Лекция 6

Катушка с ферромагнитным сердечником

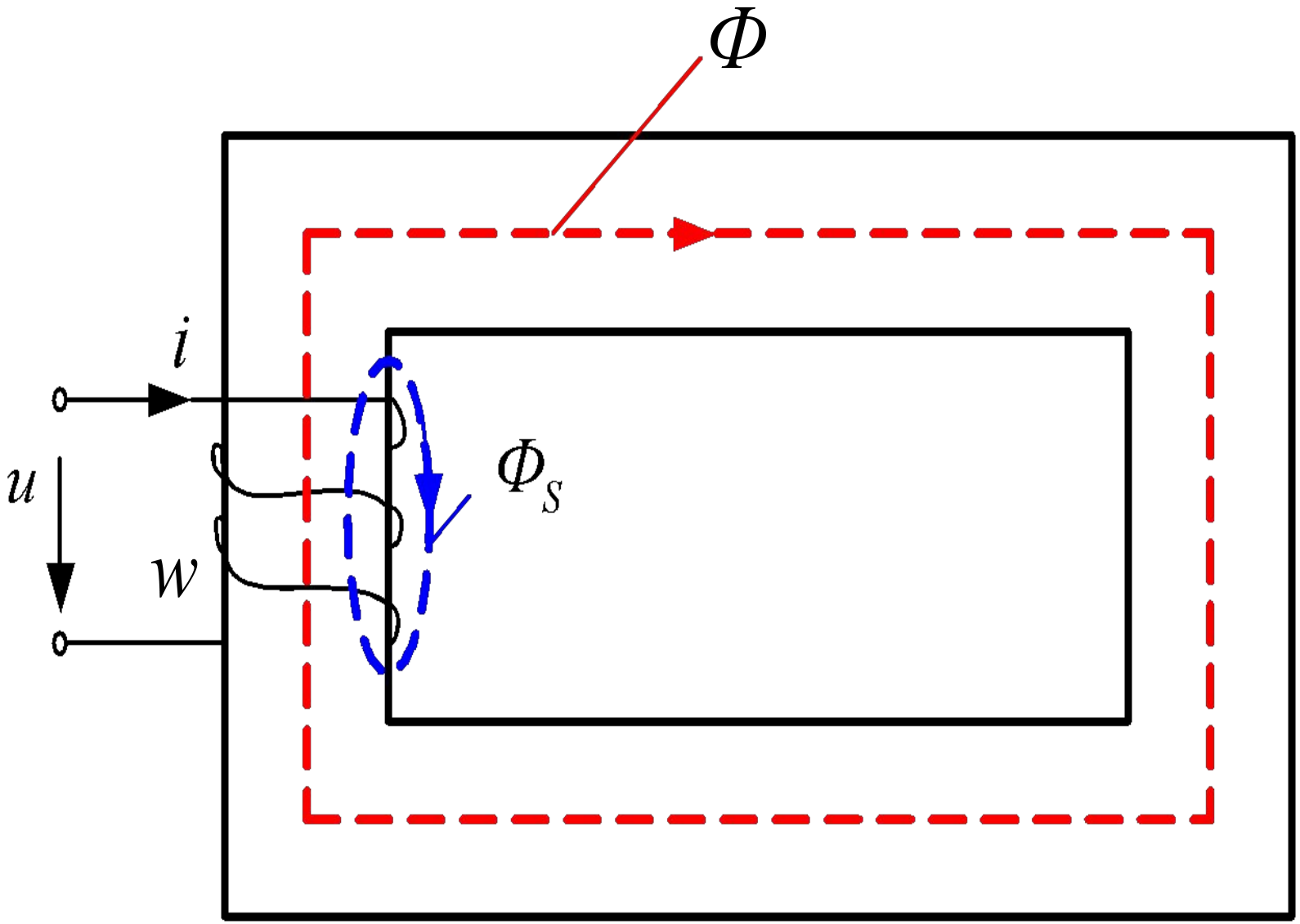
Картина распределения магнитных потоков катушки сложна.

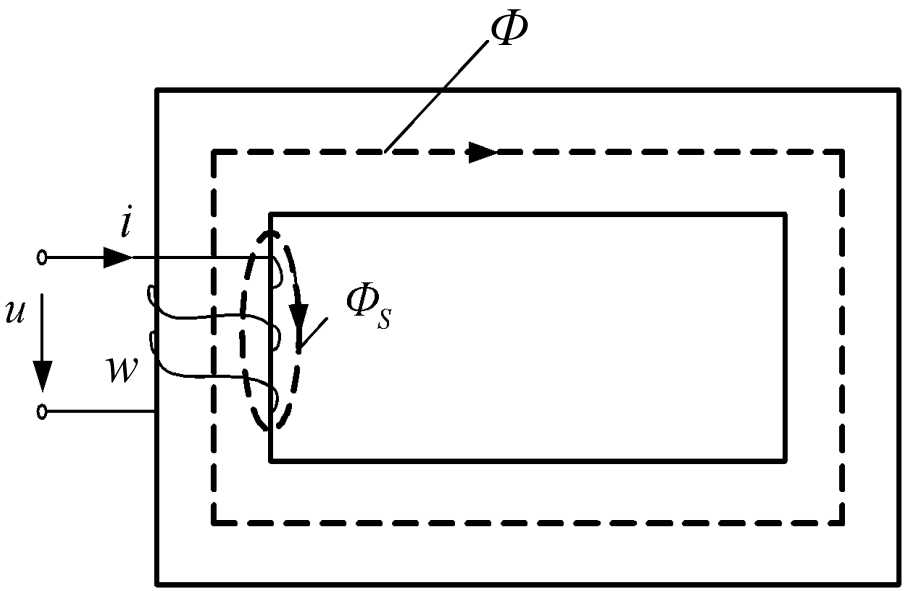
В расчетах используем упрощенную модель катушки, в которой магнитный поток $\Phi_{общ}$ разделяется на две части:

- **основной поток Ф** (замыкается по сердечнику);
- **поток рассеяния Φ_s** (замыкается по воздуху, сцеплен со всеми витками катушки).

При этом $\Phi >> \Phi_s$.

Этим потокам соответствуют потокосцепления $\Psi_{общ}, \Psi$ и Ψ_s.


Φ
i
u
w
Φ_S



$$ri + \frac{d\Psi_{\text{общ}}}{dt} = u;$$

$$\Psi_{\text{общ}} = \Psi_s + \Psi;$$

$$\Psi = w\Phi; \quad \Psi_s = L_s i;$$

L_s =const – индуктивность рассеяния;

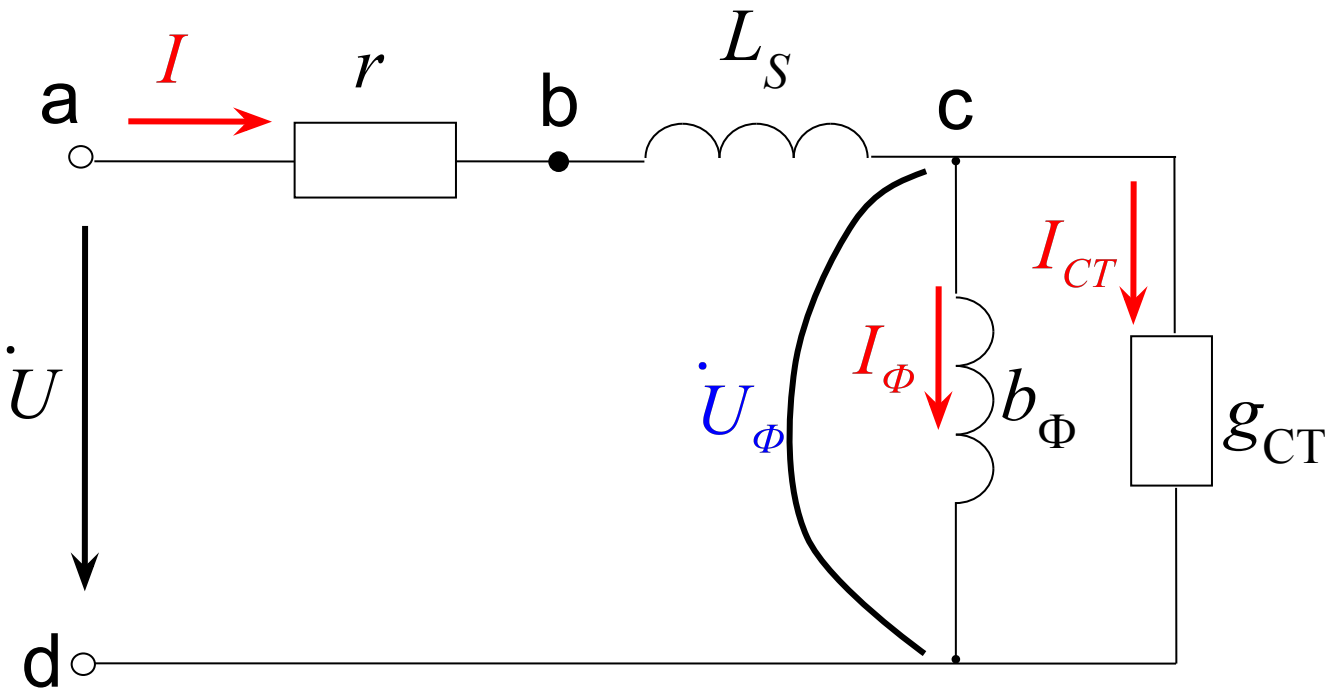
$$ri + L_s\frac{di}{dt} + w\frac{d\Phi}{dt} = u;$$

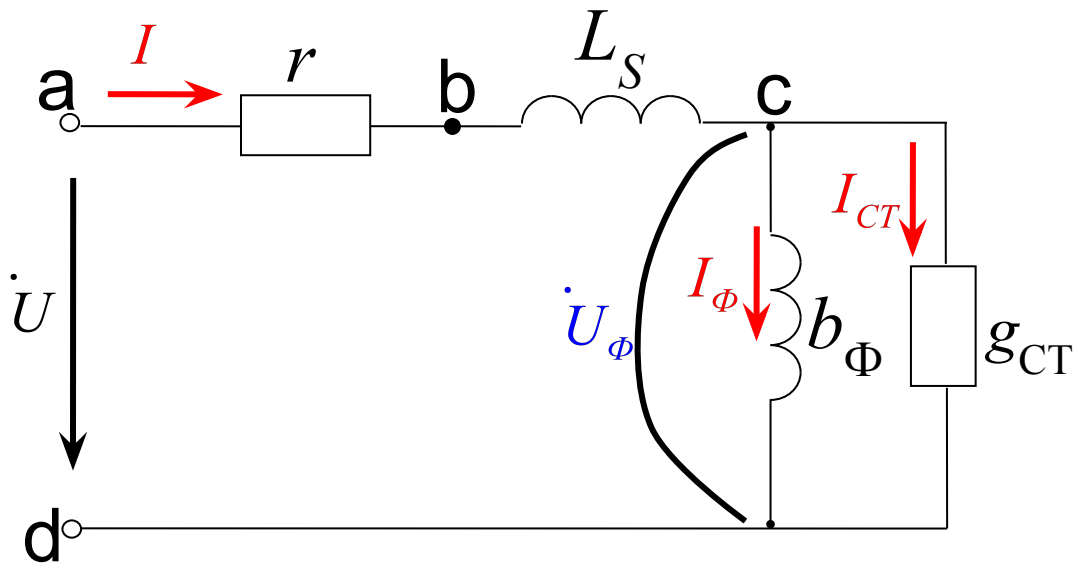
$w\frac{d\Phi}{dt} = u_\Phi$ – напряжение, компенсирующее ЭДС, наводимую в катушке потоком Ф;

$e = -w\frac{d\Phi}{dt}$ – ЭДС, наводимая в катушке потоком Ф.

Схема замещения

$$\dot{r}\dot{I} + j\omega L_s \dot{I} + \dot{U}_\Phi = \dot{U};$$



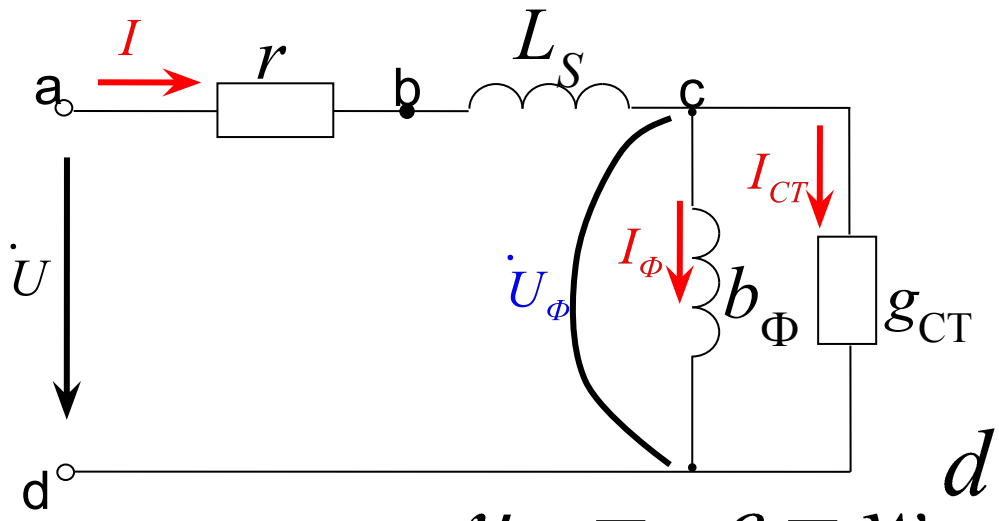


Ток катушки I содержит две составляющие:

– **намагничивающую** $I_Ф$, отстающую от $\dot{U}_Ф$ на $\frac{\pi}{2}$;

– $I_{ст}$, соответствующую **потерям в стали** и совпадающую по фазе с $\dot{U}_Ф$.

$$\dot{I} = \dot{I}_Ф + \dot{I}_{ст}.$$



Допустим

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

$$u_\Phi = -e = w\frac{d\Phi}{dt} = w\omega\Phi_m \cos\omega t =$$

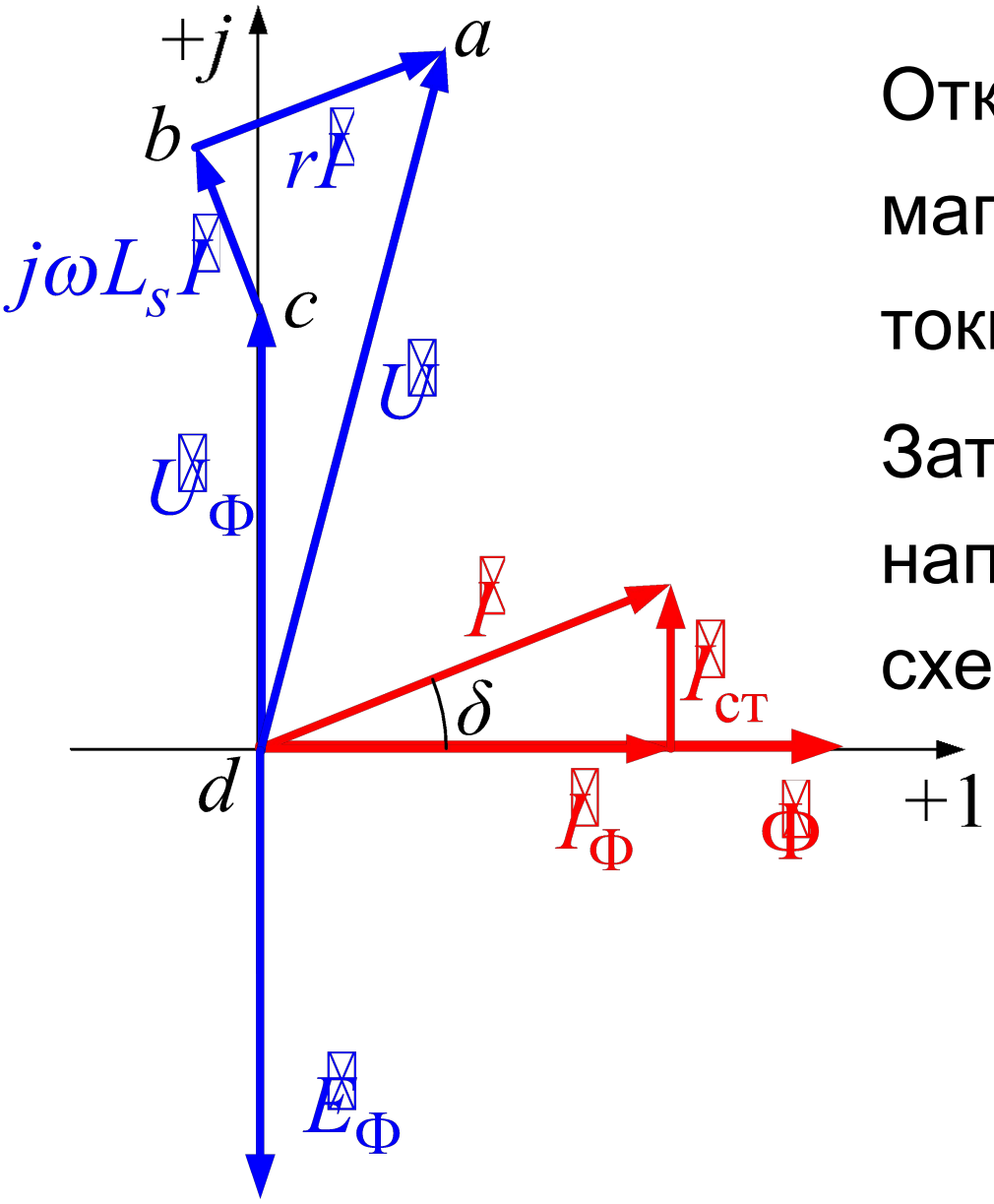
$$= 2\pi f w \Phi_m \cos\omega t = U_{m\Phi}\cos\omega t = U_{m\Phi}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

$$U_\Phi = \frac{2}{\sqrt{2}}\pi f w \Phi_m; \quad U_\Phi = 4{,}44 f w \Phi_m.$$

Поэтому $\dot{\Phi}_m = \Phi_m e^{j0^\circ}; \dot{U}_\Phi = U_\Phi e^{j90^\circ}; \dot{E}_\Phi = E_\Phi e^{-j90^\circ};$

$$U_\Phi = E_\Phi; \qquad \dot{I}_\Phi = I_\Phi e^{j0^\circ}; \quad \dot{I}_{ст} = I_{ст} e^{j90^\circ}.$$

Векторная диаграмма



Откладываем в масштабе магнитный поток Φ, токи $I_{\Phi}, I_{\text{ст}}, I$.

Затем, начиная с точки ***d***, напряжения на элементах схемы.

Катушка – нелинейный элемент, поэтому параметры ее схемы замещения зависят от величины приложенного напряжения (протекающего тока).

Существуют таблицы или кривые, определяющие при заданной частоте зависимости удельной мощности потерь P_0 и удельной намагничивающей мощности Q_0 от амплитуды магнитной индукции B_m.

Зная массу магнитопровода **G** при заданном значении **Ф** можно определить:

$$B_m = \frac{\Phi_m}{S};$$

$P_{ст} = U_Ф I_{ст} = P_0 G$ – **мощность потерь в стали;**

$Q_{ст} = U_Ф I_Ф = Q_0 G$ – **намагничивающая мощность.**

Из схемы замещения при заданных Ф, *f*, *w* находятся параметры $g_{ст}$ и $b_{Ф}$:

$$U_{Ф} = 4,44\, f w \Phi_m;$$

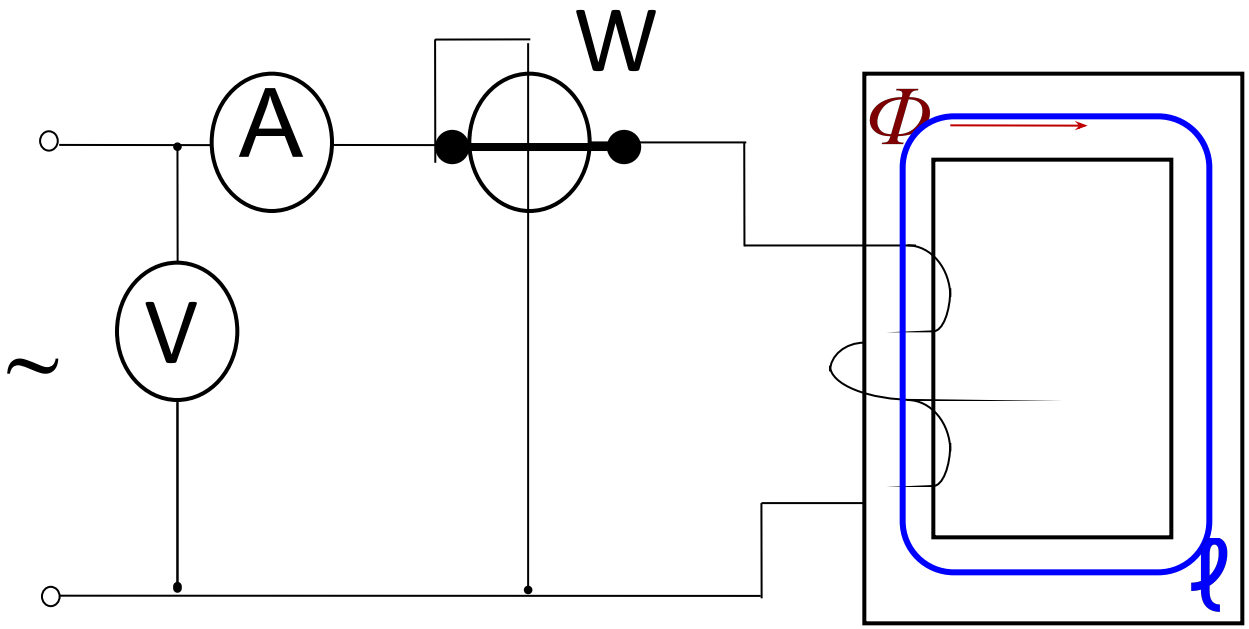
$$g_{ст} = \frac{P_{ст}}{U_{Ф}^2}; \qquad b_{ст} = \frac{Q_{ст}}{U_{Ф}^2}.$$

Индуктивность рассеяния L_s и потери в проводах катушки (потери в меди) ***r*** можно определить опытным путем.

Определение параметров катушки опытным путем

Дано: $w, \ell, S, B(H).$

Измеряем: $U, I, P.$

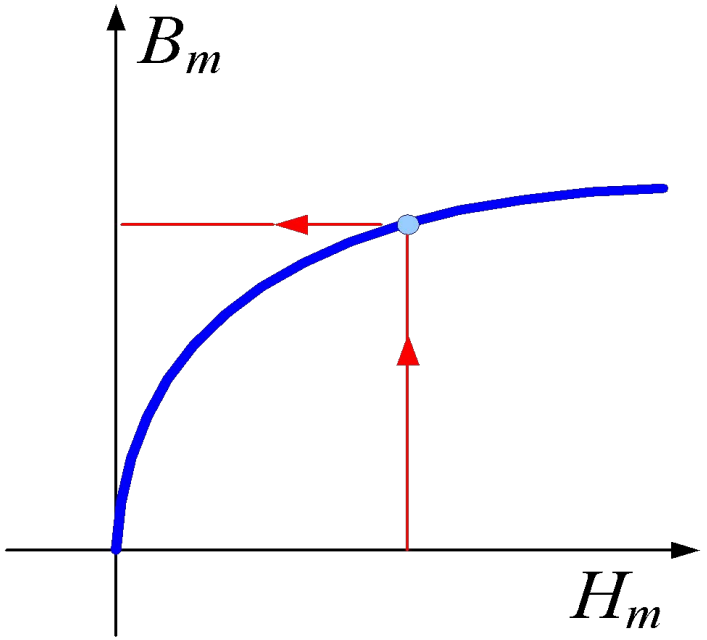


$$Z = \frac{U}{I};$$

$$R = \frac{P}{I^2}.$$

$$H\ell = Iw; \quad H = \frac{Iw}{\ell}.$$

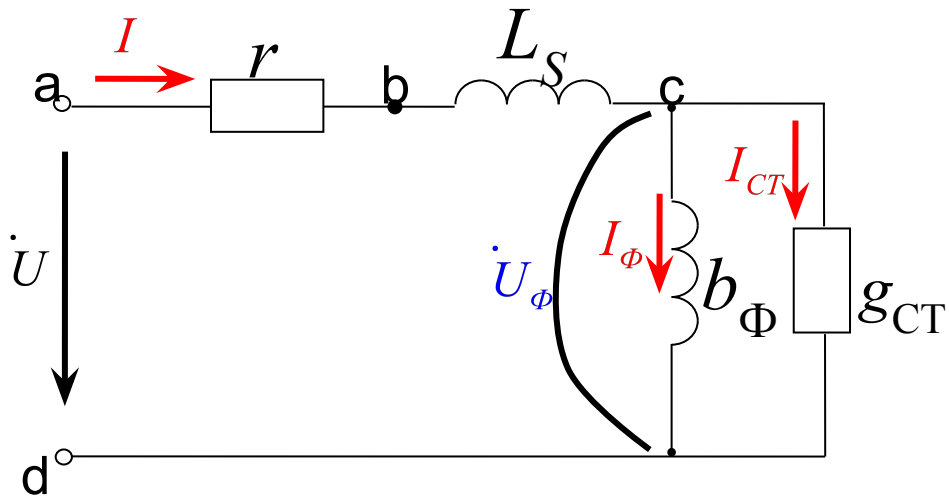
$$\Phi_m = B_m S.$$

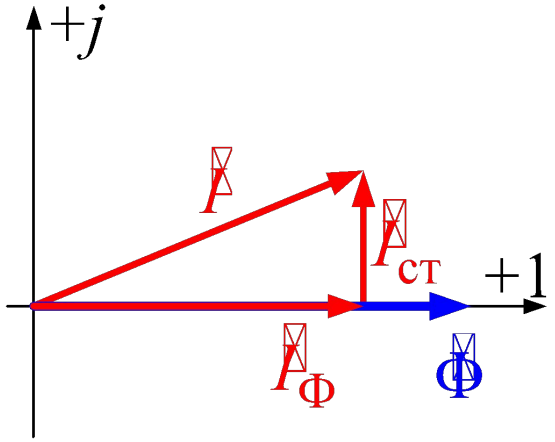


1. ***r*** – измеряется омметром или на постоянном токе при помощи амперметра и вольтметра.

$$2.\ P = P_{\text{меди}} + P_{\text{стали}} = I^2 r + U_{\Phi}^2 g_{\text{ст}};$$

$U_{\Phi} = 4,44 f w \Phi_m$; определяется $g_{\text{ст}}$; $r_{\text{ст}} = \dfrac{1}{g_{\text{ст}}}$.





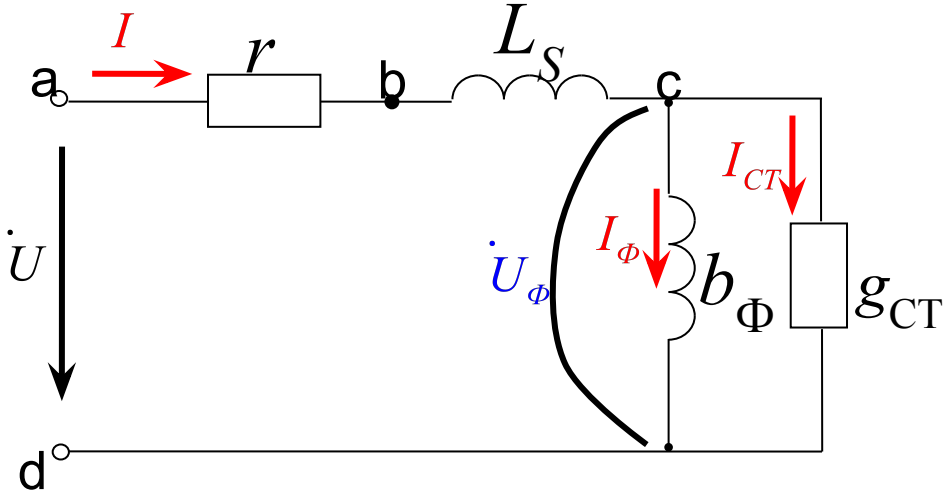
$$3.\ I_{СТ} = \frac{U_Ф}{r_{СТ}};$$

$$4.\ I_Ф = \sqrt{I^2 - I_{СТ}^2};$$

$$5.\ x_Ф = \frac{U_Ф}{I_Ф};\quad b_Ф = \frac{1}{x_Ф};\quad L_Ф = \frac{x_Ф}{\omega} >> L_S;$$

$$6.\ Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = r + jx_s + \frac{r_{\text{ст}}\, jx_{\Phi}}{r_{\text{ст}} + jx_{\Phi}} = R + jX;$$

$$X = \frac{x_s r_{\text{ст}}^2 + x_s x_{\Phi}^2 + r_{\text{ст}}^2 x_{\Phi}}{r_{\text{ст}}^2 + x_{\Phi}^2};$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2};$$

$$x_s;\quad L_s = \frac{x_s}{\omega}.$$