

А.С. ФЕДЯЙ, ассистент, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ", Харьков
А.В. ШВИДКОЙ, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков

ОБСЛЕДОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ С РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ

Стан кабелів оцінюється шляхом вимірювання електричних характеристик в процесі старіння. При обстеженні контрольних кабелів складних конструкцій застосовуючи схеми сукупних вимірювань можна зондувати різні ізоляційні проміжки кабелю.

Состояние кабелей оценивается путем измерения электрических характеристик в процессе старения. При обследовании контрольных кабелей сложных конструкций применяя схемы совокупных измерений можно зондировать различные изоляционные промежутки кабеля.

Введение. Резиновая изоляция представляет собой сложную многокомпонентную смесь, 30–50 % которой составляет каучук. Молекулы каучука содержат большое количество двойных углерод-углеродных связей, которые обеспечивают эластичность материала и возможность вулканизации (после нанесения на жилы кабеля резину нагревают и посредством присоединения вулканизирующего агента к двойной связи происходит поперечная сшивка макромолекул). В результате сшивки резина приобретает эластичность и герметичность, которую сохраняет в широком диапазоне температур и давлений, а также сохраняет стабильность электрических свойств при изменениях температуры и влажности.

Однако неопределенность резиновой изоляции влечет за собой определенные недостатки. Из-за пониженной прочности двойной связи, она легко присоединяет к себе кислород, поэтому считается не стойкой к процессам окисления. При длительном воздействии повышенных температур может происходить дополнительная поперечная сшивка молекул, что со временем может привести к утрате эластичности. Считается, что процессы старения резиновой изоляции протекают быстрее, чем у любой другой, не содержащей двойных связей, например, изоляции из полиэтилена, поливинилхлорида и т.д. Возможно ли, путем измерения электрических характеристик проследить эти процессы?

Цель работы – оценка состояния резиновой изоляции в процессе старения по изменениям электрических характеристик, измеренных на переменном напряжении.

Кабели КНРЭТЭ с резиновой изоляцией и резиновой оболочкой используются в системе контроля и управления атомных станций. Особенность этих кабелей состоит в том, что половина изолированных жил покрыты экранами из металлизированной бумаги (жилы с нечетными номерами). Поверх защитной оболочки наложен наружный экран из медных луженых проволок. Оболочка выполнена из маслостойкой резины, не распространяющей горения (рис. 1).

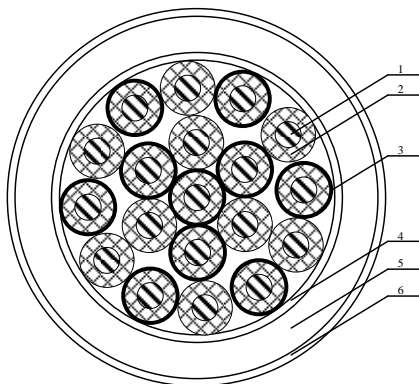


Рис. 1. Конструкция контрольного кабеля КНРЭТЭ-19х1 с резиновой изоляцией и резиновой оболочкой:
1 – жила; 2 – изоляция жилы; 3 – экран по изоляции жилы из кашированной фольги; 4 – обмотка пленкой ПЭТФ; 5 – резиновая оболочка; 6 – внешний плетеный экран.

Обследование кабеля проводилось методом совокупных измерений по схеме "потенциальная жила – против всех остальных жил и экранов" ($i-S$). В случае, когда потенциальная жила экранирована, зондирующее поле ограничено только областью изоляции жилы (рис. 2,а). Если потенциальная жила не экранирована, силовые линии проникают в изоляцию соседних неэкранированных жил и проходят также через воздушный промежуток между жилами (рис. 2,б). Если неэкранированная потенциальная жила находится в наружном повиве, зондирующее поле может попадать также и в материал защитной оболочки (рис. 2,в).

Совокупные емкости, измеренные по описанной схеме, оказываются выше для экранированных жил – 450-480 пФ против 400-440 для неэкранированных, так как в первом случае это емкости жил относительно собственных экранов, а во втором – относительно более удаленных электродов (рис. 3).

Тангенсы углов диэлектрических потерь экранированных жил внутреннего повива (жилы с номерами 1, 3, 5, 7) оказываются выше, чем для неэкранированных жил (номера 2, 4, 6): 0,3 – 0,35 % против 0,24 – 0,28 % (рис. 4).

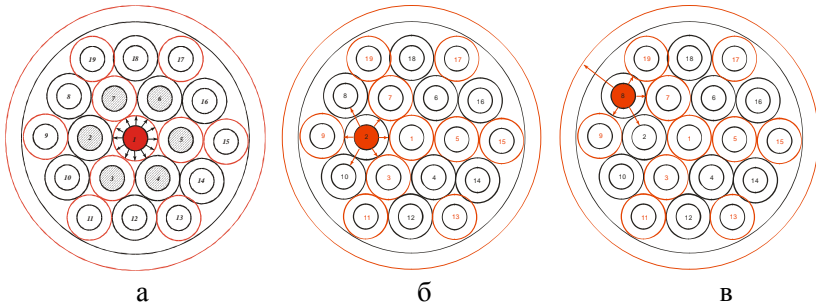


Рис. 2. Силовые линии зондирующего поля при совокупных измерениях:
а) 1-S; б) 2-S, в) 8-S.

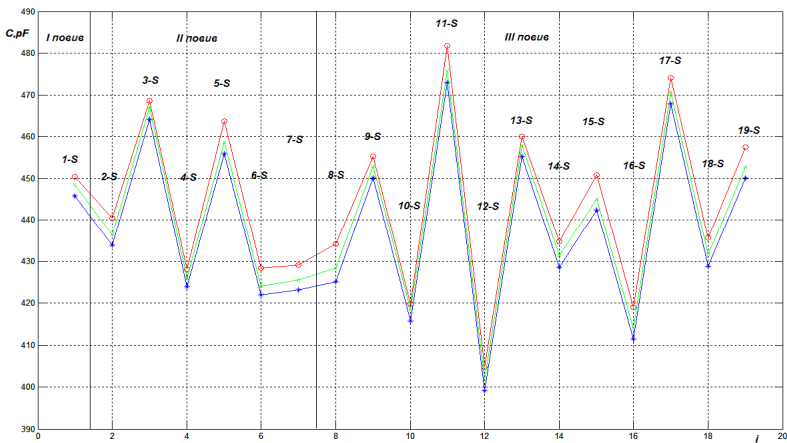


Рис. 3. Емкости кабеля КНРЭТЭ 19x1, измеренные по схеме i-S.
"о" - на частоте 0,1 кГц (верхняя линия), "х" – 1 кГц, "*" – 10 кГц (нижняя линия): нечетные – экранированные; четные – нет.

Это связано с тем, что в первом случае измерительное поле ограничивается только твердой изоляцией, а во втором – силовые линии проходят через твердую и воздушный промежуток между жилами. При переходе потенциальной жилы в наружный повив $\text{tg}\delta$ резко возрастает до 0,33 – 0,42 %, причем, только для неэкранированных жил. Это может быть связано с повышенными потерями в защитной оболочке кабеля.

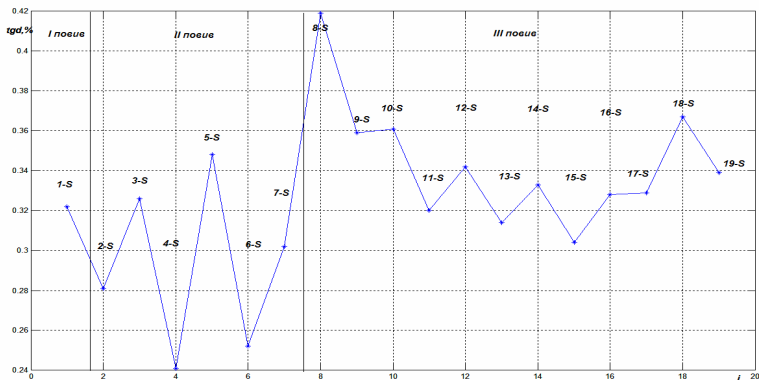


Рис. 4. Тангенсы углов диэлектрических потерь кабеля КНРЭТЭ 19x1, измеренные по схеме i -S на частоте 10 кГц (точки для частот 0,1 и 1 кГц лежат выше приведенной линии).

На C - $\text{tg}\delta$ диаграмме (рис. 5) приведены измерения параметров кабеля на трех частотах. В левой части диаграммы лежат точки для неэкранированных жил (с меньшей емкостью), а в правой части – точки для экранированных жил. На частоте 0,1 кГц ("o") наблюдается повышенный $\text{tg}\delta$ для неэкранированных жил 0,5 – 1,2 % и 0,6 – 1,3 % - для экранированных. Это может быть связано с попаданием влаги в конструкцию кабеля. А так как бумажная подложка экранов жил гидрофильна, то влага скапливается именно в ней.

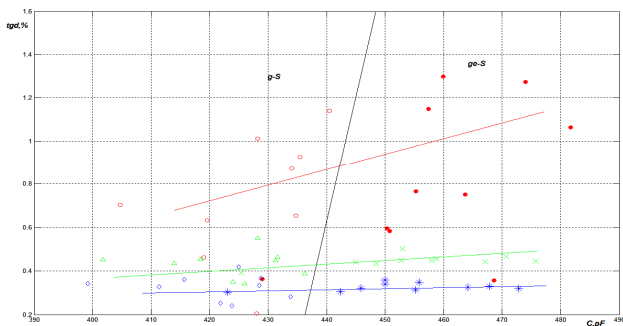


Рис. 5. C - $\text{tg}\delta$ диаграмма совокупных измерений кабеля КНРЭТЭ 19x1. Обозначения для неэкранированных и экранированных жил соответственно: "o" и "•" - на частоте 0,1 кГц, "Δ" и "x" - 1 кГц, "△" и "※" - 10 кГц

После входного обследования образец кабеля был ускоренно состарен: 8 циклов нагрева/охлаждения. Общее время нахождения образца при повышенной температуре 100 °С - 76 ч.

После старения существенно увеличился $\text{tg}\delta$ на частоте 10 кГц – в 1,8 раза для жил внутренних повивов и в 2 – 2,2 раза для жил наружного повива. Это свидетельствует о деградации изоляции и, даже в большей степени, оболочки (рис. 6, 7). Кроме того, немного увеличались емкости неэкранированных жил (на 5 – 15 пФ), что может быть связано с усадкой оболочки (рис. 7).

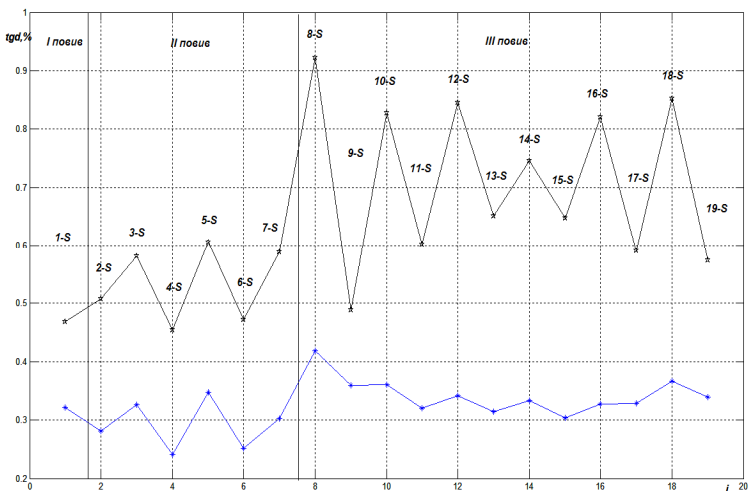


Рис. 6. Тангенсы углов диэлектрических потерь кабеля КНРЭТЭ 19х1 до ускоренного термического старения (нижняя линия) и после него (верхняя линия); частота измерений 10 кГц.

На частоте 0,1 кГц (рис. 7), наблюдается падение $\text{tg}\delta$, что свидетельствует об улетучивании влаги из изоляции в процессе нагрева (показано стрелками, направленными вниз).

Выводы:

1. Для экранированных (нечетных) жил в кабеле КНРЭТЭ зондирующее электрическое поле локализовано только в изоляции жил. Для неэкранированных - попадает также в свободное пространство кабеля и в защитную оболочку. Это открывает возможности наблюдения процессов старения разных конструктивных элементов кабеля по отдельности.

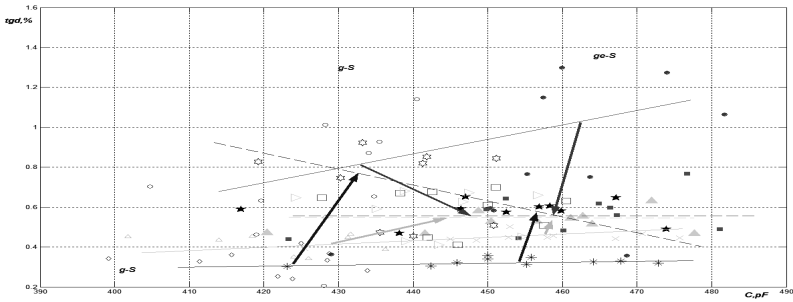


Рис. 7. $C\text{-}tg\delta$ диаграмма совокупных измерений кабеля КНРЭТЭ 19х1 до ("о" и "•" - на частоте 0,1 кГц, "Δ" и "х" - 1 кГц, "□" и "*" - 10 кГц – для неэкранированных и экранированных жил) и после термического старения ("□" и "■" - частота 0,1 кГц, ">" и "▲" - 1 кГц, "d" и "р" - 10 кГц).

2. Емкости и тангенсы углов диэлектрических потерь кабеля, измеренные по схемам "потенциальная жила – против всех остальных жил и экранов" ($i\text{-}S$), отличаются для экранированных и неэкранированных жил, причем для неэкранированных жил большое влияние на величину потерь оказывает место расположения жилы - внутренний или наружный повив. Эти различия связаны, прежде всего, с неоднородностью изоляции, а также, со сложным расположением электродов.

3. При обследовании кабеля обнаружены повышенные потери в резиновой оболочке, которые после теплового старения увеличиваются в 2 – 2,2 раза (до 0,9 % на частоте 10 кГц). Это свидетельствует о более интенсивных процессах деградации оболочки, которая принимает на себя основную часть тепловой нагрузки, защищая кабель от воздействия повышенных температур.

Список литературы. 1. Григорьян А.Г., Дикерман Д.Н., Пешков И.Б. Производство кабелей и проводов с применением пластмасс и резины. – М.: Энергоатомиздат.- 1992. – 304 с. 2. Набока Б.Г., Беспрозванных А.В., Штангей А.С. Параметры частичных емкостей как индикатор состояния контрольных кабелей АЭС. // Электротехника и Электромеханика. -№3–2005.с. 80–82.

Поступила в редколлегию 04.09.2009