

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна**

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ  
ЗАХИСТУ ВІД ОБРИВУ ПРОВОДУ  
ТА ПОШУК МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ  
В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ЗІ СКЛАДНОЮ  
ТОПОЛОГІЄЮ НАПРУГОЮ 6–35 кВ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2014

УДК 621.925:621.315.1

ББК 31.279

Л40

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 11 від 26.06.2013 р.)

Рецензенти:

**О. М. Сінчук**, доктор технічних наук, професор

**М. Й. Бурбело**, доктор технічних наук, професор

**Лежнюк, П. Д.**

Л40      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.

ISBN 978-966-641-561-8

В монографії розглядаються питання релейного захисту та автоматики розподільних електричних мереж зі складною топологією напругою 6–35 кВ. Запропоновано метод виявлення обриву проводу та автоматизації процесу пошуку місця обриву в розподільній мережі 6–35 кВ. Розроблено математичну модель для визначення перехідного опору в місці падіння проводу на землю. Розроблено автоматизовану систему керування аварійним режимом обриву проводу, та пошуку місця пошкодження. Розрахована на фахівців з релейного захисту та автоматики електричних розподільних мереж.

УДК 621.925:621.315.1

ББК 31.279

ISBN 978-966-641-561-8

© П. Лежнюк, М. Кутіна, 2014

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП .....	6
1 Постановка задачі і визначення шляху її розв'язання.....	8
1.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження.....	8
1.2 Аналіз існуючих методів і засобів захисту розподільних повітряних мереж напругою 6–35 кВ від несиметричних режимів роботи.....	14
1.3 Аналіз існуючих методів і засобів захисту від однофазних замикань на землю.....	19
1.4 Аналіз існуючих методів і засобів пошуку пошкодження в розподільних мережах з повітряними лініями електропередачі напругою 6–35 кВ.....	24
2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ЗАХИСТУ ВІД ОБРИВУ ПРОВОДУ РОЗГАЛУЖЕНОЇ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НАПРУГОЮ 6–35 КВ.....	28
2.1 Параметри і ознаки, які характеризують обрив проводу повітряної ЛЕП до моменту падіння його на землю .....	28
2.1.1 Визначення часу падіння проводу на землю .....	30
2.1.2 Визначення струмів прямої та зворотної послідовностей у випадку обриву проводу.....	34
2.2 Параметри і ознаки, які характеризують обрив проводу повітряної ЛЕП після моменту його падіння на землю .....	38
2.2.1 Визначення перехідного опору в місці падіння проводу.....	38
2.2.2 Дослідження струмів замикання на землю при обриві проводу в різних місцях прольоту.....	45
2.3 Вдосконалення методу захисту при обриві проводу повітряної РЕМ напругою 6–35 кВ.....	52
2.3.1 Принцип дії захисту при обриві фазного проводу повітряної РЕМ напругою 6–35 кВ .....	52
2.3.2 Вибір уставок спрацювання захисту при обриві фазного проводу повітряної РЕМ напругою 6–35 кВ .....	55
3 ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ОБРИВУ ПРОВОДУ ЛОКАЦІЙНИМ МЕТОДОМ В РОЗПОДІЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ЗІ СКЛАДНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ НАПРУГОЮ 6–35 КВ .....	62

3.1 Теоретичне обґрунтування доцільності використання локаційного вимірювання на лініях з деревоподібною топологією напругою 6–35 кВ для визначення місця обриву проводу .....	62
3.2 Вплив величини активного навантаження на форму відбитого імпульсу .....	68
3.3 Вплив величини ємнісного навантаження на форму відбитого імпульсу .....	76
3.4 Вплив величини індуктивного навантаження на форму відбитого імпульсу та дослідження імпульсної реакції реальних трансформаторів .....	79
3.5 Методи розшифрування рефлектограм .....	83
<b>4 ЗАСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВАРІЙНИМ РЕЖИМОМ ОБРИВУ ФАЗНОГО ПРОВОДУ (АСКАРОП) ТА ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ.....</b>	<b>87</b>
4.1 Вибір структури автоматизованої системи керування.....	87
4.2 Розробка пристрою релейного захисту від обриву проводу .....	92
4.3 Мікропроцесорна реалізація пристрою захисту від обриву проводу .....	95
4.4 Розробка засобів визначення місця пошкодження локаційним методом.....	98
4.5 Методика розрахунку ефективності застосування комплексу засобів захисту від обриву проводу та локаційного методу пошуку місця пошкодження .....	104
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>116</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>118</b>
Додаток А. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПЛЕП 10 КВ ПАТ «ВІННИЦЯОБЛЕНЕРГО» .....	129
Додаток Б. КОЕФІЦІЄНТИ ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ КОНТУРНИХ СТРУМІВ ДО МОМЕНТУ ПАДІННЯ ПРОВОДУ НА ЗЕМЛЮ В МАТНСАД .....	148
Додаток В. РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ У ФАЗАХ ТА В МІСЦІ ЗАМИКАННЯ ПРИ ОБРИВІ ПРОВОДУ .....	150

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АВР – автоматичне введення резерву  
АПВ – автоматичне повторне вмикання  
АСКАРОП – автоматизована система керування аварійним режимом обриву проводу  
ВМП – визначення місця пошкодження  
ГД – граничнодопустиме значення  
ЕРС – електрорушійна сила  
ЗС – зовнішнє середовище  
КЛ – кабельна лінія  
ЛЕП – лінія електропередач  
МСЗ – максимальний струмовий захист  
НД – нормально допустиме значення  
ОВБ – оперативно-виїзна бригада  
ОЗЗ – однофазне замикання на землю  
ПАР – параметри аварійного режиму  
ПВ – повторне вмикання  
ПКЗ – покажчики короткого замикання  
ПЛ – повітряна лінія  
РЕМ – розподільна електрична мережа;  
РЗА – релейний захист і автоматика  
РМ – розподільна мережа  
СВ – струмова відсічка  
СЕП – система електропостачання  
ТП – трансформаторна підстанція

## ВСТУП

Найбільш ненадійним елементом системи електропостачання є повітряні лінії електропередачі напругою 6–35 кВ, які мають деревоподібну топологію. При віддалених к. з. і пошкодженнях за трансформаторами в повітряних лініях напругою 6–35 кВ струми к. з. мало відрізняються від струмів навантаження [1–3]. Особливо небезпечним є аварійний режим, який супроводжується обривом фазного проводу. Струміві захисти від несиметричних режимів на цей вид пошкодження не реагують. Після падіння проводу на землю виникає однофазне замикання на землю (ОЗЗ) через значний перехідний опір. Існуючі засоби від ОЗЗ надійно спрацьовують тоді, коли перехідний опір не перевищує 1 кОм, і діють на сигнал. Процес пошуку пошкодження характеризується низьким рівнем автоматизації і може тривати протягом декількох годин. За цей час в місці падіння проводу відбувається «спікання» ґрунту, що призводить до різкого зростання перехідного опору. Захист від ОЗЗ перестає діяти і небезпечне поле розтікання струму може існувати протягом невизначеного часу. Несиметричний режим роботи мережі негативно впливає на роботу споживачів, особливо двигунів [4–6].

Значний внесок в розробку методів і засобів захисту розподільних мереж напругою 6–35 кВ від несиметричних режимів роботи та визначення місця пошкодження зробили вчені А. І. Айзенфельд, В. А. Андреев, В. А. Борухман, Я. С. Гельфанд, І. В. Карпов, А. В. Кириленко, В. М. Кутін, П. Д. Лежнюк, Ф. А. Ліхачов, Р. Г. Мінуллін, В. В. Назаров, І. М. Сирота, Р. Ф. Стасенко, А. М. Федосєв, Е. Ф. Цапенко, М. А. Шабад, Г. М. Шалит, Ф. П. Шкрабець та інші.

Таким чином, розвиток теорії побудови ефективних методів захисту від обриву фазного проводу повітряних ліній електропередачі з деревоподібною топологією і автоматизація процесу пошуку пошкодження під час їх експлуатації дозволять збільшити рівень надійності, безпеки і ефективності експлуатації електричних мереж, що є актуальною науково-прикладною задачею.

**У першому розділі** показано, що розподільні мережі (РМ) напругою 6–35 кВ з повітряними лініями електропередач (ПЛЕП) є складною системою. Вони розподілені в просторі, мають деревоподібну структуру, є неоднорідними, а відмова в електропостачанні призводить до значних збитків. Розподільні мережі характеризуються несиметричним навантаженням фаз, різноманітністю і нерівномірністю добового навантаження та режимом заземлення нейтралі, мають низький рівень надійності. Проведено аналіз існуючих методів і засобів

захисту розподільних мереж від несиметричних режимів роботи мережі.

**У другому розділі** виконано розрахунки параметрів аварійного режиму роботи реальних ліній ПАТ «Вінницяобленерго» напругою 10 кВ за максимального та мінімального навантаження. Запропоновано математичні моделі для визначення перехідного опору в місці падіння проводу на землю, яка враховує кліматичні умови, довжину проводу, що лежить на землі, параметри ЛЕП та струму витоку на землю. Здійснено експериментальну перевірку адекватності математичної моделі визначення перехідного опору в місці падіння проводу на землю.

За результатами проведених досліджень запропоновано захист від обриву проводу, здійснено розрахунок уставок спрацювання захисту.

**У третьому розділі** розглянуто доцільність застосування локаційного методу в умовах розподільної мережі з складною деревоподібною топологією, яку мають мережі напругою 6–35 кВ.

Проведено дослідження імпульсних реакцій на навантаження різного типу. Для розшифрування рефлектрограм при визначенні місця пошкодження (ВМП) запропоновано різницевий метод. Він дозволяє визначити місце обриву проводу без детального розшифрування рефлектрограми.

**У четвертому розділі** запропоновано автоматизовану систему керування аварійним режимом обриву проводу, а також реалізацію захисту від обриву проводу на мікроелектронній та мікропроцесорній базах.

Розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи керування аварійним режимом обриву проводу

Для зменшення похибки визначення місця обриву в розгалужених електричних мережах з високою неоднорідністю, пропонується алгоритм, в якому застосовано перетворення Фур'є, що дозволяє усунути завади.

Запропоновано методику оцінювання ефективності АСКАРОП. Оцінювання ефективності застосування АСКАРОП здійснюється шляхом порівняння її з двома базовими варіантами: застосування пристроїв, що ґрунтуються на використанні вищих гармонік в струмі нульової послідовності при ОЗЗ, («Поиск-1», «Волна», «Зонд», «ВП-1» та інші), та методом послідовного ділення мережі з оптимальною послідовністю перевірок при виникненні міжфазних к. з. та ОЗЗ.

# 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ І ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХУ ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ

## 1.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження

СЕП напругою 6–35 кВ за функціональним призначенням поділяють на міські, сільські та промислових підприємств. В містах та на промислових підприємствах мережі цього класу напруги виконуються переважно на основі кабельних ліній (КЛ), в сільській місцевості – на основі повітряної лінії (ПЛ), існують і змішані ділянки, що складаються з КЛ і з ПЛ [1, 2].

В загальному випадку в СЕП 6–35 кВ використовують різноманітну комутаційну апаратуру. Потужність трансформаторів може складати від 63 до 250 кВА в сільській місцевості, від 250 до 2500 кВА на великих промислових підприємствах. Марки проводів на різних ділянках мережі однієї напруги різні (АС-35, АС-50, АС-70). Кількість різнотипних проводів, що використовують на окремому приєднанні, може змінюватись від 2 до 6. Використання роз'єднувачів та вимикачів різних типів, компенсаційних пристроїв, засобів автоматики у вигляді пристроїв АВР та АПВ, вимірювальних приладів ще більше ускладнює конструктивне виконання таких систем. Найбільш неоднорідними, з цієї точки зору, є СЕП сільськогосподарського призначення [3, 4].

Структура СЕП 6–35 кВ впливає на засоби релейного захисту і автоматики (РЗА) та точність методів визначення місця пошкодження (ВМП). Розподільні мережі (РМ) цього класу напруги є складною системою, вони розподілені в просторі, мають деревоподібну структуру, автономні, відмова в електропостачанні призводить до значних збитків [4]. В більшості випадків кількість ієрархічних рівнів складає 4–6, в залежності від призначення РМ. На рис. 1.1 наведена схема, що ілюструє структуру таких електричних мереж. В процесі захисту від аварійних режимів і пошуку місць ОЗЗ складна структура та розгалуженість ПЛ стають причинами невизначеності, особливо при обриві проводу, якщо він відбувся не на початку лінії, і має до місця обриву відгалуження.

Режим роботи СЕП 6–35 кВ характеризується несиметричністю навантаження фаз, різноманітністю і нерівномірністю добового навантаження та режимом заземлення нейтралі трансформаторів. Ці, та багато інших факторів суттєво впливають на ефективність застосування методів ВМП, оскільки врахування їх впливу є на даний час складною задачею, наприклад, несиметрія навантаження призводить до викривлення параметрів за якими розраховується відстань до місця пошкодження при використанні дистанційних методів ВМП [4, 5].



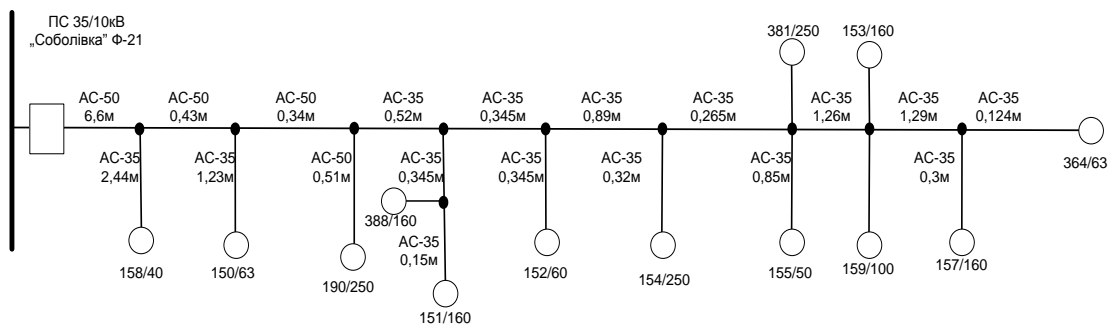


Рисунок 1.1 – Розгалужена РМ 10 кВ

Особливою складністю відрізняється режим ОЗЗ, який супроводжується розривом фазного проводу в ПЛ і падінням його на землю. Режим нейтралі дозволяє релейному захисту діяти на сигнал і довгий час не вимикати ОЗЗ, що досить часто призводить до значних пошкоджень ізоляторів, загоряння опор, пошкодження заземлення опор, створює небезпечне поле розтікання струму, в яке можуть потрапити тварини чи люди, впливає на умови роботи вимірювальних приладів та пристроїв релейного захисту і автоматики [6]. В більшості випадків на такий вид пошкодження не реагує жоден із захистів від замикання на землю. Тривале існування такого режиму є досить небезпечним. Тому існує необхідність вдосконалення методів попередження та засобів захисту від обриву проводу.

Найбільш ненадійною частиною розподільної мережі є провідники повітряних ліній електропередачі. Встановлено [2–7], що основними причинами пошкодження провідників є зовнішні чинники: грозові перебиття ізоляції, відкладення, навантаження від вітру, вібрація мереж, загоряння дерев'яних опор, послаблення механічної міцності, пошкодження опор та мереж автотранспортом і різними механізмами. Зовнішні збурювальні дії призводять до перебиття ізоляції, розриву ізоляторів, оплавлення механічних елементів, обриву провідників, послаблення їх механічної міцності під час вібрації та коливання в результаті розлому окремих провідників, пошкодження елементів, падіння опор разом з провідниками. Найбільш важкі наслідки викликають відкладення ожеледі.

Порушення нормальної роботи ПМ пов'язане з такими факторами: неправильне використання електрообладнання, дефекти, які були допущені при виготовленні опор, ізоляторів, перевищення фактичних зовнішніх навантажень розрахункових значень, порушення правил монтажу та спорудження ПМ, недоліки існуючої системи обслуговування та іншими. Для отримання кількісної характеристики пошкодження елементів ПМ були опрацьовані статистичні дані причин пошкодження повітряних РМ напругою 10 кВ, зібрані у ПАТ «Вінницяобле-

нерго» за 2009 р. Кількість пошкоджень за рік становила 1492. В табл. 1.1 наведено причини їх виникнення.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика відключень ПЛЕП 6–10 кВ через пошкодження обладнання в РМ ПАТ «Вінницяобленерго» за 2009 р.

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

Як видно з таблиці 1.1, пошкодження проводу є одним з найчастіших видів пошкоджень (27,75 %).

Статистичні дані за видами технологічних порушень наводяться в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Класифікація основних причин технологічних порушень при обслуговуванні повітряних ЛЕП 6–10 кВ в розподільних мережах ПАТ «Вінницяобленерго» за 2009 р.

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

Що ж до наслідків виникнення пошкоджень, то кількість пошкоджень, які супроводжувались стійкими ОЗЗ, є найбільшою і складає 63,2 %, міжфазних коротких замикань – 9,7 %, подвійних замикань на землю – 5,2 %, інші – 21,9 %.

Характерними пошкодженнями мережі є накиди, розриви або перекриття окремих проводів, сліди перекриття, зміна стріли провисання, корозія проводів, пошкодження проводів біля затискувачів та з'єднань.

В СЕП відмови можуть бути повними або частковими, стійкими і нестійкими, розрізняють також раптові відмови та передбачені вимкнення. Вважають [3, 4], що збитки від передбачених вимкнень в РМ приблизно в три рази менші, ніж від виникнення раптових відмов.

В середньому за 2008–2009 р. р. питома кількість пошкоджень ПЛІ 6–10 кВ ПАТ «Вінницяобленерго» складає 0,17 пошкоджень на 1 км довжини РМ за рік.

За даними, що отримані багатьма дослідниками, ВЛ пошкоджується поблизу опор значно частіше, ніж в проміжній частині прольоту. Ця обставина є важливою при оцінюванні очікуваних значень перехідних опорів у місці ОЗЗ.

Особливою складністю відрізняється режим ОЗЗ, який виникає при обриві фазного проводу повітряних ЛЕП, як уже відмічалось, найбільш небезпечним є обрив проводу, який виникає в прольоті зі сторони джерела живлення у випадку падіння проводу на землю. Струм при замиканнях на землю однієї фази незначний, а міжфазні напруги залишаються без змін. В цьому випадку пошкоджена лінія не відключається засобами РЗА. Тому такий режим роботи є тривалим у часі і дуже небезпечним, він утворює небезпечне поле розтікання струму в місці падіння проводу, яке загрожує життю тварин і людей, супроводжується перенапругами які, призводять до пошкодження ізоляторів, загорання опор, пошкодження заземлення опор, виникнення пожеж. Несиметричні режими живлення двигунів спричиняють пошкодження і брак на виробництві. Перехідний опір в місці падіння проводу на землю є нестійким і значним за величиною. Він може коливатись від декількох десятків Ом до МОм. Існуючі засоби від ОЗЗ забезпечують необхідну чутливість при перехідному опорі до 1 КОм [7]. Процес пошуку пошкодження багатокроковий, тому аварійний режим є тривалим. Виходячи з цього, існує необхідність дослідження режиму ро-

боти РМ при обриві проводу і розробки засобів захисту від обриву проводу.

Для обґрунтування відміченого вище, проведемо розрахунок поля розтікання струму в результаті розриву проводу і падіння його на землю.

Рівняння потенціальної кривої вздовж проводу (вісь  $ox$ ), можна визначити як [8, 9]

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + d^2} + 2x}{\sqrt{l^2 + d^2} + 2x - 2l}, \quad (1.1)$$

де  $I_3$  – струм замикання на землю, А;  $\rho$  – питомий опір землі, Ом·м;  $l$  – довжина проводу, що лежить на землі, м;  $d$  – діаметр проводу, що лежить на землі, м.

За умови  $l \gg d$  (1.1) можна записати:

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{l + 2x}{2x - l}. \quad (1.2)$$

Рівняння потенціальної кривої вздовж осі  $oy$  перпендикулярної проводу [9]

$$\varphi_y = \frac{I_3 \rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4y^2} + l}{2y}. \quad (1.3)$$

Загальний потенціал проводу матиме вигляд

$$\varphi_{\Pi} = \frac{I_3 \rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}. \quad (1.4)$$

Напругу кроку визначимо як

$$U_k = \varphi_{\Pi} \beta, \quad (1.5)$$

де  $\beta = \frac{(\varphi_x - \varphi_{x+a})}{\varphi_{\Pi}} > 1$  – коефіцієнт напруги кроку, який враховує форму потенціальної кривої.

Струм, що проходить через тіло людини, визначимо як

$$I_h = \frac{U_k}{R_h}, \quad (1.6)$$

де  $R_h$  – опір тіла людини.

Для кількісної оцінки, скориставшись виразом (1.4), розрахуємо потенціал проводу, що лежить на землі (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Значення потенціалу проводу в «В», який лежить на землі, для мережі 6–10 кВ з ізолюваною нейтраллю

Характеристика ґрунту	Довжина проводу, що лежить на землі, м	Діаметр проводу 0,0084 м. Марка проводу АС-35			Діаметр проводу 0,0096 м. Марка проводу АС-50		
		Струм замикання на землю 0,3 А	Струм замикання на землю 0,5 А	Струм замикання на землю 1 А	Струм замикання на землю 0,3 А	Струм замикання на землю 0,5 А	Струм замикання на землю 1 А
Глина 45 Ом•м	1	23,448	39,08	78,16	22,88	38,126	76,253
	42	0,94	1,566	3,132	0,926	1,543	3,087
Суглинок 91 Ом•м	1	47,654	79,42	158,847	46,49	77,486	154,971
	42	1,91	3,183	6,365	1,882	3,136	6,273
Пісок 524 Ом•м	1	273,84	456,4	912,794	267,2	445,26	890,523
	42	10,973	18,29	36,576	10,81	18,023	36,046

Розрахуємо струм, що пройде через тіло людини по шляху «нога-нога», вираз (1.6), при умові, що струм замикання на землю 1 А, опір тіла людини 1 кОм [10], довжина проводу, що лежить на землі, 1 м, (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Значення струму в «А», що проходить через тіло людини, яка знаходиться на відстані h від проводу, що впав на землю

Відстань між проводом і людиною h, м	Характеристика ґрунту		
	Глина, 45 Ом•м	Суглинок, 91 Ом•м	Пісок, 524 Ом•м
1	0,027	0,055	0,317
2	$3,61 \cdot 10^{-3}$	$4,299 \cdot 10^{-3}$	0,042
3	$1,447 \cdot 10^{-3}$	$2,927 \cdot 10^{-3}$	0,017
4	$7,815 \cdot 10^{-4}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$
5	$4,895 \cdot 10^{-4}$	$9,898 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$
6	$3,355 \cdot 10^{-4}$	$6,784 \cdot 10^{-4}$	$3,906 \cdot 10^{-3}$
7	$2,443 \cdot 10^{-4}$	$4,94 \cdot 10^{-4}$	$2,845 \cdot 10^{-3}$
8	$1,858 \cdot 10^{-4}$	$3,758 \cdot 10^{-4}$	$2,164 \cdot 10^{-3}$

Для практичних цілей використовують безпечне значення струму 50–75 мкА; струм невідпускання становить 3–5 мА при частоті змінного струму 50 Гц [11, 12]. Як видно з таблиці, при падінні проводу на землю на відстані від проводу до 8 м, усі значення струмів перевищують значення безпечного струму. Це свідчить про значну загрозу життю людини при потраплянні її в поле розтікання струму.

Аварійний режим роботи при обриві проводу становить не тільки небезпеку для здоров'я і життя людей, а також призводить до руйнування ізоляції та виходу з ладу обладнання. В період виконання робіт обслуговуючим персоналом на ввімкнутій ПЛ можуть виникати перенапруги в результаті різкої зміни режиму роботи мережі. Найбільш небезпечними внутрішніми перенапругами за умовами дії на лінійну ізоляцію є перенапруги, викликані в результаті виникнення однофазних замикань на землю через дугу в мережах з ізольованою нейтраллю. Внутрішні перенапруги мають коливальний характер, їх тривалість знаходиться в широких межах, вони можуть поширюватись на всю систему або лише на обмежену її частину, і становлять 2,5–4 від фазної напруги [13–17]. Тому існує необхідність у негайному вимкненні лінії, на якій виник аварійний режим через обрив проводу.

## **1.2 Аналіз існуючих методів і засобів захисту розподільних повітряних мереж напругою 6–35 кВ від несиметричних режимів роботи**

Повітряні розподільні мережі напругою 6–35 кВ широко застосовують для сільської електрифікації і на промислових підприємствах. Особливі труднощі виникають при виконанні захисту від несиметричних режимів роботи в мережах сільської електрифікації, які розподілені в просторі, мають деревоподібну структуру і малий переріз сталевих проводів на віддалених ділянках. Це призводить до того, що рівень струмів к. з. наближається до рівня струмів навантаження на головних ділянках ПЛ. Захист в повітряних РМ виконують у вигляді двоступеневого максимального струмового захисту (МСЗ) [15, 16].

Для ПЛ довжиною декілька кілометрів проблеми забезпечення чутливості і селективності вирішуються існуючими засобами захисту. Значні труднощі виникають при виборі типу захисту при наявності секційних вимикачів ПЛ 6–10 кВ з резервуванням [18]. На цих вимикачах необхідно облаштовувати два комплекти МСЗ з різним рівнем чутливості і швидкодії, вмикання і вимикання яких здійснюється автоматично за допомогою органа спрямування потужності, або логічних органів, що реагують на наявність чи відсутність напруги на шинах підстанції.

Для реалізації МСЗ використовується різна елементна база, починаючи з реле прямої дії типу РТМ, РТВ. В наш час впроваджуються реле на мікроелектронній базі, наприклад, двофазний пристрій максимального захисту з залежною і незалежною витримкою часу та струмовою відсічкою РС80М2, який є функціональним аналогом двох електромеханічних реле РТ 80, 90 і забезпечує заміну РТ 80, 90 з контактною комутацією при струмах до 200 А [19].

В розподільних повітряних мережах сільськогосподарського призначення в багатьох випадках виникають труднощі узгодження МСЗ з залежною характеристикою запобіжників, які використовують для захисту трансформаторів потужністю 250 кВА і більше. В цьому випадку часові характеристики МСЗ на вводах і лініях напругою 6–10 кВ, які відходять від шин підстанції, повинні узгоджуватись з характеристиками плавких вставок запобіжників як зі сторони вищої напруги, так і понижувальних трансформаторів 6–10 кВ [18]. І в тих випадках, коли збільшення струму і часу дії МСЗ недопустимі, дозволяється не-селективна дія захисту, яка виправляється автоматом повторного вмикання (АПВ) [16].

В мережах, які живлять потужних споживачів (птахоферми, тваринницькі комплекси) навантаження двигунів практично таке ж, як і на промислових підприємствах. В середньому ж для мереж сільськогосподарського призначення навантаження двигунів невелике, а тому коефіцієнт самозапуску при розрахунку струму спрацювання захисту приймається  $K_{с.з.} = 1,1 - 2$  [18] при мінімальному часі спрацювання захисту 0,5 с. Струмова відсічка має обмежене застосування, оскільки її потрібно відстроювати від ближньої до головної ділянки трансформаторної підстанції і сумарного кидка струму намагнічення трансформаторів всіх ТП, що живляться від лінії. В цьому випадку неселективність дії при пошкодженні одного з трансформаторів може бути виправлена в циклі АПВ ПЛ, якщо струм спрацювання відсічки узгоджений з характеристикою плавкої вставки запобіжника [18].

Сьогодні в повітряних мережах широко застосовують вакуумні вимикачі з електромагнітним приводом, який живиться за допомогою вмонтованого блока живлення, що під'єднується до трансформаторів струму і напруги. На закритих підстанціях 10 кВ використовують комірки типу КСО [19].

В повітряних розподільних мережах промислових підприємств навантаження двигунів є значним, це призводить до необхідності застосовувати менш чутливий захист, оскільки збільшується коефіцієнт самозапуску і час спрацювання, що призводить до зниження напруги протягом тривалого часу та не забезпечує самозапуску у випадку к. з. на шинах відповідальних синхронних двигунів. Крім цього, необхідно при розрахунку струмів к. з. враховувати додаткове живлення від двигунів, що особливо важливо при виборі уставок швидкодійних захистів.

Для підвищення чутливості МСЗ при несиметричних к. з. в мережах 6–10 кВ запропоновано використовувати захист, який реагує на струми зворотної послідовності [20–22]. Перевагою такого захисту є те, що можна не враховувати струмів нормального режиму ПЛ. Разом

з тим, завдяки існуванню заземлених нейтралей трансформаторів на приймальних підстанціях при зовнішніх несиметричних к. з., наприклад, в мережі 110–220 кВ, струм зворотної послідовності з'являється і в мережі 6–10 кВ. Відстроюватись від цих струмів можна шляхом вибору відповідного струму спрацювання чи витримки часу, або застосування реле потужності, але відстроювання за струмом зворотної послідовності не підвищує чутливість МСЗ в порівнянні із захистом, який реагує на повні струми [23]. Чутливий неспрямований струмовий захист зворотної послідовності можна застосувати, якщо відстроюватись за часом від захисту мережі, який реагує на несиметричні к. з. попередніх приєднань. Наприклад, на рисунку 1.2 показана схема мережі, де струмовий захист зворотної послідовності облаштовується на ПЛ 6–10 кВ.

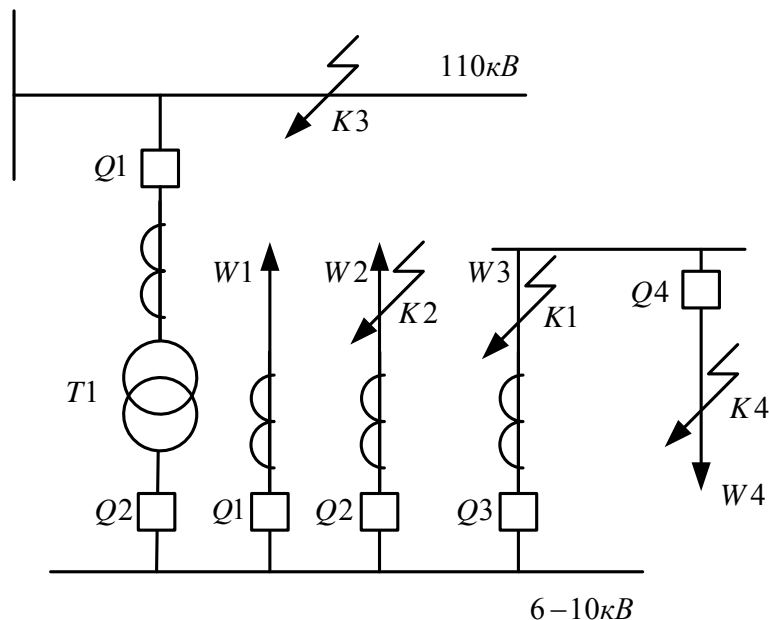


Рисунок 1.2 – Схема мережі для аналізу ефективності застосування струмового захисту зворотної послідовності

Для захисту лінії W1 від зовнішніх несиметричних к. з., струм зворотної послідовності, що протікає по W1, буде максимальним, у випадку к. з. в точках K2 і K3. Якщо не відстроювати захист лінії W1 від найбільшого струму зворотної послідовності  $I_2$ , то витримка часу його повинна бути більшою, ніж час спрацювання резервного захисту трансформатора T1 і ПЛ 110 кВ. При несиметричному к. з. на лінії W3, струм зворотної послідовності на непошкоджених лініях W1 і W2 зменшується, коли точка к. з. віддаляється від шин. Якщо відстроюватись від лінії W3 за часом, то чутливість струмового захисту зворотної послідовності ліній W1 і W2 можна вибрати за значенням струму в



непошкодженій лінії при несиметричному к. з. в кінці зони МСЗ лінії W3, коли струм зворотної послідовності непошкоджених ліній має відносно невелике значення [21–24]. Якщо розглядати доцільність застосування чутливого захисту зворотної послідовності на лінії W3, при к. з. на лінії W4, то умовою її селективності є відстроювання за чутливістю і часом від захисту зворотної послідовності лінії W4, що призводить до зменшення чутливості і збільшення часу спрацювання захисту лінії W3. Отже підвищення чутливості струмового захисту зворотної послідовності забезпечується лише на лініях, які відходять від однієї системи шин і є несекціонованими, тобто, на лініях, які живлять зосереджене навантаження, наприклад, потужні електродвигуни.

Більш досконалим за чутливістю та швидкодією є термінал інтегрованого захисту і автоматики вводів напругою 6–35 кВ типу «Сіріус В» [25]. Він виконує функції захисту від несиметричних режимів та обриву фази і реагує на струм зворотної послідовності, але він не відрізняє обриву фази від міжфазного к. з. в електричній мережі, і діє на вимкнення зі значною витримкою часу. Аналогічно працює захист від несиметричних режимів в складі мікропроцесорного терміналу НТЦ «Мехатроніка».

Розподільні повітряні мережі сільськогосподарського призначення мають деревоподібну структуру, тобто, навантаження розподілене в просторі, з іншого боку, струми зворотної послідовності при виникненні міжфазних к. з. мають на декілька порядків більше значення, ніж струм зворотної послідовності при обриві проводу (додаток А). Тому існуючі засоби захисту від несиметричних режимів не забезпечують необхідної чутливості до такого виду пошкодження в повітряній мережі з деревоподібною конфігурацією як обрив проводу. Оскільки після обриву фази, провід падає на землю і виникає ОЗЗ, то вважають, що цей вид пошкодження може виявити захист від ОЗЗ.

Відомі також пристрої захисту від обриву проводу [26–29], які використовують ознаку знеструмлення пошкодженої фази. На рисунку 1.3 представлено функціональну схему пристрою захисту від обриву проводу [26, 28]. Вона складається з первинних перетворювачів сигналів – трансформаторів струму і напруги 1, 2, 3, увімкнених у фази захищеної електричної мережі – перетворювачів змінної напруги в постійну 4–6, виходи яких з'єднані з відповідними входами блока 7 (логічний елемент І) і 8 (логічний елемент АБО). Блоки 7 і 8 під'єднані до відповідних входів блока 9 (логічний елемент І-НІ) і блока 10 (елемент затримки сигналу), які послідовно з'єднані з блоком 11 (логічна схема збігу І на два входи) і вихідним блоком 12.

Коли пошкодження відсутнє, на входи перетворювачів змінної напруги в постійну 4–6 надходять сигнали, які пропорційні струмам у

фазах. Вони випрямляються, обмежуються за величиною у вигляді безперервної логічної одиниці, надходять на три входи схеми збігу 7 і логічного елемента 8, відповідно. На виходах елементів 7 і 8 з'являються сигнали логічної одиниці, що надходять на два входи логічного елемента І-НІ 9, при цьому з його виходу сигнал логічного нуля надходить на перший вхід схеми збігу 11. На його другий вхід надходить сигнал логічної одиниці з виходу логічного елемента АБО 8 через елемент затримки часу 10. У цьому випадку на вхід вихідного блока сигнал не надходить і команда на вимкнення вимикача Q не формується. Елемент затримки сигналу 10 виключає помилкову роботу пристрою при різночасності замикання контактів силового вимикача при ввімкненні лінії в роботу.

У випадку обриву проводу однієї з фаз ЛЕП зникне сигнал на одному з виходів схеми збігу 7 і логічного елемента 8, тому на виході елемента 7 сигнал логічної одиниці зникає, а 8 залишається, запускається вихідний блок 12 і формується сигнал на відключення розподільної мережі.

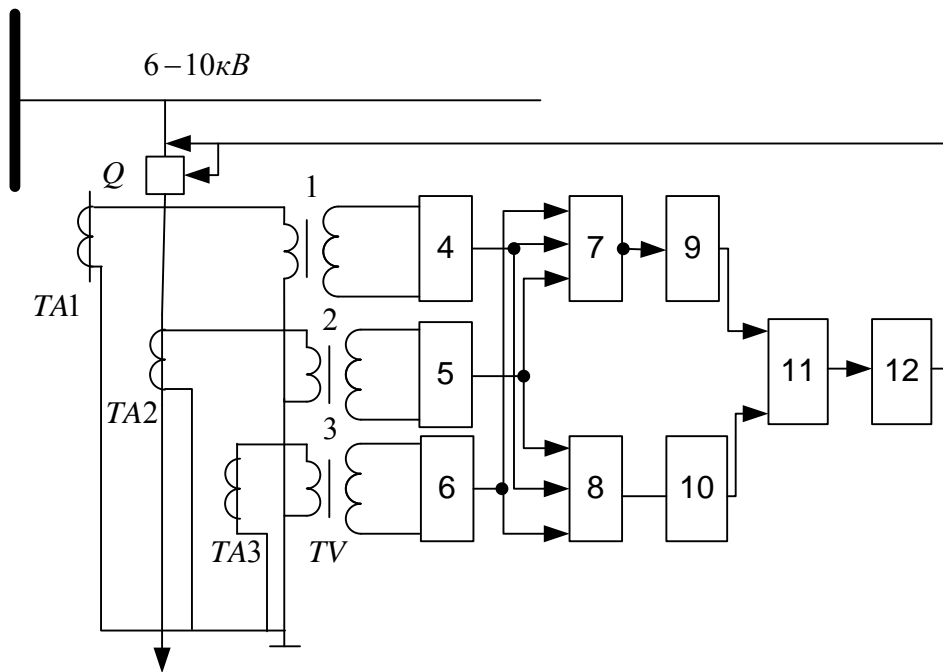


Рисунок 1.3 – Функціональна схема захисту від обриву проводу в розподільній мережі з ізольованою чи компенсованою нейтраллю

Цей захист має обмежене застосування для мереж, які не мають відгалуження. В розподільних мережах з деревоподібною структурою при виникненні пошкодження за першим і наступними відгалуженнями струм в пошкодженій фазі на початку лінії визначається струмом навантаження відгалуження до місця обриву.

### 1.3 Аналіз існуючих методів і засобів захисту від однофазних замикань на землю

Однофазні замикання на землю є найбільш розповсюдженим видом пошкодження (60–90 % від загальної кількості пошкоджень ЛЕП) в мережах з ізольованою або компенсованою нейтраллю. Опір нульової послідовності в таких мережах визначається, в основному, ємністю ліній електропередачі відносно землі і перехідним опором в місці замикання, тому струми замикання на землю на декілька порядків менші, ніж струми міжфазних к. з. і, в більшості випадків, менші, ніж струми навантаження, особливо в повітряних мережах напругою 6–10 кВ, де ємність мережі відносно землі невелика (0,1–1.0 мкФ).

Причини виникнення ОЗЗ, різноманітні [30, 31], однак, найбільш небезпечним є ОЗЗ, яке супроводжується обривом проводу, оскільки у цьому випадку замикання на землю відбувається через значний активний опір. При цьому напруга на пошкодженій фазі відносно землі не знижується до нуля, а напруга непошкоджених фаз стає більшою від фазної, але меншою ніж міжфазна. Зміну фазних напруг і появу напруги нульової послідовності використовують для виконання захисту від ОЗЗ.

Розглянемо вплив перехідного опору  $r_{OЗЗ}$  в місці падіння проводу на величину напруги нульової послідовності  $U_0$ , яка вимірюється за допомогою трансформаторів напруги типу НОМ або НТМИ [30–32]. Схема з'єднання додаткової обмотки трансформатора напруги для вимірювання  $U_0$  та розрахункова схема для визначення напруги нульової послідовності  $U_0$  зображені, відповідно, на рисунку 1.4а, б. Де

$Y_A = \frac{1}{r_A} + j\omega C_A$ ;  $Y_B = \frac{1}{r_B} + j\omega C_B$ ;  $Y_C = \frac{1}{r_C} + j\omega C_C$  – комплексні провідності фаз мережі відносно землі;  $r_A, r_B, r_C$  – активний опір ізоляції, відповідно, фази мережі відносно землі;  $C_A, C_B, C_C$  – ємність фаз мережі по відношенню до землі;  $r_1, L_1$  – внесений активний опір і індуктивність трансформатора напруги контролю ізоляції.

Згідно з [31] для трансформатора типу НТМИ

$$r_1 = \frac{n_1^2 n_2^2 r_\Delta r_\Upsilon}{n_2^2 r_\Delta + 3n_1^2 r_\Upsilon}, \quad (1.7)$$

де  $n_1, n_2$  – відповідно, коефіцієнти трансформації між первинною, вторинною основною і додатковою обмотками НТМИ, з'єднаними за схемою «зірка» та «відкритий трикутник».

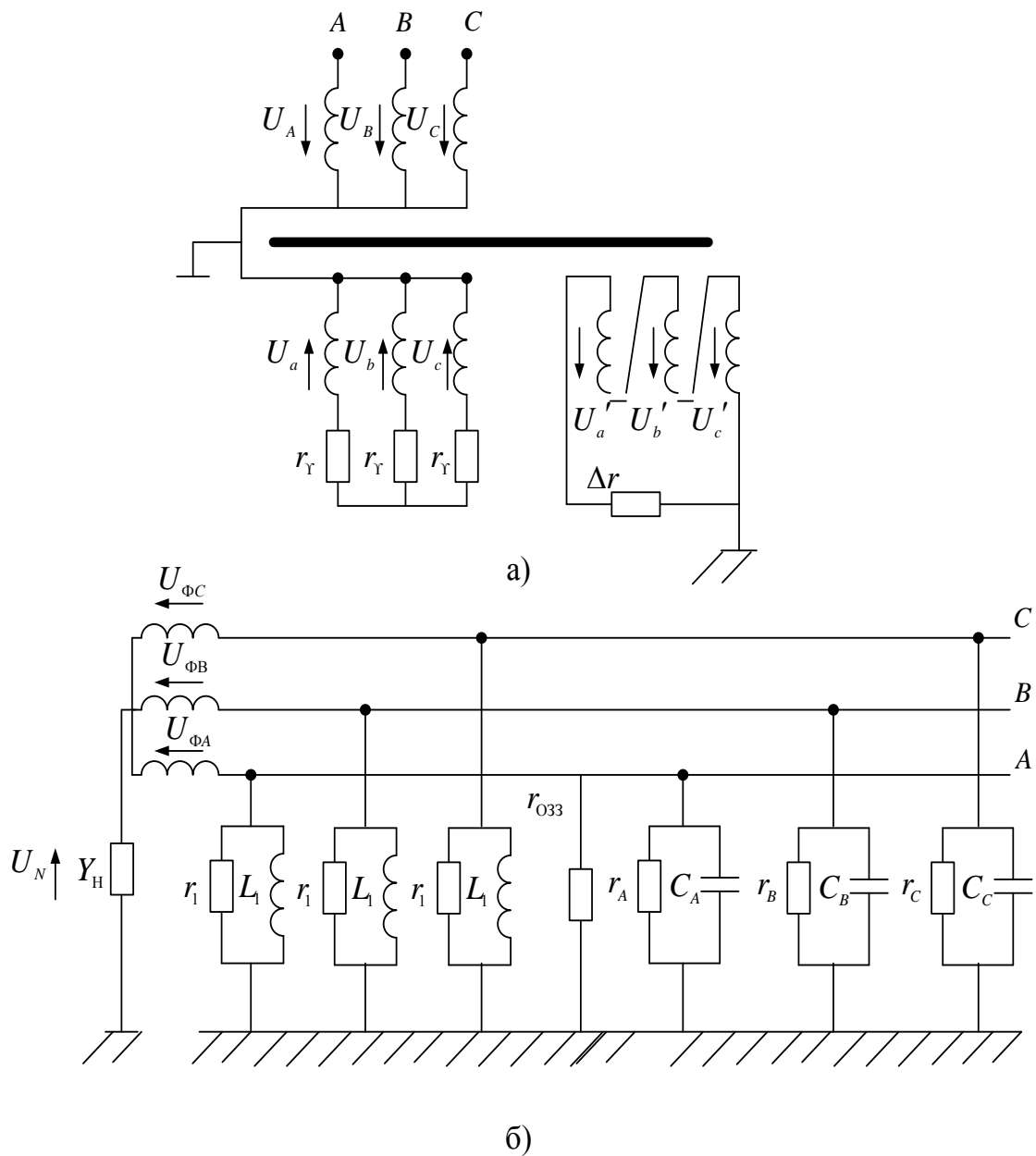


Рисунок 1.4 – Схема з'єднань трансформатора для вимірювання  $U_0$  (а); та розрахункова схема трифазної мережі для визначення  $U_0$  (б)

Якщо вважати, що  $C_A = C_B = C_C = C$  і  $r_A = r_B = r_C = r$  і виник обрив проводу у фазі  $A$ , а при падінні його на землю утворився шунтувальний зв'язок через опір  $r_{O33}$ , то комплекс напруги нульової послідовності (див. рис.1.4б) можна визначити як

$$\dot{U}_0 = \frac{U_{\Phi}}{n_2} \frac{1/r_{O33}}{1/r_{O33} + 3 \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r} + \frac{1 - \omega^2 L_1 C}{j\omega L_1} \right) + Y_H}. \quad (1.8)$$

## ЛІТЕРАТУРА

1. Андриевский В. Н. Эксплуатация воздушных линий электропередачи / В. Н. Андриевский, А. Т. Головань, А. С. Зеличенко. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1989. – 208 с.
2. Электрические сети и системы / Н. В. Буслова, В. Н. Винославский, Г. И. Денисенко, В. С. Перхач. – К. : Высш. шк., 1986. – 594 с.
3. Надежность систем электроснабжения / В. В. Зорин, В. В. Тесленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер. – К. : Высш. шк., 1984. – 192 с.
4. Прусс В. Л. Повышение надёжности электрических сетей / В. Л. Прусс, В. В. Тесленко. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1989. – 208 с.
5. Барг И. Г. Совершенствование обслуживания электросетей 0,4–20 кВ в сельской местности / И. Г. Барг, Х. Я. Ваяк, Д. Т. Комаров. – М. : Энергия, 1980. – 240 с.
6. Справочник по ремонту и техническому обслуживанию электрических сетей / под ред. К. М. Антипова, Н. Е. Бандуилова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 360 с.
7. Кутін В. М. Неперервний контроль опору ізоляції розподільчих мереж з ізолюваною нейтраллю / В. М. Кутін, Ештіба Алі Мусбах // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1993. – № 1. – С. 62–64.
8. Шимони К. Теоретическая электротехника / К. Шимони ; пер. с нем. К. М. Поливанова. – М. : Мир, 1964. – 774 с.
9. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках : учеб. пособие для вузов / П. А. Долин. – 2-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
10. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений и токов. : ГОСТ 12.1.038-82ССБТ.– Исполнение №1. – Действителен от 01.07.1988. – М. : Изд-во стандартов, 1990.
11. Якобс А. И. О нормировании уровня электробезопасности и допустимого напряжения прикосновения / А. И. Якобс, С. И. Коструба // Электричество. – 1978. – № 1. – С. 58–60.
12. International Electrical Commission IEC Report Publ.479-1. Third edition Effects of current on human liens end livenstock / Part 1: General aspects. 1994-09.
13. Лихачёв Ф. А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией ёмкостных токов / Ф. А. Лихачёв. – М. : Энергия, 1971. – 152 с.
14. Щуцкий В. И. Защитное шунтирование однофазных повреждений / В. И. Щуцкий, В. О. Жидков, Ю. Н. Ильин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.

15. Правила эксплуатации электроустановок. – М. : Энергоатомиздат. – 1986. – 648 с.
16. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. Об'єднання енергетичних підприємств. / Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики. – К., 2003. – 329 с.
17. Стасенко Р. Ф. Автоматизация сельских электрических сетей / Р. Ф. Стасенко, П. П. Фещенко. – К. : Техника, 1982. – 128 с.
18. Шабад М. А. Расчёт релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – Л. : Энергия, 1980. – 96 с.
19. Головацкий В. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей / В. Г. Головацкий, И. В. Понамарёв. Энергомашвин электронная версия, 2006. – 786 с.
20. Пронникова М. И. Фильтровые защиты от коротких замыканий для сельских электроустановок / М. И. Пронникова // Автоматизация производственных процессов в сельском хозяйстве. – М. : Изво АН СССР. – С. 360–365.
21. Гельфанд Я. С. Релейная защита распределительных сетей / Я. С. Гельфанд. – 2е изд. – М. : Энергоиздат, – 1987. – 368 с.
22. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учеб. для вузов по спец «Электроснабжение» / В. А. Андреев – М. : Высш. Шк. – 1991. – 496 с.
23. Федосеев А. М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей / А. М. Федосеев. – М. : Энергоатомиздат. – 1984. – 520 с.
24. Паперно Л. Б. Бесконтактные токовые защиты электроустановок / Л. Б. Паперно. – М. : Энергоиздат, 1983. – 112 с.
25. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пособие для вузов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.
26. Пат. 64542 Україна МПК НО2Н3/24. Пристрій захисту електричної мережі з ізольованою або компенсованою нейтраллю від несиметричних режимів / Ф. П. Шкрабець, А. А. Дворніков, О. В. Остапчук, В. И. Горденко, заявник і патентовласник Національний гірничий університет. Заяв. 24.06.2003 ; надр. Бюл. №10 2006 р.
27. Шкрабець Ф. П. Пути повышения безаварийности и уровня безопасности электрических сетей карьеров : моногр. / Ф. П. Шкрабець, А. Н. Гребенюк, А. И. Ковалёв. – Д. : Національний гірничий університет, 2011 – 233 с.
28. Шкрабець Ф. П. Защитное отключение при обрыве проводу воздушной электрической сети / Ф. П. Шкрабець, А. Н. Гребенюк // Гір-

нича електромеханіка та автоматика : наук. техн. зб. – Дніпропетровськ, 2008. – № 75. – С. 44–47.

29. Гребенюк А. М. Методи та пристрої захисту при обриві проводів кар'єрних розподільних і тягових мереж : – автореферат дис...канд. техн. наук. 05.09.03 / Гребенюк А. М. ; Державний ВНЗ «НГУ» – Дніпропетровськ. – 2012.

30. Кутин В. М. Диагностика повреждения изоляции распределительных сетей выше 1000 В с изолированной нейтралью / В. М. Кутин, А. В. Кобылянский // Промышленная энергетика. – 1984. – № 7. – С. 11–14.

31. Цапенко Е. Ф. Замыкание на землю в сетях 6–35 кВ / Е. Ф. Цапенко. – М. : Энергоиздат, 1986. – 128 с.

32. Сирота И. М. Трансформаторы и фильтры напряжения и тока нулевой последовательности / И. М. Сирота. – К. : Наукова думка. – 1983. – 267 с.

33. Назаров В. В. Защита электрических сетей от однофазных замыканий / В. В. Назаров. – К. : Либідь, 1992. – 124 с.

34. Самойлович И. С. К оценке переходных сопротивлений при однофазных замыканиях на землю в сетях 6–10 кВ / И. С. Самойлович // Проблемы технической электродинамики. – 1972. – Вып. 37. – С. 55–60.

35. Кутін В. М. Визначення роботоздатності ізоляції розподільної мережі змінного струму / В. М. Кутін, В. В. Вашковський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – № 1. – С. 29–36.

36. Поливанов К. М. Теоретические основы электротехники : в 2 частях / К. М. Поливанов. – Ч. 1, Линейные электрические цепи с сосредоточенными постоянными. М. – Л. : Энергия, 1965. – 360 с.

37. Комплексные устройства защиты и автоматики серии SPAC 800 // Электротехника. Промышленный каталог. 06.02.16-00. Информэлектро. – 2008.

38. Комплектные электротехнические устройства : справочник: в. 3 т. – Т. 1 : Комплексные распределительные устройства. – М. : Информэлектро. – 1999. – 168 с.

39. Борухман В. А. Об эксплуатации селективных защит от замыканий на землю в сетях 6–10 кВ и мероприятия по их совершенствованию / В. А. Борухман // Энергетик. – 2000. – № 1. С. 20–21.

40. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания : учебник для вузов / В. А. Андреев. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Высш. шк. – 2006. – 639 с.

41. Попов И. Н. Релейная защита, основанная на контроле переходных процессов / И. Н. Попов, В. Ф. Лачугин, Г. В. Соколова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.

42. Определение мест повреждения в воздушных и кабельных линиях : (обзор) // Энергетика за рубежом – М. : БТНОРГРЕС. – 1961. – Вып. 2. – 261 с.

43. Прусс В. Л. Управление линией распределительной сети в аварийном режиме / В. Л. Прусс, А. И. Смирнов // Электричество. – 1983. – № 1. – С. 12–17.

44. Прусс В. Л. Математическая модель аварийной диагностики кабельной сети 6-10 кВ / В. Л. Прусс, Л. В. Нечипорович // Известия вузов. Энергетика. – 1970. – № 2. – С. 23–29.

45. Прусс В. Л. Использование ЭЦВМ для формирования оптимального управления процессом аварийной диагностики в распределительных электросетях 6-10 кВ / В. Л. Прусс, Л. В. Нечипорович // Известия вузов. Энергетика. – 1971. – № 5. – С. 20–25.

46. А. с. 1215068 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Указатель короткого замыкания / А. П. Калейников, В. А. Лавров. – № 3769307/24-21 ; заявл. 10.07.84 ; опубл. 28.02.86, Бюл. № 8. – 3 с.

47. А. с. 1000944 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Устройство для определения направления поиска короткого замыкания / В. А. Островский, Р. М. Сагутдинов, М. К. Богорад, А. И. Селивахин, А. П. Кузнецов, И. А. Федотов, И. Г. Беляков. – № 3347097/24-21 ; заявл. 22.10.81 ; опубл. 28.02.83, Бюл. № 8. – 5 с.

48. А. с. 559196 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Указатель короткого замыкания / И. И. Труб, А. П. Коробейников, Б. И. Мостовой. – № 2324043/24 ; заявл. 05.02.76 ; опубл. 25.05.77, Бюл. № 19. – 5 с.

49. А. с. 1054804 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Указатель короткого замыкания / В. И. Гуревич, О. И. Измайлов, В. Н. Горин, П. И. Савченко. – № 3238975/18-21 ; заявл. 20.01.81 ; опубл. 15.11.83, Бюл. № 42. – 3 с.

50. А. с. 1226359 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Указатель короткого замыкания / Н. М. Черемисин, В. М. Зубко, В. И. Гуревич, П. А. Колбасин. – № 3800842/24-21 ; заявл. 12.10.84 ; опубл. 23.04.86, Бюл. № 15. – 3 с.

51. А. с. 892359 СССР, МКИ G 01 R 31/08, H 02 H 3/08. Устройство для сигнализации направления короткого замыкания / Р. Ш. Сагутдинов, В. А. Островский, В. С. Рыбов, А. П. Кузнецов. – № 2905168/24-07 ; заявл. 04.04.80 ; опубл. 23.12.81, Бюл. № 47. – 3 с.

52. А. с. 1183925 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Указатель короткого замыкания / Н. М. Черемисин, В. И. Гуревич, Н. И. Труб, П. А. Колбасин, Н. А. Босий. – № 3606526/24-21 ; заявл. 03.05.83 ; опубл. 07.10.85, Бюл. № 37. – 2 с.

53. Дулуб И. С. Методика определения эффективности внедрения указателей короткого замыкания в сельских сетях 6–10 кВ / И. С. Ду-



луб, Ю. Л. Кошкин, В. А. Островский // Электричество. – 1980. – № 9. – С. 76–79.

54. Берхин В. И. Определение мест однофазных к. з. в воздушных распределительных сетях / В. И. Берхин, С. Ф. Кондратюк // Энергетик. – 1974. – № 11. – С. 33–34.

55. Айзенфельд А. И. Определение мест короткого замыкания на линиях с ответвлениями / А. И. Айзенфельд, Г. М. Шалыт. – 2-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.

56. Борухман В. А. Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи / В. А. Борухман, А. А. Кудрявцев, А. П. Кузнецов. – М. : Энергия, 1973. – 88 с.

57. Определения мест повреждения в воздушных и кабельных линиях : обзор // Энергетика за рубежом. – М. : БТИ ОРГРЭС. – 1961. – Вып. 2. – 261 с.

58. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г. М. Шалыт. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 312 с.

59. А. с. 479058 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Устройство для непосредственного определения расстояния до места короткого замыкания на линиях с ответвлениями / А. И. Айзенфельд, А. А. Кудрявцев, А. П. Кузнецов, Г. М. Шалыт, Э. Я. Биркенфельдс, П. Е. Брунс, Е. И. Окунцов. – № 1852476/24-7 ; заявл. 02.12.72 ; опубл. 30.07.75, Бюл. № 28. – 4 с.

60. А. с. 571773 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Устройство для измерения расстояния до мест междуфазных коротких замыканий на линиях электропередачи / Р. Ф. Стасенко, Ж. П. Гейдерман, В. П. Горишний, Ф. Д. Кузнецов, Г. И. Марикода. – № 2073232/21 ; заявл. 11.11.74 ; опубл. 05.09.77, Бюл. № 33. – 3 с.

61. Борухман В. А. Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи 6-750 кВ / В. А. Борухман, А. А. Кудрявцев, А. П. Кузнецов. – М. : Энергия, 1980. – 104 с.

62. А. с. 416634 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Способ определения расстояния до места короткого замыкания линий электропередачи / Л. П. Бранаускас. – № 1769322/24-7 ; заявл. 06.04.72 ; опубл. 25.02.74, Бюл. № 7. – 4 с.

63. А. с. 523369 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Устройство для дистанционного измерения расстояния до точки короткого замыкания / М. И. Пронникова, Н. С. Дулуб. – № 2050292/21-21 ; заявл. 05.03.74 ; опубл. 30.07.76, Бюл. № 28. – 3 с.

64. Малый А. С. Определение мест повреждения линии электропередачи по параметрам аварийного режима / А. С. Малый, Г. М. Шалыт, А. И. Айзенфельд. – М. : Энергия, 1972. – 216 с.

65. Айзенфельд А. И. Методы определения короткого замыкания на воздушных ЛЭП при помощи фиксирующих приборов / А. И. Айзенфельд. – М. : Энергия, 1974. – 62 с.

66. А. с. 552572 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Способ определения расстояния до места короткого замыкания на линиях электропередачи / А. Я. Янаус, Э. Я. Биркенфельдс. – № 1953271/07 ; заявл. 14.08.73 ; опубл. 30.03.77, Бюл. № 12. – 3 с.

67. А. с. 550597 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Способ определения расстояния до места короткого замыкания в электрической линии / А. Б. Клеменц, Л. Н. Солюянов. – № 1891785/07 ; заявл. 15.03.73 ; опубл. 26.04.77, Бюл. № 10. – 2 с.

68. А. с. 1075198 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Устройство для измерения расстояния до места короткого замыкания. Заявл. 05.04.82 ; опубл. 23.02.84, Бюл. № 7. – 4 с.

69. А. с. 508759 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Способ определения места однофазного замыкания на воздушных линиях в компенсированных сетях и в сетях с изолированной нейтралью. Заявл. 21.06.71 ; опубл. 30.03.76, Бюл. № 12. – 3 с.

70. А. с. 10000942 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Способ определения места однофазного замыкания на землю в воздушных сетях с изолированной нейтралью / А. А. Пястолов, В. Н. Соколова. – № 2995250/18-21 ; заявл. 20.10.80 ; опубл. 28.02.83, Бюл. № 8. – 2 с.

71. А. с. 1083135 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Устройство для определения поврежденной линии при однофазном замыкании на землю / В. Л. Вайнштейн, В. Н. Мохов. – № 3494391/18-21 ; заявл. 23.09.82 ; опубл. 30.03.84, Бюл. № 12. – 3 с.

72. А. с. 911378 СССР, МКИ G 01 R 31/08. Устройство для отыскания однофазного замыкания на землю в сетях с компенсированной нейтралью / В. П. Чайкин, Н. Я. Кайдромайлов. – № 2857923/24–21 ; заявл. 25.12.79 ; опубл. 07.03.82; Бюл. № 9. – 3 с.

73. Кутін В. М. Комбінована система визначення місця пошкодження в повітряних розподільних мережах напругою 6–35 кВ / В. М. Кутін, В. В. Луцяк // Технічна електродинаміка : тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – К., 2008. – С. 57–61.

74. Кутін В. М. Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко, М. В. Кутіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 1. – С. 37–41.

75. Кутін В. М. Комбінований принцип діагностування технічного стану систем електропостачання / В. М. Кутін, М. О. Ілюхін, М. В. Кутіна // Наукові вісті. Інститут менеджменту та економіки «Галицька академія» – 2007. – № 1(11) – С. 62–66.

76. Кутін В. М. Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко, М. В. Кутіна // XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика-2006»; тези доповідей. – Вінниця. – 2006. – С. 116.

77. Кутін В. М. Оцінка ефективності системи діагностичного контролю електротехнічних комплексів / В. М. Кутін, М. О. Ілюхін, М. В. Кутіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 3 – С. 51–54.

78. Кутін В. М. Метод визначення залежності між параметрами структури та діагностичними ознаками складних об'єктів / В. М. Кутін, М. В. Кутіна // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Остроградського. – 2006. – № 3(38), Ч.2. – С. 99–100.

79. Кутін В. М. Вибір діагностичних параметрів на основі топологічної моделі об'єкта / В. М. Кутін, М. В. Кутіна, М. О. Ілюхін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Остроградського. – 2008. – № 4 (51), Ч.2. – С. 70–73.

80. Кути́н В. М. Диагностирование электрических распределительных сетей / В. М. Кути́н, О. И. Кульматицкий . – К. : Техника, 1993. – 160 с.

81. Кути́н В. М. Поиск поврежденных в распределительных электрических сетях / В. М. Кути́н, П. К. Пискаряров. – К. : Техника, 1994. – 186 с.

82. Кутін В. М. Комбінована система діагностування систем електропостачання змінного та постійного струму (теорія, дослідження та розробка) : автореф. дис. ... докт. техн. наук 05.09.03 : Кутін Василь Михайлович. – Дніпропетровськ, 2002. – 37 с.

83. А. с. 1205081 СССР, МКИ G 01R 31/08. Устройство для определения сопротивления до места короткого замыкания в трехфазной сети с изолированной нейтралью / В. М. Кути́н, В. Н. Вишне́вский, А. С. Разумный, А. В. Кобылянский, А. Е. Рубаненко, В. В. Зигора – № 3735006/24-21 ; заявл. 04.05.84 ; опубл. 15.01.86, Бюл. № 2. – 5 с.

84. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов / Л. А. Бессонов. – 6-е изд. – М. : – Высш. школа, 1973. – 752 с.

85. Кутіна М. В. Визначення ознак аварійного режиму обриву проводу в повітряних лініях електропередачі напругою 6–35 кВ / М. В. Кутіна // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2011. – № 2 (14) – С. 145–149.

86. Никитин Е. М. Теоретическая механика для техникумов / Е. М. Никитин. – 12-е изд. испр. – М. : Наука, 1988. – 336 с.

87. Крюков К. П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – Л. : Энергия, 1970. – 392 с.

88. Шалин А. И. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Достоинства и недостатки различных защит / А. И. Шалин // Новости Электротехники. – 2005. – № 3 (33). – Режим доступа к журн. : <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/13.php>.

89. Кутіна М. В. Однофазне замикання на землю при обриві проводу в мережах напругою 6–35 кВ / М. В. Кутіна // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Остроградського. – 2010. – № 3 (62), Ч. 2. – С. 103–106.

90. Лежнюк П. Д. Математична модель для визначення перехідного опору в місці обриву проводу повітряної ЛЕП / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010) : матеріали X Міжнародної конференції. Вінниця. – 2010. – С. 204.

91. Лежнюк П. Д. Математична модель для визначення перехідного опору в місці обриву проводу повітряної ЛЕП / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – № 2 – [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2011\\_2/2011-2.files/uk/11pdlotl\\_ua.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2011_2/2011-2.files/uk/11pdlotl_ua.pdf).

92. Таев И. С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения / И. С. Таев. – М. : Энергия, 1973. – 424 с.

93. Omori T. Contact resistance / T. Omori, T. Ogo // Electr. Engin. Japan. – 1965. – № 8(85). – P. 28.

94. Сена Л. А. Единицы физических величин и их размерности / Сена Л. А. – 2-е изд. – М. : Наука, 1977. – 336 с.

95. Князевский Б. А. Охрана труда в электроустановках / Б. А. Князевский, Т. П. Тарусова, Н. А. Чекалин. – М. : Энергия, 1970. – 320 с.

96. Михайлов М. И. Заземляющие устройства в установках электросвязи / М. И. Михайлов, С. А. Соколов. – М. : Связь, 1971. – 199 с.

97. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров / Х. Уонг ; пер. с англ. В. В. Яковлева, В. И. Колядина. – М. : Атомиздат, 1979. – 216 с.

98. Заленский А. М. Тепловые расчёты электрических аппаратов / А. М. Заленский, Г. А. Кукеков. – М. : Энергия, 1967. – 258 с.

99. Кутіна М. В. Визначення ознак аварійного режиму обриву проводу в повітряних лініях електропередачі напругою 6–35 кВ / М. В. Кутіна // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехніч-

них системах ; матеріали конференції – Кременчук. – 2011.– № 1(1). – С. 310.

100. Кутіна М. В. Система керування аварійним режимом, спричиненим обривом проводу в розподільних мережах / М. В. Кутіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 6 – С. 60–63.

101. Кутіна М. В. Захист від аварійних режимів розподільних мереж зі складною топологією / М. В. Кутіна // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Остроградського. – 2007. – № 3(44). – С. 129–131.

102. Кутіна М. В. Застосування локаційних методів для визначення виду і місця ушкоджень в розподільних мережах напругою 6–10 кВ / М. В. Кутіна // V Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів ; тези наукових доповідей. – Кременчук, 2007. – С. 189.

103. Кутіна М. В. Метод виявлення обриву лінії в повітряних розподільних мережах напругою 6–35 кВ / М. В. Кутіна, М. О. Ілюхін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Остроградського. – 2009. – № 4 (57), Ч.1. – С. 166–167.

104. Минуллин Р. Г. Методы и аппаратура определения мест повреждений в электросетях / Р. Г. Минуллин. – Казань : Энергопрогресс, 2002. – 152 с.

105. Микуцкий Г. В. Высокочастотная связь по линиям электропередачи / Г. В. Микуцкий, В. С. Скитальцев. – М. : Энергия, 1969. – 448 с.

106. Кутіна М. В. Система захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільних мережах напругою 6–35 кВ / М. В. Кутіна // Теоретична електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 46–48.

107. Шалыт Г. М. Определение мест повреждений ЛЭП / Г. М. Шалыт. Сб. статей М. : Энергия, 1977.

108. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения воздушных и кабельных линий электропередачи / Г. М. Шалыт. Сб. статей. – М. – Л. : Энергия, 1966. – С. 26–47.

109. Минуллин Р. Г. Определение мест повреждения в электрических сетях напряжением 6–35 кВ импульсным методом / Р. Г. Минуллин, Е. В. Закамский // Российский национальный симпозиум по энергетике : мат. докладов. – Казань : КГЭУ, 2001. – Т2. – С. 62–64.

110. Кутіна М. В. Визначення місця пошкодження при обриві проводу повітряних розподільних мереж напругою 6–35 кВ / М. В. Кутіна // Проблеми і перспективи енергозбереження комуналь-

ного господарства і промислових підприємств : матеріали наукового семінару – Луцьк, – 2009. – С. 93–97.

111. Кутіна М. В. Дослідження параметрів розподільної мережі при обриві проводу і короткому замиканні / М. В. Кутіна // XXXVII науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету : електронне наукове видання матеріалів конференції. – 2008. – Режим доступу : <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2008/ineeem/txt/kutina.pdf>

112. Кутіна М. В. Діагностичні ознаки рефлектометрії повітряних розподільних мереж напругою 6–35 кВ / М. В. Кутіна // VI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів : збірник наукових праць – Кременчук, 2008. – С. 250–251.

113. Кутіна М. В. Оцінка ефективності автоматичного пошуку несправностей в електроустановках / М. В. Кутіна // Четверта Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів : тези наукових доповідей – Кременчук, 2006. – С. 100.

114. Кутіна М. В. Захист від аварійних режимів роботи повітряних розподільних мереж напругою 6–35 кВ / М. В. Кутіна, М. О. Ілюхін // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2008) : матеріали IX Міжнародної конференції – Вінниця, 2008. – Режим доступу : [http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/materials/subsection\\_3.1.pdf](http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/materials/subsection_3.1.pdf).

115. Зевеке Г. В. Основы теории цепей. 5-е издание перераб. / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил. Режим доступу. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

116. Гусьев В. Г. Электроника. / В. Г. Гусьев, Ю. Н. Гусьев. – 2-изд., перераб. и доп М. : Высшая школа, 1991. – 622 с.

117. Физические аспекты диагностики электрических линий методом рефлектометрии / Р. Г. Мнуллин, И. Ш. Фардиев, Е. В. Закамский, В. В. Андреев // Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика, диагностика технических систем, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий : сборник материалов XVI Всероссийской межвузовской научно-технической конференции – Казань: КФМВАУ, 2004. – Ч. 1. – С. 29–30.

118. Автоматический поиск неисправностей / А. В. Мозгалевский, Д. В. Гаскаров, Л. П. Глазунов, В. Д. Ерастов. – Л. : Машиностроение, 1967. – 168 с.

119. Релейная защита и автоматика. Краткий номенклатурный каталог продукции выпускаемой и поставляемой компанией «Энергомашин» по состоянию на 1.02.2004.

120. Чумаченко І. В. Мікроелектронні прилади: структура і використання : навч. посібник / І. В. Чумаченко, М. Д. Кошовий,

В. В. Лопатин. – Харьков : Нац. аерокосмічний ун-т «ХАІ», 2001. – 277 с.

121. Atmel. Документация. – Режим доступа:

<http://www/atmel.ru/Documents/Documents.htm>

122. Минуллин Р. Г. Распознавание рефлектограм импульсного зондирования при автоматической диагностике электрических линий / Е. В. Закамский, В. В. Андреев // Будущее технической науки : материалы докладов III Всероссийской молодёжной научно-технической конференции. – Н. Новгород: НГТУ, 2004. – С. 119.

123. Минуллин Р. Г. Интеллектуальная обработка цифровых рефлектограм электролиний распределительных сетей 6–10 кВ / В. В. Андреев, И. Ш. Фардиев, Е. В. Закамский // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике : материалы докладов 5 Всероссийской научно-технической конференции. – Чебоксары: ЧГУ, 2004. – С. 241.

124. Кутин В. М. Поиск повреждений в распределительных электрических сетях / В. М. Кутин, П. К. Пискаряков. – К. : Техника, 1994. – 138 с.

125. Кискачи В. М. Селективная сигнализация замыканий на землю с использованием высших гармоник тока нулевой последовательности / В. М. Кискачи // Электричество. – 1967. – № 9. – С. 24–30.

126. Карпов И. В. Прибор для отыскания места замыкания в воздушных сетях 6–10 кВ / И. В. Карпов, С. П. Борисов, В. С. Парнацкий // Энергетика. – 1967. – № 12. – С. 25–27.

127. Кутин В. М. Оптимизация процесса поиска повреждений в воздушных распределительных сетях 6–10 кВ / В. М. Кутин // Электричество. – 1994. – № 3. – С. 28–35.

128. Кутин В. М. Выбор оптимальной стратегии при поиске повреждений в распределительных сетях 6–35 кВ / В. М. Кутин, Мохамед Аль-Нсур, Али Мусбах // Энергетика и электрификация. – 1995. – № 5. – С. 46–49.

129. Кутін В. М. Інформаційно-вимірювальна система визначення місць пошкодження в розподільних мережах змінного струму напругою 6–35 кВ / В. М. Кутін, В. В. Вашковський // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2000. – № 5. – С. 24–31.

130. Минуллин Р. Г. Методы и аппаратура определения мест повреждения в электросетях / Р. Г. Минуллин. – Казань : Энергопрогресс, 2002. – 152 с.

Наукове видання

**Лежнюк Петро Дем'янович  
Кутіна Марина Василівна**

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ВІД ОБРИВУ ПРОВОДУ  
ТА ПОШУК МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ  
В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ  
ЗІ СКЛАДНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ НАПРУГОЮ 6–35 кВ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено М. Кутіною

Підписано до друку 20.03.2014 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,78  
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) прим. Зам № В2014-09

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.  
21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.