

Электрические станции и подстанции

Направление подготовки бакалавров
13.03.02 «Электроэнергетика и
электротехника»
2016 г.

Лекция № 3

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

Применяют:

- однофазные и трехфазные трансформаторы;
- двухобмоточные и трехобмоточные трансформаторы;
- автотрансформаторы.

Трехфазные трансформаторы по сравнению с однофазными экономичней (на 20 - 25% меньше стоимость, на 12 - 15% меньше потери) и проще в эксплуатации. Поэтому в основном применяют 3-х фазные трансформаторы.

Группы из трех **однофазных** трансформаторов применяют при больших мощностях (*более 100 МВА*) по условиям изготовления или по условиям транспортировки.

Двухобмоточные трансформаторы (35/6-10 кВ; 110/6-10 кВ) применяются в тех случаях, когда на подстанции нужно иметь одно вторичное напряжение.

Если требуется получить два вторичных напряжения, применяются **трехобмоточные** трансформаторы (220/110/6-10 кВ, 110/35/6-10 кВ). В них суммарная мощность обмоток среднего и низшего напряжений может быть равна мощности обмотки высшего напряжения или все обмотки рассчитаны на одинаковую мощность.

Разновидностью трехобмоточного трансформатора является трансформатор с **расщепленной обмоткой низшего напряжения** (110/10/10 кВ; 110/6/6 кВ или 110/10/6 кВ). Обмотка низшего напряжения (НН) состоит из двух ветвей, расположенных симметрично обмотке высшего напряжения. Каждая ветвь рассчитана на 0,5 . Трансформаторы с расщепленной обмоткой имеют большое сопротивление, что позволяет ограничить токи короткого замыкания на стороне НН.

В электроустановках 220-500 кВ применяют силовые **автотрансформаторы (АТ)**. Если в трансформаторах, имеющих самостоятельные обмотки первичного и вторичного напряжения, уложенные на общий магнитопровод, передача энергии из одной обмотки в другую осуществляется электромагнитным путем, то в автотрансформаторах имеет место и электрическая связь между обмотками.

Для силовых трансформаторов и АТ применяют буквенно-цифровые обозначения, установленные ГОСТом. В типе трансформаторов последовательно указывают:

1. Т - трехфазный;

О - однофазный.

2. С - естественное воздушное охлаждение;

М - естественное масляное охлаждение;

Д - масляное охлаждение с дутьем и естественной циркуляцией масла;

ДЦ - масляное охлаждение с дутьем и принудительной циркуляцией масла;

Ц - масляно-водяное охлаждение с принудительной циркуляцией масла.

3. Т - трехобмоточный;

Р - с расщепленной вторичной обмоткой;
без обозначения - двухобмоточный.

Буква А перед обозначением обозначает автотрансформатор.

Буква Н после обозначения обозначает наличие устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН).

Номинальные параметры трансформаторов

Номинальным называется режим работы трансформатора, для которого он предназначен заводом-изготовителем. Условиями, определяющими номинальный режим работы, являются:

- номинальная мощность $S_{\text{НОМ}}$, кВА, МВА;
- номинальное напряжение $U_{\text{НОМ}}$, кВ;
- номинальный ток, $I_{\text{НОМ}}$, А;
- номинальные условия охлаждающей среды;
- напряжение короткого замыкания u_k % ;
- ток холостого хода $I_{\text{ХХ}}$;
- потери холостого хода, $\Delta P_{\text{ХХ}}$
- потери короткого замыкания $\Delta P_{\text{КЗ}}$

Номинальной мощностью трансформатора называется указанное в паспорте значение полной мощности, на которую трансформатор может быть нагружен непрерывно в номинальных условиях установки и охлаждающей среды при номинальной частоте и напряжении. Если обмотки трансформатора имеют разные мощности, то за номинальную принимают наибольшую (обычно ВН).

За номинальную мощность АТ принимается номинальная мощность сторон, имеющих автотрансформаторную связь. Ее называют "проходной" мощностью.

Номинальное напряжение обмоток - это напряжение первичной и вторичных обмоток при холостом ходе (линейные - для 3-хфазных или - для однофазных трансформаторов

Номинальным коэффициентом трансформации для 2-х обмоточных трансформаторов называют

$$k = \frac{U_{\text{ВВ}}}{U_{\text{НОМ}_{\text{НН}}}}$$

Для 3-хобмоточных трансформаторов определяют коэффициент трансформации каждой пары обмоток.

Номинальными токами обмоток трансформатора называют токи, определяемые по их номинальным мощностям и номинальным напряжениям. Под номинальной нагрузкой понимают нагрузку, равную номинальному току.

Напряжение короткого замыкания - это напряжение в процентах от номинального, при подведении которого к одной из обмоток трансформатора в замкнутой накоротко другой обмотке ток равен номинальному. Оно характеризует полное сопротивление обмоток трансформатора. Для 3-х обмоточных трансформаторов и АТ приводится для каждой пары обмоток (при разомкнутой третьей).

Ток холостого хода характеризует активные и реактивные потери в стали и выражается в процентах от номинального тока трансформатора.

Потери холостого хода и короткого замыкания определяют экономичность работы трансформатора. Они характеризуют потери в стали (на вихревые токи и гистерезис) и потери в обмотках при протекании по ним токов нагрузки.

Схемы и группы соединения обмоток

Обмотки обычно имеют схемы соединений: звезда Y ; звезда с выведенной нейтралью Y_n ; треугольник Δ .

Сдвиг фаз между ЭДС первичной и вторичной обмоток выражают группой соединений. При разных схемах соединений обмоток может быть получено 12 групп соединений.

При схемах Y / Y - группы: 2, 4, 6, 8, 10, 0.

При схемах Δ / Y или Y / Δ - группы: 1, 3, 5, 7, 11.

Обмотку ВН обычно соединяют в Y , что позволяет экономить изоляцию, а обмотку НН - в Δ , так как при этом ток в фазе будет, что позволяет снизить расход меди.

Соединение обмоток в Y с выведенной нулевой точкой применяется в том случае, когда нейтраль обмотки заземляется.

Эффективное заземление нейтралей обязательно в трансформаторах 300 кВ и выше и во всех АТ. Системы 110 – 220 кВ, как правило, работают с эффективно-заземленной нейтралью. Однако для уменьшения токов однофазного короткого замыкания часть трансформаторов может работать с изолированной нейтралью.

При этом в режиме разземленной нейтрали последняя защищается от перенапряжений, так как изоляция нулевых выводов не рассчитана на полное напряжение.

Элементы конструкции трансформаторов

Основными элементами конструкции являются:

- магнитопровод;
- обмотки;
- изоляция;
- выводы;
- бак;
- охлаждающие устройства;
- устройства регулирования напряжения;
- защитные и измерительные устройства;
- тележка (каретка с катками).

Магнитопровод составляет остов трансформатора. Он выполняется из листов электротехнической стали, изолируемых бумагой. или лаком. Стержни магнитопровода стягиваются стеклобандажами а ярма - стальными бандажами.

На остове магнитопровода устанавливают **обмотки** - концентрические или чередующиеся. Чаще применяются концентрические обмотки, чередующиеся - только в специальных трансформаторах (печных, сухих).

Для проводников **обмоток** используют алюминий (при мощности трансформаторов до 6300кВА) или медь.

Для **изоляции** масляных трансформаторов используются:

- масло и твердые диэлектрики;
- масло и бумага;
- масло и электрокартон;
- масло и гетинакс;
- масло и дерево.

Системы охлаждения силовых трансформаторов

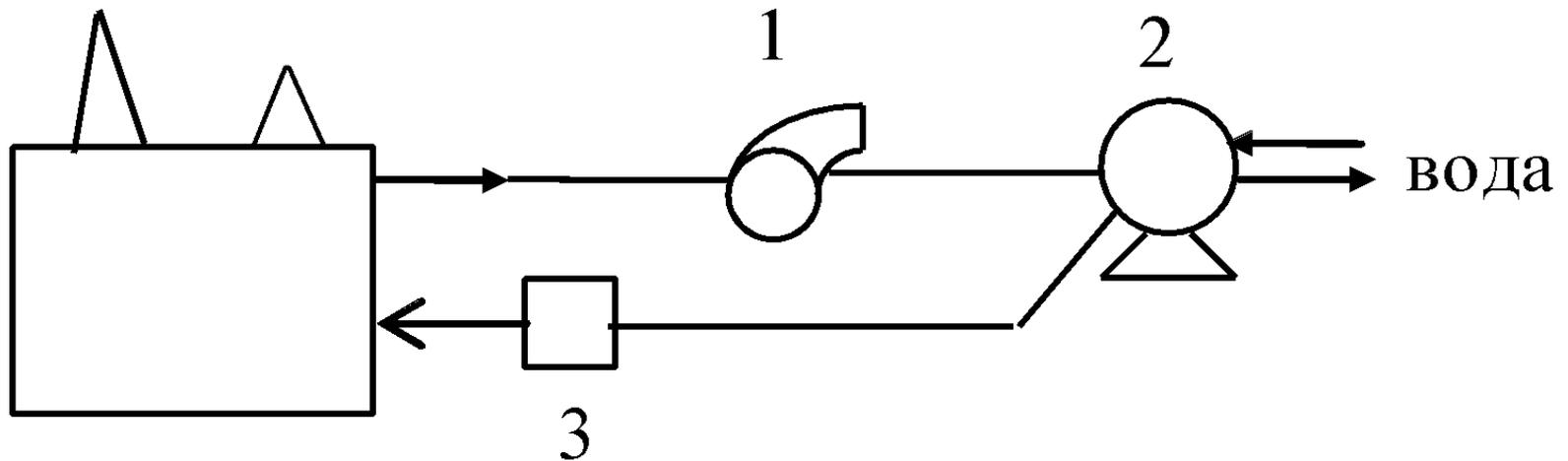
Большинство трансформаторов имеют масляное охлаждение. Охлаждение масляных трансформаторов выполняют:

- естественным масляным;
- естественным масляным с искусственным воздушным;
- масловодяным;
- масловоздушным.

При **естественном масляном (М)** охлаждении тепло от обмоток и магнитопровода передается маслу, а от него через стенки и крышку бака - окружающему воздуху. При этом происходит естественная циркуляция масла в баке. Трансформаторы малой мощности имеют гладкие стенки бака, трансформаторы средней мощности - трубчатые или снабженные трубчатыми радиаторами.

**При естественном масляном с
принудительным воздушным дутьем (Д)**
охлаждение осуществляется обдувом
трубчатых радиаторов от двигателей -
вентиляторов, размещенных внутри
радиаторов. При этом масло проникает в
радиаторы естественным образом. Пуск и
остановка всех или части вентиляторов в
зависимости от температуры может
осуществляться вручную или автоматически.

При **масловодяном** (Ц) охлаждении насос (1) забирает горячее масло из верхней части бака, прогоняет его через **водяной** охладитель (2) и возвращает в нижнюю часть бака через воздухоотделитель (3).



При **масловоздушном** (ДЦ, НДЦ) охлаждении масло насосами прогоняется через **воздушные** охладители.

Масловодяное и масловоздушное охлаждение применяются для трансформаторов большой мощности. Маслоохладители могут быть установлены на стенках бака или выносными.

Сухие трансформаторы имеют воздушное охлаждение (С). Применяется для трансформаторов небольшой мощности, если по условиям пожароопасности невозможна установка масляного трансформатора (в производственных помещениях, общественных зданиях). Воздушное охлаждение выполняется в разных исполнениях:

- С - открытом;
- СЗ - защищенном;
- СГ - герметизированном;
- СД - с принудительной циркуляцией воздуха.

Нагрузочная способность трансформаторов

Нагрузочная способность трансформатора - это совокупность допустимых нагрузок и перегрузок.

Допустимая нагрузка - это длительная нагрузка, при которой износ изоляции обмоток не превосходит износ при номинальном режиме.

Перегрузка - режим, при котором износ изоляции обмоток превосходит износ, соответствующий номинальному режиму работы.

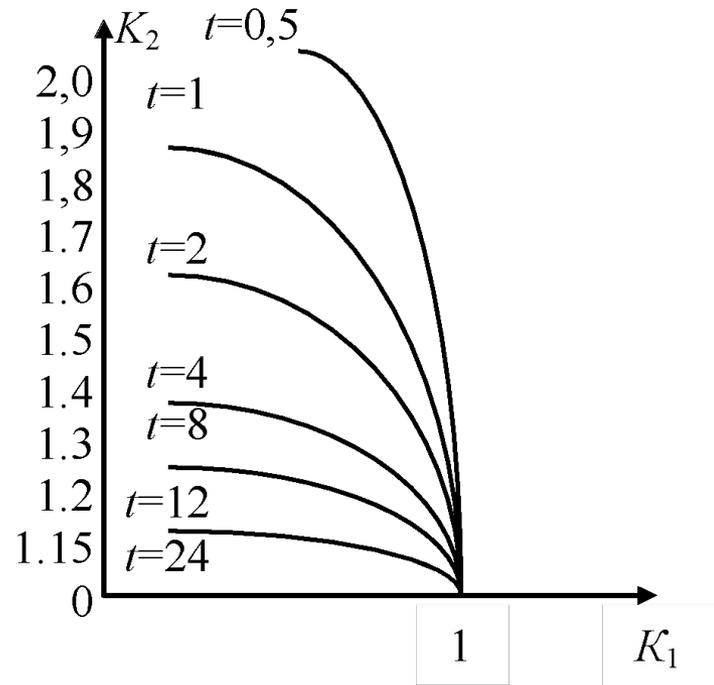
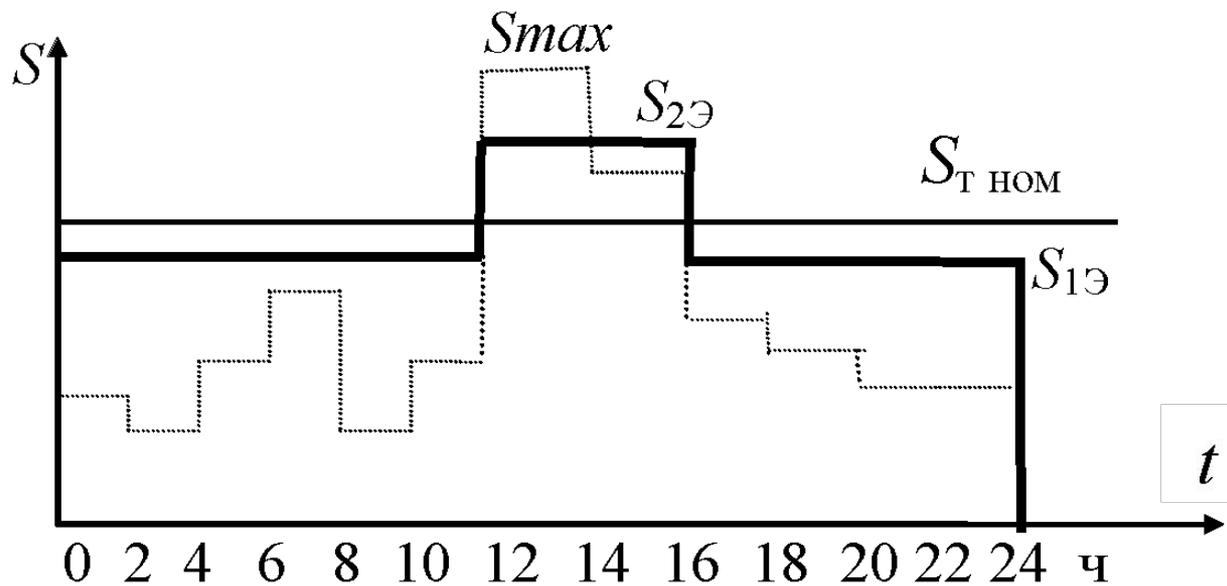


График нагрузочной способности трансформаторов
 На графиках: K_1 - коэффициент начальной нагрузки (предшествующей перегрузке); K_2 - коэффициент допустимого превышения нагрузки. Кривые построены для разных продолжительностей t перегрузки.

Для вычисления и исходный суточный график приводят к эквивалентному двухступенчатому графику с нагрузками



$$S_{\text{д}} = \sqrt{\frac{\sum_1^{n1} S_i^2 \cdot t_i}{\sum_1^{n1} t_i}} \quad S_{\text{з}} = \sqrt{\frac{\sum_1^{n2} S_i^2 \cdot t_i}{\sum_1^{n2} t_i}}$$

- где S_i - нагрузка i -й ступени графика нагрузки;
- продолжительность i -й ступени;
 - номинальная мощность трансформатора;
 - число ступеней, где нагрузка меньше $S_{\text{НОМ}}$;
 - число ступеней, где нагрузка больше $S_{\text{НОМ}}$.

Нагрузка S_{19} определяется за интервал времени 10 часов, предшествующий началу наибольшей перегрузки. Затем вычисляют:

$$K_1 = \frac{S_1}{S_{\text{ТНОМ}}} \quad K_2' = \frac{S_2}{S_{\text{ТНОМ}}} \quad K_{\text{max}} = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ТНОМ}}}$$

Если , $K_2' > 0,9K_{\text{max}}$ принимают

$$K_2 = K_2'$$

Если , $K_2' \leq 0,9K_{\text{max}}$ принимают .

$$K_2 = 0,9K_{\text{max}}$$

После вычисления K_1 и K_2 по графику нагрузочной способности определяют продолжительность допустимого превышения нагрузки t . Если $t \geq t_{\text{доп}}$, такая перегрузка **допустима**.

Если зимние и летние графики нагрузки совпадают, то принимают годовую эквивалентную температуру охлаждающей среды. Если графики различаются, расчет делают отдельно для зимнего и летнего графиков.

Нагрузки более $1,5 \cdot S_{\text{ТНОМ}}$ допустимы только по согласованию с заводом-изготовителем, более $2 \cdot S_{\text{ТНОМ}}$ - не разрешаются.

Аварийная перегрузка определяется предельно допустимой температурой обмоток $+140^{\circ}\text{C}$ и температурой масла $+115^{\circ}\text{C}$. Такая перегрузка допускается в аварийных ситуациях.

Величина допустимой аварийной перегрузки определяется ГОСТ 14209-85 в зависимости от (коэффициента начальной нагрузки), температуры охлаждающей среды в момент аварии и длительности перегрузки. Точный расчет систематических нагрузок и аварийных перегрузок производится на основании расчета его температурного режима (теплового расчета).

Регулирование напряжения трансформаторов

Регулирование напряжения осуществляется за счет изменения коэффициента трансформации

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2};$$

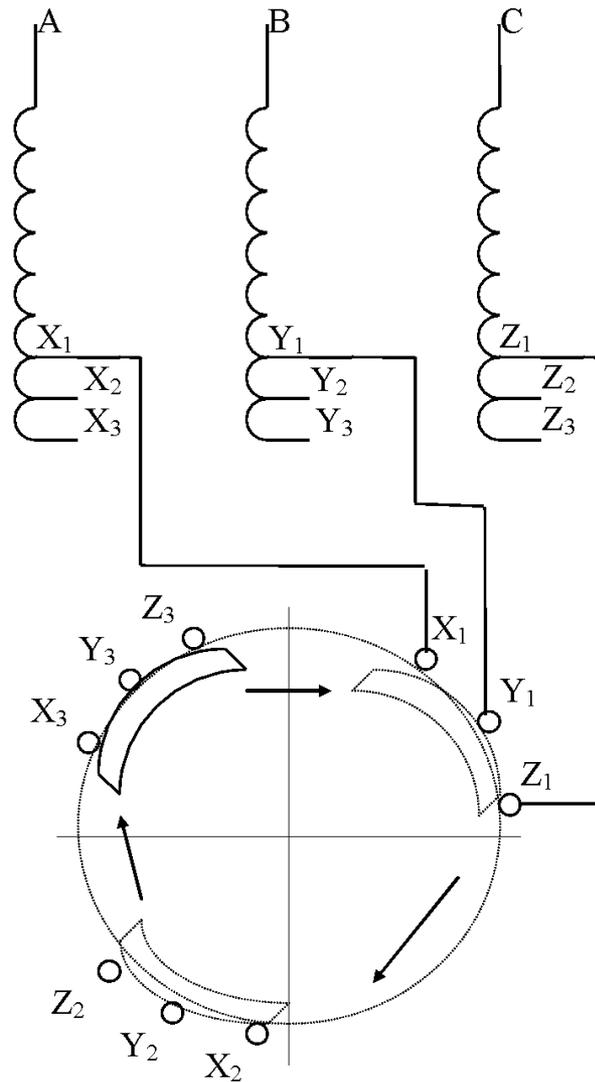
$$U_2 = U_1 \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1}.$$

Если обмотки трансформатора выполнить с отпайками (ответвлениями), то можно изменять число витков (коэффициент трансформации) и вторичное напряжение.

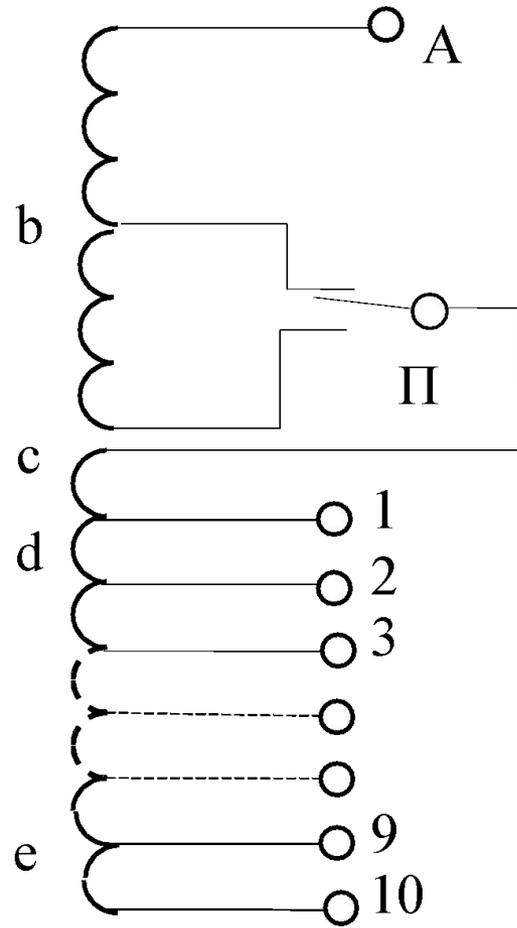
Переключение ответвлений может производиться при отключенном от сети состоянии (ПБВ - переключение без возбуждения) или в процессе работы трансформатора автоматически (РПН - регулирование под нагрузкой).

Устройства ПБВ обеспечивают регулирование напряжения в пределах . Для этого обмотки со стороны ВН имеют 2 или 4 ответвления. Переключатель осуществляет регулирование одновременно в трех фазах или в каждой фазе отдельно..

Если трансформатор работал на основном выводе ($X_2 Y_2 Z_2$), то переключают ответвления на $X_1 Y_1 Z_1$ уменьшая . Коэффициент трансформации увеличивается и повышается вторичное напряжение .



Принцип действия устройства ПБВ



Устройства РПН позволяют регулировать напряжение ступенями). Отпайки выполняют на стороне ВН.

Переключатель (П) обеспечивает грубую регулировку (добавляется или исключается сразу несколько витков bc).

Избиратель (И) тонкой регулировки добавляет или убирает по одному витку. Переключение регулировочной обмотки de должно осуществляться без разрыва цепи и замыкания накоротко витков, Для этого применяются специальные переключающие устройства с реакторами или резисторами, включающимися в моменты перехода с одной отпайки на другую.

Переключения резисторов осуществляется контакторами. В современных устройствах РПН применяют бесконтактные тиристорные переключатели.

На автотрансформаторах ответвления выполняют вблизи нейтральной точки или на конце обмотки общей обмотки. На стороне третичной обмотки дополнительно устанавливается регулировочный трансформатор.

Лекция № 3

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ