

**Дисциплина:**

**Электропитание и  
элементы  
электромеханики**



# Лекция №8

## Тема лекции:

**Основные характеристики  
и расчетные соотношения  
трансформатора**



# **Учебные вопросы**

---

- **1. Работа однофазного трансформатора на нагрузку**
- **2. Режим короткого замыкания трансформатора**
- **3. Рабочие и энергетические характеристики трансформаторов**



# Литература

---

**1. Немцов М.В.**

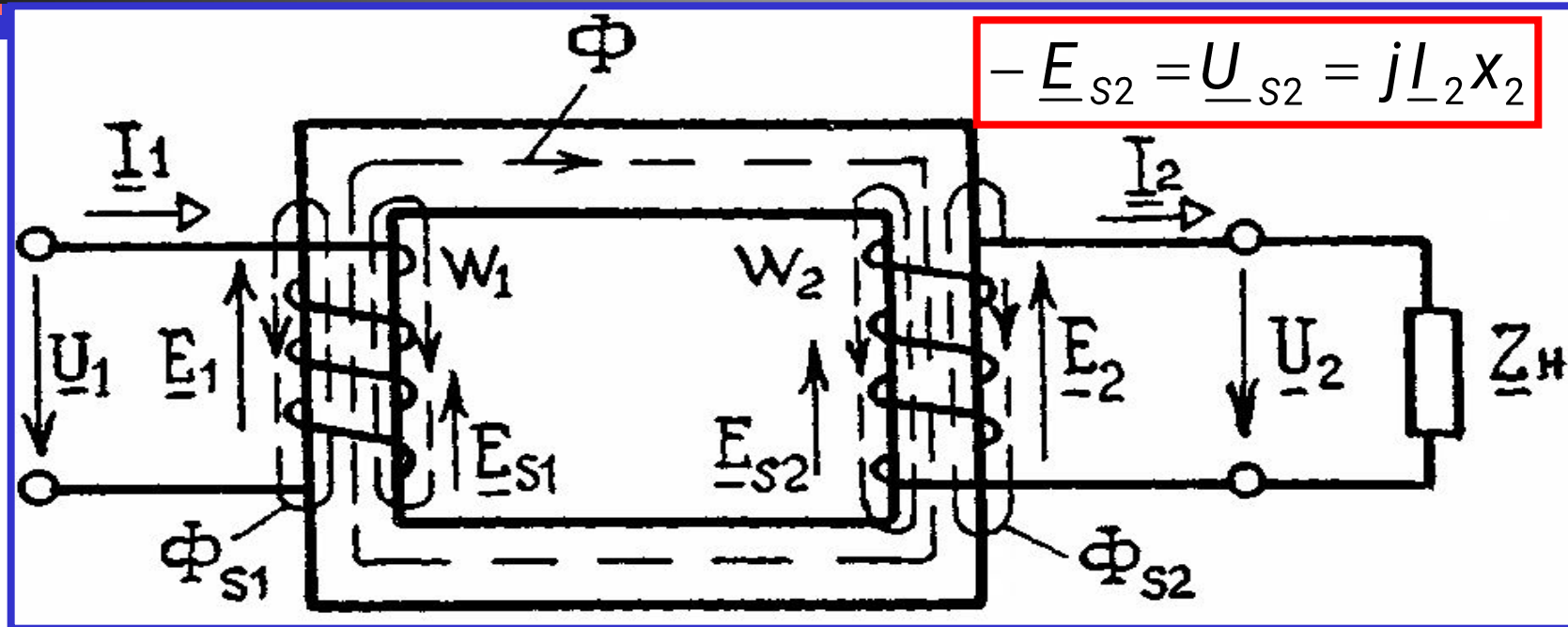
**электротехника и**

**электроника: Учебник для**

**вузов. – М.: Высш. шк.**

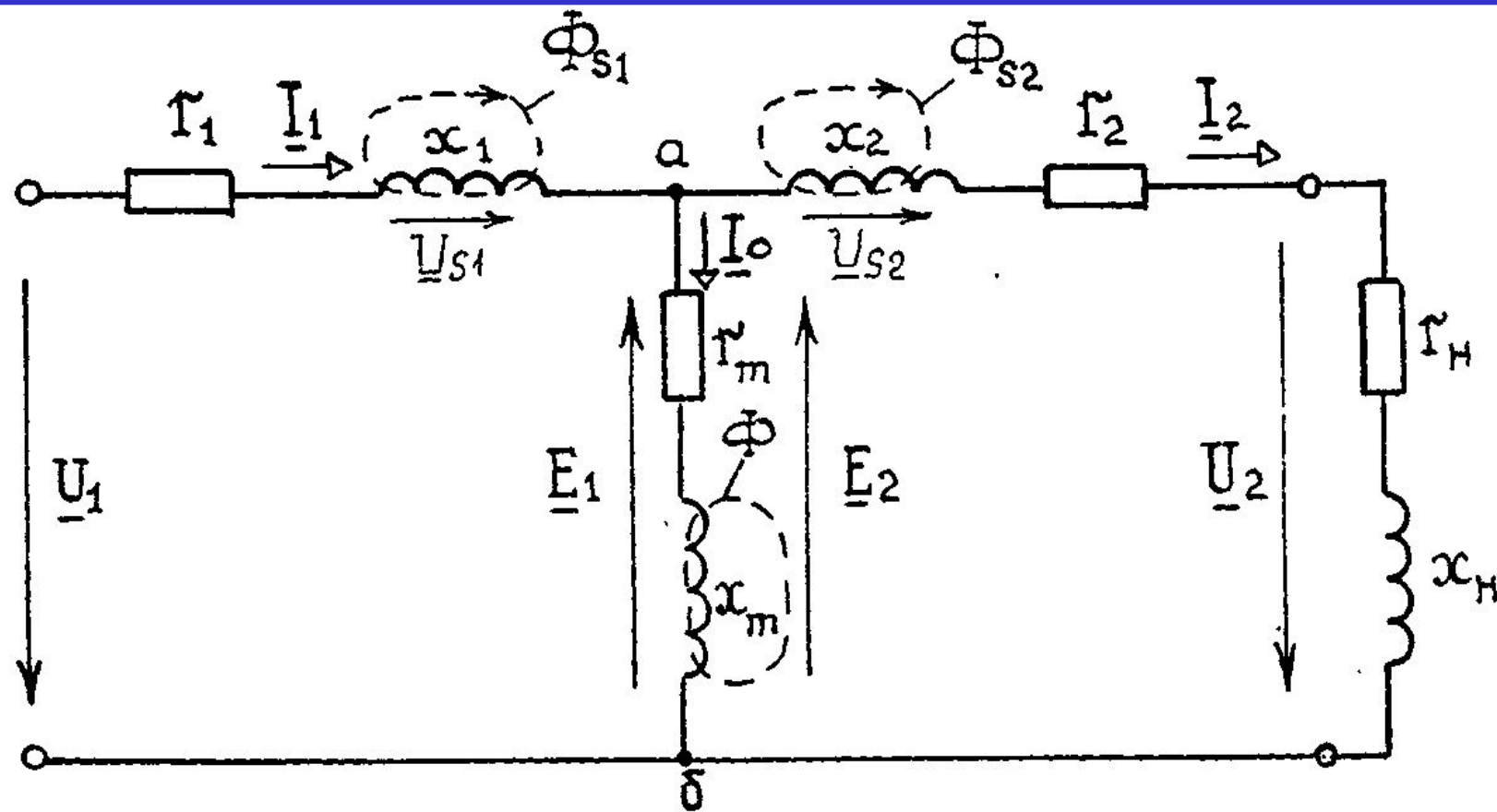
**2007, с.208-213.**

# Схема трансформатора при нагрузке

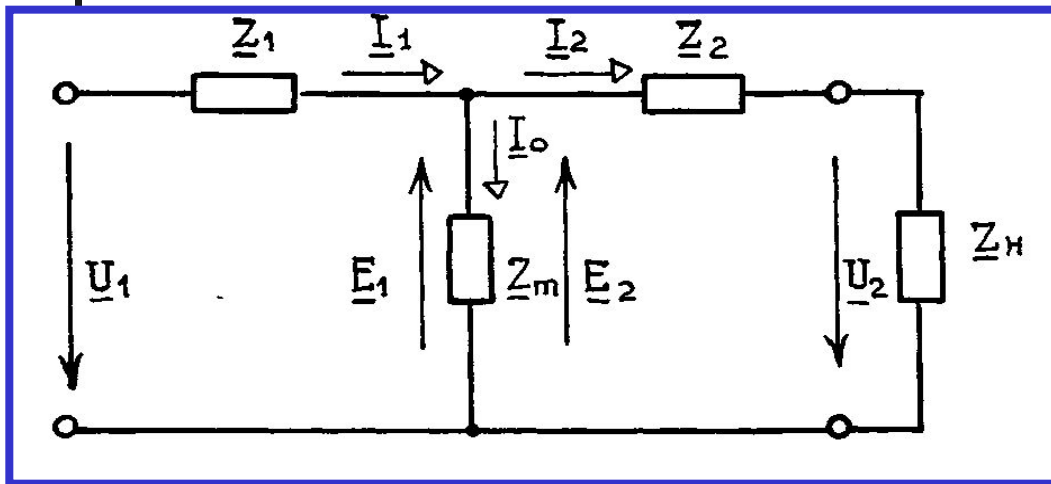


Замена ЭДС  $\underline{E}_{S1}$  и  $\underline{E}_{S2}$  падениями напряжения  $\underline{U}_{S1} = jI_1 X_1$  и  $\underline{U}_{S2} = jI_2 X_2$ , делает более наглядной роль потоков рассеяния  $\Phi_{S1}$  и  $\Phi_{S2}$ : они создают индуктивные падения напряжения в обмотках, не участвуя в передаче энергии из одной обмотки в другую.

# Эквивалентная электрическая схема замещения трансформатора под нагрузкой



# Комплексная схема замещения трансформатора под нагрузкой



Уравнения равновесия напряжений для первичной и вторичной цепей трансформатора по закону Кирхгофа:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 r_1 + \underline{I}_1 jx_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1;$$

$$\underline{E}_2 = \underline{U}_2 + \underline{I}_2 r_2 + \underline{I}_2 jx_2 = \underline{U}_2 + \underline{I}_2 \underline{Z}_2;$$

$$\underline{Z}_2 = r_2 + jx_2$$

- полное комплексное сопротивление вторичной обмотки трансформатора.

# Уравнение равновесия МДС трансформатора

Важнейшее свойство трансформатора - величина амплитуды основного потока  $\Phi_m$  в трансформаторе практически остается неизменной при любых нагрузках – от холостого хода до номинальной.

$$U_1 = E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m = \text{const}$$

В соответствии с законом Ома для магнитной цепи это означает, что и МДС  $F_0 = w_1 I_0$  создающая основной поток, также остается постоянной, какой она была в режиме холостого хода.

Таким образом, результирующая МДС в трансформаторе, создающая магнитный поток, в общем случае определяемая совместным действием токов первичной и вторичной обмоток и равна МДС холостого хода:

$$\underline{F}_1 + \underline{F}_2 = \underline{F}_0$$

$$\underline{I}_1 w_1 + \underline{I}_2 w_2 = \underline{I}_0 w_1$$



# Система основных уравнений трансформатора

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 + \underline{I}_2$$

Поскольку  $I_0 = \text{const}$ , следует важный вывод: с возрастанием тока нагрузки  $\underline{I}_2$  одновременно возрастает и ток  $\underline{I}_1$ . Это означает, что возрастает отбор трансформатором мощности из сети и её передача посредством электромагнитного поля в цепь вторичной обмотки, то есть приемнику

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + r_1 \cdot \underline{I}_1 + jX_1 \cdot \underline{I}_1; \\ \underline{E}_1 &= \underline{U}_2 + r_2 \underline{I}_2 + jX_2 \cdot \underline{I}_2; \\ \underline{I}_1 &= \underline{I}_0 + \underline{I}_2, \end{aligned} \right\}$$

где  $\underline{U}_2 = R_H \underline{I}_2 + jX_H \dot{i}$

$$\underline{U}_2 = Z_H \cdot \underline{I}_2$$

# В опыте КЗ определяются:

а) напряжение короткого замыкания

$$u_k \% = \frac{U_{1KH}}{U_{1H}} 100\%;$$

б) активные потери при коротком замыкании трансформатора, которые примерно равны потерям в меди обмоток (по показаниям ваттметра)

$$P_k = P_{ст} + P_M \approx P_M = I_{1M}^2 r_k = I_{1M}^2 (r_1 + r_2);$$

в) коэффициент мощности  $\cos\phi_k$  (по показаниям ваттметра, вольтметра и амперметра в первичной цепи);

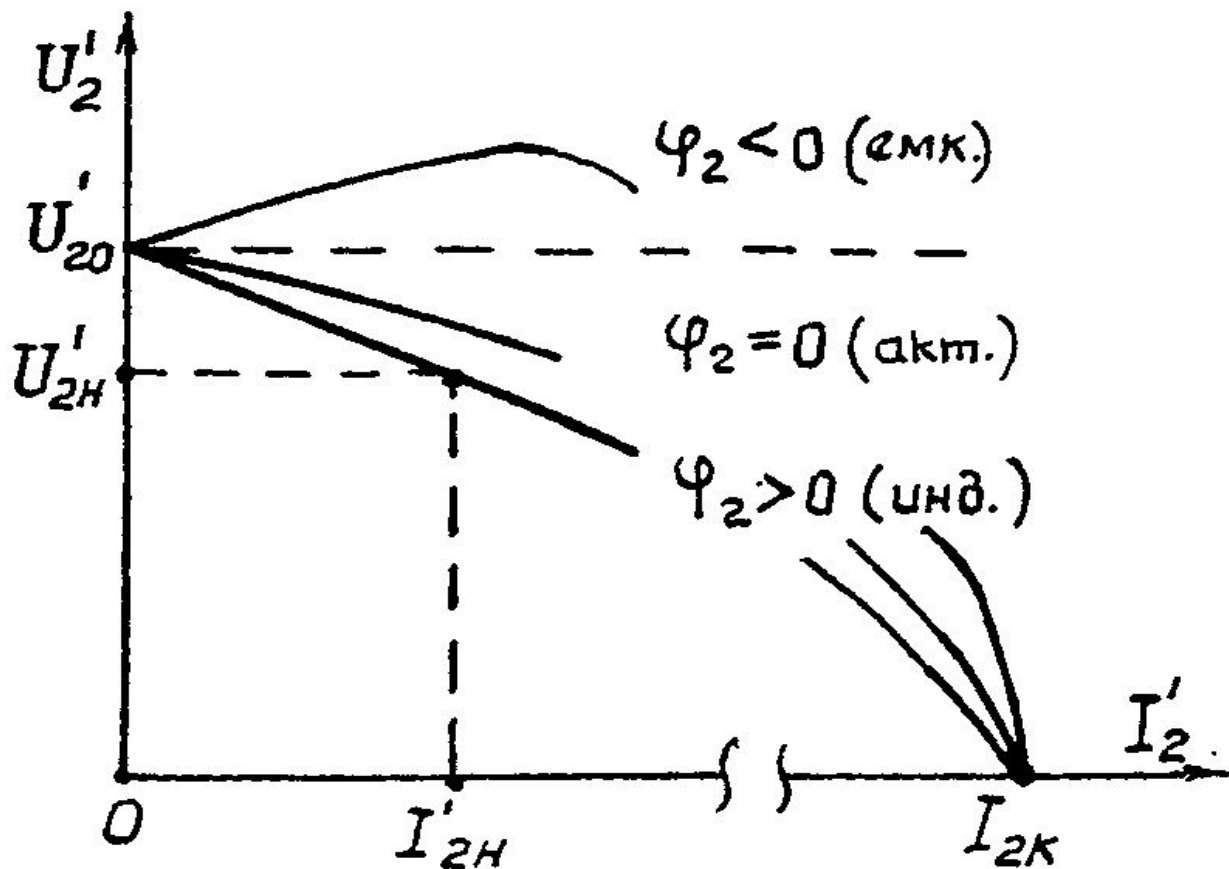
г) параметры схемы замещения трансформатора при коротком замыкании:

$$z_k = |Z_1 + Z_2'| = U_{1KH} / I_{1H};$$

$$r_k = r_1 + r_2' = P_k / I_{1H}^2;$$

$$x_k = x_1 + x_2' = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}.$$

# Внешняя характеристика трансформатора



$$\Delta U'_2 = \frac{U'_{20} - U'_{2H}}{U'_{20}} 100\%$$

- процентное изменение вторичного напряжения при переходе от холостого хода к режиму нагрузки

# Потери и КПД трансформатора

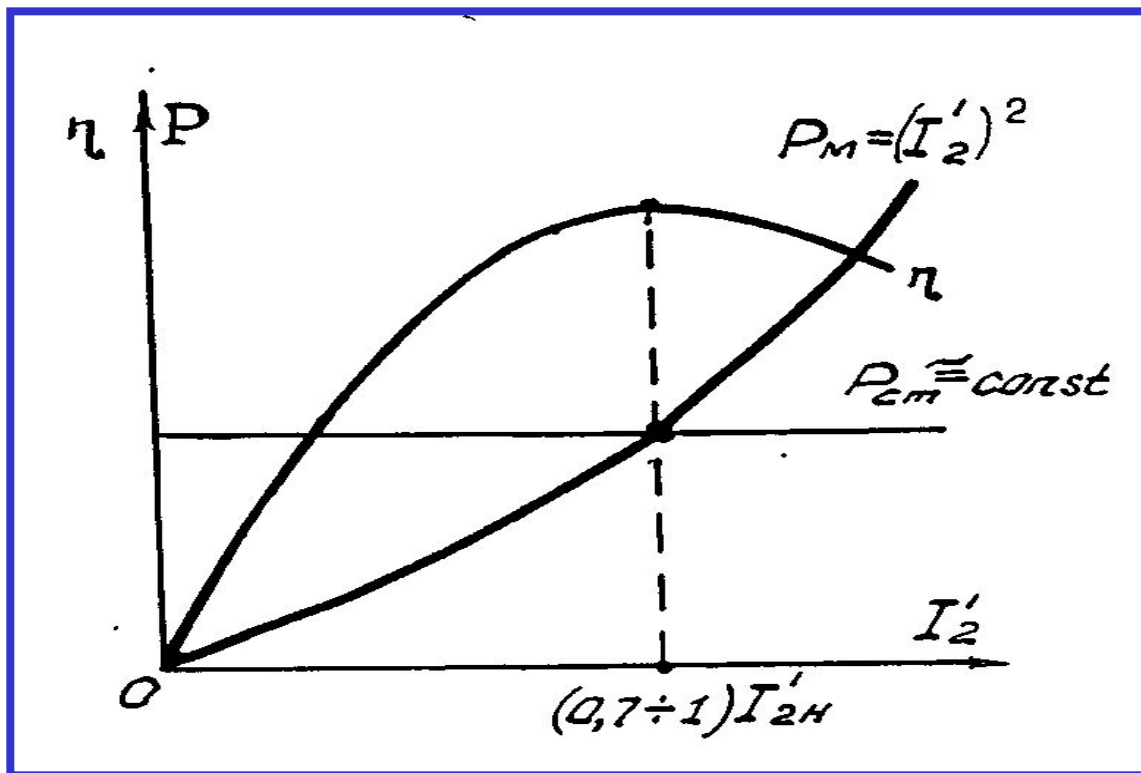
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} 100\% = \left( 1 - \frac{\sum P}{P_2 + \sum p} \right) 100\%,$$

$\Sigma p = p_M + p_{ст}$  - сумма потерь в трансформаторе.

**Потери в стали  $p_{ст}$**  зависят от материала магнитопровода, его объема или массы, индукции и частоты перемагничивания, **они состоят из потерь на вихревые токи и потерь на гистерезис.**

**Потери в меди обмоток** при номинальной нагрузке принимаются равными потерям в них при опыте короткого замыкания:  $p_M \approx P_k = I_2^2 r_k$  (где  $r_k = r_1 + r_2$ ), так как потери в стали в этом опыте весьма малы ввиду малости основного магнитного потока

# Потери и КПД трансформатора



Максимум КПД соответствует такой нагрузке, при которой переменные потери - потери в меди обмоток - равны постоянным потерям - потерям в стали, т.е.  $p_m = p_{ст}$