

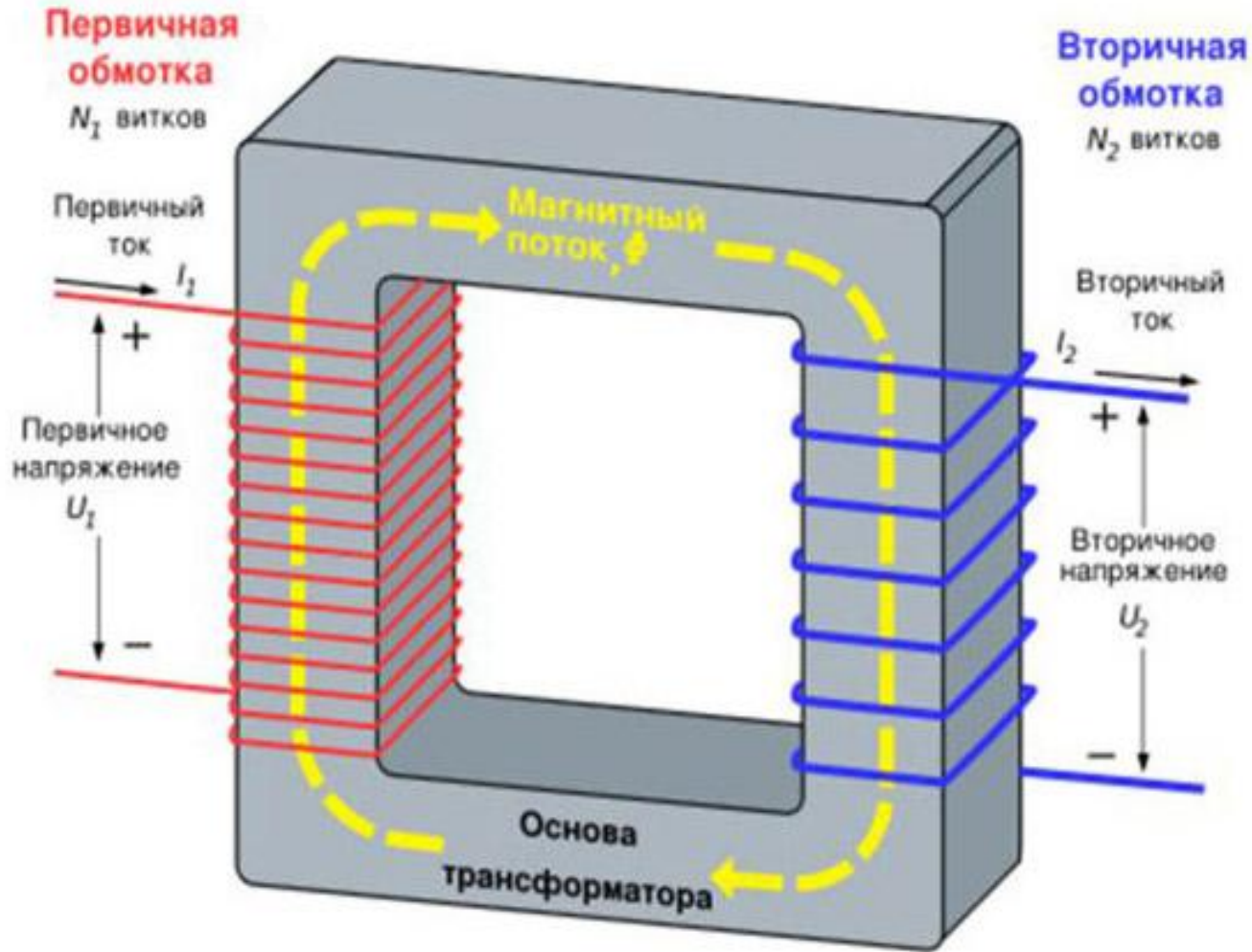
ТРАНСФОРМАТОР

Принцип
работы,
устройство и

Назначение трансформатора

- **Трансформатором** называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования тока переменной частоты с одним напряжением в переменный ток с иным напряжением, но с прежней частотой, основанный на явлении электромагнитной индукции.
- Обмотка трансформатора, соединенная с источником питания, называется **первичной**, а обмотка, к которой

Конструкция



Принцип работы

- Принцип работы трансформатора базируется на эффекте взаимной индукции. Поступление тока переменной формы от источника электроэнергии на первичную обмотку формирует в сердечнике магнитное поле с переменным потоком, проходящим через вторичную обмотку и индуцирующим электродвижущую силу в ней. Подключение приемника электроэнергии ко вторичной обмотке обуславливает прохождение

Классификация по видам

- **Силовые**
- **Автотрансформаторы**
- **Трансформаторы тока**
- **Трансформаторы напряжения**
- **Импульсные**
- **Разделительные**
- **Согласующие**
- **Пик-трансформаторы**
- **Сдвоенный дроссель**

Рабочий режим трансформатора

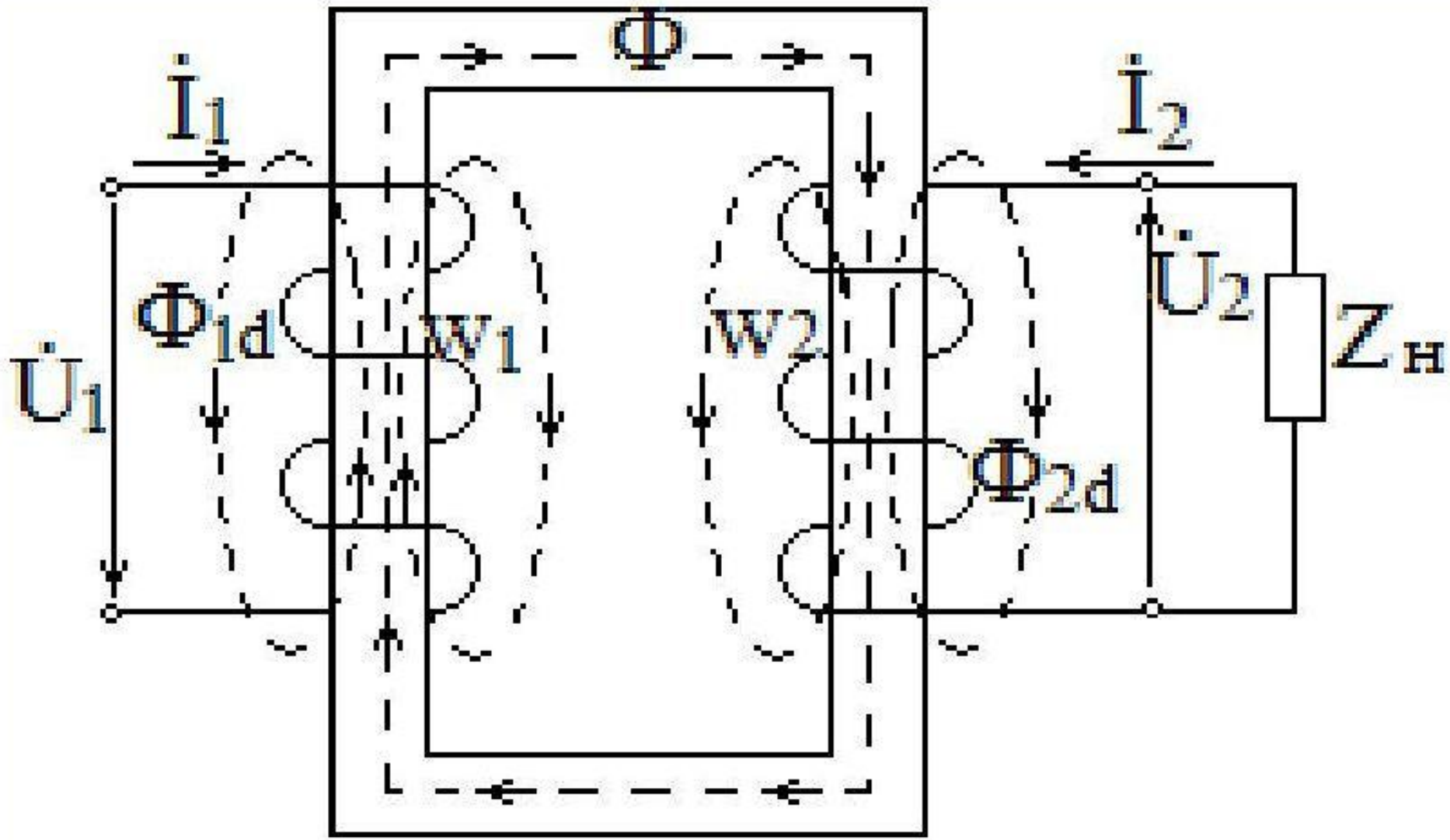
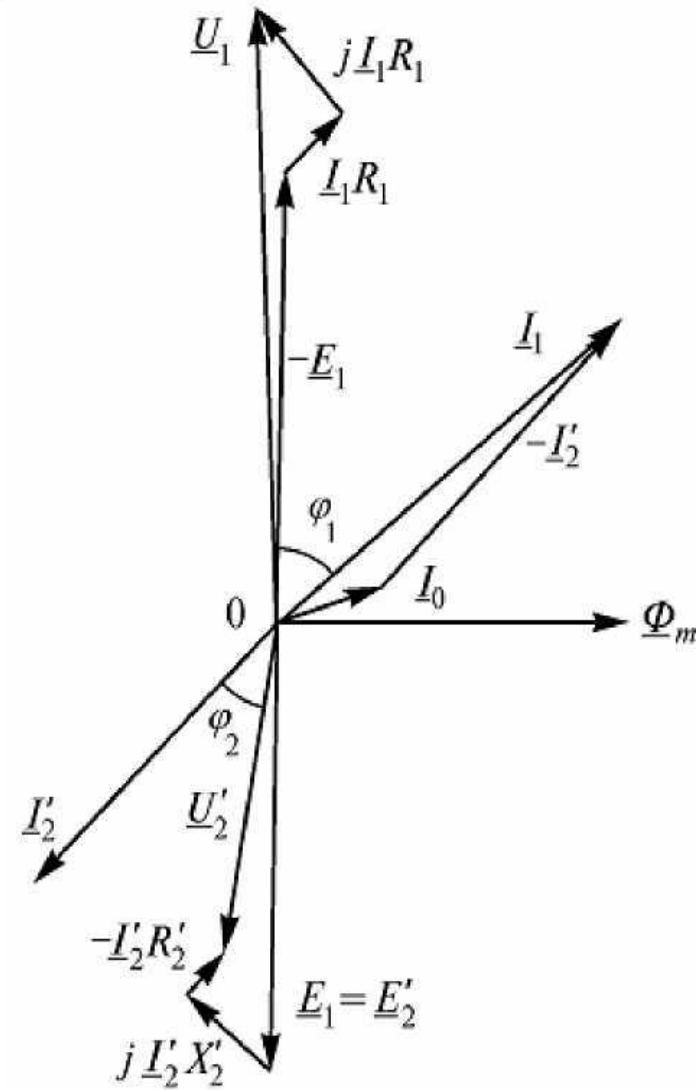
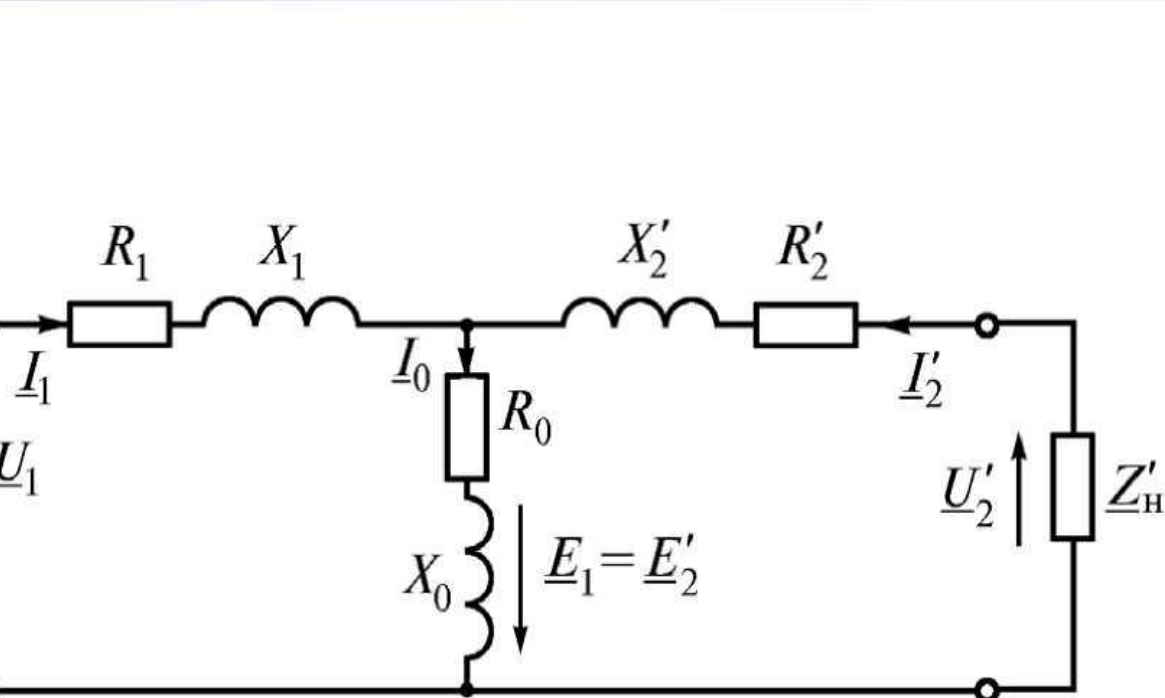


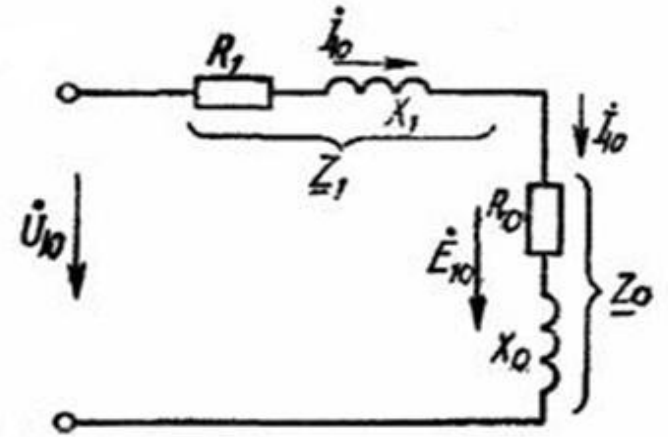
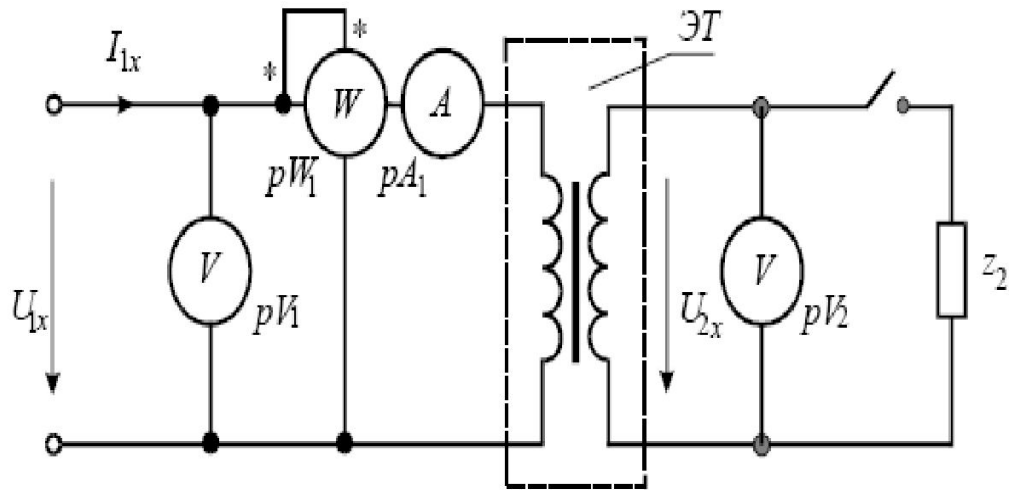
Схема замещения и векторная диаграмма трансформатора



Опыт холостого хода

ОПЫТ ХОЛОСТОГО ХОДА

$$U_1 = U_1 \text{ ном} Z_2 \text{ ном} \dots \infty$$



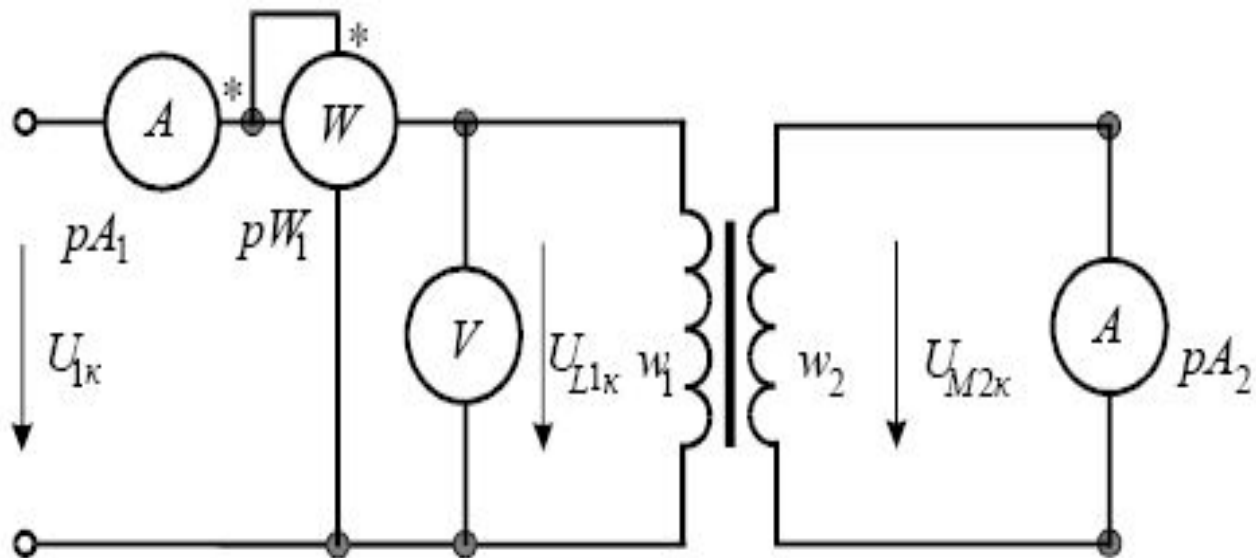
$$Z_{\text{ВХХ}} = U_{10} / I_{10};$$

$$R_1 + R_0 = P_{10} / I_{10}^2;$$

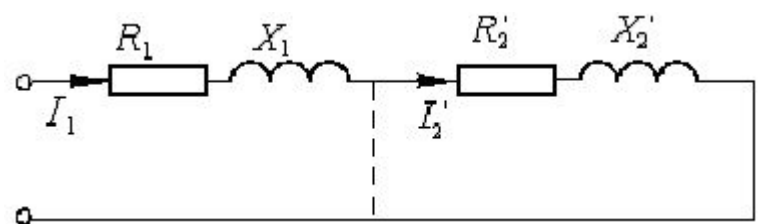
$$X_1 + X_0 = \sqrt{Z_{\text{ВХХ}}^2 - (R_1 + R_0)^2},$$

Отыт короткого замыкания U1

$U_1 \ll U_{1\text{ном}}$ $R_{\text{нагр}} = 0$

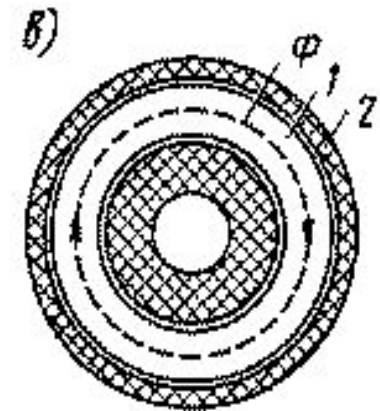
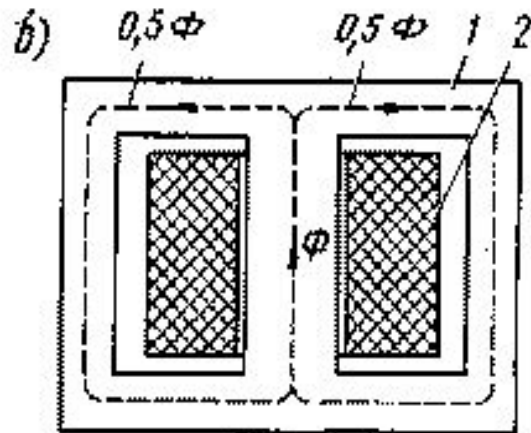
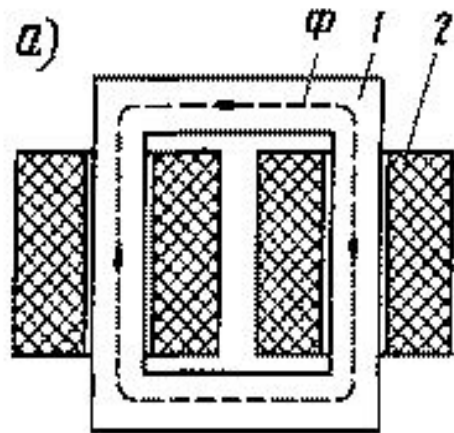


$$\left. \begin{aligned} Z_K &= U_K / I_{1\text{ном}}; \\ R_K &= R_1 + R'_2 = P_K / I_{1\text{ном}}^2; \\ X_K &= X_1 + X'_2 = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}; \end{aligned} \right\}$$

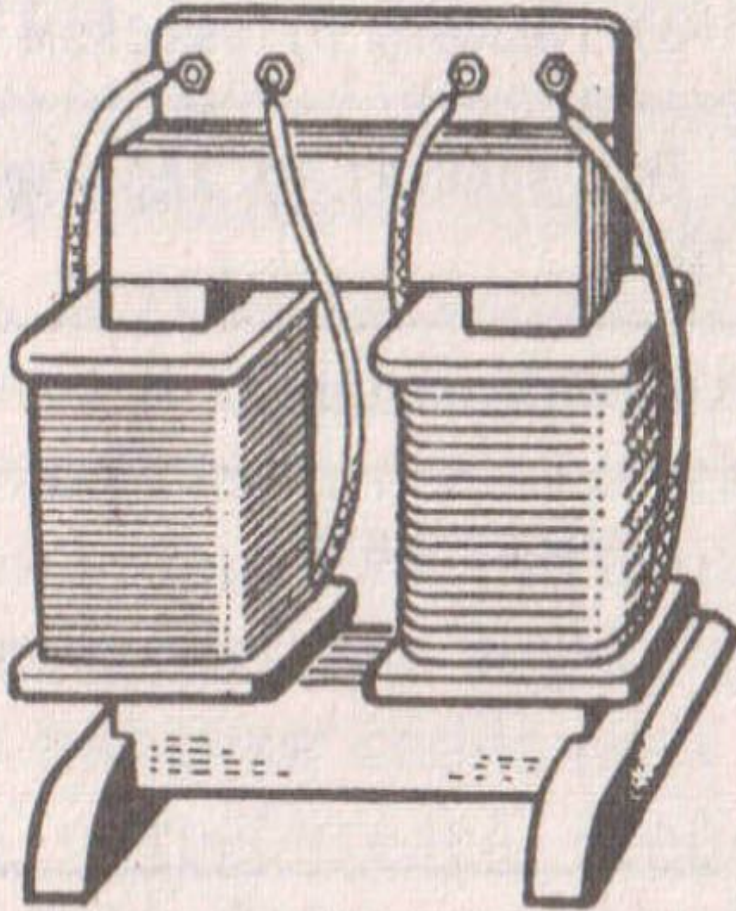


Конструкции трансформаторов

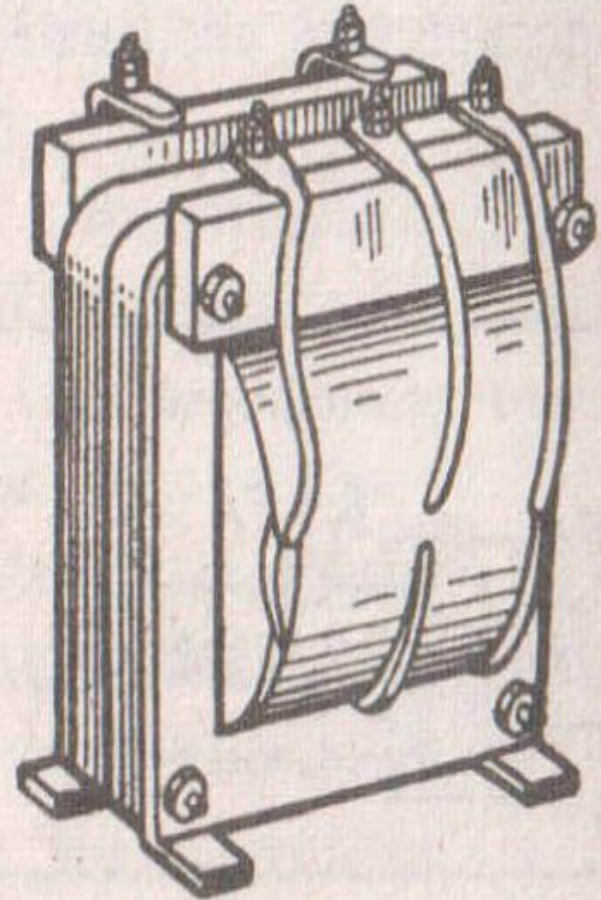
- Броневой
- Тороидальной
- стержневой



Примеры реализации трансформаторов

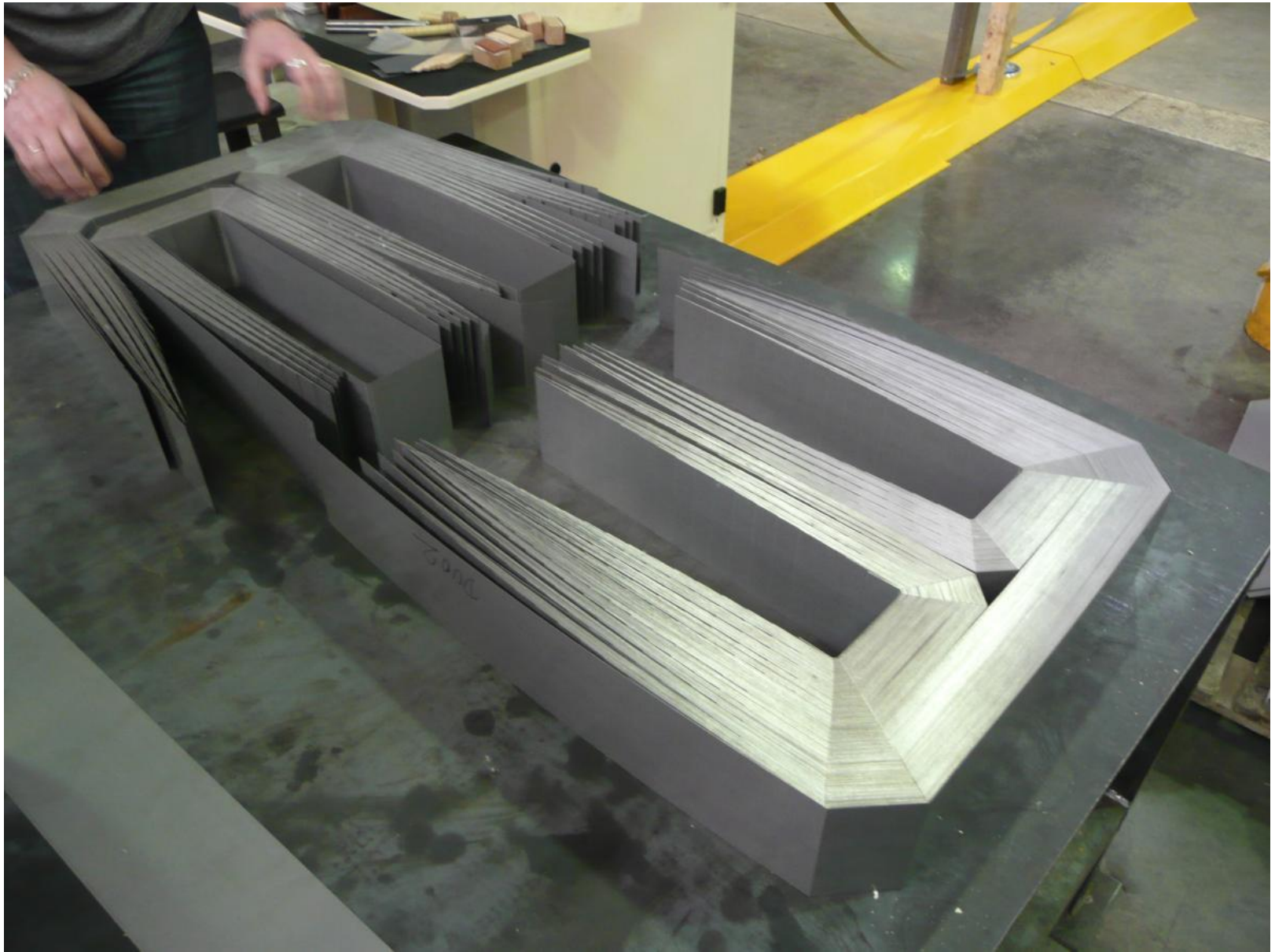


a)

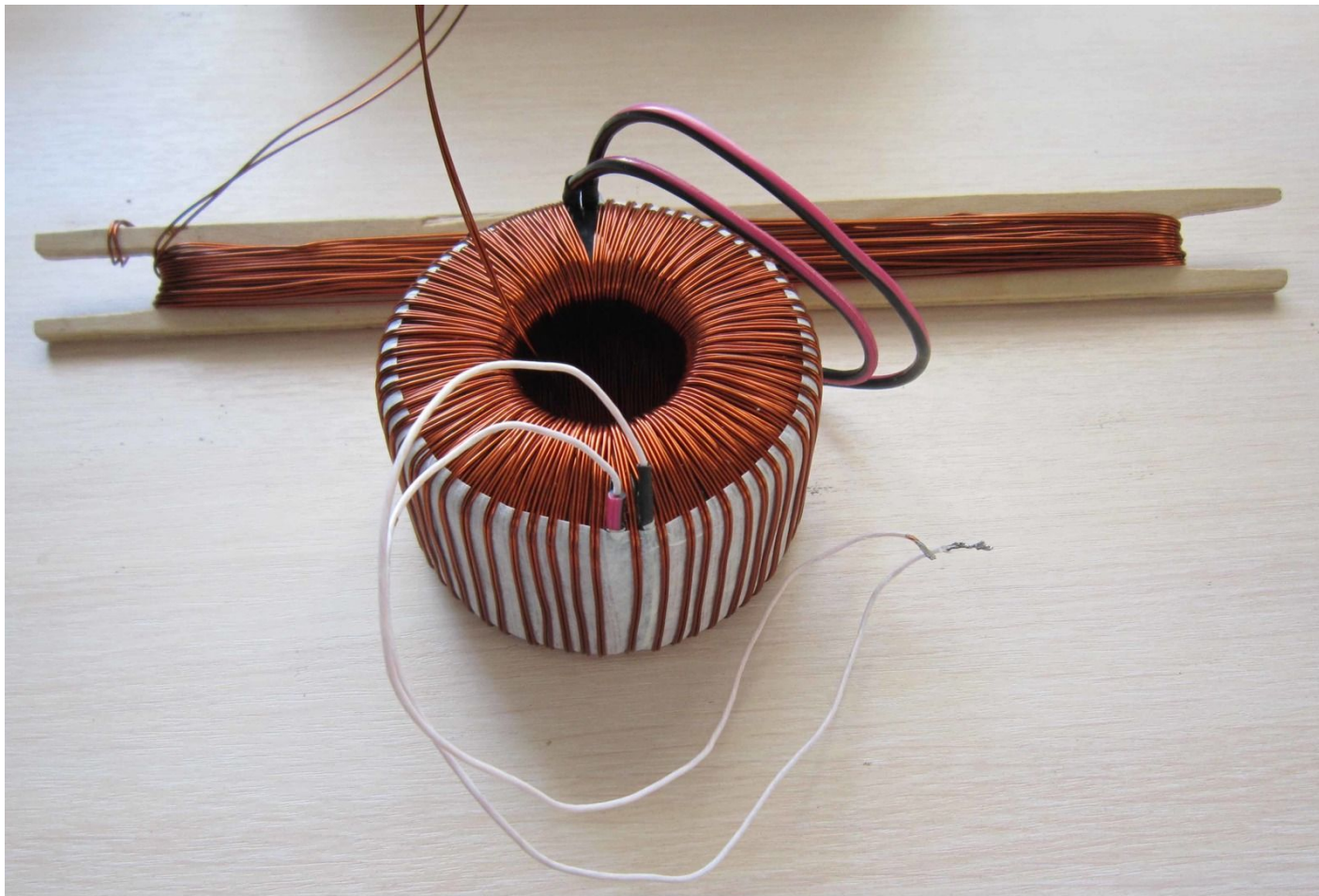


б)

Как собирают сердечник



Тороидальный трансформатор



ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t,$$

$$e_1 = -\frac{d\Psi_1}{dt} = -w_1 \frac{d}{dt}(\Phi_m \sin \omega t) = -\omega w_1 \Phi_m \cos \omega t = \omega w_1 \Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = E_{1m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$e_2 = -\frac{d\Psi_2}{dt} = -w_2 \frac{d}{dt}(\Phi_m \sin \omega t) = -\omega w_2 \Phi_m \cos \omega t = \omega w_2 \Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = E_{2m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$E_{1m} = \omega w_1 \Phi_m;$$

$$E_1 = \frac{\omega w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f w_1 \Phi_m$$

$$E_{2m} = \omega w_2 \Phi_m$$

$$E_2 = \frac{\omega w_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f w_2 \Phi_m$$

$$\left. \begin{array}{l} E_1 \\ E_2 \end{array} \right\} \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = n$$

Связь габаритов и мощности

$$S_o \times S_c = 100 \times P_g / (2,22 \times B_c \times A \times F \times K_o \times K_c),$$

где:

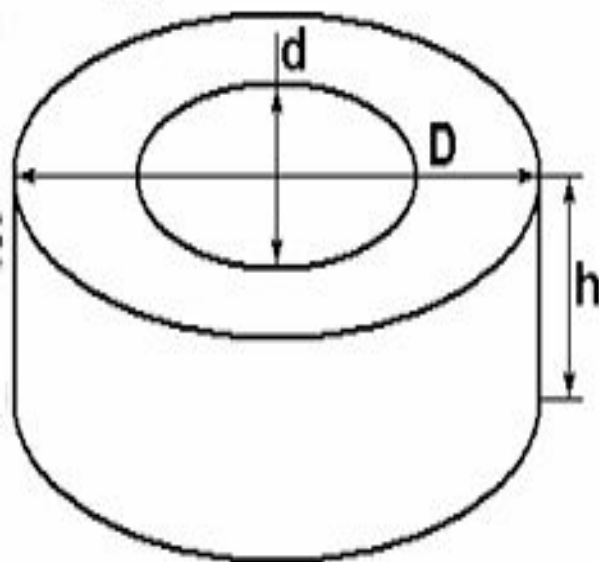
- S_o — площадь окна сердечника;
- S_c — площадь поперечного сечения сердечника;
- P_g — габаритная мощность;
- B_c — магнитная индукция сердечника;
- A — плотность тока в проводниках обмоток;
- F — частота тока;

Габаритная мощность

- $P = B \times S^2 / 1,69$
- B — индукция, Т;
- S — площадь сечения сердечника, см²;
- 1,69 — коэффициент.

Размеры сердечников

Кольцевой ленточный сердечник ОЛd/D-h

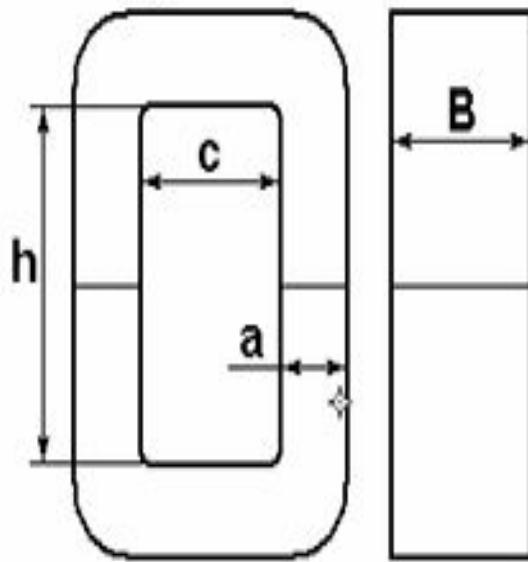


$$S_c = \frac{(D-d) \cdot h}{2} \quad S_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Например, для ОЛ64/100-50

$$S_c = 9 \text{ см}^2 \quad S_o = 32,17 \text{ см}^2$$

П-образный ленточный сердечник ПЛ а х В



$$S_c = a \times B \quad S_o = c \times h$$

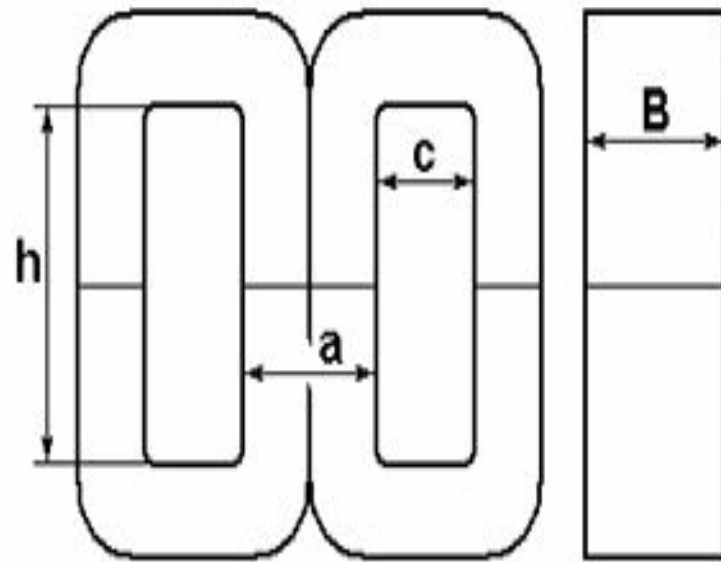
Например, для ПЛР 21х32

при c = 26 мм, h = 85 мм

$$S_c = 6,72 \text{ см} \quad S_o = 22,1 \text{ см}$$

(типы магнитопроводов Б69 и Б35 завода "Комета", г. Великий Новгород)

Ш-образный ленточный сердечник ШЛ а х В



$$S_c = a \times B \quad S_o = c \times h$$

Например, для ШЛ 20х32

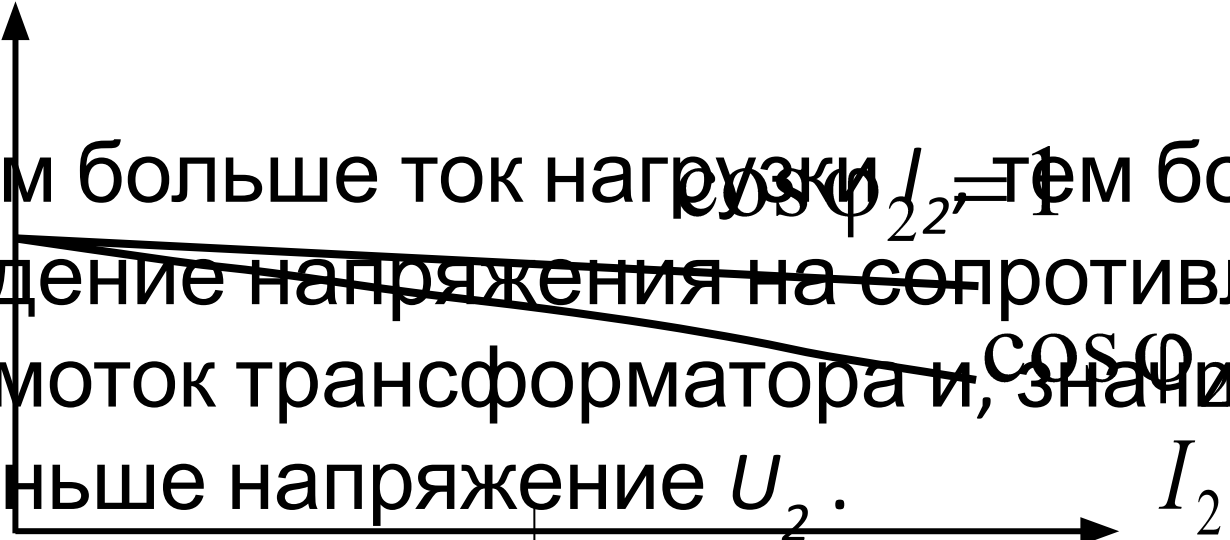
при c = 13 мм, h = 85 мм

$$S_c = 6,4 \text{ см} \quad S_o = 11,05 \text{ см}$$

Внешняя характеристика

трансформатора

- Для трансформатора очень важной является его **внешняя характеристика**, т.е. $U_2 = f(I_2)$ зависимость вторичного напряжения от тока нагрузки при фиксированном напряжении U_1 и постоянном коэффициенте мощности приемника $\cos \varphi$

- Чем больше ток нагрузки I_2 , тем больше падение напряжения на сопротивлении обмоток трансформатора, значит, тем меньше напряжение U_2 .
- 
- The graph shows a coordinate system with the vertical axis labeled U_2 and the horizontal axis labeled I_2 . A straight line with a negative slope starts from a point on the U_2 axis and extends to the right. The text above the graph explains that as the load current I_2 increases, the voltage drop across the transformer windings increases, resulting in a lower secondary voltage U_2 . The text also includes the values $\cos \varphi_{22} = 1$ and $\cos \varphi = 0.8$.

Изменение вторичного напряжения при увеличении нагрузки от х.х. до номинальной определяется выражением

$$\Delta U_* = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}}.$$

$$\underline{U_2 = U_{2_0} (1 - \Delta u / 100)}$$

U_2 – вторичное напряжение при данной нагрузке

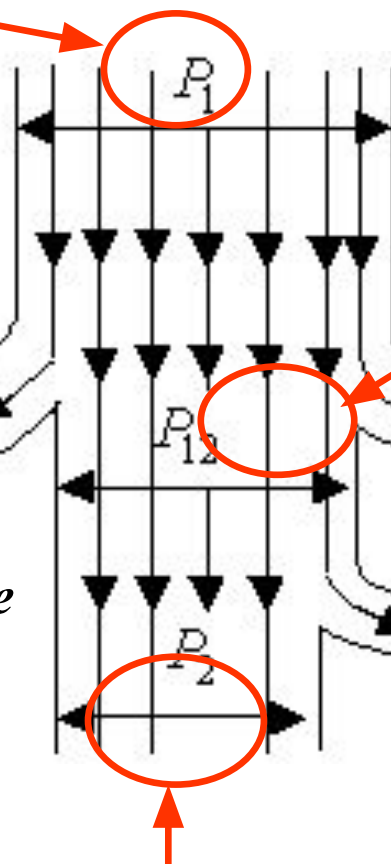
U_{2_0} – вторичное напряжение холостого хода

Δu – изменение вторичного напряжения

$$\Delta u = \left(\frac{I_1 r_k}{U_{1H}} \cos \varphi_2 + \frac{I_1 X_k}{U_{1H}} \sin \varphi_2 \right) 100.$$

Энергетическая диаграмма трансформатора

мощность
первичной
обмотки



мощность во
вторичной
обмотке

потери в магнитопроводе
(стали) на гистерезис и
вихревые ток

мощность потерь на
нагревание проводов
первичной и вторичной
обмоток

мощность цепи
приемников

Коэффициент полезного действия трансформатора зависит от режима работы.

$$\eta = P_2 / P_1 \text{ или } \eta(\%) = (P_2 / P_1) \cdot 100 \%$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_2 + \Delta P}.$$

Электрические потери.

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = m \cdot I_1^2 \cdot r_1 + m \cdot I_2'^2 \cdot r_2'$$

Магнитные потери.

$$P_M = P_{\Gamma} + P_{B.T}$$

