

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кессаєва Олександра Геннадійовича на тему «Водяні триінги в силових кабелях при дії сильного електричного поля та техніка їх виявлення», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів.

Актуальність теми.

В останні роки в енергосистемах України спостерігається стійка тенденція до впровадження в розподільчі мережі силових кабелів середньої напруги (6 – 35) кВ зі зшитю поліетиленовою ізоляцією. В процесі експлуатації таких кабелів в товщі термореактивної ізоляції утворюються мікротріщини, так звані триінги. Причин виникнення триінгів багато: це і процеси полімеризації, остаточна волога та залишкові механічні напруги на технологічній стадії виготовлення кабелів; електричні, механічні та теплові навантаження в процесі експлуатації. По каналам мікротріщин із оточуючого середовища поступає волога, яка призводить до виникнення водяних триінгів. Ці гідрофільні деревоподібні утворення виникають з часом під дією води, тепла та електричного поля, поступово розростаються і в кінцевому результаті внаслідок утворення електричних триінгів ведуть до короткого замикання і виходу зі строю кабелю. Волога в кабелях сприяє розростанню водяних триінгів і є однією з основних причин прискореної деградації полімерної ізоляції. Аналіз ступеня зволоженості полімерної ізоляції силових кабелів та розвитку в ній водяних триінгів може бути покладений в основу методів оцінки її старіння, надійності і залишкового ресурсу.

Відома техніка виявлення водяних триінгів пов'язана з прикладанням до кабелю високої, що перевищує робочу в 2 – 3 рази, випробувальної напруги змінної частоти від 0,0001 Гц до 10 Гц. Ця техніка базується на реєстрації тангенсу кута діелектричних втрат в діапазоні наднизьких та низьких частот і не вирішує зазначену проблему виявлення незв'язаної води водяних триінгах в повному обсязі.

Отже, виходячи з викладеного, тема дисертаційної роботи, що присвячена водяним триінгам в зшитій поліетиленовій ізоляції, є актуальною як з наукової точки зору, так і з точки зору практичного застосування її результатів. Дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої науково-практичної задачі – обґрунтуванню сучасної техніки виявлення водяних триінгів в силових кабелях середньої напруги коаксіальної конструкції з водоблокуючим бар'єром при дії сильного електричного поля.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням госпдоговірних тем з Харківською філією «Інженерно-технічний центр "КОРО"» органу з оцінки відповідності

Сертатом по обстеженню технічного стану з ціллю продовження строку експлуатації силових кабелів енергоблоків Запорізької та Південноукраїнської атомних електричних станцій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій що викладені у роботі, забезпечується коректністю вибраних положень теорії електромагнітного поля, збіжністю чисельного рішення у межах заданої похибки, підтверджена аргументованою постановкою мети і задач дослідження, результатами експериментальних досліджень та впровадження, апробацією основних положень роботи на наукових конференціях та семінарах.

Методи дослідження розглянутих в дисертаційній роботі задач виконано із застосуванням інтегральних рівнянь Фредгольма першого та другого роду для аналізу математичної моделі осесиметричного електричного поля в силових кабелях коаксіальної конструкції; методу дискретних резистивних схем заміщення індуктивності та ємності при застосуванні Т-подібної схеми заміщення силового кабелю; методу вузлових потенціалів при моделюванні розповсюдження імпульсного сигналу в силовому кабелі з водяними триінгами.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановки математичної задачі; адекватністю отриманих результатів обчислювального експерименту для напруженості сильного електричного поля в області малих відстаней між двома сферичними включеннями води на основі узагальненої математичної моделі водяних трингів в товщі зшитої поліетиленової ізоляції силових кабелів середньої напруги коаксіальної конструкції з осьовою симетрією даним, наведеним в літературних джерелах; взаємоузгодженням результатів високочастотної діелектричної спектроскопії на основі фізичного моделювання з результатами математичного моделювання частотних залежностей тангенсу кута діелектричних втрат зволоженої неоднорідної багатошарової ізоляційної системи силових високовольтних кабелів із застосуванням послідовно-паралельної заступної схеми

Наукові результати здобувача використані при діагностичних обстеженнях кабелів атомних електричних станцій, які експлуатувалися в умовах сильного електричного поля та підвищеної вологи, із застосуванням техніки діелектричної спектроскопії, що підвищило ступінь оцінки старіння полімерної ізоляції силових кабелів.

Наукова новизна отриманих результатів.

В дисертаційній роботі отримано такі нові наукові результати.

1. Із застосуванням техніки високочастотної діелектричної спектроскопії вперше експериментально встановлено, що при зволоженні силових кабелів піки релаксаційних діелектричних втрат в поліетиленовій ізоляції зсуваються в область більш високих частот та з'являються додаткові

релаксаційні максимуми, що пов'язані з розсіянням енергії на нових водяних мікровключеннях.

2. Вперше запропоновано критерій ступеню зволоженості силових кабелів, оснований на динаміці змінення коефіцієнтів парної кореляції струмів абсорбції, що виміряні в різні моменти часу після подачі високої постійної випробувальної напруги.

3. В процесі зволоження силових кабелів зі зшитою поліетиленовою ізоляцією вперше встановлено кореляцію між шириною смуги релаксаційних максимумів тангенсу кута діелектричних втрат та динамікою змінення опору ізоляції від прикладеної високої постійної напруги.

4. Узагальнено математичну модель електричного поля в зшитій поліетиленовій ізоляції силових кабелів коаксіальної конструкції для розрахунків розподілу напруженості поля при наявності в ній близько розташованих водяних включень сферичної форми.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Отримані нові наукові результати мають практичну цілеспрямованість, що підкреслює завершеність дисертаційної роботи і вагомий внесок в розвиток техніки сильних електричних та магнітних полів.

Техніка високочастотної діелектричної спектроскопії та діелектричної абсорбції дозволяє виявляти появу вільної вологи в силових та радіочастотних коаксіальних кабелях як на стадії виготовлення, так і в експлуатації. Науково обґрунтовані рекомендації щодо можливості застосування техніки імпульсної рефлектометрії та часткових розрядів для виявлення водяних трингів в високовольтній полімерній ізоляції силових кабелів.

Результати дисертаційної роботи використано при виконанні діагностичних обстежень кабелів атомних електричних станцій, впроваджено в ПАО «завод «Південкабель» (м. Харків), ЗАО «Завод «Елокс» (м. Харків), навчальний процес кафедри електроізоляційної та кабельної техніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» при підготовці магістрів за спеціальністю 050701 – техніка та електрофізика високих напруг.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 15 наукових працях, у тому числі 9 статей в фахових виданнях України, з яких 1 публікація у виданні, що входить в наукометричну базу SCOPUS, 5 – у матеріалах конференцій. Апробація роботи відбулася на 4 міжнародних науково-практичних конференціях, 4 міжнародних симпозіумах, 3 науково-практичних конференціях та семінарах.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Кессаєва О.Г. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 1 додатку.

Автореферат дисертації ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні наукові положення, практичну значимість і висновки. Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності із встановленими вимогами.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено напрям дисертаційних досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, означено методи дослідження, розкрито наукову новизну, охарактеризовано практичне значення одержаних результатів роботи, встановлено особистий внесок дисертанта, наведено апробацію результатів дисертації та кількість публікацій.

Перший розділ присвячено аналітичному огляду літературних джерел причин утворення водяних трингів та їх впливу на електричну міцність зшитої поліетиленової ізоляції силових високовольтних кабелів. За результатами проведеного аналітичного огляду встановлено, що напруженість електричного поля в області вістря водяного тринга різко зростає, що призводить до прояву нелінійної залежності відносної діелектричної проникності та провідності в зоні тринга. Показана сучасна техніка виявлення водяних трингів в експлуатації, що основана на реєстрації відносної діелектричної проникності і тангенсу кута діелектричних втрат при подачі на кабель високої випробувальної напруги низької частоти.

У другому розділі представлено математичну модель електричного поля в зшитій поліетиленовій ізоляції силових кабелів коаксіальної конструкції для аналітичних розрахунків розподілу напруженості поля при наявності в ній близько розташованих водяних включень сферичної форми.

Виконано аналіз впливу числа вузлів на точність чисельного рішення та обґрунтовано порядок системи лінійних алгебраїчних рівнянь в області малих відстаней між двома сферичними включеннями в товщі зшитої поліетиленової ізоляції силового кабелю коаксіальної конструкції на напругу 6 кВ. За результатами чисельного моделювання водяних трингів у вигляді зосередженого дефекту з індивідуальним хвильовим опором при представленні силового кабелю Т-подібною схемою заміщення доведено ефективність техніки імпульсної рефлектометрії в часовій області для їх виявлення.

У третьому розділі наведено результати прискореного старіння в умовах високої вологості зразків кабелів коаксіальної конструкції з термопластичною та термоактивною поліетиленовою ізоляцією.

На основі узагальнення результатів комплексних експериментальних досліджень із застосуванням техніки височастотної діелектричної спектроскопії автором акцентовано, що має місце прояв загальних закономірностей релаксаційних втрат в кабелях, обумовлений наявністю води в поліетиленовій ізоляції як в початковому стані, так і після старіння. Цей висновок цілком узгоджується з релаксаційною теорією Диссато-Хилла (розділ 3, підрозділ 3.3, стор.122).

Експериментально знайшло підтвердження існування в полімерній ізоляції кабелів трьох груп кластерів водяних трингів, які відрізняються

індивідуальними частотами та характерними фрактальними розмірами. Для силового кабелю коаксіальної конструкції з водоблокуючим бар'єром після старіння фрактальні розміри водяних трингів відрізняються в 2,5; 5,7 і 14,3 рази відповідно.

У четвертому розділі на основі проведених експериментальних досліджень показано, що струми абсорбції, виміряні на 15, 30 та 60-й секунді, зростають в 3 – 20000 разів при змінненні прикладеної випробувальної постійної напруги від 1 до 5 кВ в процесі зволоження зразків силових кабелів. Проаналізовано характер змінення опору ізоляції силових кабелів в процесі старіння. Для сильно зволоженої ізоляції встановлено слабо виражену залежність опору ізоляції від прикладеної напруги. Встановлено кореляційний зв'язок між шириною смуги релаксаційних максимумів на частотній залежності тангенса кута діелектричних втрат та швидкістю зменшення опору ізоляції від прикладеної високої постійної напруги в процесі зволоження силових кабелів зі зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Висновки до розділів відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел включає 162 найменувань сучасних зарубіжних та вітчизняних публікацій.

В додатках представлено акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Зауваження по дисертаційній роботі.

1. На якій підставі середнє значення напруженості електричного поля в силовому кабелі зі зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу 6 кВ дорівнює 2 кВ/мм (розділ 2, підрозділ 2.3, стор. 65)?

2. В розділі 2 на стор. 89 вказано, що виконано вимірювання параметрів силового кабелю на частоті 1 МГц, але яким саме приладом в дисертаційній роботі не вказано.

3. Як співвідносяться шаг дискретизації та стала часу силового кабелю при виконанні чисельних розрахунків методом дискретних резистивних схем заміщення індуктивності та ємності (розділ 2, стор. 90, 91)?

4. Яке значення коефіцієнту укорочення електромагнітної хвилі слід вводити в рефлектометр при застосуванні техніки імпульсної рефлектометрії при наявності водяних трингів в товщі зшитої поліетиленової ізоляції силових кабелів (розділ 2, стор. 92, стор.93)? Практичні рекомендації щодо значень коефіцієнту укорочення в дисертаційній роботі, нажаль, не наведено.

5. Чим обумовлено саме 3 релаксаційних ланцюга в схемі заміщення поліетиленової ізоляції, наведеної на рис.3.2. стор.106?

6. Для силового кабелю в процесі зволоження визначено співвідношення між фрактальними розмірами водяних трингів в товщі зшитої поліетиленової ізоляції (розділ 3, стор. 118 та стор. 130). В той же час, для кабелів зі спіненою ізоляцією ці співвідношення не визначено.

7. Для підвищення оцінки ступеню зволоженості силових кабелів виміряні струми абсорбції необхідно обирати при більшому часі, а не тільки на 15, 30 та 60 секунді (розділ 4, стор.132).

Слід зазначити, що наведені зауваження не є принциповими і не впливають на загальне позитивне враження від роботи.

Висновок.

Дисертаційна робота Кессаєва Олександра Геннадійовича на тему **«Водяні триінги в силових кабелях при дії сильного електричного поля та техніка їх виявлення»** є завершеною науково-дослідною працею, яка розв'язує важливе науково-практичне завдання щодо обґрунтування техніки виявлення водяних трингів в силових кабелях середньої напруги коаксіальної конструкції. Досягненні в дисертації результати в сукупності складають істотний внесок у вирішення науково-прикладної задачі техніки сильних електричних та магнітних полів, тому що в ній досліджується стан електричної ізоляції силових кабелів при дії сильного електричного поля.

Дисертаційна робота повністю відповідає п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старший науковий співробітник”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року, а її автор, Кессаєв Олександр Геннадійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів.

Офіційний опонент

В.о. зав. кафедри

техніки та електрофізики високих напруг

НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського

д.т.н., професор

Бржезицький В.О.