

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Определение крайних точек положения маятниковой поверхности производится с помощью определения изменения знака производной, которая, в свою очередь, рассчитывается по исходному массиву данных, полученному с контроллера. Производная находится численным методом, описанным в [2].

Выводы

В ходе работы был разработан контроллер бесконтактного определения угла положения маятниковой поверхности. Контроллер был изготовлен промышленным способом, для него было написано программное обеспечение и проведены реальные испытания на макетном стенде, которые доказали работоспособность устройства. В роли датчика углового положения были опробованы механический и магнитный энкодеры. В результате испытаний был выбран более точный магнитный датчик, помимо всего прочего обладающий еще одним существенным преимуществом - отсутствием механического сопротивления маятнику. Следующим этапом работы стала разработка ПО верхнего уровня, обладающего значительным потенциалом.

В настоящий момент работа продолжается, идет постоянное совершенствование как механической части проекта, так и программной его составляющей, но уже с уве-

ренностью можно говорить о большом потенциале и востребованности данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 2263544 Российская Федерация, МПК В02С 19/16 Способ формирования зерновых продуктов размола / Злочевский Валерий Львович, Злочевский Алексей Валерьевич.; заявл. 16.02.2004; опубл. 10.11.2005.
2. ГОСТ 10987-76. Зерно. Методы определения стекловидности. – Взамен ГОСТ 10987-64; введ. с 77 – 06 – 01. – Москва: Изд-во стандартов, 1976. – 3 с.
3. Кантор, С.А. Основы вычислительной математики: Учебное пособие / С.А. Кантор. – Алт. госуд. технич. ун-т им. И.И.Ползунова. Барнаул, 2010. – 357с.
4. Analog Devices. Low Noise, High Throughput 24-Bit Sigma-Delta ADC [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7731.pdf, свободный
5. Atmel. ATmega128A Rev.8151H-AVR-02/11 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc8151.pdf>, свободный

В.С. Солопов, аспирант кафедры МАПП, v.solopov@akkon.ru, тел.: +79133604725; к.т.н. А.П. Борисов, доцент каф. ВСИБ, boralp@mail.ru – АлтГТУ, кафедра ВСИБ

УДК: 621.3.089.68

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.В. Редько, Л.А. Редько, Н.С. Старикова

В статье описана возможность повышения информативности электроискрового контроля изоляции кабельных изделий за счет контроля ее электрической емкости и диэлектрических потерь

Ключевые слова: изоляция кабельных изделий, контроль, дефекты.

Постановка задачи

Электроискровой метод контроля изоляции кабельных изделий используют непосредственно во время производства на экструзионной линии, поэтому для оперативного устранения вызывающих брак причин необходимо обеспечить чувствительность к разным типам дефектов [1].

Геометрия, строение и состав полимера изоляции влияют на его электрические характеристики, и это является основой метода контроля. Поэтому возникает необходимость определения четких границ возможностей

определения разных видов дефектов этим методом. Форма, частота, амплитуда и длительность прикладываемого к поверхности изделия напряжения оказывают решающее действие на обнаружение тех или иных дефектов.

Основной вид дефекта, который обнаруживается в классическом варианте электроискрового дефектоскопа – сквозной дефект, приводящий к возникновению электрического пробоя изоляции. Однако, включение в электроискровой дефектоскоп дополнительных блоков для контроля характеризующих ка-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2013

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

большое изделие различных электрофизических параметров, позволяет обнаруживать и другие виды дефектов. В частности, по изменению емкости и тангенса угла диэлектрических потерь можно судить об изменениях структуры и химического состава входящего в конструкцию кабельного изделия диэлектрика, либо об отклонении его геометрических размеров от нормы, что часто сопровождается различными скрытыми дефектами.

Метод контроля электрической емкости и диэлектрических потерь.

Для начала введем критерии чувствительности детектора к изменению емкости или мощности диэлектрических потерь. С учетом производственных условий (нестабильность наружного диаметра кабельного изделия и диаметра его токоведущей жилы, вибрация при контроле, изменение состояния поверхности изоляции, нестабильность испытательного напряжения и т. д.) в качестве такого критерия целесообразно выбрать предельно допустимый коэффициент изменения емкости $k_c=1,3$, не вызывающий срабатывания схемы обнаружения дефекта. В условиях конкретного производства может быть выбран и другой коэффициент, с учетом требований к вероятностям обнаружения дефектов, их пропуска и появления ложных срабатываний.

Виды дефектов, которые приводят к изменению электрической емкости:

- внутренние воздушные полости или включения;
- изменение наружного диаметра кабельного изделия (локальное уменьшение или утолщение внешнего диаметра);
- трещины, порезы на поверхности изоляции.

Обычно пробивное напряжение превышает испытательное в 3..10 раз [2]. Однако, при анализе было принято, что отношение пробивного напряжения к испытательному (k_U) максимально и равно 10 для обеспечения надежного исключения срабатывания метода контроля на пробой дефектного участка при незначительных дефектах. Это отношение, также, как и k_c , может изменяться при изменении материала изоляции, конструкции кабельного изделия и особенностей технологического процесса. Таким образом, задача расчета метода сводится к определению такого изменения геометрии изоляции, которое будет приводить к изменению ее электрической емкости более, чем в k_c раз, но не приведет к ее пробоям. На рисунке 1 показан

пример расположения дефекта в изоляционном слое и его схема замещения. Емкость бездефектного участка изоляции с размерами $r \times r \times r$ (одинаковыми и равными r размерами по длине, ширине и высоте соответственно) составляет

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r r^2}{r} = \epsilon_0 \epsilon_r r \quad (1)$$

где: ϵ_0 – электрическая постоянная, ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика изоляции.

Емкость дефекта высотой r_0 (рисунок 1а) для той же площади составит при этом

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 r^2}{r_0} \quad (2)$$

Относительная диэлектрическая проницаемость дефекта для упрощения принята за единицу, так как дефект заполняется, как правило, воздухом.

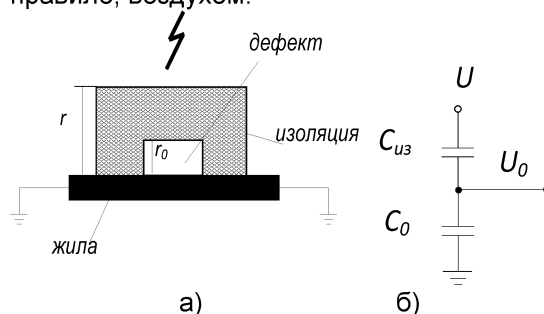


Рисунок 1 – Пример расположения дефекта в изоляционном слое а) и электрическая схема его замещения б)

Эквивалентная емкость участка с дефектом для слабых полей (рисунок 1б) может быть найдена из выражения

$$C_{\Sigma} = \frac{C_{из} \cdot C_0}{C_{из} + C_0} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 r^2}{r + r_0 (\epsilon_r - 1)} \quad (3)$$

где $C_{из}$ – емкость изоляции в отсутствие дефекта, определяемая из (1) с учетом того, что стоящая в знаменателе высота диэлектрика уменьшается на величину r_0 .

Отсюда следует, что коэффициент изменения емкости будет равен

$$K_c = \frac{C}{C_{\Sigma}} = \frac{r_0}{r} (\epsilon_r - 1) + 1 \quad (4)$$

На примере изоляции из ПВХ при $\epsilon_r=4$, $k_c \geq 1,3$, $k_U = r / (r - r_0) \geq 10$ из выражения (4) получим необходимое требование к размеру дефекта:

$$0,1 \leq \frac{r_0}{r} \leq 0,9 \quad (5)$$

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Напряженность поля в дефекте:

$$E_0 = E_r \frac{\epsilon_r}{\epsilon_0}, \quad (6)$$

где E_r – напряженность поля в диэлектрике.

С учетом того, что контроль проводится при значениях напряженности электрического поля, близких к напряженности пробоя диэлектрика, соотношение ϵ_r/ϵ_0 , как правило, находится в пределах 2,5..6, а электрическая прочность дефекта кратно ниже электрической прочности изоляции, то при контроле напряжением в области дефекта будут происходить электрические разряды высокой интенсивности и электрическая емкость дефекта потеряет физический смысл. В этом случае всё испытательное напряжение будет приложено к целому участку изоляции $r-r_0$. Эквивалентная емкость участка изоляции с дефектом увеличится и будет равна:

$$C_{\Sigma} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r r^2}{r - r_0} \quad (7)$$

Коэффициент емкости в области сильных полей:

$$K_c = \frac{C}{C_{\Sigma}} = \frac{r}{r - r_0} \quad (8)$$

На примере изоляции из ПВХ при $\epsilon_r=4$ $k_c=1,3$, $k_U=10$ из выражения (8) получим необходимое требование к размеру дефекта вдоль приложения испытательного напряжения:

$$0,23 \leq \frac{r_0}{r} \leq 0,9. \quad (9)$$

На рисунке 2 приведен пример дефектного участка круглого кабеля

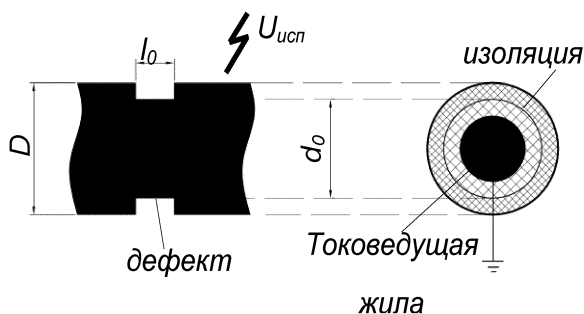


Рисунок 2- Пример дефекта типа «локальное утонение»

Тип дефекта - локальное утонение наружного диаметра кабеля с величины D до величины d_0 длиной l_0 .

Емкость изоляции без дефекта для участка кабеля длиной l :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln(D/d_{ж})}$$

где: $d_{ж}$ – диаметр токоведущей жилы.

Емкость дефектного участка кабеля длиной l_0 :

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l_0}{\ln(d_0/d_{ж})}$$

Соотношение погонных емкостей без-дефектного и дефектного участка кабеля:

$$k_c = \frac{C_0}{C} = \frac{\ln(D/d_{ж})}{\ln(d_0/d_{ж})} \quad (10)$$

При $k_U = \frac{D - d_{ж}}{d_0 - d_{ж}} \leq 10$ и $k_C \geq 1,3$ система

уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{\ln(D/d_{ж})}{\ln(d_0/d_{ж})} \geq 1,3 \\ \frac{D - d_{ж}}{d_0 - d_{ж}} \leq 10 \end{cases}$$

Например, для провода МГШВ-0,35 с диаметром жилы $d_{ж}=0,6$ мм и с наружным диаметром $D=1,6$ мм обнаруживаемое утонение будет лежать в диапазоне $0,7\text{мм} \leq d_0 \leq 1,3\text{мм}$, для провода НВ1-0,2 с $d_{ж}=0,6\text{мм}$ и $D=1,3\text{мм}$ обнаруживаемое утонение будет составлять $0,8\text{мм} \leq d_0 \leq 1,1\text{мм}$, а для провода ПВКВ-6 с $d_{ж}=2,7\text{мм}$ и $D=4,7\text{мм}$ получим, что $2,8\text{мм} \leq d_0 \leq 4,2\text{мм}$.

Указанные выше соотношения соответствуют равным протяженностям дефектов вдоль кабельного изделия и длине участка приложения контролирующего напряжения. Рассмотрим возможность обнаружения дефекта изоляции в виде кругового пореза (трещины) длиной $l_d=1$ мм на примере провода МГШВ-0,35 с диаметром жилы $d_{ж}=0,6$ мм и с наружным диаметром $D=1,6$ мм. Из приведенных выше расчетов минимальный диаметр дефектного участка составит 0,7 мм. При $k_C=1,3$ длина участка приложения напряжения $l_{контр}$ будет равна:

$$l_{контр} = l_d k_C \text{ (при } d_0 = d_{0min}) / k_C$$

В данном случае $l_{контр}=5,0$ мм.

Из приведенных соотношений видно, что при электроискровом контроле высоким напряжением условия обнаружения дефектов достаточно ограниченные. Требования к относительным размерам дефектов должны выполняться на всем участке приложения высокого напряжения. Дефекты типа «локальное утонение», как правило, имеют большую протяженность: от единиц до десятка метров. Длина участков кабельных изделий, находящихся в области высоких напря-

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

жений, составляет десятые доли метра. По этой причине дефекты типа «локальное утонение» могут быть обнаружены при условии выполнения приведенных выше соотношений.

Дефекты типа «локальное утолщение» ($d_0 > D$) также встречаются в производстве. Очевидно, что такие дефекты имеют ограничения по относительному размеру только снизу, так как увеличение радиальной толщины изоляции не приводит к снижению электрической прочности. Поскольку дефект уменьшает емкость, расчет k_c следует выполнять по выражению (10), в котором числитель и знаменатель меняются местами

Например, для провода МГШВ-0,35 с диаметром жилы $d_{ж}=0,6$ мм и с наружным диаметром $D=1,6$ мм обнаруживаемое утолщение будет составлять $d_0 \geq 2,15$ мм, для провода НВ1-0,2 с $d_{ж}=0,6$ мм и $D=1,3$ мм получается $d_0 \geq 1,64$ мм, а для провода ПВКВ-6 с $d_{ж}=2,7$ мм и $D=4,7$ мм обнаруживаемое утолщение будет составлять более 5,55 мм.

На экструзионной линии при скоростях движения контролируемого провода $v=5$ м/с проводились эксперименты по выявлению дефектов изоляции в виде порезов. Использовался провод ПВКВ-6 с $d_{ж}=1,2$ мм, $D=3,3$ мм и радиальной толщиной изоляции $h_{из}=1,05$ мм. В соответствии с ГОСТ 23286-78 контроль проводился при напряжении 10 кВ. Длина участка провода, находившегося в зоне контроля составляла 20 мм. Измеренная электрическая емкость $C_{из}$ бездефектного участка провода равнялась 9 пФ, а емкость электрода $C_{эл}$ - 5 пФ. Частота испытательного напряжения $f_{исп}$ равнялась 1 кГц.

На различных участках провода делались надрезы фиксированной глубины 0,1 мм, 0,2 мм, 0,3 мм, 0,4 мм и 0,5 мм. Максимальное изменения емкости ΔC было зафиксировано при глубине надреза 0,1 мм и равнялось 0,3 пФ, что составило 2% от суммарной емкости бездефектного участка и электрода. Колебания значений емкости бездефектных участков изоляции достигали 5%.

На участках с глубиной пореза 0,4 мм и 0,5 мм происходили электрические пробой изоляции, которые были зафиксированы автоматикой высоковольтного испытателя.

Возможность обнаружения дефектов в изоляции по мощности диэлектрических потерь

Мощность диэлектрических потерь в диэлектрике задается выражением [3]:

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = E^2 \gamma,$$

где: E - напряженность, γ - удельная проводимость.

Удельные диэлектрические потери [3]:

$$P_{уд} = \frac{P}{V} = E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta = E^2 \gamma_a,$$

где: V - объем диэлектрика, γ_a - активная составляющая удельной проводимости.

Удельные диэлектрические потери увеличиваются пропорционально увеличению квадрата напряженности. Снижение толщины изоляции приводит к пропорциональному увеличению мощности диэлектрических потерь и обратно пропорциональному увеличению емкости изоляции. В итоге изменение мощности диэлектрических потерь в изоляции при изменении ее толщины происходит в точном соответствии с изменением ее электрической емкости. Весь проведенный анализ по возможности обнаружения дефектов в изоляции по изменению электрической емкости справедлив в равной степени и для обнаружения дефектов по изменению диэлектрических потерь.

Однако, стоит отметить, что на практике комплексное сопротивление контролируемой изоляции носит ярко выраженный емкостный характер. Поскольку значение тангенса угла диэлектрических потерь лежит в пределах 5÷100, контролировать качество изоляции надежнее по значению электрической емкости.

Заключение

Использование результатов, полученных в ходе исследований, позволит повысить информативность электроискрового контроля. При этом для некоторых видов дефектов снизится порог реагирования, что позволит обнаруживать дефекты меньших размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Редько, В.В. Аттестация высоковольтных испытателей изоляции/ В.В. Редько, Л.Б. Бурцева // Ползуновский вестник. № 3/1 2011 г. С.111-113.
2. ГОСТ 23286-78 Кабели, провода и шнуры. Нормы толщин изоляции, оболочек и испытаний напряжением. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. - 8 с.
3. Техника высоких напряжений/ под ред. Д.В. Разевига. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1976. - 471 с.

К.т.н. Редько В.В., тел. (3822) 418911, ultratone@rambler.ru, доцент кафедры ИИТ; к.т.н., Редько Л.А., доцент кафедры ФМПК тел. (3822) 417307, e-mail: la_redko@list.ru, Старикова Н.С. - магистрант кафедры ИИТ nadushasns@sibmail.com, 89131146216.