



# **Электротехника и электроника**

## **Лекция 8**

### **Однофазный трансформатор**

**Мириленко Андрей Петрович, к.т.н.  
кафедра Электротехники**

# Электрические машины

**Электрической машиной** является электромагнитное устройство, предназначенное для взаимного преобразования механической и электрической энергий.

Различают следующие типы электрических машин:

- генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую;
- двигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую;
- преобразователи электрической энергии одних параметров в электрическую энергию других параметров: трансформаторы, инверторы, конверторы.

Различают электрические машины переменного и постоянного тока в зависимости от тока, на котором они работают. Из электрических машин переменного тока наибольшее распространение получили трансформаторы, трехфазные асинхронные двигатели и трехфазные синхронные генераторы, двигатели и компенсаторы.

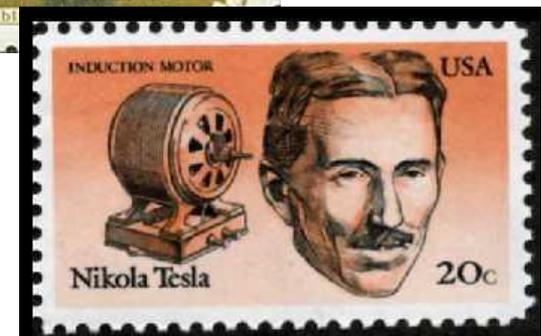
В бытовой технике широко используются однофазные двигатели переменного тока: холодильники, стиральные машины и др. и универсальные коллекторные двигатели – коллекторные двигатели синусоидального тока: пылесосы, электродрели, швейные машины и др.

# Трансформаторы

Трансформатор – статическое электромагнитное устройство, преобразующее переменное (синусоидальное) напряжение (ток) одного значения в напряжение (ток) другого значения.

Первые трансформаторы с разомкнутым магнитопроводом предложил в 1874 году П.Н. Яблочков для питания электрической "свечи". В 1885 году венгерские ученые М.Дери, О.Блати и К. Циперновский разработали однофазные промышленные трансформаторы с замкнутым магнитопроводом.

Трехфазные трансформаторы появились в 1889 – 1891 годах благодаря работам русского ученого работавшего в Германии, и американского ученого сербского происхождения Никола Тесла.



# Трансформаторы. Классификация

## 1. По назначению –

силовые, измерительные, сварочные и специальные;

## 2. По расположению обмоток –

стержневые, броневые, тороидальные;

## 3. По числу фаз –

однофазные, трехфазные, многофазные;

## 4. По напряжению –

низковольтные ( $U < 1500$  В) и высоковольтные ( $U > 1500$  В);

## 5. По мощности –

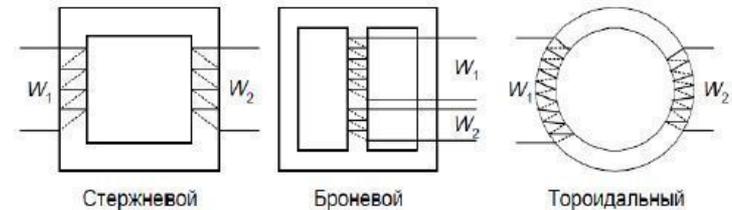
малой мощности, если полная номинальная мощность ( $S_H < 10$  кВА), средней мощности ( $10 < S_H \leq 100$  кВА), большой мощности ( $100$  кВА  $< S_H < 10$  МВА) и сверхмощные ( $S_H > 10$  МВА);

## 6. По частоте –

нормальной частоты ( $6 < f \leq 100$  Гц), повышенной частоты ( $100 < f \leq 1000$  Гц), средней частоты ( $1$  кГц  $< f < 100$  кГц) и высокочастотные ( $f > 100$  кГц);

## 7. По числу обмоток –

однообмоточные (автотрансформаторы), двухобмоточные, многообмоточные.



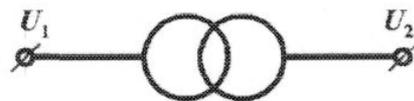
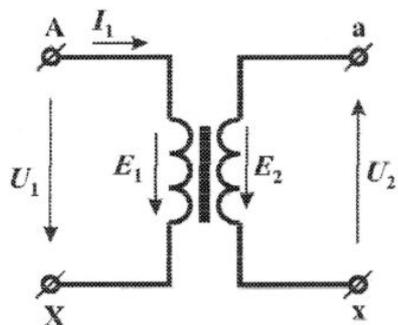
# Трансформаторы. Обозначение. Маркировка

## Основные характеристики и маркировка

1. Схема соединения и подключения обмоток.
2. Количество витков в каждой обмотке.
3. Номинальная мощность трансформатора.
4. Номинальные напряжение и токи.
5. Рабочая частота питающего тока

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ  
 ТРАНСФОРМАТОРЫ СИЛОВЫЕ  
 Общие технические условия  
 Power transformers. General specifications

ГОСТ 11677-85  
 Дата введения 01.07.86 г.



# Устройство однофазного трансформатора

Под действием приложенного синусоидального напряжения в первичной обмотке появляется ток, порождающий магнитный поток в магнитопроводе

$$u_1 = U_m \sin(\omega t) \rightarrow i_1(t) \rightarrow \Phi(t)$$

ЭДС индукции в обмотках связана со скоростью изменения магнитного потока, одинакового для обмоток.

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

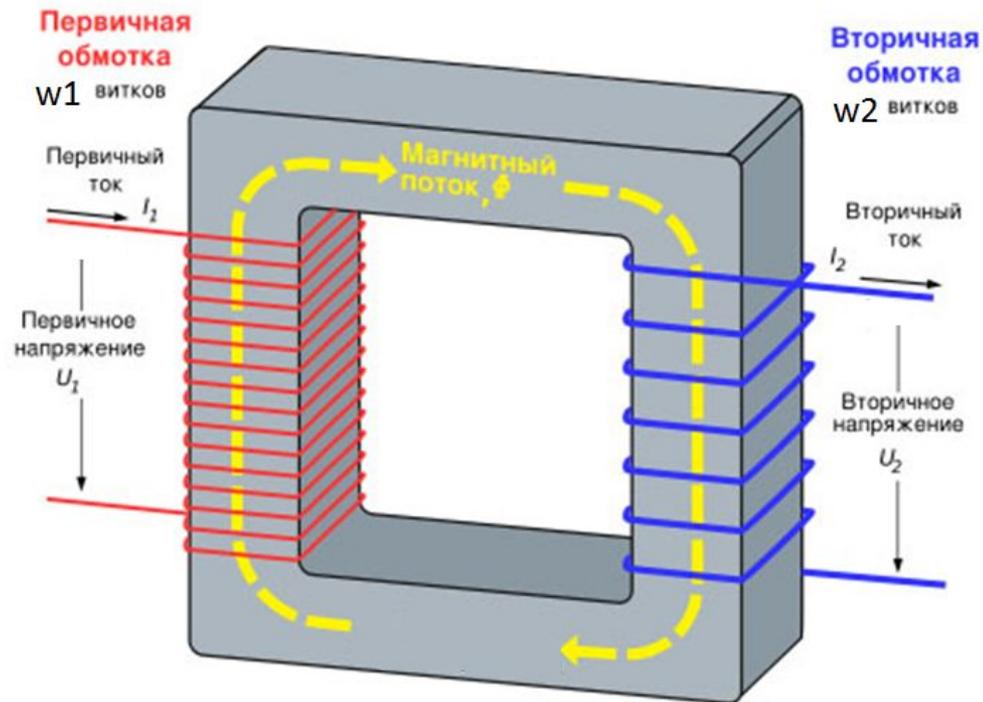
Поэтому коэффициент трансформации равен отношению количества витков

$$\frac{u_1}{u_2} = -\frac{e_1}{e_2} \rightarrow n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{w_2}{w_1}$$

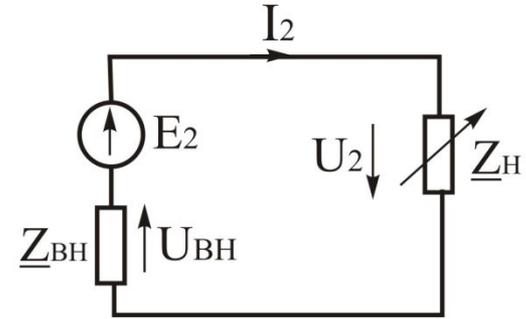
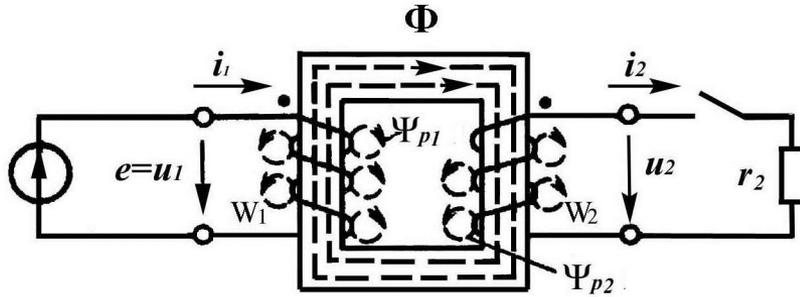
Можно найти прямую связь между напряжением и потоком

$$U_1 = w_1 \frac{d\Phi}{dt} \rightarrow d\Phi = \frac{1}{w_1} U_m \sin(\omega t) dt \rightarrow \Phi = \int \frac{1}{w_1} U_m \sin(\omega t) dt$$

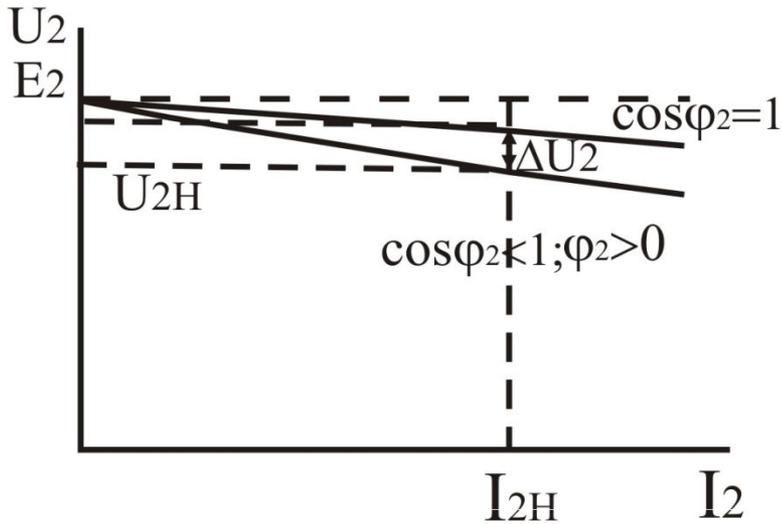
$$\rightarrow \Phi = \frac{1}{w_1 \omega} U_m (-\cos \omega t) \rightarrow \Phi_m = \frac{U_{m1}}{w_1 \omega} \rightarrow U_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} 2\pi f w_1 \Phi_m = 4,44 f w_1 \Phi_m$$



# Трансформаторы. Рабочий режим



Эквивалентная схема вторичной обмотки



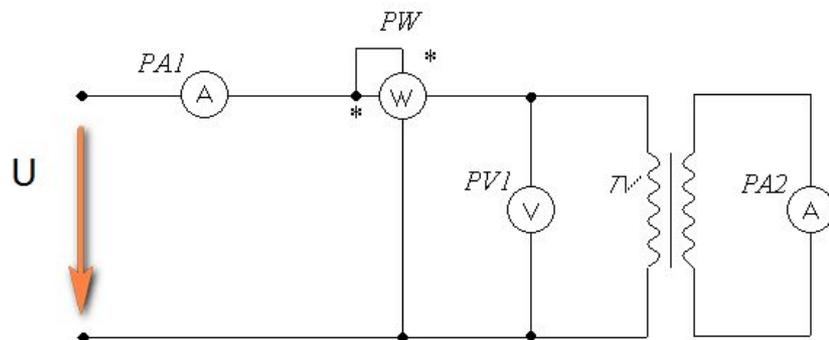
Внешняя характеристика трансформатора

# Трансформаторы. Короткое замыкание

Аварийное



Лабораторное



$U_1 \ll U_{1ном}$  поэтому магнитный поток мал.

$$I_2 = I_{2Н}$$

$$\Delta P_{\text{меди}} \approx P$$

При номинальном токе вторичной обмотки мощность приблизительно равна «потерям в меди»

## Трансформаторы. Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad P_1 = P_2 - \Delta P$$

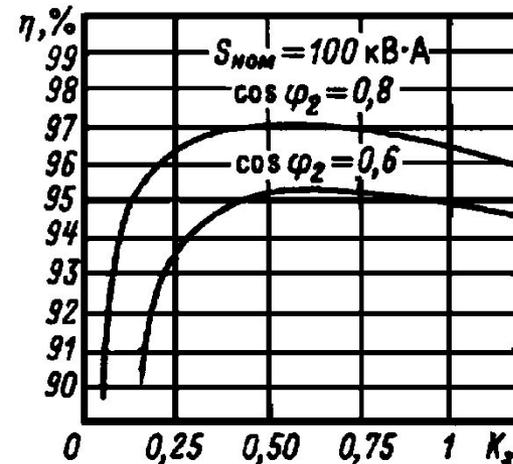
$$\Delta P = P_{\text{стали}} + P_{\text{меди}}$$

$P_{\text{стали}}$  =  $P_{\text{холостого хода}}$  при номинальном напряжении

$P_{\text{меди}}$  =  $\beta^2 P_{\text{кз}}$  при номинальном токе вторичной обмотки

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{н}}}$$

Максимальный КПД  
предусматривают при  
 $\beta_{\text{м}} \approx 0,5 \dots 0,7$



## Трансформаторы. Задачи 1

. Определить **КПД** трансформатора при известных потерях в стали  $P_{ст} = 7$  Вт и потерях в меди трансформатора на коротком замыкании  $P_{1к} = 5$  Вт.

Известны так же.

$$I_1 = 0.6 \text{ A}, U_1 = 220 \text{ В},$$

$$\cos\varphi_1 = 0.88,$$

$$I_2 = 1.6 \text{ A}, I_{2н} = 2 \text{ A}$$

Решение: 
$$P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 = 220 * 0,6 * 0,88 = 116 \text{ Вт}$$

$$\Delta P = P_{стали} + P_{меди}$$

$$P_{стали} = 7 \text{ Вт}$$

$$P_{меди} = \beta^2 P_{кз} \quad \beta = \frac{I_2}{I_{2н}} = \frac{1,6}{2} = 0,8 \quad P_{меди} = 0,8^2 * 5 = 3,2 \text{ Вт}$$

$$\Delta P = 7 + 3,2 = 10,2 \text{ Вт}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = \frac{116 - 10,2}{116} = 0,913 = 91,3\%$$

## Трансформаторы. Задачи 2

Определить коэффициент трансформации и КПД трансформатора, если известны:

$$I_1=0.8 \text{ A}, U_1= 380 \text{ В}, \cos\varphi_1= 0.80,$$

$$I_2=1.6 \text{ A}, U_2=200 \text{ В}, \cos\varphi_2= 0.69$$

Решение:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\Delta P = P_{\text{стали}} + P_{\text{меди}}$$

$$P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 = 380 * 0,8 * 0,8 = 243,2 \text{ Вт}$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2 = 200 * 1,6 * 0,69 = 220,8 \text{ Вт}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{220,8}{243,2} = 0,908 = 90,8\%$$

