

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. М. Кутін, С. В. Матвієнко

**ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТОЗДАТНОСТІ
РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 621.316.9
ББК 31.27–05
К95

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

Кутін, В. М.

К95 Визначення умов роботоздатності розподільчих мереж /
В. М. Кутін, С. В. Матвієнко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 148 с.
ISBN 978-966-641-607-3

У монографії розглянуто причини та характер зміни технічного стану ізоляції розподільних мереж. Проведено аналіз існуючих методів контролю ізоляції. Визначено умови роботоздатності ізоляції розподільчих мереж. Розглянуто спосіб побудови і конструкцію пристрою контролю роботоздатності ізоляції відносно землі.

Книга розрахована на фахівців, які займаються проектуванням і експлуатацією розподільних мереж. Може використовуватися студентами та аспірантами, які спеціалізуються у вдосконаленні систем обслуговування розподільних мереж.

УДК 621.316.9
ББК 31.27-05

ISBN 978-966-641-607-3

© В. Кутін, С. Матвієнко, 2015

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6–35 кВ ЯК ОБ’ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ	8
1.1 Аналіз причин виникнення пошкодження на рівні структурних елементів ізоляції РМ	8
1.2 Аналіз причин зміни технічного стану ізоляції обладнання РМ.....	10
1.3 Вплив режиму нейтралі на технічний стан ізоляцій в розподільних мережах.....	14
1.4 Аналіз ефективності існуючих методів контролю ізоляції.....	23
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА І ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	45
2.1 Загальна характеристика шляхів вирішення проблеми визначення роботоздатності ізоляції	45
2.2 Вибір показників технічного стану для визначення роботоздатності ізоляції РМ.....	47
2.3 Побудова діагностичної моделі для визначення умов роботоздатності ізоляції РМ.....	51
2.4 Перевірка правильності вибору показників роботоздатності ізоляції.....	59
2.5 Аналіз простору зміни значень діагностичних показників при дослідженні ефективності запропонованого методу визначення роботоздатності ізоляції	65
2.6. Оцінка адекватності моделі для визначення умов роботоздатності.....	72

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА НОВИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РМ.....	77
3.1 Дослідження процесу пошкодження ізоляції та режимів роботи мереж для формування основних вимог до методів контролю ізоляції.....	77
3.2 Метод неперервного контролю ізоляції на основі вимірювання загального активного опору ізоляції і напруг фаз мережі відносно землі	85
3.3 Метод періодичного контролю параметрів ізоляції фаз РМ відносно землі.....	93
РОЗДІЛ 4 ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЮ РОБОТОЗДАТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ РМ ВІДНОСНО ЗЕМЛІ.....	101
4.1 Загальні принципи побудови діагностичного комплексу для контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі	101
4.2 Діагностичний пристрій для неперервного контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі.....	103
4.3 Пристрій для періодичного контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі.....	113
4.4. Розробка програмного забезпечення для контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі.....	116
4.5 Вибір конструкції і елементної бази для побудови діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції.....	123
4.6 Методика розрахунку економічної ефективності використання діагностичного комплексу контролю роботоздатності ізоляції розподільної мережі відносно землі	129
ВИСНОВКИ.....	137
ЛІТЕРАТУРА	139

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

БНКІ – блок неперервного контролю ізоляції
ВАФ – вольт-ампер-фазометр
ВАХ – вольт-амперна характеристика
ДГР – дугогасний реактор
ДК – діагностичний комплекс
ДККПІ – діагностичний комплекс контролю роботоздатності ізоляції
ЕК – енергопостачальна компанія
КЗ – коротке замикання
КЛЕП – кабельна лінія електропередач
НП ДККПІ – підсистема неперервного контролю роботоздатності ізоляції
ОД – об'єкт діагностування
ОЗЗ – однофазне замикання на землю
ПЛЕП – повітряна лінія електропередач
ПП ДККПІ – підсистема періодичного контролю роботоздатності ізоляції
ППП – пакет прикладних програм
РЗ – релейний захист
РМ – розподільна мережа
СТОП – система технічного обслуговування і ремонту
ТН – трансформатор напруги
ТС – технічний стан

ВСТУП

Досвід експлуатації розподільних мереж напругою 6–10 кВ вказує на існування проблеми забезпечення необхідного рівня надійності і безпеки експлуатації обладнання цих мереж. Особливого загострення дана проблема набула в сучасних умовах кризи експлуатації в енергопостачальних компаніях України, коли ресурс обладнання вже практично вичерпаний, а планові заміни і ремонти через дефіцит фінансових ресурсів не проводяться, що викликає значне зростання аварійності. При цьому найбільш проблемною ділянкою є розподільна мережа (РМ) повітряних ліній електропередач (ПЛЕП). Саме ця частина загальної РМ є найбільш ненадійним її елементом, оскільки її ізоляція перебуває під безпосереднім впливом зовнішнього середовища. Найбільш поширеним видом пошкоджень в РМ ПЛЕП є замикання на землю, які складають 60–90 % від усіх видів пошкоджень. Їх поява призводить до виникнення небезпеки ураження людей струмом, до суттєвого зниження якості і надійності електропостачання, виникнення в РМ значних понаднормативних технічних втрат електроенергії.

Основною причиною виникнення замикань на землю є утворення шунтувальних зв'язків між струмопровідними частинами РМ і землею. Контроль провідності ізоляції кожної фази РМ відносно землі дає найбільш повну інформацію для виявлення несправностей ізоляції окремих її елементів на ранній стадії розвитку пошкодження неруїнівними методами. При цьому слід зауважити, що не існує норм для обмеження зміни параметрів ізоляції. Виникає необхідність визначення умов роботоздатності ізоляції, які дозволяють чітко розмежувати технічний стан ізоляції на роботоздатний і нероботоздатний і визначити момент переходу в режим обслуговування при контролі значної кількості параметрів.

В РМ енергопостачальних компаній України в основному застосовуються методи контролю ізоляції, основані на вимірюванні струмів і напруг нульової послідовності та напруги зміщення нейтралі, дія яких зводиться лише до сигналізації виникнення однофазних замикань на землю, а також методи, основані на періодичному випробуванні ізоляції підвищеною напругою. Через невисоку чутливість ці методи не дозволяють виявляти пошкодження ізоляції відносно землі на ранніх стадіях їх розвитку.

Тому існує актуальна науково-практична проблема визначення умов роботоздатності ізоляції в процесі експлуатації, а також розробки і впровадження в РМ досконалих методів діагностування технічного стану ізоляції, які дозволяють виявляти пошкодження на ранніх стадіях їх розвитку під робочою напругою. Їх технічна реалізація дозволяє забезпечити перехід від нині діючої регламентної до якісно кращої системи обслуговування обладнання РМ за технічним станом.

В монографії наведено результати дослідження причин та характеру зміни технічного стану ізоляції розподільних мереж з ізолюваною нейтраллю. При цьому розглянуто два процеси – плавне симетричне зниження активного опору ізоляції фаз внаслідок дії вологи на поверхні ізоляторів та несиметричне різке зниження активного опору ізоляції окремих фаз відносно землі внаслідок появи шунтувальних зв'язків. Контроль динамічної характеристики активного опору ізоляції мережі відносно землі дає можливість виявляти пошкодження ізоляції на ранній стадії розвитку неруйнівними методами.

Проаналізовано існуючі методи контролю ізоляції на предмет їх придатності для вирішення задачі виявлення пошкоджень ізоляції на ранніх стадіях їх розвитку. Встановлено, що методи періодичного контролю ізоляції, передбачені технічним регламентом, не достатньо чутливі для вирішення цієї задачі.

Визначено умови роботоздатності ізоляції РМ відносно землі у вигляді обмежень на зміну показників роботоздатності ізоляції, узгоджених із нормативними документами і стандартами. Вперше отримано новий принцип визначення роботоздатності ізоляції РМ відносно землі за діагностичними ознаками, що обмежують величину струму через шунтувальний зв'язок за критеріями електробезпеки і активну потужність втрат в ізоляції від струмів стікання на землю за економічним критерієм мінімуму втрат електроенергії.

Розроблено спосіб побудови і конструкцію комбінованого пристрою контролю роботоздатності ізоляції РМ відносно землі.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6–35 КВ ЯК ОБ’ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ

1.1 Аналіз причин виникнення пошкодження на рівні структурних елементів ізоляції РМ

Найбільш ненадійною частиною розподільної мережі є мережа повітряних ліній електропередач (ПЛЕП) [1–3], де в якості ізоляції використовуються скляні і фарфорові (в останній час і полімерні) ізолятори. Ізолятори ПЛЕП перебувають під безпосереднім впливом агресивного навколишнього середовища. Цей вплив виражається у вигляді забруднення поверхні ізоляторів пилом, брудом, соляними сполуками, що при зволоженні викликає появу на поверхні ізолятора провідного середовища і, відповідно, струму стікання на землю. Розглянемо процеси, що відбуваються на ізоляторах ПЛЕП більш детально.

В загальному випадку будь-який твердий діелектрик має як поверхневу, так і об’ємну провідність [4–6]. Це пояснюється особливостями молекулярної структури діелектрика. Якщо поверхня діелектрика пориста, то волога проникає у внутрішню поверхню і призводить до протікання струмів витоку в об’ємі (всередині) діелектрика і, відповідно, до існування об’ємної провідності g_v . Також, в результаті процесу фізичної адсорбції газ, що контактує з поверхнею твердого тіла, конденсується на ній, утворюючи дуже тонку рідку плівку. Сумісна дія такої адсорбції і забруднення викликає появу поверхневої провідності діелектрика g_s .

Експериментально встановлено, що процес поверхневої провідності є в основному електролітичним [6]. Ретельно очищені зразки кварцу, слюди, парафіну високої молекулярної маси, ізомерів стиrolу, плівки нітроцелюлози не мають поверхневої провідності ні при яких значеннях відносної вологості повітря, аж до насичення [7]. Але скло, як би ретельно його не очищували, має поверхневу провідність, що піддається вимірюванню при всіх значеннях вологості вище 10 % [8].

В загальному випадку залежність між поверхневою провідністю і відотною вологістю виражається формулою

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

де c , d – коефіцієнти, що залежать від матеріалів; P/P_s – відносний тиск повітря.

Також було експериментально встановлено, що залежність поверхневої провідності від відносної вологості є нелінійною функцією [9]. Так, при збільшенні вологості від 40 до 100 %, поверхнева провідність збільшується в 1000, або навіть в 10000 разів. Це пояснюється тим, що товщина адсорбованої плівки збільшується. Але це все є справедливим до моменту, коли товщина адсорбованої плівки не набуде критичного значення, рівного приблизно 6–10 мономолекулярним шарам. Далі залежність стає лінійною.

Також було доведено [10], що на поверхні скла під дією вологи відбувається гідроліз, при якому утворюється кремнієва плівка, насичена водяними розчинами продуктів гідролізу. Ця кремнієва плівка має дуже високу абсорбційну здатність. Процес гідролізу з наступним утворенням кремнієвої плівки не відбувається миттєво, і тому, відповідно, поверхнева провідність скла може змінюватись протягом тривалого часу після збільшення вологості.

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

Розглядаючи ізолятор як складову частину ізоляції ПЛЕП, слід звернути увагу на те, що його поверхня забруднюється нерівномірно [11]. Тому завжди виникатиме неоднорідність вздовж поверхні стікання струму витоків, що призводить до появи ділянок з більшою і меншою поверхневою провідністю. Розподіл падінь напруги вздовж поверхні теж буде неоднорідним. Це викликає появу часткових розрядів у вигляді стримерів між ділянками з більшою і меншою поверхневою провідністю. Такі явища також негативно відображаються на ізоляційних властивостях матеріалу ізоляторів, призводячи до появи жолобів, тріщин і інших видів пошкоджень на поверхні і в тілі ізоляторів.

З усього вище наведеного можна зробити такі висновки про причини виникнення пошкоджень ізоляторів:

1). Будь-який ізоляційний матеріал, такий як скло чи глазурована порцеляна, має поверхневу і об'ємну провідності, які викликають появу струмів витоку вздовж поверхні чи об'єму діелектрика. Їх величини значною мірою залежать від ступеня і виду забруднення на поверхні ізолятора (найбільш несприятливі види забруднень – розчинні солі), а нерівномірність забруднення призводить до виникнення неоднорідності у розподілі падіння напруги вздовж поверхні ізолятора і виникнення часткових розрядів.

2). Скло має властивість утворювати при зростанні вологості повітря адсорбційну плівку, в якій під дією підвищеної температури може відбуватись процес гідролізу і утворення кремнієвої плівки, що значно підвищує абсорбційні властивості поверхні. Це призводить до різкого збільшення поверхневої провідності і струму витоку вздовж поверхні ізолятора.

3). Під час гідролізу у склі може відбуватися процес іонного витоку лугів з матеріалу, що негативно відображається на механічній міцності скла і може спричинити його руйнування.

1.2 Аналіз причин зміни технічного стану ізоляції обладнання РМ

При дослідженні причин зміни технічного стану ізоляції її слід розглядати як частину обладнання, в якому вона знаходиться. Лише таким чином можна визначити як умови роботи обладнання РМ будуть впливати на технічний стан ізоляції. Тому при дослідженні причин зміни ТС ізоляції будуть розглядатись окремі елементи обладнання РМ, в складі якого є ізоляція.

Серед обладнання РМ можна виділити окремі елементи, режим функціонування і зміни технічного стану ізоляції яких має свої особливості. До таких елементів відносять повітряні мережі (ізолятори, провідники, опори і фундаменти, заземлюючі пристрої), кабельні мережі, комутаційну апаратуру, трансформатори.

Самим ненадійним елементом РМ (з точки зору виникнення пошкоджень ізоляції) в більшості випадків є повітряна мережа, оскільки її ізоляція перебуває під безпосереднім агресивним впливом зовнішнього середовища. Встановлено [1–13], що основними причинами пошкоджень повітряних мереж (ПМ) є зовнішні чинники: грозові перек-

риття ізоляції, перекриття ізоляції вітками дерев, ожеледь, навантаження від вітру, вібрація мереж, загоряння дерев'яних опор, послаблення механічної міцності, пошкодження опор та мереж автотранспортом та різними механізмами. Зовнішні збурюючі дії призводять до перекриття 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 викликає ожеледь. 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 інші. Для отримання кількісної характеристики пошкоджень елементів ПМ наведено статистичні дані причин пошкоджень повітряних РМ напругою 10 кВ, зібрані у ВАТ «АК Вінницяобленерго» за 2005 р. (Таблиця 1.1). Кількість пошкоджень за рік становила 1492.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика відключень ПЛЕП 6–10 кВ через пошкодження обладнання в РМ ВАТ АК Вінницяобленерго за 2005 р.

5461	Всього відключень		Відключення з пошкодженням ЛЕП											
	Відключення без пошкодження ЛЕП з успішним АПВ і РПВ		Елементів ПЛ						Кабельних вставок					
	кількість	%	Всього		Опор	Проводу	Ізоляції	Арматури кріплення	Інше	Кабелю	Муфти з'єднувальної, кінцевої	Інше		
			кількість	%										
3969														
72,8														
1492														
27,2														
122														
8,18														
414														
27,5														
552														
37,0														
130														
8,71														
154														
10,32														
35														
2,35														
66														
4,42														
19														
1,27														

Як бачимо з таблиці 1.1 основна частина пошкоджень припадає саме на пошкодження ізоляції.

Досить часто пошкодження виникають при допущенні обслуговуючим персоналом технологічних порушень. Класифікація основних причин технологічних порушень при обслуговуванні ПЛЕП 6–10 кВ в розподільних мережах ВАТ «АК Вінницяобленерго» за 2005 р. приводиться в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Статистика порушень за їх видами

Всього порушень	З вини персоналу			Стихійні явища				Інші						
	Недоліки тех. обслуговування та ремонту	Помилкові дії персоналу	Хибна дія РЗА	Грозові перенапруги	Сильний вітер	Ожеледь	Інші	Забруднення ізоляції	Падіння дерев	Дефект монтажу	Неформальний режим роботи ЛЕП	Через пошкодження на суміжних ділянках ПЛ	Пошкодження обладнання ПС	Нез'ясовані причини
4173	6	1	44	720	792	195	210	105	240	17	6	25	214	1518

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

Також характерними пошкодженнями повітряної мережі є накиди, розрив або перегорання окремих проводів, сліди перекриття, зміна стріли провисання, корозія проводів, пошкодження провідників біля затискувачів та з'єднань. Основними видами пошкоджень в підвісках та арматурі є: механічні пошкодження фарфору або скла ізоляторів, сліди перекриття в ізоляторах, дефектні ізолятори, забруднення поверхні ізолятора, неправильна насадка ізоляторів, перетирання або деформація окремих елементів арматури.

Основними видами пошкоджень опор та фундаментів є нахил опори вздовж або поперек мережі понад допустиму норму, деформація окремих частин опори, заглиблення фундаменту опори або його підйом, тріщини та пошкодження приставок опор, ослаблення з'єднань, загнивання елементів опори, присутність на опорах пташиних гнізд та інших сторонніх предметів, які створюють можливість перекриття між фазами.

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

Кабельні мережі в більшості випадків пошкоджуються через порушення їх механічної стійкості будівельними механізмами та машинами під час земляних робіт. З цих причин в міських мережах виникає біля 60–70 % всіх пошкоджень кабельних мереж. Другою причиною є старіння міжфазної та поясної ізоляції, інтенсивна корозія оболонки кабелю, попадання вологи в кабель, порушення ізоляції гризунами. Аналіз пошкоджень в кабельних мережах [12] показав, що 18,5% пошкоджень припадає на з'єднувальні муфти, 16,5 % на кінцеві муфти та під'єднання, інші 65 % – це «цілі місця кабелю». При цьому на електричні пробої припадає в цілому місці 40 % випадків, а на механічні – 60 %.

Силові трансформатори пошкоджуються значно рідше ніж електричні мережі. Основними причинами пошкоджень силових трансформаторів є: пошкодження ізоляції обмоток трансформатора через дефекти конструкції та виготовлення під час дії зовнішніх перенапруг в мережі та струмів коротких замикань, пошкодження перемикаючих пристроїв, пошкодження вводу трансформатора через перекриття зовнішньої та внутрішньої ізоляції, механічні пошкодження неякісних з'єднань.

Пошкодження комутаційних апаратів виникає в більшості випадків при вимиканні коротких замикань та при виконанні ними різних операцій, а також в стаціонарному режимі. Частіше всього пошкоджується роз'єднувач в РМ 6–10 кВ [14] (60–70 % від загальної кількості пошкоджень комутаційних апаратів). Основні причини пошкоджень комутаційних апаратів – механічні пошкодження, які зумовлені недосконалістю конструкції, порушенням технології виготовлення та правил експлуатації. Електричні пошкодження комутаційних апаратів пов'язані із перекриттям ізоляції зовнішніми та внутрішніми перенапругами.

В якості узагальнення слід зазначити, що найпоширенішим видом відмов в РМ є зміна стану ізоляції між струмопровідною частиною і

землею [11]. Ці зміни приводять до виникнення міжфазних та однофазних замикань на землю і вимикання електричних мереж релейним захистом або оперативним персоналом. Найбільша кількість відмов (60–80 %) носить характер однофазного замикання на землю. Питома частота однофазних замикань на землю в повітряних мережах сільськогосподарського призначення $\varpi_{033} = 0,85$ (рік·км)⁻¹ [1]. Для цих мереж імовірність переходу ОЗЗ в стійку відмову залежить від часу його існування.

Отже, виходячи з вище наведеного, для підтримання ТС РМ на заданому умовами експлуатації рівні необхідно, перш за все, контролювати технічний стан ізоляції РМ (особливо мережі повітряних ЛЕП) відносно землі. Це в свою чергу передбачає застосування методів контролю ізоляції, найпоширеніші з яких розглянемо нижче.

1.3 Вплив режиму нейтралі на технічний стан ізоляцій в розподільних мережах

Вибір режиму заземлення нейтралі в мережі 6–35 кВ (або по іншому способу заземлення нейтралі) є виключно важливим питанням при проектуванні і експлуатації (реконструкції). Режим заземлення нейтралі в мережі 6–35 кВ визначає:

- струм в місці пошкодження і перенапруги на непошкоджених фазах при однофазному замиканні;
- схему побудови релейного захисту від замикань на землю;
- рівень ізоляції електрообладнання;
- вибір ОПН для захисту від перенапруг;
- безперебійність електропостачання;
- допустимий опір контуру заземлення підстанції;
- безпеку персоналу і електроустаткування при однофазних замиканнях.

Таким чином, очевидно, що режим заземлення нейтралі в мережі 6–35 кВ впливає на значне число технічних рішень, які реалізуються в конкретній мережі.

У мережах середньої напруги (з номінальною напругою до 69 кВ з зарубіжної класифікації) застосовуються чотири режими заземлення нейтралі (рис. 1.1.):

- ізольована (незаземлена);
- заземлена через дугогасильний реактор;
- заземлена через резистор (низькоомний або високоомний);
- глухозаземлена (в Україні не застосовується).

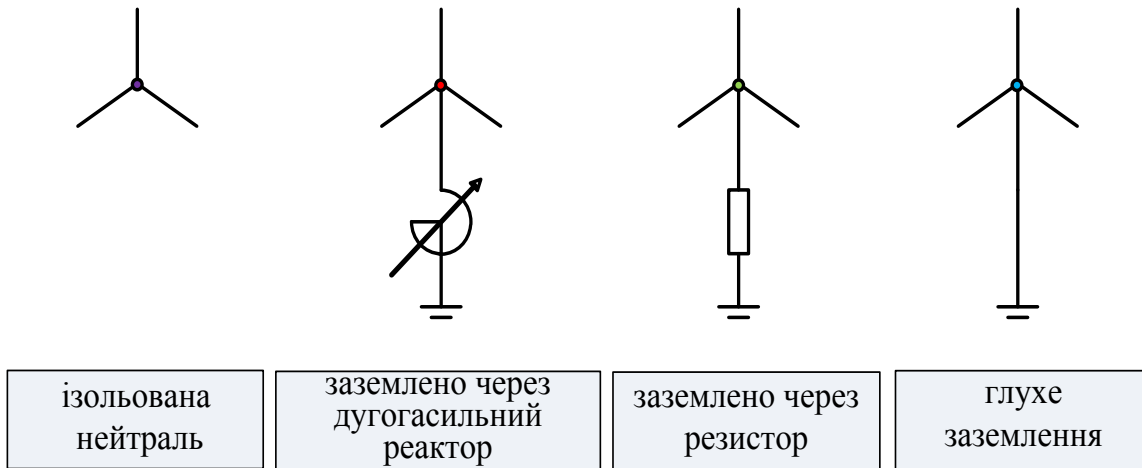


Рисунок 1.1 – Режими заземлення нейтралі мереж середньої напруги

Крім зазначених чотирьох режимів заземлення нейтралі в світі застосовується також комбінація (паралельне включення) дугогасильного реактора і резистора. Наприклад, така комбінація зустрічається в повітряних мережах 20 кВ Німеччини, де дугогасильний реактор забезпечує гасіння короточасних однофазних перекриттів ізоляції на землю, а низькоомний резистор підключається до нейтралі мережі паралельно реактору тільки короточасно спеціальним однофазним силовим вимикачем. Резистор в такій схемі служить для селективного визначення фідера з стійким однофазним замиканням на землю.

Якщо подивитися на світову практику експлуатації мереж середньої напруги (табл. 1.3), то добре видно, що на відміну від Росії, де використовується режим ізольованою нейтралі (приблизно 80 % мереж 6–35 кВ) і режим заземлення через дугогасильний реактор (приблизно 20 % мереж 6–35 кВ), в інших країнах найчастіше застосовується заземлення нейтралі через резистор або дугогасильний реактор. Режим заземлення нейтралі через резистор порівняно новий і використовується в Україні в обмеженому числі мереж 6–35 кВ.

Таблиця 1.3 – Режим заземлення нейтралі в мережах середньої напруги 3–69 кВ в різних країнах світу

Країна	Спосіб заземлення нейтралі			
	Ізольована	Заземлена через реактор	Заземлена через резистор	Глухо-заземлена
Україна	+	+		
Росія	+	+		
Австралія			+	+
Канада			+	+
США			+	+
Іспанія		+	+	+
Португалія			+	
Франція		+	+	
Японія			+	
Германія		+	+	
Австрія		+	+	
Бельгія			+	
Великобританія			+	+
Швейцарія		+	+	
Фінляндія	+	+	+	
Італія		+	+	
Чехія		+	+	
Словакія		+	+	
Швеція		+	+	
Норвегія		+	+	

Розглянемо заземлення нейтралі через дугогасильний реактор. По-перше, розглянемо питання пошкоджуваності трансформаторів напруги типу НТМИ-6 (10), ЗНОЛ-6 (10), ЗНОМ-35. В першу чергу треба відзначити, що пошкоджуваність даних ТН пов'язана з їх термічною нестійкістю при надструмах в первинних обмотках, які виникають при ферорезонансних процесах у мережах 6–35 кВ з малими ємнісними струмами. Впровадження компенсації ємнісного струму в цих мережах різко зменшує ймовірність виникнення ферорезонансних процесів в ТН [15–18]. Це пояснюється тим, що дугогасильні реактори мають нижчі опори нульової послідовності, ніж трансформатори напруги з

підключеною до землі нейтральною точкою, що приводить до більш швидкого стіканню заряду в землю при дугових замиканнях на землю. Резистори для захисту ТН старих типів від ферорезонансних процесів [17] застосовуються приблизно протягом останніх 30 років. Сьогодні вітчизняною промисловістю налагоджений випуск антирезонансних трансформаторів напруги відповідно до ГОСТ 1983-2001. Причиною виникнення ферорезонансу є співвідношення ємності мережі та індуктивності ТН і тому, що ферорезонанс виникає після відключення замикання на землю (металевого або дугового) при включеній і відключеній батареї конденсаторів. Низька міцність ізоляції заземлюючих виводів трансформаторів ЗНОЛ-10 не дозволила встановити в їх ланцюг захисні резистори 3–5 кОм. Тому в мережі 10 кВ були встановлені дугогасильні пристрої типу ГАДТМ-30/10. Проведені дослідження показали відсутність будь-яких ферорезонансних процесів при найрізноманітніших режимах роботи мережі.

Що стосується перенапруг при комутаціях вакуумними вимикачами, згаданих в [19–23], то цей вид перенапруг взагалі не має ніякого відношення до режиму заземлення нейтралі.

Заземлювальні дуги в мережах 6–35 кВ можна розділити на дві категорії:

- відкрито палаючі (розтягуються) дуги, до яких можна віднести дуги, що виникають в результаті перекриття лінійної ізоляції по поверхні;
- закриті (не розтягується) дуги, які виникають в кінцевих і з'єднувальних муфтах, всередині кабелів, а також при щілинних дефектах вводів та ізоляторів.

В [24, 25] досить докладно пояснений механізм горіння як відкритих, так і закритих дуг і процес самовідновлення ізоляції в кабелях і кабельних муфтах, а також пояснюється впровадження дугогасильних реакторів в кабельних мережах як основного засобу захисту від заземлюючих дуг.

Режим роботи з заземленням нейтралі мережі через резистор знайшов застосування в мережах власних потреб (ВП) електростанцій і розподільних мереж. Характерною особливістю цих мереж є невеликий рівень ємнісних струмів замикання на землю (3–5 А).

У мережах власних потреб (ВП) електростанцій тривале існування переміжних однофазних замикань на землю являє собою значну небез-

зпеку для основної ізоляції статорних обмоток електродвигунів. При цьому можливі переходи в виткові, міжфазні із землею і подвійні замикання на землю, результатом яких складають значні об'єми пошкоджень. Тому автоматичне відключення однофазних замикань збільшує тривалість експлуатації електродвигунів.

При заземленні нейтралі через резистор [26] в мережі ВП застосовується, як правило, низькоомний резистор, що створює активний струм однофазного замикання на землю близько 35–45 А, достатній для роботи захисту.

У розподільних мережах резистор для заземлення нейтралі вибирається виходячи з умови, що при дугових замиканнях на землю в перехідному процесі буде відсутня високочастотна складова, тобто буде тільки одна аперіодична складова. У свій час для мереж з малим ємнісним струмом були розроблені пристрої компенсації ємнісного струму типу ТАДТМ, що являють собою трансформатор і дугогасильний реактор в одному баку. Для розподільних мереж був розроблений ТАДТМ-30/10, а для власних потреб електростанцій – ТАДТМ-25/6.

У Республіці Білорусь в даний час в мережах з малим ємнісним струмом впроваджено близько 30 ТАДТМ-30/10, тоді як резистивне заземлення нейтралі впроваджено тільки в одній мережі 10 кВ м. Гродно. А, наприклад, в мережі 10 кВ Старооскольського електрометалургійного комбінату застосовано низькоомне заземлення нейтралі через резистор $R = 285$ Ом. Однак, незважаючи на те, що релейний захист на найбільш відповідальних електродвигунах виконано на відключення, в цій мережі за останні 5 років сталося кілька аварій, в результаті яких пошкодилося чотири електродвигуни.

У мережах 6–35 кВ з ПЛ на залізобетонних і металевих опорах при струмах замикання на землю більше 10 А можуть відбуватися висихання ґрунту і збільшення опору заземлення опор з пошкодженою ізоляцією і, як наслідок, різке збільшення напруги кроку та дотику поблизу місця замикання на землю. Тому впровадження компенсації ємнісного струму в таких мережах необхідно. А уникнути значного зсуву нейтралі можна, зменшивши несиметрію ємностей фаз відносно землі. Це робиться простою транспозицією (зміною чергування) фаз по всій довжині лінії відповідно.

Звідси випливає висновок, що для мереж з малим ємнісним струмом є різний досвід роботи з різним заземленням нейтралі, який треба

враховувати проектним організаціям при розробці нових проектів. Виникнення значних перенапруг при дугових замиканнях на землю може і повинно бути виключено шляхом автоматичного підстроювання дугогасильних реакторів в резонанс з ємністю мережі. Впровадження резонансної настройки [27] знижує перенапругу непошкоджених фазах при дугових замиканнях на землю до безпечних для ізоляції значень 2,2–2,4 Уф, що як раз знижує вірогідність появи багатомісних пошкоджень і, як наслідок, переходу однофазних замикань в двофазні. Резонансна настройка також зменшує струм в місці замикання і знижує небезпеку ураження струмом. Зараз існує безліч захистів для мереж з компенсацією ємнісного струму, заснованих не на визначенні абсолютного значення струму замикання, а на використанні інших його характеристик (гармонійних складових, фазового кута між струмом і напругою нульової послідовності), типу УС32 / 2, ЗЗН, ЗЗП, УЗС-01, ІМФ-10Т, УЦЗ-05. У низки сучасних мікропроцесорних комплектів протиаварійної автоматики (УЗА-10А (В) .2, ТЕМП2501-1 (3) Х, «Сіріус», МТЗ-610) однією з функцій є функція захисту від замикань на землю.

Складність виявлення місця пошкодження (особливо так званих «запливаючих пробоїв» у кабельних мережах) взагалі не можна віднести до проблеми режиму нейтралі. Це скоріше проблема методів і пристроїв для пошуку місць пошкодження.

Експериментальні дослідження роботи обмежувачів перенапруг при дугових замиканнях на землю показують, що в мережах з компенсацією ємнісного струму при резонансному налагоджуванні дугогасильних реакторів створюються як раз більш комфортні умови роботи. Якщо в мережі з ізольованою нейтраллю (що рівноцінно розузгодження компенсації більше 5%) дугові пробої можуть відбуватися кожен напівперіод (на позитивній і негативній напівхвилі 50 Гц), а рівень перенапруг може досягати 3,2 Уф, то в мережі з резонансним налагодженням повторні пробої виникають приблизно один раз на 10 періодів, а рівень перенапруг знижується до 2,2–2,4 Уф. Це означає, що сумарна енергія, яка поглинається при дугових замиканнях і резонансному налагоджуванні буде на два порядки меншою, ніж у мережі з ізольованою нейтраллю (ступенем розладу компенсації більше 5 %). Тобто в мережі з компенсацією ємнісного струму й резонансному на-

лаштуванні ДГР можна застосовувати більш глибокий рівень обмеження перенапруг.

Таким чином налаштована в резонанс компенсація ємнісного струму має такі переваги:

- знижує перенапругу при дугових замиканнях на землю до безпечних для ізоляції значень 2,2–2,4 Уф;
- зменшує струм в місці замикання до мінімального значення;
- забезпечує надійне гасіння заземлювальних дуг;
- знижує швидкість відновлення напруги на пошкодженій фазі;
- запобігає розвитку ферорезонансних процесів;
- знижує небезпеку від розтікання струму в землі;
- полегшує вимоги до заземлювальних пристроїв.

Потужність дугогасильних реакторів в мережах 6–35 кВ залишається незмінною і «мережі працюють з істотною недокомпенсацією». Згідно з правилами технічної експлуатації, [28, 29] дугогасильні реактори завжди вибиралися з урахуванням перспективного розвитку на найближчі 10 років, а за відсутності таких даних потужність дугогасного реактора вибиралася з запасом 25 %. Вимірювання ж ємнісного струму, повинні проводитися не рідше 1 разу на 6 років. В експлуатації у разі недостатньої потужності встановлених дугогасильних реакторів завжди приймається рішення про установку додаткових ДГР. Найчастіше таку заміну планують при реконструкціях підстанцій, під час яких проводиться заміна силових трансформаторів на більш потужні, адже збільшення числа підключених до ПС ліній незмінно веде до збільшення потужності, що споживається.

У попередньому виданні правил технічної експлуатації допускалось налагодження з перекомпенсацією, при якій реактивна складова струму замикання повинна бути не більшою 5 А, а в разі великої різниці струмів суміжних відгалужень реактивна складова струму замикання на землю допускалася не більшою 10 А. У новому виданні правил вимоги до налаштування дугогасильних реакторів більш посилені, і сьогодні дозволяється робота з перекомпенсацією не більшою 5 %. В даний час декількома російськими електротехнічними заводами освоєно випуск (плунжерних із підмагнічуванням) дугогасильних реакторів плавним регулюванням і проблема точного налагоджування компенсації в резонанс повністю зникла.

ЛІТЕРАТУРА

1. Надежность систем электроснабжения / В. В. Зорин, В. В. Тищенко, Ф. Клеппель, Г. Адлер. – К : Вища шк., головное изд-во, 1984. – 192 с.
2. Андриевский В. Н. Эксплуатация воздушных линий электропередачи / В. Н. Андриевский, А. Т. Головань, А. С. Зеличенко – М : Энергия, 1976. – 616 с.
3. 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.
4. Электрические изоляторы / Н. С. Костюков, Н. В. Минаков, В. А. Князев [и др.]. – М : Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.
5. McIlhagger D.S., Insulator surface conduction // Science and General Record. – 1965. – V 112. № 7. – P. 27–38.
6. Образование проводящего следа на поверхности электрической изоляции // Electro-Technology. – 1962. – V. IV. – 140 p.
7. Sommermann G.M.L. Стойкость полимеров к образованию проводящего следа // Trans.AIEE. – 1960. – Pt. III, vol. 79. – P. 969–974.
8. Albright M.W., Starr W.T. Методы испытаний на стойкость к образованию проводящего следа // Trans.AIEE. – 1956. – Pt.III, vol.75. – P. 441–448.
9. Рекомендательный метод определения относительного показателя сопротивления твердых изоляционных материалов образованию проводящих мостиков в условиях влажности // Публикация 112 МЭК, 1959 (перевод ЦИНТИЭП № П-5671). – 1984. – С. 35–49.
10. Mathes K. N.. Электрическое повреждение – разряд по поверхности в присутствии загрязнений. Испытание методом наклонной плоскости с жидким загрязнением / McGovan E.J // Trans. AIEE. – 1961. – Pt.1, vol. 80. – P. 238–244.

11. Абрамов В. Д. Эксплуатация изоляторов высокого напряжения / В. Д. Абрамов, М. В. Хомяков – М : Высшая школа, 1973. – 528 с.
12. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г. М. Шалыт. – М. : Энергоиздат, 1982. – 312 с.
13. Карпов Е. А. Исследование сопротивления изоляции распределительных сетей 6 кВ / Е.А.Карпов, В.М.Кутин, А.В.Кобылянский / Деп. в ЦНТИ Информэнерго № 1447эн-Д84 // Опубл. в библиографическом указе ВИНТИ «Депонированные научные работы». – 1984. – № 7. – С. 141.
14. Справочник по ремонту и техническому обслуживанию электрических сетей / В. Д. Абрамов, В. В. Алексеев, А. И. Айзенфельд, [и др].; под ред. К. М. Антипова, И. Е. Бандуилова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
15. Алексеев В. Г. Феррорезонанс в сетях 6–10 кВ / В. Г. Алексеев, М. Х. Зихерман // Электрические станции. – 1979. – № 1. – С. 63–65.
16. Базанов В. П. О режимах работы трансформаторов напряжения. / В. П. Базанов, Т. Е. Путова // Электрические станции. – 1987. – № 2. – С. 56.
17. Дударев Л. Е. Защита трансформаторов напряжения от токовых перегрузок с помощью резисторов в цепи нейтрали./ Л. Е. Дударев, И. В. Волошек // Промышленная энергетика. – 1987. – № 4. – С. 34–37.
18. Волошек И. В. Компенсационный эффект трансформаторов напряжения / И. В. Волошек // Изв. вузов СССР. Энергетика. – 1988. – № 3. – С. 43–46.
19. Волошек И.В. Анализ переходных процессов в сетях 6–10 кВ при замыканиях на землю через перемежающуюся дугу методами математического моделирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. В. Волошек / МЭИ. – М., 1988. – 21 с.

20. Дударев Л. Е. Численный анализ феррорезонансных процессов в сетях с изолированной нейтралью / Л. Е. Дударев, И. В. Волошек // Электрические станции. – 1991. – № 1. – С. 66.
21. Дударев Л.Е. Подавление феррорезонансных процессов в сетях с изолированной нейтралью / Л. Е. Дударев, Аднан Эль-Хатиб // Электрические станции.– 1993. – № 10. – С. 62–65.
22. Ларионов В. П. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах / В. П. Ларионов, В. В. Базуткин, Ю. С. Пинталь – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
23. Цапенко Е. Ф. Влияние трансформаторов контроля изоляции на перенапряжения в сетях 6–35 кВ / Е. Ф. Цапенко // Промышленная энергетика. – 1983. – № 12. – С. 22–23.
24. Petersen W. Erdschlussströme in Hochspannungsanlagen / W. V Petersen // ETZ. – 1916. – Heft 37, 38.
25. Petersen W. Der aussetzende (intermittierende) Erdschluss // ETZ. – 1917. – Heft 47, 48.
26. Виштебеев А. В. О резистивном заземлении нейтрали в сетях 6–35 кВ / А. В. Виштебеев, К. П. Кадомская // Энергетик. – № 3. – 2001. – С. 33–34.
27. Цапенко Е. Ф. О настройке дугогасящих катушек для компенсации токов однофазного замыкания на землю в сетях 6–35 кВ / Е. Ф. Цапенко // Промышленная энергетика. – 1980. – № 7. – С. 41–43.
28. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М. : Энергия, 1986. – 547 с.
29. Правила устройств электроустановок. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
30. Compact Instrument for the Measurement and Evaluation of Relaxation Currents conceived for On-Site Diagnosis of Electric Power Apparatus / Alff J., Houhanessian V. D., Zaengl W. S., Kachler A. J. // Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, IEEE Publication 00CH37075. – 2000. – PP. 161–167.

31. Widmaier K. Durchführung – eine höchstbeanspruchte Komponente // Micafil Symposium 2002 Werterhaltung von Isolationssystemen in Transformatoren, Schaltanlagen und Kabeln. – 2002. – P. 38–39.

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

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

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

35. Назаров В. В. Контроль изоляции в сетях 3–10 кВ / В. В. Назаров // Электрические станции. – 1981. – № 1. – С. 62–63.

36. Цапенко Е. Ф. Определение активного сопротивления изоляции и емкости сетей 6–35 кВ относительно земли при помощи вольтметров контроля изоляции. / Е. Ф. Цапенко, Ю. Н. Случевский, Д. Н. Чучелов // Промышленная энергетика/ – 1982. – № 1. – С. 50–51.

37. Цапенко Е. Ф. Определение параметров изоляции отдельных фаз относительно земли в сети с изолированной нейтралью. / Е. Ф. Цапенко, Ю. Н. Случевский // Метрология, 1981. – № 9. – С. 44–50.

38. Борухман В. А. Об эксплуатации селективных защит от замыканий на землю в сетях 6–10 кВ и мероприятиях по их совершенствованию/ В. А. Борухман // Энергетик. – 2000. – № 1. – С. 38–40.

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

40. Цапенко Е. Ф. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ / Е. Ф. Цапенко – М. : Энергоатомиздат, 1986.– 120 с.

41. Кутін В. М. Комбінована система діагностування систем електропостачання змінного та постійного струму (теорія, дослідження та розробка) : дис. ... докт. техн. наук : 6.11.2002 – / В. М. Кутін. – Дніпропетровськ, 2002. – 518 с.

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

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

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

45. Шулика Н. М. Контроль состояния изоляции электрических сетей / Н. М. Шулика, И. М. Сирота, А. Е. Богаченко/ – К., 1990. – (Перепринт/АНУССР.; 632 ИЭД).

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

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

48. Boeck W. Sensitivity verification of partial discharge detection systems for GIS with the UHF method and the acoustic method / Boeck W. // ELECTRA. – 1999. – № 183. – P. 75–87.

49. König D. Teilentladungen in Betriebsmitteln der Energietechnik / D. König // VDE Verlag. – 1993. – P. 38–42.

50. Lemke E. Advanced diagnostic tool for PD fault location in power cables using the CDA-technology / E Lemke // 12th ISH Bangalore. – 2001. – P. 6–46.

51. Klaus A. Teilentladungsmessung an Hochspannungsapparatem in Ungeschirmten elektrischen Verteilanlagen / Klaus A., Gerlach H.G. // Hochspannungsprüfung vor Ort. – 1988. – P. 23–37.

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

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

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

55. Zustandsorientierte Instandhaltung eines Polymerisolierten 20-KV Kabelnetzes mit der IRC-Analyse / Hoff G., Kranz H.-G., Beigert M. und andere // Elektrizitätswirtschaft Jg. 100. – 2001. – Heft 22.

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

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

58. Hoff G. Isothermal Relaxation Current Analysis:A New Non-destructive Diagnostic Tool for Polymeric Power Distribution Cables /

Hoff G., Kranz H.-G. // IEEE PES Panel on Diagnostic Measurement Techniques for Power Cables. – New Orleans, USA. – 1999. – P. 239–242.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

71. Структура балансу електроенергії в електричних мережах 0.38–154 кВ: методики складання, аналізу складових та нормування технологічних витрат електроенергії. / НЕК України – К. – 2003. – 71 с.

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

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

74. Кутін В. М. Вибір сукупності діагностичних показників для оцінки працездатності ізоляції відносно землі мережі 6–35 кВ / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету : зб. наук. праць. – Кременчук, 2006. – № 3(38). – С. 96–99.

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

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

77. Арриллага Дж. Гармоники в электрических системах / Пер. с англ/ Дж. Арриллага, Д.Брэдли, П.Роджер – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 230 с.

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

79. Климов В. П. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания / В. П. Климов, А. Д. Москалев // Практическая силовая электроника : Науч.-техн. сб. / Под ред. Г. М. Малышкова, А. В. Лукина. – М. : ММП-Ирбис, 2002. – Вып. 5. – С. 58–60

80. Нейман Л. Р. Теоретические основы электротехники / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян – М. – Л. : Энергия, 1976. – 522 с.

81. Федоров М. М. К вопросу о влиянии напряжения обратной последовательности на электромеханические характеристики асинхронного двигателя / М. М. Федоров, О. Г. Пинчук // Електротехніка і енергетика – зб. наук. пр. – Донецьк : ДонНТУ, 2002. – Вип. 50 – 190 с.

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

83. Кутін В. М. Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко, М. В. Кутіна // Автоматика–2006 : Матеріали XIII Міжнародної конференції. (25–28 вересня 2006 р.) – Вінниця, 2006. – С. 116.

Наукове видання

Кутін Василь Михайлович
Матвієнко Сергій Валерійович

**ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТОЗДАТНОСТІ
РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено В. Кутіним

Підписано до друку 6.02.2015 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,55
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2015-05

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.