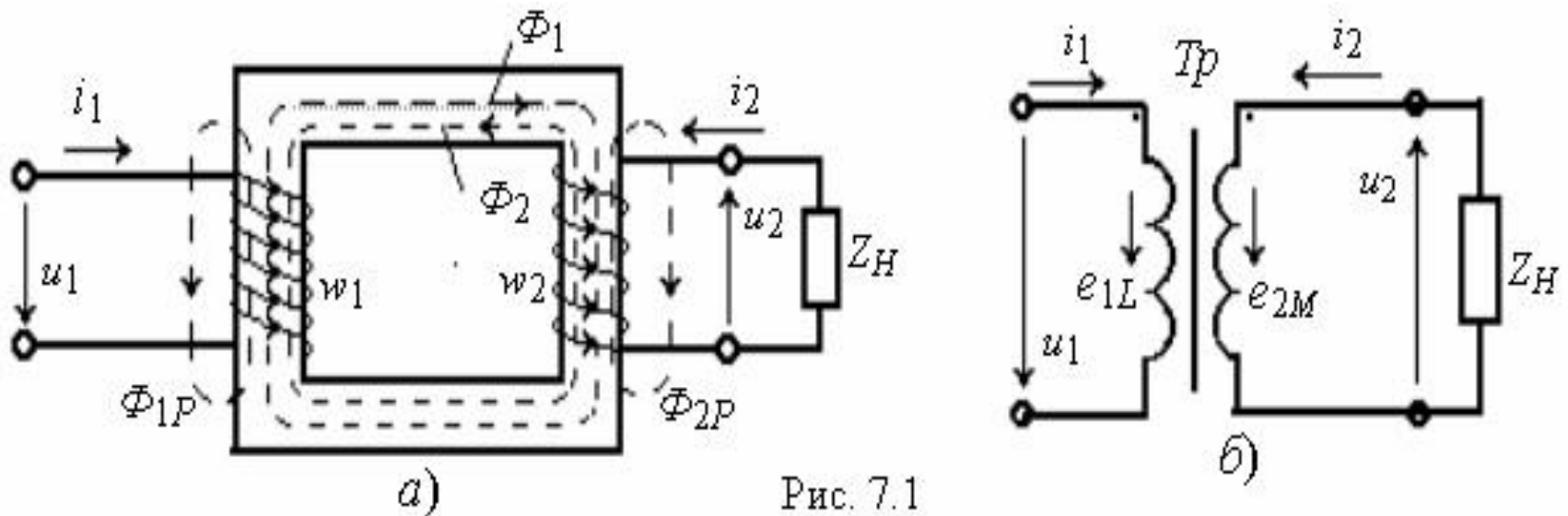


# Трансформатор

- это статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного (синусоидального) тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

# Устройство трансформатора

Простейший трансформатор состоит из магнитопровода и двух обмоток: первичной и вторичной.



# Магнитопровод

Применение ферромагнитного магнитопровода (стального сердечника) позволяет усилить электромагнитную связь между обмотками, т.е. уменьшить магнитное сопротивление контура, по которому проходит магнитный поток.

# Принцип работы трансформатора

Принцип работы трансформатора основан на явлении взаимной индукции. При этом трансформатор обеспечивает передачу электрической энергии от первичной электрической цепи (обмотки) во вторичную, изменяя значения таких характеристик, как ЭДС, напряжение, ток, не меняя их частоты.

При подключении трансформатора к сети с синусоидальным напряжением  $u_1$  в первичной обмотке протекает ток  $i_1$  и её магнитодвижущая сила (МДС)  $w_1 i_1$  возбуждает магнитный поток  $\Phi$ , который замыкается в основном по магнитопроводу.

Магнитный поток  $\Phi$  индуцирует в обеих обмотках трансформатора ЭДС:

$$e_1 = e_{1L}$$

ЭДС самоиндукции

$$e_2 = e_{2L}$$

ЭДС взаимной индукции

пропорциональные числу витков  $w_1$  и  $w_2$  обмоток и скорости изменения магнитного потока, т. е.:

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

# Коэффициент трансформации

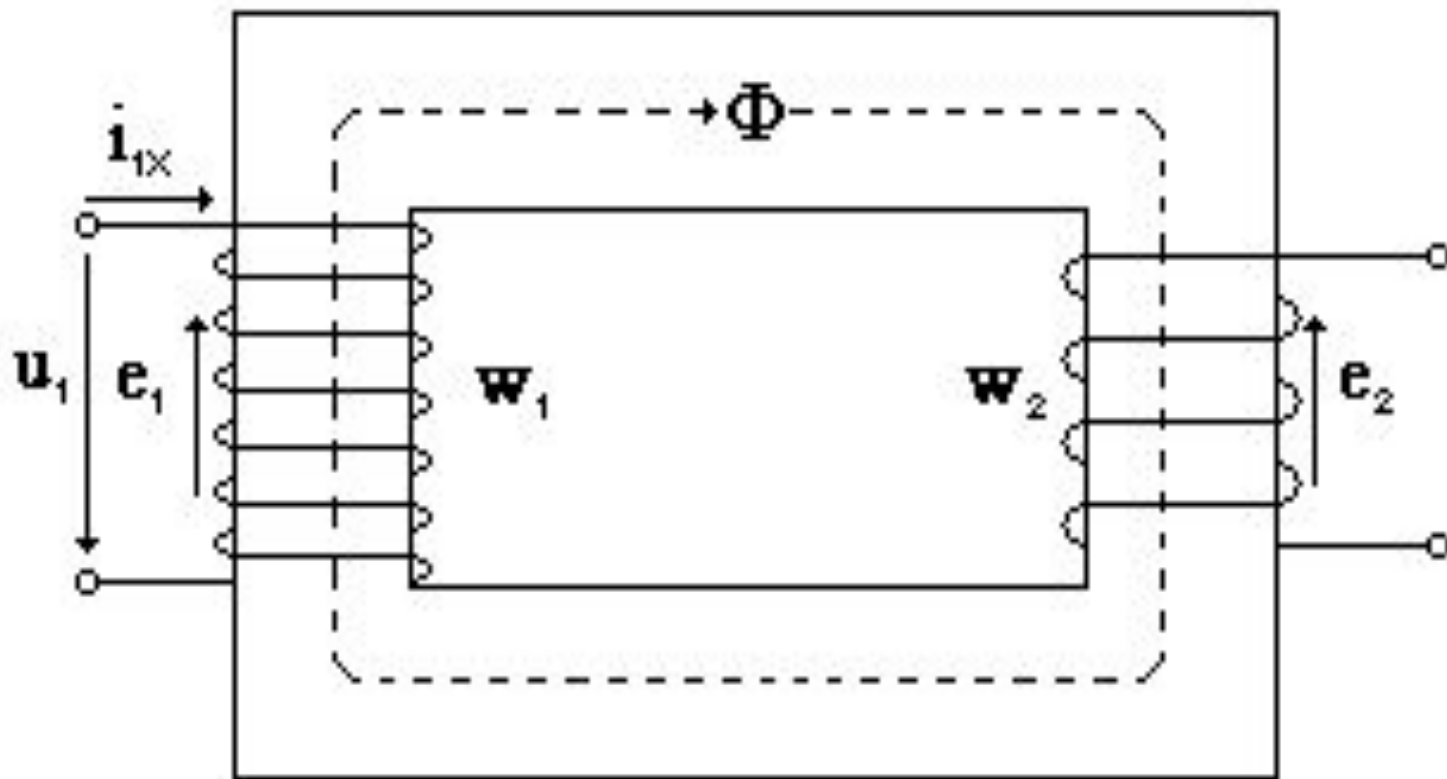
**Коэффициентом трансформации** называется отношение номинального напряжения первичной обмотки трансформации к номинальному напряжению вторичной обмотки

$$n = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}$$

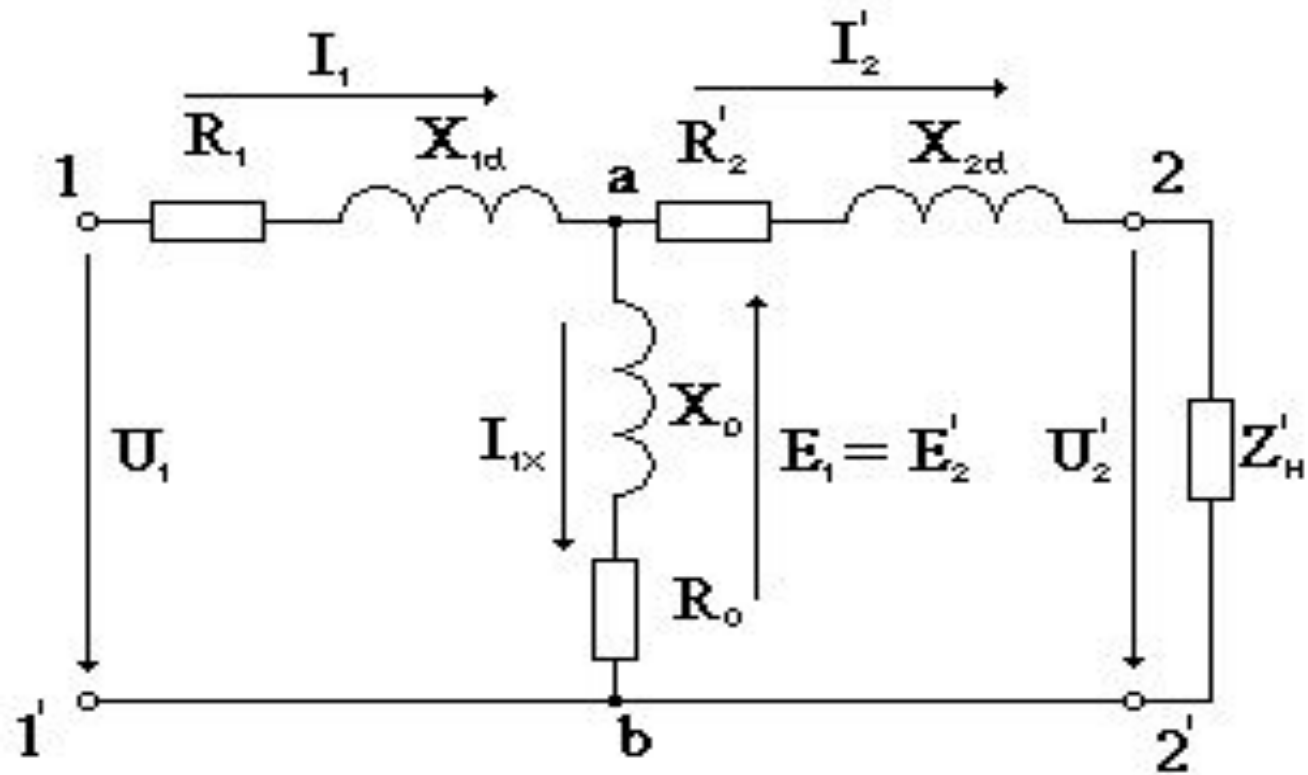
$$n = \frac{w_1}{w_2}$$

# Режим холостого хода трансформатора

Режимом холостого хода называется режим работы трансформатора при работе с разомкнутой вторичной обмотке.



# Схема замещения трансформатора





При проведении опыта ХХ вторичная цепь разомкнута, а в первичной цепи, к которой подводится **номинальное напряжение**  $U_{1x} = U_{1H}$ , протекает ток ХХ  $I_0$ . Так как активное и реактивное сопротивления первичной обмотки  $R_1 \ll R_0$  и  $X_1 \ll X_0$ , то ими пренебрегают.

Параметры  $R_0$  и  $X_0$  намагничивающей ветви (ветвь ХХ) трансформатора определяют по формулам:

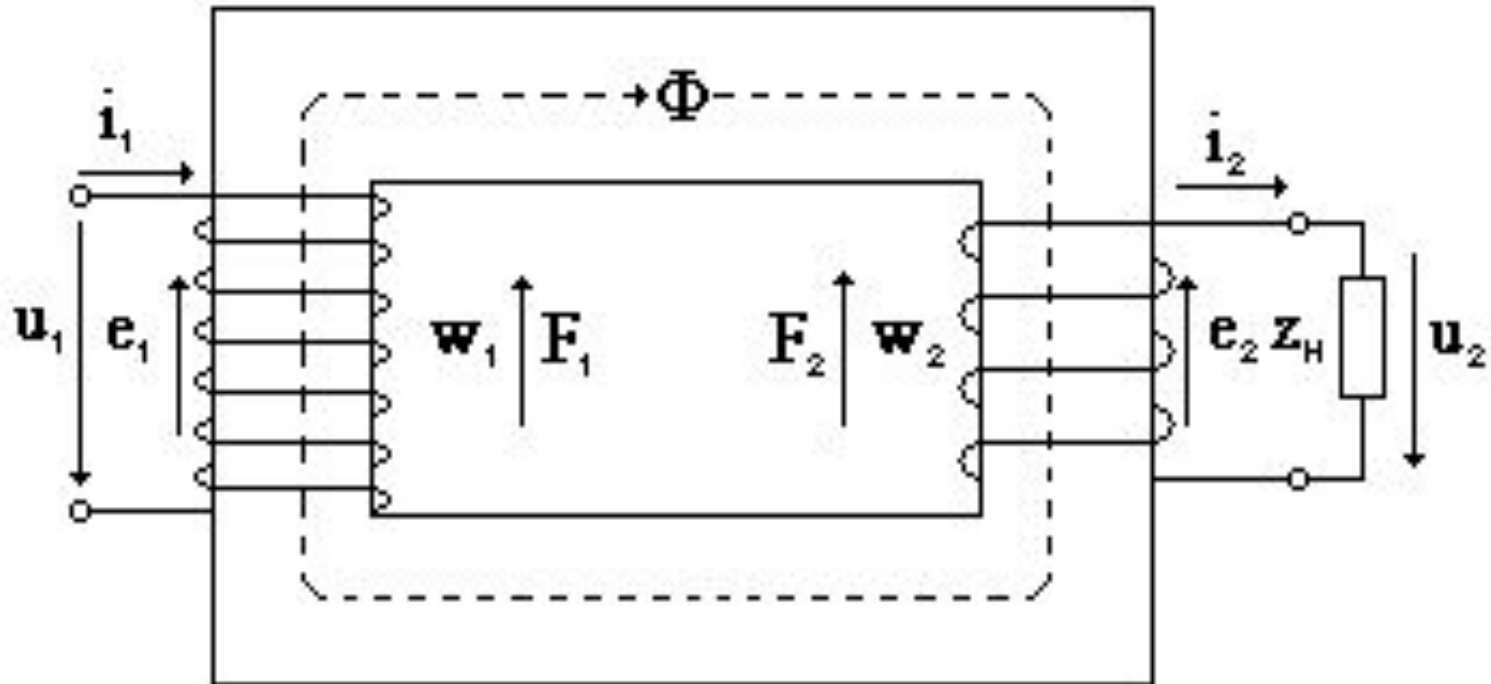
$$Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_0}; \quad R_0 = Z_0 \cos \varphi_0; \quad X_0 = Z_0 \sin \varphi_0.$$

Если в первичную цепь включен ваттметр, то, пренебрегая потерями мощности в первичной обмотке  $R_1 I_0^2$ , считают, что показание ваттметра равно **потерям в стали**  $\Delta P_0 \approx \Delta P_{ст}$ , а значения сопротивлений элементов находят по формулам:

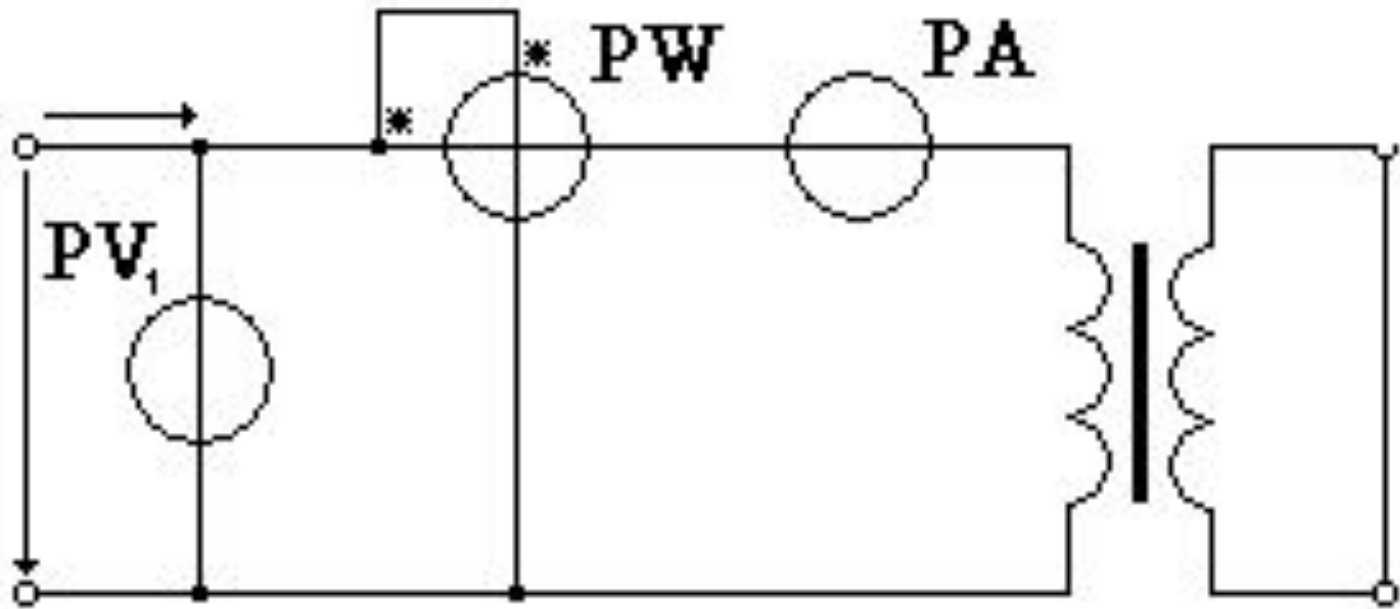
$$R_0 = \Delta P_0 / I_0^2; \quad Z_0 = U_{1н} / I_0; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$$

# Рабочий режим работы трансформатора

**Рабочий режим** – это работа трансформатора при подключённых потребителях (или под нагрузкой).



# Опыт короткого замыкания

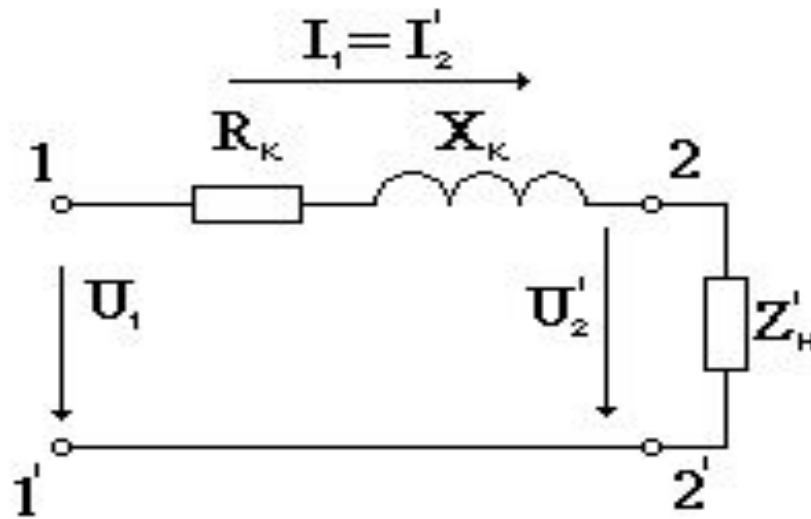


# Упрощённая схема замещения

Пренебрегая параллельной ветвью с сопротивлением

$$Z_0 = \sqrt{R_0^2 + X_0^2}$$

из-за малости тока холостого хода, получим упрощённую схему замещения трансформатора



где  $R_k$  и  $X_k$  - сопротивления короткого замыкания:

$$R_k = R_1 + R_2' \quad X_k = X_{1d} + X_{2d}'$$

При опыте КЗ вторичную обмотку замыкают накоротко, а к первичной подводят **пониженное напряжение**

$U_{1к} = (0,05...0,1)U_{1н}$ , при котором токи в обмотках равны номинальным токам, т. е.  $I_1 = I_{1к} = I_{1н}$  и  $I_2 = I_{2к} = I_{2н}$ .

При пониженном напряжении магнитный поток в сердечнике  $\Phi$  мал, поэтому потерями мощности в стали  $\Delta P_{ст}$  трансформатора пренебрегают.

Так как в реальном трансформаторе сопротивления  $R_0 \gg (R_1 + R'_2)$  и  $X_0 \gg (X_1 + X'_2)$ , то в схеме замещения исключают поперечную ветвь. При этом показание ваттметра приблизительно равно активным потерям в обмотках (**потерям в меди**)

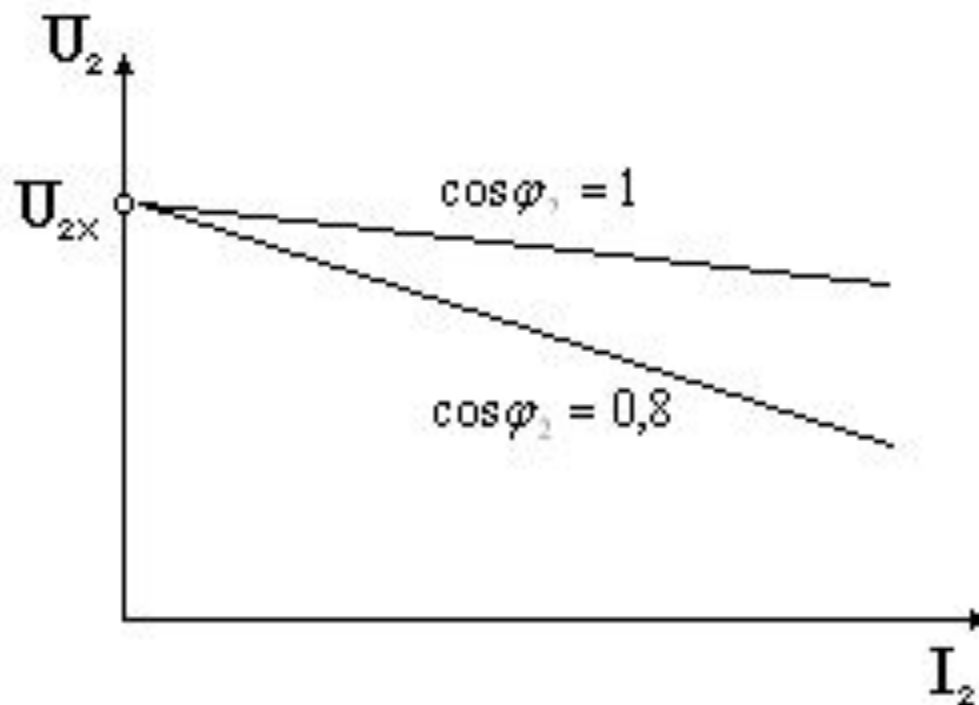
$$\Delta P_{\kappa} = \Delta P_{\mathcal{M}} = R_{\kappa} I_{1н}^2$$

$$R_x = \Delta P_M / I_{1N}^2; R_1 \approx R_2; X_1 \approx X_2';$$

$$R_2 = R_2' / m^2; X_2 = X_2' / m^2; Z_x = U_{1x} / I_{1N}; R_x = Z_x \cos \varphi_x;$$

$$X_x = Z_x \sin \varphi_x = \sqrt{Z_x^2 - R_x^2}; \cos \varphi_x \approx \Delta P_x / U_{1x} I_{1N}.$$

# Внешняя характеристика трансформатора



Падение напряжения в трансформаторе при любой нагрузке

$$\Delta U = \sqrt{\Delta U_a^2 + \Delta U_p^2}$$



При заданном коэффициенте мощности нагрузки  $\cos \varphi_2$   
падение напряжения

$$\Delta U = \beta(\Delta U_a \cos \varphi_2 + \Delta U_p \sin \varphi_2).$$

КПД трансформатора при заданных коэффициентах  $\beta$  и  $\cos \varphi_2$

$$\eta = \frac{\beta S_N \cos \varphi_2}{\beta S_N \cos \varphi_2 + \beta^2 \Delta P_M + \Delta P_0},$$

# Зависимость КПД от нагрузки

