

Изобретение относится к способам определения электрических свойств, в частности к способам определения качества электроизоляции и может найти применение для диагностики ресурса различного электрооборудования в процессе его эксплуатации.

В процессе эксплуатации электрооборудования длительное воздействие на изоляционные материалы рабочего направления, перенапряжений, повышенной температуры, увлажнения и других эксплуатационных факторов приводит к старению изоляции, снижению надежности изоляционных конструкций и к выходу из строя электрооборудования в результате выработки ресурса изоляции. Известно, что под действием напряженности электрического поля в изоляции возникают частичные разряды, представляющие собой локальные пробои диэлектрика, характеристики которых достаточно хорошо коррелируются с качеством изоляции. К основным характеристикам частичных разрядов относятся кажущийся заряд частичного разряда, частота следования частичных разрядов, средний ток частичных разрядов, энергия и мощность частичного разряда. В ряде случаев качество изоляции может быть определено по какой-либо одной наиболее показательной характеристике частичных разрядов, либо путем измерения и анализа совокупности характеристик частичных разрядов. По результатам измерения характеристик частичных разрядов в готовых изделиях могут быть определены качество изготовления, электрические параметры изоляционных конструкций, технологические дефекты, можно прогнозировать срок службы (ресурс) электрооборудования.

Известны способы контроля изоляции электрооборудования, включающие измерения характеристик частичных разрядов в реальной изоляционной конструкции, сопоставление измеренных величин с заданными пороговыми значениями этих величин и оценку качества изоляции по результатам сопоставления.

Так, известен способ испытания изоляции конденсаторов, предусматривающий приложение заданного направления к конденсатору, измерение кажущегося заряда частичного разряда, сопоставление измеренного значения с заданной величиной кажущегося заряда и оценку качества изоляции по результатам сопоставления, например, значение кажущегося заряда частичных разрядов в испытываемом конденсаторе не должно превышать  $60\text{нКл}$  при напряжении  $1,5 U_{\text{ном}}$  в течение 10 минут.

Общими признаками аналога с заявляемым способом являются измерение одного из параметров частичных разрядов в изоляции контролируемого электрооборудования и определение качества изоляции по значению указанного параметра.

Описанный способ по своему существу представляет проверку объекта по принципу "годен - не годен" и не позволяет дать количественную оценку качества изоляции объекта, в частности, не позволяет определить такой показатель как ресурс работы изоляции с учетом фактического состояния изделия на момент проверки, который является одним из важнейших показателей качества,

В качестве прототипа выбран способ контроля качества изоляции силовых трансформаторов, предусматривающий подключение трансформатора к испытательному напряжению, измерение максимального значения кажущегося заряда частичного разряда за время выдержки испытательного напряжения, сопоставление полученных значений кажущегося заряда с допустимыми значениями и оценку качества изоляции трансформатора по результатам сопоставления (максимальное значение кажущегося заряда не должно превышать  $3 \cdot 10^{-10}\text{Кл}$  - при наибольшем рабочем напряжении,  $3 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$  - при повышенном напряжении,  $3 \cdot 10^{-8}\text{Кл}$  - при испытательном одноминутном напряжении). Если максимальные значения кажущегося заряда частичных разрядов превышают указанные, то вопрос о годности испытуемого трансформатора подлежит дополнительному анализу.

Общими признаками прототипа с заявляемым способом являются измерение одного из параметров частичных разрядов в изоляции контролируемого электрооборудования и определение качества изоляции по значению указанного параметра.

Как и ранее описанный аналог, указанный способ позволяет оценить объект только по принципу "годен - не годен" и не дает количественной оценки качества изоляции объекта, в частности не позволяет определить ресурс работы изделия с учетом его фактического состояния на момент проверки.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования способа контроля изоляции электрооборудования в котором за счет выбора анализируемых параметров частичных разрядов в изоляции контролируемого оборудования и особенностей их анализа обеспечивается возможность определения ресурса изоляции по характеристикам частичных разрядов, прогнозирование срока службы электрооборудования и времени его снятия с эксплуатации до выхода из строя.

Поставленная задача достигается тем, что в способе контроля изоляции электрооборудования, включающем измерение одного из параметров частичных разрядов в изоляции контролируемого электрооборудования и определение качества изоляции по значению указанного параметра, согласно изобретению, в качестве параметра частичных разрядов используют скорость изменения одной из характеристик частичных разрядов, а определение качества изоляции выполняют с использованием зависимости ресурса изоляции по напряжению пробоя от скорости изменения характеристики частичных разрядов, полученной при ускоренном старении экспериментальных образцов изоляции, изготовленных с использованием материалов,

технологии и конструктивных особенностей реализованных в изоляции контролируемого электрооборудования.

Перечисленные признаки составляют сущность заявляемого способа как изобретения.

Целесообразно в качестве характеристики частичных разрядов использовать кажущийся заряд частичного разряда или средний ток частичных разрядов, так как эти характеристики являются наиболее информативными для решения поставленной задачи.

Технический результат, выражающийся в возможности определения ресурса изоляции по характеристикам частичных разрядов, достигается за счет следующих особенностей. Экспериментально установлено, что скорость изменения характеристик частичных разрядов в процессе старения изоляции является переменной величиной, которая адекватно связана со степенью старения, а значит и с ресурсом изоляции. Так скорость изменения (крутизна характеристики) кажущегося заряда частичного разряда, среднего тока и частоты следования частичных разрядов, энергии и мощности частичного разряда увеличивается по мере старения изоляции, а значит по мере уменьшения ресурса изоляции. В принципе зная скорость изменения одной из характеристик частичных разрядов можно судить об остаточном ресурсе изоляции. Также экспериментально установлено, что при определенных режимах ускоренного старения изоляции под воздействием повышенного напряжения и температуры характер происходящих в изоляции процессов подобен тем, которые протекают при естественном старении изоляции в условиях нормальной эксплуатации электрооборудования. А это позволяет исследовать процессы старения изоляции и характеристики частичных разрядов в процессе старения изоляции на экспериментальных образцах, подвергая их ускоренному старению, и перенести полученные зависимости на процессы старения изоляции в нормальных режимах эксплуатации оборудования. Установлено, что если экспериментальные образцы изготовлены из материала, по технологии и с учетом конструктивных особенностей, заложенных в реальной конструкции, то данные полученные на экспериментальных образцах изоляции можно экстраполировать на реальную конструкцию, и по характеристикам экспериментальных образцов получить достаточно точные характеристики реальной конструкции. Из выше приведенного следует, что если изготовить экспериментальные образцы изоляции из тех же материалов, по той же технологии, с теми же конструктивными особенностями, которые заложены в реальном электрооборудовании, подвергнуть эти образцы ускоренному старению, определить зависимость ресурса изоляции по напряжению пробоя от скорости изменения одной из характеристик частичных разрядов в процессе ускоренного старения экспериментальных образцов изоляции, то измеряя скорость изменения характеристики частичных разрядов в изоляции реального оборудования и используя зависимость ресурса по напряжению пробоя от скорости изменения характеристики частичных разрядов, полученную для экспериментальных образцов изоляции, можно определить ресурс по напряжению пробоя для изоляции реального оборудования, следовательно измерение скорости изменения одной из характеристик частичных разрядов в изоляции контролируемого электрооборудования и определение качества изоляции по значению указанного параметра с использованием зависимости ресурса изоляции по напряжению пробоя от скорости изменения характеристики частичных разрядов, полученной при ускоренном старении экспериментальных образцов изоляции изготовленных с использованием материалов, технологии и конструктивных особенностей, реализованных в изоляции контролируемого объекта является необходимым и достаточным для достижения технического результата - возможности определения ресурса изоляции по характеристикам частичных разрядов. А это значит, что признаки составляющие сущность изобретения находятся в причинно-следственной связи с достигаемым техническим результатом.

Ниже приводится подробное описание заявляемого способа со ссылками на графические материалы, на которых представлены:

Фиг.1 - зависимость напряжения пробоя и кажущегося заряда частичных разрядов в функции времени старения изоляции.

Фиг.2 - зависимость ресурса изоляции по напряжению пробоя от скорости изменения кажущегося заряда частичных разрядов.

Способ реализуют следующим образом. Изготавливают экспериментальные образцы изоляции из материалов, по технологии и с учетом конструктивных особенностей изоляции, которые реализованы в подлежащем контролю объекте. Экспериментальные образцы разделяют на несколько равных по количеству образцов групп. В первой группе образцов измеряют начальную характеристику частичных разрядов, например, кажущийся заряд частичного разряда, и начальное напряжение пробоя. Оставшиеся образцы подвергают поэтапному ускоренному старению по методике обеспечивающей аналогию физике старения в процессе эксплуатации контролируемого электрооборудования. После каждого этапа старения выделяют одну из групп экспериментальных образцов и для каждого образца этой группы измеряют кажущийся заряд частичного разряда и напряжение пробоя, используя известные методики и оборудование. По результатам измерений для экспериментальных образцов каждой группы определяют среднеквадратичные значения кажущихся зарядов частичных разрядов и среднеквадратичные значения напряжения пробоя. Далее строят зависимость кажущегося заряда частичного разряда в функции времени старения и зависимость напряжения пробоя так же в функции времени старения. По зависимости напряжения пробоя от времени старения определяют максимальный и

начальный ресурс изоляции, при выработке которого напряжение пробоя становится равным рабочему напряжению. По зависимости кажущегося заряда частичного разряда от времени старения определяют скорость изменения этой характеристики (крутизну характеристики) путем дифференцирования указанной зависимости.

На фиг.1 представлены зависимости кажущегося заряда (кривая 1) и напряжения пробоя (кривая 2) от времени старения (кривая 2). Точка **A** соответствует времени старения, когда напряжение пробоя становится равным рабочему напряжению. Тангенс угла  $\alpha$  равен скорости изменения кажущегося заряда в точке **C**. Отрезок **BA** равен остаточному ресурсу (просто ресурсу) изоляции по напряжению пробоя при условии, что кажущийся заряд частичных разрядов в изоляции соответствует точке **C**.

Используя указанные зависимости в функции старения изоляции строят зависимость ресурса изоляции по напряжению пробоя от скорости изменения кажущегося заряда частичного разряда для рассматриваемых экспериментальных образцов. Такая зависимость показана на фиг.2.

Условные обозначения, которые использованы в графических материалах:

**U<sub>пр</sub>** - напряжение пробоя.

**U<sub>рб</sub>** - рабочее напряжение.

**Q<sub>чр</sub>** - кажущийся заряд частичного разряда.

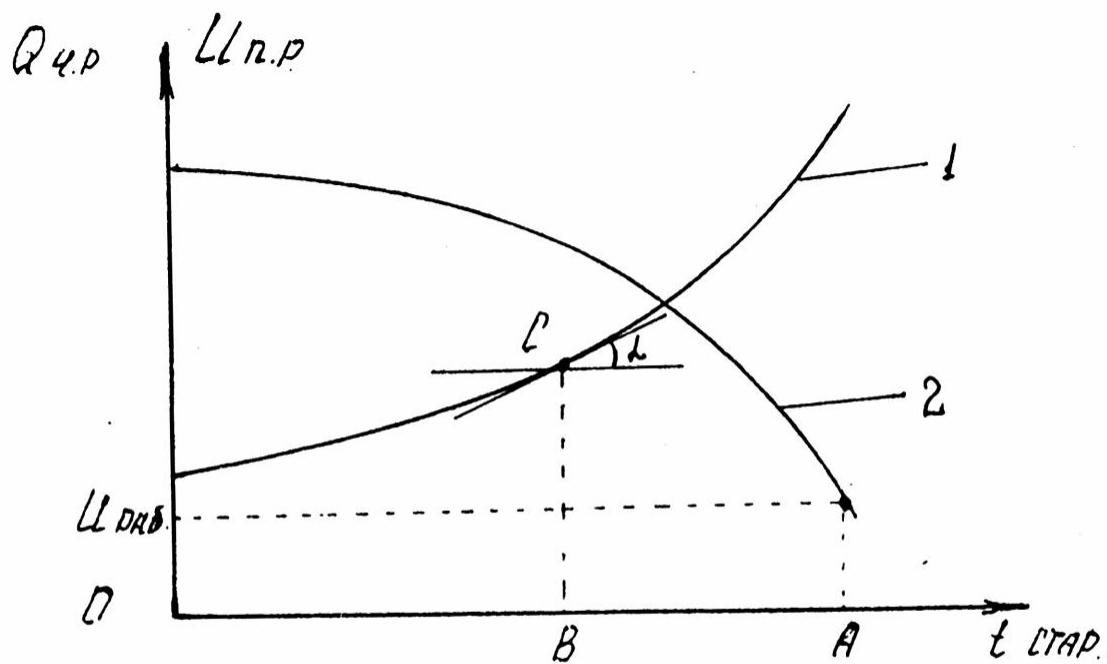
**t<sub>стар</sub>** - время старения изоляции.

$\frac{d Q_{чр}}{dt}$  - скорость изменения кажущегося заряда частичного разряда.

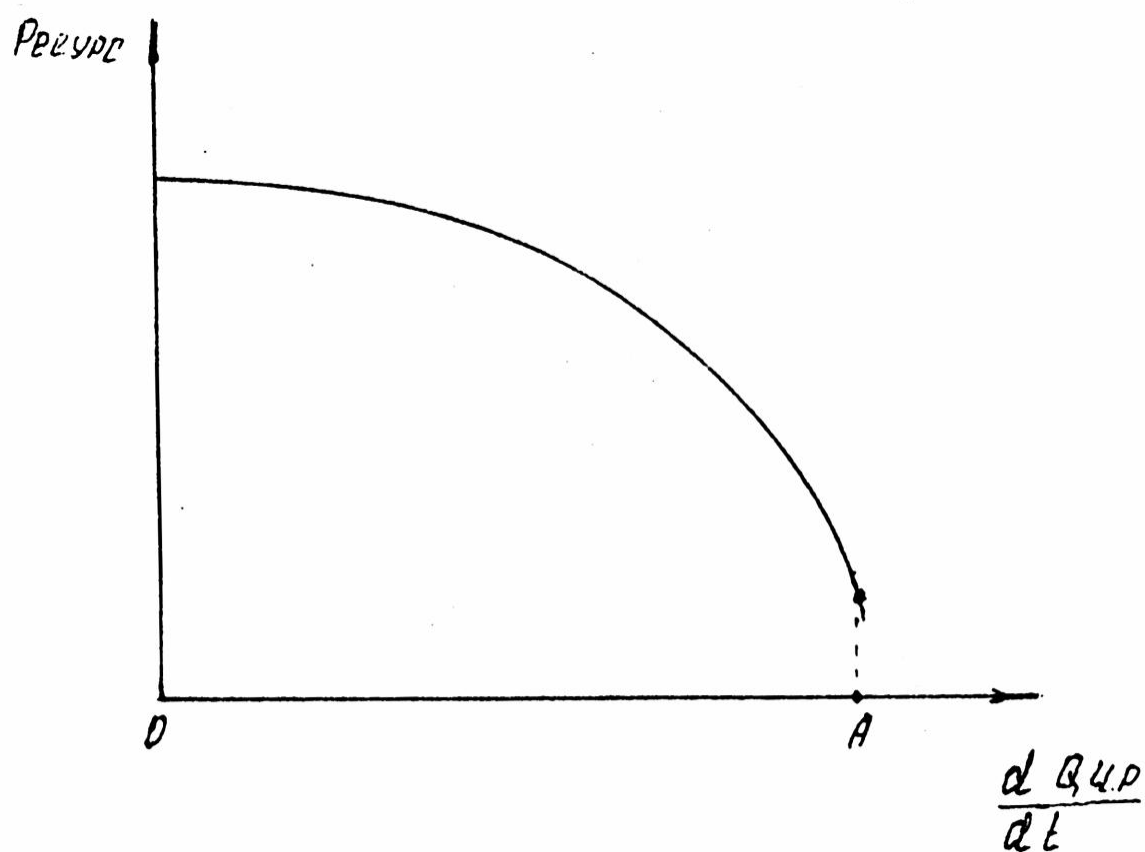
В процессе эксплуатации электрооборудования, для которого построены указанные выше зависимости, измеряют скорость изменения кажущегося заряда частичных разрядов в изоляции контролируемого электрооборудования, полученную величину подставляют в зависимость ресурса изоляции по напряжению пробоя от скорости изменения кажущегося заряда (фиг.2) и получают ресурс изоляции контролируемого электрооборудования определенную по напряжению пробоя, как качественную характеристику изоляции.

Следует отметить, что при использовании в качестве параметра частичных разрядов скорости изменения среднего тока частичных разрядов порядок выполнения измерений, построения зависимостей и определения ресурса изоляции остается таким же как и для скорости изменения кажущегося заряда частичного разряда.

Заявляемый способ с помощью ЭВМ позволяет параллельно контролировать множество единиц электрооборудования, получать оперативную информацию о состоянии изоляции конкретных единиц оборудования, принимать своевременные решения о снятии электрооборудования с эксплуатации, предупреждая аварийные ситуации.



Фиг. 1



Фиг. 2