

Южно-Казахстанская государственная
фармацевтическая академия

Кафедра технология фармацевтического производства

Презентация

На тему: Назначение устройство и принцип
действия трансформатора.

Выполнил: Толеш Н
Группа: 302 ТФПК
Приняла: Бердалиева А.А

ШЫМКЕНТ, 2017 г

План

I. Введение

II. Основная часть

- Понятие о трансформаторе
- История
- Схема трансформатора
- Виды трансформатора

III. Заключение

IV. Литература

Трансформатор (от лат. *transformare* — «превращать, преобразовывать») — статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки на каком-либо магнитопроводе и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений), без изменения частоты



Трансформатор осуществляет преобразование переменного напряжения и/или гальваническую развязку в самых различных областях применения — электроэнергетике, электронике и радиотехнике.

Конструктивно трансформатор может состоять из одной (автотрансформатор) или нескольких изолированных проволочных, либо ленточных обмоток (катушек), охватываемых общим магнитным потоком, намотанных, как правило, на магнитопровод (сердечник) из ферромагнитного магнитомягкого материал.

История

Для создания трансформаторов необходимо было изучение свойств материалов: неметаллических, металлических и магнитных, создания их теории.

В 1831 году английским физиком Майклом Фарадеем было открыто явление электромагнитной индукции, лежащее в основе действия электрического трансформатора, при проведении им основополагающих исследований в области электричества. 29 августа 1831 года Фарадей описал в своём дневнике опыт, в ходе которого он намотал на железное кольцо диаметром 15 см и толщиной 2 см два медных провода длиной 15 и 18 см. При подключении к зажимам одной обмотки батареи гальванических элементов начинал отклоняться гальванометр на зажимах другой обмотки. Так как Фарадей работал с постоянным током, то, при достижении в первичной обмотке максимального значения тока, ток во вторичной обмотке исчезал и для возобновления эффекта трансформации требовалось отключить и снова подключить батарею к первичной обмотке.



Схематичное изображение будущего трансформатора впервые появилось в 1831 году в работах М. Фарадея и Д. Генри. Однако ни тот, ни другой не отмечали в своём приборе такого свойства трансформатора, как изменение напряжений и токов, то есть трансформирование переменного ток

В 1848 году французский механик Г. Румкорф изобрёл индукционную катушку особой конструкции. Она явилась прообразом трансформатора.

Александр Григорьевич Столетов (профессор Московского университета) сделал первые шаги в этом направлении. Он обнаружил петлю гистерезиса и доменную структуру ферромагнетика (1872 год).



30 ноября 1876 года, дата получения патента Павлом Николаевичем Яблочковым, считается датой рождения первого трансформатора переменного тока. Это был трансформатор с разомкнутым сердечником, представлявшим собой стержень, на который наматывались обмотки.

Первые трансформаторы с замкнутыми сердечниками были созданы в Англии в 1884 году братьями Джоном и Эдуардом Гопкинсон⁴. В 1885 г. венгерские инженеры фирмы «Ганц и К^о» Отто Блати, Карой Циперновский и Микша Дери изобрели трансформатор с замкнутым магнитопроводом, который сыграл важную роль в дальнейшем развитии конструкций трансформаторов.



1928 год можно считать началом производства силовых трансформаторов в СССР, когда начал работать Московский трансформаторный завод (впоследствии — Московский электрозавод).

В начале 1900-х английский исследователь-металлург Роберт Хедфилд провёл серию экспериментов для установления влияния добавок на свойства железа. Лишь через несколько лет ему удалось поставить заказчикам первую тонну трансформаторной стали с добавками кремния.

Следующий крупный скачок в технологии производства сердечников был сделан в начале 30-х годов XX в, когда американский металлург Норман П. Гросс установил, что при комбинированном воздействии прокатки и нагрева у кремнистой стали появляются незаурядные магнитные свойства в направлении прокатки: магнитное насыщение увеличивалось на 50 %, потери на гистерезис сокращались в 4 раза, а магнитная проницаемость возрастала в 5 раз.

Схема трансформатора

- 1 Изоляция трансформатора на основе безматричной вакуумной пропитки и работает в среде с высокой влажностью воздуха и в химически агрессивной атмосфере.
- 2 Минимальное выделение энергии горения (например, 43 кг для трансформатора 1600 кВА соответствуют 1,1% веса). Другие изоляционные материалы являются практически негорючими, самозатухающими и не содержат каких-либо токсичных добавок.
- 3 Устойчивость трансформатора к загрязнениям благодаря конвекционным самоочищающимся дискам обмотки.
- 4 Большая длина утечки по поверхности дисков обмотки, которые создают эффект изоляционных барьеров.
- 5 Устойчивость трансформатора к температурной ударной нагрузке даже при крайне низких температурах (-50°C).
- 6 Керамические блоки прокладки (без возможности возгорания) между дисками обмотки.

7 Изоляция проводников стекло-шелк.

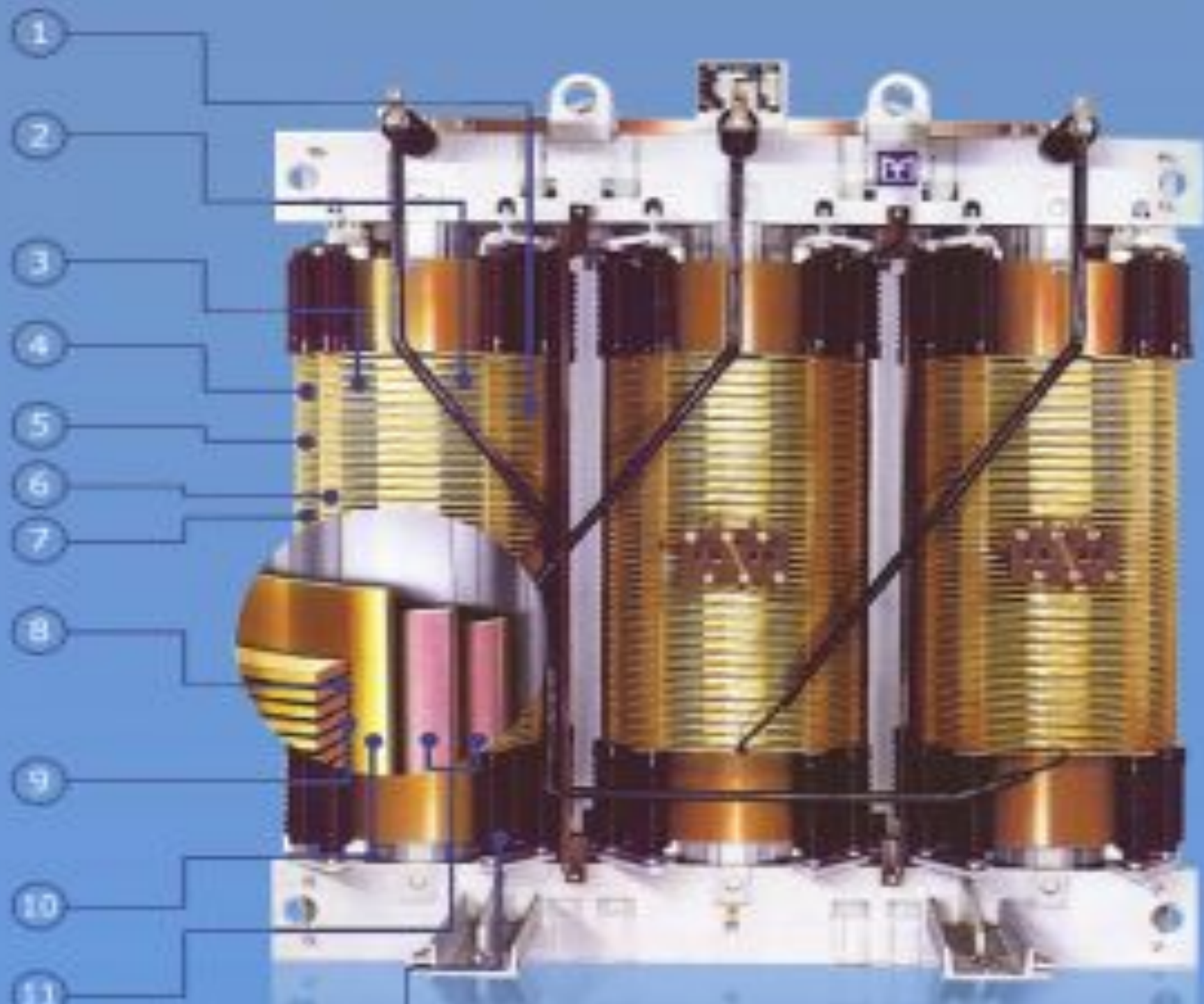
8 Безопасность эксплуатации трансформатора благодаря специальной структуре обмотки Воздействие напряжения на изоляцию никогда не превышает напряжение изоляции (не более 10 В). Частичные разряды в изоляции физически невозможны.

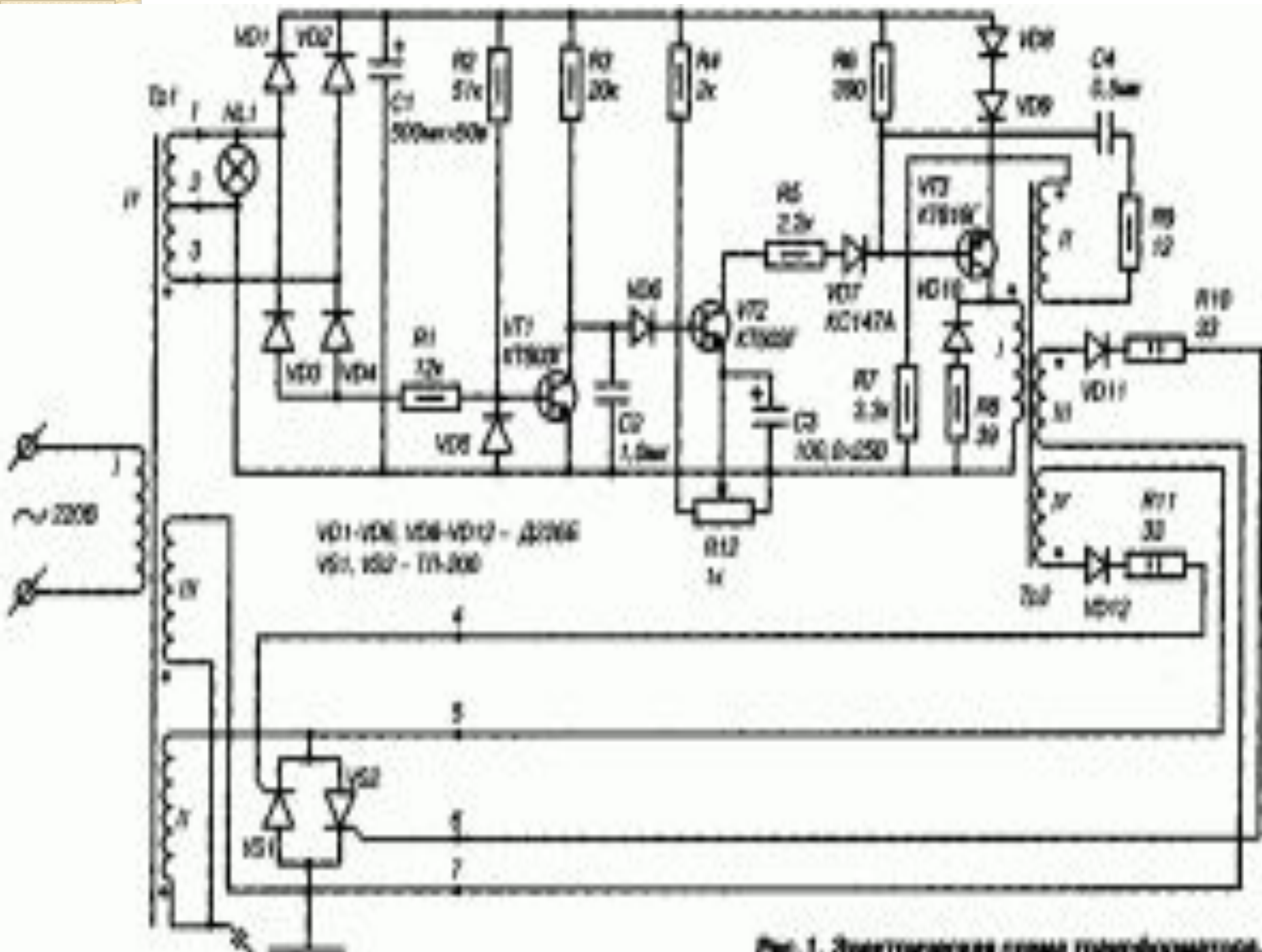
9 Охлаждение трансформатора обеспечивается вертикальными и горизонтальным каналам охлаждения, а минимальная толщина изоляции обеспечивают возможность работы трансформатора при больших кратковременных перегрузках в защитном корпусе IP 45 без принудительного охлаждения.

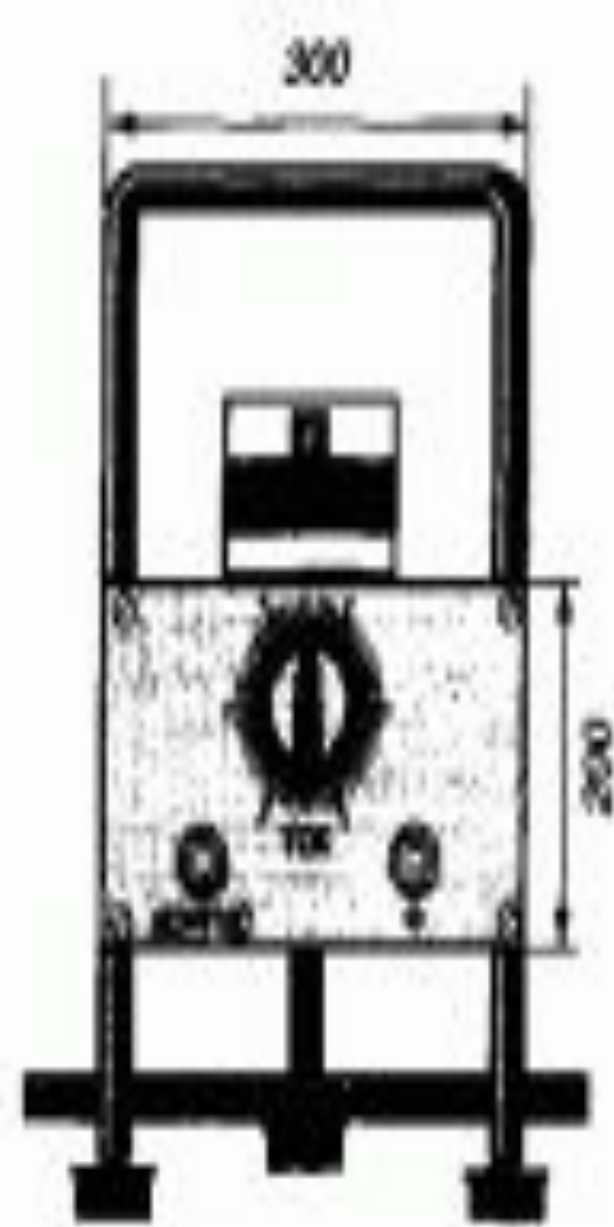
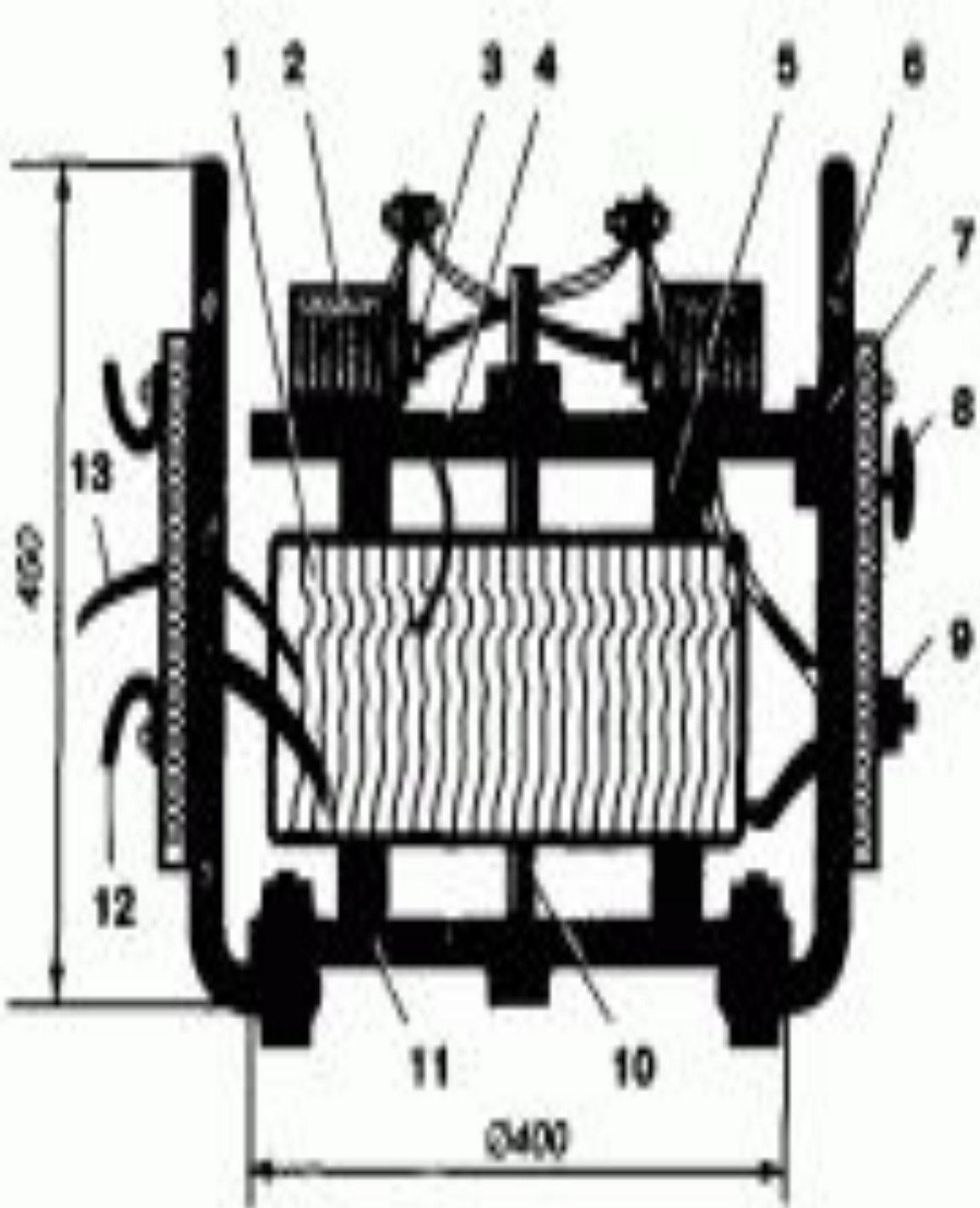
10 Изоляционный цилиндр сделан из практически негорючего и самозатухающего материала, армированного стекловолокном.

11 Обмотка низкого напряжения из стандартного провода или фольги; в качестве материала обмотки используется медь.

12 Динамическая устойчивость трансформатора к коротким замыканиям обеспечивается керамическими изоляторами.



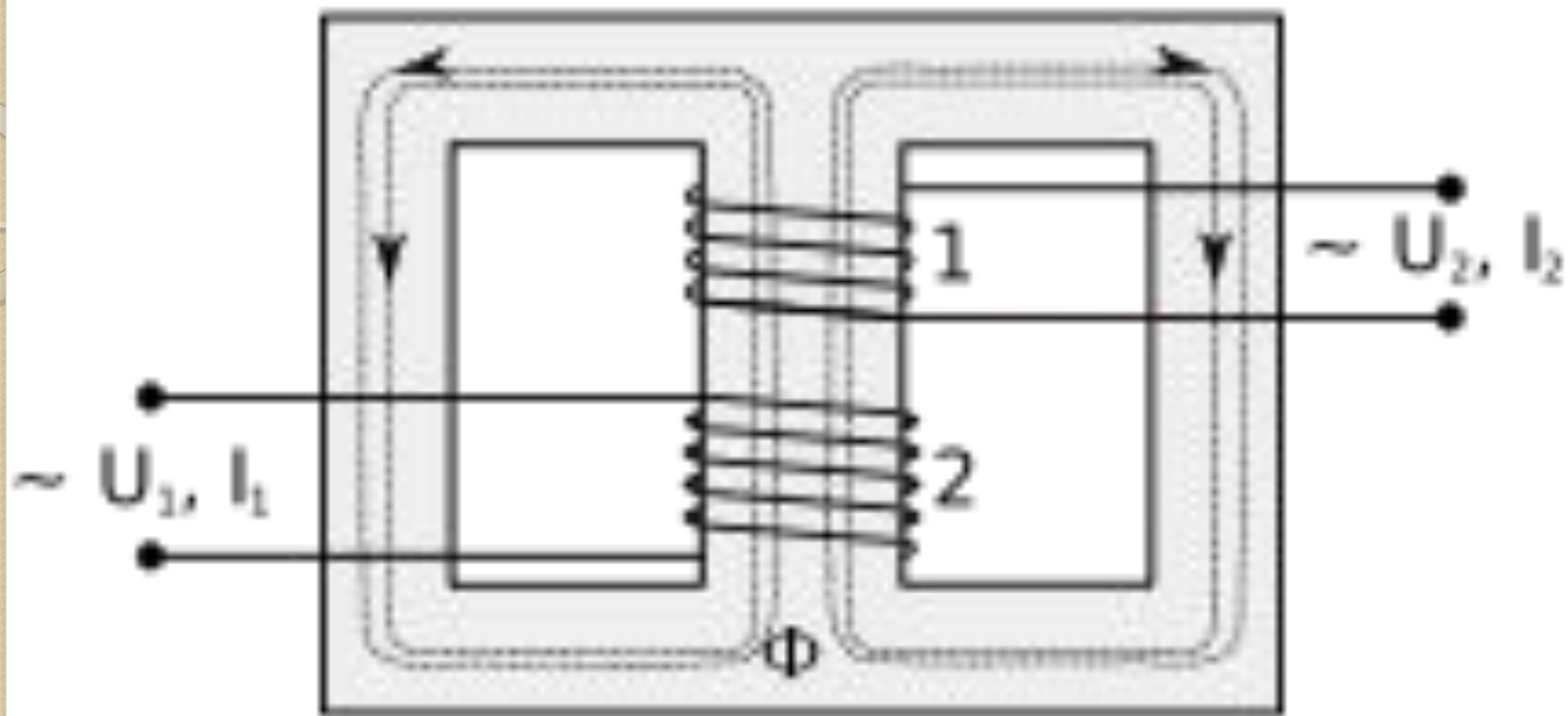




Базовые принципы действия

Работа трансформатора основана на двух базовых принципах:

- Изменяющийся во времени электрический ток создаёт изменяющееся во времени магнитное поле (электромагнетизм).
- Изменение магнитного потока, проходящего через обмотку, создаёт ЭДС в этой обмотке (электромагнитная индукция).
- На одну из обмоток, называемую *первичной обмоткой*, подаётся напряжение от внешнего источника. Протекающий по первичной обмотке переменный ток намагничивания создаёт переменный магнитный поток в магнитопроводе. В результате электромагнитной индукции переменный магнитный поток в магнитопроводе создаёт во всех обмотках, в том числе и в первичной, ЭДС индукции, пропорциональную первой производной магнитного потока, при синусоидальном токе сдвинутой на 90° в обратную сторону по отношению к магнитному потоку.



Схематическое устройство трансформатора. **1** — первичная обмотка, **2** — вторичная

В некоторых трансформаторах, работающих на высоких или сверхвысоких частотах, магнитопровод может отсутствовать.

Форма напряжения во вторичной обмотке связана с формой напряжения в первичной обмотке довольно сложным образом. Благодаря этой сложности удалось создать целый ряд специальных трансформаторов, которые могут выполнять роль усилителей тока, умножителей частоты, генераторов сигналов и т. д.

Исключение — силовой трансформатор. В случае классического трансформатора переменного тока, предложенного П. Яблочковым, он преобразует синусоиду входного напряжения в такое же синусоидальное напряжение на выходе вторичной обмотки.

Режимы работы трансформатора

- Режим холостого хода. Данный режим характеризуется разомкнутой вторичной цепью трансформатора, вследствие чего ток в ней не течёт. По первичной обмотке протекает ток холостого хода, главной составляющей которого является реактивный ток намагничивания. С помощью опыта холостого хода можно определить КПД трансформатора, коэффициент трансформации, а также потери в сердечнике (т. н. «потери в стали»).
- Режим нагрузки. Этот режим характеризуется работой трансформатора с подключённым источником в первичной, и нагрузкой во вторичной цепи трансформатора. Во вторичной обмотке протекает ток нагрузки, а в первичной — ток, который можно представить как сумму тока нагрузки (пересчитанного из соотношения числа витков обмоток и вторичного тока) и ток холостого хода. Данный режим является основным рабочим для трансформатора.
- Режим короткого замыкания. Этот режим получается в результате замыкания вторичной цепи накоротко. Это разновидность режима нагрузки, при котором сопротивление вторичной обмотки является единственной нагрузкой. С помощью опыта короткого замыкания можно определить потери на нагрев обмоток в цепи трансформатора («потери в меди»). Это явление учитывается в схеме замещения реального трансформатора при помощи активного сопротивления.

Режим холостого хода

При равенстве вторичного тока нулю (режим холостого хода), ЭДС индукции в первичной обмотке практически полностью компенсирует напряжение источника питания, поэтому ток, протекающий через первичную обмотку, равен переменному току намагничивания, нагрузочные токи отсутствуют. Для трансформатора с сердечником из магнитомягкого материала (ферромагнитного материала, трансформаторной стали) ток холостого хода характеризует величину потерь в сердечнике (на вихревые токи и на гистерезис) и реактивную мощность перемагничивания магнитопровода. Мощность потерь можно вычислить, умножив активную составляющую тока холостого хода на напряжение, подаваемое на трансформатор.

Для трансформатора без ферромагнитного сердечника потери на перемагничивание отсутствуют, а ток холостого хода определяется сопротивлением индуктивности первичной обмотки, которое пропорционально частоте переменного тока и величине индуктивности.

Напряжение на вторичной обмотке в первом приближении определяется законом Фарадея.

Режим короткого замыкания

В режиме короткого замыкания, на первичную обмотку трансформатора подаётся переменное напряжение небольшой величины, выводы вторичной обмотки соединяют накоротко. Величину напряжения на входе устанавливают такую, чтобы ток короткого замыкания равнялся номинальному (расчётному) току трансформатора. В таких условиях величина напряжения короткого замыкания характеризует потери в обмотках трансформатора, потери на омическом сопротивлении. Напряжение короткого замыкания (определяется в % от номинального напряжения), полученное с помощью опыта короткого замыкания является одним из важных параметров трансформатора. Данный режим широко используется в измерительных трансформаторах тока.

Режим работы

При подключении нагрузки ко вторичной обмотке во вторичной цепи возникает ток нагрузки, создающий магнитный поток в магнитопроводе, направленный противоположно магнитному потоку, создаваемому первичной обмоткой. В результате в первичной цепи нарушается равенство ЭДС индукции и ЭДС источника питания, что приводит к увеличению тока в первичной обмотке до тех пор, пока магнитный поток не достигнет практически прежнего значения.

Мгновенный магнитный поток в магнитопроводе трансформатора определяется интегралом по времени от мгновенного значения ЭДС в первичной обмотке и в случае синусоидального напряжения сдвинут по фазе на 90° по отношению к ЭДС. Наведённая во вторичных обмотках ЭДС пропорциональна первой производной от магнитного потока и для любой формы тока совпадает по фазе и форме с ЭДС в первичной обмотке.

Конструкция

Стержневой тип трёхфазных трансформаторов

Броневой тип трёхфазных трансформаторов

Основными частями конструкции трансформатора являются:

- магнитопровод;
- обмотки;
- каркас для обмоток;
- изоляция;
- система охлаждения;
- прочие элементы (для монтажа, доступа к выводам обмоток, защиты трансформатора и т. п.).

В практической конструкции трансформатора производитель выбирает между тремя различными базовыми концепциями:

Стержневой;

Броневой;

Тороидальный.



Любая из этих концепций не влияет на эксплуатационные характеристики или эксплуатационную надёжность трансформатора, но имеются существенные различия в процессе их изготовления. Каждый производитель выбирает концепцию, которую он считает наиболее удобной с точки зрения изготовления, и стремится к применению этой концепции на всём объёме производства.

В то время как обмотки *стержневого типа* заключают в себе сердечник, сердечник *броневго типа* заключает в себе обмотки. Если смотреть на активный компонент (т. е. сердечник с обмотками) стержневого типа, обмотки хорошо видны, но они скрывают за собой стержни магнитной системы сердечника. Видно только верхнее и нижнее ярмо сердечника. В конструкции броневго типа сердечник скрывает в себе основную часть обмоток.

Ещё одно отличие состоит в том, что ось обмоток стержневого типа, как правило, имеет вертикальное положение, в то время как в броневой конструкции она может быть горизонтальной или вертикальной.



Виды трансформаторов

Силовой трансформатор

Силовой трансформатор переменного тока — трансформатор, предназначенный для преобразования электрической энергии в электрических сетях и в установках, предназначенных для приёма и использования электрической энергии. Слово «силовой» отражает работу данного вида трансформаторов с большими мощностями^[18]. Необходимость применения силовых трансформаторов обусловлена различной величиной рабочих напряжений ЛЭП (35-750 кВ), городских электросетей (как правило 6,10 кВ), напряжения, подаваемого конечным потребителям (0,4 кВ, они же 380/220 В) и напряжения, требуемого для работы электромашин и электроприборов (самые различные от единиц вольт до сотен киловольт).

Силовой трансформатор переменного тока используется для непосредственного преобразования напряжения в цепях переменного тока. Термин «силовой» показывает отличие таких трансформаторов от измерительных и специальных трансформаторов.

Автотрансформатор

Автотрансформатор — вариант трансформатора, в котором первичная и вторичная обмотки соединены напрямую, и имеют за счёт этого не только электромагнитную связь, но и электрическую. Обмотка автотрансформатора имеет несколько выводов (как минимум 3), подключаясь к которым, можно получать разные напряжения. Преимуществом автотрансформатора является более высокий КПД, поскольку лишь часть мощности подвергается преобразованию — это особенно существенно, когда входное и выходное напряжения отличаются незначительно.

Недостатком является отсутствие электрической изоляции (гальванической развязки) между первичной и вторичной цепью. Применение автотрансформаторов экономически оправдано вместо обычных трансформаторов для соединения эффективно заземленных сетей с напряжением 110 кВ и выше при коэффициентах трансформации не более 3-4. Существенным достоинством является меньший расход стали для сердечника, меди для обмоток, меньший вес и габариты, и в итоге — меньшая стоимость.

Трансформатор тока

Трансформатор тока — трансформатор, первичная обмотка которого питается от источника тока. Типичное применение — для снижения тока первичной обмотки до удобной величины, используемой в цепях измерения, защиты, управления и сигнализации, кроме того, трансформатор тока осуществляет гальваническую развязку (в отличие от шунтовых схем измерения тока). Обычно номинальное значение тока вторичной обмотки распространённых трансформаторов 1 А или 5 А. Первичная обмотка трансформатора тока включается последовательно в цепь с нагрузкой, переменный ток в которой необходимо контролировать, а во вторичную обмотку включаются измерительные приборы или исполнительные и индикаторные устройства, например, реле.

Вторичная обмотка токового трансформатора должна работать в режиме, близком к режиму короткого замыкания. При случайном или умышленном разрыве цепи вторичной обмотки на ней наводится очень высокое напряжение, которое может вызвать пробой изоляции, повреждение подключённых устройств.

При работе вторичной обмотки в режиме короткого замыкания отношение токов обмоток близко к (в идеальном случае равно) коэффициенту трансформации.

Трансформатор напряжения

Трансформатор напряжения — трансформатор, питающийся от источника напряжения. Типичное применение — преобразование высокого напряжения в низкое в цепях, в измерительных цепях и цепях РЗА. Применение трансформатора напряжения позволяет изолировать логические цепи защиты и цепи измерения от цепи высокого напряжения.

Импульсный трансформатор

Импульсный трансформатор — это трансформатор, предназначенный для преобразования импульсных сигналов с длительностью импульса до десятков микросекунд с минимальным искажением формы импульса^[19]. Основное применение заключается в передаче прямоугольного электрического импульса (максимально крутой фронт и срез, относительно постоянная амплитуда). Он служит для трансформации кратковременных видеоимпульсов напряжения, обычно периодически повторяющихся с высокой скважностью. В большинстве случаев основное требование, предъявляемое к ИТ заключается в неискажённой передаче формы трансформируемых импульсов напряжения; при воздействии на вход ИТ напряжения той или иной формы на выходе желательно получить импульс напряжения той же самой формы, но, быть может, иной амплитуды или другой полярности.

Сварочный трансформатор

Сварочный трансформатор — трансформатор, предназначенный для различных видов сварки.

Сварочный трансформатор преобразует напряжение сети (220 или 380 В) в низкое напряжение, а ток из низкого - в высокий, до тысяч ампер.

Сварочный ток регулируется благодаря изменению величины либо индуктивного сопротивления, либо вторичного напряжения холостого хода трансформатора, что осуществляется посредством секционирования числа витков первичной или вторичной обмотки. Это обеспечивает ступенчатое регулирование тока.

Разделительный трансформатор

Разделительный трансформатор — трансформатор, первичная обмотка которого электрически не связана со вторичными обмотками. Силовые разделительные трансформаторы предназначены для повышения безопасности электросетей, при случайных одновременных прикасаниях к земле и токоведущим частям или нетокковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции. Сигнальные разделительные трансформаторы обеспечивают гальваническую развязку электрических цепей.

Согласующий трансформатор

Согласующий трансформатор — трансформатор, применяемый для согласования сопротивления различных частей (каскадов) электронных схем при минимальном искажении формы сигнала. Одновременно согласующий трансформатор обеспечивает создание гальванической развязки между участками схем.

Пик-трансформатор

Пик-трансформатор —
трансформатор, преобразующий
напряжение синусоидальной
формы в импульсное
напряжение с изменяющейся
через каждые полпериода
полярностью.

Сдвоенный дроссель

Сдвоенный дроссель (встречный индуктивный фильтр) — конструктивно является трансформатором с двумя одинаковыми обмотками. Благодаря взаимной индукции катушек он при тех же размерах более эффективен, чем обычный дроссель. Сдвоенные дроссели получили широкое распространение в качестве входных фильтров блоков питания; в дифференциальных сигнальных фильтрах цифровых линий, а также в звуковой технике.

Трансфлюксор

Трансфлюксор — разновидность трансформатора, используемая для хранения информации. Основное отличие от обычного трансформатора — это большая величина остаточной намагниченности магнитопровода. Иными словами трансфлюксоры могут выполнять роль элементов памяти. Помимо этого трансфлюксоры часто снабжались дополнительными обмотками, обеспечивающими начальное намагничивание и задающими режимы их работы. Эта особенность позволяла (в сочетании с другими элементами) строить на трансфлюксорах схемы управляемых генераторов, элементов сравнения и искусственных нейронов.

Вращающийся трансформатор

Не следует путать с вращающимся трансформатором — электрической микромашиной переменного тока, предназначенной для преобразования угла поворота в электрическое напряжение.

Применяется для передачи сигнала на вращающиеся объекты, например на барабан блока магнитных головок в видеомагнитофонах. Состоит из двух половин магнитопровода, каждая со своей обмоткой, одна из которой вращается относительно другой с минимальным зазором. Позволяет реализовать большие скорости вращения, при которых контактный способ съёма сигнала невозможен.

Воздушный и масляный трансформаторы

Классификация трансформаторов, помимо прочих параметров, осуществляется по рабочей среде в которой находятся индуктивно-связанные обмотки.

Воздушные трансформаторы как правило работают с меньшими мощностями, чем масляные, поскольку циркуляция масла обеспечивает лучшее охлаждение обмоток. Импульсные и высоковольтные трансформаторы, напротив, обычно выполняются воздушными, поскольку для первых малая диэлектрическая проницаемость воздуха обеспечивает лучшую передачу формы импульса, а для вторых лимитирующим фактором оказывается старение масла и резкое возрастание вероятности развития электрического пробоя.

Конструктивно для снижения потерь масляные трансформаторы обычно имеют замкнутый магнитопровод, в то время как маломощные воздушные трансформаторы (например, применяемые в электронных устройствах для электрической изоляции одной цепи от другой или для согласования по мощности) конструктивно могут оформляться в виде коаксиальных расположенных обмоток на ферромагнитном стержне.

Трёхфазный трансформатор

Представляет собой устройство для трансформирования электрической энергии в трёхфазной цепи. Конструктивно состоит из трёх стержней магнитопровода, соединённых верхним и нижним ярмом. На каждый стержень надеты обмотки высшего и низшего напряжений каждой фазы.

Применение

Наиболее часто трансформаторы применяются в электросетях и в источниках питания различных приборов.

Поскольку потери на нагревание провода пропорциональны квадрату тока, проходящего через провод, при передаче электроэнергии на большое расстояние выгодно использовать очень большие напряжения и небольшие токи. Из соображений безопасности и для уменьшения массы изоляции в быту желательно использовать не столь большие напряжения. Поэтому для наиболее выгодной транспортировки электроэнергии в электросети многократно применяют силовые трансформаторы: сначала для повышения напряжения генераторов на электростанциях перед транспортировкой электроэнергии, а затем для понижения напряжения линии электропередач до приемлемого для потребителей уровня.



Поскольку в электрической сети три фазы, для преобразования напряжения применяют трёхфазные трансформаторы, или группу из трёх однофазных трансформаторов, соединённых в схему звезды или треугольника. У трёхфазного трансформатора сердечник для всех трёх фаз общий.

Несмотря на высокий КПД трансформатора (для трансформаторов большой мощности — выше 99 %), в очень мощных трансформаторах электросетей выделяется большая мощность в виде тепла (например, для типичной мощности блока электростанции 1 ГВт на трансформаторе может выделяться мощность до нескольких мегаватт). Поэтому трансформаторы электросетей используют специальную систему охлаждения: трансформатор помещается в баке, заполненном трансформаторным маслом или специальной негорючей жидкостью. Масло циркулирует под действием конвекции или принудительно между баком и мощным радиатором. Иногда масло охлаждают водой. «Сухие» трансформаторы используют при относительно малой мощности.

Частота

При одинаковых напряжениях первичной обмотки трансформатор, разработанный для частоты 50 Гц, может использоваться при частоте сети 60 Гц, но не наоборот. При этом необходимо принять во внимание, что возможно потребуется заменить навесное электрооборудование. При частоте меньше номинальной увеличивается индукция в магнитопроводе, что может повлечь его насыщение и как следствие резкое увеличение тока холостого хода и изменение его формы. При частоте больше номинальной повышается величина паразитных токов в магнитопроводе, повышенный нагрев магнитопровода и обмотки, приводящие к ускоренному старению и разрушению изоляции.

Перенапряжения трансформатора

В процессе использования трансформаторы могут подвергаться напряжению, превосходящему рабочие параметры.

Данные перенапряжения классифицируются по их продолжительности на две группы:



Кратковременное перенапряжение —
напряжение промышленной частоты
относительной продолжительности,
колеблющейся в пределах менее 1
секунды до нескольких часов.



Переходное перенапряжение —
кратковременное перенапряжение в
пределах от наносекунд до нескольких
миллисекунд. Период нарастания может
колебаться от нескольких наносекунд до
нескольких миллисекунд. Переходное
перенапряжение может быть
колебательным и неколебательным. Они
обычно имеют однонаправленное
действие.



Трансформатор также может быть подвергнут комбинации кратковременных и переходных перенапряжений. Кратковременные перенапряжения могут следовать сразу за переходными перенапряжениями.

Заключение

Трансформатор представляет собой устройство, которое преобразовывает напряжение переменного тока (повышает или понижает). Состоит трансформатор из нескольких обмоток (двух или более), которые намотаны на общий ферромагнитный сердечник. Современные трансформаторы тока бывают: стержневыми, броневыми или тороидальными. Все три типа трансформаторов имеют похожие характеристики, и надежность, но отличаются друг от друга способом изготовления.

Литература

- Сапожников А. В. Конструирование трансформаторов. М.: [Госэнергоиздат](#). 1959.
- Пиотровский Л. М. Электрические машины, Л., «[Энергия](#)», 1972.
- Вольдек А. И. Электрические машины, Л., «[Энергия](#)», 1974
- Тихомиров П. М.. Расчёт трансформаторов. Учебное пособие для вузов. М.: Энергия, 1976. — 544 с.
- Электромагнитные расчёты трансформаторов и реакторов. — М.: Энергия, 1981 — 392 с.
- Электрические машины: Трансформаторы: Учебное пособие для электромеханических специальностей вузов/Б. Н. Сергеенков, В. М. Киселёв, Н. А. Акимова; Под ред. И. П. Копылова. — М.: Высш. шк., 1989 — 352 с. [ISBN 5-06-000450-3](#)
- Силовые трансформаторы. Справочная книга/Под ред. С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. М.: [Энергоиздат](#) 2004. — 616 с [ISBN 5-98073-004-4](#)
- Атабеков Г. И. Основы теории цепей, Лань, С-Пб.,- М.,- Краснодар, 2006.
- Котенёв С. В., Евсеев А. Н. Расчёт и оптимизация тороидальных трансформаторов. — М.: Горячая линия - Телеком, 2011. — 287 с. — 1000 экз. — [ISBN 978-5-9912-0186-5](#).
- Евсеев А. Н. Расчёт и оптимизация тороидальных трансформаторов и дросселей. - 2-е изд., перераб. и доп.. — М.: Горячая линия - Телеком, 2017. — 368 с. — 500 экз. — [ISBN 978-5-9912-0618-1](#).
- В. Г. Герасимов, Э. В. Кузнецов, О. В. Николаева. Электротехника и электроника. Кн. 1. Электрические и магнитные цепи. — М.: Энергоатомиздат, 1996. — 288 с. — [ISBN 5-283-05005-X](#).