

Лекция 6

Катушка с ферромагнитным сердечником

Картина распределения магнитных потоков катушки сложна.

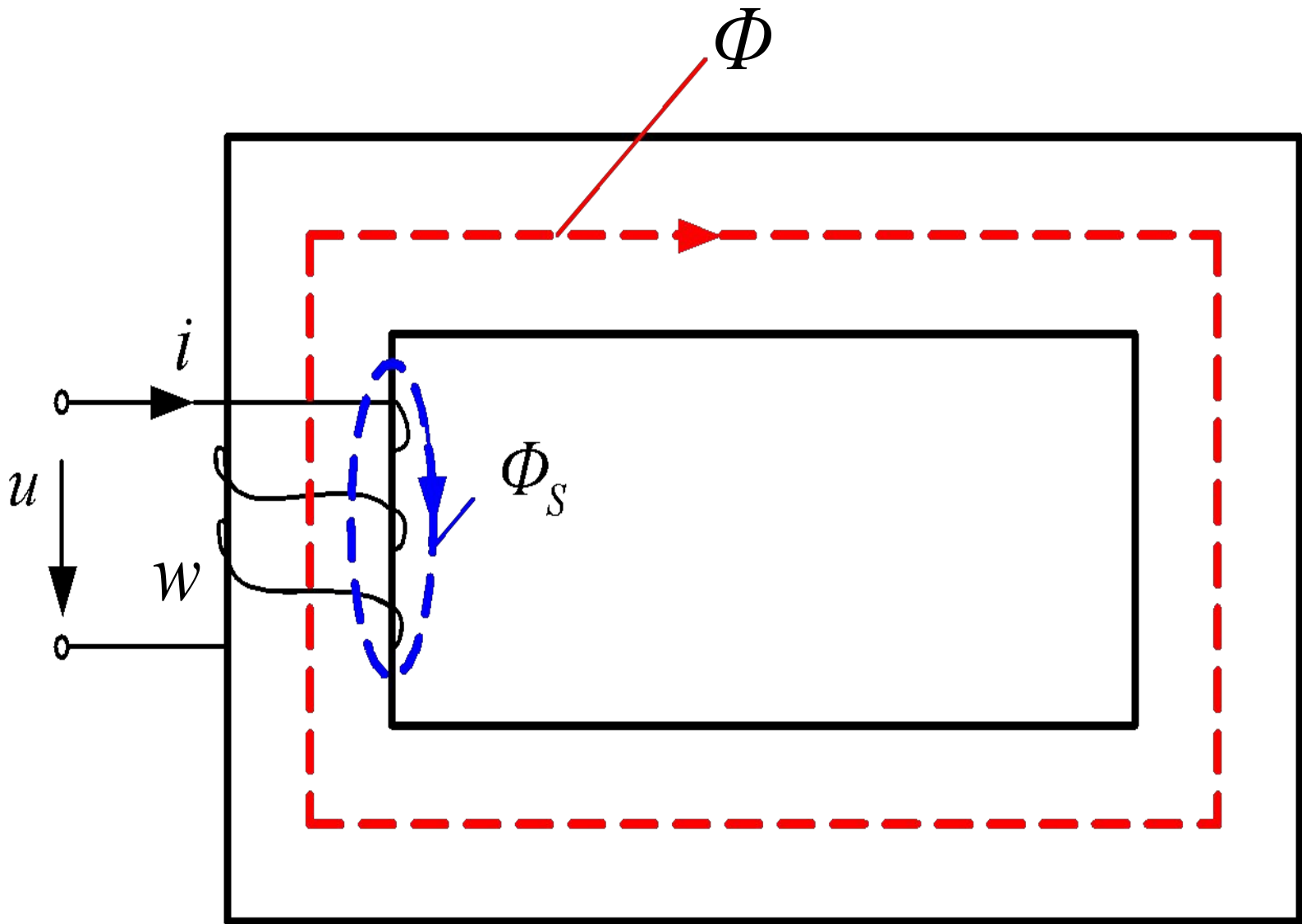
В расчетах используем упрощенную модель катушки, в которой магнитный поток $\Phi_{\text{общ}}$ разделяется на две части:

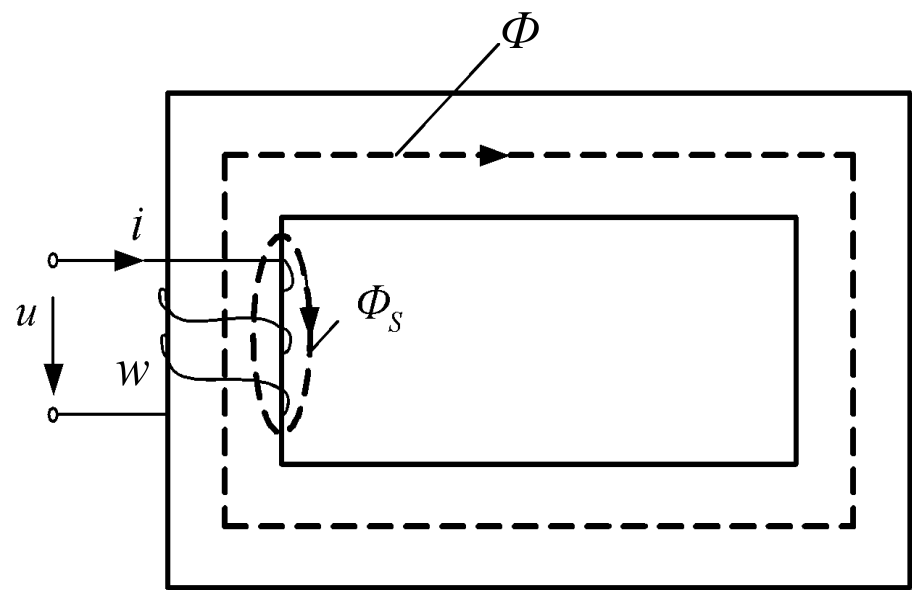
- **основной поток Φ** (замыкается по сердечнику);
- **поток рассеяния Φ_s** (замыкается по воздуху, сцеплен со всеми витками катушки).

При этом $\Phi \gg \Phi_s$.

Этим потокам соответствуют потокосцепления

$$\Psi_{\text{общ}}, \Psi \quad \cdot \quad \Psi_s$$





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

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

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

$L_s = \text{const}$ – индуктивность рассеяния;

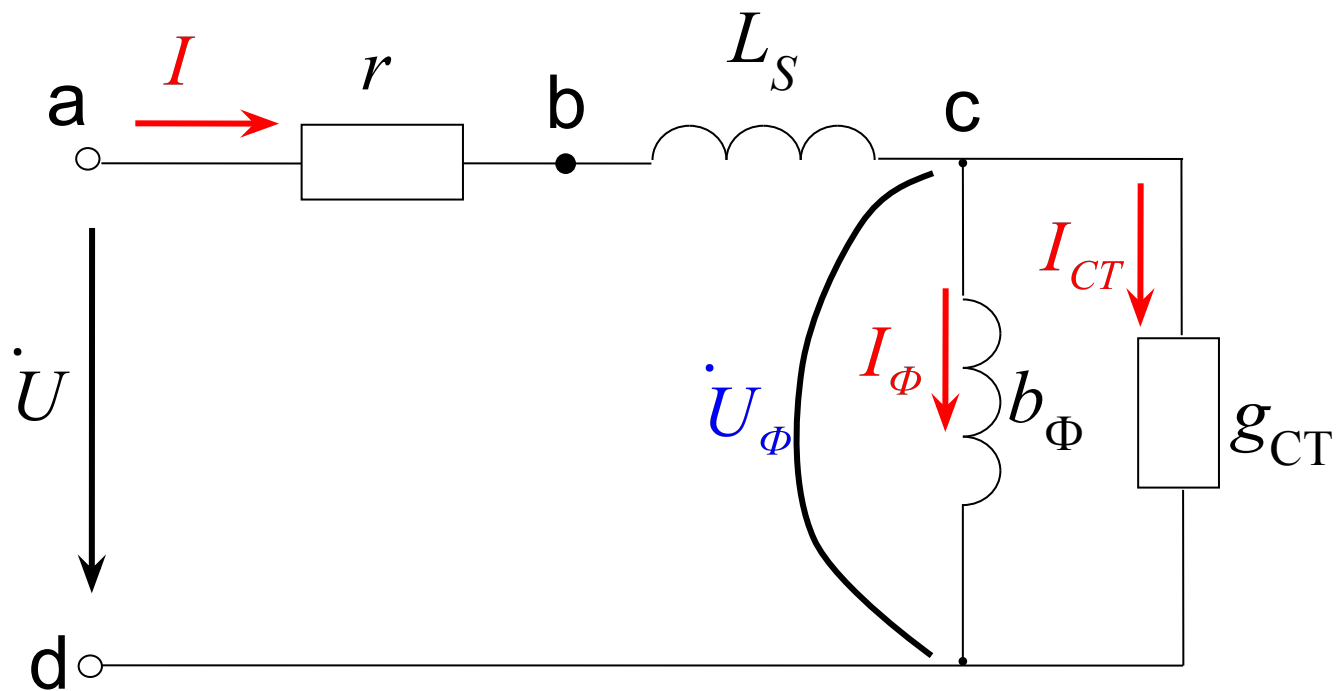
$$ri + L_s \frac{di}{dt} + w \frac{d\Phi}{dt} = u;$$

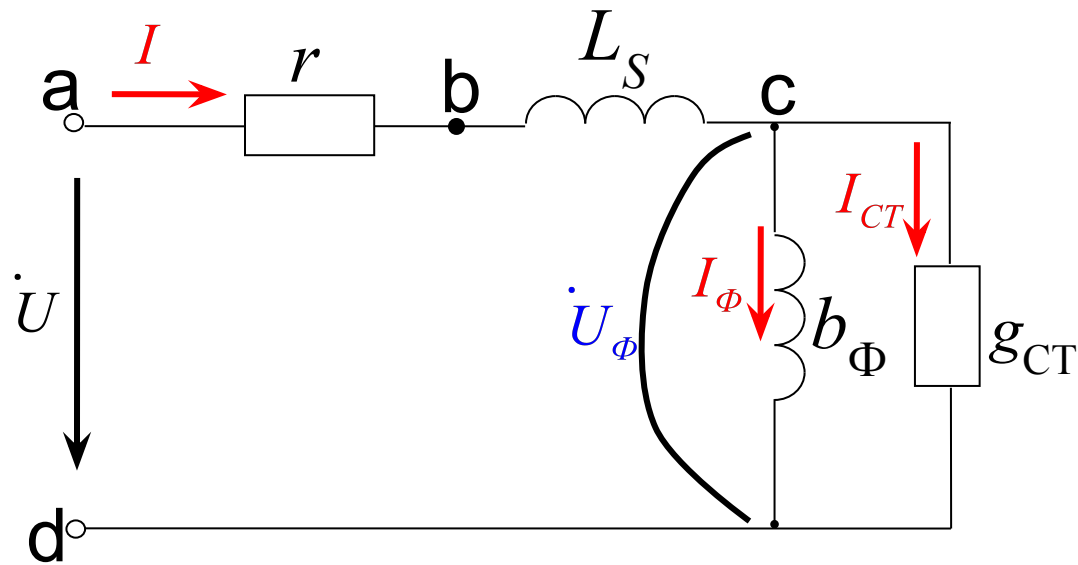
$w \frac{d\Phi}{dt} = u_{\Phi}$ – напряжение, компенсирующее ЭДС, наводимую в катушке потоком Φ ;

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

Схема замещения

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

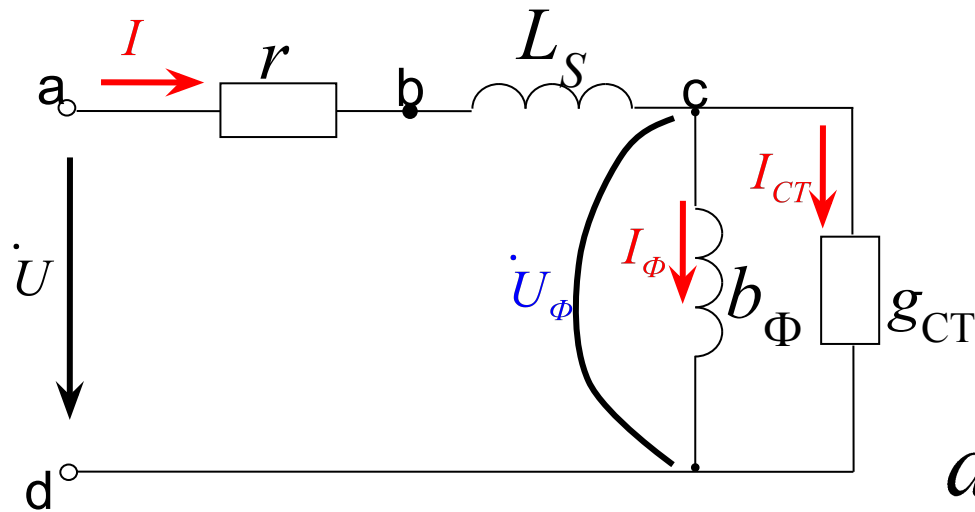




Ток катушки I содержит две составляющие:

- **намагничивающую** I_{Φ} , отстающую от \dot{U}_{Φ} на $\frac{\pi}{2}$;
- $I_{\text{СТ}}$, соответствующую **потерям в стали** и совпадающую по фазе с \dot{U}_{Φ} .

$$I = I_{\Phi} + I_{\text{СТ}}.$$



Допустим

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

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

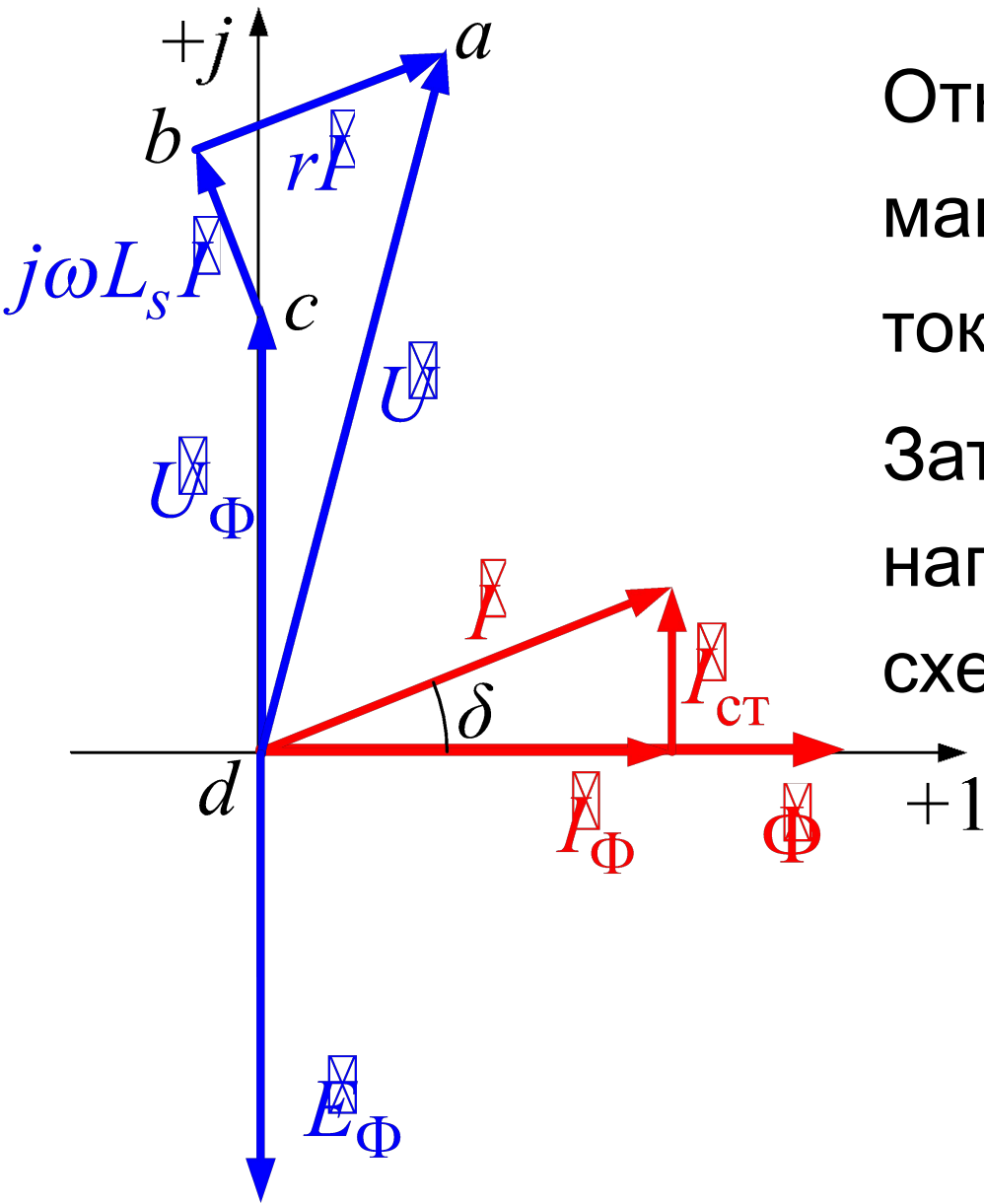
$$= 2\pi f w \Phi_m \cos \omega t = U_{m\Phi} \cos \omega t = U_{m\Phi} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

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

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

$$U_{\Phi} = E_{\Phi}; \quad I_{\Phi} = I_{\Phi} e^{j0^\circ}; \quad I_{CT} = I_{CT} e^{j90^\circ}.$$

Векторная диаграмма



Откладываем в масштабе магнитный поток Φ , токи I_{Φ} , I_{CT} , 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 Φ можно определить:

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

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

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

Из схемы замещения при заданных Φ , f , w находятся параметры $g_{\text{ст}}$ и b_{Φ} :

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

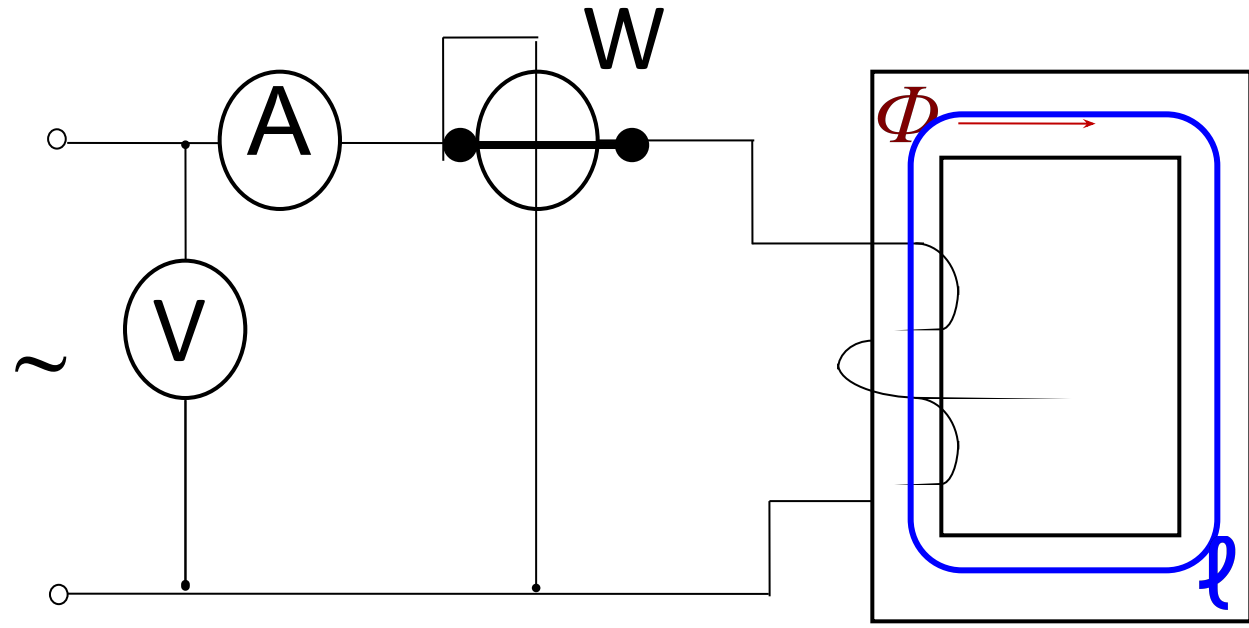
$$g_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{ст}}}{U_{\Phi}^2}; \quad b_{\text{ст}} = \frac{Q_{\text{ст}}}{U_{\Phi}^2}.$$

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

Определение параметров катушки опытным путем

Дано: w , l , S , $B(H)$.

Измеряем: U , I , P .

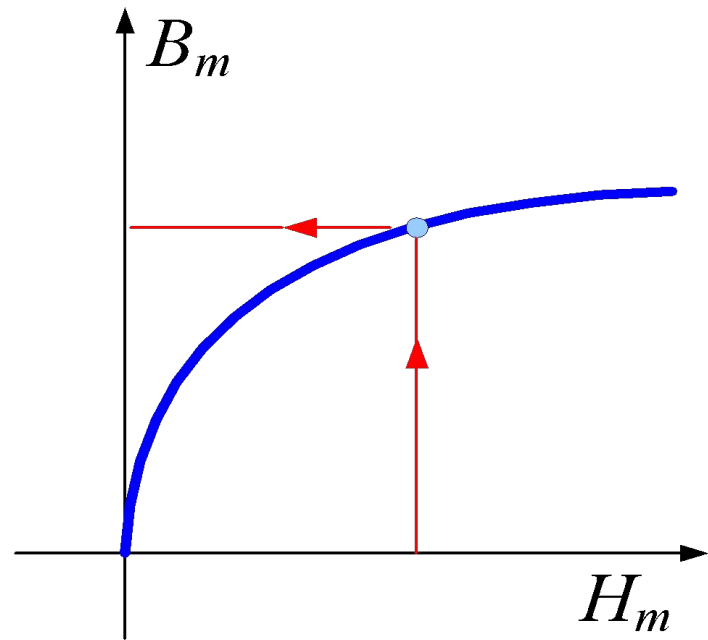


$$Z = \frac{U}{I};$$

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

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

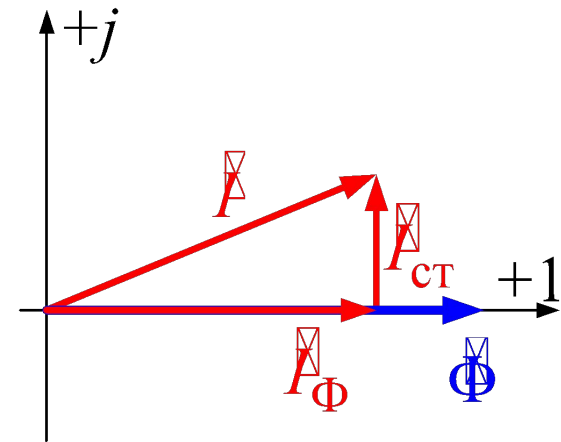
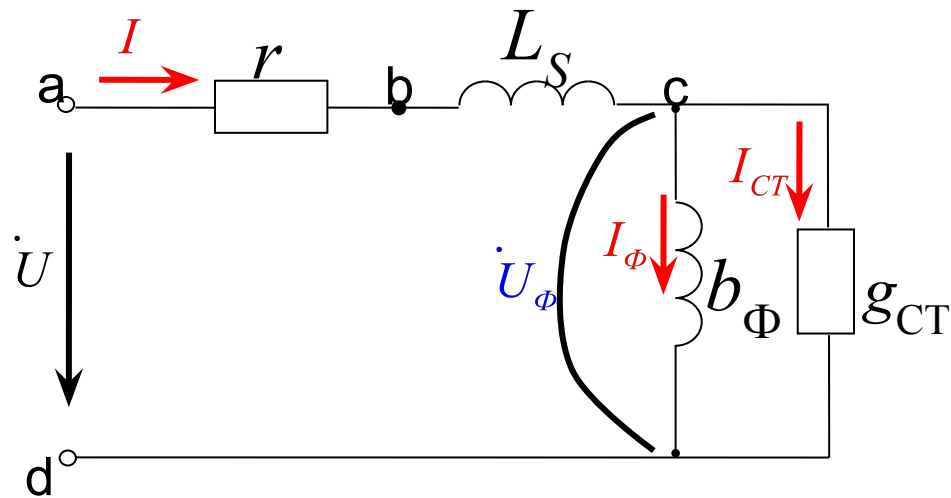
$$\Phi_m = B_m S.$$



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

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

$$U_{\Phi} = 4,44 f w \Phi_m; \quad \text{определяется } \underline{g_{\text{СТ}}}; \quad r_{\text{СТ}} = \frac{1}{g_{\text{СТ}}}.$$



$$3. I_{CT} = \frac{U_{\Phi}}{r_{CT}}; \quad 4. I_{\Phi} = \sqrt{I^2 - I_{CT}^2};$$

$$5. x_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{I_{\Phi}}; \quad b_{\Phi} = \frac{1}{x_{\Phi}}; \quad \underline{L_{\Phi} = \frac{x_{\Phi}}{\omega}} \gg L_S;$$

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

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

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

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

