

О «ЗОННЫХ» ИЗМЕРЕНИЯХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ВАНИН Б.В., ЛЬВОВ Ю.Н., БАТЯЕВ Ю.В., СОКОЛОВ В.В.

«Частичные проводимости», определяемые измерениями, являются характеристиками изоляции в целом и не могут быть сопоставлены с геометрически обособленными мысленно «зонами изоляции». По измеренным частичным проводимостям возможно определить наличие поверхностного загрязнения изоляции продуктами разложения масла. Трехэлектродным системам (двухобмоточные трансформаторы, автотрансформаторы) соответствуют три частичные проводимости, для определения которых необходимы три независимые схемы измерения; в четырехэлектродных системах (трехобмоточные трансформаторы) для определения соответствующих шести проводимостей необходимы шесть (а не пять, как предписывает стандарт) независимых схем измерения.

Ключевые слова: трансформаторы, изоляционная трех-четырёхэлектродная система, частичная комплексная проводимость, схемы измерения

«Partial conductances» determined by measurements are insulation characteristics as a whole and can not be referred to any imaginably outlined geometrical «zones». Using measured partial conductances it is possible to determine the presence of an insulation surface contamination with oil-degradation products. Three partial conductances correspond to three-electrode systems (two-winding transformer, autotransformer). To determine these three partial conductances it is necessary to have three independent measurement circuits. For four-electrode systems (three-winding transformer) six measurement circuits are necessary (and not five as recommended by State Standard) to determine six partial conductances.

Key words: transformers, insulating three-, four-electrode system, partial conductances, measurement circuits

Стандартом на методы испытаний и измерений¹ предписывается диэлектрические характеристики изоляции трансформаторов измерять по схемам без присоединения части обмоток к экрану измерительного устройства. При необходимости для определения участков изоляции, отрицательно влияющих на результаты измерений, выполненных по этим схемам, рекомендуются схемы с присоединением обмоток к экрану. Считается очевидным, что такие измерения автоматически дают характеристики некоторого участка («зоны») изоляции между не присоединенными к экрану обмотками. В действительности такое представление неверно, и рекомендации ГОСТ в этой части не точны.

В статье дается анализ этого ошибочного представления, описаны условия, когда оно приближенно оправдывается, приведен пример, когда пользование рекомендацией ГОСТ приводит к недоразумениям, показано, что постановка задачи о предположительной локализации дефекта в определенном месте изоляционной системы требует разработки достаточно представительной теоретической модели дефекта.

Частичные проводимости изоляционной системы. Изоляционная система может быть двухэлектродной, например, у реактора, где изолирующая среда заключена между обмоткой (первый электрод) и заземляемыми частями реактора (второй электрод). У двухобмоточного трансформатора она — трехэлектродная (обмотки высшего и низшего напряжений представляют собой первый и второй электроды, а заземляемые части — третий). У трехобмоточного трансформатора — четырехэлектродная (обмотки высшего, среднего и низшего напряжений представляют собой первый, второй и третий электроды, а заземляемые части — четвертый).

¹ ГОСТ 3484.3—88. Трансформаторы силовые. Методы испытаний и измерений. — М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989.

Частичной проводимостью двухэлектродной системы является просто ее эквивалентная проводимость, т.е. проводимость параллельно соединенных конденсатора и резистора, использование которых вместо реальной изолирующей среды между электродами системы не изменило бы токораспределения во внешней цепи, в данном случае в испытательном устройстве, присоединенном к системе. Во избежание, к сожалению нередких, недоразумений считаем необходимым подчеркнуть, что в понятии «эквивалентная проводимость» нет никакого «более глубокого» смысла, чем сказано ранее, и что бессмысленно отождествлять упомянутые конденсатор и резистор с самой изолирующей средой и пытаться выискать в них какие-то новые свойства последней, кроме того, что они одинаково влияют на внешнюю цепь при данной частоте, температуре и, может быть, напряжении. Отметим еще, что эквивалентная проводимость должна изменяться при изменении изоляционной системы в целом или в какой-либо ее части.

Частичными проводимостями трехэлектродной системы являются проводимости эквивалентной схемы «треугольник» (рис. 1,а). Эти проводимости топологически аналогичны частичным емкостям многоэлектродной системы по Максвеллу при числе электродов, равном трем. Они определяются обычно как проводимости некоторых параллельно соединенных конденсаторов и резисторов. Каждая из частичных проводимостей, вообще говоря, определяется состоянием всей изоляционной системы, а не какой-либо ее части. Сама же изоляционная система имеет сложное строение и в общем случае не подразделяется на части, которые можно было бы представить в виде пар «конденсатор—резистор», особенно при наличии в ней дефектов. Представление же эквивалентных проводимостей в виде параллельно соединенных конденсаторов и резистора удобно, ввиду того, что теория измерительных устройств обычно строится в расчете на такие объекты в представлениях результатов измерений.

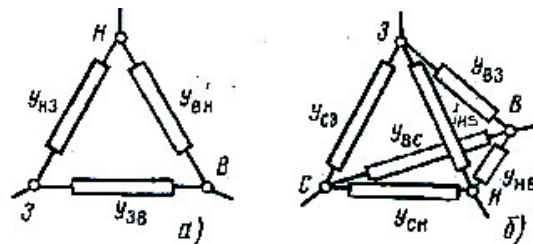


Рис. 1. Эквивалентные схемы для частичных проводимостей систем изоляции двухобмоточного (а) и трехобмоточного (б) трансформаторов:

В, С, Н — электроды, соответствующие обмоткам высшего, среднего и низшего напряжений; З — электрод, соответствующий заземленным частям трансформатора; Y_{BC} , Y_{CH} , Y_{HB} , Y_{BZ} , Y_{CZ} , Y_{HZ} — частичные проводимости между парами этих электродов

Частичными проводимостями четырехэлектродной системы являются проводимости эквивалентной схемы «тетраэдр» (рис. 1,б). В остальном к ним полностью относятся замечания, сделанные в отношении частичных проводимостей двух- и трехэлектродных систем.

О разделении изоляции на участки — «зоны». Существующий подход основывается целиком на интуиции, которая в данном случае ошибочно побуждает искать, например, в трехэлектродной системе (рис. 2) некие двухэлектродные области 1, 2, 3. Критерий возможности выделения таких областей не формулируется. Вместо этого просто мысленно представляется, что, например, при присоединении испытательного устройства согласно рис. 3, когда экран измерительного устройства присоединяется к заземляемым частям, «весь ток от обмотки Н протекает к обмотке В, а пути протекания тока образуют область (участок, зону) изоляции между обмотками Н и В, подобную той, которая была бы, если бы заземляемых частей не было и вся изоляционная система была двухэлектродная с электродами Н, В». Попытаемся описать, по возможности точно, упомянутое «мысленное представление», чтобы можно было конкретно указать ошибочное место в нем. Оно состоит в том, что к обмотке В притекает не весь ток, оттекающий от обмотки Н, а только его измеряемая часть.

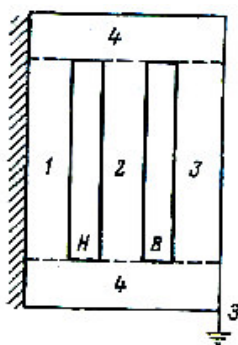


Рис. 2. Зоны изоляции двухобмоточного трансформатора:

1 — зона изоляции между обмоткой низшего напряжения (Н) и стержнем магнитопровода; 2 — между обмотками; 3 — между обмоткой высшего напряжения и баком; 4 — зона торцевой изоляции обмоток

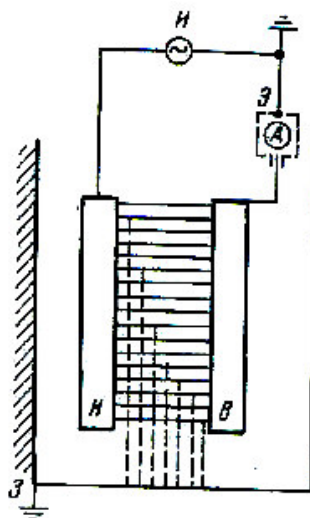


Рис. 3. Растекание тока в трехэлектродной системе:

Н, В — обмотки низшего и высшего напряжения; И — испытательное устройство; А — измерительное устройство с экраном Э; — условные пути растекания тока между электродами Н, В; ----- — условные пути оттекания тока от электрода Н к третьему электроду (заземляемым частям трансформатора)

Ток, оттекающий к заземляемым частям (штриховые линии на рис. 3), является не несуществующим, как в упомянутом «мысленном представлении», а просто не воспринимаемым измерительным устройством. Его значение зависит от соотношения продольной и сквозной электропроводностей барьерной изоляции между обмотками, которое минимально (но не абсолютно ничтожно) у здоровой изоляции и может быть весьма значительным при наличии на ней проводящих загрязнений. Игнорирование этого факта в мысленном представлении означает, независимо от того сознает или не сознает это сам мыслящий, замену реальной изоляционной системы некоторой другой, где вблизи торцов обмоток имеются абсолютно непроводящие ток поверхности (на рис. 2 условно изображены штриховыми линиями). В такой системе изоляция действительно делилась бы на участки, проводимости которых не зависели бы от того, какие потенциалы имели бы электроды 1, 2, 3, но и здесь их проводимости не соответствовали бы точно частичным проводимостям системы из-за утечек тока от торцов обмоток на заземляемые части (зоны 4 на рис. 2).

Если попытаться найти критерий возможности выделения таких изолированных областей, которые по проводимостям совпадали бы с частичными проводимостями и по правилу эквивалентности оставались неизменными при любых изменениях потенциалов электродов, то оказывается, что таким критерием является отсутствие оттекания тока к третьему электроду даже при изменениях потенциалов всех электродов. Как видно из изложенного, изоляционная система внутри трансформатора этому критерию не удовлетворяет. Зато оказывается, что он выполняется для области изоляции, относящейся к любому вводу какой-либо обмотки. Ток через изоляцию ввода протекает от электрода (трубы), электрически

соединенного с этой обмоткой, к заземленному электроду (соединительной втулке ввода), но не ко второй обмотке.

Сказанное относится и к четырехэлектродной системе, с отличием только в том, что внутри трансформатора, вообще говоря, имеет место оттекание тока не к «третьему электроду», а к «двум другим».

Условия, при которых разделение изоляции на участки практически допустимо.

Реально разделение изоляции на зоны рис. 2 оправдывается приближенно в случае, если есть объективные условия для пренебрежения током, оттекающим к другим электродам. Для трансформаторов этих условий два:

высота обмоток должна быть велика по сравнению с радиальным расстоянием между ними;

продольная и сквозная электропроводности изоляции должны быть одного порядка.

У крупных трансформаторов высота обмоток примерно на порядок больше изоляционных промежутков между ними, вследствие чего значение оттекающего к другим электродам тока можно оценить примерно в 10% значения тока, протекающего между первыми двумя электродами.

Таким образом, для однородно увлажненной изоляции между частичными проводимостями и зонами существует, хотя и приближенное, соответствие. Однако формальное выполнение рекомендации ГОСТ 3484.3-88 по поиску «наиболее увлажненного» участка, скорее всего, приведет вместо правильного результата к недоразумению, поскольку эти участки имеют разную степень заполнения твердой изоляцией, и «худшим» оказывается участок Н—З, имеющий наибольшую степень заполнения и к тому же снабженный бакелитовым цилиндром, дополнительно повышающим проводимость зоны. Поправки же на степень заполнения приведут не к обнаружению «дефектной зоны», а к констатации факта, что состояние изоляции всех участков одинаково. Это не значит, однако, что в данном случае измерение по «зонам» бесполезно. Просто цель измерений, способ измерений и способ интерпретации результатов должны быть иными: измерения должны показать, что исследуемый дефект является именно однородным увлажнением, а оценка степени увлажнения должна быть выражена в количественном содержании влаги в испытываемой изоляции, определенном через диэлектрические характеристики зон. Решение этой задачи потребовало построения теоретической модели данного дефекта, т.е. выражения частичных проводимостей через диэлектрические характеристики компонентов изоляции зон. Изложение решения выходит за рамки этой статьи.

Аналогично задачи, связанные с интерпретацией результатов измерений при дефектах других видов (загрязнением твердой изоляции, ползущим разрядом) требуют разработки соответствующих теоретических моделей дефектов, дающих возможность выразить частичные проводимости через характеристики дефекта. Только подобный подход может обеспечить решение задачи локализации в определенном месте изоляционной системы. Подобное направление следует развивать, так как существующие приемы диагностики состояния трансформаторов (диэлектрические и другие) чаще всего дают в результатах, что трансформатор «плохой», не выявляя конкретно, какой дефект обуславливает его плохое состояние. Конечно, такое и другие возможные усовершенствования профилактики и диагностики требуют достаточно высокой квалификации исполнителей, но это не следует понимать как необходимость загрузки персонала энергосистем освоением все новых средств и методов испытаний оборудования. По нашему мнению, существующая тенденция — внедрить в эксплуатацию через ее персонал все известные способы испытаний, не прогрессивна и даже вредна. Правильным подходом было бы сосредоточение работы по анализу состояния оборудования, когда этот анализ требует специальных испытаний или исследований, в немногих специализированных центрах.

Оценка влияния ответвления тока на частичную проводимость между обмотками.

Эта оценка приводится с помощью идеализированной теоретической модели (рис. 4).

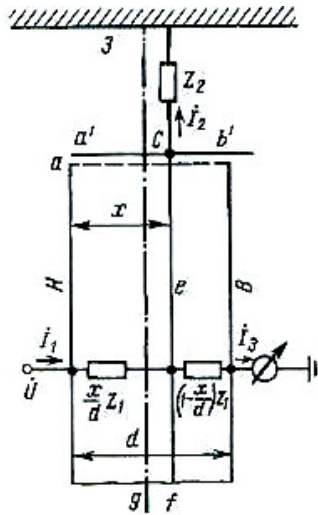


Рис. 4. Теоретическая модель для оценки ответвляющегося тока из исследуемой зоны 2:

$I_{1,2,3}$ — входной, ответвляющийся и выходной токи; Z_1 — полное сопротивление среды между электродами Н и В без учета ответвления тока; Z_2 — полное сопротивление среды внешней к зоне 2, ответвляющемуся току

Факторы, влияющие на распределение потенциала на условной границе ab зоны и ответвление тока через эту границу; геометрия неоднородных сред в зонах 2, 4 (рис. 2), электропроводность компонент сред, неоднородность электрического поля в средах, влияние привходящих компонент среды (загрязнений) и само их распределение в среде, трудно поддаются конкретному учету и анализу. Поэтому целесообразно не пытаться анализировать влияние этих факторов в их всевозможном самопроявлении, а рассмотреть предельный случай, когда ответвляющийся ток максимален. Это, во-первых, даст надежный критерий допустимости или недопустимости в данном случае рассмотрения частичной проводимости как проводимости зоны, выраженной через характеристики среды, во-вторых, даст наглядное представление явления ответвления тока и его влияния на результаты измерения.

Сделанные допущения по физическому смыслу означают, что вместо электрического поля в зонах 2, 4 рассматривается электрическая цепь с сосредоточенными постоянными: $Z_1 \frac{x}{d}$ — полное сопротивление среды в зоне 2 на участке от электрода Н до некоторой проводящей поверхности cef (рис. 4); $Z_1 \frac{d-x}{d}$ — тоже в зоне 2 от этой же поверхности до электрода В; Z_2 — полное сопротивление участка среды 4, отводящей ток I_2 от проводящей поверхности $a'cb'$ к заземляемым частям трансформатора.

Введение в зону 2 проводящих поверхностей $a'cb'$ и cef задает теоретическую модель дефекта таким образом, что рассматриваемый ответвляющийся ток I_2 становится наибольшим из возможных, когда электропроводность указанных поверхностей бесконечно велика.

Измеренные при описанных условиях емкость C и $\operatorname{tg} \delta$ (емкость и тангенс угла потерь как параметры частичной проводимости между электродами Н—В) представляются после анализа в виде:

$$C = \frac{C_1}{1 + \alpha\beta}; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_1 + \frac{\alpha\beta(\operatorname{tg} \delta_1 - \operatorname{tg} \delta_2)}{1 + \alpha\beta}, \quad (2)$$

где $\alpha = 2 \frac{x}{d} \left(1 - \frac{x}{d}\right)$ достигает максимума при $x = \frac{d}{2}$; $\beta = \frac{C_2}{C_1} 2$; C_1 — емкость между электродами Н — В при отсутствии оттекания тока; C_2 — емкость участка изоляции в зоне 4, через который отводится ток I_2 ; $\operatorname{tg} \delta_1$, $\operatorname{tg} \delta_2$ — тангенсы угла потерь изоляции в зонах 2, 4; ω — круговая частота тока.

Из (1) и (2) видно, что измеренные C и $\text{tg}d$ могут отличаться от фактических C_1 , $\text{tg}d_1$, оценка которых производится по данным измерений. При этом C имеет всегда меньшее значение, а $\text{tg}d$ может иметь как большее (при $\text{tg}d_1 > \text{tg}d_2$), так и меньшее (при $\text{tg}d_1 < \text{tg}d_2$), значение. Размер этого расхождения зависит от соотношения емкостей $C_{1,2}$ и от значения коэффициента b , характеризующего местоположение токоотбора из среды 2 в среду 4. Фактически фактором токоотбора может быть загрязнение изоляции барьера, повышающее его поверхностную проводимость: при отсутствии загрязнения таким фактором является собственно неизолированность среды 2 от среды 4. В последнем случае по соображениям симметрии $x/d=1/2$, что в тоже время является максимальным значением b .

Для типичных размеров обмоток и зон 2, 4 у крупных трансформаторов коэффициент имеет значения: 0,14 (для трансформатора, заполненного маслом) и 0,22 (для трансформатора при слитом масле).

С учетом того, что $b \leq 0,5$, коэффициент $b\epsilon$ менее 0,07 для трансформаторов, залитых маслом, и менее 0,1 для трансформаторов со слитым маслом.

Из (1) видно, что в рамках указанных значений $b\epsilon$ возможное изменение емкости при измерениях не может превышать соответственно 7 и 10%. На результат измерения $\text{tg}d$ отекание тока может повлиять только в том случае, если изоляция между обмотками и ее выступающая за пределы обмоток часть имеют неодинаковые тангенсы угла потерь. При этом, если $\text{tg}d_1 > \text{tg}d_2$ при измерении значение $\text{tg}d$ изоляции будет на несколько процентов больше, чем на самом деле. Такая погрешность не существенна, так как, во-первых, не маскирует возможное фактическое ухудшение изоляции и, во-вторых, находится в пределах возможных погрешностей собственно измерения. Если же $\text{tg}d_1 < \text{tg}d_2$, то при измерении тангенс угла потерь будет меньшим, чем действительный $\text{tg}d_1$ ($\text{tg}d < \text{tg}d_1$), что с точки зрения профилактики нежелательно, поскольку такое изменение результата измерения может маскировать фактическое ухудшение состояния изоляции. Это маскирующее действие при $\text{tg}d_2/\text{tg}d_1=10-100$ способно исказить измеренное значение $\text{tg}d$ вплоть до того, что оно может стать отрицательным. На трансформаторах со слитым маслом из-за большего значения в это должно оказывать большее влияние, особенно в нагретом состоянии из-за того, что $\text{tg}d_2$ быстрее увеличивается с ростом температуры, чем $\text{tg}d_1$.

Испытания реактора. На первый взгляд может показаться, что случаи при $\text{tg}d_2 \gg \text{tg}d_1$ — надуманные и невозможны. В действительности они вполне реальны и создают затруднения объективного суждения о состоянии изоляции по результатам измерений. Для такой ситуации вполне достаточно, если $\text{tg}d_1$ имеет значение порядка десятых процента, а $\text{tg}d_2$ — целых процентов, что вполне вероятно на практике. Как пример рассмотрим результаты испытаний реактора типа РОДЦ-110000/750.

Реакторы такого типа в части строения и расположения изоляции между обмоткой и заземляемым электростатическим экраном (рис. 5) имеют сходство с условно выделенной зоной 2 изоляции трансформаторов (рис. 2), а также сходны с ней в наличии зоны 4, с которой зона 2 смыкается посредством выступающих краев барьеров. Существенной особенностью конструкции таких реакторов является то, что торцы обмоток изолированы хуже, чем стороны, поскольку при нормальной работе они должны быть заземлены.

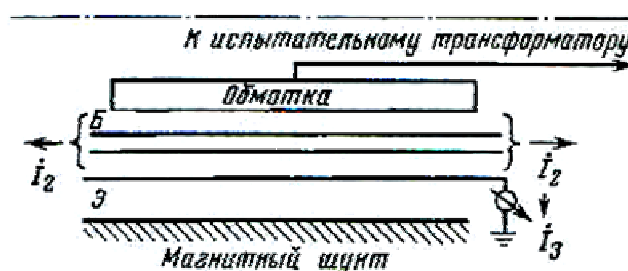


Рис. 5. Принципиальная схема построения изоляции высоковольтного реактора:

B — барьеры; $\mathcal{E}_{1,2}$ — заземляемые (при работе) и разземляемые (для испытаний) экраны, выравнивающие электростатическое поле вблизи магнитных шунтов; K — прессирующие кольца; I_3 — измеряемый ток; I_2 — ответвляющиеся токи

Результаты измерений при наличии и отсутствии масла в реакторе (две последние строчки) приведены далее:

Температура	tgδ, %	C, пФ
20°	0,080	599
25°	0,080	598
40°	0,060	597
61°	0,020	595
50°	0,000	341
75°	-0,071	345

Нетрудно видеть, что измеренные емкость и тангенс угла потерь демонстрируют аномальную (понижающуюся) зависимость характеристик изоляции от температуры, приводящую в испытаниях со слитым маслом к отрицательным значениям tgδ. Это находится в согласии с теоретической моделью явления, описанной ранее.

В случаях, если при измерениях обнаруживается аномальная температурная зависимость tgδ и емкости изоляции либо ее неправдоподобно «хорошее» состояние по результатам измерения частичной проводимости между обмотками, то эти результаты не следует рассматривать как «целиком неудачные». В действительности они представляют собой полезный диагностический признак ухудшенного состояния изоляции барьеров между обмотками В — Н. Критерием «неправдоподобно хорошего состояния» может быть значение измеренного tgδ. Собственно для маслопропитанного сухого целлюлозного материала оно составляет примерно 0,5%. Комбинированная маслбарьерная изоляция может иметь меньший tgδ за счет масла, если tgδ последнего меньше, чем у материала, но в любом случае он должен быть больше того значения tgδ_s, которое соответствует предельной форме расположения слоев материала — нормально линиям поля:

$$tg\delta > tg\delta_s \approx \frac{tg\delta_1 + \delta tg\delta_2}{1 + \delta}; \quad \delta = \frac{\epsilon_1 \theta_2}{\epsilon_2 \theta_1}, \quad (3)$$

где $\theta_{1,2}$ — объемные доли твердой изоляции и масла; $\epsilon_{1,2}$ — диэлектрические проницаемости твердой изоляции и масла; tgδ₁ и tgδ₂ — тангенсы угла потерь твердой изоляции и масла.

При tgδ₁ = 0,5%; $\theta_1 = \theta_2 = 0,5$; $\epsilon_1 \approx 2\epsilon_2$ получаем:

tgδ ₁ , %	0,00	0,20	0,40	0,60
tgδ ₂ , %	0,17	0,30	0,43	0,53

Тангенс угла потерь масла должен быть определен при той же температуре, при которой измерена частичная проводимость между электродами Н — В. Соответствующий измеренный tgδ должен быть больше tgδ_s; в любом случае он должен быть больше 0,17%. Если tgδ меньше tgδ_s, его следует считать «неправдоподобно малым». Тем более его нужно считать таковым, если он отрицателен. Результаты испытаний реактора согласуются с приведенными соображениями.

О схемах для определения частичных проводимостей. Применительно к двухобмоточным трансформаторам оба подхода, используемые для измерения диэлектрических характеристик, принципиально равноценны для определения частичных проводимостей. Из данных измерений согласно первому подходу несложными вычислениями можно определить каждую из трех проводимостей треугольника (рис. 1, а). Введя для удобства цифровые индексы 1, 2, 3 вместо В, Н, З, получим, например:

$$y_{12} = \frac{1}{2}(y_1 + y_2 - y_3), \quad (4)$$

где y_1 — проводимость между электродом 1 и объединенными электродами 3, 2; $y_{2,3}$ — аналогично.

Формулы для определения двух остальных частичных проводимостей получаются из (4) круговой перестановкой индексов. Отсюда видно, что рекомендации ГОСТ — прибегнуть «в случае необходимости» к измерениям согласно второму подходу при получении

неудовлетворительных характеристик по первому подходу, является излишней. В этом случае достаточно просто прибегнуть к формулам вида (4).

Для определения частичных проводимостей изоляции трехобмоточного трансформатора необходимо сделать шесть измерений, в то время как ГОСТ рекомендует по пять применительно к каждому из подходов, что недостаточно. Обозначая по рис. 1, в индексы В, С, Е, 3 цифровыми индексами 1, 2, 3, 4, получим, например,

$$y_{12} = \frac{1}{2} \left(y_1 + y_2 - y_{12}^* \right),$$

где y_1 — проводимость, измеренная в схеме между электродом 1 и электродами 2, 3, 4, соединенными вместе; y_{12}^* — проводимость, измеренная в схеме между электродами 1, 2, соединенными вместе, и соединенными вместе электродами 3, 4.

Остальные частичные проводимости определяются по аналогичным формулам. Для определения всех шести проводимостей y_{12} , y_{23} , y_{31} , y_{14} , y_{24} , y_{34} необходимо и достаточно сделать измерение шести проводимостей: y_1 , y_2 , y_3 , $y_{12}^* = y_{34}^*$, $y_{31}^* = y_{24}^*$.

Сделав седьмое измерение $y_4 = y_{123}$ - электроды 1, 2, 3 вместе против электрода 4, получаем тождество

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 = y_{12}^* + y_{23}^* + y_{31}^*,$$

пригодное для проверки правильности результатов измерений.

Схемы, рекомендуемые ГОСТ, соответствуют y_1 , y_2 , y_3 , y_4 и y_{12}^* .

Согласно второму подходу рекомендация ГОСТ позволяет определить пять частичных проводимостей из шести (y_{12} , y_{23} , y_{31} , y_{14} , y_{34}), кроме y_{24} .

Заключение

1. Треугольная или тетраэдральная схема замещения изоляционных систем двух- и трехобмоточных трансформаторов эквивалентны этим системам только в том отношении, что не вызывают изменения токораспределения во внешней цепи.

2. Участки (зоны) изоляции, на которые принято разделять изоляционные системы двух- и трехобмоточных трансформаторов, мысленно представляя их в виде двухэлектродных систем, изолированных от остальных частей, не имеют, строго говоря, отношения к частичным проводимостям эквивалентных схем.

3. Частичные проводимости эквивалентных схем являются функциями параметров изоляционной системы в целом, а не ее отдельных частей.

4. Поиск места дефекта с помощью анализа частичных проводимостей возможен при условии, если построена теоретическая модель дефекта и на ее основе определены функции, выражающие частичные проводимости через параметры системы, включая параметры, описывающие дефект.

5. Рекомендация ГОСТ о проведении дополнительных «в случае необходимости» измерений с экранированием, кроме проведенных измерений с заземлением обмоток, в отношении двухобмоточных трансформаторов излишняя.

6. Рекомендации ГОСТ по пяти схемам измерений для трехобмоточных трансформаторов недостаточны. Следовало бы проводить такие измерения по шести схемам только с экранированием или по семи схемам только с заземлением.

7. Измеренные частичные проводимости могут быть полезны при диагностике состояния изоляции трехэлектродных и более систем, однако интерпретации результатов должна быть иной, чем у двухэлектродных систем. Так, например, «ухудшение» изоляционных характеристик частичных проводимостей между электродами Н — 3 и В — 3 при кажущемся их «улучшении» между электродами Н — В может свидетельствовать о загрязнении барьеров междуобмоточной изоляции.

8. Изложенное, очевидно, можно отнести и к результатам измерений характеристик

изоляции на постоянном токе. В этом случае под частичными проводимостями следует понимать величины, обратные частичным сопротивлениям изоляции.