ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и НПУА. Сер. ТН. 2015. Т. LXVIII, N3.

УДК 621.315

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Б.М. МАМИКОНЯН, Х.Б. МАМИКОНЯН

# ИЗМЕРЕНИЕ ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Рассмотрена проблема контроля качества изоляционных материалов, применяемых в электротехническом оборудовании, путем оценки величины возникающих в них диэлектрических потерь активной энергии. Обоснована целесообразность контроля качества изоляции по значению тангенса угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ ). Рассмотрены методы, способы и устройства измерения $tg\delta$ при низковольтных и высоковольтных испытаниях диэлектриков, произведен их сравнительный анализ по трудоемкости процесса измерения и точности определения $tg\delta$ . Описаны разработанные авторами способы и устройства с использованием структурного метода повышения точности и временного разделения канала измерения.

***Ключевые слова:*** диэлектрик, конденсатор, схема замещения, угол диэлектрических потерь, измерительный двухполюсник, испытуемый объект, угол сдвига фаз.

**Введение.** Диэлектрические потери энергии в виде тепла возникают в реальных диэлектрических материалах под действием приложенного к ним напряжения как постоянного, так и переменного токов. Когда к изоляционному материалу приложено постоянное напряжение, периодическая поляризация в нем отсутствует, однако возникают токи утечек, так как значения объемной и поверхностной электрических проводимостей изоляционного материала не равны нулю. Токи утечек вызывают нагрев изоляционного материала. При переменных напряжениях к токам утечек добавляются токи периодической поляризации, увеличивается выделяемая в материале тепловая энергия, могут возникнуть разные дефекты, приводящие к ухудшению изоляционных свойств материала, а при больших значениях выделяемой тепловой энергии может произойти тепловое разрушение изоляционного материала (электротепловой пробой). Поэтому в процессе изготовления и эксплуатации электрооборудования производят проверку качества изоляции с целью выявления возможных дефектов [1, 2].

**Объект исследования.** Реальный изоляционный материал представляет собой конденсатор, имеющий емкость $C_X$ и активное сопротивление $R_X$ . Емкость $C_X$ характеризует свойство материала накапливать электрическую энергию $W = C_X U^2/2$ при приложении внешнего электрического напряжения $U$ .

Сопротивление $R_X$ отображает в этих же условиях выделяемую в материале тепловую энергию $Q = \left(U^2 / R_X\right) \cdot t$ от токов утечек за время $t$.

В электрической схеме замещения конденсатора параметры $R_X$ и $C_X$ могут быть соединены последовательно либо параллельно, при этом последовательная схема предпочтительна при малых потерях, параллельная – при больших. Однако от схемы замещения зависят только расчетные формулы, а результат измерения мощности диэлектрических потерь остается неизменным [3]. Например, при параллельной схеме замещения мощность потерь определяется следующей формулой (рис. 1):

$$P_a = U \cdot I_R = U \cdot I_C \cdot tg\delta = U \cdot \frac{U}{X_C} \cdot tg\delta = U^2 \omega C_X \cdot tg\delta, \qquad (1)$$

где $X_C = 1/\omega C_X$; δ - угол диэлектрических потерь; ω - угловая частота приложенного синусоидального напряжения $U$.

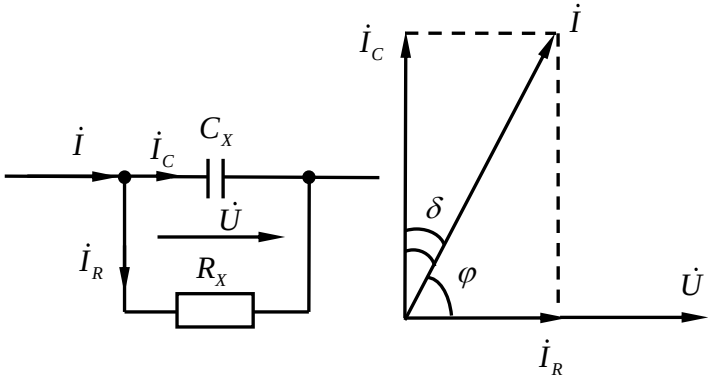


*Рис. 1. Параллельная схема замещения реального диэлектрика (конденсатора)*

Из выражения (1) ясно, что диэлектрические потери имеют особо важное значение для материалов, используемых в установках высокого напряжения, в высокочастотной аппаратуре и особенно в высоковольтных - высокочастотных устройствах, поскольку значение диэлектрических потерь пропорционально квадрату приложенного к диэлектрику напряжения и частоте. Материалы, предназначенные для применения в указанных условиях, должны отличаться малыми значениями угла потерь и диэлектрической проницаемости, так как в противном случае мощность, рассеиваемая в диэлектрике, может достигнуть недопустимо больших значений. Большие диэлектрические потери в электроизоляционном материале вызывают сильный нагрев изготовленного из него изделия и могут привести к его выходу из строя. Если же диэлектрик используется в колебатель-

ном контуре, то диэлектрические потери препятствуют достижению высокой добротности (острой настройки на резонанс), так как с увеличением эквивалентного сопротивления потерь усиливается затухание колебаний в контуре.

Из (1) следует также, что оценку изоляционных свойств диэлектрика нецелесообразно производить по значению мощности диэлектрических потерь, поскольку $P_a$ зависит также от приложенного напряжения. Поэтому изоляционные свойства диэлектрика оценивают по величине $tg\delta$, которая равна отношению активной мощности к реактивной, а также может быть выражена через параметры $R_X$ и $C_X$ (рис. 1):

$$tg\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{I_R \cdot U}{I_C \cdot U} = \frac{P_a}{P_p}, \quad tg\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{U}{R_X \cdot U / X_C} = \frac{X_C}{R_X} = \frac{1}{\omega R_X C_X}.$$

В отличие от $P_a$, значение $tg\delta$ также не зависит от геометрических размеров диэлектрика, что проще доказать, пользуясь понятием комплексной диэлектрической проницаемости [4]:

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon''. \tag{2}$$

Воспользуемся первым уравнением Максвелла, устанавливающим связь между изменениями электрического и магнитного полей:

$$rotH = J_\gamma + J_c = \gamma E + \varepsilon_0 \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t}, \tag{3}$$

где $H$ - напряженность магнитного поля, *А/м*; $J_\gamma$ и $J_c$ - плотности тока проводимости и тока смещения соответственно, *А/м*$^2$; $E$ - напряженность электрического поля, *В/м*; $\gamma$ - удельная электрическая проводимость, *1/Ом·м*; $\varepsilon$ - относительная диэлектрическая проницаемость среды; $\varepsilon_0 \approx 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ *Ф/м* электростатическая постоянная вакуума.

В однородных идеальных диэлектриках сквозной ток отсутствует, т.е. $\gamma = 0$, и для случая гармонического изменения поля уравнение (3) можно записать в комплексной форме:

$$rot\dot{H} = j\omega\varepsilon_0\varepsilon\dot{E}. \tag{4}$$

Если же имеем дело с несовершенным диэлектриком, обладающим заметными диэлектрическими потерями, то уравнение полного тока приобретает более сложный вид:

$$rot\dot{H} = \left(\gamma_f + j\omega\varepsilon_0\varepsilon\right)\dot{E}, \qquad (5)$$

где $\gamma_f$ – полная удельная активная проводимость на данной частоте, учитывающая как сквозную электропроводность, так и активные составляющие поляризационных токов.

Задачу реального диэлектрика можно свести к случаю идеального диэлектрика (4), если в уравнение (5) ввести комплексную диэлектрическую проницаемость:

$$rot\dot{H} = j\omega\varepsilon_0\dot{\varepsilon}\dot{E}. \qquad (6)$$

Тогда из условия равенства правых частей (5) и (6) имеем

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon - \frac{j\gamma_f}{\omega\varepsilon_0}. \qquad (7)$$

Из сопоставления (2) и (7) следует, что действительная составляющая комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon' = \varepsilon$, а мнимая - $\varepsilon'' = \dfrac{\gamma_f}{\omega\varepsilon_0}$.

Поскольку $tg\delta$ представляет собой отношение активной мощности к реактивной, т.е. активной составляющей проводимости к емкостной составляющей (рис. 1), то для плоского конденсатора при данной частоте справедливо соотношение

$$tg\delta = \frac{\gamma_f S/h}{\omega\varepsilon_0\varepsilon S/h} = \frac{\gamma_f}{\omega\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'},$$

откуда видно, что при заданной частоте ω переменного напряжения $tg\delta$ зависит только от электрофизических характеристик диэлектрика.

Контроль величины tgδ является одним из наиболее распространенных методов, позволяющим судить об общем состоянии изоляции. Увеличение $tg\delta$ свидетельствует об увлажнении диэлектрика, появлении в нем проводящих примесей, микротрещин и т.п. Рост угла диэлектрических потерь с увеличением напряжения говорит об ионизации газовых включений в твердой изоляции.

Исходя из этого, контроль величины $tg\delta$ предусмотрен во всех документах нормирования характеристик изоляционных веществ и материалов различного электротехнического оборудования [5-10]. Измерения значения tgδ изоляции при профилактических испытаниях обычно выполняют при напряжении 10 *кВ* независимо от номинального напряжения оборудования, если оно превышает 10 *кВ*. О состоянии изоляции судят по абсолютному значению tgδ. Для изоляции обору-

дования высокого напряжения предельно допустимые значения tgδ нормированы для определенных температур. В частности, максимально допустимые значения для измерительных трансформаторов составляют от 0,025 до 0,045 в зависимости от класса напряжения, для силовых трансформаторов – от 0,008 до 0,025 при температуре 20°*C*, для высоковольтных вводов (кроме сплошных фарфоровых, у которых значения не нормируются и не контролируются) – 0,006...0,008 [1, 3]. В нормирующих документах также предлагаются методы, способы и средства измерения $tg\delta$, вопросы разработки и применения которых основательно изложены в трудах [1, 11-20].

**Методы исследования.** В лабораторной и производственной практике наибольшее применение для измерения $tg\delta$ получил переносный мост Р5026, представляющий собой четырехплечий мост переменного тока по схеме Шеринга [3, 15]. Мост позволяет измерять емкость изоляции от 100 *пФ* до 1 *мкФ*, значения tgδ – от 0,0001 до 1,0 при напряжении до 10 *кВ* по прямой и перевернутой схемам. Погрешности измерения емкости и tgδ составляют величину порядка нескольких процентов. Измерение производят в равновесном состоянии моста, для уравновешивания применяют магазин сопротивлений и магазин емкостей. Недостатками мостового метода являются трудоемкость процесса измерения (трудности уравновешивания моста переменного тока), необходимость проведения ручных операций, пригодность только для статических измерений, трудность автоматизации процесса измерения и обработки результатов измерений.

Известны технические решения, позволяющие измерить значение $tg\delta$ путем преобразования его в электрический сигнал как при низковольтных, так и при высоковольтных измерениях с целью автоматизации процесса измерения и обработки результатов измерений с применением программируемых микроконтроллеров. Для низковольтных измерений в таких устройствах последовательно с испытуемым объектом включают резистор известного сопротивления, образованный этим включением измерительный двухполюсник в виде делителя напряжения питают переменным (преимущественно - высокочастотным) током, обрабатывают напряжения двух различных участков двухполюсника и определяют $tg\delta$ по математической формуле с помощью вычислительного устройства [21-23]. Однако в известных устройствах формулы для определения $tg\delta$ сложны, требуют измерения нескольких величин, что увеличивает аппаратные затраты и снижает точность измерения. Указанных недостатков лишено разработанное нами устройство для измерения $tg\delta$ (рис. 2), в котором используется структурный метод повышения точности и временное разделение канала измерения.

Испытуемый объект 1, представленный параллельным соединением $R_X$ и $C_X$, последовательно соединенные основной резистор $R_1$ и дополнительный

резистор $R_2$, а также электронный переключатель 2 образуют измерительный двухполюсник 3, подключенный к генератору высокочастотного синусоидального напряжения 4. Двухполюсник 3 имеет два выходных напряжения: напряжение своих зажимов ($U_S$) и напряжение испытуемого объекта ($U_X$), приложенные ко входам измерителя разности фаз двух переменных напряжений 5, выход которого соединен с вычислительным устройством 6.

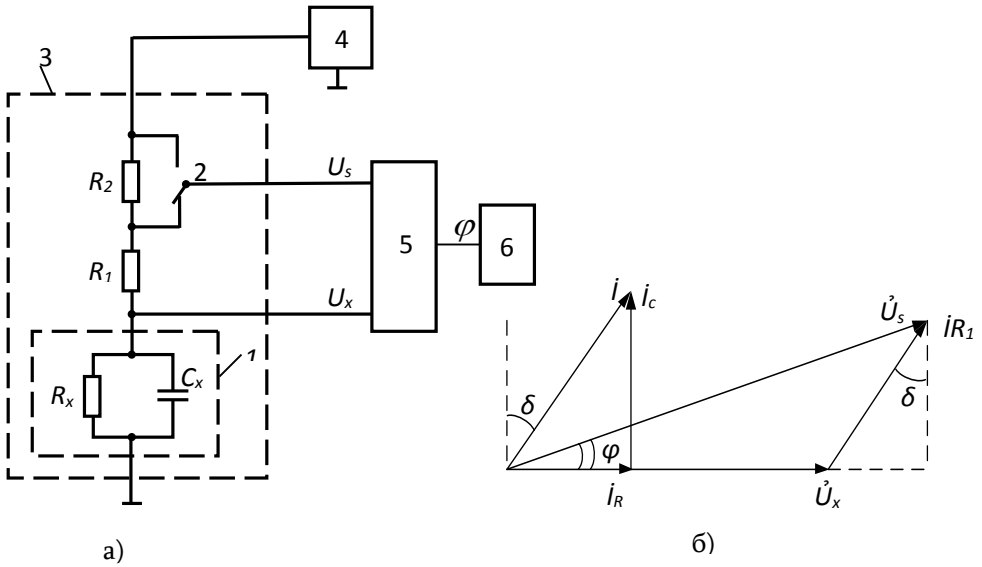


*Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема измерителя тангенса угла диэлектрических потерь (а); векторная диаграмма токов и напряжений (б)*

Векторная диаграмма токов и напряжений двухполюсника (рис. 2б) построена для исходного положения переключателя, показанного на рис. 2а, при котором дополнительный резистор $R_2$ не участвует в измерении. Диаграмма построена по формулам

$$\dot{U}_S = \dot{I}R_1 + \dot{U}_X = \dot{I}R_1 + \dot{I}_R R_X\,,\ \dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_C\,,$$

где $\dot{I}$ - вектор измерительного тока; $\dot{I}_R$ и $\dot{I}_C$ - векторы токов через $R_X$ и $C_X$ соответственно.

Определим из векторной диаграммы $tg\delta$:

$$tg\delta = \frac{U_S \cos\varphi - U_X}{U_S \sin\varphi}\,. \qquad (8)$$

Следовательно, если измерить напряжения $U_S$, $U_X$ и угол φ между этими напряжениями, то можно определить $tg\delta$ по формуле (8), что и использо-

вано в диэлькометрическом измерителе влажности древесины [23]. Однако этот способ определения $tg\delta$ также требует больших аппаратных затрат: кроме измерения угла $\varphi$, необходим преобразователь; для преобразования мгновенных значений ($u_S$ и $u_X$) выходных напряжений двухполюсника в среднеквадратичные значения ($U_S$ и $U_X$) при их измерении необходим мультиплексор, чтобы сигналы $U_S$, $U_X$ и $\varphi$ поочередно подавались на вычислительное устройство, как это реализовано в [23]. Как показали наши исследования [24], такой способ измерения не обеспечивает высокой точности, главным образом, из-за погрешности преобразователя среднеквадратичного значения и измерения угла $\varphi$ путем преобразования его в аналоговое напряжение [23].

Исходя из вышеизложенного, в устройстве (рис. 2) нами реализован другой способ измерения. Для исходного положения переключателя из векторной диаграммы определим $tg\varphi_1$. Из прямоугольного треугольника напряжений имеем

$$tg\varphi_1 = \frac{IR_1 \cos\delta}{U_X + IR_1 \sin\delta}, \tag{9}$$

а из прямоугольного треугольника токов -

$$\cos\delta = \frac{I_C}{I} = \frac{U_X}{x_C \cdot I} = \frac{U_X \cdot \omega C_X}{I}, \ \sin\delta = \frac{I_R}{I} = \frac{U_X}{I \cdot R_X}, \ tg\delta = \frac{\sin\delta}{\cos\delta} = \frac{1}{\omega R_X C_X},$$

где $\omega$ - угловая частота генератора.

С учетом этих выражений из (9) получаем

$$tg\varphi_1 = \frac{\omega R_1 R_X C_X}{R_1 + R_X}. \tag{10}$$

При переключении переключателя во второе положение в измерительную цепь вводится дополнительный резистор $R_2$, к напряжению $\dot{U}_S$ суммируется напряжение $\dot{I}R_2$, в выражении (10) сопротивление $R_1$ заменяется на $(R_1 + R_2)$, угол $\varphi_1$ изменяется на $\varphi_2$ (остальные параметры не меняются). Поэтому получаем

$$tg\varphi_2 = \frac{\omega(R_1 + R_2) R_X C_X}{(R_1 + R_2) + R_X}. \tag{11}$$

Преобразуем выражения (10) и (11):

$$R_1 \cdot ctg\varphi_1 = \frac{R_1 + R_X}{\omega R_X C_X}, \ (R_1 + R_2) \cdot ctg\varphi_2 = \frac{R_1 + R_2 + R_X}{\omega R_X C_X},$$

$$\left(R_1+R_2\right)\cdot ctg\varphi_2 - R_1\cdot ctg\varphi_1 = \frac{R_2}{\omega R_X C_X},$$

следовательно,

$$tg\delta = \frac{1}{R_2}\cdot\left[\left(R_1+R_2\right)\cdot ctg\varphi_2 - R_1\cdot ctg\varphi_1\right]. \qquad (12)$$

Из (12) видно, что в предложенном нами способе определения $tg\delta$ необходимо измерить только углы $\varphi_1$ и $\varphi_2$, что выполняется одними и теми же аппаратными средствами, к тому же фазовый угол, в отличие от аналоговых напряжений, измеряется с гораздо более высокой точностью методом дискретного счета. В частном случае, если выбрать сопротивление дополнительного резистора равным сопротивлению основного резистора ($R_2 = R_1$), то выражение (12) упростится:

$$tg\delta = 2ctg\varphi_2 - ctg\varphi_1.$$

В реализованном измерителе по схеме рис. 2а в качестве вычислительного устройства применяется микроконтроллер, который осуществляет также управление процессом измерения.

Аналогичный принцип использован нами в разработанном устройстве определения $tg\delta$ при высоковольтных испытаниях диэлектриков и изоляции (рис. 3). Устройство содержит источник питания синусоидального переменного напряжения 1, высоковольтный трансформатор 2, высоковольтная обмотка которого имеет дополнительный низковольтный вывод для подключения измерительной аппаратуры, испытуемый объект 3, основной резистор $R_1$, дополнительный резистор $R_2$, ключ 4, измеритель разности фаз двух переменных напряжений 5 и вычислительное устройство 6.

Векторная диаграмма напряжений (рис. 3б) построена для последовательной схемы замещения испытуемого объекта в разомкнутом положении ключа по следующим формулам: $\dot{U} = \dot{U}_X + \dot{U}_2$, $\dot{U}_X = \dot{U}_R + \dot{U}_C$, $U_R = I\cdot R_X$, $U_C = I\cdot 1/\omega C_X$, $\dot{U}_2 = \dot{I}\cdot R_2$, где $U$ - общее напряжение вторичной обмотки трансформатора; $I$ - измерительный ток; $\varphi_1$ - угол фазового сдвига между измерительным током и напряжением вторичной обмотки трансформатора; этот угол измеряется блоком 5.

В известном устройстве [25] используется схема рис. 3а без ветви дополнительного резистора, а $tg\delta$ определяется по формуле

$$tg\delta = tg\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_1 - \gamma\right). \qquad (13)$$

В выражении (13) измеряется только угол $\varphi_1$, а угол $\gamma$ принимается постоянной величиной для упрощения вычислений в предположении, что в данной схеме угол $\gamma$ имеет фиксированное значение. На векторной диаграмме (рис. 3б) $\gamma$ - угол сдвига фаз между напряжениями $\dot{U}$ и $\dot{U}_X$, дополняющий сумму углов $\delta$ и $\varphi_1$ до $90^0$, откуда следует очевидное равенство

$$U_X \cdot sin\gamma = U_2 \cdot sin\varphi_1,$$

т.е.

$$\gamma = arc\,sin\left(\frac{U_2}{U_X} \cdot sin\varphi_1\right). \qquad (14)$$

Из (14) видно, что угол $\gamma$ не имеет фиксированного значения, его значение зачисит от самого измеряемого угла $\delta$, от которого зависят как напряжение $U_X$, так и угол $\varphi_1$. Пренебрежение этой зависимостью приводит к дополнительной систематической погрешности при определении $tg\delta$ по формуле (13), о чем справедливо указано автором в [26].

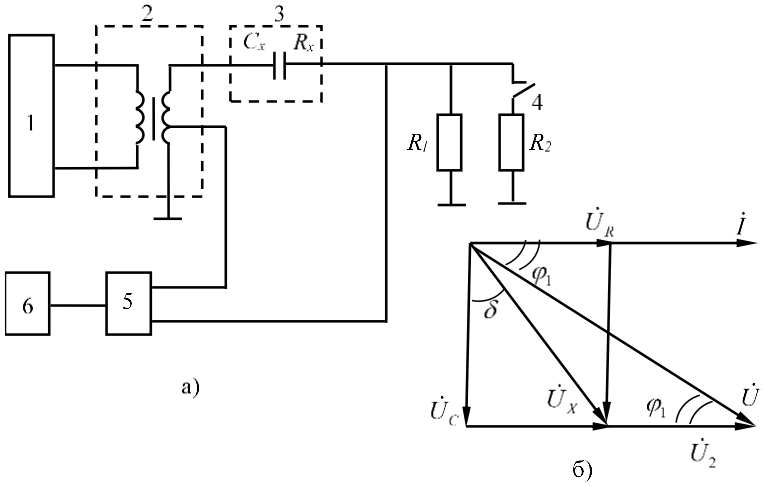


*Рис. 3. Упрощенная принципиальная схема высоковольтного измерителя тангенса угла диэлектрических потерь (а); векторная диаграмма напряжений (б)*

Этого недостатка можно избежать введением в устройство рис. 3а коммутируемой ветви с дополнительным резистором $R_2$. Из векторной диаграммы рис. 3б следует, что для последовательной схемы замещения испытуемого объекта $tg\delta = \frac{U_R}{U_C} = \frac{I \cdot R_X}{I \cdot 1/\omega C_X} = \omega R_X C_X$. Одновременно при разомкнутом ключе:

$$tg\varphi_1 = \frac{U_C}{U_R + U_2} = \frac{I \cdot 1/\omega C_X}{I \cdot R_X + I \cdot R_1} = \frac{1}{\omega C_X \left(R_X + R_1\right)},$$

$$ctg\varphi_1 = \omega C_X \left(R_X + R_1\right). \qquad (15)$$

При замыкании ключа 4 параллельно к резистору $R_1$ подключается дополнительный резистор $R_2$, угол $\varphi_1$ изменяется на $\varphi_2$, и (15) преобразуется в выражение

$$ctg\varphi_2 = \omega C_X \left( R_X + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right). \qquad (16)$$

Преобразуем выражения (15) и (16):

$$R_2 \cdot ctg\varphi_1 = \omega C_X \left(R_2 R_X + R_1 R_2\right),\ \left(R_1 + R_2\right) ctg\varphi_2 = \omega C_X \left[\left(R_1 + R_2\right) R_X + R_1 R_2\right],$$

$$\left(R_1 + R_2\right) \cdot ctg\varphi_2 - R_2 \cdot ctg\varphi_1 = \omega C_X R_1 R_X,$$

следовательно,

$$tg\delta = \frac{1}{R_1} \cdot \left[\left(R_1 + R_2\right) \cdot ctg\varphi_2 - R_2 \cdot ctg\varphi_1\right], \qquad (17)$$

т.е. в рассматриваемом случае определяется точное значение $tg\delta$ по двум измеренным значениям фазового угла измерительной цепи.

Если выбрать сопротивления резисторов из условия $R_2 = R_1$, то из (17) получим более простое выражение для данного частного случая:

$$tg\delta = 2ctg\varphi_2 - ctg\varphi_1.$$

Схема электронного модуля преобразования фазового угла $\varphi$ в длительность однополярных прямоугольных импульсов для последующего измерения микроконтроллером и вычисления $tg\delta$ по полученным формулам подробно описана в [27].

**Заключение.** Разработка устройств измерения тангенса угла диэлектрических потерь с применением структурных преобразований и временного разделения канала измерения является перспективным направлением, позволяющим повысить точность измерения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. **Казарновский Д.М., Тареев Б.М.** Испытание электроизоляционных материалов и изделий. – Л.: Энергия, 1980. – 216 с.
2. **Тареев Б.М.** Физика диэлектрических материалов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 320 с.
3. **Татьянченко Л.Н., Сташко В.И.** Контроль изоляции по тангенсу угла диэлектрических потерь: Учебно-методическое пособие. – Барнаул: Изд-во АГТУ им. И.И. Ползунова, 2014. – 13 с.
4. **Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В.** Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов. Том 2. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.
5. ГОСТ 6433.4-71. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости на частоте 50 Гц. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 15 с. (Снято ограничение срока действия Постановлением Госстандарта РФ от 10.09.1992 № 1157).
6. ГОСТ 8.544-86. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь твердых диэлектриков. Методика выполнения измерений в диапазоне частот от 10 в ст. 9 до 10 в ст. 10 Гц. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 21 с.
7. ГОСТ 3484.3-88 (СТ СЭВ 5266-85). Трансформаторы силовые. Методы измерений диэлектрических параметров изоляции. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 16 с.
8. ГОСТ 6581-75. Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 16 с.
9. ГОСТ 12179-76. Кабели и провода. Метод определения тангенса угла диэлектрических потерь. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 3 с.
10. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. - М.: Энас, 2002. – 256. с.
11. **Шваб А.** Измерения на высоком напряжении: измерительные приборы и способы измерения / Пер. с нем. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 264 с.
12. **Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С.** Изоляция установок высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.
13. **Кудратиллаев А.С.** Методы и устройства контроля состояния изоляции оборудования и линий высокого напряжения. - Ташкент: Фан, 1988. -212 с.
14. **Холодный С.Д.** Методы испытаний и диагностики кабелей и проводов. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 200 с.
15. **Сви П.М.** Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 240 с.
16. **Ушаков В.Я.** Старение изоляции и методы контроля ее состояния: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 1993. - 60 с.
17. **Туркот В.А.** Оценка состояния трансформаторных масел по проводимости // Электротехника. - 1994. - № 9. - С. 45-48.
18. **Ванин, Б.В., Львов Ю.Н., Львов М.Ю.** Оценка влагосодержания изоляции обмоток силовых трансформаторов по диэлектрическим характеристикам // Электрические станции. – 2004. - № 9. - С. 61-63.
19. **Михеев Г.М.** Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования - М.: Додэка-XXI, 2008. - 304 с.
20. **Куртенков Г.Е.** Высоковольтные испытания изоляции: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 91 с.

21. Патент 1226346 SU по кл. G01R 27/26. Способ определения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь конденсаторов / **В.М. Брауде, Г.В. Гессен** и **Г.И. Литвинов.-** 1986.
22. Патент 1693566 SU по кл. G01R 27/26. Устройство для определения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь конденсаторов / **Р.В. Булатов**, **М.Н. Пиганов**, **Д.В. Березкин. -** 1991.
23. US Patent № 6703847. G01R 27/26. Determining the dielectric properties of wood / **L. Venter, J**. **Viljoen. -** 2004.
24. **Мамиконян Б.М., Аветисян А.Р.** Вопросы градуировки и метрологического исследования диэлькометрического влагомера древесины // Вестник Инженерной академии Армении. – 2013. – Том 10, №2. - С. 266 -273.
25. Патент 2115131 RU по кл. G01R 27/26. Устройство для определения тангенса угла диэлектрических потерь **/ Г.М. Михеев. -** 1998.
26. Патент 2215296 RU по кл. G01R 27/26. Устройство для определения тангенса угла диэлектрических потерь / **Г.М. Михеев. -** 2003.
27. **Мамиконян Б.М., Мамиконян Х.Б.** Измерительные цепи индуктивных и емкостных первичных преобразователей с фазовыми выходными сигналами // Приборы. – 2015.- № 7. – С. 11-16.

Гюмрийский филиал Национального политехнического университета Армении.
Материал поступил в редакцию 25.07.2015.

Բ.Մ. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ, Խ.Բ. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ

## ԴԻԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ԱՆԿՅԱՆ ՏԱՆԳԵՆՍԻ ՉԱՓՈՒՄԸ

Դիտարկված է էլեկտրարտեխնիկական սարքավորումներում կիրառվող մեկուսիչ նյութերի որակի հսկման հիմնախնդիրը՝ դրանցում առաջացող ակտիվ էներգիայի դիէլեկտրական կորուստների մեծության գնահատման միջոցով: Հիմնավորվել է մեկուսիչի որակի հսկման նպատակահարմարությունը դիէլեկտրական կորուստների անկյան տանգենսի ($tg\delta$) արժեքով: Դիտարկված են $tg\delta$-ի չափման մեթոդները, եղանակները և սարքերը՝ դիէլեկտրիկների ցածրավոլտ և բարձրավոլտ փորձարկումների դեպքերում, կատարված է դրանց համեմատական վերլուծություն՝ ըստ չափման գործընթացի աշխատատարության և $tg\delta$-ի որոշման ճշգրտության: Նկարագրված են հեղինակների մշակած եղանակներն ու սարքերը, որոնցում օգտագործվում է ճշգրտության բարձրացման կառուցվածքային մեթոդը և չափման կապուղու ժամանակային բաժանումը:

***Առանցքային բառեր.*** դիէլեկտրիկ, կոնդենսատոր, փոխարինման սխեմա, դիէլեկտրական կորուստների անկյուն, չափողական երկբևեռանի, փորձարկվող օբյեկտ, փուլերի շեղման անկյուն:

**B.M. MAMIKONYAN, KH.B. MAMIKONYAN**

**MEASURING THE DIELECTRIC DISSIPATION ANGLE TANGENT**

The problem of the insulating material quality control used in electrotechnical equipment by estimating the value of the active energy dielectric dissipation arising in them is considered. The expedience of the insulation quality control by the value of dielectric dissipations angle tangent ( $tg\delta$ ) is substantiated. The methods, means and devices for measuring the $tg\delta$ at low-voltage and high-voltage tests of dielectrics are considered, their comparative analysis is conducted on the labor-consuming process measurement and accuracy of defining the $tg\delta$ is carried out. The methods and devices, developed by the authors by using the structural method of the accuracy increase and temporary separation of the measurement channel are described.

***Keywords:*** dielectric, capacitor, equivalent circuit, angle of dielectric dissipations, measuring two-pole, tested object, phase angle shift.