



«Электротехника»



Трансформатор –

это электромагнитный аппарат, который преобразует электрическую энергию переменного тока, имеющую одни величины, в электрическую энергию с другими величинами.

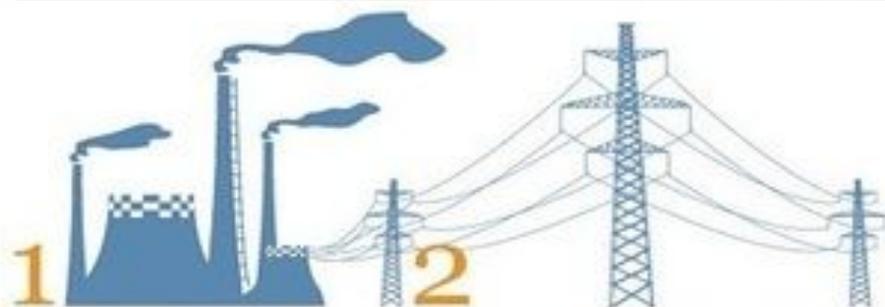
В трансформаторе преобразуются напряжение, ток и начальная фаза.

Неизменной остается частота тока.

Что такое трансформатор?

- Трансформатор — это устройство, которое позволяет как повышать, так и понижать напряжение, и преобразовывать переменный ток.
- Впервые трансформаторы были использованы в 1878 г. русским ученым П. Н. Яблочковым для питания изобретенных им «электрических свечей»

Схема подачи электроэнергии потребителям



1 Электростанция

На электростанции вырабатывается электроэнергия

2 Высоковольтная линия электропередач (ВЛЭП)

Электроэнергия передается по высоковольтной линии электропередач

Поддача электроэнергии в частные дома

Линии электропередач

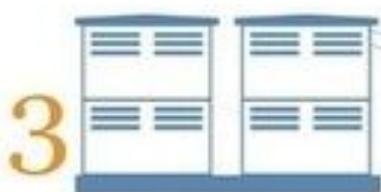
От трансформаторной подстанции к домам тянутся линии электропередач

5



Подключение к потребителю

От линии к каждому дому протягиваются кабели, они соединяются со специальным распределительным устройством, которое, в свою очередь, соединено со счетчиком



3 Распределительные энергосети (РЭС)

Через городские и районные РЭС электроэнергия распределяется на трансформаторные подстанции



4 Трансформаторные подстанции

На трансформаторной подстанции, происходит понижение напряжения с 6 кВ или 10 кВ до 380В/220 В

Подземные ЛЭП в основном прокладываются в черте города, там, где нет возможностей, чтобы установить опоры ЛЭП из-за плотной застройки



Поддача электроэнергии в многоэтажные дома

Подземный кабель

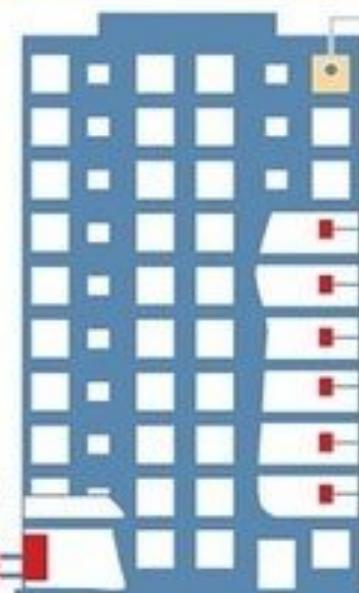
От трансформаторной подстанции под землей к дому идут два кабеля: основной кабель и резервный кабель (на случай аварии)

5

Распределительный щит

В доме кабели подключены к главному распределительному щиту (ГРЩ) или водно-распределительному устройству (ВРУ)

6



8

Потребитель электроэнергии

Электроэнергия попадает в квартиры к конечному потребителю

7 Этажные распределительные щиты

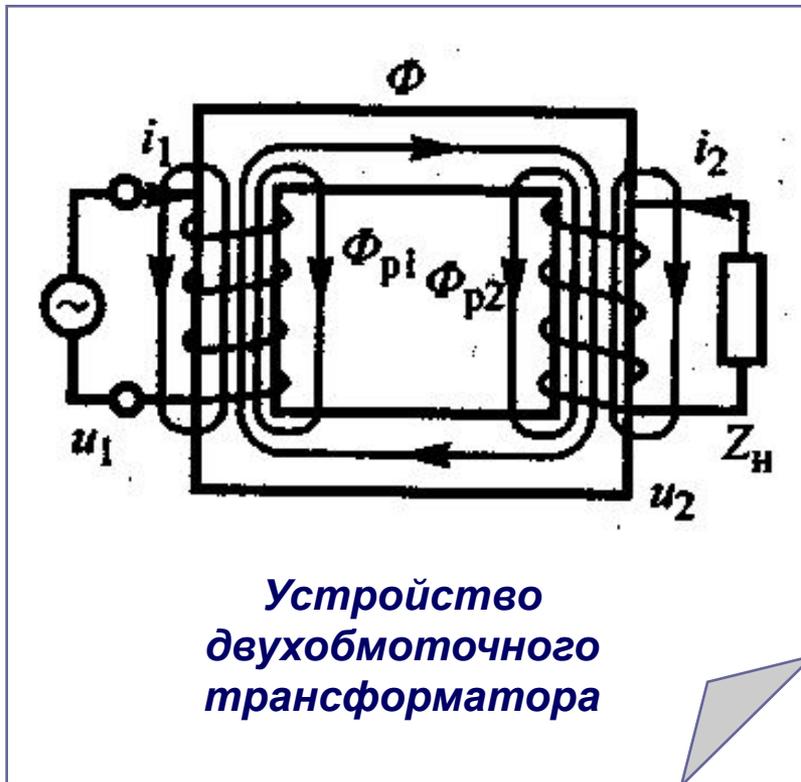
Кабель подводится на каждый этаж к этажным распределительным щитам. В щитах размещаются приборы учета электроэнергии, автоматические выключатели,

Устройство

- Трансформатор состоит из замкнутого железного сердечника, на который надеты две (иногда и более) катушки с проволочными обмотками.
- Одна из обмоток, называемая первичной, подключается к источнику переменного напряжения.
- Вторая обмотка, к которой присоединяют «нагрузку», т. е. приборы и устройства, потребляющие электроэнергию, называется вторичной.

Простейший трансформатор имеет магнитопровод (сердечник) и обмотки.

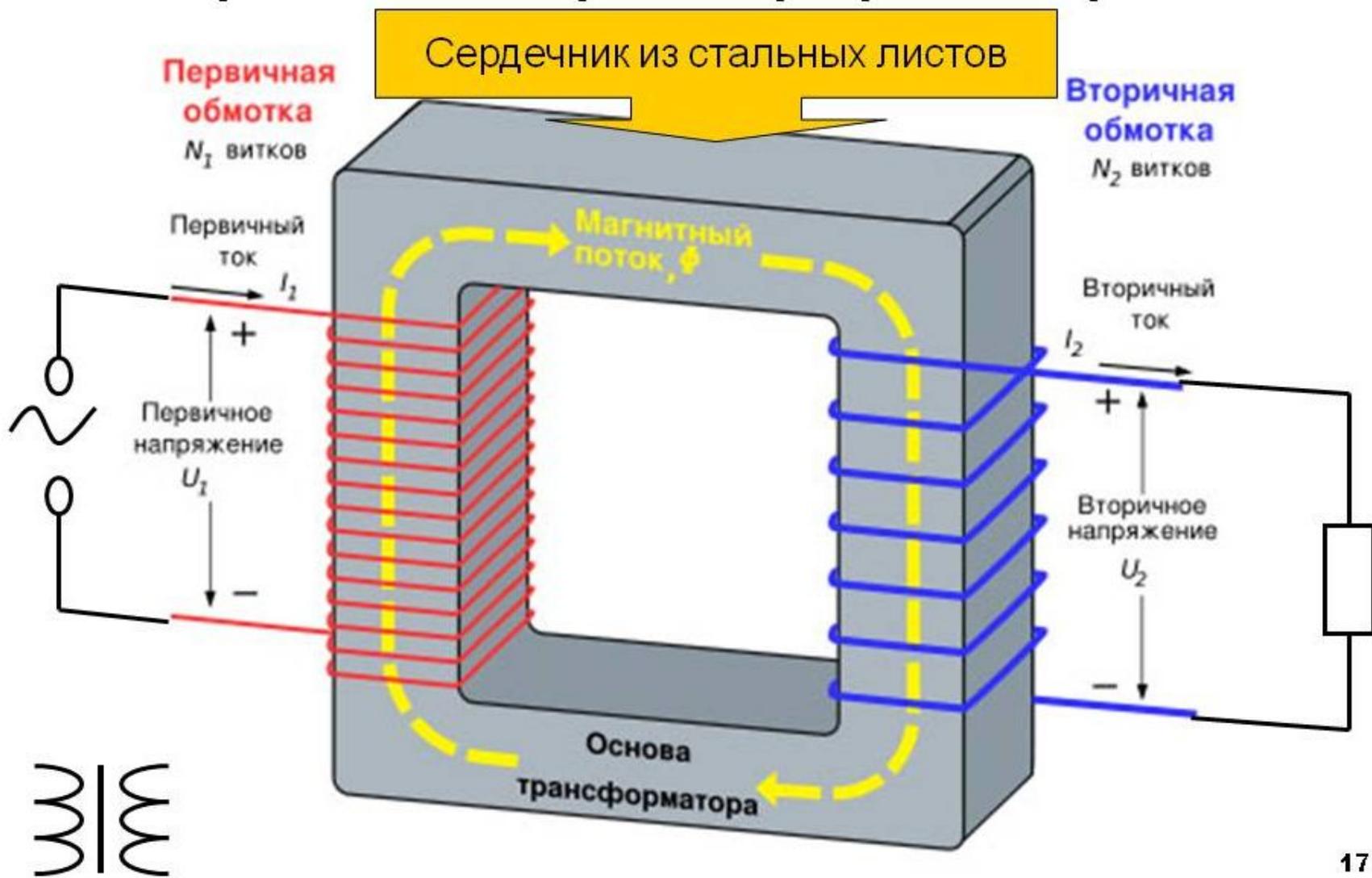
По количеству обмоток различают трансформаторы *двухобмоточные* и *многообмоточные*.



Обмотка с количеством витков w_1 , к зажимам которой подводится напряжение, называется *первичной*.

На зажимы *вторичной* обмотки включается потребитель Z_H .

Устройство трансформатора



Принцип действия

- Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При прохождении переменного тока по первичной обмотке в железном сердечнике появляется переменный магнитный поток, который возбуждает электродвижущую силу индукции в каждой обмотке. Это означает, что, повышая с помощью трансформатора напряжение в несколько раз, мы во столько же раз уменьшаем силу тока, и наоборот.

Виды трансформаторов

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



- **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.
- Недостатком является отсутствие электрической изоляции (гальванической развязки) между первичной и вторичной цепью.
- Преимущество автотрансформатора - более высокий КПД, меньший расход стали для сердечника, меди для обмоток, меньший вес и габариты, и в итоге — меньшая стоимость.



Важной характеристикой трансформатора является

коэффициент трансформации,

который в обычном случае определяется как отношение высшего напряжения к низшему в режиме холостого (нерабочего) хода.

$$K_{\text{т}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Коэффициент трансформации для понижающего трансформатора:

Из этого следует, что трансформатор снижает напряжение и во столько же раз повышает ток (и наоборот)

Нерабочий (холостой) ход

Нерабочим ходом (режимом холостого хода)

называется режим, при котором вторичная цепь трансформатора разомкнута (нагрузка отключена), т.е.

$$Z_H = \infty, \quad I_2 = 0$$

Уравнение трансформатора в режиме холостого хода:

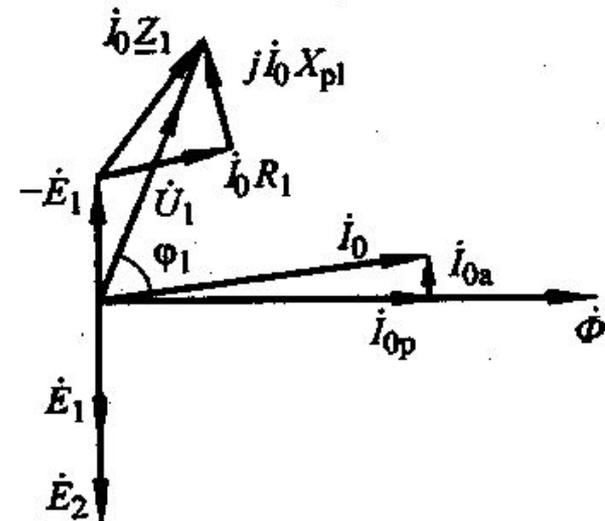
$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_0 R_1 + j \underline{I}_0 X_{p1}$$

Полное внутреннее сопротивление первичной обмотки:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_{p1}$$

Уравнение первичной цепи в окончательном виде:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_0 \underline{Z}_1$$



Векторная диаграмма трансформатора в режиме холостого хода

Режим нагрузки

Режим нагрузки осуществляется, когда на вторичную обмотку включена нагрузка Z_n .

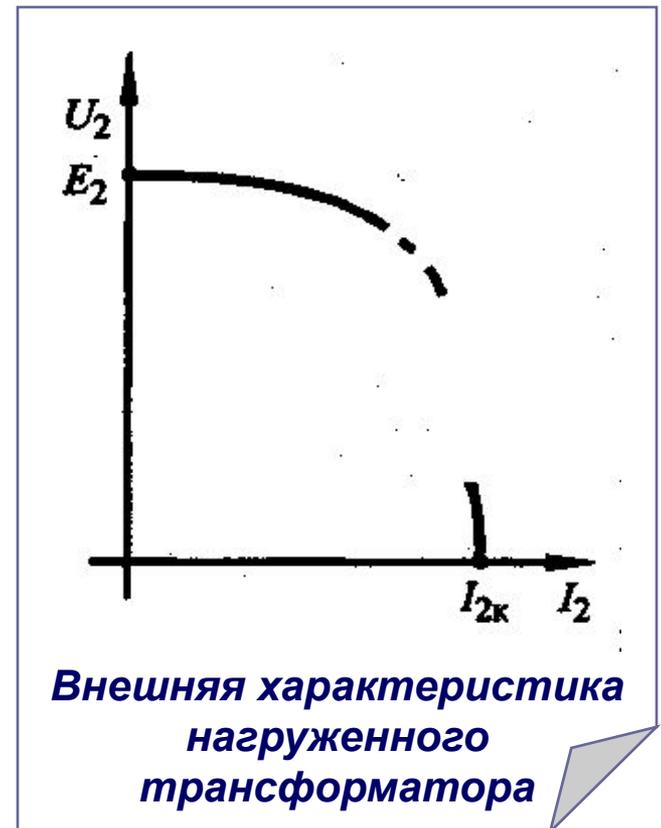
Уравнение первичной цепи:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1$$

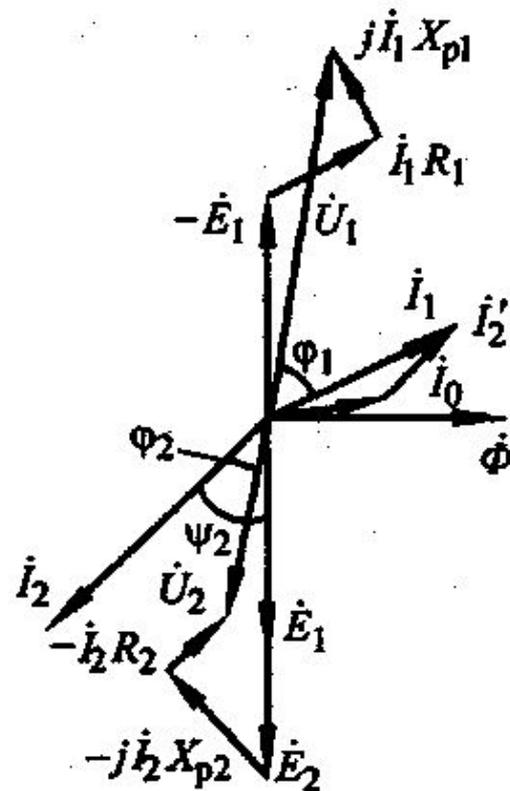
Уравнение вторичной цепи:

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{I}_2 \underline{Z}_2$$

В режиме нагрузки вторичное напряжение U_2 незначительно зависит от тока нагрузки. Эта зависимость ($U_2=f(I_2)$) называется внешней характеристикой



Режим нагрузки



**Векторная диаграмма
нагруженного трансформатора**

Режим короткого замыкания

Режим короткого замыкания –

это аварийный режим работы трансформатора. В режиме короткого замыкания напряжение первичной обмотки равно номинальному, а сопротивление нагрузки равно нулю.

В аварийном режиме короткого замыкания устанавливаются большие токи короткого замыкания в обмотках. Эти значения так велики, что приводят к выходу из строя обмотки трансформатора.

Реальный, идеализированный и приведенный трансформаторы

Реальный трансформатор имеет обмотки, расположенные на сердечнике. Обмотки имеют как активное сопротивление, так и сопротивление рассеяния, т.е., кроме основного магнитного потока, пронизывающего обе обмотки, существуют потоки рассеяния первичной и вторичной обмоток

Идеализированный трансформатор – это трансформатор, в котором отсутствуют магнитные потоки рассеяния, а активные сопротивления обмоток равны нулю. Эти понятия используют для упрощенных исследований процессов

Приведенный трансформатор – эквивалентный реальному трансформатору, у которого коэффициент трансформации равен единице (количество витков вторичной обмотки равно количеству витков первичной обмотки). Для замещения реального трансформатора приведенным нужно выдержать принципы эквивалентности энергетического состояния. Приведенные электрические величины обозначаются штрихами.

Уравнения приведенного трансформатора –

это уравнения электрической цепи с двумя смежными контурами, составленными по законам Кирхгофа.

Уравнение, составленное по первому закону Кирхгофа (для узла электрической цепи):

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 + \underline{I}'_2$$

Уравнения, составленные по второму закону Кирхгофа, для замкнутого контура с идеальными элементами:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_0 R_1 + j\underline{I}_0 X_{p1}$$

$$\underline{U}'_2 = \underline{E}'_2 - \underline{I}'_2 R'_2 - j\underline{I}'_2 X_2$$

Внутренне сопротивление общего для смежных контуров элемента, индуцирующего ЭДС (обеспечивает протекание в нем тока холостого хода):

$$\underline{Z}_0 = R_0 + jX_0$$

**Схема замещения трансформатора,
отвечающая уравнениям приведенного трансформатора**

