МОУ Средняя общеобразовательная школа №16

Реферат на тему

«Трансформатор»

#### Выполнила

Ученица 11А класса

Зуева Катя

Проверила

Ващенко Т.К

Берёзовский 2010г.

Трансформа́тор (от лат. transformo — преобразовывать) — статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока (ГОСТ Р52002-2003).

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 магнито-мягкого материала.



История

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

Столетов Александр Григорьевич (профессор МУ)сделал первые шаги в этом направлении — обнаружил петлю гистерезиса и доменную структуру ферромагнетика (80-е).Братья Гопкинсоны разработали теорию электромагнитных цепей.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.Схематичное изображение будущего трансформатора впервые появилось в 1831 году в работах Фарадея и Генри. Однако ни тот, ни другой не отмечали в своём приборе такого свойства трансформатора, как изменение напряжений и токов, то есть трансформирование переменного тока.

В 1848 году французский механик Г. Румкорф изобрёл индукционную катушку. Она явилась прообразом трансформатора.30 ноября 1876 года, дата получения патента Яблочковым Павлом Николаевичем, считается датой рождения первого трансформатора. 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 Гопкинсон.

Большую роль для повышения надежности трансформаторов сыграло введение масляного охлаждения (конец 1880-х годов, Д.Свинберн). Свинберн помещал трансформаторы в керамические сосуды, наполненные маслом, что значительно повышало надежность изоляции обмоток.С изобретением трансформатора возник технический интерес к переменному току. Русский электротехник Михаил Осипович Доливо-Добровольский в 1889 г. предложил трёхфазную систему переменного тока, построил первый трёхфазный асинхронный двигатель и первый трёхфазный трансформатор. На электротехнической выставке во Франкфурте-на-Майне в 1891 г. Доливо-Добровольский демонстрировал опытную высоковольтную электропередачу трёхфазного тока протяжённостью 175 км. Трёхфазный генератор имел мощность 230 КВт при напряжении 95 В.

1928 год можно считать началом производства силовых трансформаторов в СССР, когда начал работать Московский трансформаторный завод (впоследствии — Московский электрозавод).В начале 1900-х годов 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 нагревания 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.

# Виды трансформаторов

# Силовой трансформатор

Силовой трансформатор — трансформатор, предназначенный для преобразования электрической энергии в электрических сетях и в установках, предназначенных для приёма и использования электрической энергии.

# Автотрансформатор

Автотрансформа́тор — 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 является меньший расход стали для сердечника, меди для обмоток, меньший вес и габариты, и в итоге — меньшая стоимость.

# Трансформатор тока

Трансформа́тор то́ка — трансформатор, питающийся от источника тока. Типичное применение — для снижения первичного тока до величины, используемой в цепях измерения, защиты, управления и сигнализации. Номинальное значение тока вторичной обмотки 1А , 5А. Первичная обмотка трансформатора тока включается в цепь с измеряемым переменным током, а во вторичную включаются измерительные приборы. Ток, протекающий по вторичной обмотке трансформатора тока, равен току первичной обмотки, деленному на коэффициент трансформации.

# Трансформатор напряжения

Трансформатор напряжения — трансформатор, питающийся от источника напряжения. Типичное применение — преобразование высокого напряжения в низкое в цепях, в измерительных цепях и цепях РЗиА. 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. 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.

# 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 прикасаний к земле и токоведущим частям или нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции. Сигнальные разделительные трансформаторы обеспечивают гальваническую развязку электрических цепей.

# 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.

Основные части конструкции трансформатора



Стержневой тип трёхфазных трансформаторов

 

Броневой тип трёхфазных трансформаторов

В практичной конструкции трансформатора производитель выбирает между двумя различными базовыми концепциями:

* Стержневой
* Броневой

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 броневого типа заключает в себе обмотки. Если смотреть на активный компонент (т.e. 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 броневого 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.

Основными частями конструкции трансформатора являются:

* магнитная система (магнитопровод)
* обмотки
* система охлаждения

# Магнитная система (магнитопровод)

Магнитная система (магнитопровод) трансформатора — комплект элементов (чаще всего пластин) электротехнической стали или другого ферромагнитного материала, собранных в определённой геометрической форме, предназначенный для локализации в нём основного магнитного поля трансформатора. Магнитная система в полностью собранном виде совместно со всеми узлами и деталями, служащими для скрепления отдельных частей в единую конструкцию, называется остовом трансформатора. Часть магнитной системы, на которой располагаются основные обмотки трансформатора, называется — стержень.Часть магнитной системы трансформатора, не несущая основных обмоток и служащая для замыкания магнитной цепи, называется — ярмо.

В зависимости от пространственного расположения стержней, выделяют: Плоская магнитная система — магнитная система, в которой продольные оси всех стержней и ярм расположены в одной плоскости Пространственная магнитная система — магнитная система, в которой продольные оси стержней или ярм, или стержней и ярм расположены в разных плоскостях Симметричная магнитная система — магнитная система, в которой все стержни имеют одинаковую форму, конструкцию и размеры, а взаимное расположение любого стержня по отношению ко всем ярмам одинаково для всех стержней Несимметричная магнитная система — магнитная система, в которой отдельные стержни могут отличаться от других стержней по форме, конструкции или размерам или взаимное расположение какого-либо стержня по отношению к другим стержням или ярмам может отличаться от расположения любого другого стержня

# Обмотки

Основным элементом обмотки является виток — электрический проводник, или ряд параллельно соединённых таких проводников (многопроволочная жила), однократно обхватывающий часть магнитной системы трансформатора, электрический ток которого совместно с токами других таких проводников и других частей трансформатора создаёт магнитное поле трансформатора и в котором под действием этого магнитного поля наводится электродвижущая сила.

Обмотка — совокупность витков, образующих электрическую цепь, в которой суммируются ЭДС, наведённые в витках. В трёхфазном трансформаторе под обмоткой обычно подразумевают совокупность обмоток одного напряжения трёх фаз, соединяемых между собой.

Проводник обмотки в силовых трансформаторах обычно имеет квадратную форму для наиболее эффективного использования имеющегося пространства (для увеличения коэффициента заполнения в окне сердечника). При увеличении площади проводника проводник может быть разделён на два и более параллельных проводящих элементов с целью снижения потерь на вихревые токи в обмотке и облегчения функционирования обмотки. Проводящий элемент квадратной формы называется жилой.

Транспонированный кабель применяемый в обмотке трансформатора

Каждая жила изолируется при помощи либо бумажной обмотки, либо эмалевого лака. Две отдельно изолированных и параллельно соединённых жилы иногда могут иметь общую бумажную изоляцию. Две таких изолированных жилы в общей бумажной изоляции называются кабелем.Особым видом проводника обмотки является непрерывно транспонированный кабель. Этот кабель состоит из жил, изолированных при помощи двух слоёв эмалевого лака, расположенных в осевом положении друг к другу, как показано на рисунке. Непрерывно транспонированный кабель получается путём перемещения внешней жилы одного слоя к следующему слою с постоянным шагом и применения общей внешней изоляции[9].

Бумажная обмотка кабеля выполнена из тонких (несколько десятков микрометров) бумажных полос шириной несколько сантиметров, намотанных вокруг жилы. Бумага заворачивается в несколько слоёв для получения требуемой общей толщины.



Дисковая обмотка

Обмотки разделяют по:

1. Назначению
* Основные — обмотки трансформатора, к которым подводится энергия преобразуемого или от которых отводится энергия преобразованного переменного тока.
* Регулирующие — при невысоком токе обмотки и не слишком широком диапазоне регулирования, в обмотке могут быть предусмотрены отводы для регулирования коэффициента трансформации напряжения.
* Вспомогательные — обмотки, предназначенные, например, для питания сети собственных нужд с мощностью существенно меньшей, чем номинальная мощность трансформатора, для компенсации третей гармонической магнитного поля, подмагничивания магнитной системы постоянным током, и т. п.
1. Исполнению
* Рядовая обмотка — витки обмотки располагаются в осевом направлении во всей длине обмотки. Последующие витки наматываются плотно друг к другу, не оставляя промежуточного пространства.
* Винтовая обмотка — винтовая обмотка может представлять собой вариант многослойной обмотки с расстояниями между каждым витком или заходом обмотки.
* Дисковая обмотка — дисковая обмотка состоит из ряда дисков, соединённых последовательно. В каждом диске витки наматываются в радиальном направлении в виде спирали по направлению внутрь и наружу на соседних дисках.
* Фольговая обмотка — фольговые обмотки выполняются из широкого медного или алюминиевого листа толщиной от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров.

# Бак

Бак в первую очередь представляет собой резервуар для масла, а также обеспечивает физическую защиту для активного компонента. Он также служит в качестве опорной конструкции для вспомогательных устройств и аппаратуры управления.

Перед заполнением маслом бака с активным компонентом внутри из него выкачивается весь воздух, который может подвергнуть опасности диэлектрическую прочность изоляции трансформатора (поэтому бак предназначен для выдерживания давления атмосферы с минимальной деформацией).

Ещё одним явлением, учитываемым при проектировании баков, является совпадение звуковых частот, вырабатываемых сердечником трансформатора, и частот резонанса деталей бака, что может усилить шум, излучаемый в окружающую среду.

Конструкция бака допускает температурно-зависимое расширение масла. Чаще всего устанавливается отдельный расширительный бачок, который также называется расширителем.

При увеличении номинальной мощности трансформатора воздействие больших токов внутри и снаружи трансформатора оказывает влияние на конструкцию. То же самое происходит с магнитным потоком рассеяния внутри бака. Вставки из немагнитного материала вокруг сильноточных проходных изоляторов снижают риск перегрева. Внутренняя облицовка бака из высокопроводящих щитков не допускает попадания потока через стенки бака. С другой стороны, материал с низким магнитным сопротивлением поглощает поток перед его прохождением через стенки бака.

Обозначение на схемах

На схемах трансформатор обозначается следующим образом:



Центральная толстая линия соответствует сердечнику, 1 — первичная обмотка (обычно слева), 2,3 — вторичные обмотки

Число полуокружностей в очень грубом приближении символизирует число витков обмотки (больше витков — больше полуокружностей, но без строгой пропорциональности).

При обозначении трансформатора жирной точкой около вывода могут быть указаны начала катушек (не менее чем на двух катушках, знаки мгновенно действующей ЭДС на этих выводах одинаковы). Применяется при обозначении промежуточных трансформаторов в усилительных (преобразовательных) каскадах для подчёркивание син- или противофазности, а также в случае нескольких (первичных или вторичных) обмоток, если соблюдение «полярности» их подключения необходимо для работы остальной части схемы. Если начала обмоток не указаны явно, то предполагается, что все они направлены в одну сторону (после конца одной обмотки — начало следующей).В схемах трёхфазных трансформаторах «обмотки» располагают перпендикулярно «сердечнику» (Ш-образно, вторичные обмотки напротив соответствующих первичных), начала всех обмоток направлены в сторону «сердечника».

Применение трансформаторов

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

# Применение в электросетях

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 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 (свыше 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 (до 16000 кВт). Применение в источниках электропитания.

Компактный сетевой трансформатор

Для питания разных узлов электроприборов требуются самые разнообразные напряжения. Например, в телевизоре с помощью трансформаторов получают напряжения от 5 вольт (для питания микросхем и транзисторов) до 30 киловольт (для питания анода кинескопа). В блоке питания персонального компьютера обычно также применяется импульсный трансформатор, на первичную обмотку которого подаётся переменное напряжение прямоугольной (чаще всего) формы с выхода инвертора. Система управления с помощью ШИМ позволяет стабилизировать напряжение на выходе источника электропитания. Блоки электропитания в устройствах, которым необходимо несколько напряжений различной величины, зачастую содержат трансформаторы с несколькоми вторичными обмотками.

В прошлом сетевой трансформатор (на 50-60 Гц) был одной из самых тяжёлых деталей многих приборов. Дело в том, что линейные размеры трансформатора определяются передаваемой им мощностью, причём оказывается, что линейный размер сетевого трансформатора примерно пропорционален мощности в степени 1/4. Размер трансформатора можно уменьшить, если увеличить частоту переменного тока. Поэтому в современных блоках питания переменное напряжение сети сперва выпрямляют, а затем преобразуют в высокочастотные импульсы, которые подаются на импульсный трансформатор, преобразующий их во все нужные напряжения. Такая конструкция заметно уменьшает массу блока питания.

# Другие применения трансформатора

Разделительные трансформаторы (трансформаторная гальваническая развязка). Нейтральный провод электросети может иметь контакт с «землёй», поэтому при одновременном касании человеком фазового провода (а также корпуса прибора с плохой изоляцией) и заземлённого предмета тело человека замыкает электрическую цепь, что создаёт угрозу поражения электрическим током. Если же прибор включён в сеть через трансформатор, касание прибора одной рукой вполне безопасно, поскольку вторичная цепь трансформатора никакого контакта с землёй не имеет.

Импульсные трансформаторы (ИТ). 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.

Измерительные трансформаторы. Применяют для измерения очень больших или очень маленьких переменных напряжений и токов в цепях РЗиА.

Измерительно-силовые трансформаторы. Имеют широкое применение в схемах генераторов переменного тока малой и средней мощности (до мегаватта), например, в дизель-генераторах. Такой трансформатор представляет собой измерительный трансформатор тока с первичной обмоткой, включённой последовательно с нагрузкой генератора. Со вторичной обмотки снимается переменное напряжение, которое после выпрямителя подаётся на обмотку подмагничивания ротора. (Если генератор трёхфазный, обязательно применяется и трёхфазный трансформатор). Таким образом, достигается стабилизация выходного напряжения генератора — чем больше нагрузка, тем сильнее ток подмагничивания, и наоборот.

Согласующие трансформаторы. Из законов преобразования напряжения и тока для первичной и вторичной обмотки (I1=I2w2/w1,U1=U2w1/w2) видно, что со стороны цепи первичной обмотки всякое сопротивление во вторичной обмотке выглядит в (w1/w2)² раз больше. Поэтому согласующие трансформаторы применяются для подключения низкоомной нагрузки к каскадам электронных устройств, имеющим высокое входное или выходное сопротивление. Например, высоким выходным сопротивлением может обладать выходной каскад усилителя звуковой частоты, особенно, если он собран на лампах, в то время как динамики имеют очень низкое сопротивление. Согласующие трансформаторы также исключительно полезны в высокочастотных линиях, где различие сопротивления линии и нагрузки привело бы к отражению сигнала от концов линии, и, следовательно, к большим потерям.

Фазоинвертирующие и согласующие трансформаторы в выходном каскаде усилителя звуковой частоты с транзисторами одного типа проводимости. Транзистор в такой схеме усиливает только половину периода выходного сигнала. Чтобы усилить оба полупериода, нужно подать сигнал на два транзистора в противофазе. Это и обеспечивает трансформатор T1. Трансформатор T2 суммирует выходные импульсы VT1 и VT2 в противофазе и согласует выходной каскад с низкоомным динамиком

Фазоинвертирующие трансформаторы

Трансформатор передаёт только переменную компоненту сигнала, поэтому даже если все постоянные напряжения в цепи имеют один знак относительно общего провода, сигнал на выходе вторичной обмотки трансформатора будет содержать как положительную, так и отрицательную полуволны, причём, если центр вторичной обмотки трансформатора подключить к общему проводу, то напряжение на двух крайних выводах этой обмотки будет иметь противоположную фазу. До появления широко доступных транзисторов с npn типом проводимости фазоинвертирующие трансформаторы применялись в двухтактных выходных каскадах усилителей, для подачи противоположных по полярности сигналов на базы двух транзисторов каскада. К тому же, из-за отсутствия «ламп с противоположным зарядом электрона», фазоинвертирующий трансформатор необходим в ламповых усилителях с двухтактным выходным каскадом.

# Эксплуатация

# Срок службы

Срок службы трансформатора может быть разделен на две категории:

1. Экономический срок службы — экономический срок службы заканчивается, когда капитализированная стоимость непрерывной работы существующего трансформатора превысит капитализированную стоимость доходов от эксплуатации этого трансформатора. Или экономический срок жизни трансформатора (как актива) заканчивается тогда, когда удельные затраты на трансформацию энергии с его помощью становятся выше удельной стоимости аналогичных услуг на рынке трансформации энергии.
2. Технический срок службы

# Работа в параллельном режиме

Параллельная работа трансформаторов нужна по очень простой причине. При малой нагрузке мощный трансформатор имеет большие потери холостого хода, поэтому вместо него подключают несколько трансформаторов меньшей мощности, которые отключаются, если в них нет необходимости.

При параллельном подключении двух и более трансформаторов требуется следующее:

1. Параллельно могут работать только трансформаторы, имеющие одинаковую угловую погрешность между первичным и вторичным напряжениями.
2. Полюса с одинаковой полярностью на сторонах высокого и низкого напряжения должны быть соединены параллельно.
3. Трансформаторы должны иметь примерно тот же самый коэффициент передачи по напряжению.
4. Напряжение полного сопротивления короткого замыкания должно быть одинаковым, в пределах ±10 %.
5. Отношение мощностей трансформаторов не должно отклоняться более чем 1:3.
6. Переключатели числа витков должны стоять в положениях, дающих коэффициент передачи по напряжению как можно ближе.

Другими словами это значит что следует использовать наиболее схожие трансформаторы, одинаковые модели трансформаторов является лучшим вариантом. Отклонение от вышеприведенных требований возможны при условии, что имеются в наличии соответствующие знания.

# 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 материал магнитопровода входит в насыщение, что ведёт к увеличению токов через первичную обмотку и, как следствие, ее перегрев с вытекающими последствиями.

# Регулирование напряжения трансформатора

В зависимости от нагрузки электрической сети меняется её напряжение. Для нормальной работы электроприёмников потребителей необходимо, чтобы напряжение не отклонялось от заданного уровня больше допустимых пределов, в связи с чем применяются различные способы регулирования напряжения в сети.

# Диагностика причин неисправности

|  |  |
| --- | --- |
| Вид неисправностиПерегревПерегревПерегревПерегревПробойПробойПробойПробойОбрывОбрывПовышенное гудениеПовышенное гудениеПовышенное гудениеПовышенное гудение | ПричинаПерегрузкаНизкий уровень маслаЗамыканияНедостаточное охлаждениеПерегрузкаЗагрязнение маслаНизкий уровень маслаСтарение изоляции витковПлохое качество пайкиСильные электромеханические деформации при КЗОслабление прессовки шихтованного магнитопроводаПерегрузкаНесимметричная нагрузкаКЗ в обмотке |

Литература

* Основы теории цепей, Г. И. Атабеков, Лань, С-Пб.,-М.,-Краснодар, 2006.
* Электрические машины, Л. М. Пиотровский, Л., «Энергия», 1972.
* Силовые трансформаторы. Справочная книга/Под ред. С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. М.:Энергоиздат 2004. — 616 с ISBN 5-98073-004-4
* Электрические машины: Трансформаторы: Учебное пособие для электромех. спец. 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
* Электрические машины, А. И. Вольдек, Л., «Энергия», 1974.
* Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. — М.: Энергия, 1981—392 с.
* Конструирование трансформаторов. А. В. Сапожников. М.: Госэнергоиздат. 1959.
* Расчёт трансформаторов. Учебное пособие для вузов. П. М. Тихомиров. М.: Энергия, 1976. — 544 с.