий захист з витримкою часу), то при пошкодженні в «мертвій зоні» основного захисту він відмовить у спрацюванні та резервний не відключить пошкоджену лінію, оскільки уставка розрахована без урахування реальних струмів, що проходять по ЛЕП, в результаті станеться не селективне відключення попереднього вимикача на непошкодженій лінії більш високої напруги, залишаючи без електропостачання робочі лінії.

Тому пропонується щодо струму спрацювання резервної захисту використовувати реальні значення струмів, що протікають в даний момент по лінії електропередачі, отримані від датчиків струму встановлених у місці розташування захисту. Так само доцільним є установка струмового захисту з блокуванням по напруги.

Висновки по третьому розділу

З проведеного аналізу ефективності роботи релейного захисту слідує, що автоматична корекція системи дозволяє значно зменшити діапазон невизначеності (ентропію) уставки.

ВИСНОВКИ

З проведеного аналізу аварійних режимів повітряних ліній електропередачі випливає, що окремим випадком є однофазне замикання на землю.

Найбільш складно реєструвати аварії в мережах із ізольованою нейтраллю, оскільки струм пошкодження відрізняється не настільки значно, від струму КЗ в мережах з глухо заземленою нейтраллю.

При виконанні кваліфікаційної роботи розроблено схему адаптивного релейного захисту на базі існуючих пристроїв, яка дозволяє прискорити процес впровадження в електромережах.

З проведеного аналізу ефективності роботи релейної захисту слід, що автоматична корекція системи дозволяє значно зменшити діапазон невизначеності (ентропію) уставки, повна похибка складе $\delta\Sigma = 18,9\%$.

Використання адаптивної інформаційно-вимірювальної системи релейного захисту для зниження показника «недоотриманого прибутку» внаслідок некоректної дії пристроїв релейного захисту є економічно вигідним інвестиційним проектом з індексом доходності 1,5 і терміном окупності 2,5 року

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с
2. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – Ч. 2. – 276 с., рис. 48, табл. 19.
3. Лежнюк, П. Д. Методи і засоби захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільній мережі зі складною топологією напругою 6–35 кВ : монографія / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 152 с.
4. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – Ч. 1. – 250 с., рис. 41, табл. 20. ISBN
5. Кирик В.В., Рибка О.О., Аналіз стану та технічної відповідності електричних мереж ОЕС України вимогам ENTSO-E Гідроенергетика України, 3—4/2021, ISSN 18129277
6. Приватне Акціонерне Товариство «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НЕК «Укренерго»). (n.d.). План розвитку системи передачі на 2021-2030 роки, схвалений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 57 від 20.01.2021. Retrieved from <https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/plan-rozvytku-oesukrayiny>
7. Приватне Акціонерне Товариство «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НЕК «Укренерго»). (n.d.). Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2020 році. Retrieved from <https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnostigeneruyuchyih-potuzhnostej/#1596701774919-04e9ab60-f849>

8. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. (n.d.). Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг у 2020 році. Retrieved from https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2020.pdf

9. Кирик В.В. Електричні мережі та системи: підручник /В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – 324 с. ISBN 978-966-990-031-9

10. Кирик В.В. Розподільні електричні мережі напругою 20 кВ та ефективність їх роботи / В.В.Кирик, Б.В. Циганенко, О.С. Яндульський.-К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018.-228с. ISBN 978-966-622-910-9

11. Чернецька Ю. В. Дослідження проблеми управління розвитком систем розподілу електроенергії України в історичному контексті // The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April, 27-28, 2018. Vrnо: Baltija Publishing, 2018. С. 197-200.

12. Звіт про результати діяльності НКРЕКП у 2017 р.: Постанова НКРЕКП від 23.03.2018 № 360. 314 с. URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=31942>

13. Сабарно Л.Р., Севастюк І.М. Дослідження ушкодженості кабельних ліній розподільних електричних мереж / Зб. наук. праць —Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. -К.: 2005.- № 2(11). – Ч.1. – С. 53-54.

14. <http://www.momm.com.ua/42-opticheskie-reflektometry>

15. <https://ekb.com.ua/wp-content/uploads/2014/04/mohcnost-na-23.01.20.jpg>

16. Wang, P. Fault Location in Resonant Grounded Network by Adaptive Control of Neutral-to-Earth Complex Impedance / P. Wang, B. Chen, H. Zhou, T. Cui-hua, B. Sun // IEEE Transactions on Power Delivery: IEEE Transactions on Power De-livery. – 2018. – Т. 33 – № 2 – С. 689–698.

17. Velayudham, T. Locating ground fault in distribution systems using smart meter / T. Velayudham, S. Ganesh, R. Kanimozhi // 2017 International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA): 2017 International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). – 2017. – Т. 2 – С. 104–109. DOI:10.1109/ICECA.2017.8212774.

18. Triantafyllidis, D.G. Calculation of overhead transmission line impedances a finite element approach [Electronic resource] / D.G. Triantafyllidis, G.K. Pappagiannis, D.P. Labridis // IEEE Transactions on power delivery. 1999. V. 14. № 1. P.287-293. Access mode: <http://users.auth.gr/~labridis/pdfs/Paper%2014.pdf>.

19. Adaptive distance protection system // Патент США №5956220, 1999

20. Xia, Y.Q. Adaptive Relay Setting for Stand-Alone Digital Distance Protection / Y.Q. Xia, K.K. Li, A.K. David // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1994. – V. 9. – №1. – P. 480-491.

21. Weiss, J. A one-step finite element method for multiconductor skin effect problems / J. Weiss, Z. J. Csendes // IEEE Transactions on power apparatus and systems. 1982. Vol. PAS-101. № 10. P. 3796 – 3803

22. Konrad, A. Integrodifferential finite element formulation of two-dimensional steady-state skin effect problem / A. Konrad // IEEE Transaction on magnetic. 1982. V. 18. № 1. P. 284 – 292.

23. Sihvola, A. H. Electromagnetic mixing formula and applications/ A. H. Sihvola Изд-во: IEE –1999. 296 p.

24. Пат. 2088014 RU, МПК H02H7/26, H02H3/28. Способ резервной защиты линии с отпаечными трансформаторами / А.К. Вязовский. – 95113246/07, заявл. 26.07.1995, опубл. 20.08.1997.