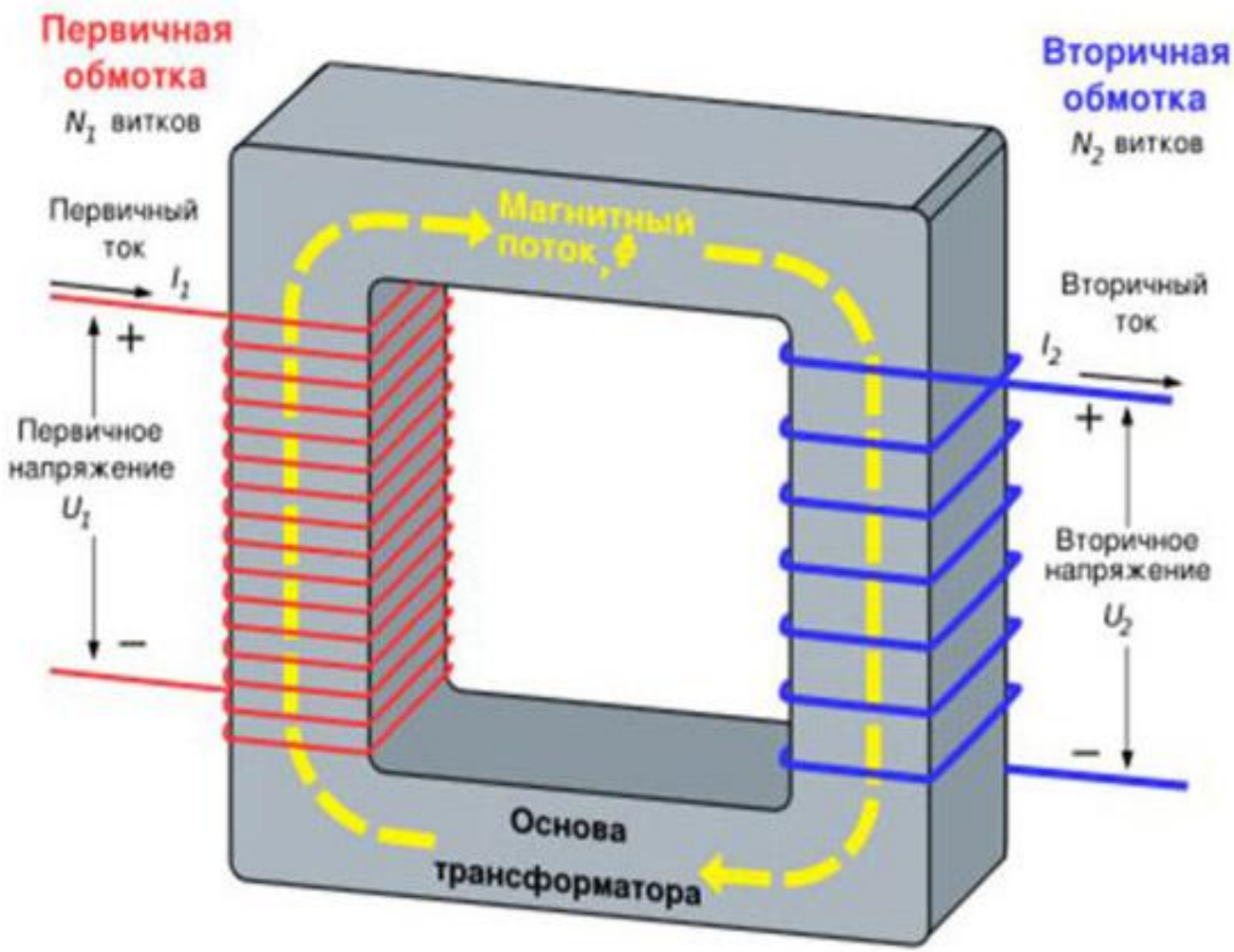
ТРАНСФОРМАТОР

Принцип работы, устройство и виды

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 взаимоиндукции. 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

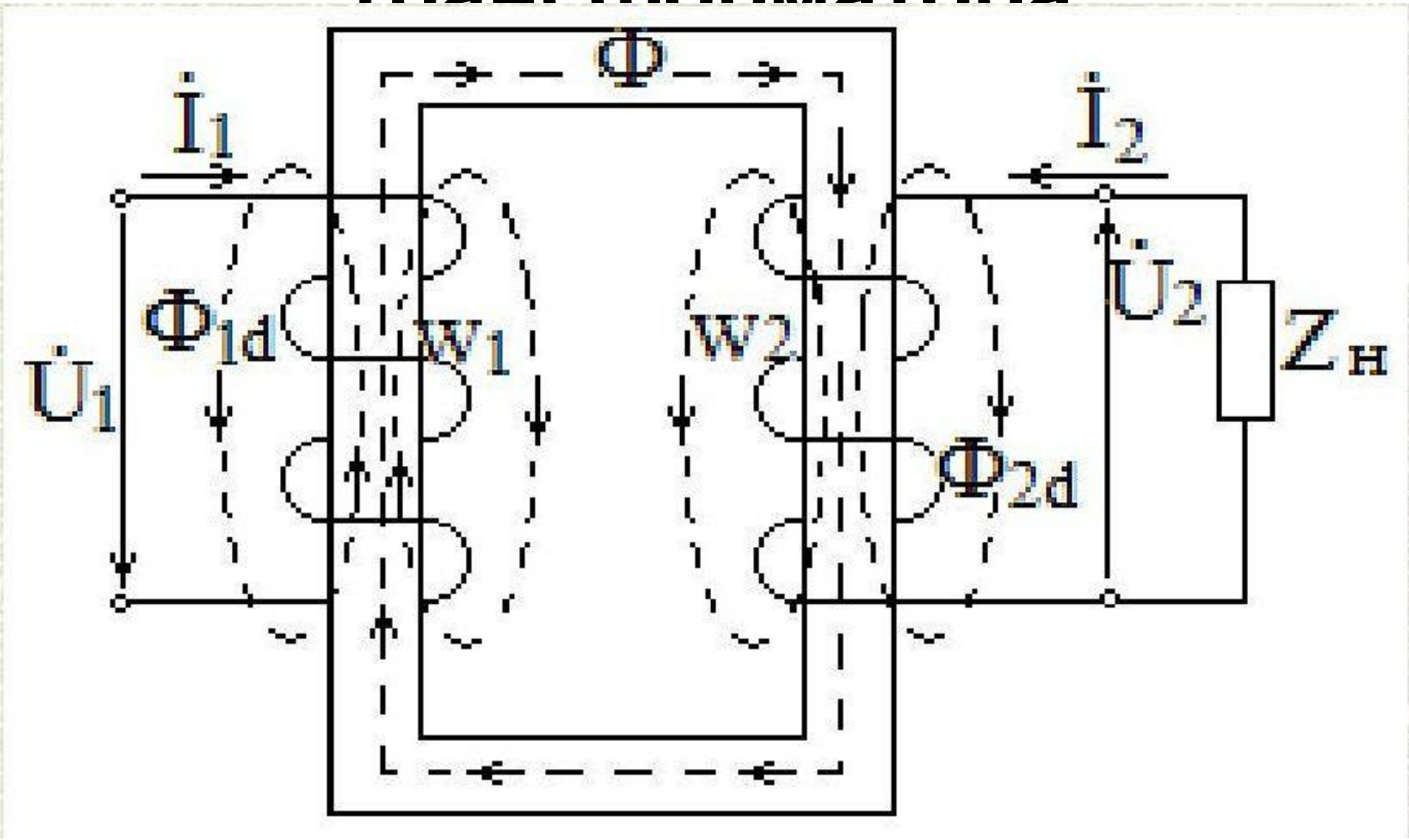
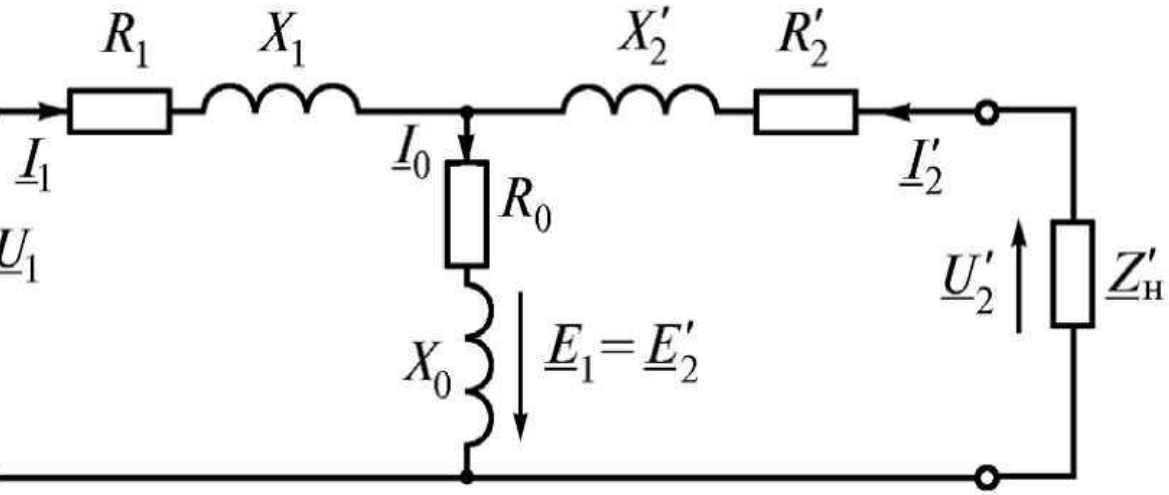
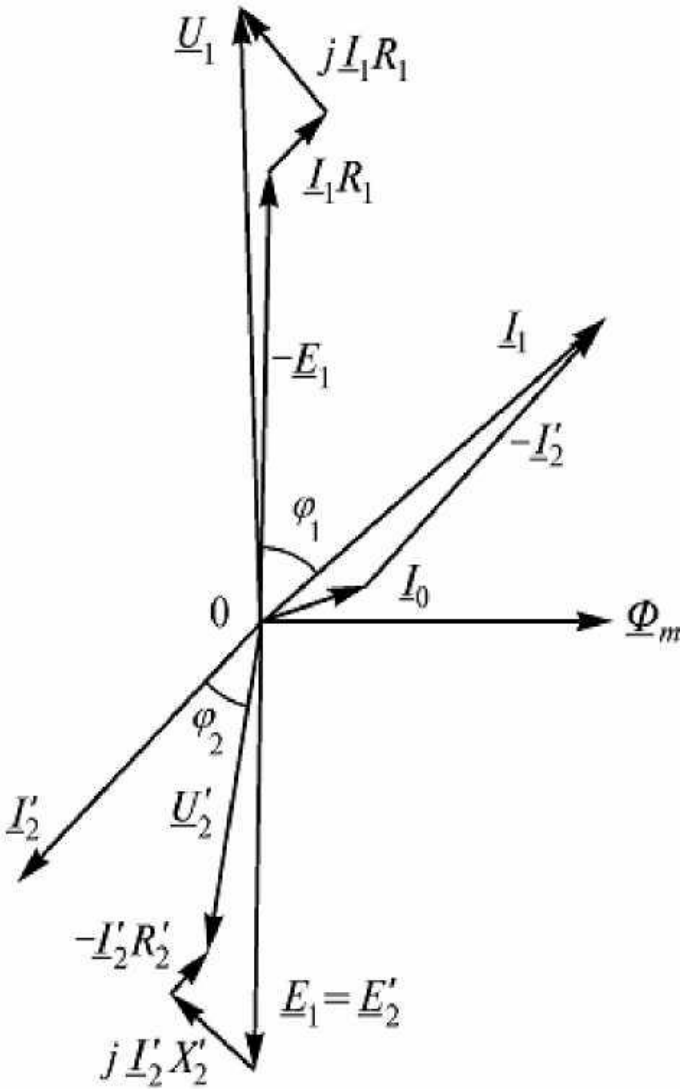


Схема замещения и векторная диаграмма трансформатора

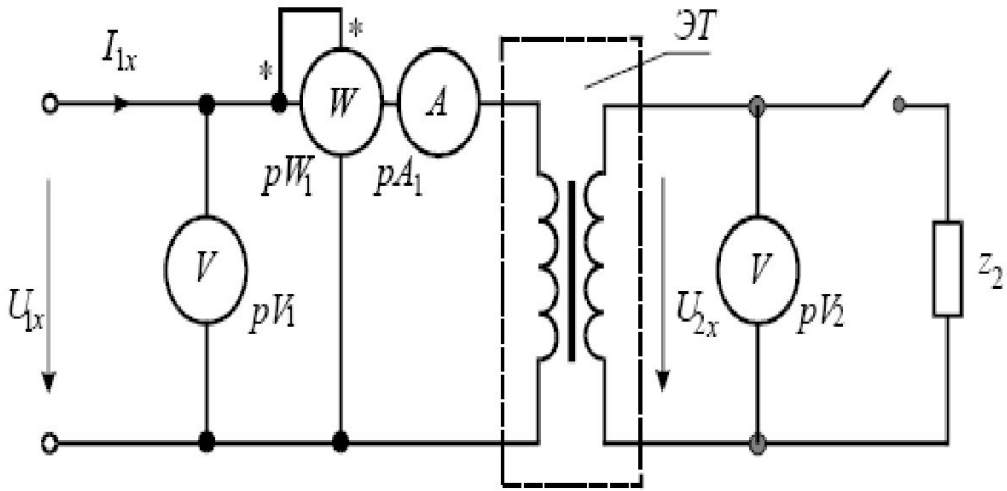


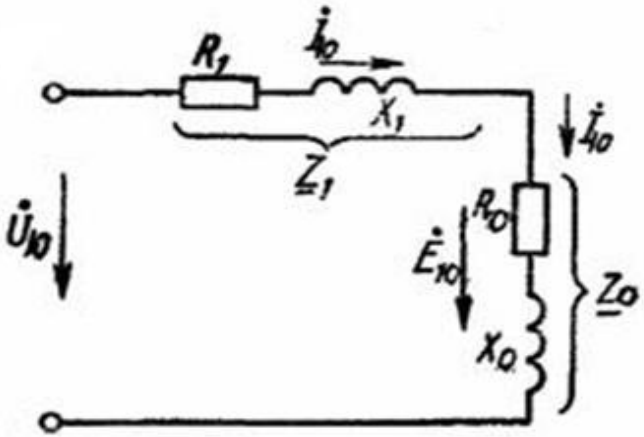


Опыт холостого хода

Опыт холостого хода

$U_1 = U_{1ном}$, $Z_{2ном} \ldots \infty$

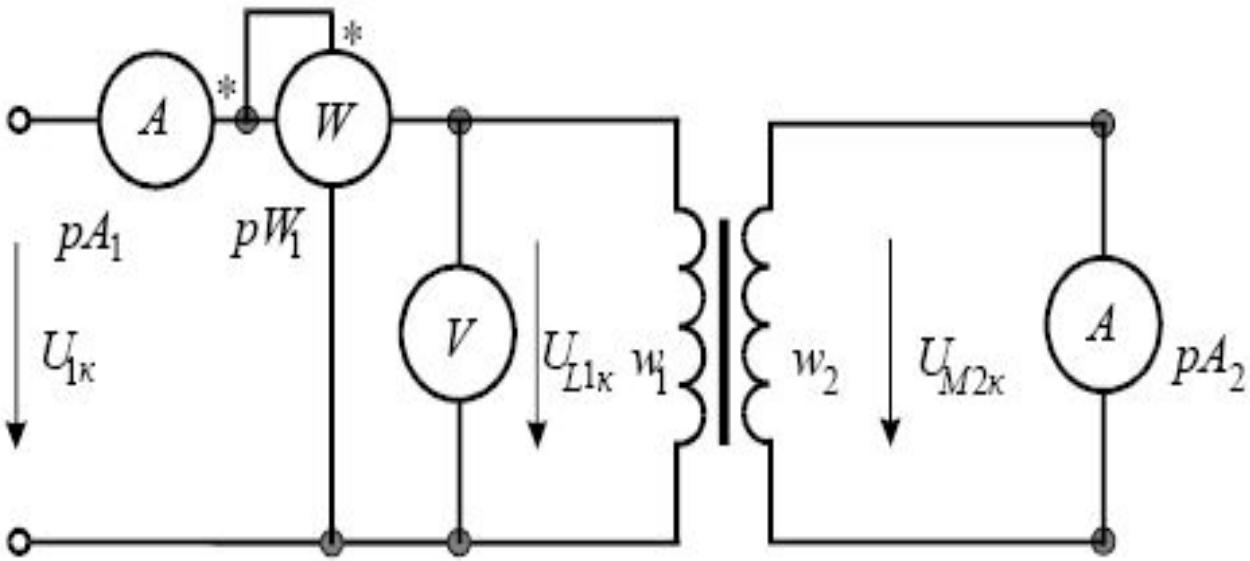




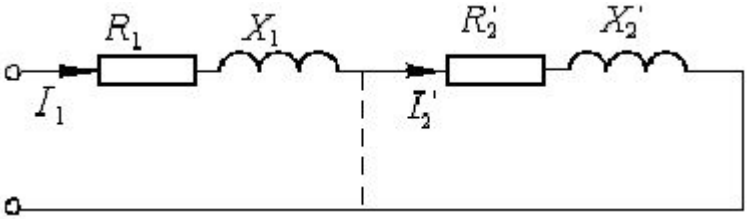
$$\left.\begin{aligned} Z_{вх\,x} &= U_{10} / I_{10}; \\ R_1 + R_0 &= P_{10} / I_{10}^2; \\ X_1 + X_0 &= \sqrt{Z_{вх\,x}^2 - (R_1 + R_0)^2}, \end{aligned}\right\}$$

Опыт короткого замыкания U1

$$U1 \ll U1_{ном} \quad R_{нагр} = 0$$

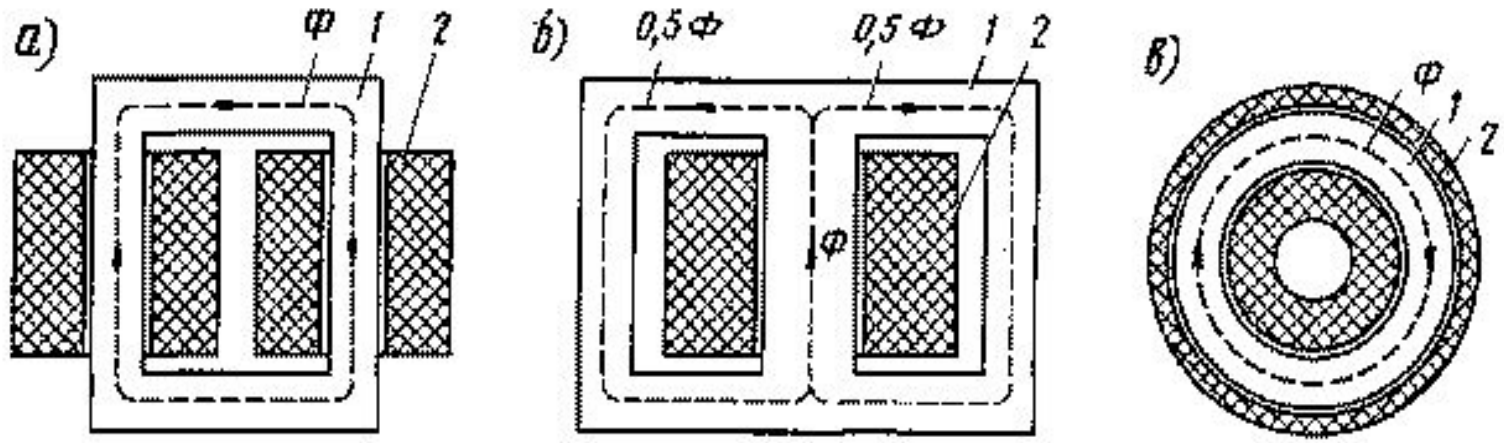


$$\left.\begin{aligned} Z_к &= U_к / I_{1ном}; \\ R_к &= R_1 + R_2' = P_к / I_{1ном}^2; \\ X_к &= X_1 + X_2' = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2}; \end{aligned}\right\}$$

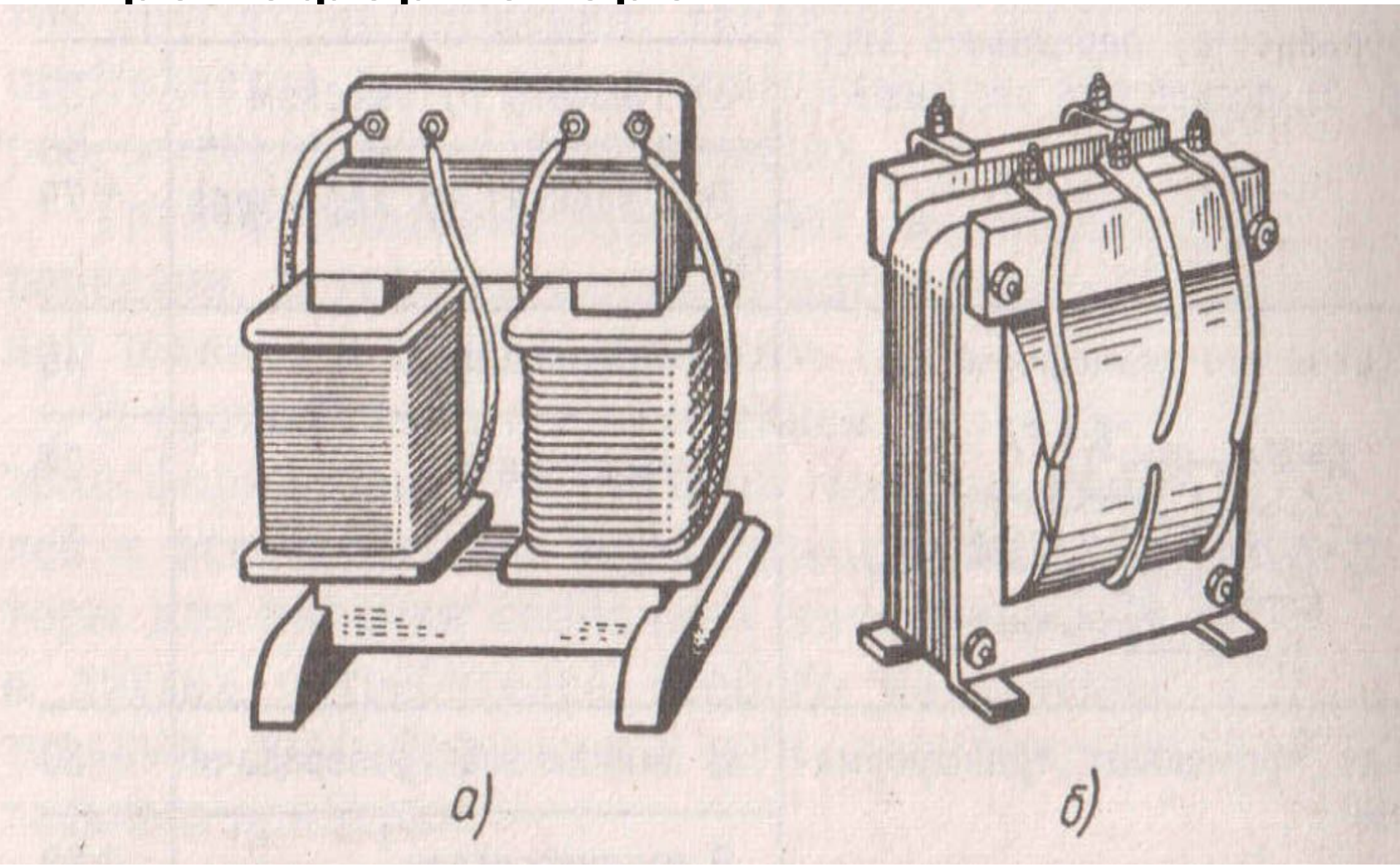


Конструкции трансформаторв

- Броневой
- Тороидальной
- стержневой

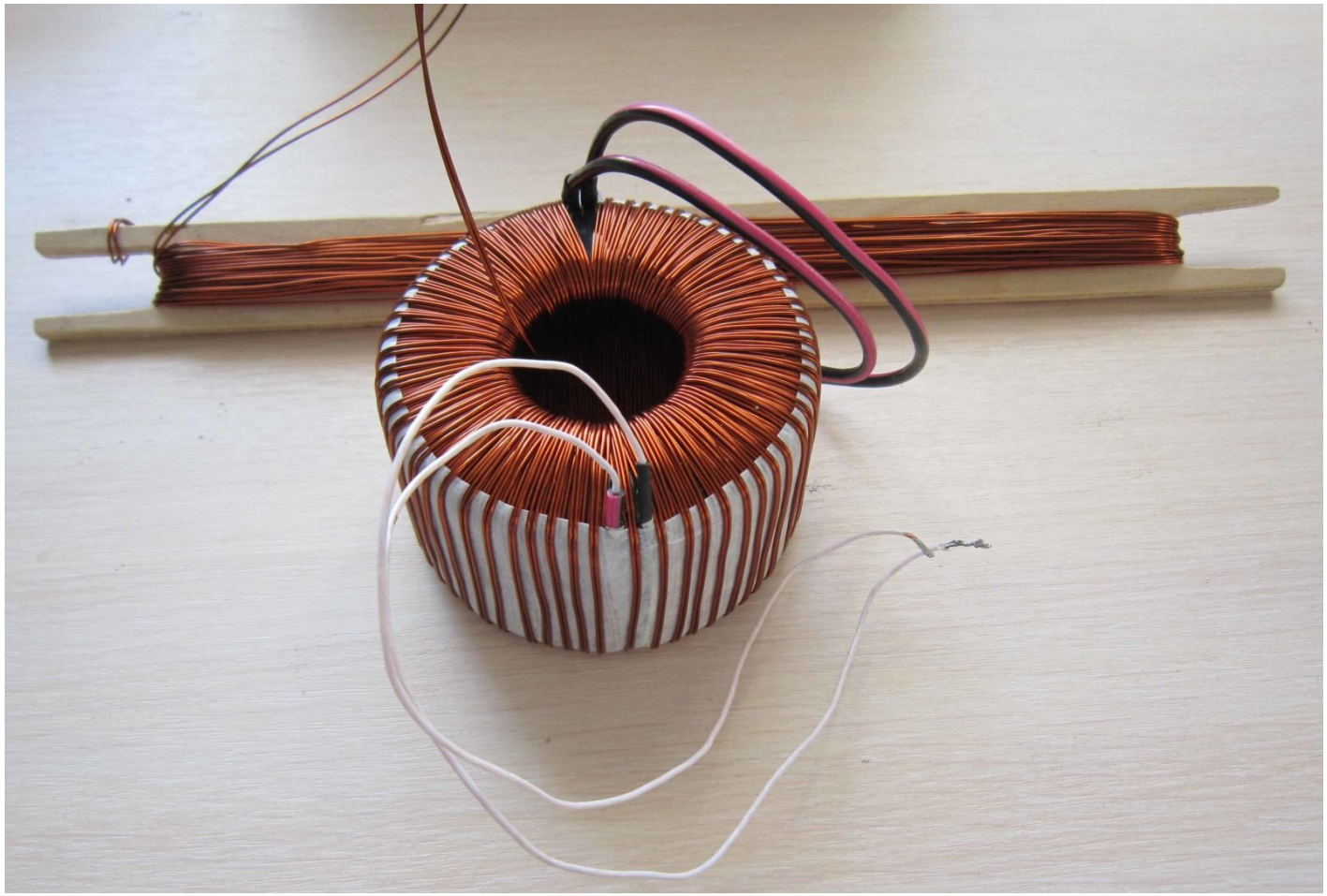


Примеры реализации трансформаторов



Как собирают сердечник

Тороидальный трансформатор



Основные соотношения

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

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

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

$$E_{1m} = \omega w_1 \Phi_m; \qquad E_1 = \frac{\omega w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4{,}44 f w_1 \Phi_m$$

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

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = n$$

Связь габаритов и мощности

So x Sc = 100 x Pг / (2,22 x Bc x A x F x Ko x Kc),

где:

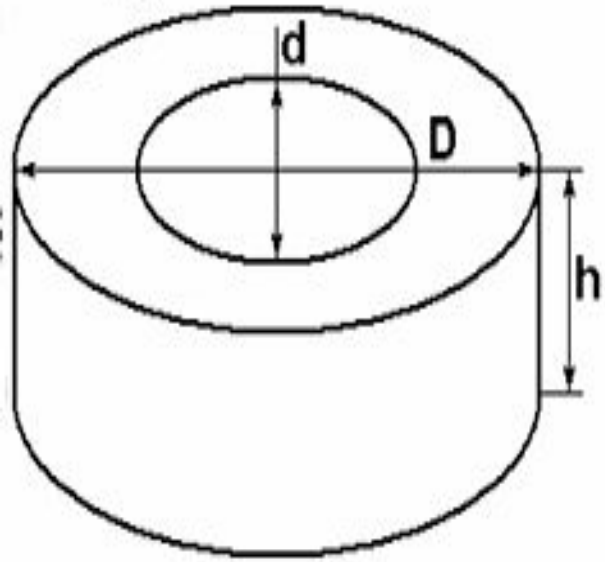
- So — площадь окна сердечника;
- Sc — площадь поперечного сечения сердечника;
- Pг — габаритная мощность;
- Bc — магнитная индукция сердечника;
- A — плотность тока в проводниках обмоток;
- F — частота тока;
- Ko — коэффициент

Габаритная мощность

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

Размеры сердечников

Кольцевой ленточный сердечник ОЛd/D-h

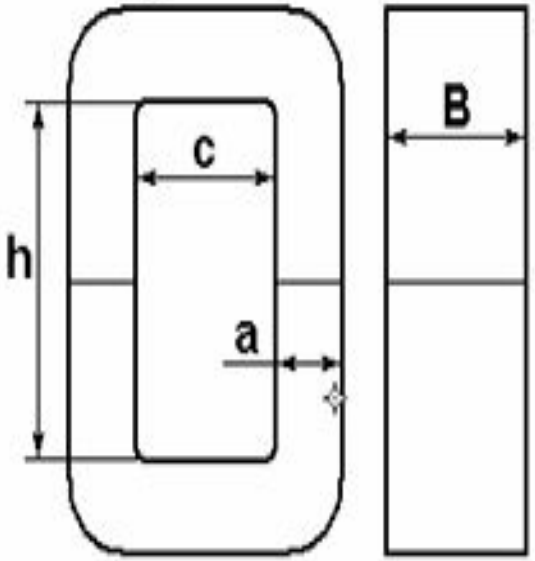


$$Sc = \frac{(D-d)\cdot h}{2} \quad So = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Например, для ОЛ64/100-50

$Sc = 9\ см^2$ $So = 32{,}17\ см^2$

П-образный ленточный сердечник ПЛ a x B

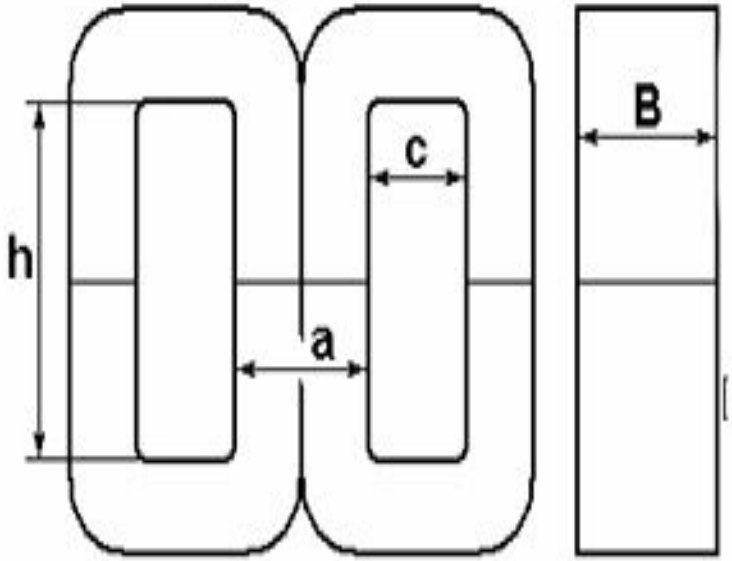


$Sc = a \times B$ $So = c \times h$

Например, для ПЛР 21x32
при c = 26 мм, h = 85 мм

Sc = 6,72 см So = 22,1 см

Ш-образный ленточный сердечник ШЛ a x B



$Sc = a \times B$ $So = c \times h$

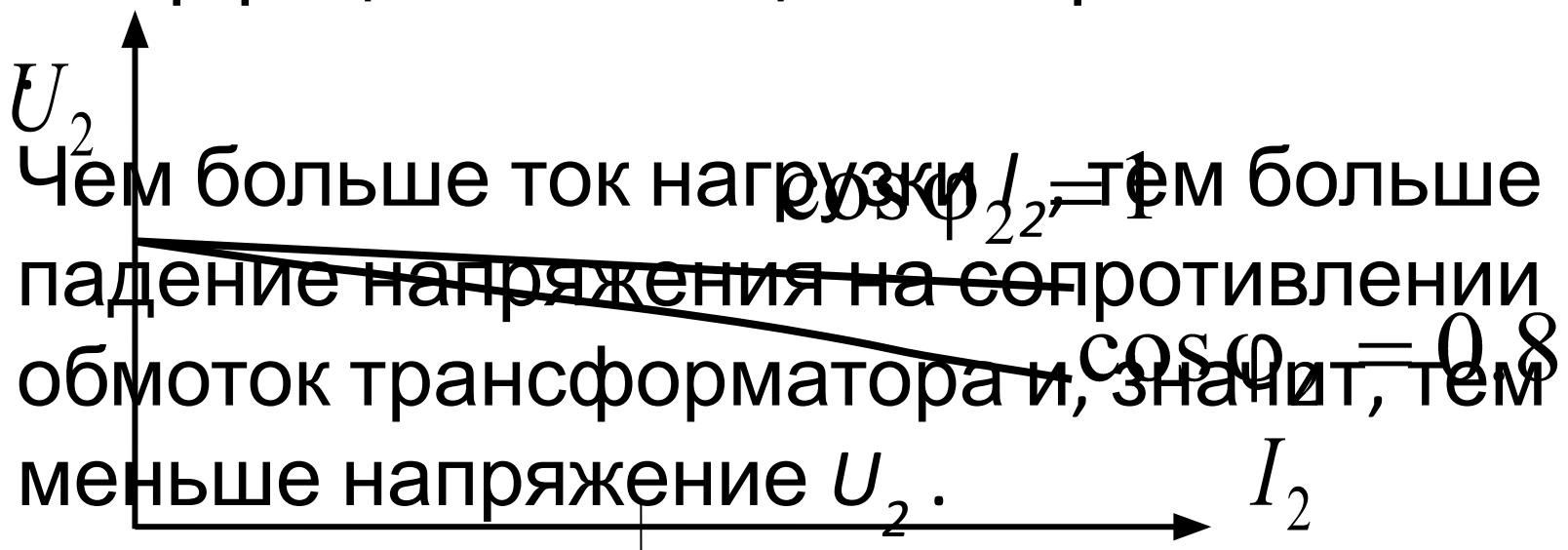
Например, для ШЛ 20x32
при c = 13 мм, h = 85 мм

Sc = 6,4 см So = 11,05 см

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

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 и, значит, тем меньше напряжение U_2 .

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

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

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

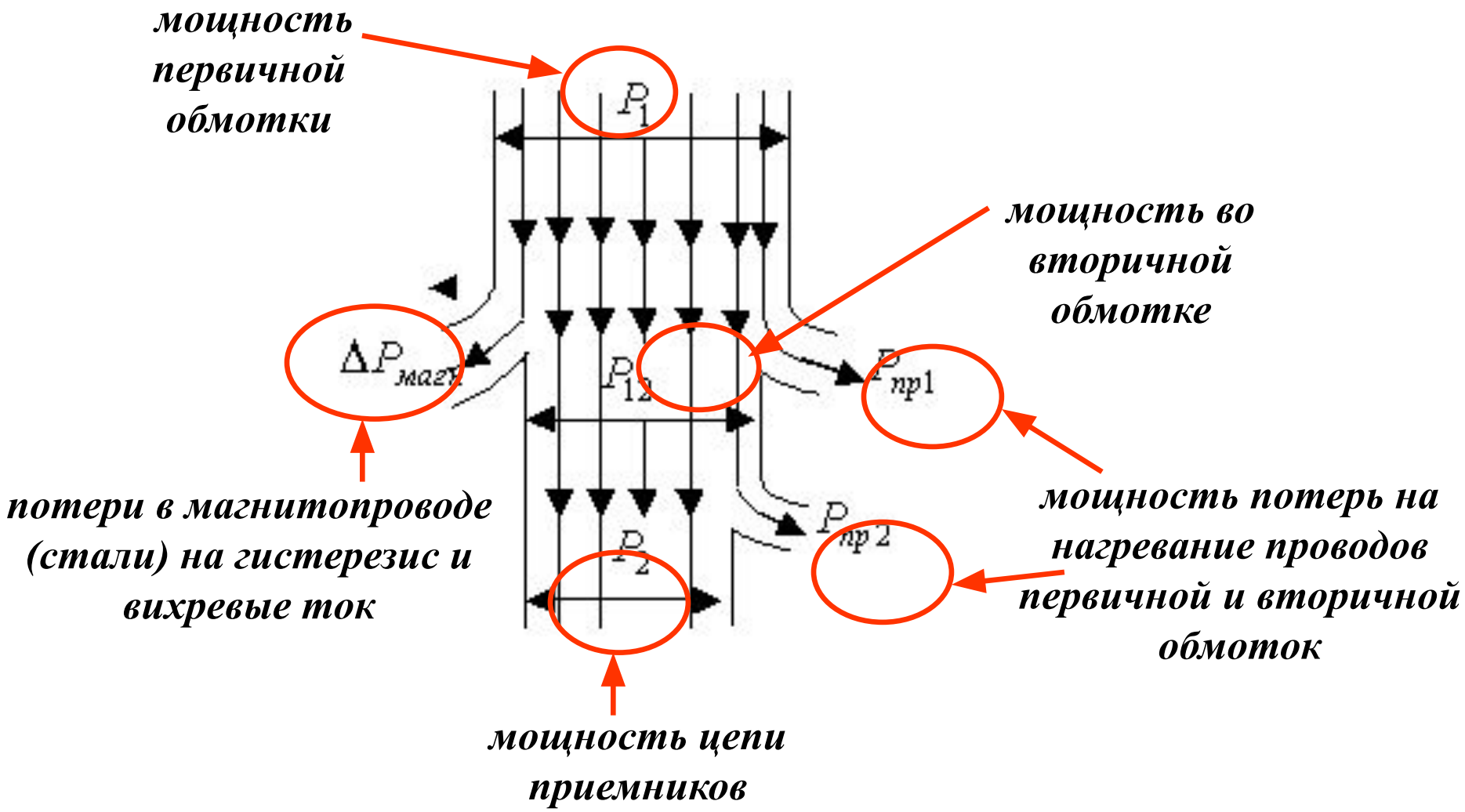
U_2 – *вторичное напряжение при данной нагрузке*

U_{2_0} – *вторичное напряжение холостого хода*

Δu – *изменение вторичного напряжения*

$$\Delta u = \left(\frac{I_1 r_к}{U_{1н}} \cos\varphi_2 + \frac{I_1 X_к}{U_{1н}} \sin\varphi_2\right) 100.$$

Энергетическая диаграмма трансформатора



Коэффициент полезного действия трансформатора зависит от режима работы.

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

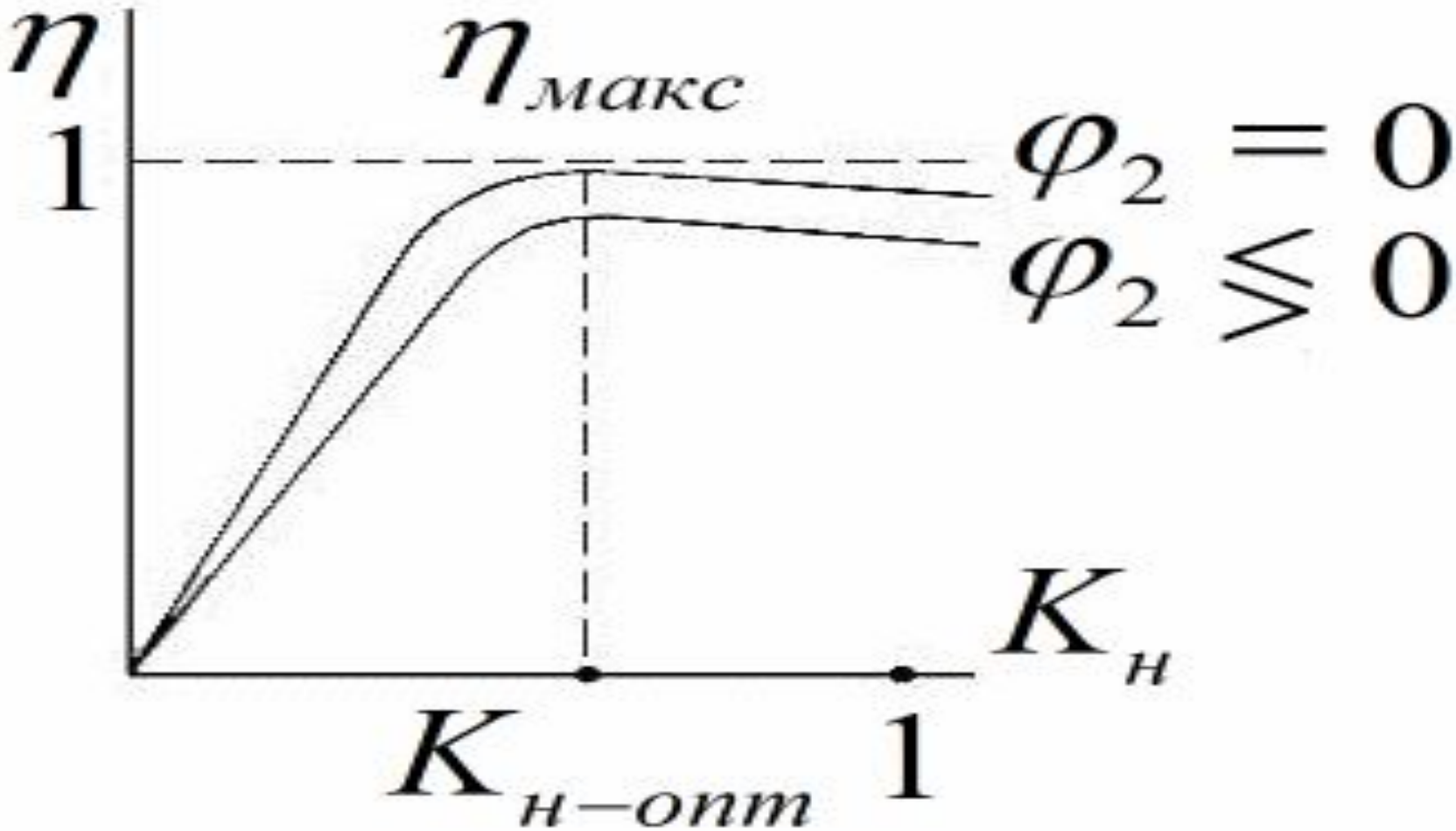
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_2 + \Delta P}.$$

Электрические потери.

$$P_Э = P_{Э1} + P_{Э2} = m \cdot I_1^2 \cdot r_1 + m \cdot I_2'^2 \cdot r_2'$$

Магнитные потери.

$$P_M = P_Г + P_{В.Т}$$


η
η макс
1
φ2 = 0
φ2 ≤ 0
Kн
Kн–опт
1