Лекция 6

Катушка с ферромагнитным сердечником

Картина распределения магнитных потоков катушки сложна.

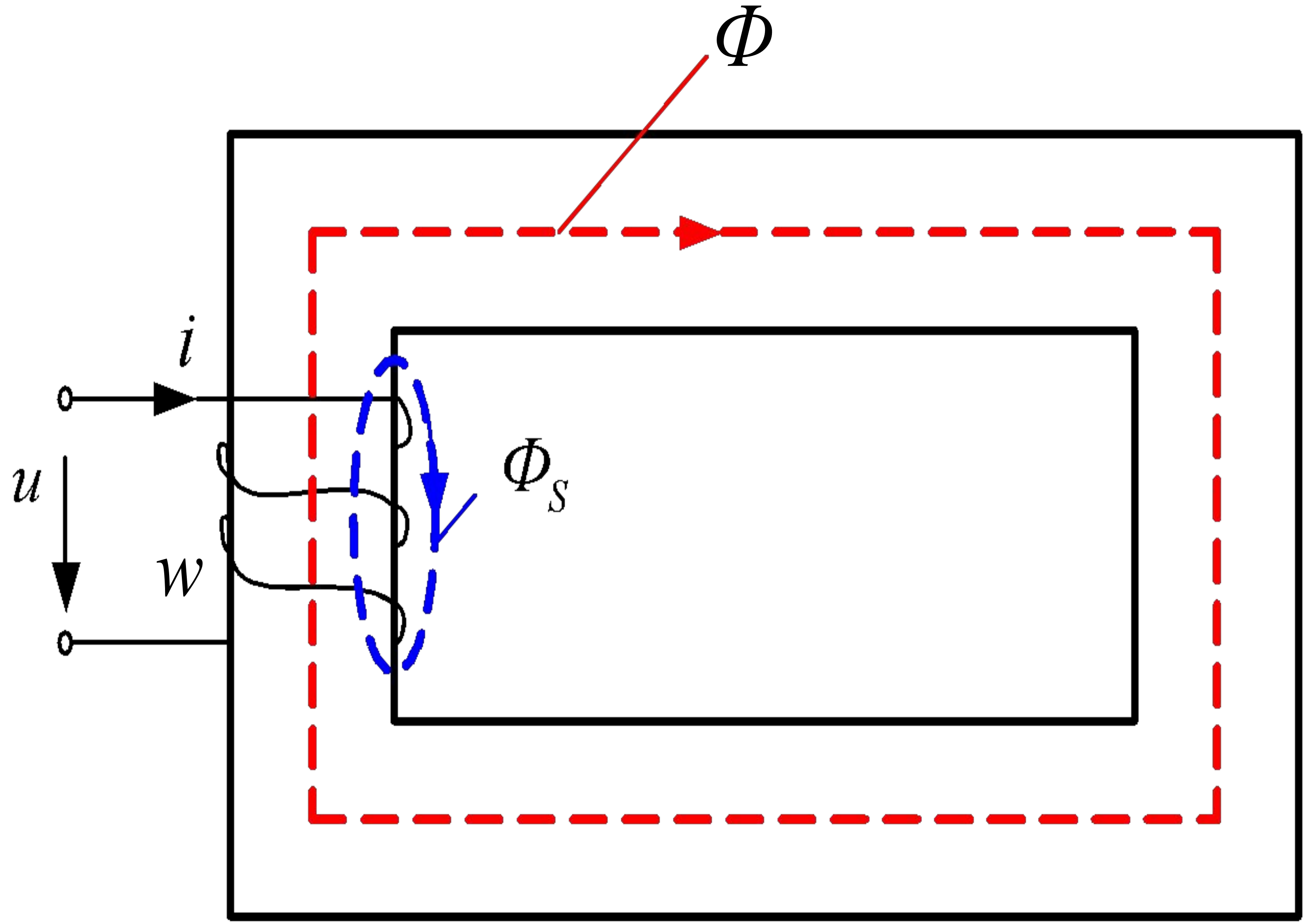
В расчетах используем упрощенную модель катушки, в которой магнитный поток $Ф_{\text{общ}}$ разделяется на две части:

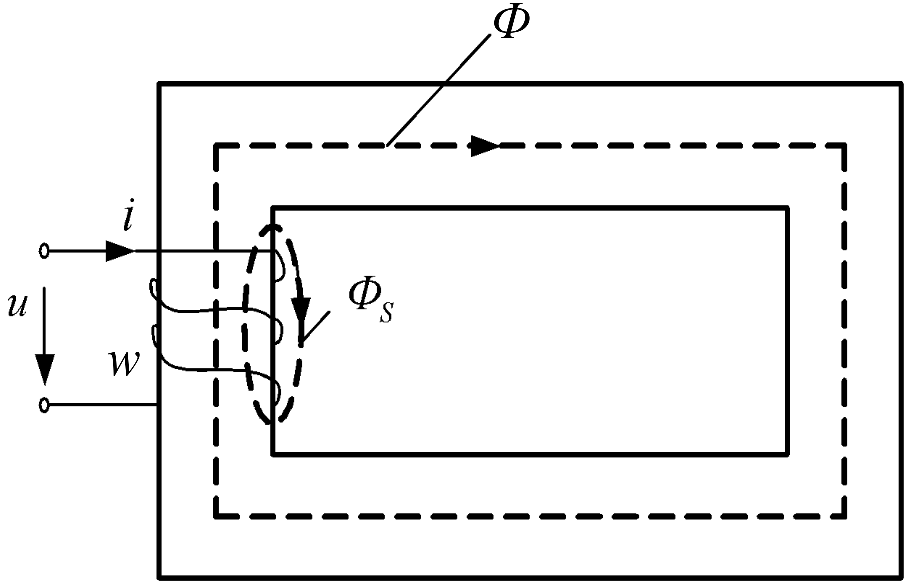
- **основной поток Ф** (замыкается по сердечнику);
- **поток рассеяния $Ф_s$** (замыкается по воздуху, сцеплен со всеми витками катушки).

При этом $Ф \gg Ф_s$.

Этим потокам соответствуют потокосцепления

$\Psi_{\text{общ}}$, и Ψ . Ψ_s


Φ
i
u
Φ_S
w



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

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

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

L_s =const – индуктивность рассеяния;

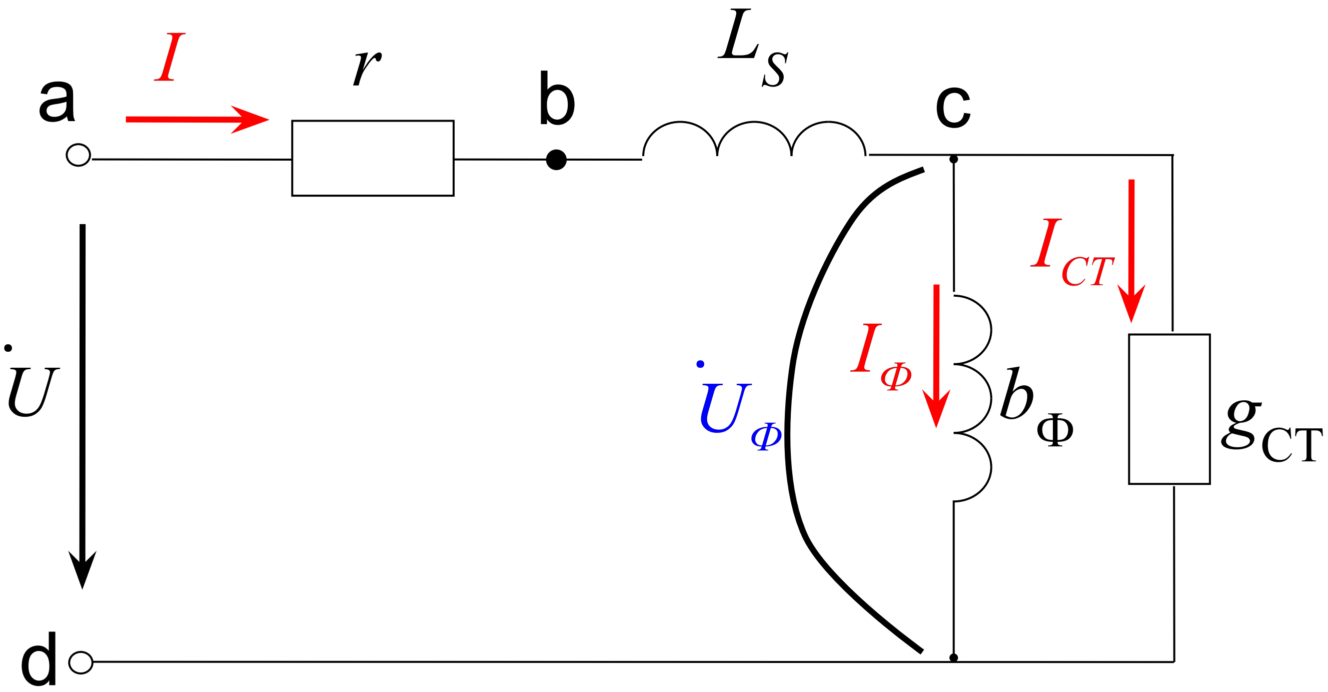
$$ri + L_s\frac{di}{dt} + w\frac{d\Phi}{dt} = u;$$

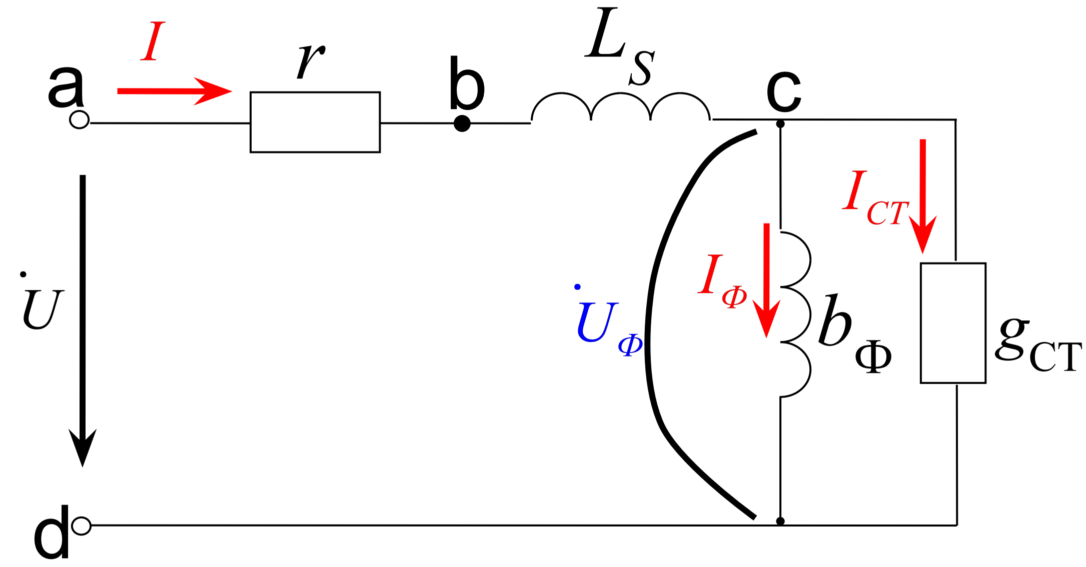
$w\dfrac{d\Phi}{dt} = u_\Phi$ – напряжение, компенсирующее ЭДС, наводимую в катушке потоком Ф;

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

Схема замещения

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



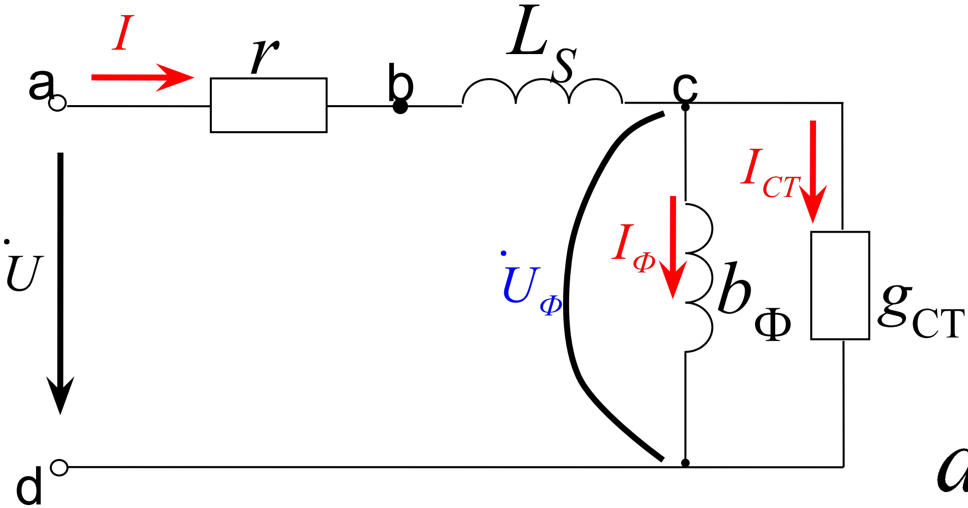


Ток катушки I содержит две составляющие:

– **намагничивающую** I_Φ, отстающую от $\dot{U}_\Phi$ на $\dfrac{\pi}{2}$;

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

$$I = \dot{I}_\Phi + \dot{I}_{\text{ст}}.$$



Допустим

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

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

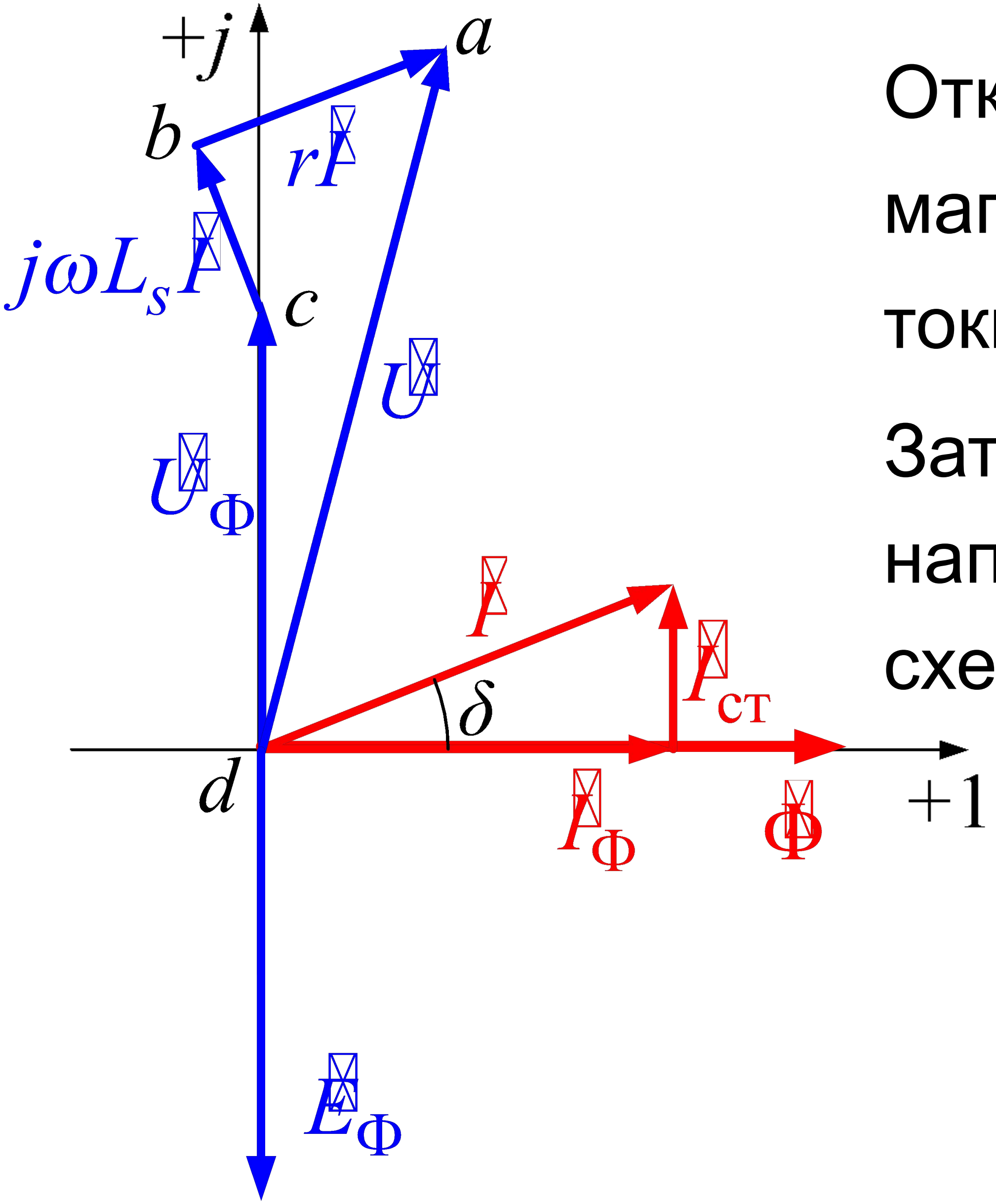
$$= 2\pi f w\Phi_m \cos\omega t = U_{m\Phi}\cos\omega t = U_{m\Phi}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

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

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

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

Векторная диаграмма



Откладываем в масштабе магнитный поток $\dot{Ф}$,

токи $I_Ф, I_{ст}, I$.

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 $\boldsymbol{P_0}$ и удельной намагничивающей мощности $\boldsymbol{Q_0}$ от амплитуды магнитной индукции $\boldsymbol{B_m}$.

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

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

$$P_{\text{ст}} = U_{\Phi} I_{\text{ст}} = P_0 G$$ **– мощность потерь в стали;**

$$Q_{\text{ст}} = U_{\Phi} I_{\Phi} = Q_0 G$$ **– намагничивающая мощность.**

Из схемы замещения при заданных Ф, *f*, *w* находятся параметры $\boldsymbol{g}_{\text{ст}}$ и $\boldsymbol{b}_{\Phi}$:

$$U_{\Phi} = 4,44\, fw\Phi_m;$$

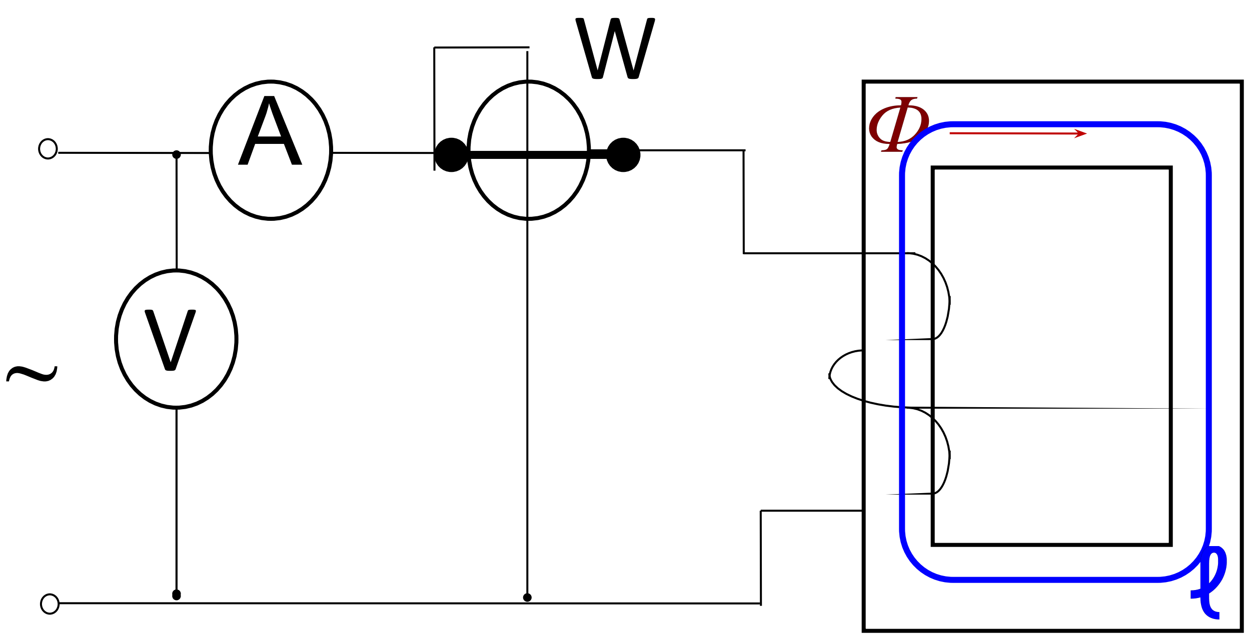
$$g_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{ст}}}{U_{\Phi}^2}; \qquad b_{\text{ст}} = \frac{Q_{\text{ст}}}{U_{\Phi}^2}.$$

Индуктивность рассеяния $\boldsymbol{L_s}$ 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: $U, I, P.$

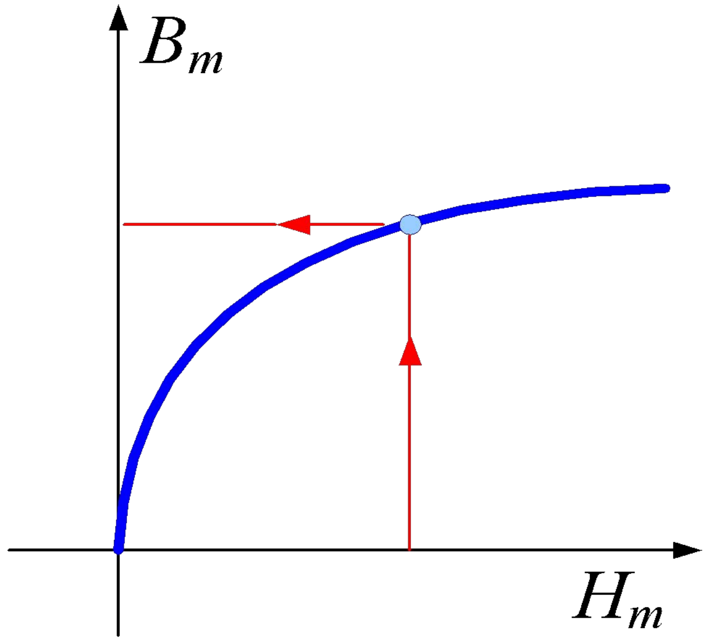


$$Z = \frac{U}{I};$$

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

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

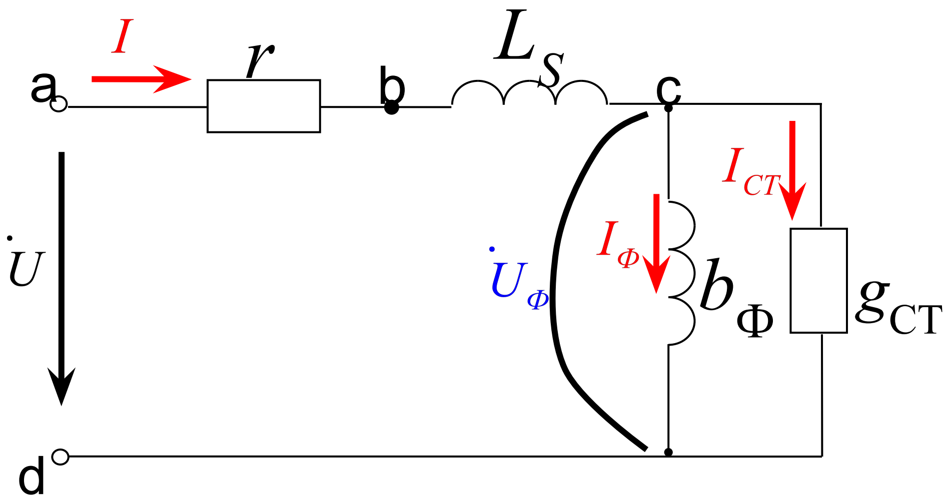
$$\Phi_m = B_m S.$$

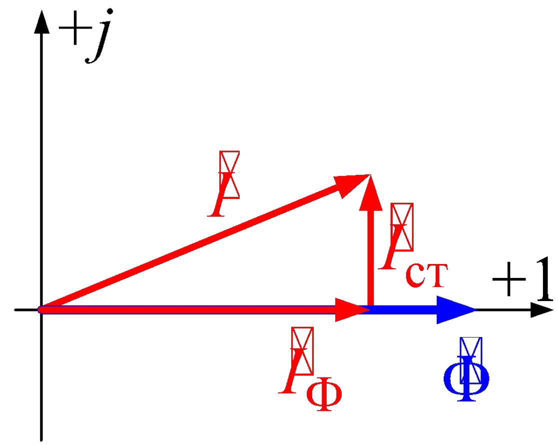


1. ***r*** – измеряется омметром или на постоянном токе при помощи амперметра и вольтметра.

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

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





$$3.\ I_{\text{ст}} = \frac{U_{\Phi}}{r_{\text{ст}}}; \qquad 4.\ I_{\Phi} = \sqrt{I^2 - I_{\text{ст}}^2};$$

$$5.\ x_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{I_{\Phi}}; \quad b_{\Phi} = \frac{1}{x_{\Phi}}; \quad L_{\Phi} = \frac{x_{\Phi}}{\omega} >> L_s;$$

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

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

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

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