

СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ОТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ

Н.С. Старикова, В.В. Редько

В работе представлен комплексный метод контроля состояния изоляции по изменению электрической емкости при электроискровом контроле кабельных изделий, проведен анализ влияющих факторов на результат контроля, предложены способы отстройки от данных факторов.

Ключевые слова: электроискровой контроль, кабель, электрод, электрическая емкость, отстройка.

ВВЕДЕНИЕ

Изоляция является обязательным конструктивным элементом электрических кабелей и проводов и необходима для предотвращения электрического контакта между проводящими частями кабелей, для обеспечения передаточных свойств кабеля, для защиты жилы кабеля от механических воздействий и других неблагоприятных факторов. Таким образом, для обеспечения надежного канала связи необходим качественный контроль состояния изоляции на протяжении всей длины кабеля.

В действующей нормативной документации регламентированы два метода контроля состояния изоляции кабельных изделий: электроискровой [1] и электроемкостной [2].

При электроискровом методе контроля кабельное изделие проходит через электрод, к которому приложено испытательное напряжение. При прохождении дефекта через зону контроля возникает пробой, который регистрируется автоматически [3].

При электроемкостном методе контроля измеряется погонная электрическая емкость контролируемого кабеля. Измерительным является цилиндрический электрод, погруженный в воду охлаждающей ванны, которая обеспечивает электрический контакт между поверхностью изоляции и измерительным электродом. При прохождении дефектного участка изоляции через зону контроля величина погонной электрической емкости изменяется.

Недостатки этих методов отмечены в работах [4, 5]. Указанные недостатки можно устранить путем объединения двух методов и разработать комплексный метод, который позволит повысить информативность контроля.

Описание комплексного метода контроля

Данный метод заключается в приложении к объекту контроля испытательного на-

пряжения определенной частоты с помощью специального электрода и одновременном непрерывном контроле погонной емкости. Величина испытательного напряжения выбирается исходя из толщины и материала изоляции, аналогично испытаниям по категории ЭИ-2 (испытания «на проход») [3, 6]. Таким образом, о состоянии изоляции судят по двум факторам: по изменению погонной емкости и возникновению электрического пробоя.

Постановка цели исследования

При измерении электрической емкости предложенным методом точность измерений зависит от различных технологических параметров. Повышение точности измерений необходимо для достоверного обнаружения дефектов в процессе производства, а не на этапе выходного контроля. Обнаружение дефектов в процессе производства позволит своевременно изменить технологический режим, избежать массового брака, и, тем самым, снизить производственные издержки и повысить качество продукции.

Целью данной работы является анализ влияющих факторов на точность измерения электрической емкости и тангенса угла диэлектрических потерь, предложение способов отстройки от влияющих факторов для повышения достоверности контроля.

Теоретическая модель комплексного метода контроля

Контроль предложенным методом осуществляется при приложении к кабелю высокого испытательного напряжения (рисунок 1). В сильных электрических полях возникают интенсивные поверхностные разряды, которые обеспечивают электрический контакт между электродом и поверхностью объекта контроля. Приложенное переменное испытательное напряжение позволяет измерять комплексное сопротивление изоляции.

СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ОТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ

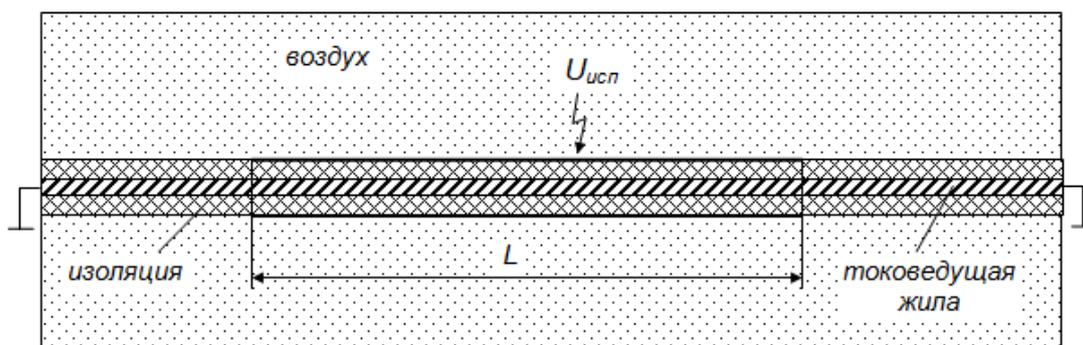


Рисунок 1 – Теоретическая модель проведения контроля

В данном случае кабель можно представить как два концентрических цилиндра. Электрическую емкость контролируемого участка можно рассчитать по известной формуле для цилиндрического конденсатора [7].

При практической реализации предложенного комплексного метода контроля измеренная электрическая емкость контролируемого участка будет отличаться от теоретически рассчитанной из-за увеличения зоны контроля за счет поверхностных разрядов. Таким образом, зона контроля L (рисунок 1) превышает по длине специальный электрод, на который подается высокое напряжение.

При разработке предложенного комплексного метода контроля необходимо учитывать возможное влияние на точность измерения электрической емкости и тангенса угла диэлектрических потерь таких факторов, как параметры испытательного напряжения, напряженность электрического поля, материал, температура и состояние изоляции кабельных изделий, режим работы технологической линии.

Влияние параметров испытательного напряжения

Амплитуда испытательного напряжения при электроискровом контроле значительно превышает рабочее напряжение кабеля и нормирована российскими и зарубежными стандартами [1, 3, 8, 9] в соответствии с толщиной и материалом изоляции. При приложении высокого испытательного напряжения на поверхности диэлектрика формируется скользящий разряд. Длина скользящего разряда может быть определена с помощью эмпирической формулы Теплера [10]:

$$l_{\text{ск}} = k \cdot C^2 \cdot U^5 \sqrt{\frac{dU}{dt}},$$

где k – коэффициент, определяемый опытным путем, C – удельная поверхностная емкость.

Учитывать длину скользящего разряда необходимо, т. к. от него зависит величина зоны контроля. При проведении экспериментальных исследований были получены зависимости удлинения зоны контроля (Δl) от амплитуды испытательного напряжения при разных значениях частоты (рисунок 2). Согласно полученным данным можно отметить, что величина Δl с увеличением частоты и амплитуды испытательного напряжения увеличивается.

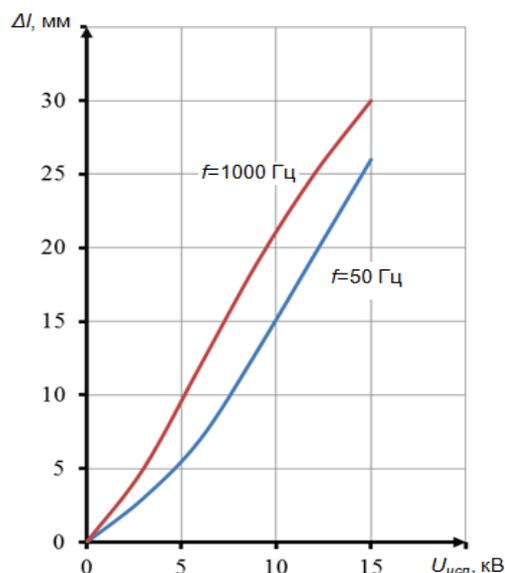


Рисунок 2 – Зависимость длины скользящего разряда от значения испытательного напряжения при разных значениях частоты

Для отстройки от данных параметров необходимо, чтобы программной частью прибора были учтены параметры испытательного напряжения (амплитуда и частота) при нахождении погонной емкости объекта контроля.

Влияние состояния поверхности изоляции

Для оценки длины зоны контроля также необходимо рассмотреть влияние, которое оказывает наличие талька (для резиновой изоляции) и влаги на поверхности изоляции кабельных изделий.

При исследовании влияния талька на результат контроля был проведен анализ соответствующей литературы, в которой авторы решали аналогичную задачу [11, 12]. Было выявлено, что тальк (при отсутствии влаги) не оказывает значительного воздействия на процессы, возникающие при проведении контроля в области сильных электрических полей. Таким образом, влиянием данного фактора можно пренебречь.

Отстройку от влияния влажной поверхности изоляции на растекание испытательного напряжения возможно производить программными методами. Увлажненной поверхность изоляции становится после прохождения экструзионной линии. На данном этапе производства на жилу наносится изоляция с помощью экструдера, после чего кабель проходит через охлаждающую ванну. После прохождения охлаждающей ванны проводится электроискровой контроль кабельных изделий. Устройства для контроля состояния изоляции кабельных изделий также устанавливаются на других этапах производства кабельной продукции: скрутки изолированных жил, при промежуточных и выходных испытаниях и т.д. [13], при прохождении которых поверхность кабеля остается сухой. Экспериментально было доказано, что увеличение зоны контроля влажной и сухой изоляции отличается в 2 раза при одном испытательном напряжении и длине электрода. Поэтому для проведения качественного измерения погонной емкости и угла диэлектрических потерь при установке прибора в необходимое место технологического процесса оператором должно быть задано ожидаемое состояние поверхности кабеля (сухое или увлажненное).

Влияние напряженности поля на электрическую емкость

Основными материалами, используемыми в качестве изоляции кабельного изделия, являются следующие полимерные материалы: поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ), фторопласт, резиновые смеси. Данные материалы являются линейными диэлектриками [14], т. е. их диэлектрическая проницаемость постоянна и не зависит величины электрического поля, в котором они находятся, поэтому влиянием данного фактора можно пренебречь.

Влияние температуры и материала изоляции кабельных изделий на величину электрической емкости и угла диэлектрических потерь

Температура изоляции кабельных изделий на разных этапах технологического процесса не является постоянной величиной и оказывает влияние на диэлектрические параметры изоляционного материала, а именно на диэлектрическую проницаемость (соответственно, и на погонную электрическую емкость) и тангенс угла диэлектрических потерь.

На выходе из экструдера температура изоляции составляет около 100 °С, после прохождения охлаждающей ванны температура объекта контроля снижается до 40–50 °С [15]. Как было сказано ранее, контроль состояния изоляции проводится сразу после этапа наложения изоляции. На остальных этапах технологического процесса, где размещаются электроискровые испытатели, нагрев изоляции кабельного изделия не предусмотрен. Таким образом, необходимо учитывать изменение температуры в диапазоне от 20 до 50 °С.

Далее приведены зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса диэлектрических потерь от температуры для некоторых изоляционных материалов (рисунки 3–6).

Проведя анализ приведенных зависимостей можно отметить, что температура не оказывает значительного влияния на диэлектрическую проницаемость, а, следовательно, и на величину погонной емкости, в исследуемом диапазоне температур (20–50 °С). Таким образом, влиянием данного фактора можно пренебречь.

На тангенс угла диэлектрических потерь величина температуры оказывает значительное влияние. В исследуемом диапазоне температур тангенс угла диэлектрических потерь изменяется примерно в 2 раза для ПВХ и в несколько десятков раз для резины. Следовательно, данный фактор необходимо учитывать. Отстроиться от влияния температуры на результат контроля возможно по аналогии с предложенным методом отстройки от влияния увлажненной поверхности изоляции. Т. е. необходимо учитывать место установки прибора. Если прибор установлен после экструзионной линии, то температура объекта контроля будет примерно равна температуре воды в последней секции охлаждающей ванны. Если прибор установлен на других участках технологического процесса, то температуру объекта контроля можно принять равной 20 °С.

СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ОТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ

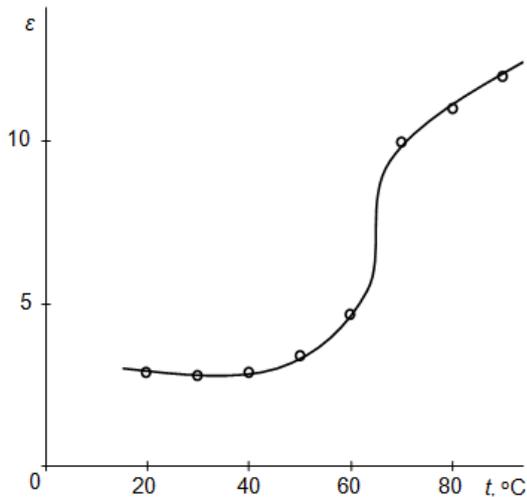


Рисунок 3 – Зависимость диэлектрической проницаемости ϵ резины от температуры

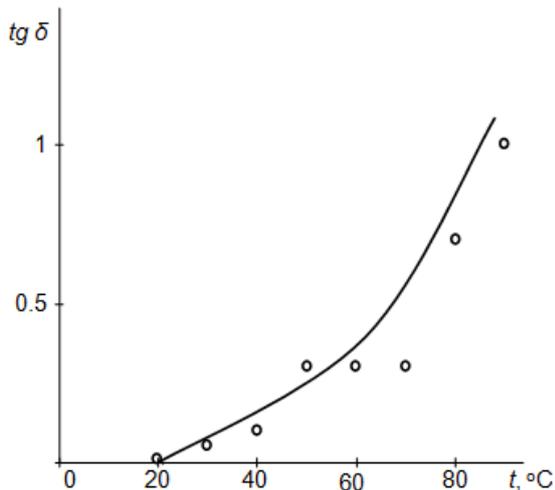


Рисунок 4 – Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ резины от температуры

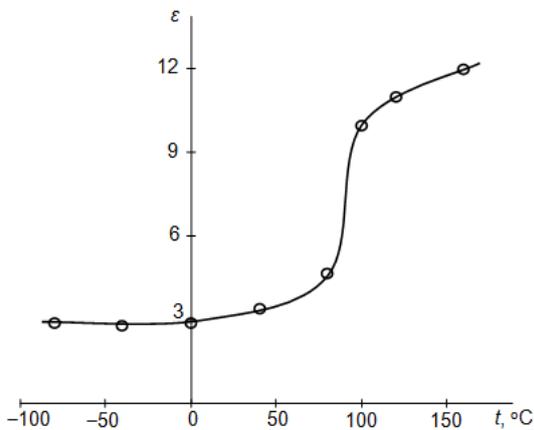


Рисунок 5 – Зависимость диэлектрической проницаемости ϵ ПВХ от температуры

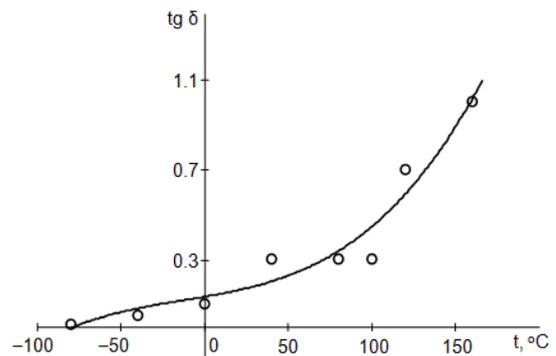


Рисунок 6 – Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ ПВХ от температуры

Влияние радиальных вибраций объекта контроля

Согласно технологии производства кабельных изделий кабель всегда находится в движении. Линейная скорость технологических линий определяется согласно необходимому режиму работы. При высоких скоростях технологических линий часто происходят радиальные вибрации объекта контроля, что также является причиной помех при измерении погонной емкости кабеля. В нормативном документе РД16 14.640-88, регламентирующем испытания на проход, максимально допустимым отклонением объекта контроля от центрального положения является 10 мм. На практике же это отклонение составляет 1..5 мм. Для отстройки от данного мешающего фактора возможно применение цифровой фильтрации полученного измерительного сигнала. Фильтрацию целесообразно осуществлять с помощью быстрого преобразования Фурье, которое позволит удалить из спектра полученного сигнала низкочастотную составляющую, обусловленную механическими вибрациями кабельного изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было выявлено, что на результат измерения электрической емкости и угла диэлектрических потерь при электроискровом контроле оказывают значительное влияние такие факторы, как параметры испытательного напряжения, температура, материал и увлажненность изоляции кабельных изделий. Влияние величины напряженности электрического поля и наличия талька на поверхности (для резиновой изоляции) на результат измерений было признано несущественным и отстройки не требует.

Использование предложенных способов отстройки от влияющих факторов позволит

повысить достоверность контроля. Предложенные способы отстройки являются программными и не приводят к усложнению конструкции, и, соответственно, и к увеличению стоимости прибора.

Работа выполнена при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (конкурс «УМНИК-2014»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2990-78. Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 18 с.
2. Гольдштейн, А. Е. Отстройка от влияния изменения электропроводности воды на результаты технологического контроля погонной емкости электрического кабеля [Текст] / А. Е. Гольдштейн, Г. В. Вавилова // Ползуновский вестник. – 2013 – № 2. – С. 146–150.
3. ГОСТ Р 54813-2011 (МЭК 62230:2006). Кабели, провода и шнуры электрические. Электроискровой метод контроля. – М. : Стандартиформ, 2012. – 20 с.
4. Старикова, Н. С. Исследование достоверности контроля целостности изоляции по изменению электрической емкости в области сильных электрических полей [Текст] / Н. С. Старикова, В. В. Редько // Неразрушающий контроль: сборник научных трудов всероссийской молодежной школы-конференции. – Томск: ТПУ, 2013. – С. 153–159.
5. Редько, В. В. Повышение информативности электроискрового технологического контроля изоляции кабельных изделий [Томск] / В. В. Редько, Л. А. Редько, Н. С. Старикова // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 164–167.
6. ГОСТ 23286-78. Кабели, провода и шнуры. Нормы толщин изоляции, оболочек и испытаний напряжением: – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 8 с.
7. Говорков, В. А. Электрические и магнитные поля [Томск] / В. А. Говорков. – М. : Государственное энергетическое издательство, 1960. – 462 с.
8. BS 5099:2004. Electric cables – Voltage levels for spark testing: Incorporating Amendment No. 1, 2005. – 7 p.
9. UL 1581. Reference Standard for Electrical Wires, Cables, and Flexible Cords, 2006. – 238 p.
10. Техника высоких напряжений / под ред. Д. В. Разевига. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1976. – 471 с.
11. Техника высоких напряжений. Руководство к лабораторным работам. [Текст] : уч. пособие / В. Ф. Вазов [и др.]. – Томск: ТПУ, 2006. – 79 с.
12. Григорьев, А. Н. Электрический разряд по поверхности твердого диэлектрика. Ч. 1. Особенности развития и существования поверхностного разряда [Текст] / А. Н. Григорьев, А. В. Павленко, А. П. Ильин, Е. И. Карнаухов // Известия ТПУ. – 2006. – № 1. – С.66–69.
13. Редько, В. В. Высоковольтный испытатель изоляции постоянным напряжением «КОРОНА-ПН» [Текст] / В. В. Редько, Л. А. Редько, Ю. Г. Гладышев // Научно-технические проблемы приборостроения и машиностроения: Сборник трудов Российской научно-технической конференции. – Томск: Изд. ТПУ, 2004. – С. 55–58.
14. Тареев, Б. М. Физика диэлектрических материалов [Томск] / Б. М. Тареев. – М. : Энергоатомиздат, 1974.
15. Леонов В. М., Пешков И. Б., Рязанов И. Б., Холодный С. Д. Основы кабельной техники [Текст] / В. М. Леонов, И. Б. Пешков, И. Б. Рязанов, С. Д. Холодный; под ред. И. Б. Пешкова. – М. : Академия, 2006. – 432 с.

Старикова Н.С. – аспирант кафедры информационно-измерительной техники Томского политехнического университета, nadushasns@sibmail.com.

Редько В.В. – к.т.н., доцент кафедры информационно-измерительной техники Томского политехнического университета, ultratone@rambler.ru.