

Енотаевский филиал ГАОУ АО ВО.

«Астраханский государственный архитектурно – строительный университет.»

## Индивидуальный проект

По физике на тему: «Трансформатор»

Выполнила:

Бондарева У.А

Обучающаяся гр. П-21.

Руководитель:

Тихова И.П.

Преподаватель Физики

## Оглавление:

Название раздела		
• 1	• Введение	
• 2	• Актуальность	
• 3	• Цели	
• 4	• Задачи	
• 5	• Основная часть	
• 6	• Теоретическая часть	
• 7	• Практическая часть	
<b>8</b>	Вывод	
9	• Литература	

# 1. Введение

2. Актуальность: Актуальность темы. Силовые трансформаторы входят в состав основного высоковольтного оборудования электростанций и подстанций. Они являются системообразующими элементами и по своим техническим и конструктивным параметрам не подлежат частой замене, то есть аварийный выход трансформатора из строя ставит под угрозу нормальное функционирование станции или подстанции, тем самым создавая угрозу недоотпуска электроэнергии потребителям, которая в свою очередь может привести к возникновению экономического ущерба, величина которого зависит от специфики потребителя.

3. Цели: Узнать как работает трансформатор и из чего он состоит.

4. Задачи работы:

4.1: Используя литературные источники и сеть интернет найти информацию о «Трансформаторах».

4.2: Выяснить принцип работы «Трансформатора».

4.3: Выяснить конструктивные особенности «Трансформатора».

# История:

Для создания трансформаторов необходимо было изучение свойств материалов: неметаллических, металлических и магнитных, создания их теории<sup>[3]</sup>.

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 тока<sup>[4]</sup>.

В 1848 году французский механик Г. Румкорф изобрёл [индукционную катушку особой конструкции](#). Она явилась прообразом трансформатора<sup>[3]</sup>.

[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](#)<sup>[5]</sup>, 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 Гопкинсон<sup>[4]</sup>. В 1885 г. венгерские инженеры фирмы «Ганц и К°» Отто Блати, Карой Циперновский и Микша Дери изобрели трансформатор с замкнутым магнитопроводом, который сыграл важную роль в дальнейшем развитии конструкций трансформаторов.

[Братья Гопкинсон](#) разработали [теорию электромагнитных цепей](#)<sup>[3]</sup>. В 1886 году они научились рассчитывать магнитные цепи.

Эптон, сотрудник [Эдисона](#), предложил делать сердечники наборными, из отдельных листов, чтобы ограничить [вихревые токи](#).

Большую роль для повышения надёжности трансформаторов сыграло введение [масляного охлаждения](#) (конец 1880-х годов, Д. Свинберн). Свинберн помещал трансформаторы в керамические сосуды, наполненные [маслом](#), что значительно повышало надёжность [изоляции](#) обмоток<sup>[6]</sup>.

С изобретением трансформатора возник технический интерес к переменному току. Российский электротехник [Михаил Осипович Доливо-Добровольский](#) в 1889 г. предложил [трёхфазную](#) систему переменного тока с тремя проводами (трёхфазная система переменного тока с шестью проводами изобретена [Николай Теслой](#), патент США № 381968 от 01.05.1888, заявка на изобретение № 252132 от 12.10.1887), построил первый трёхфазный [асинхронный](#) двигатель с короткозамкнутой обмоткой типа «беличья клетка» и трёхфазной обмоткой на роторе (трёхфазный асинхронный двигатель изобретён [Николай Теслой](#), патент США № 381968 от 01.05.1888, заявка на изобретение № 252132 от 12.10.1887), первый трёхфазный трансформатор с тремя стержнями магнитопровода, расположенными в одной плоскости. 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 кВ.

[1928 год](#) можно считать началом производства силовых трансформаторов в [СССР](#), когда начал работать Московский трансформаторный завод (впоследствии — [Московский электрозавод](#))<sup>[7]</sup>.

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<sup>[8]</sup>.

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<sup>[8]</sup>.

## Теоретическая часть:

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  $90^\circ$  в обратную сторону по отношению к магнитному потоку.

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 подключенным 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

## 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. Мощность потерь можно вычислить, умножив напряжение короткого замыкания на ток короткого замыкания.

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  $90^\circ$  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.



# Потери в трансформаторах

## Потери в сердечнике

Степень потерь (и снижения КПД) в трансформаторе зависит, главным образом, от качества, конструкции и материала «трансформаторного железа» (электротехническая сталь). Потери в стали состоят в основном из потерь на нагрев сердечника, на гистерезис и вихревые токи. Потери в трансформаторе, где «железо» монолитное, значительно больше, чем в трансформаторе, где оно составлено из многих секций (так как в этом случае уменьшается количество вихревых токов). На практике монолитные стальные сердечники не применяются. Для снижения потерь в магнитопроводе трансформатора магнитопровод может изготавливаться из специальных сортов трансформаторной стали с добавлением кремния, который повышает удельное сопротивление железа электрическому току, а сами пластины лакируются для изоляции друг от друга.

## Потери в обмотках

Кроме «потерь в железе», в трансформаторе присутствуют «потери в меди», обусловленные ненулевым активным сопротивлением обмоток (которое зачастую невозможно сделать пренебрежимо малым, потому что требует увеличения сечения провода, что приводит к увеличению необходимых габаритов сердечника). «Потери в меди» приводят к нагреву обмоток при работе под нагрузкой и нарушению соотношения между количеством витков и напряжением обмоток, верного для идеального трансформатора:

# 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.

# Магнитная система (магнитопровод)

Магнитная система (магнитопровод) трансформатора выполняется из электротехнической стали, пермаллоя, феррита или другого ферромагнитного материала в определённой геометрической форме. Предназначается для локализации в нём основного магнитного поля трансформатора. Магнитопровод в зависимости от материала и конструкции может набираться из пластин, прессоваться, навиваться из тонкой ленты, собираться из 2, 4 и более «подков». 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 стержнем.

Часть магнитной системы трансформатора, не несущая основных обмоток и служащая для замыкания магнитной цепи, называется ярмом.

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

подавляющее большинство трансформаторов имеет замкнутый магнитопровод (силовые линии магнитного поля замыкаются через материал сердечника). Разомкнутый магнитопровод (магнитопровод с зазором) применяется в

## Обмотки

Транспонированный кабель, применяемый в обмотке трансформатора

### Дисковая обмотка

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.

# Виды трансформаторов

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 — 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.

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](#) 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](#).

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 — 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 — 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 — 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 нетокведущим частям, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции[20].

Сигнальные разделительные трансформаторы обеспечивают гальваническую развязку электрических цепей.

# 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 — 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.

## Применение в источниках электропитания

### Компактный сетевой трансформатор

Для питания разных узлов электроприборов требуются самые разнообразные напряжения. Блоки электропитания в устройствах, которым необходимо несколько напряжений различной величины, содержат трансформаторы с несколькими вторичными обмотками или содержат в схеме дополнительные трансформаторы. Например, в телевизоре с помощью трансформаторов получают напряжения от 5 вольт (для питания микросхем и транзисторов) до нескольких киловольт (для питания анода кинескопа через умножитель напряжения).

В прошлом в основном применялись трансформаторы, работающие с частотой электросети, то есть 50-60 Гц.

В схемах питания современных радиотехнических и электронных устройств (например в блоках питания персональных компьютеров) широко применяются высокочастотные импульсные трансформаторы. В импульсных блоках питания переменное напряжение сети сперва выпрямляют, а затем преобразуют при помощи инвертора в высокочастотные импульсы. Система управления с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) позволяет стабилизировать напряжение. После чего импульсы высокой частоты подаются на импульсный трансформатор, на выходе с которого, после выпрямления и фильтрации получают стабильное постоянное напряжение.

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 современные импульсные блоки питания при одинаковой мощности значительно легче.

Трансформаторы 50-60 Гц, несмотря на их недостатки, продолжают использовать в схемах питания, в тех случаях, когда надо обеспечить минимальный уровень высокочастотных помех, например при высококачественном звуковоспроизведении.



# Вывод

Используя литературные источники и сеть интернет нашла информацию о «Трансформаторах».

Выяснила принцип работы «Трансформатора».

Выяснила конструктивные особенности «Трансформатора».

Провела практическую работу и изучила «Трансформатор»

# Используемая литература

- <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Трансформатор>

- Спасибо за внимание!