

В воздушных сетях возникают перенапряжения от грозových атмосферных разрядов. В отдельных неблагоприятных случаях атмосферные перенапряжения могут достигать величины десятикратного значения фазного напряжения при очень малой длительности (несколько микросекунд). Атмосферные перенапряжения воздействуют в основном на продольную изоляцию трансформатора.

В случаях недостаточной электрической прочности возникновение перенапряжения может вызывать пробой изоляции, т. е. местное ее разрушение. При многократном воздействии перенапряжений электрическая прочность изоляции несколько снижается, так что в дальнейшем пробой может произойти при напряжении, которое не разрушает изоляцию в случае однократного воздействия.

Как было показано выше, обмотки и все токоведущие части трансформатора нагреваются при его работе от возникающих в них потерь. Воздействие высоких температур на изоляцию трансформатора вызывает ее старение, вследствие чего она постепенно теряет эластичность, становится хрупкой, разрушается и снижает электрическую прочность. При правильной эксплуатации масляного трансформатора, когда температура изоляции обмоток не превышает 95—105°С, изоляция может служить 15—20 лет. Повышение температуры на 8°С выше допустимой сокращает срок службы трансформатора примерно в два раза.

Старение изоляции обмоток вызывается как длительным, так и кратковременным воздействием высоких температур, поэтому длительность перегрузок и коротких замыканий трансформаторов ограничивается (ГОСТ 11677—65). Допускаются следующие кратковременные перегрузки сверх номинальной нагрузки: 30% в течение 2 ч, 45% — 80 мин, 60% — 45 мин, 75% — 20 мин, 100% — 10 мин, 200% — 1,5 мин.

Длительность протекания тока короткого замыкания в секундах t_k не должна превышать значения, определяемого по приближенной формуле

$$t_k = \frac{900}{K^2} \text{ сек (но не более 5 сек),}$$

где $K = \frac{100}{u_k}$ — кратность установившегося тока короткого замыкания; u_k — напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Так, при напряжении короткого замыкания трансформатора $u_k = 7\%$ кратность установившегося тока короткого замыкания

$K = \frac{100}{7} = 14,3$ и допустимая длительность протекания тока короткого замыкания

$$t_k = \frac{900}{(14,3)^2} = 4,5 \text{ сек.}$$

Механические воздействия на изоляцию трансформатора выражаются в том, что при протекании тока по проводам обмоток и другим токоведущим частям между отдельными обмот-

ками и между проводами одной обмотки возникают механические усилия. При номинальных токах в обмотках эти усилия настолько малы, что не оказывают заметного воздействия на обмотки и их изоляцию. Но при коротких замыканиях механические усилия вызывают разрушения и деформацию обмоток и их изоляции. Согласно ГОСТ 11677—65 трансформаторы должны выдерживать без повреждений и остаточных деформаций внезапные короткие замыкания на зажимах вторичной обмотки.

Физико-химические воздействия на изоляцию возникают в трансформаторах, заполняемых трансформаторным минеральным маслом или негорючей жидкостью (совол, совтол и др.), которые могут взаимодействовать с изоляционными и другими материалами. Такое взаимодействие приводит к разрушению изоляции и загрязнению трансформаторного масла. В масляных трансформаторах нельзя применять эмали и лаки, которые растворяются трансформаторным маслом. В сухих трансформаторах физико-химические воздействия на изоляцию могут возникать в тех случаях, когда трансформаторы устанавливают в помещениях, воздух которых содержит пары кислот или других разъедающих жидкостей.

Общие требования, предъявляемые к изоляции трансформатора, сводятся к тому, что она должна выдерживать без повреждений электрические, тепловые, механические и физико-химические воздействия, которым она подвергается при эксплуатации трансформатора. Расчет изоляции и проверка ее прочности в готовом трансформаторе для всех возможных случаев затруднительны ввиду того, что воздействия на изоляцию многообразны. Поэтому в трансформаторостроении выработаны определенные нормы и методы контрольных испытаний, соблюдение которых позволяет получить долговечную и прочную во всех отношениях изоляцию.

Необходимую электрическую прочность изоляции в трансформаторах обеспечивают выбором материала изоляции, изоляционных конструкций и размеров изоляционных промежутков, а нагревостойкость изоляции — ограничением допустимой температуры. Рациональная конструкция и расположение обмоток обеспечивают необходимую механическую прочность. Изоляционные материалы, применяемые в трансформаторостроении, не вступают в химическое взаимодействие с маслом, поэтому они не разрушаются и не способствуют его разложению или загрязнению.

§ 33. ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

В условиях нормальной работы трансформатора как между отдельными витками и катушками обмоток, так и между обмотками и заземленным магнитопроводом действуют синусоидальные напряжения номинальной частоты и амплитуды, которые неопасны для трансформатора, если он правильно рассчитан. Обмотки трансформатора состоят из большого числа витков с одинаковыми индуктивными и активными сопротивлениями, так что напряжение,

приложенное к обмотке, равномерно распределяется вдоль нее (рис. 52). При заземленном конце 1 обмотки напряжения, действующие между ее витками и заземленным магнитопроводом, изменяются равномерно, уменьшаясь по мере приближения к концу обмотки. При изолированном конце 2 все точки обмотки находятся под одним и тем же напряжением относительно заземленного магнитопровода.

Однако в процессе эксплуатации трансформатор подвергается также воздействию напряжений, превосходящих номинальное напряжение по амплитуде и имеющих другую частоту и форму кривой.

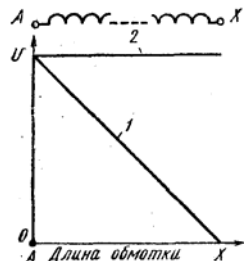


Рис. 52. Распределение напряжения по длине обмотки при нормальном режиме работы в случае заземленного (1) и изолированного (2) конца обмотки

Перенапряжения в трансформаторах вызываются различными причинами: коммутационными, короткими замыканиями, грозовыми разрядами и др. Наибольшие перенапряжения (до десятикратных значений номинального напряжения) возникают при грозовых разрядах. Эти перенапряжения называются атмосферными. Перенапряжения, возникающие вследствие коммутационных причин, воздействуют в основном на главную изоляцию обмоток; атмосферные перенапряжения наиболее опасны для продольной изоляции.

В большинстве случаев грозовые разряды создают в линии перенапряжения в виде кратковременных импульсов, причем амплитуда и форма импульса перенапряжения, проникающего в обмотку трансформатора, в значительной степени зависят от дальности атмосферного разряда, защиты подстанции, подходов к ней и т. п.

Примерная форма импульса перенапряжения показана на рис. 53. Увеличение напряжения от 0 до максимума (фронт волны) происходит за очень короткий отрезок времени, измеряемый часто десятками долями микросекунды.

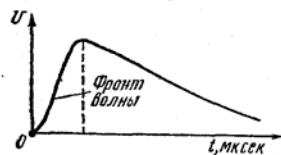


Рис. 53. Примерная форма импульса перенапряжения при грозовых разрядах



Рис. 54. Емкостные связи трансформатора

Помимо активных и индуктивных сопротивлений обмоток трансформатора имеются емкостные связи, упрощенная схема которых для одной какой-либо обмотки показана на рис. 54. На этой схеме C_k — емкость между отдельными катушками (продольная емкость), а C_a — емкость между катушками и заземленными частями (поперечная емкость на землю). Емкости между катушками соединены последовательно и продольная емкость начального витка относительно конечного при n катушках $C_d = \frac{C_k}{n}$. Емкости катушек относительно заземленных частей n соединены параллельно и результирующая поперечная емкость при n катушках обмотки на землю $C_q = nC_a$.

Все емкостные связи трансформатора можно заменить общей (входной) емкостью $C = \sqrt{C_d C_q} = \sqrt{C_k C_a}$. Входная емкость обуславливает емкостное сопротивление

$$x_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

При нормальной работе частота тока мала и емкостное сопротивление обмоток трансформатора настолько велико по сравнению с индуктивным x_L и активным r сопротивлениями, что ток практически протекает по обмотке, встречая на своем пути сопротивления x_L и r .

По мере увеличения частоты соотношение между индуктивным и емкостным сопротивлениями изменяется: x_L увеличивается, а x_c уменьшается. При очень большой частоте индуктивное сопротивление также будет очень большим ($x_L = 2\pi f L$), так что ток практически будет протекать только через емкости.

На рис. 54 показана обмотка высшего напряжения, а обмотку низшего напряжения можно приблизительно считать заземленной, так как она связана с магнитопроводом малыми емкостными сопротивлениями (малы изоляционные промежутки).

Так как токи протекают через поперечные емкости C_a , то в продольных емкостях C_k будут различные токи, уменьшающиеся по мере приближения к концу обмотки, и распределение напряжения вдоль обмотки будет неравномерным. Степень неравномерности зависит от соотношения емкостей C_a и C_k .

При различных коэффициентах $\alpha = \sqrt{\frac{C_a}{C_k}}$, зависящих от соотношения емкостей, распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора при перенапряжениях для различных значений α :

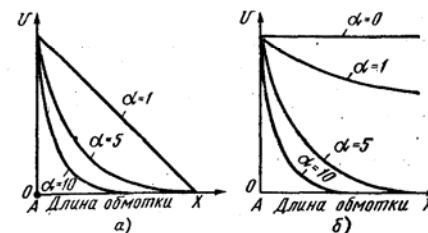


Рис. 55. Распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора при перенапряжениях для различных значений α : а — при заземленной нейтрали, б — при изолированной нейтрали

При различных коэффициентах $\alpha = \sqrt{\frac{C_a}{C_k}}$, зависящих от соотношения емкостей, распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора при перенапряжениях для различных значений α :

При различных коэффициентах $\alpha = \sqrt{\frac{C_a}{C_k}}$, зависящих от соотношения емкостей, распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора при перенапряжениях для различных значений α :

ношения емкостей C_3 и C_k , распределение напряжения вдоль обмотки с заземленной нейтралью показано на рис. 55, а, а для обмотки с изолированной нейтралью — на рис. 55, б. Обычно в трансформаторах $\alpha=5\div 15$, так что распределение напряжения вдоль обмотки крайне неравномерно и почти одинаково для обмоток с заземленной и изолированной нейтралью. Кривые распределения напряжения показывают, что при перенапряжениях наибольшей опасности подвергается изоляция начальных катушек, так как максимальная часть напряжения в начальные моменты приходится на эти катушки.

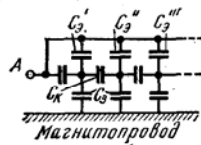


Рис. 56. Схема емкостной компенсации

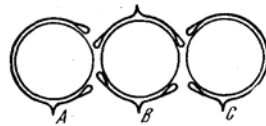


Рис. 57. Схема расположения емкостных витков трехфазного трансформатора

В трансформаторах с номинальным напряжением обмоток до 35 кВ для защиты от атмосферных перенапряжений усиливают изоляцию провода (до 1,35 мм на обе стороны) для первой и второй катушек в начале и в конце обмотки, а также увеличивают вентиляционные каналы между ними. В трансформаторах с напряжением обмоток 110 кВ и выше применяют емкостную компенсацию. Для этого используют добавочные емкости, выполненные в виде экранов особой формы, окружающих обмотку высшего напряжения. Емкости C_3', C_3'', \dots (рис. 56) подбирают таким образом, чтобы токи в продольных емкостях C_k были одинаковы и, следовательно, начальное распределение перенапряжения было равномерным.

Выравнивание электрического поля у концов обмотки достигается применением емкостных колец, являющихся разомкнутыми шайбообразными электростатическими экранами. Емкостное кольцо изготовляют из тонкой медной ленты шириной 20—30 мм, завернутой в кабельную бумагу и наматываемой в два слоя (бифилярно) на электрокартонную шайбу со скругленными краями. Применение емкостных колец снижает максимальные напряжения, возникающие между начальными и конечными катушками обмоток, но не устраняет полностью необходимость их усиленной изоляции.

Дальнейшее уменьшение больших напряжений на начальных катушках достигается применением емкостных витков. Эти витки, являющиеся также электростатическими экранами, выполняют в виде разомкнутых металлических колец, охватывающих несколько первых катушек обмотки и соединенных с ее линейным концом (рис. 57). Экранирующие витки выполняются из того же провода,

что и витки катушек, и имеют усиленную изоляцию (5 мм на сторону).

Витки, экранирующие несколько катушек обмотки в начале ее и в конце, соединяют параллельно. Все начала экранирующих витков, отводы обмоток и емкостного кольца соединяют на общую гребенку. Для уменьшения экранирующих емкостей катушек, более удаленных от начала, располагают на большем расстоянии от катушек обмотки, чем начальные экранирующие витки. Схема расположения емкостных витков и кольца по высоте обмотки показана на рис. 58.

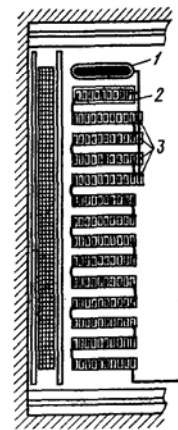
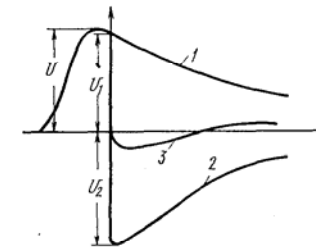


Рис. 58. Схема расположения емкостных витков и емкостного кольца по высоте обмотки:
1 — емкостное кольцо, 2 — катушка с усиленной изоляцией, 3 — емкостные витки

Рис. 59. Образование среза волны 3 в результате наложения волн 1 и 2 разных знаков



Опасные по величине напряжения для начальных катушек обмоток возникают также при резком спаде напряжения, называемом *срезом волны*. Срез волны (кривая 3, рис. 59) возникает в случае перекрытия линии, и его можно рассматривать как наложение волн 1 и 2 разных знаков, следующих друг за другом. При срезе волны происходит новое распределение потенциалов под действием волны с амплитудой U_1+U_2 , которая зависит от места среза и часто бывает больше амплитуды перенапряжения U .

Выше мы установили, что начальное распределение напряжения (кривая 1, рис. 60, а) и конечное его распределение (кривая 2) по длине обмотки с заземленной нейтралью различны. Процесс проникновения волны перенапряжения можно рассматривать как постепенный переход от начального к конечному распределению напряжения. Так как трансформатор представляет собой систему различных образом соединенных между собой индуктивностей и емкостей, образующих резонансные контуры, то переход от начального распределения напряжения к конечному сопровождается колебательными процессами.

Эти колебания имеют затухающий характер за счет активного сопротивления обмоток (рис. 61), однако могут привести к тому, что напряжения между отдельными точками (катушками) обмотки окажутся больше амплитуды перенапряжения и будут во много раз превосходить нормальное рабочее напряжение между этими

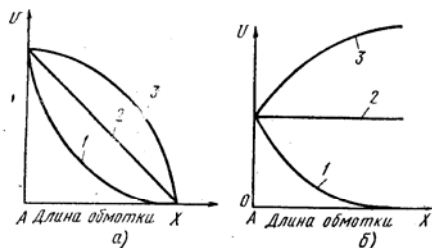


Рис. 60. Распределение напряжения по длине обмотки в начальный момент (1), конечный момент (2) и при переходе от начального момента к конечному (3):
а — с заземленной нейтралью, б — с изолированной нейтралью

точками. В результате этого в трансформаторе возможны пробой и перекрытия (поверхностные разряды) изоляции.

Примерное распределение напряжения вдоль обмотки с заземленным концом в момент, следующий за начальным, при колебательных процессах показано на рис. 60 (кривая 3). В этом случае наибольшее напряжение приходится на последний заземленный виток, т. е. наиболее опасен пробой изоляции у последних витков.

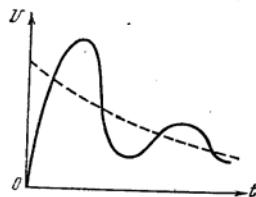


Рис. 61. Изменение напряжения точки обмотки относительно земли при колебательном процессе

В дальнейшем колебания будут вызывать изменение распределения напряжения вдоль обмотки. Это распределение в любой момент времени от начального до конечного представляется некоторой кривой, лежащей между кривыми 1 и 2. Таким образом, опасность пробоя изоляции за счет колебательных процессов существует для любого витка обмотки.

Распределение напряжения по длине обмотки в начальный и конечный моменты в трансформаторе с изолированной нейтралью показано на рис. 60, б. Колебания напряжения при переходе от начального распределения к конечному происходят в пределах, определяемых кривыми 1 и 3. В этом случае колебания напряжения происходят в более широких пределах, чем при заземленном

конце обмотки. Это является существенным недостатком систем с изолированной нейтралью.

В трансформаторах с емкостными витками и кольцами электромагнитные колебания при переходных процессах выражены значительно слабее. Такие трансформаторы называются *грозоупорными* или *нерезонирующими*, так как у них практически устранена опасность возникновения значительных резонансных колебаний в обмотках при воздействии периодических затухающих волн.

§ 34. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПРОМЕЖУТКИ

Электрическая прочность трансформатора обеспечивается соответствующим выбором изоляционных конструкций и допустимых расстояний в зависимости от класса его изоляции. Изоляция трансформатора должна предохранять его токоведущие части (обмотки, отводы, переключатели и вводы) от пробоя между ними и на землю как при номинальном напряжении, так и при возможных перенапряжениях.

Изоляция должна выдерживать нормированные испытательные напряжения при контрольных и типовых испытаниях трансформатора. Выбор размеров изоляционных промежутков, подбор изоляционных материалов и конструкций должны обеспечивать электрическую прочность трансформатора при повышенных испытательных напряжениях. Расположение изоляционных промежутков зависит от конструкции трансформатора, т. е. от взаимного расположения обмоток, магнитопровода, бака и других частей.

В трансформаторе стержневого типа с concentрическими обмотками (рис. 62, а) основными промежутками главной изоляции являются: осевой канал между обмоткой НН и магнитопроводом, между обмотками НН и ВН; пространство между обмоткой ВН и стенкой бака, между обмотками ВН разных фаз, между торцами обмоток НН и ВН и ярмом. Изменение конструкции трансформатора вызывает изменение расположения изоляционных промежутков и воздействия на них испытательных напряжений.

При дисковых чередующихся обмотках (рис. 62, б) основными изоляционными промежутками главной изоляции являются прост-

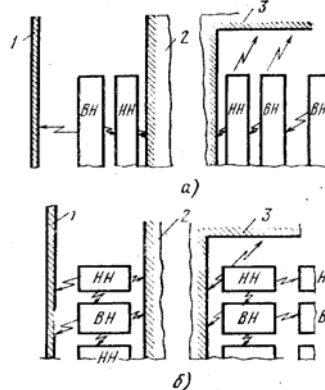


Рис. 62. Изоляционные промежутки главной изоляции при concentрических (а) и дисковых чередующихся (б) обмотках:

1 — стенка бака, 2 — магнитопровод, 3 — ярмо

ранства между катушками обмоток НН и ВН, между катушками этих обмоток и стержнем, стенкой бака, катушками другой фазы, между крайними катушками обмотки НН и ярмом.

При конструировании трансформатора необходимо правильно определить размеры всех изоляционных промежутков, подверженных опасности пробоя. Минимально допустимые размеры изоляционных промежутков зависят от изоляционных материалов, которыми заполняются эти промежутки. Изоляционные промежутки содержат три элемента: масляный или воздушный промежуток (рис. 63, а), барьер, т. е. перегородка из твердого изоляционного материала в масляном или воздушном промежутке (рис. 63, б), и покрытие одного или обоих электродов твердым изолирующим материалом (рис. 63, в). Изоляционный промежуток может состоять полностью из изолирующего материала (рис. 63, г), иметь барьер и покрытие (рис. 63, д), два барьера (рис. 63, е) и т. д.

Если напряжение между электродами превысит пробивное напряжение, произойдет пробой масляного или воздушного промежутка, изоляции барьеров и покрытий. Если размеры барьеров в плоскости, перпендикулярной оси электродов, недостаточны, может произойти пробой масляного или воздушного промежутка с разрядом по поверхности твердого диэлектрика, использованного в качестве барьера.

Величины пробивных и, следовательно, допустимых напряжений для промежутков зависят от размеров промежутков, конструкции и материала изоляции. Кроме того, в значительной мере они зависят от конфигурации силовых линий электрического поля, т. е. от формы токоведущих и заземленных частей и их взаимного расположения.

Минимально допустимые изоляционные промежутки и размеры изоляционных деталей зависят от мощности и рабочего напряжения обмоток трансформатора.

Применение барьеров и покрытий из электротехнического картона и кабельной бумаги дает возможность уменьшить минимально допустимые изоляционные промежутки и позволяет получать более компактные конструкции трансформаторов. Например, у трансформатора с рабочим напряжением обмотки ВН 35 кВ (испытательное напряжение 85 кВ) допустимый размер масляного промежутка между токоведущими частями 88 мм. При установке барьера из электротехнического картона толщиной 1 мм можно уменьшить масляный промежуток до 66 мм. При толщине барьера 2 мм допустимый масляный промежуток 54 мм, при 3 мм — 45 мм, при 4 мм — 38 мм.

Конструкция главной изоляции трансформаторов класса напряжения 35 кВ показана на рис. 64. Изоляция между обмотками ВН и НН и между обмоткой НН и стержнем 1 магнитопровода осуществляется жесткими бумажно-бакелитовыми цилиндрами 3 или мягкими цилиндрами, намотанными при сборке трансформатора из электроизоляционного картона.

Изоляционные цилиндры по высоте имеют большие размеры, чем обмотки, чтобы исключить возможность разряда по поверхности цилиндра между обмотками

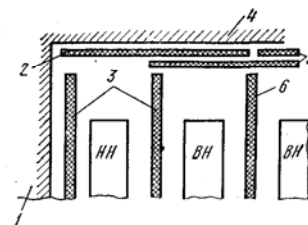


Рис. 64. Конструкция главной изоляции трансформаторов класса напряжения 35 кВ:
1 — стержень магнитопровода, 2 — шайба, 3 — изоляционные цилиндры, 4 — ярмо, 5 — подкладки, 6 — междоузловая изоляция

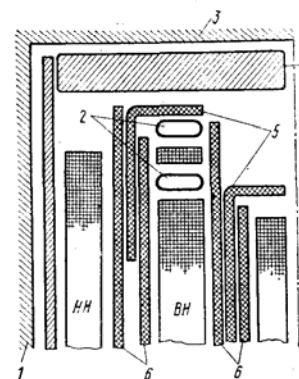


Рис. 65. Конструкция главной изоляции трансформатора класса напряжения 110 кВ:
1 — стержень магнитопровода, 2 — емкостные кольца, 3 — ярмо, 4 — прессующее кольцо, 5 — угловые шайбы, 6 — изоляционные цилиндры

или между обмоткой НН и магнитопроводом. Между обмотками ВН различных фаз устанавливают междофазную изоляцию 6. Изоляцию обмоток от ярма 4 усиливают шайбами 2 и подкладками 5 из электроизоляционного картона.

Конструкция главной изоляции трансформатора класса напряжения 110 кВ (испытательное напряжение 200 кВ) показана на рис. 65. Между обмотками ВН и НН помещены два мягких изоляционных цилиндра 6 из электроизоляционного картона. Между цилиндрами помещены угловые шайбы 5, изготовленные также из электроизоляционного картона. Изоляцию обмотки НН от стержня осуществляют цилиндром. Изоляцию обмотки ВН от ярма 3 осуществляют двумя угловыми шайбами 5.

Продольная изоляция обмотки состоит из изоляции между катушками, слоями и витками.

Изоляция между катушками обычно осуществляется радиальными масляными каналами, простыми и угловыми шайбами (рис. 66). Междоузелочная изоляция должна предохранять обмотку от разряда по поверхности прокладок между катушками,

следовательно, радиальный размер шайб больше, чем катушек. Шайба выступает за внешнюю окружность катушки обычно более чем на 6 мм. В качестве междукатушечной изоляции применяют шайбы из электроизоляционного картона (между двумя соседними катушками помещают две шайбы толщиной 0,5 мм).

Угловые шайбы для междукатушечной изоляции применяют редко и только при многослойной цилиндрической катушечной обмотке из круглого провода, не имеющей широкого употребления.

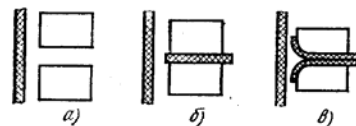


Рис. 66. Схема изоляции между катушками:
а — масляными каналами, б — простыми шайбами, в — угловыми шайбами

В обмотке ВН в месте расположения регулировочных витков в средней части обычно делают разрыв и несколько увеличенный масляный канал между катушками. Этот канал и шайбы, заполняющие его, должны предохранять обмотку ВН от разряда по поверхности между двумя ее половинами.

Изоляция между слоями в обмотках устанавливается из соображений импульсной прочности. В обмотках из круглого провода в качестве междуслойной изоляции применяют кабельную бумагу, число слоев которой между двумя слоями обмотки зависит от рабочего напряжения. Высоту междуслойной изоляции делают большей, чем высота слоя витков, для увеличения пути разряда по поверхности. В двухслойной цилиндрической обмотке из провода прямоугольного сечения междуслойную изоляцию выполняют из электроизоляционного картона для достижения большей механической прочности.

Изоляция между витками в винтовых и непрерывных спиральных обмотках из прямоугольного провода обеспечивается изоляцией обмоточного провода; дополнительную изоляцию обычно не применяют.

Как было показано выше, при воздействии на обмотку волны перенапряжения с крутым фронтом первые катушки обмотки в начальный момент будут находиться под наибольшим напряжением. В процессе проникновения волны перенапряжения в обмотку часто наблюдается возникновение больших напряжений на витках, близких к нейтрали. Для защиты этих катушек и витков от пробоя усиливают изоляцию провода, изоляцию между слоями катушек и изоляцию катушек лакотканью или кабельной бумагой. Усиленная изоляция начальных и конечных катушек и витков ухудшает условия их охлаждения, поэтому уменьшают плотность тока в них в

1,5—2 раза, выполняя их из провода с большим поперечным сечением.

Отводы и переключатели обычно располагают в масле между обмоткой и стенкой бака или между ярмом и крышкой бака. Отводы представляют собой проводники, соединяющие обмотки трансформатора между собой, с переключателями и вводами трансформатора. Переключатели обеспечивают регулировку напряжения, изменяя число витков обмотки. Отводы и переключатели обмоток должны быть надежно изолированы от токоведущих частей (обмоток и других отводов) и заземленных (бака, прессующих балок ярма, болтов и др.). При разработке конструкции изоляции отводов и переключателей также учитывают размеры масляных промежутков и пути разряда по поверхности изоляционных деталей. Возможны разряды по поверхности, например, деревянных деталей крепления отводов.

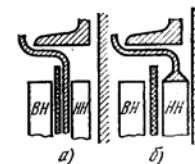


Рис. 67. Расположение отводов обмотки ВН:
а — между обмотками, б — между обмоткой и стержнем

В трансформаторах класса напряжения от 10 кВ (испытательное напряжение до 35 кВ) для отводов применяют неизолированный медный провод или провод, изолированный кабельной бумагой или бумажно-бакелитовыми трубками. Отводы, не имеющие изоляции, при проходе через деревянные крепления изолируют электрокартоном толщиной 2 мм.

Отвод от внутренней обмотки, т. е. ближайшей к стержню (обмотка НН или СН), может располагаться в осевом канале между обмотками (рис. 67, а) или между обмоткой и стержнем (рис. 67, б). Любой отвод от внутренней обмотки при выходе в пространство между активной частью трансформатора и баком проходит между обмоткой ВН и прессующей балкой ярма. В этом случае отвод изолируют кабельной бумагой или лакотканью. В качестве дополнительной изоляции отвода применяют коробочку из электроизоляционного картона.

Вводы трансформатора (проходные изоляторы) находятся в воздухе и должны быть надежно защищены друг от друга и от заземленных деталей, расположенных на крышке бака (расширитель, выхлопной трубы, подъемных колец и др.). Минимально допустимые расстояния в воздухе между токоведущими частями и от ввода до заземленных деталей определяют в зависимости от испытательного напряжения при частоте 50 Гц соответствующих обмоток. Минимально допустимые расстояния между вводами и от ввода до какой-либо заземленной детали при испытательном напряжении 25 кВ составляют 85—110 мм, при 35 кВ—120—140 мм, при 55 кВ—190—215 мм, при 85 кВ—305—340 мм, при 230 кВ—900—965 мм, при 320 кВ—1200—1340 мм, при 460 кВ—1725—1925 мм.

Главная изоляция обмоток сухих трансформаторов в конструктивном отношении подобна главной изоляции обмоток масляных