

Анализ уже снятых переходных процессов позволяет говорить, что фильтры ФНЧ с постоянной времени 0,01–0,02 с не будут вносить существенных искажений в динамику снимаемых кривых.

Аналоговая часть преобразования от DAC до ADC независимо от выбранной схемы квадратурного демодулятора должна предусматривать адаптивную схему регулирования уровня сигналов в зависимости от изменения сопротивления первичного преобразователя. В качестве основного элемента для этого может выступать инструментальный усилитель, коэффициент которого программируется дискретно тремя цифровыми входами. Поскольку полоса пропускания усилителя в зависимости от коэффициента сужается, для измерителя возможно использовать усиление сигнала только на 10, а в некоторых случаях на 100. При коэффициенте 100 полоса усиления сужается до 514 кГц. Исходя из диапазона изменяющегося сопротивления первичного преобразователя, на частоте 1 МГц потребуется 4 каскада усиления, на 500 кГц можно обойтись двумя. Поскольку в начале измерений сопротивление максимально, то коэффициенты должны быть минимальны. После старта пропитки необходимо постоянно просчитывать в контроллере общую амплитуду напряжения, которое формируется на измерительных клеммах, и по мере падения напряжения производить дискретно увеличение общего коэффициента усиления. Непосредственно на измерительные клеммы следует формировать сигнал источника тока, и, лучше всего, на высокочастотном усилителе.

В качестве еще одного решения согласования уровня может выступить использование управляемой матрицы R-2R на базе цифроаналогового преобразователя и с помощью ключевых схем.

С помощью аналоговых решений на операционных усилителях решается преобразование однополярного выхода с выходов DAC в двухполярный сигнал без постоянной составляющей на измерительные клеммы и на перемножители.

Преимуществом аналоговой схемотехнического решения также может выступать меньше проблем связанных с вопросами монтажа, разводки платы, борьбы с помехами.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПРОВОДОВ С ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Мараткызы М., Баданова А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Аннотация. В работе проводилось исследование влияния температуры на длительную электрическую прочность проводов с изоляцией из полипропилена. Показано, что зависимость времени до пробоя может быть объяснена на основе термофлуктуационной теории разрушения.

Известно, что зависимость времени до пробоя от температуры и напряженности электрического поля, может быть описана на основе известных эмпирических уравнений степенного, экспоненциального, универсального уравнений. Однако использование данных уравнений не дает физического объяснения закономерностям электрического старения и практически наталкивается на большие затруднения, связанные с отсутствием в литературе значений параметров изоляции входящих в эти уравнения, а также отсутствием условий, в которых проводились исследования [1].

В работе, было показано, что объяснение закономерностей электрического старения полимерных диэлектриков может быть выполнено на основе термофлуктуационной теории. Согласно этой теории процесс разрушения диэлектрика рассматривается как разрыв химической связи под действием тепловых флуктуаций молекул с учетом воздействия различных сил (напряженности электрического поля, механической нагрузки и т.д.), которые облегчают разрыв химической связи [2].

Для проверки данного предположения нами проводились исследования влияния температуры и напряженности приложенного электрического поля на время до пробоя.

В качестве образцов для исследования использовались отрезки провода с диаметром жилы 1.2 мм и толщиной изоляции 0.3 мм, которые скручивались согласно ГОСТУ Р МЭК 60 851-5-2008 с длиной скрутки 125мм. Образцы провода в количестве 30 шт. испытывались при температурах 130°C и 140°C, соответствующих максимальным рабочим температурам для выбранных материалов изоляции. Испытания проводились при напряженностях электрического поля $1.35 \cdot 10^7$ В/м и $1.7 \cdot 10^7$ В/м, соответствующих порядку 80-85% от кратковременной пробивной напряженности электрического поля.

Результаты экспериментальных данных и расчета времени до пробоя на основе термофлуктуационной теории согласно [2] представлены на рис.1 и рис. 2. Время до пробоя рассчитывалось по уравнению

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{D - \varphi(x)}{2KT}}, \quad (1)$$

где: τ_0 – постоянная времени, с; D – энергия разрыва химической связи, Дж; $\varphi(x)$ – функция от действующих нагрузок (x), вызывающих уменьшение потенциального барьера

$$\varphi(x) = \sqrt{1-2x} - x \ln \left[\frac{1}{x} + \frac{1}{x} \sqrt{1-2x} - 1 \right], \quad (2)$$

$$x = \frac{1}{D} \sqrt{(Ae^{-bT} \beta \eta E)^2 + (\gamma \sigma)^2} \quad (3)$$

Здесь: A, γ – параметры уравнения (1), определяемые экспериментально; η – коэффициент, учитывающей повышение напряженности электрического поля за счет формы электродов; β – коэффициент, учитывающий повышение напряженности электрического поля за счет неоднородности структуры материала диэлектрика; σ – механическая нагрузка, [Н/м]; E – напряженность приложенного электрического поля, [В/м]; b – коэффициент, учитывающий изменение модуля упругости материала с температурой, 1/К°.

Из рис.1 видно, что с ростом напряженности электрического поля среднее время до пробоя уменьшается. При увеличении температуры от T1 до T2 кривая зависимости лежит ниже. Такой же характер изменения имеют и экспериментальные значения $\tau_{\text{ср}}$.

С ростом температуры, как видно из рис.2 среднее время до пробоя резко уменьшается по экспоненциальному закону в соответствии с термофлуктуационной теорией. Это характерно как для теоретических кривых, так и для экспериментальных данных, которые отмечены точками $\tau_{\text{ср1}}=1.628 \cdot 10^5$ с и $\tau_{\text{ср2}}=9.15 \cdot 10^4$ с при напряженности поля E1 и $\tau_{\text{ср3}}=1.029 \cdot 10^5$ с и $\tau_{\text{ср4}}=6.521 \cdot 10^4$ с при напряженности поля E2. Таким образом, можно сказать, что полученные результаты подтверждают высказанные ранее предположения о возможности использования термофлуктуационной теории.

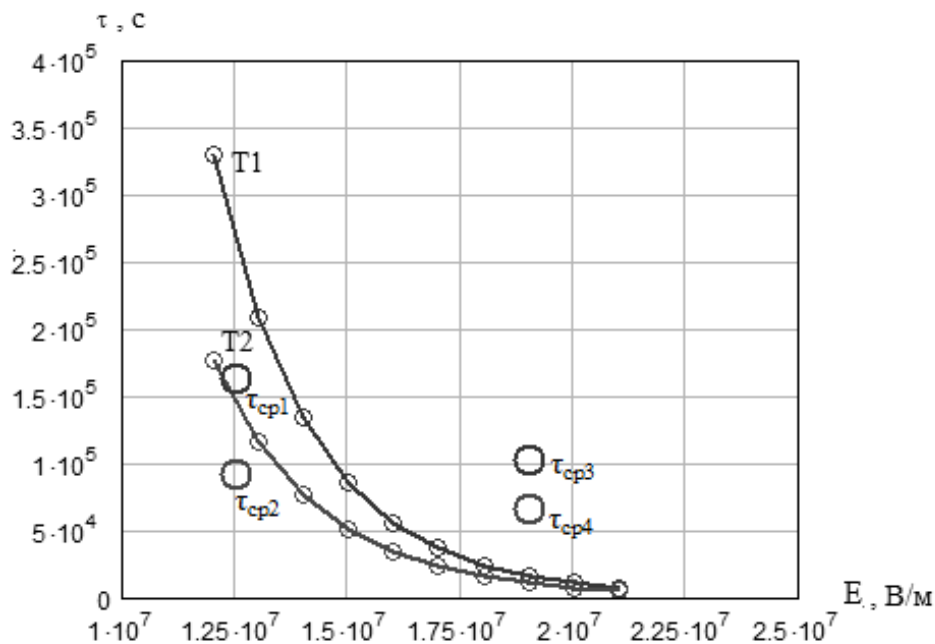


Рис.1. Зависимость времени до пробоя от напряженности электрического поля при различных температурах T_1 и T_2

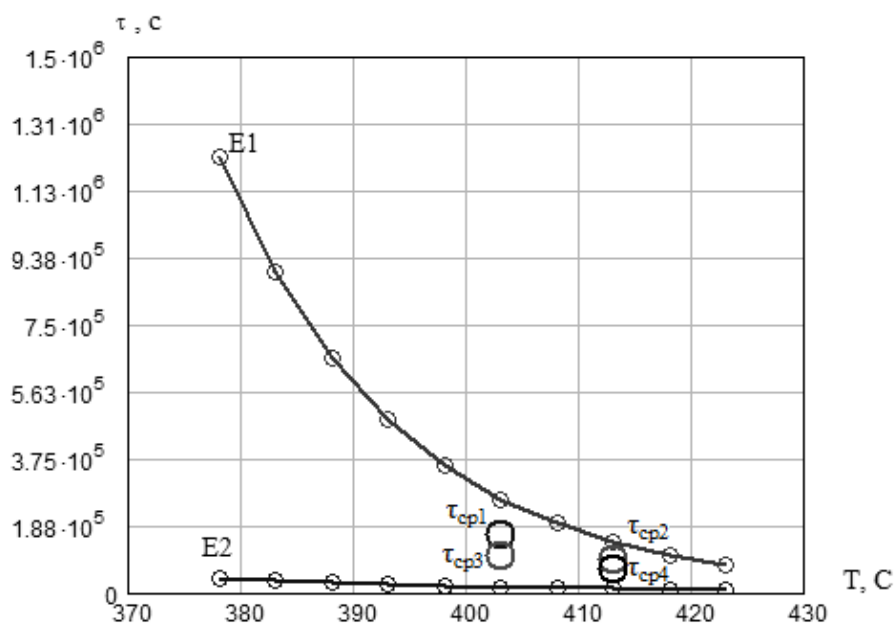


Рис.2. Зависимость времени до пробоя от температуры при напряженности электрического поля E_1 и E_2

Выводы:

1. Показано, что для объяснения влияния температуры и напряженности электрического поля на время до пробоя исследованных полимерных материалов может быть использована термофлуктуационная теория.
2. Полученные экспериментальные результаты удовлетворительно согласуются с результатами расчета согласно термофлуктуационной теории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. – М.: Энергоиздат, 1981. -392 с.
2. Меркулов В.И., Арефьев К.П., Леонов А.П., Определение параметров уравнения кривой жизни на основе термофлуктуационной теории [Электронный ресурс]. <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/090.pdf>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЛЕЧИВАНИЯ ПРОПИТКОЙ СКВОЗНЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕЖВИТКОВОЙ

Выгузов Д. О., Кодочигов А. В., Супуева А. С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Известно: критерием отказа низковольтных обмоток является наличие сквозного повреждения в изоляции - дефекта. При этом особенно опасны дефекты в эмалевой изоляции, т.к. их наличие существенно влияет на надежность межвитковой изоляции. Подобные повреждения существуют в обмоточных проводах в состоянии поставки, возникают в процессе изготовления обмоток (проколы, порезы, сдиры и т.п.) и могут образовываться в процессе старения изоляции при эксплуатации (трещины, отслаивания и т.п.). Соответственно, вероятность отказа будет тем выше, чем больше число повреждений. Т.к. окончательное формирование электроизоляционных свойств изоляции обмоток происходит после пропитки и отверждения пропиточного состава, важно обеспечить полное скрытие таких сквозных дефектов пропиточным составом.

Изучение скрытия дефектов при пропитке выявило: «залечиваемость» сквозных повреждений зависит от их вида (точечные, кольцевые, протяженные) и типа их расположения в реальной обмотке [1]. Наиболее опасными считаются те повреждения, которые лежат на смежных, плотно касающихся витках обмотки. В этом случае вероятно возникновение короткого замыкания, связанного с действием искровых разрядов во время коммутаций.

Внедрение частотно-регулируемых электроприводов (ЧРП), построенных на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) существенно изменило характер старения межвитковой изоляции низковольтной обмотки. Традиционно было принято считать: основным фактором, вызывающим ухудшение свойств низковольтной изоляции, является действие температуры. Повышение уровня электрических перенапряжений в обмотке, обусловленное действием ШИМ, привело к преобладанию электротеплового характера старения изоляции. В связи с этим интересно оценить - насколько эффективно будет «залечивание» сквозных повреждений в межвитковой изоляции при пропитке в новых условиях эксплуатации?

Испытания проводились на образцах, представляющих стандартные скрутки из короностойкого провода ПЭТД 2К-180. Испытывались образцы в следующих состояниях: бездефектные скрутки; с искусственно нанесенным дефектом на одном витке и с дефектами на соседних витках. Были нанесены дефекты 2 типов: в виде кольцевых порезов эмалевой изоляции до жилы провода и протяженные (удаление изоляции на протяжении 1 мм). В случае дефектов на обоих витках расстояние между ними составляло 0, 10 и 20мм. Скрутки пропитывались короностойким лаком КО-916К методом погружения (общий вид образцов показан на рис.1). Образцы были испытаны на высокочастотном лабораторном стенде, имитирующем электрические нагрузки от ШИМ. Результаты определения среднего времени до пробоя приведены на рисунке 2.