

## 86 Силовые трансформаторы. Конструкция

Силовые трансформаторы предназначены для преобразования (трансформирования) переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения – более низкого или более высокого.

Трансформаторы широко применяются в системах передачи и распределения электрической энергии. При передаче от электростанций к потребителям электроэнергия преобразуется неоднократно: сначала напряжение повышается в целях уменьшения потерь в линиях электропередачи, а затем снижается до значений, обеспечивающих эффективную и безопасную работу электротехнических устройств. Преобразование напряжения с помощью трансформаторов позволяет в 7–8 раз повысить выработанную на электростанциях мощность генераторов. Поэтому повышение технических характеристик трансформаторов ( $\cos \varphi$ , КПД и др.) является одной из важнейших проблем энергоснабжения, решение которой позволяет повысить надежность и качество работы потребителей электрической энергии.

В настоящее время в России общая мощность установленных трансформаторов достигает 2 млрд кВт при суммарной мощности генераторов электростанций более 300 млн кВт.

Трансформаторы, понижающие напряжение, называются понижающими, а повышающие напряжение – повышающими.

Трансформаторы могут быть двухобмоточными и трехобмоточными. Последние кроме обмоток низкого напряжения (НН) и высокого (ВН) имеют обмотку среднего напряжения (СН). Трехобмоточный силовой трансформатор позволяет снабжать потребителей электроэнергией с разным напряжением.

Преобразование напряжения в трансформаторах осуществляется за счет переменного магнитного потока двух индуктивно связанных между собой обмоток. Обмотка, подключаемая к источнику электрической энергии, называется первичной, а обмотка, к которой подключается нагрузка – вторичной. Если через трансформатор необходимо осуществить питание двух и более нагрузок с разным напряжением, то выполняется соответствующее число вторичных обмоток. Условное обозначение на схемах двухобмоточного и трехобмоточного трансформаторов представлено на рис. 13.4.

В распределительных устройствах и подстанциях промышленных предприятий применяются трехфазные двухобмоточные понижающие трансформаторы, преобразующие напряжения 6 и 10 кВ соответственно в 0,23 и 0,4 кВ.

В зависимости от типа изолирующей и охлаждающей среды различают трансформаторы масляные (ТМ) и сухие (ТС). В ТМ основной изолирующей и охлаждающей средой являются трансформаторные масла, в ТС – воздух или твердый диэлектрик; в специальных случаях применяется негорючая жидкость – совтолом.

По системе охлаждения различают трансформаторы:

- с масляным дутьевым охлаждением и естественной циркуляцией масла;

- масляным дутьевым охлаждением и принудительной циркуляцией масла;

- масляно-водяным радиатором и естественной циркуляцией масла;

- масляно-водяным радиатором и принудительной циркуляцией обеих сред.

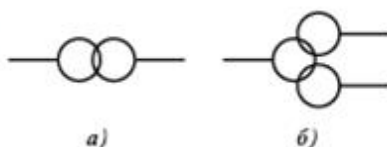
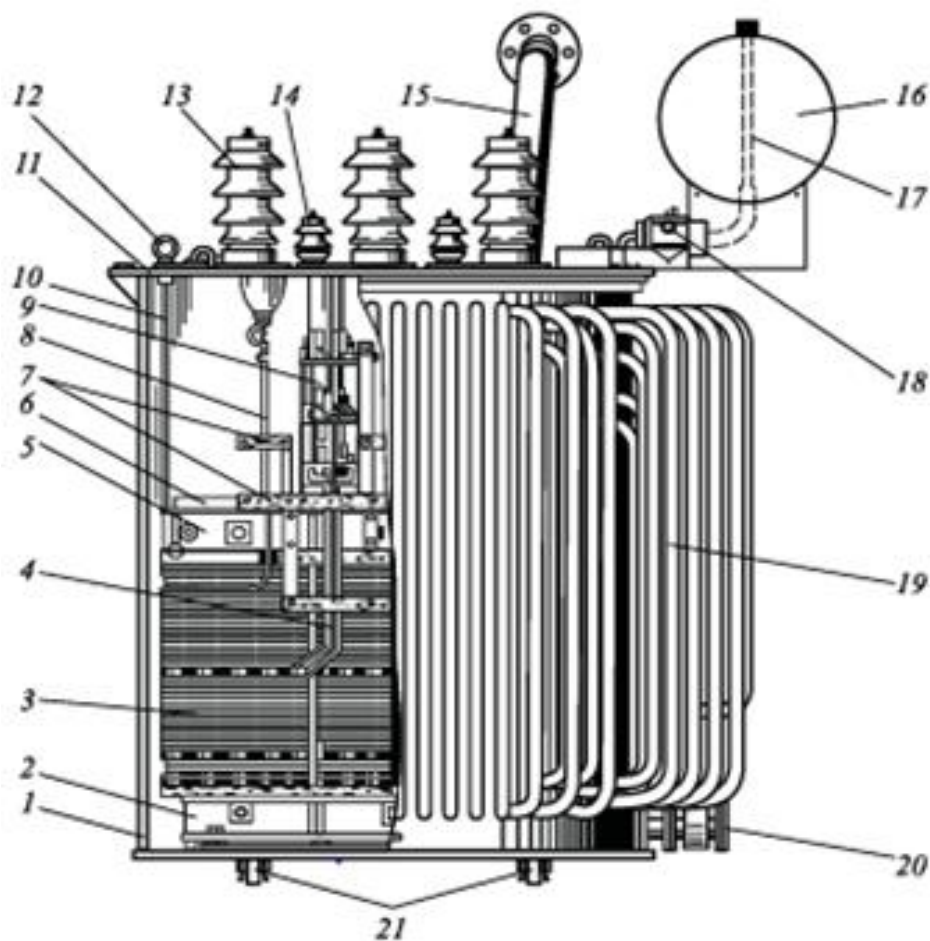


Рис. 13.4. Условные обозначения двухобмоточного (а) и трехобмоточного (б) трансформаторов

## Конструкция масляного трансформатора





**Рис. 13.5. Трехфазный силовой трансформатор мощностью 1000 кВ·А с масляным охлаждением:**

*1* – бак; *2, 5* – соответственно нижняя и верхняя ярмовые балки магнитопровода; *3* – обмотка ВН; *4* – регулировочный отвод к переключателю; *6* – магнитопровод; *7* – деревянная планка; *8* – отвод от обмотки ВН; *9* – переключатель; *10* – подъемная шпилька; *11* – крышка бака; *12* – подъемное кольцо; *13, 14* – соответственно выводы ВН и НН; *15* – выхлопная труба; *16* – расширитель (консерватор); *17* – маслоуказатель; *18* – газовое реле; *19* – циркуляционная труба; *20* – маслоспускной кран; *21* – каток

**Масляный трансформатор** состоит из балок магнитопровода 2 и 5 (рис. 13.5) и обмоток 3, жестко закрепленных на нем. Для защиты от воздействий окружающей среды они помещены в стальной бак 1, герметично закрывающийся крышкой 11. Сквозь крышку с помощью проходных изоляторов (выводов) 13 и 14 цепи обмоток ВН выведены наружу. Над крышкой расположен расширитель 16, сообщающийся через трубопровод с баком. В разрез соединительного трубопровода установлено газовое реле 18. Непосредственно из бака наружу через крышку выведена выхлопная труба 15, нормально закрытая мембраной и предназначенная для аварийных выбросов газов и масла наружу. На крышке смонтирована рукоятка, соединенная с переключателем напряжения 9, расположенным под крышкой, и валом, проходящим сквозь крышку в сальниковом уплотнении. Контакты переключателя могут быть электрически соединены с теми или иными регулировочными отводами 4 обмоток высокого напряжения 3. Крышка сквозными подъемными шпильками соединена с магнитопроводом, нижняя балка которого установлена на дне бака. Наружная резьбовая часть подъемных шпилек 10 предназначена для навертывания съемных грузовых колец (рымов) 12.

При работе трансформатор нагревается, так как в проводниках обмоток и в стали магнитопровода происходит потеря энергии. Для интенсивного удаления избытка тепла внутренний объем бака заполняется специальным минеральным маслом. При этом часть масла за счет невольного уклона крышки в противоположную сторону находится в расширителе, исключая возникновение воздушных пузырей под крышкой.

Устройство трансформаторов усложняется по мере роста их мощности. Так, при мощности до 25 кВ·А баки выполняются гладкими, при мощности 63... 1600 кВ·А они оборудуются одним, двумя или тремя рядами охладительных труб, а при более высоких мощностях в них устанавливаются радиаторы и т. д.

Рассмотрим отдельные части масляных трансформаторов.

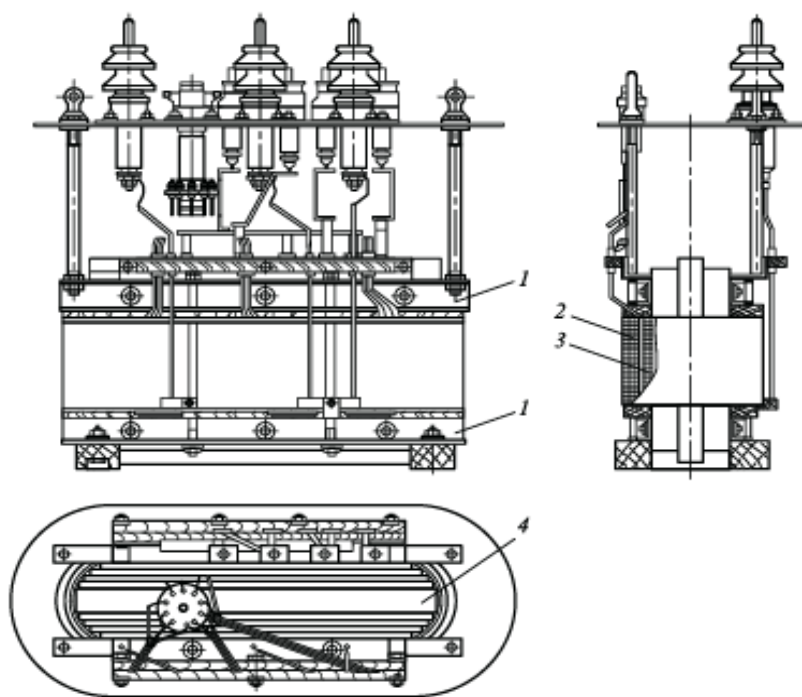


Рис. 13.6. Активная часть масляного трансформатора:  
 1 – ярмо; 2 – обмотка ВН; 3 – обмотка НН; 4 – магнитопровод

Основой конструкции трансформатора служит **активная часть**, состоящая из магнитопровода 4 (рис.13.6) с расположенными на нем обмотками низкого напряжения 3 и высокого напряжения 2, отводов и переключающего устройства. Магнитопровод, набранный из отдельных тонких листов специальной трансформаторной стали, изолированных друг от друга покрытием, состоит из вертикальных стержней, соединенных верхним и нижним ярмом. Такая конструкция способствует уменьшению потерь от вихревых токов и потерь на нагрев от перемагничивания (гистерезис).

Обмотки трансформаторов изготавливают из алюминиевых или медных проводов с прямоугольным или, реже, круглым сечением. В особых случаях применяют проводники с усиленной или теплостойкой изоляцией. Проводники большого диаметра обычно заменяют несколькими проводниками меньшего диаметра, соединенными параллельно. Это увеличивает их гибкость и снижает потери от вихревых токов.

На стержнях сердечников обмотки обычно располагают концентрически: сначала на стержни надевают катушки с обмотками НН,

а поверх них устанавливают катушки с обмотками ВН. Такое расположение обмоток снижает перепады потенциалов между элементами активной части трансформатора и позволяет упростить конструкцию изоляции и уменьшить ее толщину.

Для увеличения механической прочности активной части и повышения динамической устойчивости обмоток к сквозным токам коротких замыканий в промежутки между стержнями магнитопровода и катушками НН, а также между катушками ВН и НН забивают деревянные клинья.

Широко распространены трансформаторы с цилиндрическими и непрерывными обмотками (рис. 13.7 и 13.8).

Соединительные провода, идущие от концов обмоток и их отвлений и предназначенные для регулирования напряжения, называют отводами. Их изготавливают из неизолированных медных проводов или проводов, изолированных кабельной бумагой либо гетинаксовой грубкой.

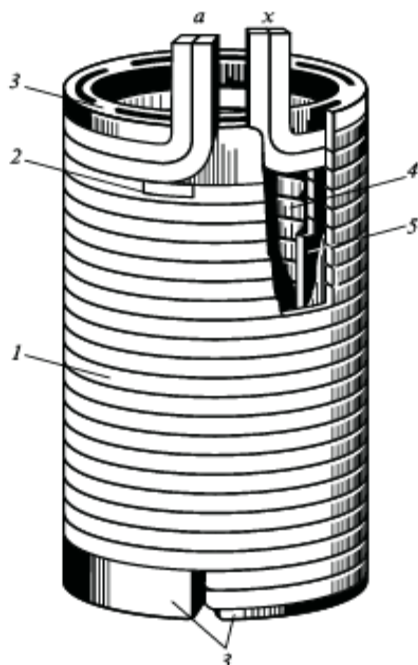


Рис. 13.7. Двухслойная цилиндрическая обмотка:

1 – провод; 2 – изолирующая прокладка (электрокартон); 3 – уравнительное кольцо; 4 – внутренний слой; 5 – рейка; а, х – выводы обмоток НН

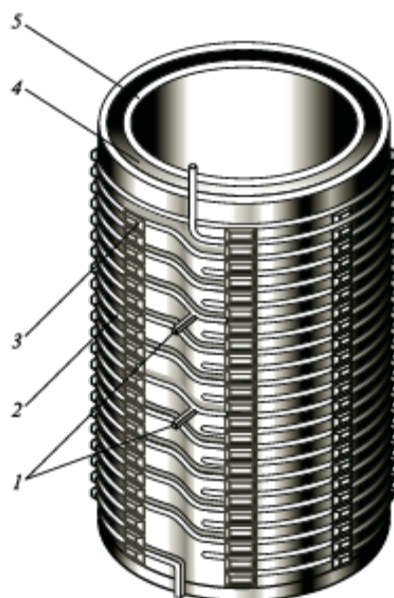


Рис. 13.8. Непрерывная обмотка:

1 – регулировочное отвлечение; 2 – катушка; 3 – дистанционная прокладка из электрокартона; 4 – опорное изоляционное кольцо; 5 – бумажно-бакелитовый цилиндр

Гетинакс – слоистый материал, в котором наполнителем являются листы пропитанной лаком бумаги толщиной 0,1 ... 0,12 мм.

Процесс производства гетинакса заключается в пропитке бумаги бакелитовыми лаками и разрезании ее на листы определенных размеров, которые после сушки собирают в пакеты определенной массы и толщины, прессуют между нагретыми до 160 °С стальными плитами гидравлического пресса и охлаждают. При таком прессовании расплавленная смола склеивает пропитанные листы бумаги и переходит в неплавкое состояние.

Гетинакс обладает повышенной механической прочностью и применяется при температуре не выше 105 °С.

**Переключающие устройства обмоток трансформатора служат для ступенчатого изменения напряжения** в определенных пределах, а также для поддержания номинального напряжения на зажимах вторичной обмотки при изменении напряжения на первичной.

**С этой целью обмотки ВН трансформаторов снабжают регулировочными ответвлениями, которые подсоединяют к переключателям.**

Необходимость регулировки напряжения вызвана тем, что в энергосистемах возможны различные отклонения от нормального режима электроснабжения, которые приводят к неэкономичной работе приемников, преждевременному износу и сокращению сроков их службы.

**В трансформаторах могут быть два вида переключений ответвлений: под нагрузкой (РПН – регулирование под нагрузкой) и без нагрузки после отключения трансформаторов от сети (ПБВ – переключение без возбуждения).** С помощью ПБВ и РПМ можно поддерживать напряжение во вторичных обмотках трансформаторов близким к номинальному.

Переключение осуществляется за счет изменения числа витков с помощью регулировочных ответвлений обмоток, т.е. изменения коэффициента трансформации, который показывает, во сколько раз напряжение обмотки ВН больше напряжения обмотки НН или во сколько раз число витков обмотки ВН больше числа витков обмотки НН.

**Коэффициент трансформации**

$$K = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

где  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  – число витков первичной и вторичной обмоток;  $E_1$ ,  $E_2$  – ЭДС первичной и вторичной обмоток;  $U_1$ ,  $U_2$  – напряжения на выводах первичной и вторичной обмоток при разомкнутой вторичной цепи.

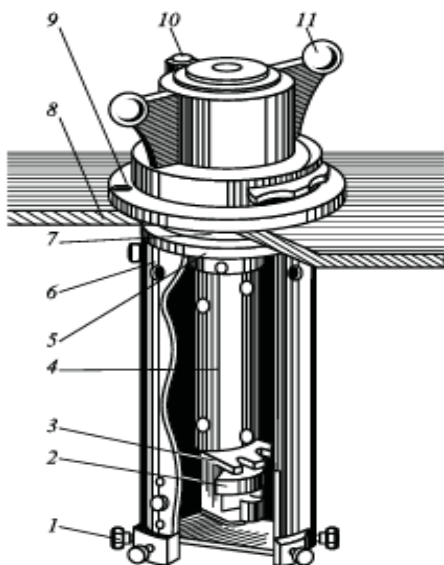


Рис. 13.9. Переключатель типа ТПСУ:

1 – контактный болт; 2 – контактный сегмент; 3 – контактный вал; 4 – изоляционная часть вала (бакелитовая трубка); 5 – фланец цилиндра; 6 – бумажно-бакелитовый цилиндр; 7 – резиновое уплотняющее кольцо; 8 – крышка бака трансформатора; 9 – фланец; 10 – стопорный болт; 11 – колпак привода (рукоятка)

переключатели марок ТПСУ-9-120/11 и ТПСУ-9-120/10 (рис. 13.9).

Устройство РПН состоит из переключателя ответвлений, контакторной группы, токоограничительного элемента, привода и вспомогательной аппаратуры (автоматики, сигнализации и др.). Переключения осуществляются без обрыва цепи тока. Переключатель ответвлений переводится в новое положение при отсутствии тока в его цепи.

Контакты служат для коммутации цепей с токами и оборудуются устройствами гашения электрических дуг. Токоограничительные элементы (дроссель, резистор) предназначены для ограничения токов в момент короткого замыкания регулировочной ступени обмотки при безобрывном переключении. Цикл РПН с использованием дресселя протекает в течение нескольких секунд. Быстродействующее устройство РПН с резисторами срабатывает

за доли секунды, кроме того, оно имеет малые габариты и простую компоновку в трансформаторе, но изготавливается оно из высококачественных материалов с высоким классом точности.

Коэффициент трансформации можно определить с помощью вольтметров, подключенных к выводам обмоток при разомкнутой вторичной обмотке (при холостом ходе).

Пределы регулирования вторичных напряжений для разных трансформаторов различны: на  $\pm 10\%$  это 12 ступенями по 1,67% или 16 ступенями по 1,25% с помощью РПН; на  $\pm 5\%$  – четырьмя ступенями по 2,5% с помощью ПБВ.

Переключатели имеют различное конструктивное исполнение, но принцип действия у них одинаковый: **соединение с регулировочными ответвлениями обмоток неподвижных контактов и системы подвижных контактов, соединяющих те или иные неподвижные контакты; при этом переключение осуществляется приводом, размещенным на крышке или стенке бака**, а переключатель устанавливается на активной части трансформатора. В трансформаторах мощностью до 1000 кВ·А монтируют