

Силовые трансформаторы - устройство и принцип действия

При транспортировке электроэнергии на большие расстояния для снижения потерь используется принцип трансформации. Для этого электричество, вырабатываемое генераторами, поступает на трансформаторную подстанцию. На ней повышается амплитуда напряжения, поступающего в линию электропередачи.

Второй конец ЛЭП подключен на ввод удаленной подстанции. На ней для распределения электричества между потребителями осуществляется понижение напряжения.

На обеих подстанциях трансформацией электроэнергии больших мощностей занимаются специальные силовые устройства:

1. трансформаторы;
2. автотрансформаторы.

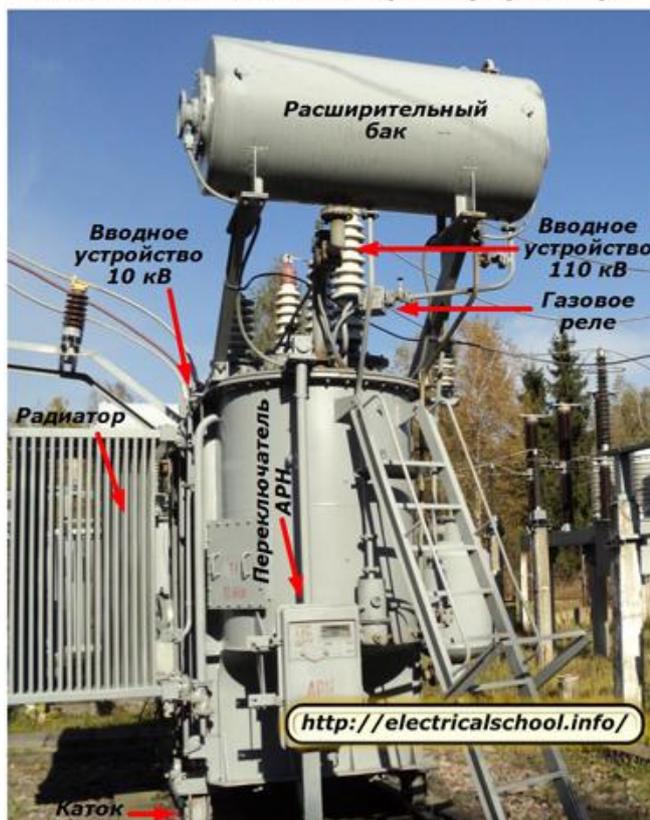
Они имеют много общих признаков и характеристик, но отличаются определенными принципами работы. Эта статья описывает только первые конструкции, у которых передача электроэнергии между разделенными обмотками происходит за счет электромагнитной индукции. При этом изменяющиеся по амплитуде гармоники тока и напряжения сохраняют частоту колебаний.

Особенности устройства

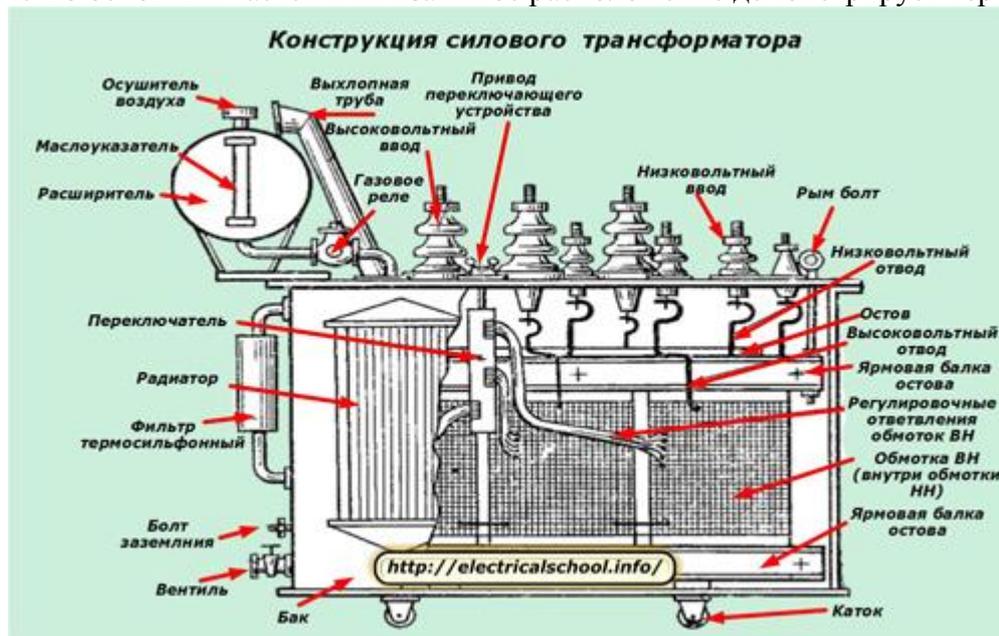
Силовые трансформаторы в энергетике устанавливаются на заранее подготовленные стационарные площадки с прочными фундаментами. Для размещения на грунте могут монтироваться рельсы и катки.

Общий вид одного из многочисленных типов силовых трансформаторов, работающего с системами напряжений 110/10 кВ и обладающего величиной полной мощности 10 МВА, показан на фотографии ниже.

Общий вид силового трансформатора



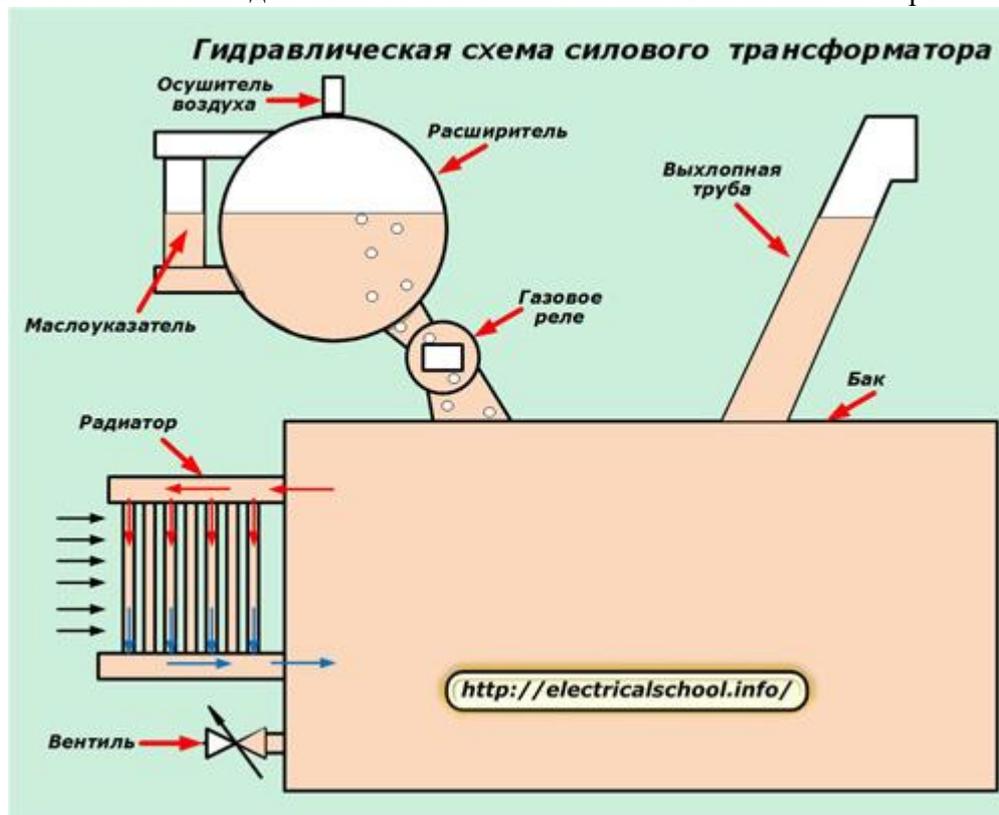
Отдельные ярко выраженные элементы его конструкции снабжены подписями. Более подробно устройство основных частей и их взаимное расположение демонстрирует чертеж.



Электрическое оборудование трансформатора размещается внутри металлического корпуса, изготовленного в форме герметичного бака с крышкой. Он заполнен специальным сортом трансформаторного масла, которое обладает высокими диэлектрическими свойствами и, одновременно, используется для отвода тепла от деталей, подвергаемых большим токовым нагрузкам.

Гидравлическая схема трансформатора

Упрощенно состав и взаимодействие ее основных элементов показано на картинке.



Для залива/слива масла используются специальные задвижки и вкручивающаяся пробка, а запорный вентиль, расположенный внизу бака, предназначен для отбора проб масла и последующего проведения его химического анализа.

Принципы охлаждения

В силовом трансформаторе образовано два контура циркуляции масла:

1. внешний;
2. внутренний.

Первый контур представлен радиатором, состоящим из верхнего и нижнего коллекторов, соединенных системой металлических трубок. Через них проходит нагретое масло, которое, находясь в магистралях охладителя, остывает и возвращается в бак.

Внутри бака циркуляция масла может производиться:

- естественным путем;
- принудительно за счет создания давления в системе насосами.

Часто поверхность бака увеличивается за счет создания гофр — специальных металлических пластин, улучшающих теплообмен между маслом и окружающей атмосферой.

Забор тепла от радиатора в атмосферу может выполняться обдувом системой вентиляторов или без них за счет свободной конвекции воздуха. Принудительный обдув эффективно повышает теплосъем с оборудования, но увеличивает затраты энергии на эксплуатацию системы. Они могут снизить нагрузочную характеристику трансформатора до 25%.

Тепловая энергия, выделяемая современными трансформаторами повышенной мощности, достигает огромных величин. Об ее размере может служить тот факт, что сейчас за ее счет стали реализовывать проекты отопления промышленных зданий, расположенных рядом с постоянно работающими трансформаторами. В них поддерживаются оптимальные условия работы оборудования даже в зимнее время.

Контроль уровня масла в трансформаторе

Масло постоянно циркулирует внутри бака. Его температура зависит от целого комплекса воздействующих факторов. Поэтому объем его все время изменяется, но поддерживается в определенных границах. Для компенсации объемных отклонений масла служит расширительный бачок. В нем удобно наблюдать текущий уровень.

Для этого используется маслоуказатель. Наиболее простые устройства изготавливают по схеме сообщающихся сосудов с прозрачной стенкой, заранее проградуированной в единицах объема.

Подключения такого маслоуказателя параллельно расширительному баку вполне достаточно для контроля эксплуатационных характеристик. На практике встречаются и другие, отличные от этого принципа работы маслоуказатели.

Защита от проникновения влаги

Поскольку верхняя часть расширительного бака контактирует с атмосферой, то в ней устанавливают осушитель воздуха, препятствующий проникновению влаги внутрь масла и снижению его диэлектрических свойств.

Защита от внутренних повреждений

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 величины;
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.

Электрическая схема силового трансформатора

Внутри корпуса бака размещаются:

- остов с верхней и нижней балкой;
- магнитопровод;

- обмотки высокого и низкого напряжения;
- регулировочные ответвления обмоток;
- низковольтный и высоковольтный отводы
- нижняя часть вводов высокого и низкого напряжения.

Остов вместе с балками служит для механического закрепления всех составных деталей.

Конструкция внутренних элементов Магнитопровод служит для снижения потерь магнитному потоку, проходящему через обмотки. Его изготавливают из сортов электротехнической стали шихтованным способом.

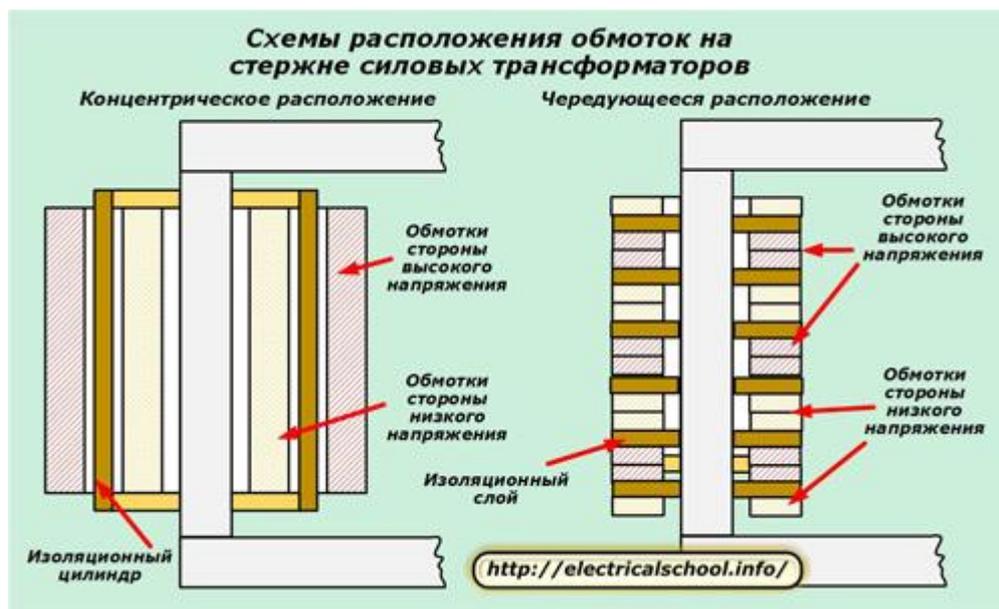


По обмоткам фаз трансформатора протекает ток нагрузки. Материалами для их изготовления выбирают металлы: медь или алюминий с круглым либо прямоугольным сечением. Для изоляции витков используют специальные сорта кабельной бумаги или хлопчатобумажную пряжу.

Концентрические намотанные обмотки выполняют в виде цилиндров, расположенных один в другом. Для стороны высокого напряжения (ВН) создается непрерывная или многослойная обмотка, а для низкого (НН) — винтовая и цилиндрическая.

Обмотку НН располагают ближе к стержню: так легче выполнить слой для ее изоляции. Затем на нее устанавливают специальный цилиндр, обеспечивающий изоляцию между сторонами высокого и низкого напряжения, а на него монтируют обмотку ВН.

Описанный способ монтажа показан на левой части нижерасположенной картинке с концентрическим размещением обмоток на стержне трансформатора.



С правой стороны картинки показан способ размещения чередующихся обмоток, разделяемых изоляционным слоем.

Для повышения электрической и механической прочности изоляции обмоток их поверхность пропитывают специальным сортом глифталевого лака.

Для подключения обмоток одной стороны напряжения между собой используют схемы:

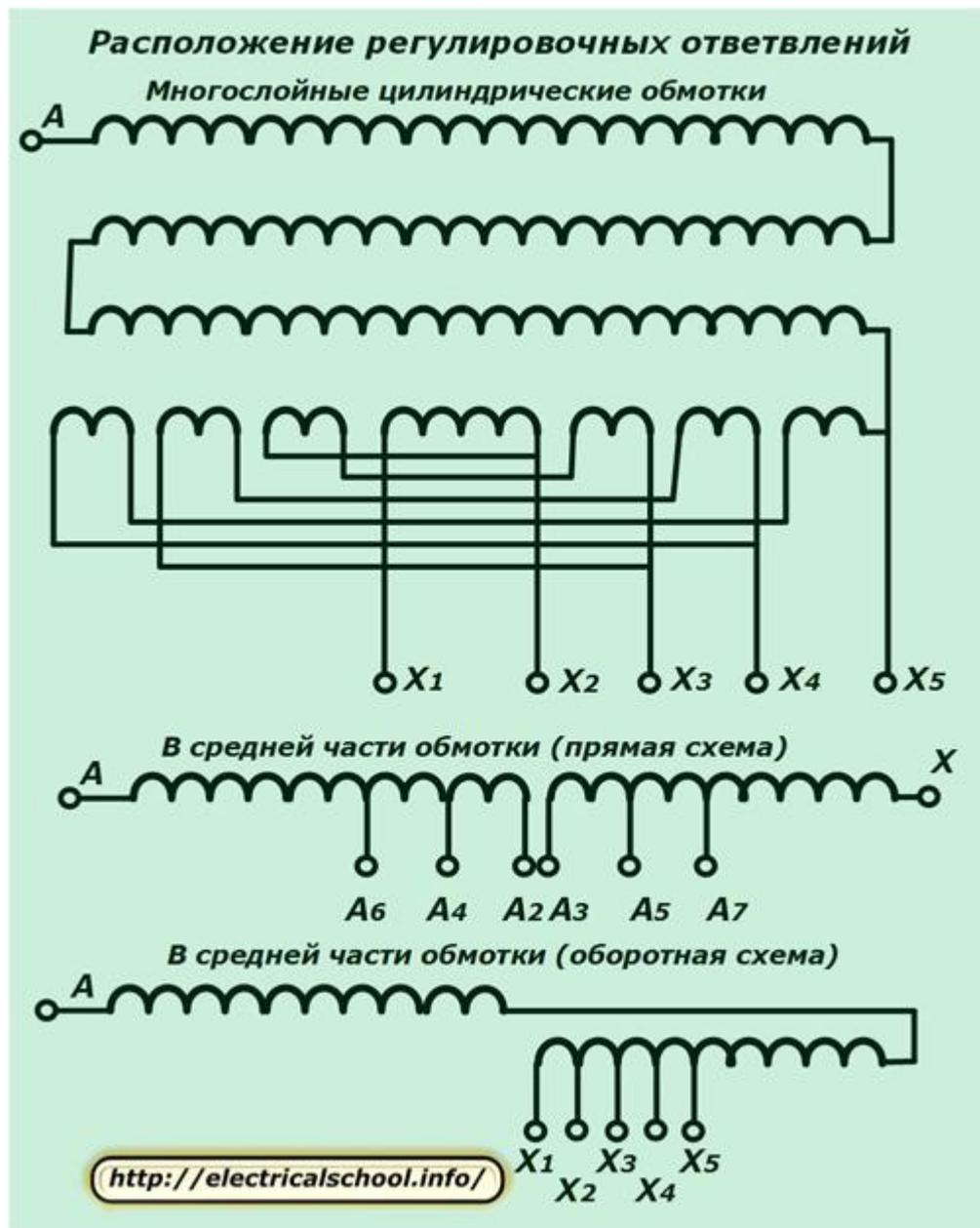
- звезды;
- треугольника;
- зигзага.

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 | | Yt | 0 | B | Y | 0 |
| | c | Z | | | Zt | | C | Z | |

Выводы от обмоток подключают к соответствующим токоотводам, которые монтируются на шпильки проходных изоляторов, расположенных на крышке бака трансформатора.

Для осуществления возможности регулировки величины выходного напряжения на обмотках делают ответвления. Один из вариантов выполнения регулировочных ответвлений показан на схеме.



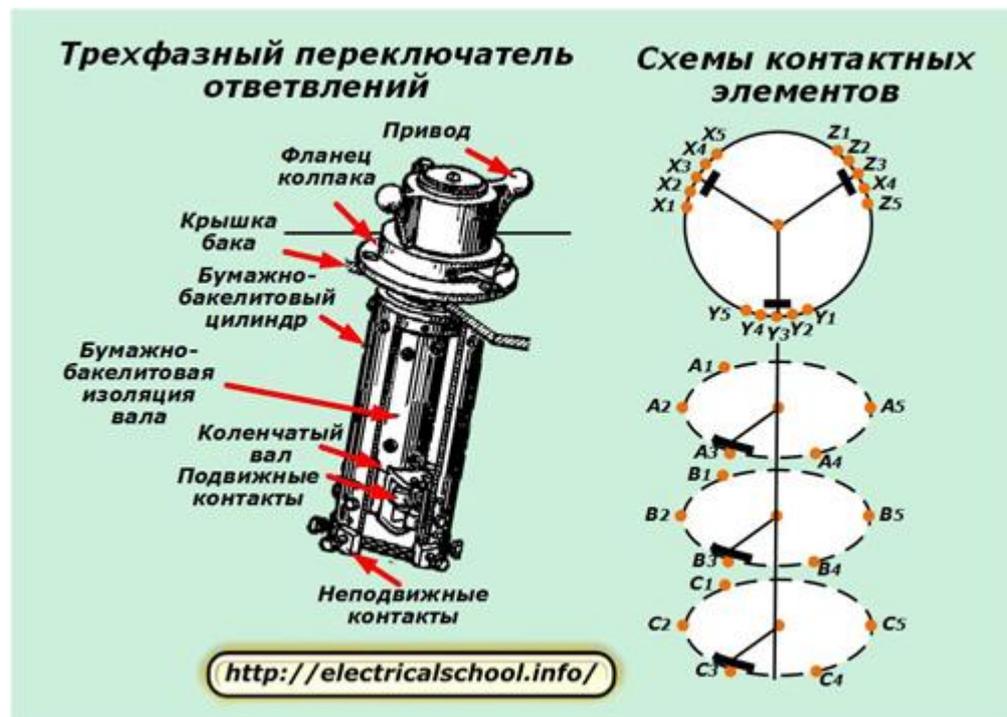
Систему регулирования напряжения создают с возможностью изменения номинальной величины в пределах $\pm 5\%$. Для этого выполняют пять ступеней по 2,5% в каждой.

У мощных силовых трансформаторов регулирование обычно создают на обмотке высокого напряжения. Это упрощает конструкцию переключателя ответвлений и позволяет повышать точность выходных характеристик за счет большего числа витков на этой стороне.

Для многослойных цилиндрических обмоток регулировочные ответвления выполняют на внешнем стороне слоя у окончания обмотки и компонуют их симметрично на одинаковой высоте относительно ярма.

У отдельных конструкций трансформаторов ответвления делают в средней части. При использовании оборотной схемы одна половина обмотки выполняется с правой намоткой, а вторая — с левой.

Для коммутации ответвлений используют трехфазный переключатель.



У него есть система неподвижных контактов, которые подключены к ответвлениям обмоток, и подвижных, осуществляющих коммутацию схемы за счет создания различных электрических цепей с неподвижными контактами.

Если ответвления сделаны около нулевой точки, то одним переключателем управляют работой сразу всех трех фаз. Это можно делать потому, что между отдельными частями переключателя напряжение не превышает 10% линейной величины.

Когда ответвления выполнены в средней части обмотки, то для каждой фазы используется свой, индивидуальный переключатель

Способы регулирования выходного напряжения

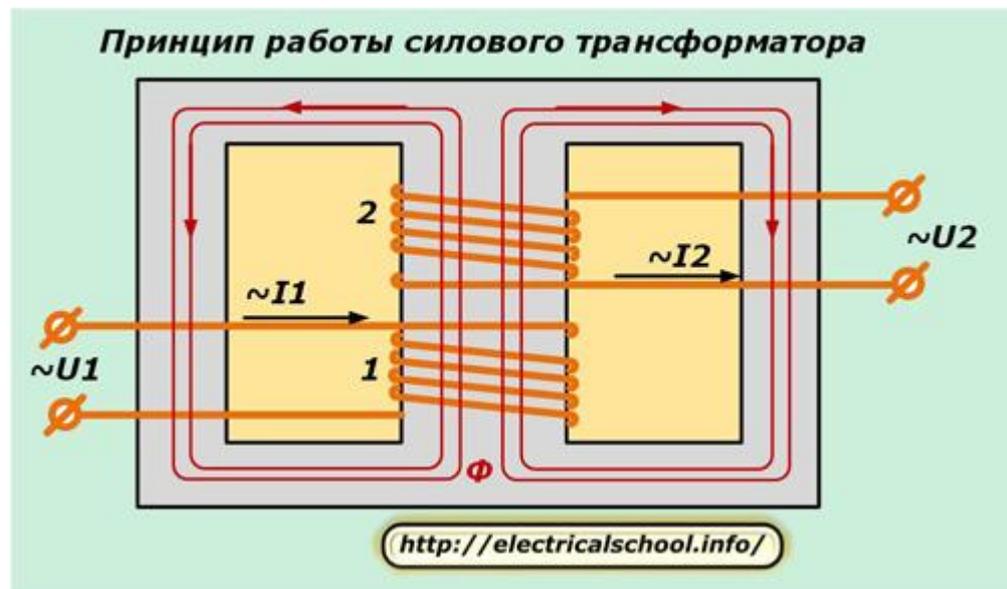
Существуют два типа переключателей, позволяющие изменять количество витков на каждой обмотке:

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.



Техническое решение этих вопросов заключается в создании переключающих устройств, работающих от дистанционного управления с применением токоограничивающих реакторов и резисторов.

На фотографии, показанной в начале статьи, у силового трансформатора используется автоматическое регулирование выходного напряжения под нагрузкой за счет создания конструкции АРН, сочетающей релейную схему управления электродвигателя с приводным механизмом и контакторами.

Принцип и режимы работы

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.