

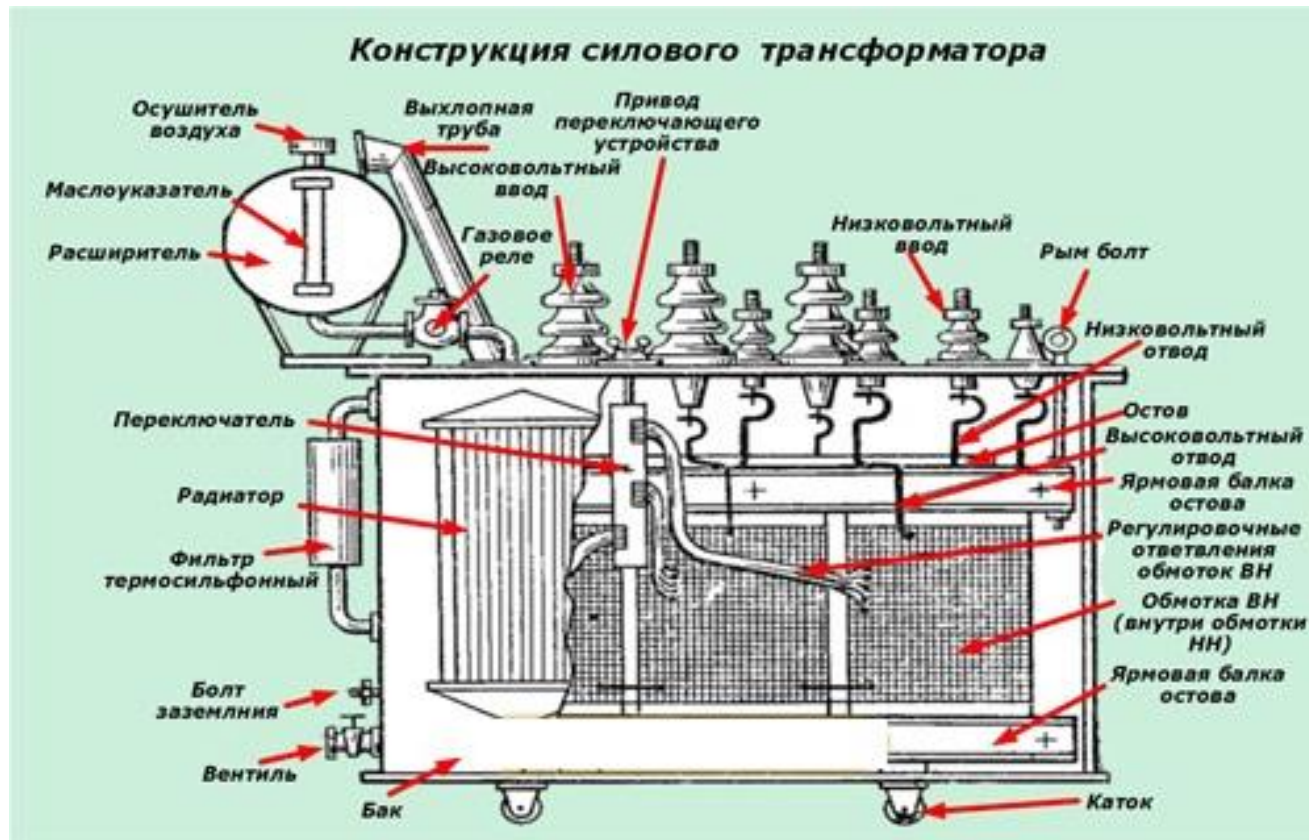
# ТРАНСФОРМАТОРЫ СИЛОВЫЕ

---

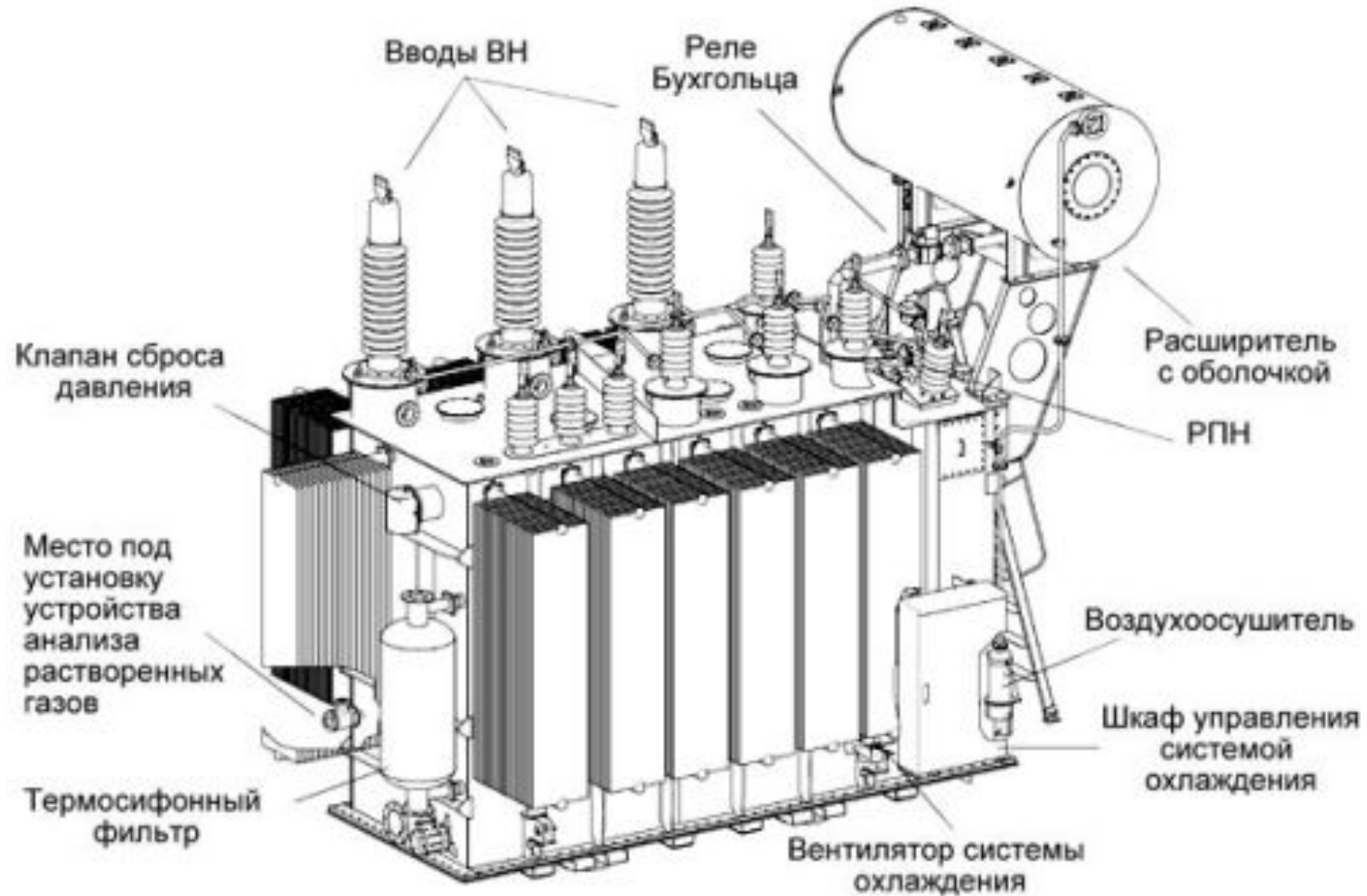
# Силовой трансформатор

- Электротехническое устройство в сетях электроснабжения (электросетях) с двумя или более обмотками (трансформатор), который посредством электромагнитной индукции преобразует одну величину переменного напряжения и тока в другую величину переменного напряжения и тока, той же частоты без изменения её передаваемой мощности

# Конструкция силового трансформатора



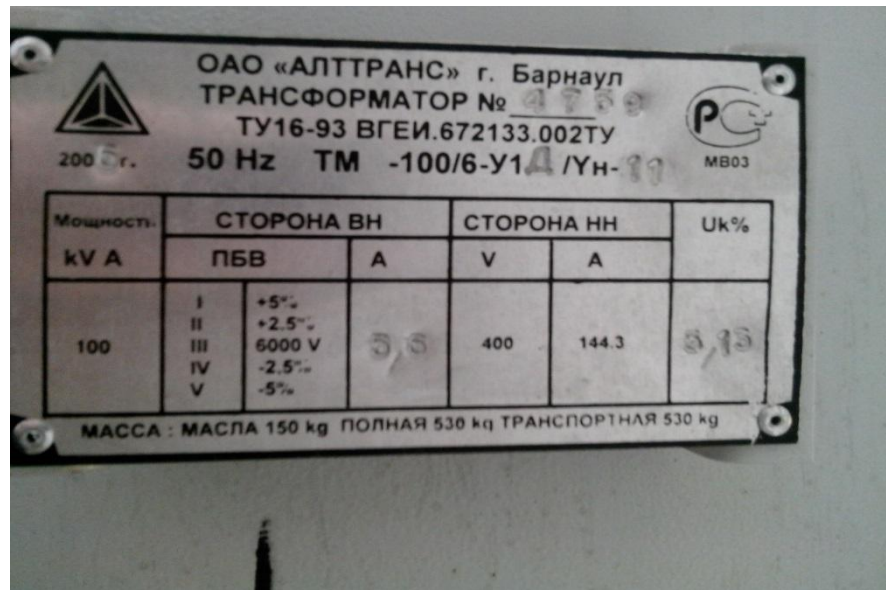
# Конструкция силового трансформатора



# Условные обозначения на ТС

X X / X - X

1. Буквенная часть обозначения типа
2. Номинальная мощность трансформатора, кВ·А
3. Класс напряжения стороны ВН, кВ
4. Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150



- Буквенная часть условного обозначения должна содержать обозначения в следующем порядке:

1) Назначению трансформатора (может отсутствовать)

- **А** — автотрансформатор
- **Э** — электропечной

2) Количество фаз

- **О** — однофазный трансформатор
- **Т** — трехфазный трансформатор

3) Расщепление обмоток (может отсутствовать)

- **Р** — расщепленная обмотка НН;

4) Система охлаждения

*1. Сухие трансформаторы*

- **С** — естественное воздушное при открытом исполнении
- **СЗ** — естественное воздушное при защищенном исполнении
- **СГ** — естественное воздушное при герметичном исполнении
- **СД** — воздушное с дутьем

*2. Масляные трансформаторы*

- **М** — естественное масляное
- **МЗ** — с естественным масляным охлаждением с защитой при помощи азотной подушки без расширителя
- **Д** — масляное с дутьем и естественной циркуляцией масла
- **ДЦ** — масляное с дутьем и принудительной циркуляцией масла
- **Ц** — масляно-водяное с принудительной циркуляцией масла

*3. С негорючим жидким диэлектриком*

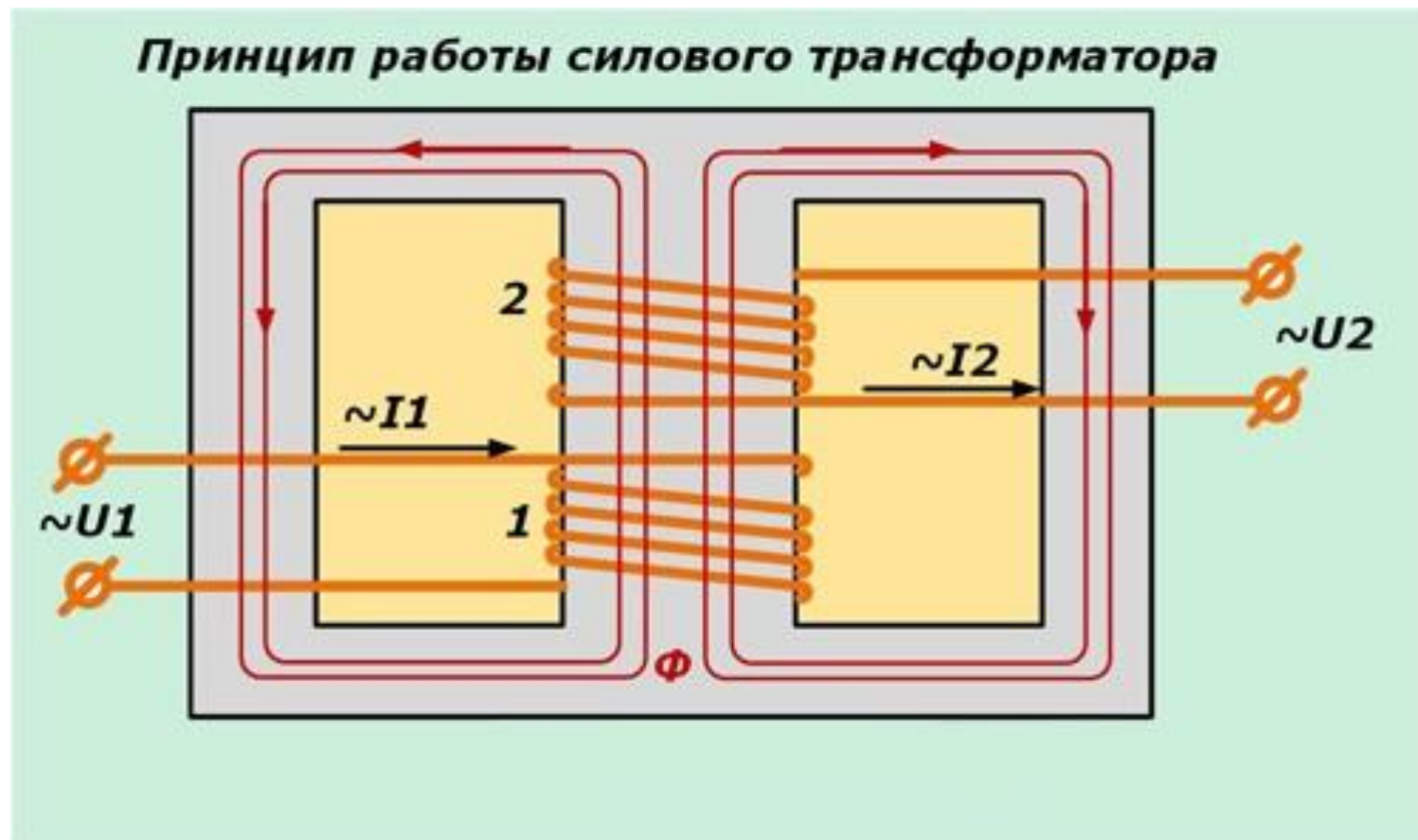
- **Н** — естественное охлаждение негорючим жидким диэлектриком
- **НД** — охлаждение негорючим жидким диэлектриком с дутьем

5) Конструктивная особенность трансформатора (в обозначении может отсутствовать)

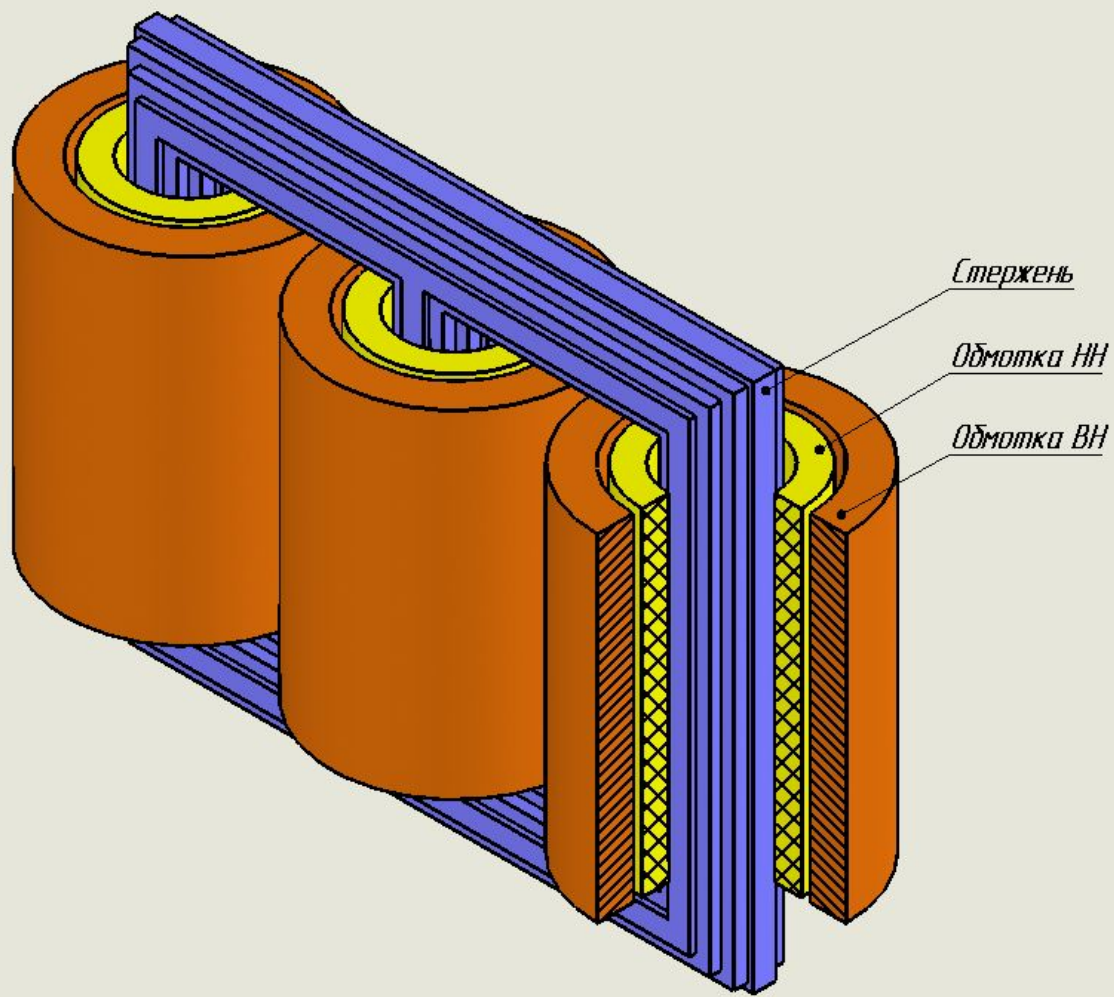
- **Л** — исполнение трансформатора с литой изоляцией;
- **Т** — трехобмоточный трансформатор (Для двухобмоточных трансформаторов не указывают);
- **Н** — трансформатор с **РПН**;
- **З** — трансформатор без расширителя и выводами, смонтированными во фланцах на стенках бака, и с азотной подушкой;
- **Ф** — трансформатор с расширителем и выводами, смонтированными во фланцах на стенках бака;
- **Г** — трансформатор в гофробаке без расширителя — «герметичное исполнение»;
- **У** — трансформатор с симметрирующим устройством
- **П** — подвешеного исполнения на опоре ВЛ
- **э** — трансформатор с пониженными потерями холостого хода (энергосберегающий)

6) Назначение (в обозначении может отсутствовать)

# Принцип работы ТС



# Конструкция ТС





# Принцип и режимы работы

## Принцип

- В основу работы силового трансформатора заложены те же законы, что и у обычного:
- Проходящий по входной обмотке электрический ток с изменяющейся по времени гармоникой колебаний наводит внутри магнитопровода меняющееся магнитное поле.
- Изменяющийся магнитный поток, пронизывая витки второй обмотки, наводит в них ЭДС.

## Режимы работы

- При эксплуатации и проверках силовой трансформатор может оказаться в рабочем или аварийном режиме.  
**Рабочий режим** создается подключением источника напряжения к первичной обмотке, а нагрузки — ко вторичной. При этом величина тока в обмотках не должна превышать расчетных допустимых значений. В этом режиме силовой трансформатор должен длительно и надежно питать все подключенные к нему потребители.

- Разновидностями рабочего режима являются опыт холостого хода и короткого замыкания, создаваемые для проверок электрических характеристик.

**Холостой ход** создается размыканием вторичной цепи для исключения протекания в ней тока. Он используется для определения:

- КПД;
- коэффициента трансформации;
- потерь в стали на намагничивание сердечника.

**Опыт короткого замыкания**, создается шунтированием накоротко выводов вторичной обмотки, но с заниженным напряжением на входе в трансформатор до величины, способной создать вторичный номинальный ток без его превышения. Этот способ используют для определения потерь в меди.

**К аварийным режимам** трансформатора относятся любые нарушения его работы, приводящие к отклонению рабочих параметров за границы допустимых для них значений. Особенно опасным считается короткое замыкание внутри обмоток.

- Аварийные режимы приводят к пожарам электрооборудования и развитию необратимых последствий. Они способны причинить огромный ущерб энергосистеме.
- Поэтому для предотвращения подобных ситуаций все силовые трансформаторы снабжаются устройствами автоматики, защит и сигнализации, которые предназначены для поддержания нормальной работы первичной схемы и быстрого отключения ее со всех сторон при возникновении неисправностей.

# Защита от внутренних повреждений ТС

Важным элементом масляной системы является газовое реле. Его монтируют внутри трубопровода, соединяющего основной бак трансформатора с расширительным. За счет этого все газы, выделяемые при нагреве из масла и органической изоляции, проходят через емкость с чувствительным элементом газового реле.

Этот датчик отстроен от работы на очень маленькое, допустимое газообразование, но срабатывает при его увеличении в два этапа:

1. на выдачу светового/звукового предупредительного сигнала обслуживающему персоналу о возникновении неисправности при достижении уставки первой ступени;
2. на отключение силовых автоматических выключателей со всех сторон трансформатора для снятия напряжения при бурном газообразовании, свидетельствующем о начале мощных процессов разложения масла и органической изоляции, начинающихся при коротких замыканиях внутри бака.

Дополнительная функция газового реле — контроль уровня масла в баке трансформатора. При снижении его до критической величины газовая защита может отработать в зависимости от настройки:

- только на сигнал;
- на отключение с выдачей сигнала.



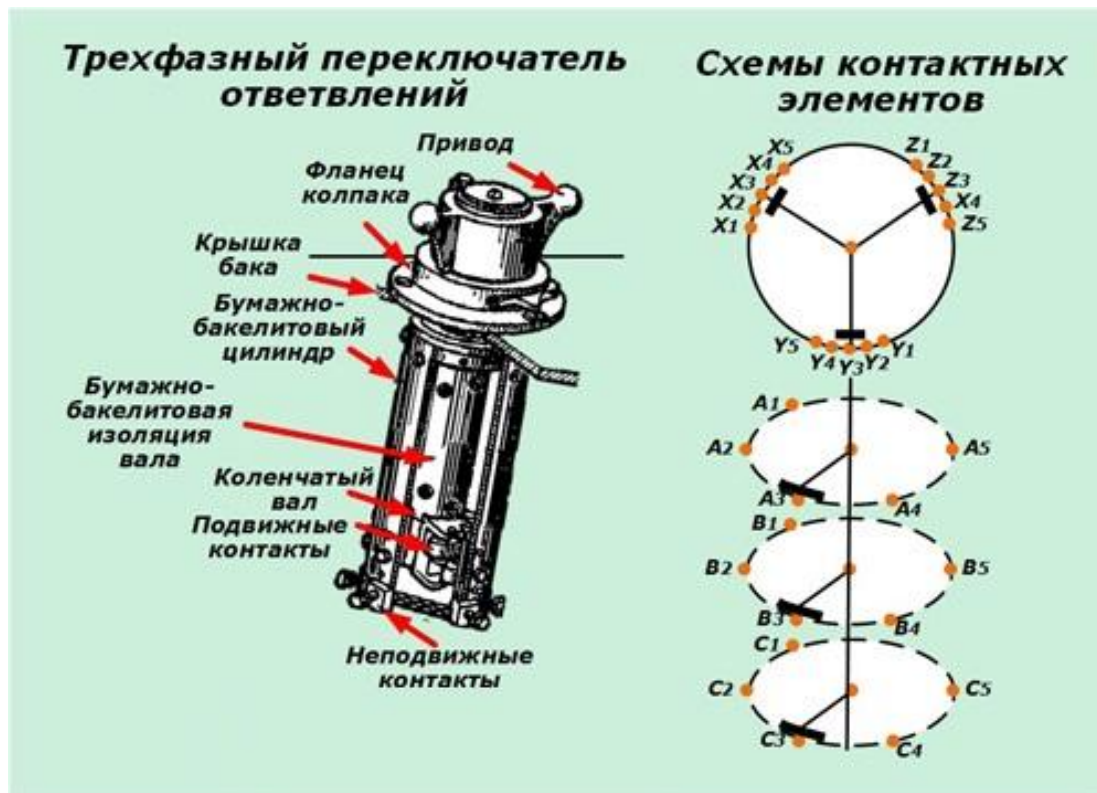
# Защита от аварийного повышения давления внутри бака

- На крышке трансформатора так монтируется выхлопная труба, чтобы ее нижний конец сообщался с емкостью бака, а масло поступало внутрь до уровня в расширителе. Верхняя часть трубы возвышается над расширителем и отводится в сторону, немного загибается вниз. Ее конец герметично закрыт стеклянной предохранительной мембраной, которая разрушается при аварийном повышении давления из-за возникновения нерасчетного нагрева.
- Другая конструкция подобной защиты основана на монтаже клапанных элементов, которые открываются при повышении давления и закрываются при его сбросе.
- Еще один вид — сильфонная защита. Она основана на быстром сжатии сильфона при резком повышении газа. В результате сбивается защелка, удерживающая боек, который в нормальном положении находится под воздействием сжатой пружины. Освобожденный боек разбивает стеклянную мембрану и тем самым осуществляет сброс давления.

# Способы регулирования выходного напряжения

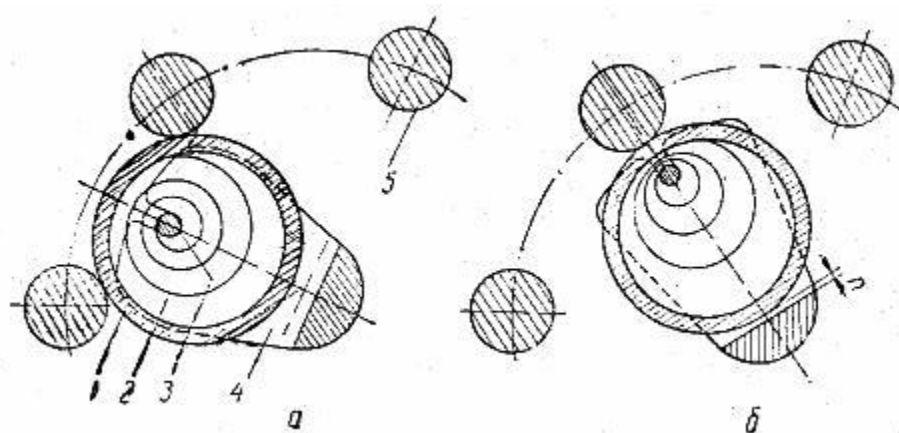
- Существуют два типа переключателей, позволяющие изменять количество витков на каждой обмотке:
  - 1. с отключением нагрузки;
  - 2. под нагрузкой.
- Первый способ требует больше времени на выполнение и не пользуется популярностью.
- Переключения под нагрузкой обеспечивают более легкое управление электрическими сетями за счет непрерывного электроснабжения подключенных потребителей. Но, для его выполнения необходимо иметь усложненную конструкцию переключателя, который наделяется дополнительными функциями:
  - осуществление переходов между ответвлениями без разрыва токов нагрузки за счет подключения двух соседних контактов на момент переключения;
  - ограничение тока короткого замыкания внутри обмотки между подключаемыми ответвлениями во время их одновременного включения.

# ПБВ



Для осуществления возможности регулировки величины выходного напряжения на обмотках делают ответвления. Систему регулирования напряжения создают с возможностью изменения номинальной величины в пределах  $\pm 5\%$ . Для этого выполняют пять ступеней по  $2,5\%$  в каждой. Для коммутации ответвлений используют трехфазный переключатель. Пример на рисунке

# РПН

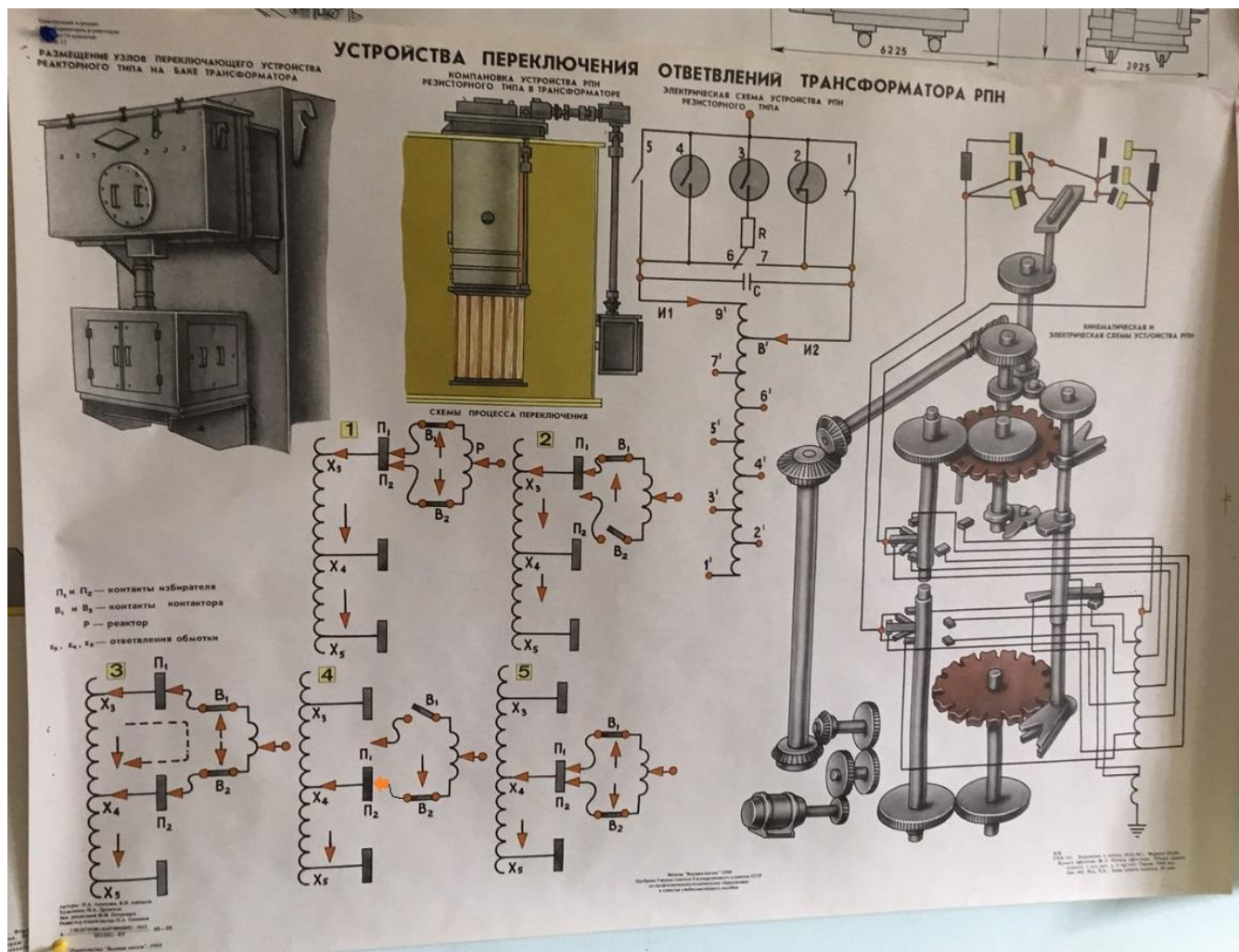


Кольцевой контакт: а - рабочее положение, б - промежуточное положение, 1 - контактное кольцо, 2 - спиральная ленточная пружина, 3 - ось пружины, 4 - коленчатый вал, 5 - контактный стержень

Схема встроенного РПН для обмоток высшего напряжения 35 кВ для одной фазы трансформатора. Схема для обмоток 110 кВ отличается тем, что регулировочные катушки находятся не в середине обмотки, а в нейтрали и звезда образуется соединением средних точек реакторов трех фаз.

Следует отметить, что встроенное регулирование напряжения под нагрузкой в автотрансформаторах осуществляется в средней части обмоток, а не со стороны нейтрали.

# РПН



# Работа РПН трансформатора

- Вначале размыкается контактор В2, затем обесточенная ветвь переключателем П2 переводится на контакт Х4. После этого вновь включается контактор В2, в результате чего переключающая секция, через контакты Х3 и Х4 теперь оказывается замкнутой на себя. Для ограничения тока в этой секции и служит реактор Р. Затем размыкается контактор В1 верхней параллельной ветви и обесточенный переключатель П1 тоже переводится на контакт Х4. После этого включается контактор В11 и процесс переключения одной ступени заканчивается.
- Три сдвоенных переключателя П1 - П6 помещаются внутри бака трансформатора, так как они работают без тока. Контакторы В1 - В6 помещаются в отдельном баке с маслом, укрепленном на боковой стенке бака трансформатора. Каждая группа из трех переключателей и контакторов приводится в действие одновременно при помощи одного общего вала. Переключение производится одновременно на трех фазах.
- Необходимая последовательность работы контактора и переключателей достигается соответственной установкой кулачковой шайбы.
- Устройства РПН снабжают приводным механизмом, который приводится в действие электродвигателями постоянного или переменного тока.
- Переключение ступеней РПН производится дистанционно со щита управления, а также может производиться автоматически под действием реле напряжения. Кроме того, предусматривается возможность ручного управления при помощи рычажной рукоятки в случае неисправности моторного привода или отсутствия электропитания.
- При работе переключающего устройства от моторного привода одно полное переключение на соседнюю ступень продолжается около 3 секунд.



# Схемы соединений

Для подключения обмоток одной стороны напряжения между собой используют схемы:

- звезды;
- треугольника;
- зигзага.

При этом концы каждой обмотки маркируют буквами латинского алфавита, как показано в таблице.

Тип трансформатора	Сторона обмотки								
	Низкого напряжения			Среднего напряжения			Высокого напряжения		
	начало	конец	нейтраль	начало	конец	нейтраль	начало	конец	нейтраль
Однофазный	a	x	—	At	Xt	—	A	X	—
Две обмотки три фазы	a	x	0	—	—	—	A	X	0
	b	y		—	—	—	B	Y	
	c	z		—	—	—	C	Z	
Три обмотки три фазы	a	x		At	Xt		A	X	
	b	y	0	Bt	Yt	0	B	Y	0
	c	z		Ct	Xt		C	Z	

# Группы соединений

- Группа соединений обмоток трансформатора характеризует взаимную ориентацию напряжений первичной и вторичной обмоток. Изменение взаимной ориентации этих напряжений осуществляется соответствующей перемаркировкой начал и концов обмоток.
- В однофазных трансформаторах возможны две группы соединений, соответствующих углам сдвига  $0$  и  $180^\circ$ . На практике для удобства обозначения групп используют циферблат часов. Напряжение первичной обмотки  $U_1$  изображают минутной стрелкой, установленной постоянно на цифре 12, а часовая стрелка занимает различные положения в зависимости от угла сдвига между  $U_1$  и  $U_2$ . Сдвиг  $0^\circ$  соответствует группе 0, а сдвиг  $180^\circ$  - группе 6
- В трехфазных трансформаторах можно получить 12 различных групп соединений обмоток.
- Из двенадцати возможных групп соединений обмоток трехфазных трансформаторов стандартизованы две: 0 и 11. Они, как правило, и применяются на практике.
- В соответствии с ГОСТ 11677-85 силовые трансформаторы 10(6)/0,4 кВ мощностью от 25 до 250 кВА могут изготавливать с такими схемами соединения обмоток:
  - «звезда/звезда» –  $Y/Y_n$ ;
  - «треугольник–звезда» –  $D/Y_n$ ;
  - «звезда–зигзаг» –  $Y/Z_n$ .

# Схема Звезда (Y)

- Преимущества такой схемы соединения в том, что мы можем получить 2 вида напряжения: фазное (фаза+нейтраль) и линейное. В таком соединении линейное напряжение больше фазного в  $\sqrt{3}$  раз. Зная, что фазное напряжение дает нам 220В, то умножив его на  $\sqrt{3}$  получим примерно 380В – напряжение линейное. Но что касается электрического тока, то в этом случае фазный ток равен линейному, т.к. что линейный, что фазный токи одинаково выходят из обмотки, и другого пути у него нет. Так же стоит отметить что только в соединении звезда имеется нейтральный провод, который является «уравнителем» нагрузки, чтобы напряжение не менялось и не скакало.

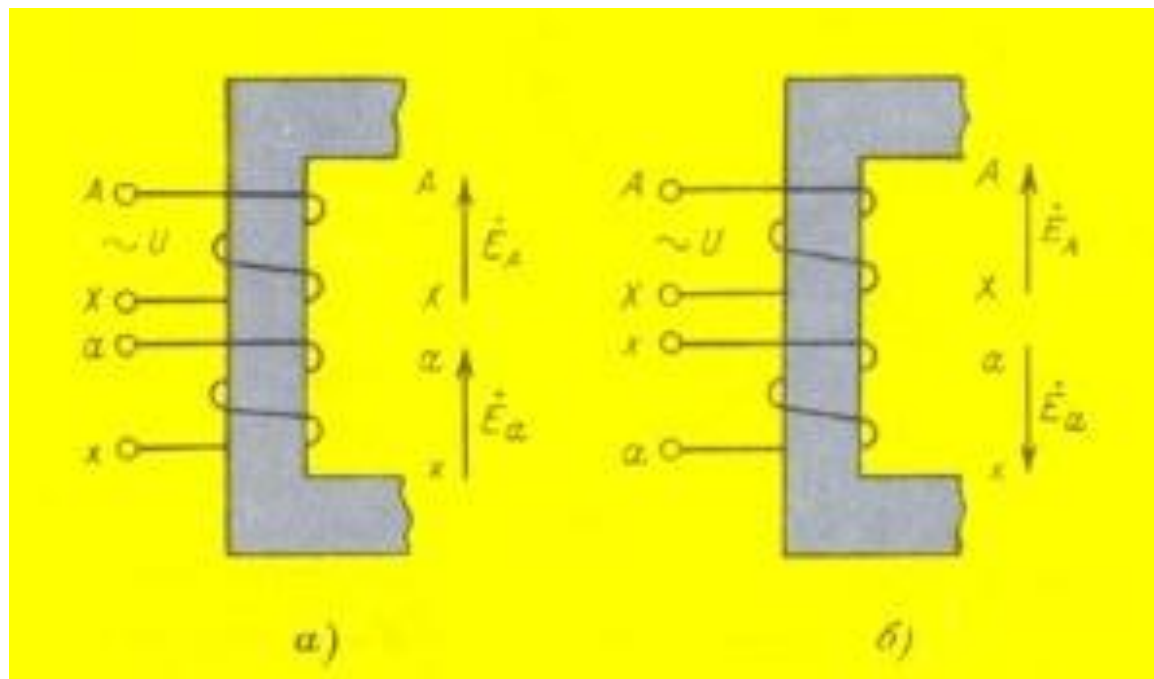
# Схема Треугольник ( $\Delta$ , D, Д)

- В основном такая схема соединения применяется для симметричной нагрузки, где по фазам нагрузка не изменяется. В таком соединении фазное напряжение равно линейному, а вот электрический ток, наоборот, в такой схеме разный. Ток линейный больше фазного тока в  $\sqrt{3}$  раз. Соединение обмотки треугольником обеспечивает баланс ампер-виток для тока нулевой последовательности. Простыми словами, схема соединения треугольником обеспечивает сбалансированное напряжение.

# Схема Зигзаг (Z)

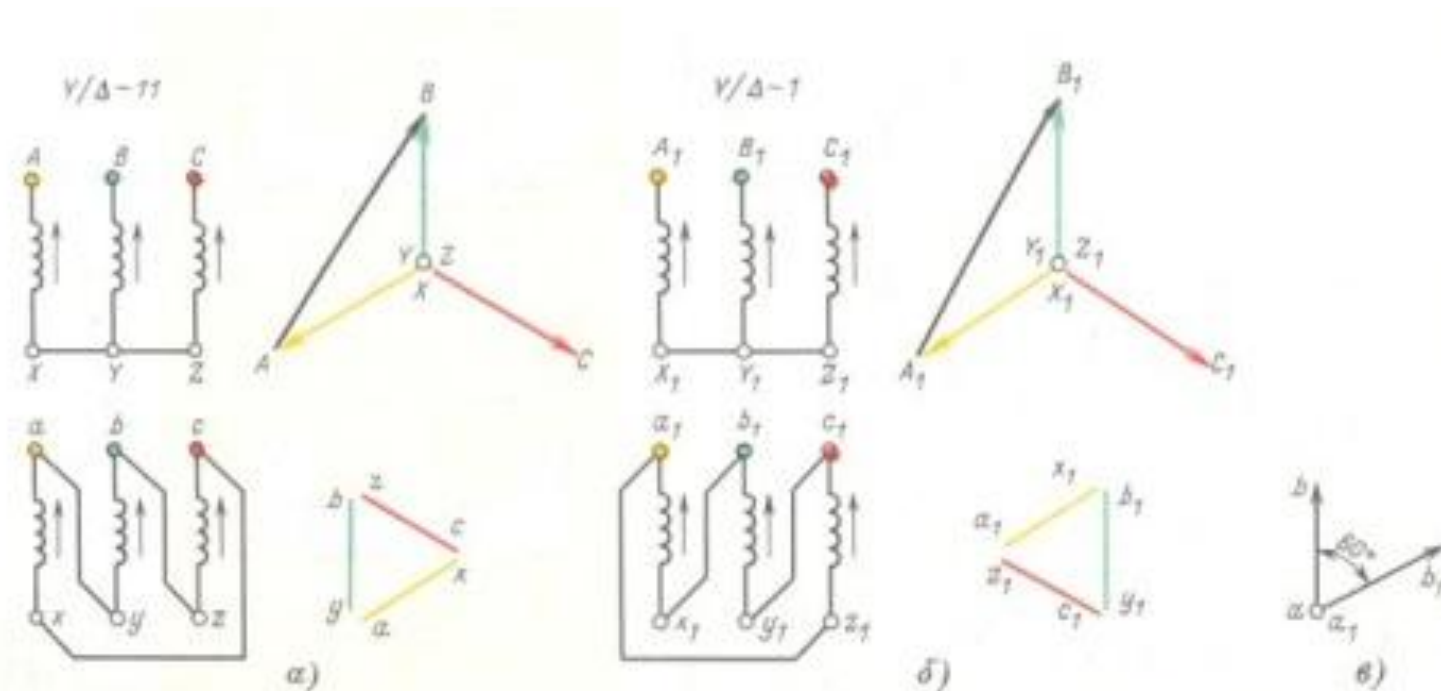
- Соединение в зигзаг применяют, чтобы неравномерную нагрузку вторичных обмоток распределить более равномерно между фазами первичной сети и даже при неравномерной нагрузке сохранить магнитное равновесие.
- Соединение в зигзаг – звезду дороже соединения в звезду, так как требует большего числа витков. Действительно, при последовательном соединении двух половин обмотки, расположенной на одном стержне, их э. д. с. складываются алгебраически, то есть в данном случае удваиваются. При соединении обмоток, расположенных на разных стержнях, э. д. с. складываются геометрически под углом  $120^\circ$  и дают э. д. с,  $\sqrt{3}$  раз больше одной из них. Следовательно, чтобы получить э. д. с. той же величины при соединении в зигзаг – звезду, нужно на 15% больше витков, чем при соединении в звезду, так как  $2 / 1,73 = 1,15$ .
- При соединении в зигзаг – звезду можно получить три напряжения, например 400, 230 и 133 В. Указанные величины относятся к холостому ходу. Под нагрузкой у потребителей напряжения будут ниже, приближаясь к номинальным напряжениям сети 380, 220 и 127 В.

# Группы соединений обмоток ТС



У каждой обмотки есть начало и конец. И хотя эти понятия условны, они имеют прямое отношение к действующей в обмотке э. д. с. Если у одной из обмоток поменять обозначения начала и конца то, принимая ориентацию э. д. с. по отношению к новому началу прежней (от  $x$  к  $a$ ), необходимо считать вектор э. д. с. повернутым на  $180^\circ$ . К такому же результату приводит и изменение направления намотки обмоток. В обмотках с односторонней намоткой (витки обеих обмоток идут от начал в правую или левую сторону) э. д. с. совпадают по направлению, при разносторонней намотке - сдвинуты на  $180^\circ$ .

# Группы соединений обмоток ТС

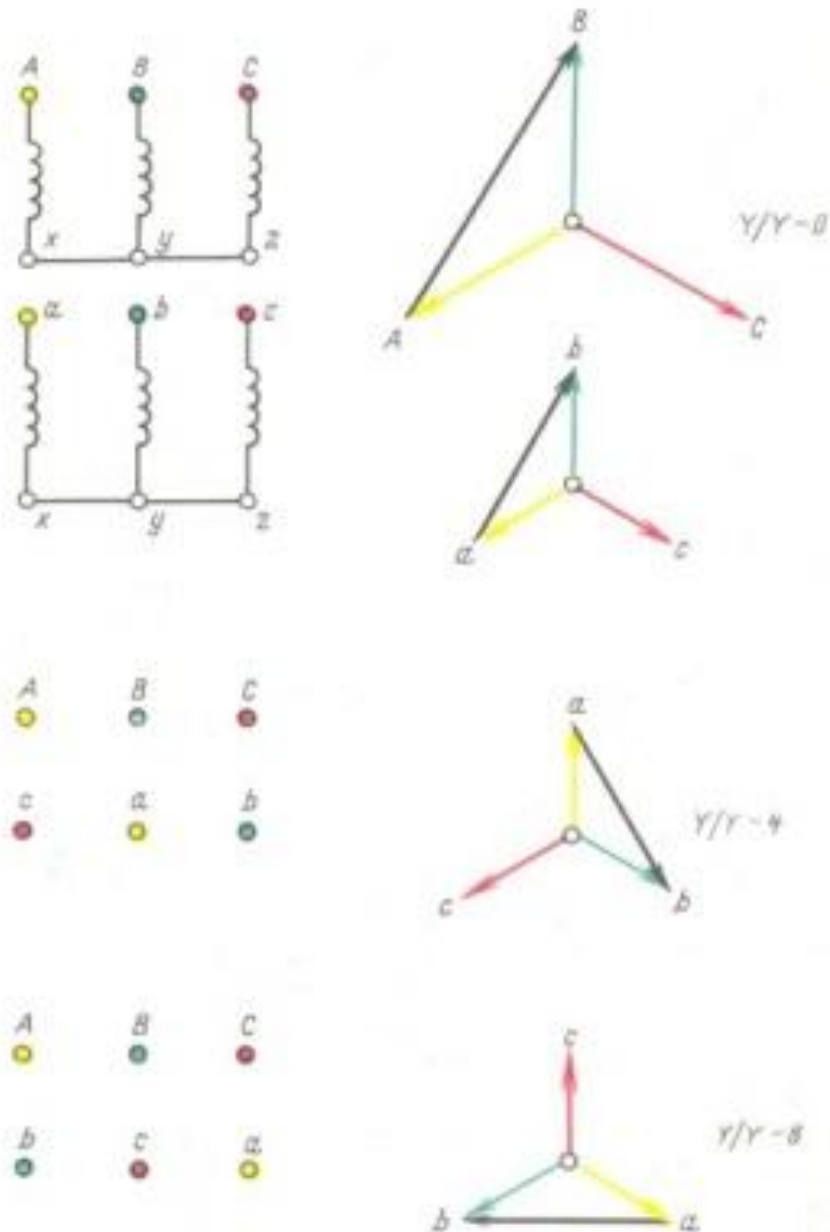


Соединение фазных обмоток треугольником в стандартном порядке: а - у; б - з: с - х. Если обмотки соединить в порядке а - з: с - у; б - х (рис.б), то векторы линейных э. д. с. НН смещаются по отношению друг к другу на  $60^\circ$  (рис. в).

Чтобы упорядочить все многообразие схем соединений обмоток трансформаторов, введено понятие о группе соединений, характеризующее угловое смещение векторов линейных э. д. с. вторичных обмоток относительно одноименных векторов линейных э. д. с. обмотки ВН, независимо от того, является ли трансформатор понижающим или повышающим. Группа соединений обозначается числом, которое при умножении на  $30^\circ$  дает угол отставания вектора э. д. с. вторичной обмотки. Если, например, схема и группа соединений трансформатора обозначена У/Д-11, то смещение векторов линейных э.д.с. равно  $330^\circ$ .

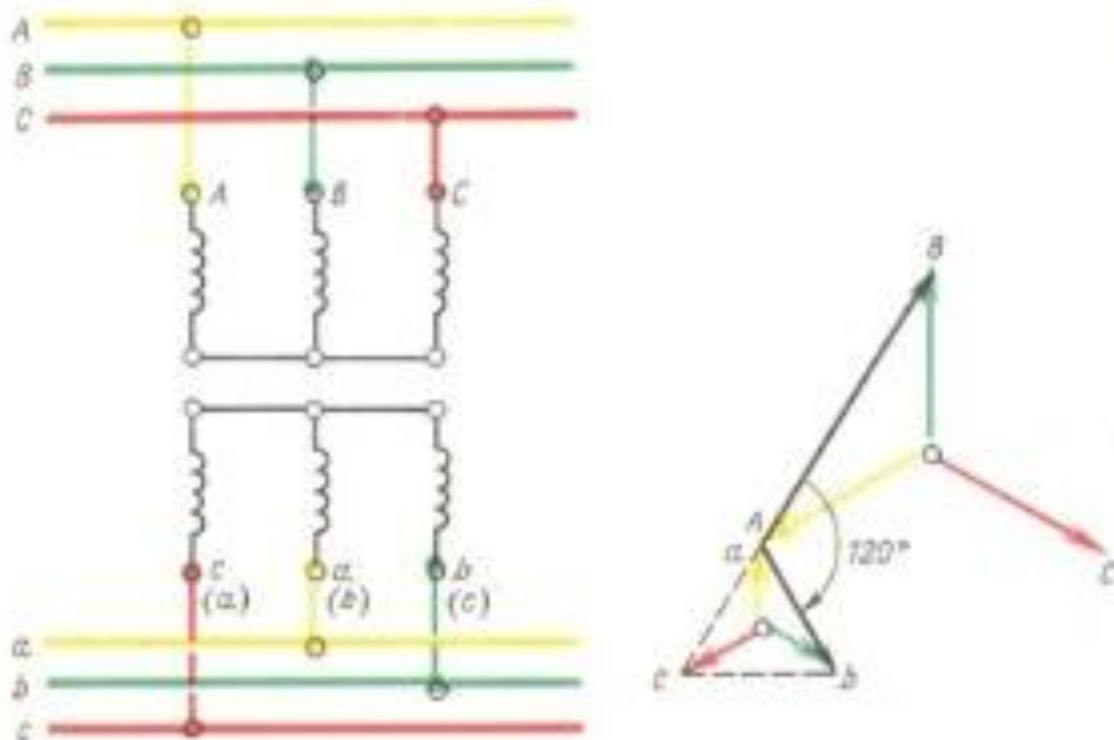
# Группы соединений ТС

В ГОСТ предусмотрены две группы соединения обмоток трехфазных двухобмоточных трансформаторов: 0 и 11. Практически могут встретиться 12 групп и, кроме того, такие соединения, которые вообще не могут быть отнесены к какой-либо определенной группе. Заметим, что нестандартные группы могут быть получены ошибочно при монтаже и ремонте оборудования без вскрытия трансформатора и пересоединения его обмоток. Для этого достаточно, например, перекрасить шины фаз или перемаркировать обозначения выводов. Типичными являются следующие случаи. При перемещении обозначений выводов фаз (циклическая перемаркировка фаз), когда по кругу меняются местами надписи на выводах трех фаз на стороне ВН или НН, группа соединений каждый раз изменяется на 4 или 8 угловых единиц.



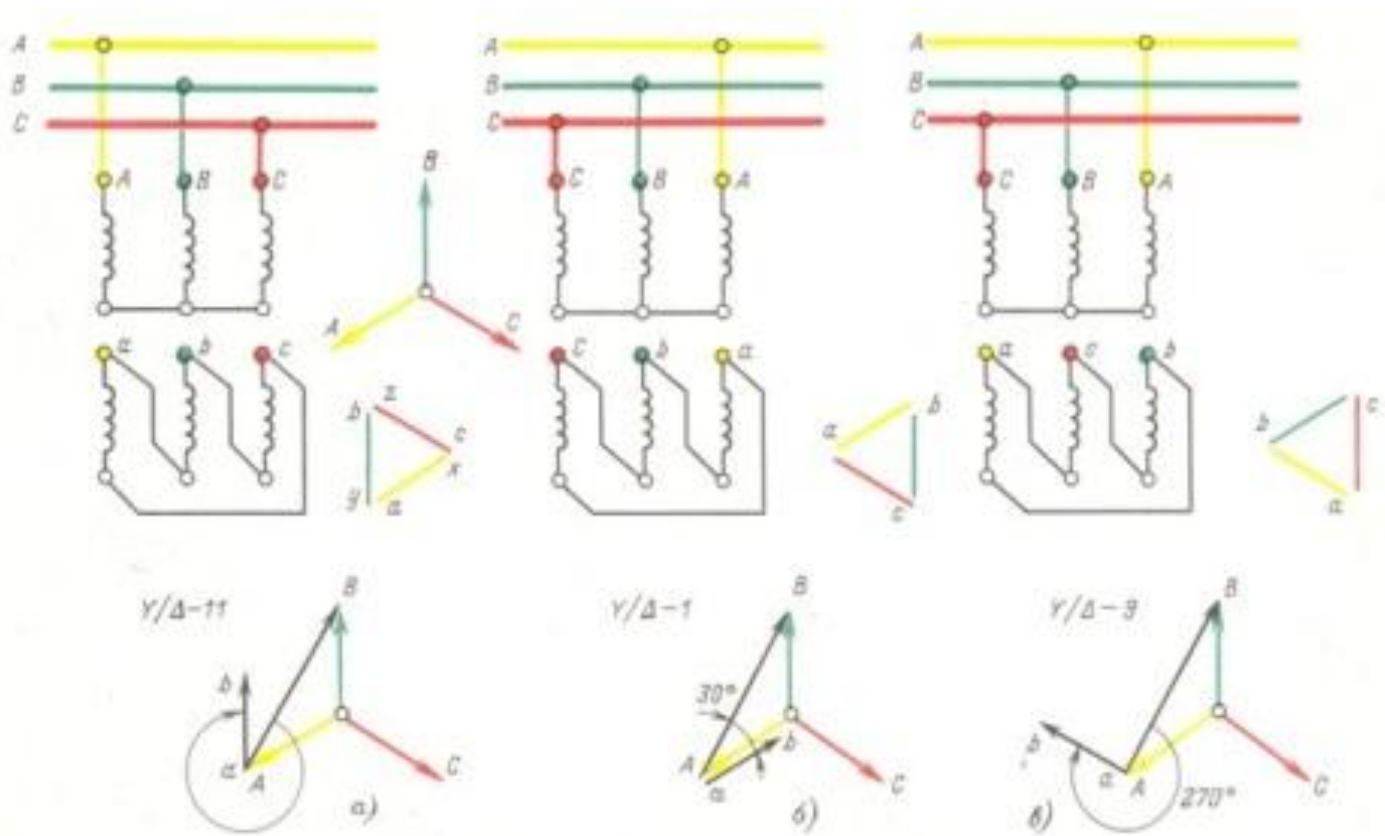


# Группы соединений ТС



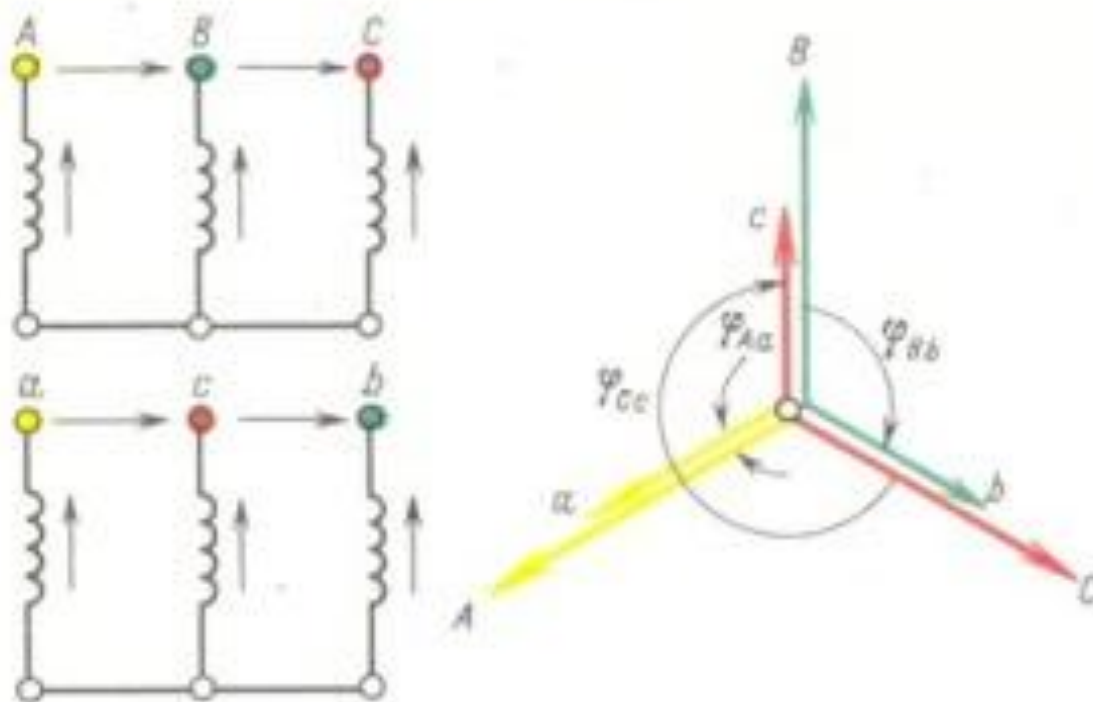
Так, при подсоединении трансформатора зажим фазы b может ошибочно оказаться подсоединенным к сборной шине фазы a, зажим фазы c - к шине фазы b и т. д. Такое подсоединение равносильно перемаркировке фаз и влечет за собой изменение исходной группы трансформатора на 4 единицы. Действительно, построение и совмещение векторных диаграмм показывает что векторы повернуты на  $120^\circ$ , или на 4 единицы.

# Группы соединений ТС



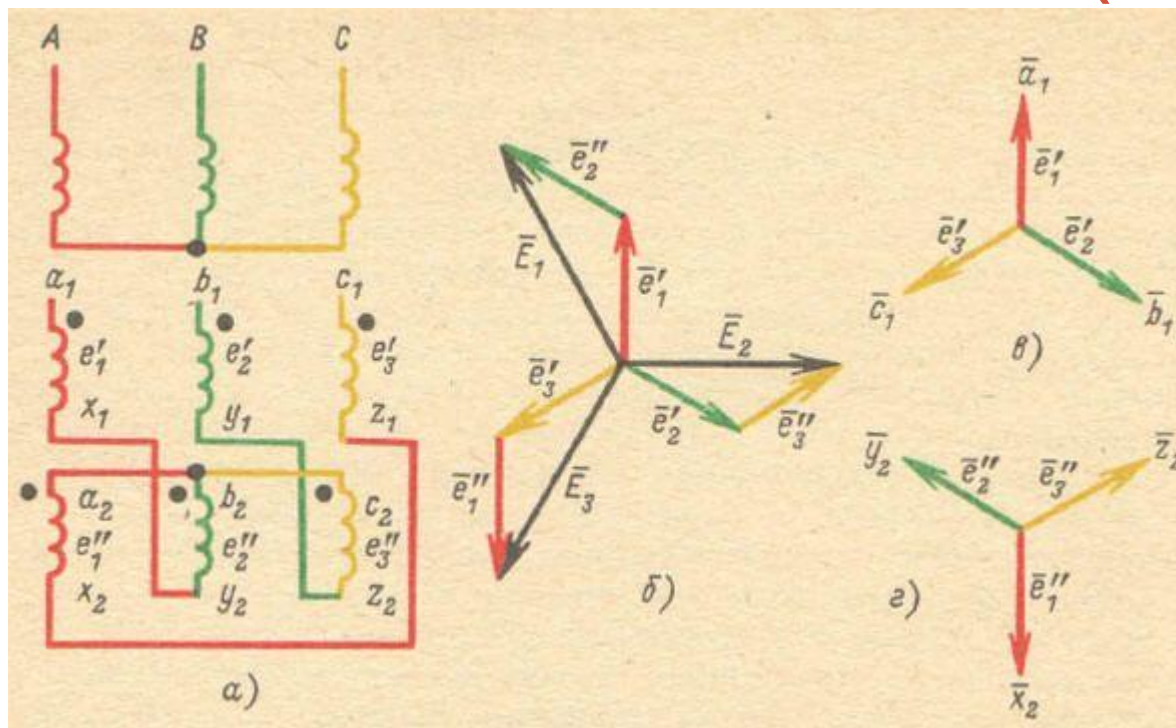
Перестановка обозначений двух фаз на стороне ВН и одновременно НН (двойная перемаркировка) у трансформатора, имеющего нечетную группу соединений, вызывает угловое смещение векторов э.д. с. вторичной обмотки относительно их первоначального положения на 60 или 300°. Величина угла зависит от того, какие две фазы на стороне ВН, а также на стороне НН перемещаются - одноименные или разноименные. На рис. показано, что достаточно поменять местами соединительные шины двух фаз А и С на стороне ВН и тех же фаз на стороне НН, как группа 11 перейдет в группу 1, а при перемене мест фаз А и С и одновременно b и c группа 11 превращается в 9.

# Группа соединений ТС



Наиболее вероятен в эксплуатационной практике случай перекрещивания шин только двух фаз на какой-нибудь одной стороне (ВН или НН), например фаз *b* и *c*. При этом изменяется порядок чередования фаз. Вместо *a - b - c* порядок чередования будет *a - c - b* (рис. 6), и углы сдвига фаз одноименных э.д.с. обмоток ВН и НН будут неодинаковы:  $jAa = 0^\circ$ ;  $jBb = 120^\circ$ ;  $jCc = 240^\circ$ . Это обстоятельство не позволяет отнести трансформатор к определенной группе соединений.

# Группа соединений Зигзаг (Z)



Первичные обмотки трансформаторов соединены в звезду, вторичные в зигзаг – звезду (рис. а). Для этого вторичная обмотка каждой фазы состоит из двух половин: одна половина расположена на одном стержне, другая – на другом. Конец, например  $x_1$ , соединен с концом (а не с началом!)  $y_2$  и так далее. Начала  $a_2$ ,  $b_2$  и  $c_2$  соединены и образуют нейтраль. К началам  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  присоединяют линейные провода вторичной сети. При таком соединении электродвижущие силы (э. д. с.) обмоток, расположенных на разных стержнях, сдвинуты на  $120^\circ$ ; векторная диаграмма э. д. с. вторичной обмотки приведена на рис. б.

Эта векторная диаграмма построена следующим способом. Предположим, что соединены концы  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $z_1$  и получена диаграмма (рис. в). Затем предположено, что соединены начала  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$ . Это соответствует диаграмме на рис. г, повернутой относительно диаграммы на рис. в, на  $180^\circ$ . Наконец, в соответствии со схемой на рис. а, произведено геометрическое сложение векторов.