

## Раздел 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

### Лекция 11. Устройство трансформатора, схемы замещения приведенного трансформатора

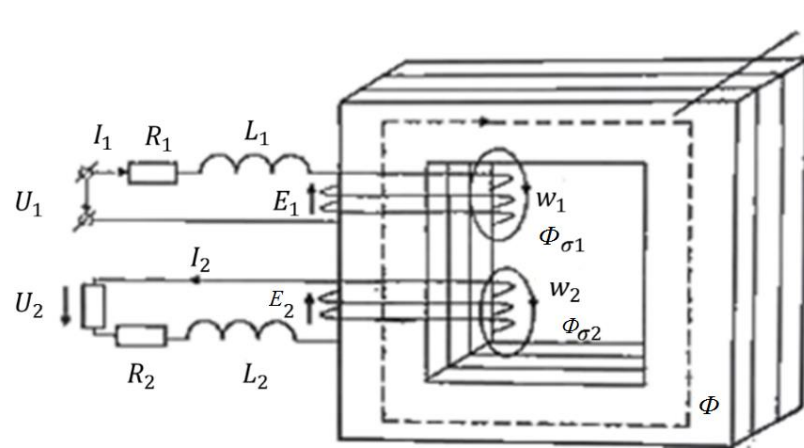


Рис. 2.1. Устройство однофазного трансформатора:  $\Phi_{\sigma 1}$ ,  $\Phi_{\sigma 2}$  - потоки рассеяния первичной и вторичной обмоток

**Трансформатор** – ферромагнитный магнитопровод 1, состоящий из листов электротехнической стали с двумя обмотками (число витков  $w_1$  и  $w_2$ ) из медного или алюминиевого провода.

*Первичная обмотка подключается к источнику питания, а к вторичной обмотке подключаются приемники.*

#### Принцип действия трансформатора

Подача на **первичную обмотку**  $w_1$  трансформатора напряжения  $U_1$  вызовет в ней ток  $I_1$  и магнитодвижущую силу (МДС)  $F_1 = I_1 w_1$ . МДС создает основной магнитный поток  $\Phi$ , который индуцирует в первичной обмотке  $w_1$  ЭДС  $E_1$ , а в обмотке  $w_2$  –  $E_2$ . ЭДС  $E_2$  вызовет ток  $I_2$ , в результате мощность трансформатора:  $S_2 = E_2 I_2$ .

Мгновенные значения ЭДС первичной и вторичной обмоток (в соответствии с явлением электромагнитной индукции) имеют вид:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = E_{m1} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}); \quad e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = E_{m2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2});$$

$$\text{где } E_{m1} = w_1 \omega \Phi_m; \quad E_{m2} = w_2 \omega \Phi_m; \tag{2.1}$$

$\Phi_m$  – амплитудное значение магнитного потока;  $\omega = 2\pi f$ .

Разделим на  $\sqrt{2}$  левую и правую части уравнений (2.1) получим:

$$E_1 = 4,44 \omega_1 f \Phi_m; \quad E_2 = 4,44 \omega_2 f \Phi_m, \tag{2.2}$$

где  $E_1, E_2$  – действующие значения ЭДС первичной и вторичной обмоток.

Разделив  $E_1$  на  $E_2$  (уравнение 2.2) получим коэффициент трансформации  $n$ :

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

При  $n > 1$  – понижающий трансформатор, при  $n < 1$  – повышающий трансформатор.

Цепи **обмоток трансформатора** (рис. 2.1) представлены активными сопротивлениями –  $R_1$  и  $R_2$ , а также индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$ , которые обусловлены потоками рассеяния первичной  $\Phi_{\sigma 1}$  и вторичной  $\Phi_{\sigma 2}$  обмоток.

**При напряжении генераторов электрических станций 15-24 тыс. В, сечение проводов ( $S$ ) и потери мощности ( $\Delta P = \sum I^2 R$ ) в проводах высоковольтных линий (при передаче на большие расстояния) были бы слишком велики**

$$\left( R = \rho \frac{l}{S}, I = \frac{U}{R} \right).$$

Поэтому на выходе генераторов электрических станций устанавливают **повышающие (до 110-750 тыс. В) трансформаторы**. Это напряжение передают на большие расстояния (при меньших **потерях мощности  $\Delta P_z$  и сечениях  $S$  проводов**). В конце высоковольтной линии устанавливают **понижающие трансформаторы**, т.к. потребители э/энергии (э/двигатели, трансформаторы и т.д.) рассчитаны на 220-380-500 В.

**Трансформаторы широко используются** в силовой электроэнергетике, измерительных устройствах, радиоприемниках, компьютерах, телевизорах, осциллографах, для местного освещения и т.п.

### Приведённый трансформатор

У приведенного **трансформатора** все параметры **вторичной обмотки** ( $E_2, U_2, I_2, R_2, X_2, Z_H$ ) приводятся к параметрам **первичной обмотки**, а коэффициент трансформации  $n' = 1$ .

**Условия приведения параметров трансформатора**

1. Параметры первичной обмотки ( $E_1, U_1, I_1, R_1, X_1$ ) остаются без изменения.
2. Мощности первичной и вторичной обмоток ( $P_1$  и  $P_2$ ) – без изменения.
3. Углы ( $\varphi_1$ ) и ( $\varphi_2$ ) между векторами токов и напряжений первичной и вторичной обмоток – без изменений.

**Методика приведения параметров трансформатора ( $E'_2, I'_2, R'_2$  и  $X'_2, Z'_H$ ):**

1.  $E'_2$  (**приведенная ЭДС**). Из совместного решения уравнений

$$\frac{E_1}{E_2} = n, \quad \frac{E_1}{E'_2} = 1,$$

допускаем  $U_1 \approx E_1; U_2 \approx E_2$ , получим:

$$E'_2 = E_1 = nE_2 \quad \text{или} \quad U'_2 = U_1 = nU_2 \quad (2.3)$$

2.  $I'_2$  (*приведённый ток*). Из условия приведения 2 для приведенного трансформатора следует:  $E_2 I_2 = E'_2 I'_2$ , а из уравнения (2.3):  $E'_2 = n E_2$ .

Решая совместно эти уравнения, получим:

$$I'_2 = \frac{I_2}{n}. \quad (2.4)$$

Из условия приведения 2 для приведенного трансформатора:  $E_2 I_2 = E_1 I_1$  или  $E_1/E_2 = I_2/I_1 = n$ , откуда  $I_1 = I_2/n$ .

Тогда уравнение (2.4) примет вид:  $I'_2 = I_1$ .

3.  $R'_2$  (*приведенное активное сопротивление*). Из условия приведения 2 следует:  $I_2^2 R_2 = I_2'^2 R'_2$ , а из уравнения (2.4):  $I'_2 = I_2/n$ .

$$\text{Решая совместно эти уравнения, получим: } R'_2 = n^2 R_2. \quad (2.5)$$

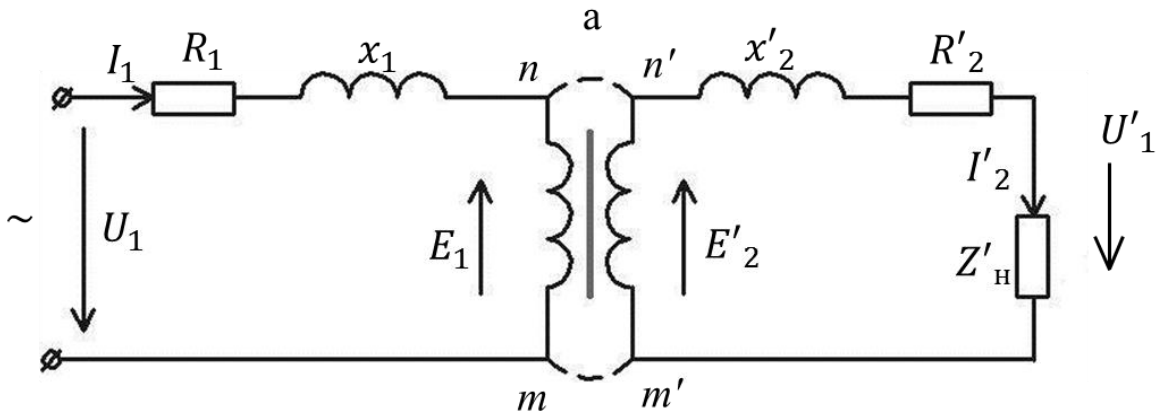
Из условия приведения 2:  $I_2^2 R_2 = I_1^2 R_1$ , или  $\left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \frac{R_1}{R_2} = n^2$ , откуда  $n^2 R_2 = R_1$ .

Тогда уравнение (2.5) примет вид:  $R'_2 = R_1$ .

4. По аналогии *приведенные индуктивное  $X'_2$  и сопротивление нагрузки  $Z'_H$* :

$$X'_2 = n^2 X_2 = X_1; \quad Z'_H = n^2 Z_H.$$

#### Схемы замещения приведённого трансформатора



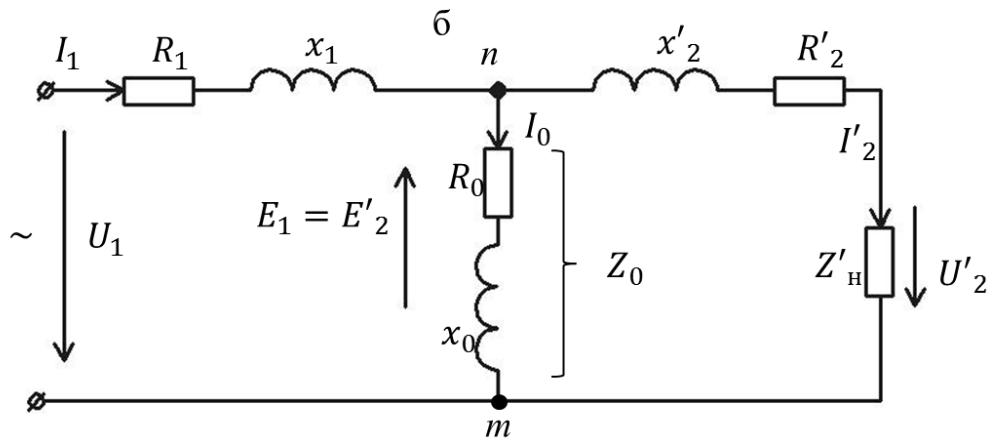
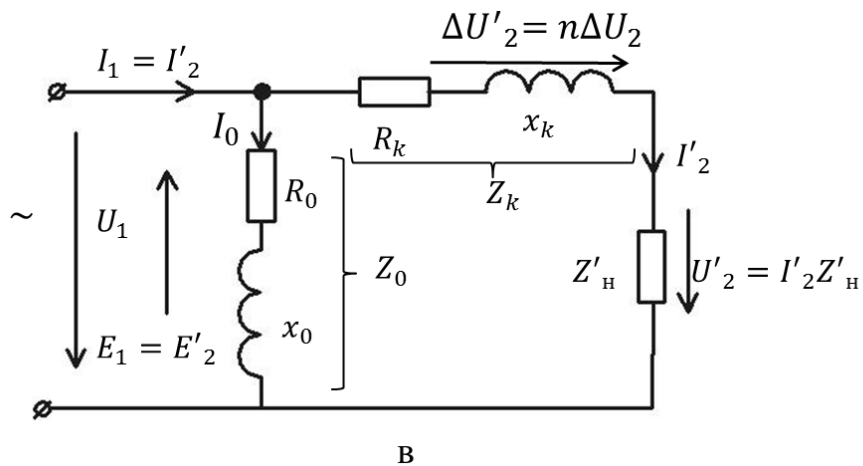


Рис. 2.2. Принципиальная схема приведенного трансформатора (а), схема замещения



приведенного трансформатора (б), упрощенная схема замещения (в)

Если точки  $m$  и  $m'$ ,  $n$  и  $n'$  (рис.2.2, а) замкнуть (так как они обладают одинаковым потенциалом  $E_1 = E'_2$ ), а первичную и вторичную обмотки заменить контуром с сопротивлениями  $R_0$  и  $x_0$ , то получим схему (рис. 2.2, б).

Так как  $x_0 \gg x_1$  и  $R_0 \gg R_1$ , то схема (рис. 2.2, б) заменяется на упрощенную (рис. 2.2, в), в которой:

$$I_0 = \frac{U_1}{Z_0} = \frac{U_1}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}}; \quad R_k = R_1 + R'_2; \quad x_k = x_1 + x'_2.$$

В схеме имеем активное  $R_k$  и индуктивное  $x_k$  сопротивления.