

# Трансформатор

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

**Трансфо́рма́тор** — не имеющее подвижных частей устройство по преобразованию переменного тока и напряжения по величине без существенных потерь мощности. Трансформатор состоит из нескольких проволочных *обмоток*, намотанных, как правило, на магнитопровод (сердечник) из ферромагнитного магнито-мягкого материала. Схематическое устройство простейшего трансформатора показано на рис.1.

## Содержание

- 1 Принцип действия трансформатора
- 2 Обозначение на схемах
- 3 Применение трансформаторов
  - 3.1 Применение в электросетях
  - 3.2 Применение в источниках питания
  - 3.3 Другие применения трансформатора
- 4 Теория трансформаторов
  - 4.1 Уравнения линейного трансформатора.
  - 4.2 Эквивалентная схема трансформатора.
  - 4.3 Потери в трансформаторах
  - 4.4 Габаритная мощность

## Принцип действия трансформатора

Работа трансформатора основана на явлении электромагнитной индукции. На одну из обмоток, называемую *первичной обмоткой* подаётся напряжение от внешнего источника. Протекающий по первичной обмотке переменный ток 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. Когда вторичные обмотки ни к чему не подключены (режим холостого хода), ЭДС индукции в первичной обмотке практически полностью компенсирует напряжение источника питания, поэтому ток через первичную обмотку невелик, и определяется в основном её индуктивным сопротивлением. Напряжение индукции на вторичных обмотках в режиме холостого хода определяется отношением числа витков соответствующей обмотки  $w_2$  к числу витков первичной обмотки  $w_1$ :

$$U_2=U_1w_2/w_1.$$

При подключении вторичной обмотки к нагрузке, по ней начинает течь ток. Этот ток также создаёт магнитный поток в магнитопроводе, причем он направлен противоположно магнитному потоку, создаваемому первичной обмоткой. В результате, в первичной обмотке нарушается компенсация ЭДС индукции и ЭДС источника питания, что приводит к увеличению тока в первичной обмотке, до тех пор, пока магнитный поток

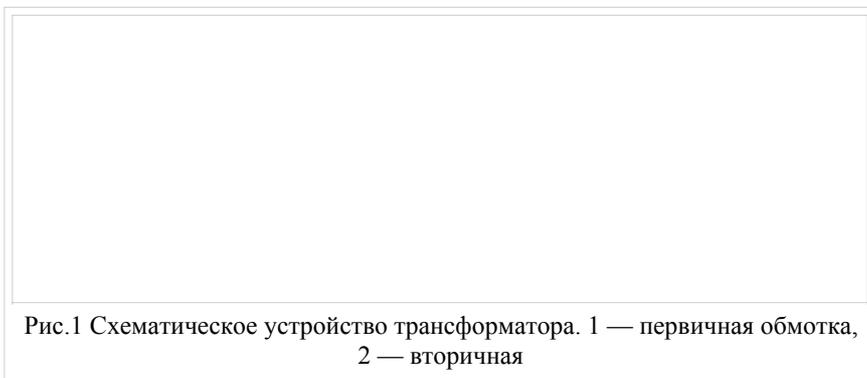


Рис.1 Схематическое устройство трансформатора. 1 — первичная обмотка, 2 — вторичная

не достигнет практически прежнего значения. В этом режиме отношение токов первичной и вторичной обмотки равно обратному отношению числа витков обмоток

$$I_1 = I_2 w_2 / w_1,$$

отношение напряжений в первом приближении также остаётся прежним. В результате, мощность, потребляемая от источника в цепи первичной обмотки практически полностью передаётся во вторичную.

## 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 каком-то грубом приближении символизирует число витков обмотки (больше витков — больше полуокружностей, но без строгой пропорциональности)

## 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 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: сперва 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 трех однофазных трансформаторов соединенные в схему звезды или треугольника. У трёхфазного трансформатора сердечник для всех трех фаз общий.

Несмотря на сравнительно высокий КПД трансформатора (свыше 99%), в очень мощных трансформаторах электросетей выделяется очень большая мощность (например, для типичной мощности блока небольшой электростанции 1МВт, на трансформаторе выделяется мощность 100 киловатт). Поэтому трансформаторы такой мощности используют специальную систему охлаждения. Для этого 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.

### Применение в источниках питания

Для питания разных узлов электроприборов требуются самые разнообразные напряжения. Например, в телевизоре используются напряжения от 20 киловольт, для питания анода кинескопа, до 5 вольт, для питания микросхем и транзисторов. Все эти напряжения получаются с помощью трансформаторов (напряжение 5 вольт с помощью сетевого трансформатора, напряжение 20 кВ с помощью строчного трансформатора). В компьютере также необходимы напряжения 5 и 12 вольт для питания разных блоков. Все эти напряжения преобразуются из напряжения электрической сети с помощью трансформатора со многими вторичными обмотками.

Здесь стоит отметить, что сетевой трансформатор был одной из самых тяжёлых деталей многих приборов. Дело в том, что размеры трансформатора определяются передаваемой им мощностью, причём оказывается, что размер трансформатора пропорционален примерно мощности в степени 1/4 (см обсуждение в следующих разделах). Однако, также оказывается, что размер трансформатора можно уменьшить, если увеличить частоту переменного напряжения (желательно также придание ему импульсной формы). Поэтому в современных блоках питания переменное напряжение сети сперва выпрямляют, а затем преобразуют в высокочастотные импульсы, которые подаются на импульсный трансформатор, который преобразует их во все нужные напряжения. Такая конструкция заметно уменьшает массу блока питания.

## Другие применения трансформатора

- Разделительные трансформаторы. Нулевой провод электросети имеет 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 создает 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.
- Измерительные трансформаторы. Применяют для измерения очень больших или очень маленьких переменных напряжений и токов.
- Согласующие трансформаторы. Из законов преобразования напряжения и тока для первичной и вторичной обмотки ( $I_1 = I_2 w_2 / w_1$ ,  $U_1 = U_2 w_1 / w_2$ ) видно, что со стороны цепи первичной обмотки всякое сопротивление во вторичной обмотке выглядит в  $(w_1 / w_2)^2$  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 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 n-p-n 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.

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 Т<sub>1</sub>. Трансформатор Т<sub>2</sub> суммирует выходные импульсы VT1 и VT2 в противофазе и согласует выходной каскад с низкоомным динамиком

## Теория трансформаторов

### Уравнения линейного трансформатора.

Пусть  $i_1, i_2$  — мгновенные значения тока в первичной и вторичной обмотке соответственно,  $u_1$  — мгновенное напряжение на первичной обмотке,  $R_H$  — сопротивление нагрузки. Тогда

Здесь  $L_1, R_1$  — индуктивность и активное сопротивление первичной обмотки,  $L_2, R_2$  — то же самое для вторичной обмотки,  $L_{12}$  — взаимная индуктивность обмоток. Если магнитный поток первичной обмотки полностью пронизывает вторичную, т.е. если отсутствует поле рассеяния, то  $L_{12} = \sqrt{L_1 L_2}$ . Индуктивности обмоток в первом приближении пропорциональны квадрату количества витков в них.

Мы получили систему линейных дифференциальных уравнений для токов в обмотках. Можно преобразовать эти дифференциальные уравнения в обычные алгебраические, если воспользоваться методом комплексных амплитуд.

Для этого рассмотрим отклик системы на синусоидальный сигнал  $u_1 = U_1 e^{j\omega t}$  ( $\omega = 2\pi f$ , где  $f$  — частота сигнала,  $j$  — мнимая единица). Тогда  $i_1 = I_1 e^{j\omega t}$  и т.д., сокращая экспоненциальные множители получим

$$U_1 = -j\omega L_1 I_1 - j\omega L_{12} I_2 + I_1 R_1$$

$$-j\omega L_2 I_1 - j\omega L_{12} I_1 + I_2 R_2 = I_2 Z_H$$

Метод комплексных амплитуд позволяет исследовать не только чисто активную, но и произвольную нагрузку, при этом достаточно заменить сопротивление нагрузки  $R_H$  её импедансом  $Z_H$ . Из полученных линейных уравнений можно легко выразить ток через нагрузку, воспользовавшись законом Ома — напряжение на нагрузке, и т.п.

### Эквивалентная схема трансформатора.

На рисунке показана эквивалентная схема трансформатора, как он видится со стороны первичной обмотки.

Здесь  $T$ — коэффициент трансформации,  $L_{12}$  — «полезная» индуктивность первичной обмотки,  $L_{1n}$ ,  $L_{2n}$ — паразитные индуктивности первичной и вторичной обмотки (связанные с рассеянием),  $R_{1n}$ ,  $R_{2n}$ — паразитные сопротивления первичной и вторичной обмотки соответственно,  $Z_{н}$  — импеданс нагрузки.

## Потери в трансформаторах

Степень потерь (и снижения КПД) в трансформаторе зависит, главным образом, от качества, конструкции и материала «трансформаторного железа». Потери в трансформаторе, где «железо» монолитное больше, чем в трансформаторе, где оно составлено из многих секций (так как в этом случае уменьшается количество вихревых токов).

## Габаритная мощность

Габаритная мощность трансформатора описывается следующей формулой:

$$P_{\text{габ}}=(P_1 + P_2)/2=(U_1I_1 + U_2I_2)/2$$

- 1 - первичной обмотки
- 2 - вторичной обмотки

Однако, это конечный результат. Или академическое определение. Изначально габаритная мощность, как следует из названия, определяется габаритами сердечника и материалом, его магнитными и частотными свойствами.

---

Категории: Незавершённые статьи | Электротехника | Электроника

---

- Последнее изменение этой страницы: 18:15, 15 марта 2006.
- Содержимое доступно в соответствии с GNU Free Documentation License.
- Политика конфиденциальности
- Описание Википедии
- Отказ от ответственности