**Лекция 6**

**Контроль состояния внутренней изоляции**

Основное назначение электрической изоляции — не про­пускать электрический ток по нежелательным путям. В про­цессе эксплуатации на изоляцию воздействует множество не­благоприятных факторов: тряска, вибрации, изменения тем­ператур, иногда в широком диапазоне, повышенные темпе­ратуры, загрязнение, увлажнение, воздействие агрессивной пыли, электрического поля как при рабочем напряжении, так и при перенапряжениях. Поэтому с течением времени изоляция постепенно теряет свои первоначальные свойства. Изоляция стареет, а возникшие дефекты настолько снижают ее электрическую прочность, что она не может выдержать не только коммутационные или атмосферные перенапряже­ния, но и номинальное рабочее напряжение.

Для наглядности объяс­нения физических процес­сов, происходящих в элек­трической изоляции при воздействии напряжения, представим схему замеще­ния изоляции (рис. 6.1).

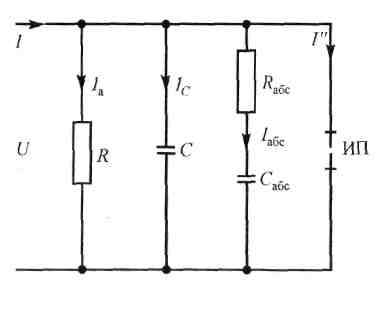


Схема замещения изоляции

Схема замещения содер­жит четыре ветви.

*Первая ветвь* с активным сопротивлением *R* характери­зует потери в электрической изоляции при приложении как постоянного, так и переменного напряжения. Сопротивле­ние изоляции *R* зависит от геометрических размеров изоляции, материала изоляции, температуры, увлажнения и загрязнения.

Ток Ia , протекающий через эту ветвь, принято называть *током утечки* или сквозным током.

*Вторая ветвь,* содержащая конденсатор С, обладает геометри­ческой емкостью. Емкость называется герметической потому, что она зависит от геометрических размеров изоляции: ее толщины, площади и расположения между токоведущими частями. По этой ветви при приложении постоянного напряжения протекает емко­стный ток I*С* только в момент становления напряжения, при воз­действии переменного напряжения он протекает непрерывно.

*Третья ветвь* характеризует абсорбционные процессы. Ток абсорбции — Iабс пропорционален площади изоляции и об­ратно пропорционален ее толщине.

*Четвертая ветвь* с искровым промежутком ИП характеризу­ет электрическую прочность изоляции, т.е. величину напряжения при пробое изоляции и ее разрушении под действием тока I".

Такая схема замещения диэлектрика позволяет объяснить происходящие процессы в электрической изоляции при прило­жении к ней напряжения и установить параметры, контроли­руя которые, можно судить о качестве электроизоляционного материала, оценивать электрическую прочность изоляции или прогнозировать срок ее службы.

**Напоминание.**

Периодичность восстановительных ремонтов изоляции элек­трооборудования устанавливается на основе опыта эксплуа­тации, а объем и технология ремонта определяются характе­ром образовавшихся дефектов. Как правило, дефекты не могут быть обнаружены путем визуального осмотра, для выявле­ния их необходимо проводить определенные испытания, ко­торые называются *профилактическими.*

*Целью* профилактических испытаний изоляции являются сво­евременное выявление развивающихся дефектов и недопущение повреждения изоляции в процессе эксплуатации.

Такие испытания сопровождаются контрольными измерениями параметров, характеризующих диэлектрические свойства изоля­ции. Они позволяют получить объективные данные о состоянии изоляции, определить объем и технологию восстановитель­ного ремонта.

*Профилактические испытания* подразделяются на два вида: *неразрушающие* и *испытания изоляции повышенным напряжением.* Для конкретного оборудования и конкретных условий его эк­сплуатации применяются и специальные методы испытаний: импульсные испытания изоляции контактной сети, испытания электрических кабелей, контроль распределения напряжения по изоляторам гирлянды.

К *неразрушающим* методам профилактических испытаний относятся:

1. контроль сопротивления изоляции;
2. контроль влажности изоляции;
3. контроль тока утечки;
4. метод, основанный на искажении формы кривой тока утечки;
5. контроль тангенса угла диэлектрических потерь;
6. метод частичных разрядов;
7. хромотографический анализ масла.

К методам испытания изоляции *повышенным напряжением* относятся:

1. испытание изоляции повышенным переменным напряжением;
2. испытание изоляции повышенным выпрямленным на­пряжением;
3. испытание изоляции повышенным импульсным напря­жением.

В условиях эксплуатации неразрушающие методы испыта­ния, конечно же, являются предпочтительными. Они прово­дятся при воздействии на изоляцию напряжения, по величине не превышающего максимального амплитудного рабочего на­пряжения. При таких испытаниях исключается возможность пробоя ослабленной электрической изоляции в отличие от ис­пытаний изоляции повышенным напряжением.

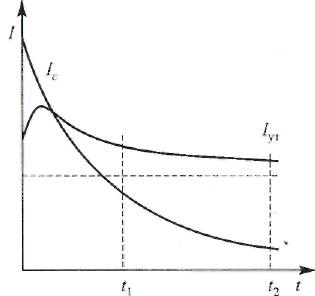
**Контроль сопротивления изоляции мы уже рассматривали на предыдущей лекции.**

**Контроль влажности изоляции**

Основными методами контроля влажности изоляции являются:

1. Степень увлажнения изоляции характеризуется коэффициентом абсорбции Кабс. Если к диэлектрику приложить постоянное напряже­ние, то через изоляцию будет протекать ток: I = Iут + Iабс + Ic.

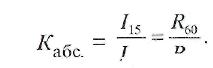
Появление тока абсорбции вызвано явлением дипольной по­ляризации, изменением диэлектрической проницаемости вещества. При постоянном напряжении он возникает только в начале действия напряжения и при изменениях напряжения, а при переменном он течет постоянно, вследствие чего при пере­менном напряжении потери в диэлектрике значительно большие.



Зависимость составляющих токов через изоляцию в функции

времени

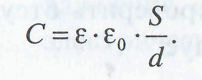
Первое измерение тока следует производить в самом нача­ле процесса в момент времени t1 (рис. 6.3), т.к. быстро зату­хающие составляющие разряд­ного тока в основном и харак­теризуют состояние изоляции в наиболее ослабленных местах, но измерять ток надо не ранее окончания разряда геометричес­кой емкости. В производствен­ных условиях Кабсопределяют из соотношения:



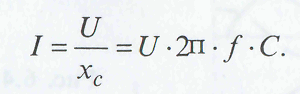
Для нормального состояния изоляции Кабс > 1,3.

2. **Метод контроля «емкость—частота».** Метод «емкость— частота» основан на том, что емкость неувлажненной изоля­ции при изменении частоты воздействующего напряжения почти не изменяется, в то время как в увлажненной изоляции процес­сы поляризации протекают достаточно быстро.

Чем больше влажность, тем больше относительная диэлек­трическая проницаемость (еводы =81). Емкость образца опре­деляется выражением:

**

С ростом относительной диэлектрической проницаемости растут емкость образца и ток:



Для сухой изоляции емкость при частоте 2Гц и 50Гц при­близительно одинакова.

Для увлажненной изоляции достаточно резко проявляется перепад емкости при частоте f = 2 Гц и f = 50 Гц.

При малой частоте у полярных диэлектриков поляризация успевает установиться за один полупериод, а при высокой частоте — не успе­вает, и относительная диэлектрическая проницаемость уменьшается.

Относительная диэлектрическая проницаемость характеризует способность вещества образовывать емкость. Если уменьшается относительная диэлектрическая проницаемость, то уменьшается емкость конденсатора, а частотный коэффициент Kf увеличивается:



т.е. изоляция считается сухой при значении частотного коэффици­ента менее или равного 1,3. Измерение влажности изоляции при­бором ПКВ-13 чаще используется для определения степени увлаж­нения изоляции трансформаторов. Для электрических машин этот метод не используется из-за их большой геометрической емкости.

**3. *Метод «емкость*—*температура».*** *Зависимость емкости изоляции от температуры.* С ро­стом температуры объемная проводимость изоляционных материалов увеличивается примерно по экспоненциаль­ному закону. Соответственно возрастают диэлектрические потери и величина tg 6. При нагреве проводимость растет тем сильнее, чем больше увлажнена изоляция (так как при этом увеличивается растворимость и сте­пень диссоциации различных примесей во влаге). По­этому если изоляция имеет увлажненный слой, то с ростом температуры различие в проводимостях слоев увеличивается и изоляция становится еще более неодно­родной. При этом емкость Сабсувеличивается, а постоянная времени *Т* снижается, так как сопротивление утечки слоев уменьшается. В ре­зультате увеличивается и эквивалентная емкость всей изоляции. Этот эффект имеет простое объяснение. С ро­стом температуры проводимость увлажненного слоя уве­личивается сильнее, чем неувлажненного. Большая часть приложенного напряжения приходится на неувлажненный слой и емкость изоляции возрастает.

По зависимости емкости изоляции от температуры можно оценить степень ее увлажненности. Опытным путем установлено, что увеличение емкости на 30—40% при повышении температуры от 20 до 70° является при­знаком недопустимо сильного увлажнения изоляции.

Данный метод основан на том же принципе, что и рассмотренный выше — зависимости процесса поляризации от температуры:

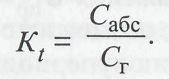


где *Kt* — температурный коэффициент;

C70 — емкость испытуемого материала, измеренная при температу­ре 70 °С;

С20 — емкость, измеренная при температуре 20 °С.

**4. *Метод «емкость*—*время».***Этот метод основан на раздельном  
измерении геометрической емкости (Сг) и абсорбционной емкости  
(Сабс). Методом «емкость — время» измеряется емкость Сг (геометрическая) и Сабс и определяется отношение Сабс/СГ. Коэффициент отношения емкостей *(Kt)* определяется:



*Kt* увеличивается с увеличением увлажнения изоляции.

**Для измерения вели­чин С2, С50, Сабс и Сг** ис­пользуются приборы кон­троля влажности ПКВ. Измерения осуществляют­ся методом «емкость—ча­стота» или методом «ем­кость — время».

Упрощенная схема прибора ПКВ, работаю­щего по принципу «ем­кость — частота», показа­на на рис. 5-10,а. Пере­ключатель П периодически подключает испытуемую изоляцию к источнику постоянного напряжения *U0* (при этом Сx заряжается), а затем к цепи с гальванометром *Г (Сх* разряжается). Измерения проводятся при частотах переключения 2 и 50 Гц, поэтому



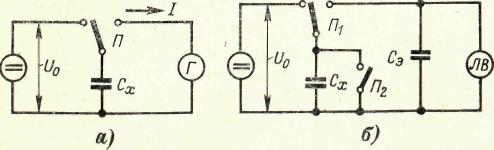


Рис. 5-10. Упрощенные схемы прибора ПКВ.

а - по методу «емкость—частота»; *б* — по методу «емкость-время».

Схема прибора, использующего метод «емкость-время», показана на рис. 5-10,б. Емкость испытуемой изоляции заряжается около од­ной минуты от источника стабилизированного напряже­ния *U0.* Затем, если измеряется емкость Сг, переключа­тель П1на 5—10 мс подключает емкость *Сх* к эталонно­му конденсатору Сэ. За это время на емкость Сэ успе­вает передать заряд только геометрическая емкость изо­ляции. Емкость Сэ выбирается такой, чтобы *СЭ>СХ ,* поэтому напряжение на ней получается пропорциональ­ным величине Сг:



Напряжение на Сэ измеряется с помощью лампового вольтметра *ЛВ,* имеющего большое входное сопротивле­ние.

Для измерения Сабс испытуемая изоляция повторно подключается кисточнику. Затем отключается и на вре­мя 5—10 мс закорачивается переключателем *П2,* чтобы разрядить только геометрическую емкость. После этого переключателем П1емкость *Сх* соединяется с эталонным конденсатором на время около 1 с, и последний заря­жается теперь от Сабс. Напряжение на Сэ получается про­порциональным Сабс.

**Контроль тангенса угла диэлектрических потерь (tg δ)**

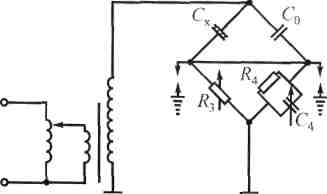
Этот метод базируется на явлении электрической поляриза­ции. Процесс поляризации в реальных диэлектриках сопро­вождается рассеянием энергии *W,* т.е. диэлектрическими поте­рями, которые характеризуются величиной tg 8.

Измерения tg *δ* изоляции являются одним из основных и наиболее рас­пространенных методов контроля состояния высоковольтных изоляционных конструкций, так как в большинстве случаев ухудшение качества изоляции (особенно загряз­нение или увлажнение) сопровождается значительным увеличением диэлектрических потерь.

Чем больше tg δ, тем менее совершенен диэлектрик как элек­троизоляционный материал.

По значению tg δ можно установить наличие в изоляции различных по характеру дефектов. Однако дефекты одного и того же типа, но разных размеров, неодинаково влияют на результаты измерений и поэтому обнаруживаются с разной чув­ствительностью. Объясняется это тем, что tg δ испытуемой изо­ляции из нескольких различных материалах представляет со­бой средневзвешенную частотную величину.

Измерение tgδ производится специальным высоковольтным мостом переменного тока.



Принципиальная схема изме­рения тангенса угла диэлектрических потерь в изоляции

*CX=C0R4/R3* и tg *δ* = *ωR4C4*

где Сх и C0 — емкости соответственно испытуемой изо­ляции и эталонного конденсатора.

В мостах сопротивление R4 устанавливают равным 104/л, или 3184 Ом, поэтому при частоте 50 Гц tg δ= = ωR4С4=106С4.

Таким образом, tg 6 численно равен емкости С4, вы­раженной в микрофарадах. В связи с этим шкалы ручек емкости С4 снабжены делениями, непосредственно ука­зывающими величину измеренного tg *δ*, %.

Прак­тическая реализация метода измерения tg 8 заключается в сле­дующем: испытуемый объект включается в одно из плеч моста. К мосту прикладывается напряжение — при профилактических испытаниях измерения производятся при *U <* 10 кВ независимо от номинального напряжения оборудования. Далее уравнове­шивается мост и производится отсчет tg 5 по шкале прибора.

*Достоинства:*

* метод прост, т.к. позволяет осуществить непосредствен­ное измерение tg 8 при несложной схеме испытательной ус­тановки;
* существует некоторая корреляционная связь между *U* и tg 8.

*Недостатки:*

* величина tg 8 зависит от протяженности диэлектрика и его влажности;
* стабилизация tg 8 изоляции наступает через несколько со­тен часов эксплуатации при номинальных значениях напряжения *UH,* влажности и температуры, а затем длительное время остает­ся постоянным, поэтому измерение tg 8 позволяет выявить неко­торые дефекты только в комплексе с другими методами.

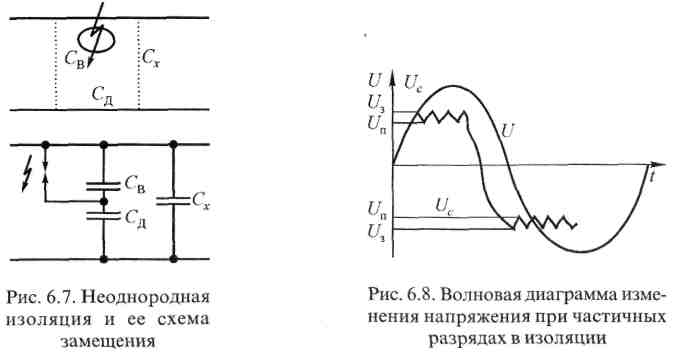
**Метод частичных разрядов**

Одним из способов повышения эффективности профилакти­ческих испытаний является применение метода частичных раз­рядов. Этот способ предложен К.С. Архангельским и А.Н. Вла­совым и позволяет оценить качество изоляционной конструк­ции и выявить локальные дефекты, которые практически невоз­можно определить другими обычными традиционными метода­ми (такими, как испытание высоким напряжением или измере­нием каких-либо характеристик изоляции С, tg 8, *Rиз* и т.д.).

Любую изоляцию с воздушными включениями можно пред­ставить эквивалентной схемой замещения (рис. 6.7), где Св — емкость воздушного включения; *СД* — емкость части изо­ляции, расположенной последовательно с воздушным вклю­чением; Сх — емкость остальной части диэлектрика.

При приложении к образцу напряжения, в течение некоторо­го времени происходит зарядка емкостей (см. рис. 6.7 и рис. 6.8).

Если напряжение на Св достигнет пробивного *UЗ* то про­изойдет внутренний электрический разряд (t ~ 10-8 с), при этом напряжение уменьшится до напряжения погасания или прекра­щения частичных разрядов *Un* (см. рис. 6.8). Напряжение на ем­кости Сх уменьшится до напряжения прекращения частичных разрядов. Разряды этого вида называют частичными потому, что образование сквозной искры исключается из-за наличия твердого диэлектрика, окружающего воздушное включение. Та­ким образом, ионизационный процесс представляет собой ряд одиночных импульсов малой длительности.



Можно определить мощность частичных разрядов *Рчр:*

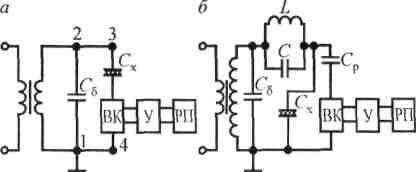
*Рчр =* WчрNчр*.*

Абсолютная величина энергии *W* очень мала. Но эта энергия передается малой поверхности инородного включения. При этом сильно растет температура (до нескольких сотен градусов), появ­ляются локальные углубления, идет процесс электрохимического разрушения, образуются разветвленные древовидные каналы. Такие материалы, как слюда и фарфор, оказываются стойкими к частичным разрядам, но связующие и подложка изоляции под действием частичных разрядов разрушают­ся, идет процесс «старения», и срок службы изоляции снижается.

Способ обнаружения интенсивности частичных разрядов в настоящее время рассматривается как наиболее перспективный метод неразрушающего контроля состояния изоляции.

При испытаниях многослойной изоляции интенсивность ча­стичных разрядов определяют с помощью схем: мостовой, ре­зонансной, последовательной (рис. 6.9, *а)* и резонансной па­раллельной (рис. 6.9, *б).*

Рис. 6.9. Принципиальные схемы контроля час­тичных разрядов: *а* — последовательная схема; *6* — параллельная резонансная схема; Сх — испы­туемая изоляция; ВК — входной контур; У — уси­литель сигнала; РП — регистрирующий прибор



По характеристи­кам ЧР возможен выбор допустимых напряженностей электрического поля в большинстве изоляци­онных конструкций.

Измерение харак­теристик ЧР может быть использовано в целях определения места локального (крупного) дефекта в изоляции длинных обмоток.

Разработанная аппаратура измерения характеристик ЧР по­зволяет в условиях электрических помех регистрировать ин­тенсивность ЧР в виде, удобном для ввода информации в ЭВМ.

***ОСНОВЫ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА***

***Хроматография*** [гр. сhromatos − цвет + grapho − пишу] — метод разделения, анализа и физико-химических исследований веществ, основанный на перемещении зоны вещества вдоль слоя сорбента в потоке подвижной фазы с многократным повторением сорбционных и десорбционных актов. При этом разделяемые вещества распределяются между двумя несмешивающимися фазами (в зависимости от их относительной растворимости в каждой фазе): подвижной и неподвижной.

**СОРБЦИЯ** (от лат. sorbeo — поглощаю), поглощение твердым телом или жидкостью какого-либо вещества из окружающей среды. Основные разновидности сорбции — адсорбция, абсорбция, хемосорбция.

**ДЕСОРБЦИЯ** (от де... и лат. sorbeo — поглощаю), удаление из жидкостей или твердых тел веществ, поглощенных при адсорбции или абсорбции.

**АДСОРБЦИЯ** (от лат. ad — на, при и sorbeo — поглощаю), поглощение газов, паров или жидкостей поверхностным слоем твердого тела (адсорбента) или жидкости.

**АБСОРБЦИЯ** (от лат. absorbeo — поглощаю), объемное поглощение газов или паров жидкостью (абсорбентом) с образованием раствора.

**ХЕМОСОРБЦИЯ** (от хемо... и сорбция), поглощение вещества поверхностью какого-либо тела (хемосорбента) в результате образования химической связи между молекулами вещества и хемосорбента.

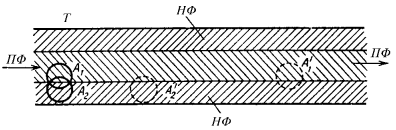
Хроматографический анализ, впервые предложен российским ученым М.С.Цветом в начале XX в. и к концу века превратившийся в мощнейший инструмент, без которого уже не могут обходиться как синтетики, так и химики, работающие в других областях.

ЦВЕТ Михаил Семенович (1872-1919), русский физиолог и биохимик растений. Создал хроматографический метод. Исследовал пигменты листьев растений, получил в чистом виде хлорофиллы a, b, c.

Разделение Цвет проводил в колонке, показанной на рис. 1. Смесь веществ А, Б и В – природных пигментов, первоначально находящихся в зоне *е,* – разделяется при приливании соответствующего растворителя Д (элюент) на отдельные зоны.

|  |  |
| --- | --- |
| **no32_1** | ***Рис. 1. Хроматографическое разделение пигментов хлорофилла М.C.Цветом:  а – адсорбент;  б – колонка; в – приемник;  г – делительная воронка;  д – вата.***  ***Смесь веществ А, Б и В, сначала находящихся в зоне е, разделяется при элюировании растворителем Д (элюент) на отдельные зоны, движущиеся с разными скоростями к выходу из колонки*** |

**Хроматография основана на распределении одного из нескольких веществ между двумя, как говорят, фазами (например, между твердым телом и газом, между двумя жидкостями и др.), причем одна из фаз постоянно перемещается, т. е. является подвижной. Это значит, что такая фаза, например газ или жидкость, все время продвигается, нарушая равновесие. При этом чем лучше то или иное вещество сорбируется (поглощается) или растворяется в неподвижной фазе, тем скорость его движения меньше, и, наоборот, чем меньше сорбируется соединение, т. е. обладает меньшим сродством к неподвижной фазе, тем скорость перемещения больше. В итоге, как показано на рис. 2, если вначале мы имеем смесь соединений, то постепенно все они, подталкиваемые подвижной фазой, движутся к «финишу» с различными скоростями и в конце концов разделяются.**

****

***Рис. 2. Основной принцип хроматографического разделения: НФ – слой неподвижной фазы, покрывающей внутреннюю поверхность капиллярной трубки Т, через которую течет подвижная фаза (ПФ). Компонент А1 разделяемой смеси обладает большим сродством к подвижной фазе, а компонент А2 – к неподвижной фазе. А '1 и А '2 – положения зон тех же компонентов через промежуток времени, за которое происходило хроматографическое разделение в направлении, указанном стрелкой***

**Практически образец смеси веществ вводят, например, шприцем в слой неподвижной фазы, а затем различные соединения, входящие в состав смеси, вместе с подвижной фазой (элюент) двигаются вдоль слоя, подгоняемые этой фазой. Скорость перемещения зависит от величины взаимодействия (сродство) компонентов в неподвижной и подвижной фазах, и в результате достигается разделение компонентов.**

**После разделения необходимо идентифицировать все компоненты и оценить их количественно. Такова общая схема хроматографии.**

**Следует отметить, что этот современный метод позволяет в течение нескольких минут определить содержание десятков и сотен различных соединений в смеси, причем даже в ничтожных, «следовых» количествах ~10–8%.**

В качестве подвижной фазы используется газ или жидкость. В качестве неподвижной, или стационарной, фазы применяются твердые вещества или жидкости.

По расположению фаз хроматографические системы подразделяют на две группы: плоскостные и колоночные.

Взаимодействие между разделяемым веществом и фазами хроматографической системы может осуществляться или на поверхности фазы, или в объеме. В первом случае хроматография называется *адсорбционной*, во втором – *распределительной*.

Хроматография в настоящее время представлена сложнейшими инструментальными системами, основанными на современных точнейших, или прецизионных, принципах и оснащенными компьютерным обеспечением. Достаточно сказать, что одна из лучших компьютерных фирм «Хъюлетт-Паккард» одновременно выпускает и современные хроматографы.

Схема процесса хроматографирования, в сущности, очень проста и показана на рис. 3. Далее примерно в такой последовательности будет рассмотрен принцип работы хроматографа.

****

***Газовая хроматография*** – хроматография (применяется для анализа масла), в которой подвижная фаза находится в состоянии газа или пара - инертный газ (газ-носитель). Неподвижной фазой (НЖФ) является высокомолекулярная жидкость, закрепленная на пористый носитель или на стенки длинной капиллярной трубки.

Газовая хроматография - универсальный метод разделения смесей разнообразных веществ, испаряющихся без разложения. При этом компоненты разделяемой смеси перемещаются по хроматографической колонке с потоком газа-носителя. По мере движения разделяемая смесь многократно распределяется между газом-носителем (подвижной фазой) и нелетучей неподвижной жидкой фазой, нанесенной на инертный материал (твердый носитель), которым заполнена колонка. Принцип разделения - неодинаковое сродство веществ к летучей подвижной фазе и стационарной фазе в колонке. Компоненты смеси селективно задерживаются последней, поскольку растворимость их в этой фазе различна, и таким образом разделяются (компонентам с большей растворимостью требуется большее время для выхода из жидкой фазы, чем компонентам с меньшей растворимостью). Затем вещества выходят из колонки и регистрируются детектором. Сигнал детектора записывается в виде хроматограммы автоматическим потенциометром (самописцем) или же регистрируется компьютером.

*Работа хроматографа.* Схема установки наиболее простого газового хроматографа приведена на рис. 4. Она состоит из газового баллона, содержащего подвижную инертную фазу (газ-носитель), чаще всего гелий, азот, аргон и др. С помощью редуктора, уменьшающего давление газа до необходимого, газ-носитель поступает в колонку, представляющую собой трубку, заполненную сорбентом или другим хроматографическим материалом, играющим роль неподвижной фазы.

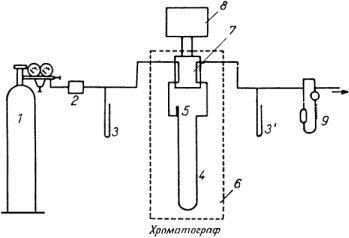


Рис. 4. Схема работы газового хроматографа:  
1 – баллон высокого давления с газом-носителем; 2 – стабилизатор потока; 3 и 3 ' – манометры; 4 – хроматографическая колонка; 5 – устройство для ввода пробы; 6 – термостат; 7 – детектор; 8 – самописец; 9 – расходомер

Хроматографическая колонка – это «сердце» хроматографа, поскольку именно в ней происходит разделение смесей. Колонки чаще всего изготавливают из стекла; бывают стальные, тефлоновые, а также капиллярные колонки. Вблизи от ввода газа в колонку устанавливают устройство для ввода пробы. Чаще всего вводят пробу с помощью шприца, протыкая резиновую мембрану. Анализируемая смесь разделяется в колонке и поступает в детектор – прибор, преобразующий результаты разделения в форму, удобную для регистрации.

Одним из наиболее используемых детекторов является катарометр, принцип действия которого основан на измерении теплоемкости разных тел.

На рис. 5 показана схема катарометра. В цилиндрическую полость помещена металлическая спираль (нить сопротивления), нагревающаяся в результате прохождения через нее постоянного электрического тока. При протекании через нее газа-носителя c постоянной скоростью температура спирали остается постоянной. Однако если состав газа меняется при появлении элюируемого вещества, то температура спирали меняется, что и регистрируется прибором.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| no32_15 |  | Рис. 5. Схема катарометра:  1 – ввод газа из хроматографической колонки;  2 – вывод продуктов в атмосферу;  3 – нить сопротивления;  4-изолятор;  5-металлический блок катарометра |

Другой распространенный детектор – пламенно-ионизационный. Он гораздо более чувствителен, чем катарометр, но требует подачи не только газа-носителя, но и водорода. Выходящий из колонки газ-носитель, содержащий элюент, смешивается с водородом и проходит в форсунку горелки детектора. Пламя ионизирует молекулы элюента, в результате чего электрическое сопротивление между электродами уменьшается, а ток увеличивается.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **no32_16** |  | **Рис. 14. Схема пламенно-ионизационного детектора:**  ***1 – ввод водорода;  2 – ввод газа из хроматографической колонки;  3 – ввод воздуха;  4 – катод;  5 – горелка; 6 – собирающий электрод; 7 – вывод продуктов горения в атмосферу*** |

**Изоляционное масло**

Изоляционное масло благодаря своей теплоемкости применяется как охлаждающая среда.

Тяжелые условия работы трансформаторного масла заключаются в следующем:

* высокая напряженность электрического поля (например, в масленом канале у обмоток ВН Е=7МВ/м);
* малые размеры изоляционных масленых промежутков в трансформаторе;
* высокая температура (верхние слои масла могут нагреваться до 95оС).

В электрических аппаратах (ТТ, ТН) масло активно соприкасается с химическими элементами такими, как медь (Сu) и железо (Fe), что приводит к старению масла из-за попадания в него ионов данных металлов. В результате старения трансформаторного масла происходит накопление осадка на активных частях трансформатора (обмотках, магнитопроводе). Это затрудняет отвод теплоты с этих элементов, ускоряет старение целлюлозной изоляции, что так же ведет к ухудшению диэлектрических показателей изоляции в целом.

Взаимодействие молекулярного кислорода воздуха с частицами трансформаторного масла в условиях повышенной электрической напряженности ведет к ускоренному старению трансформаторного масла.

Опыт показывает, что существует связь между показателями старения твердой изоляции и физико-химическими характеристиками трансформаторного масла.

Наиболее важным фактором старения трансформаторного масла являются окислительные процессы, входящих в его состав углеводородов, смолистых и сернистых продуктов. Катализатором химических реакций, происходящих в трансформаторе являются, как алюминий (Al), так и медь (Cu).

В трансформаторном масле за счет теплового старения образуются газообразные, жидкие и твердые продукты реакции. Появление газообразных продуктов связано с тем, что в свободном виде появляются водород, метан, ацетилен. Появление же жидких продуктов связано с образованием серной кислоты и даже небольшая ее концентрация ведет к разрушению обмоток, окислению металлических частей.

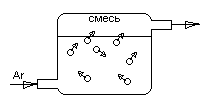
Масло способно растворять в себе влагу, а при увеличении температуры это поглощение происходит интенсивнее, что ведет к старению изоляции. Влага увеличивает напряженность поля и, как только повышается концентрация влаги, в масле появляются коллоидные частицы, около этих частичек будет повышенная напряженность, что ведет к неравномерному электрическому полю.

Статические данные масла:

* во внутренней изоляции силовых трансформаторов длительно находящихся в эксплуатации содержание влаги может колебаться в пределах 1,6-10,6%;
* сухое масло может растворять в себе до 0,005% воды при t=200С. Но электрическая прочность при этом снижается на 20%.Если масло загрязнено волокнистыми примесями, деревянной стружкой, то при увлажнении 0,005% электрическая прочность снижается на 90%. Следовательно, увлажненное масло стареет в 5-6 раз быстрее, чем сухое. Если влага составляет 0,02% от состава масла, то коллоидные частички начинают выпадать в осадок.

В масле может раствориться значительное количество воздуха (10-11% от объема масла на молекулярном уровне). Если растворяется ≅10% воздуха, то электрическая прочность снижается на 30%, т.е. идет увеличение окислительной реакции.

**Схема работы дозатора.**



Смесь Ar+CH4+CO+CO2

Пробу масла с помощью шприца вводят в дозатор для проведения более герметичных исследований

**Причины появления газов**

1йсостав газов - СО2+СО

СО2-основной газ.

Если СО2>СО, то можно предположить, что существует термический дефект затрагивающий твердую изоляцию, т.е. перегревается барьер, изоляция обмоток. Это при том, что в составе не существует других газов.

2й состав газов – Н2+СН4

При таком соотношении Н2>СН4, поэтому Н2 –основной газ, а СН4 является характерным газом, который характеризует наличие частичных разрядов в масле. Причем, если количество СН4 мало, то можно говорить, что идут частичные разряды, а не дуговые.

3й состав газов - Н2+СН4+С2Н2+С2Н4+СО2

Происходит дуговой разряд.

СН4 и С2Н4 – характерные газы, т.е. их количество должно быть велико, чтобы горела дуга.

4й состав газов

Если в составе газа отсутствует ацетилен С2Н4 , то это говорит о том, что идет высокотемпературный нагрев масла, но дуги пока нет, хотя может возникнуть.

5й состав газов - Н2+СН4+С2Н2+С2Н4+СО2+СО

Если есть набор всех газов, то это говорит о том, что происходит высокотемпературное дугообразование затрагивающее твердую изоляцию. Как правило, это обширное межвитковое замыкание или скользящий разряд по поверхности барьера.

СН4 и С2Н4 – характерные газы, причем с высоким содержанием. А СО характерный газ даже при малом содержании.

Н2 и С2Н2 – основные газы.

6й состав газов – С2Н6+СН4+Н2+СО2+СО

Если есть такой состав, то это термический дефект, затрагивающий твердую изоляцию. Характерная температура для такого термического дефекта до 3000С.

СО и СН4 – характерные газы;

С2Н6 и СО2 – основные газы;

Н2 – нехарактерный газ и не основной.