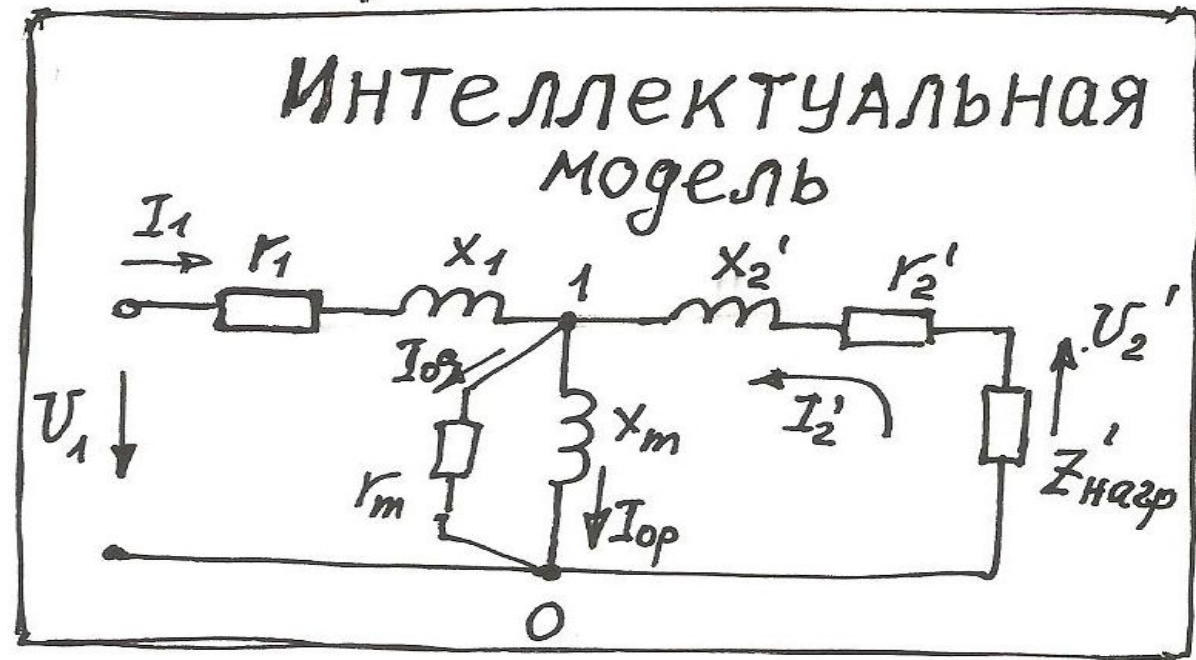
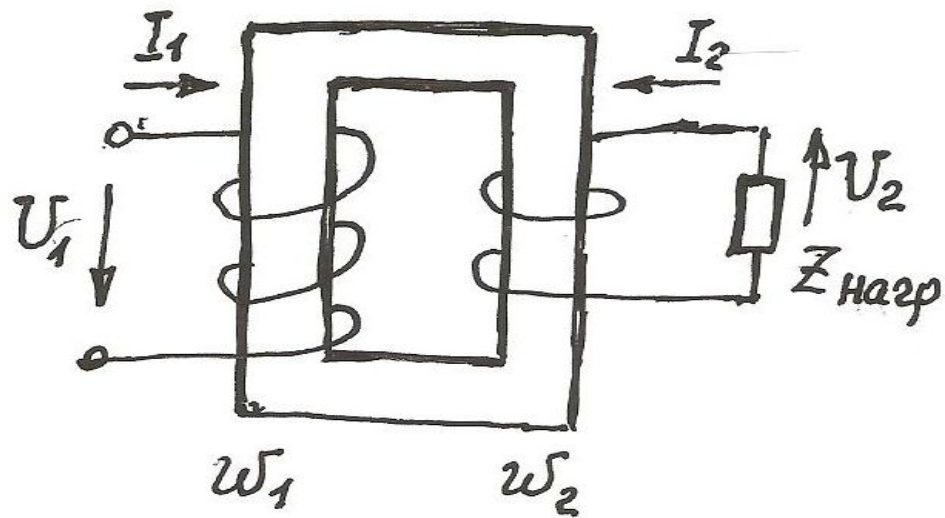


①

# Трансформатор

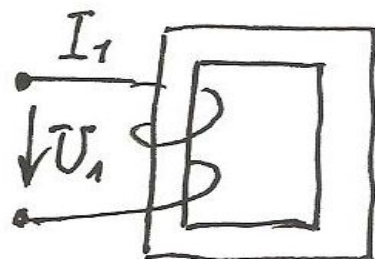


$r_1, r_2'$  и  $r_m$  — ?

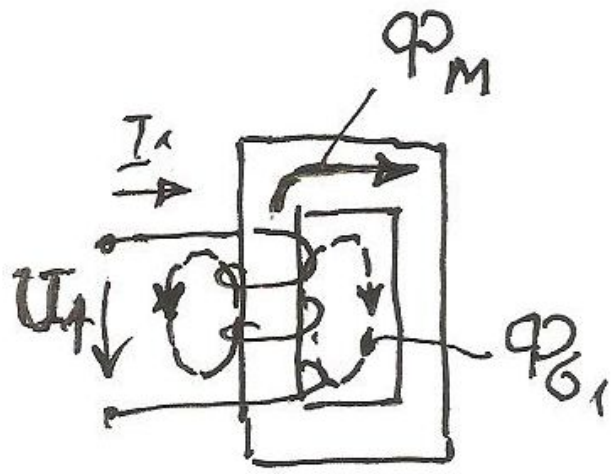
$$P_{\text{магн}} = r_m \cdot I_{0m}^2$$

$x_1, x_2'$  и  $x_m$  — ?

Холостой ход (режим):



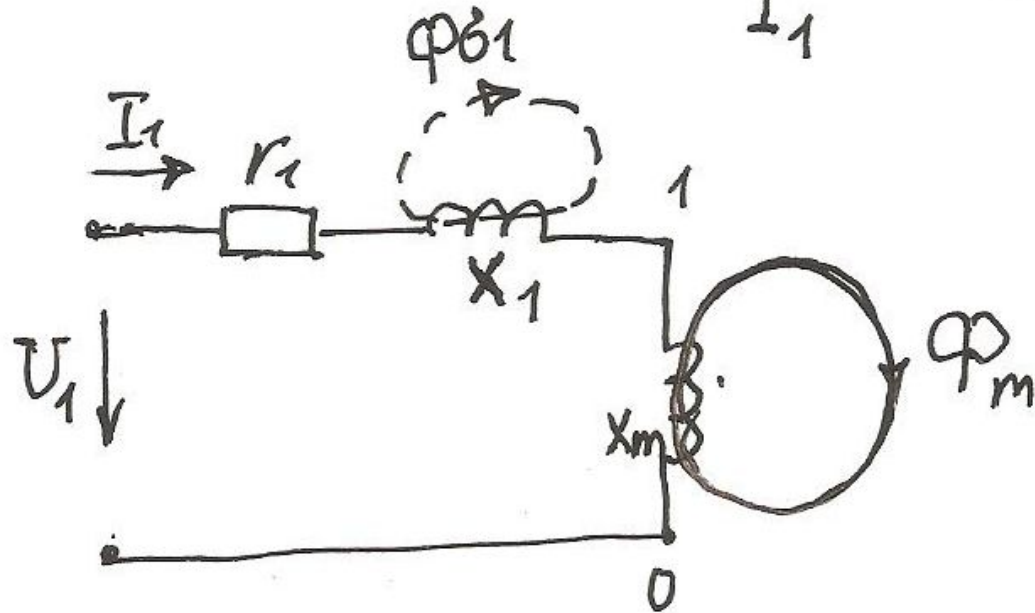
$$L = \frac{\Phi}{I_1} = \frac{\Phi + \Phi}{I_1}$$

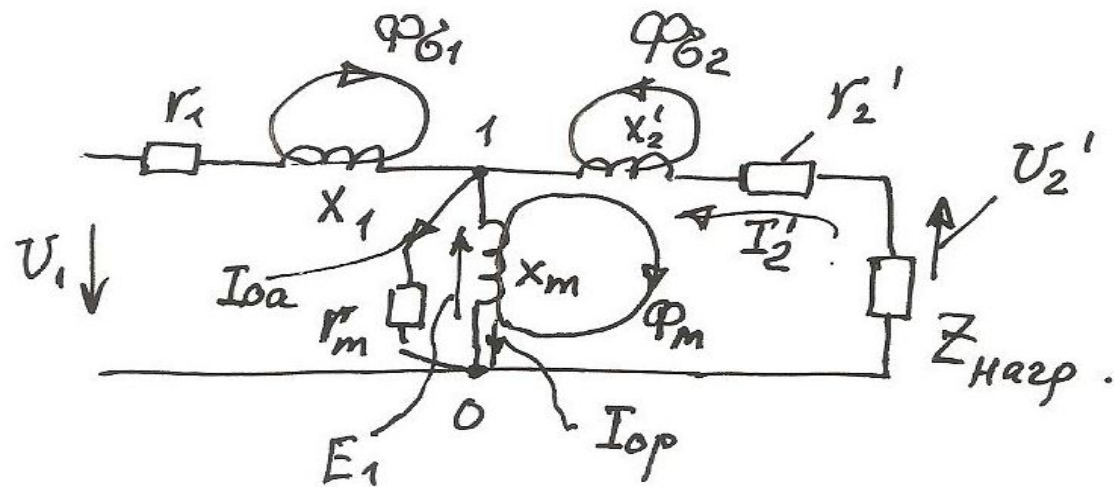
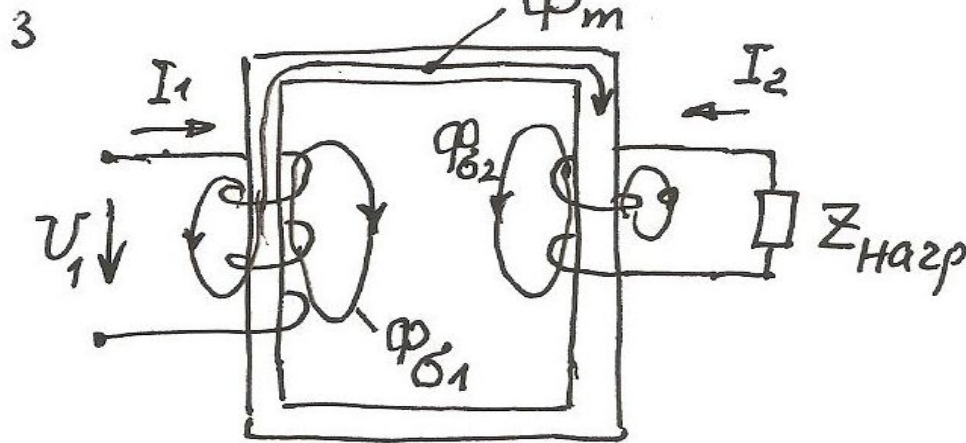


$$\frac{\varphi_M}{I_1} = L_m \equiv L_m \cdot \omega = X_m$$

(2)

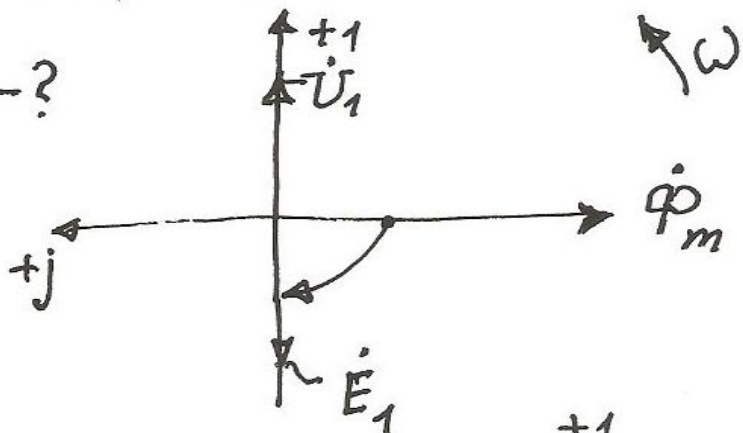
$$\frac{\varphi_{G1}}{I_1} = L_{G1} \equiv L_{G1} \cdot \omega = X_1$$





$\varphi_{\delta_1}, \varphi_{\delta_2}$  и  $\varphi_m$  — ?

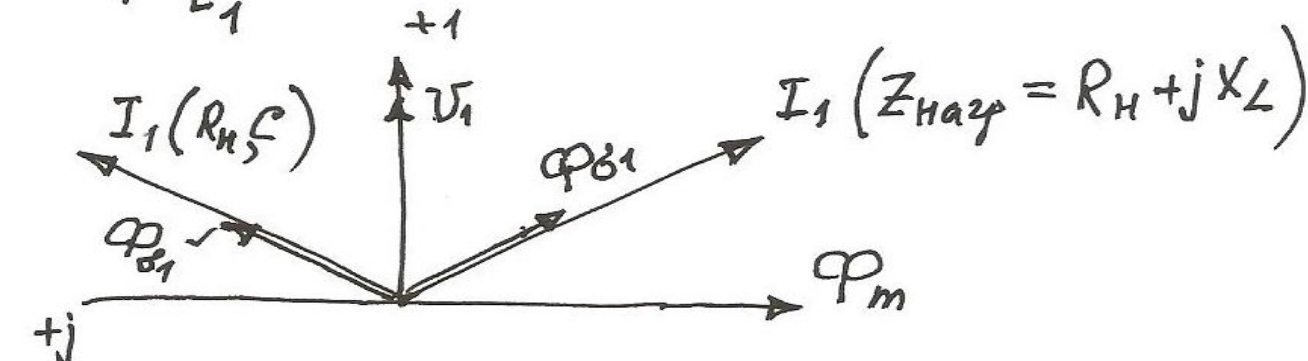
1.  $\varphi_m$  — ?



$$U_1 \approx E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot \varphi_m$$

$$\varphi_m \equiv U_1$$

$\varphi_{\delta_1}$  — ?

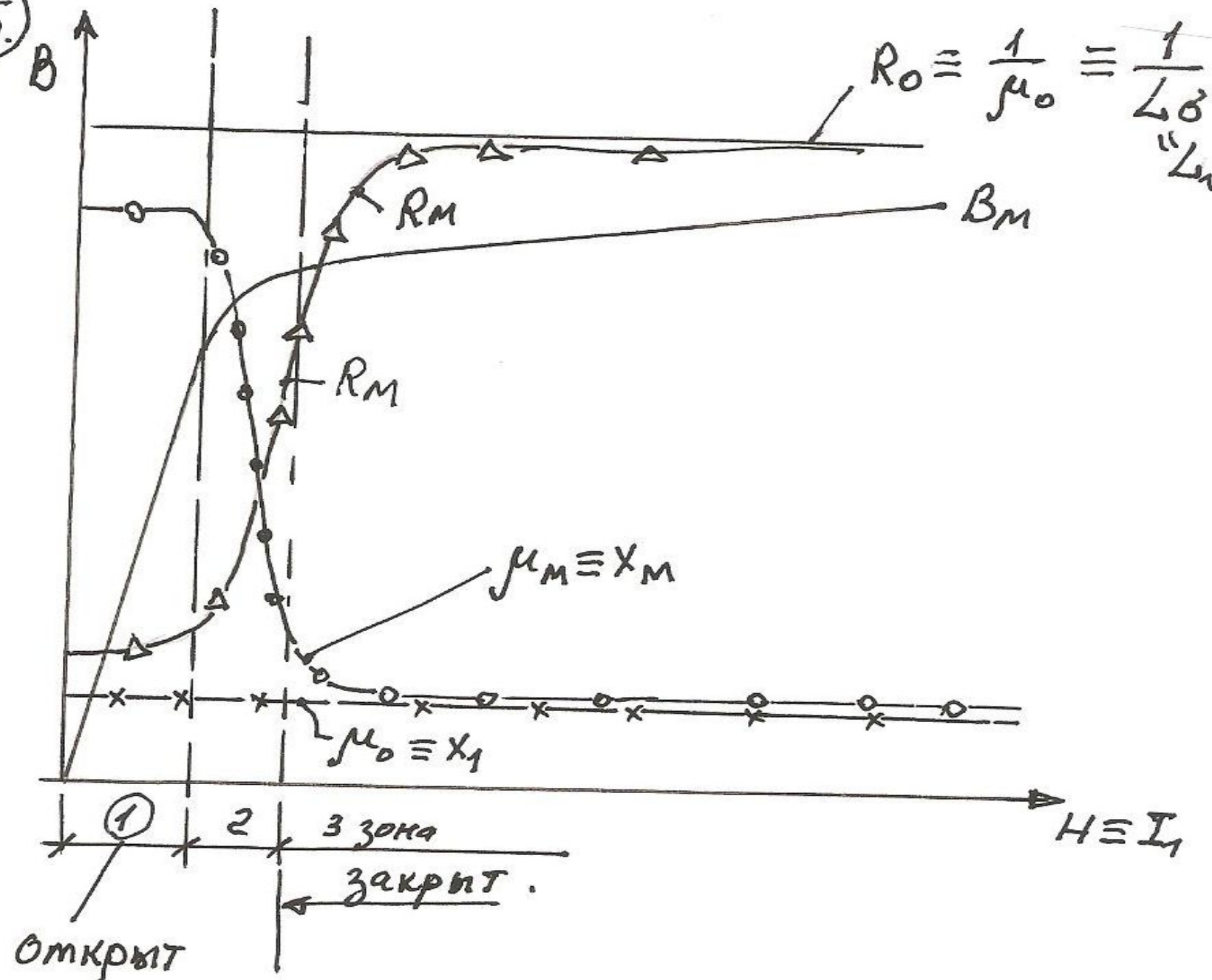


$$\varphi_{\delta_1} \equiv I_1$$





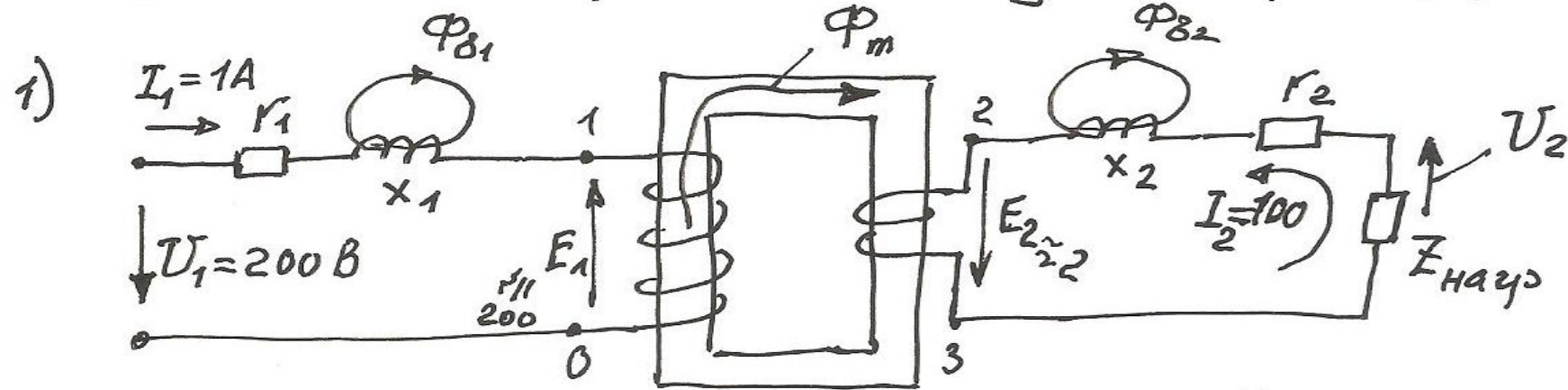
5.



$$R_m \equiv \frac{1}{\mu_m} \equiv \frac{1}{L_m}$$

$$L_m = \frac{\omega^2}{R_m}$$

⑥ Процесс построения модели трансформатора



$$\omega_1 = 1000; \omega_2 = 10$$

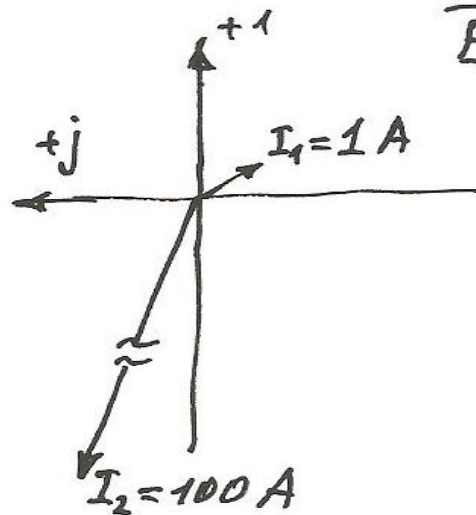
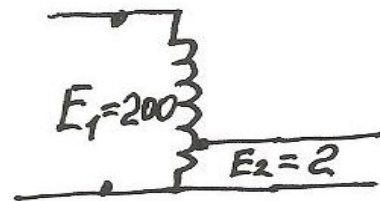
$$K = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 100$$

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot \omega_1 \cdot \Phi_m$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot \omega_2 \cdot \Phi_m$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 100; \quad E_2 = \frac{200}{100} = 2 \text{ В}$$

1. Вариант



⑦ Второй вариант

Переход к приведенному тр-ру:

$$\omega_2' = \omega_1 \rightarrow E_2' = E_1 ; I_2' \approx I_1$$

$$S_1 = S_2$$

$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2 = E_2' \cdot I_2'$$

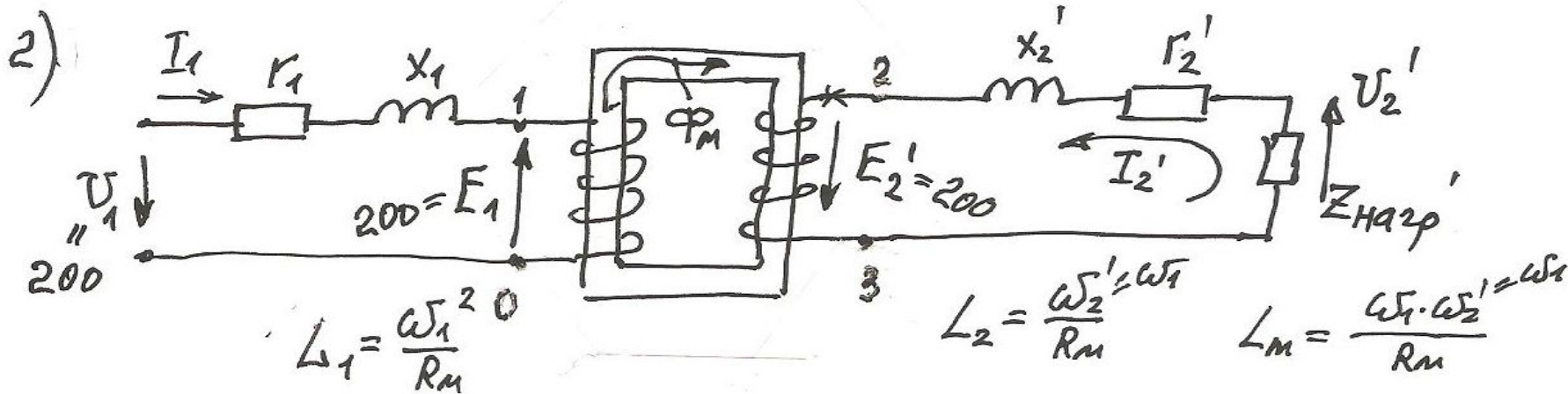
$$I_2' = \frac{I_2}{k} ; E_2' = E_2 \cdot k$$

$$r_2' = \rho \frac{(l \cdot k)}{\left(\frac{S}{k}\right)} = \underbrace{\left(\rho \frac{l}{S}\right)}_{r_2 - \text{до уменьшения}} \cdot k^2 = r_2 \cdot k^2 ;$$

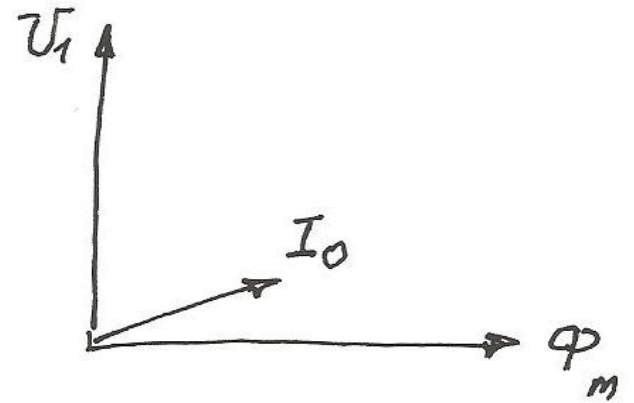
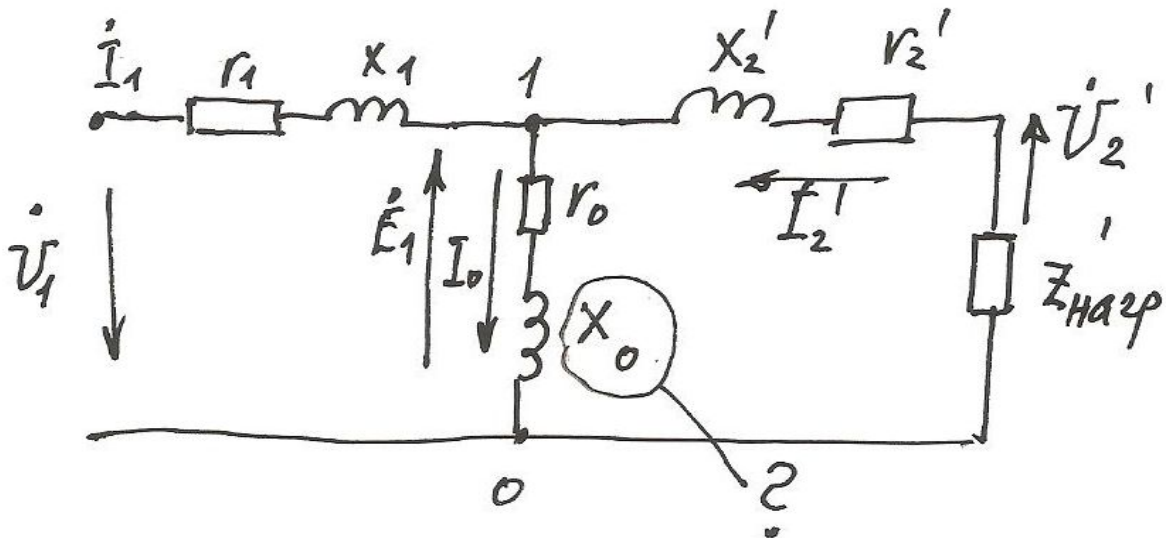
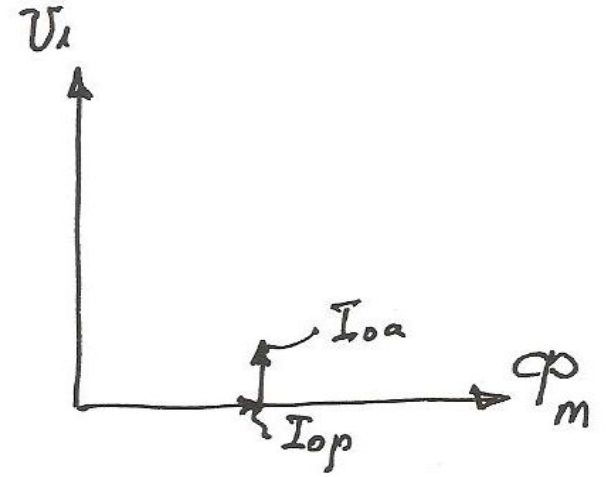
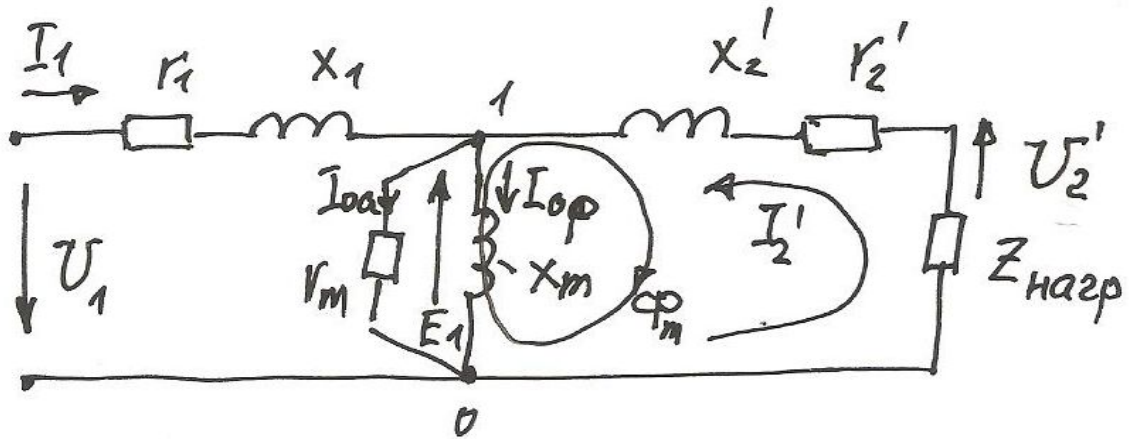
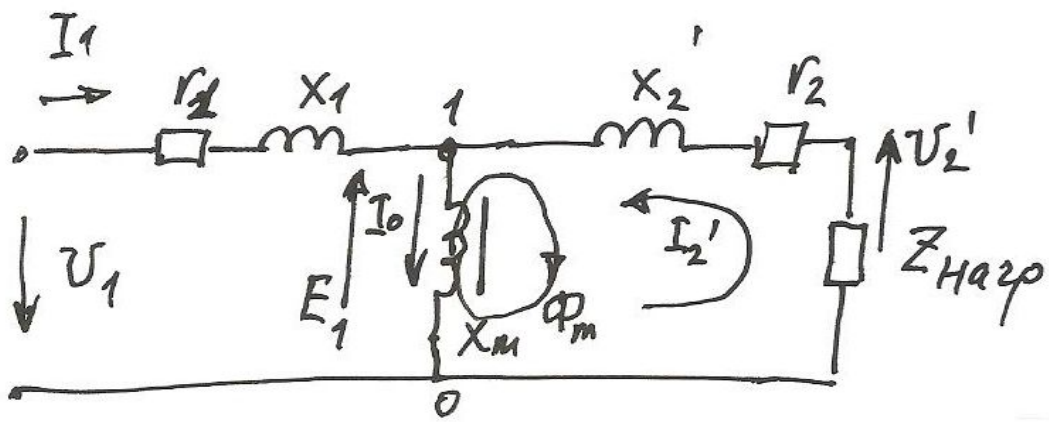
$$Z_2' = Z_2 \cdot k^2 ;$$

$$x_2' = x_2 \cdot k^2$$

$$Z_{\text{нагр}}' = Z_{\text{нагр}} \cdot k^2$$

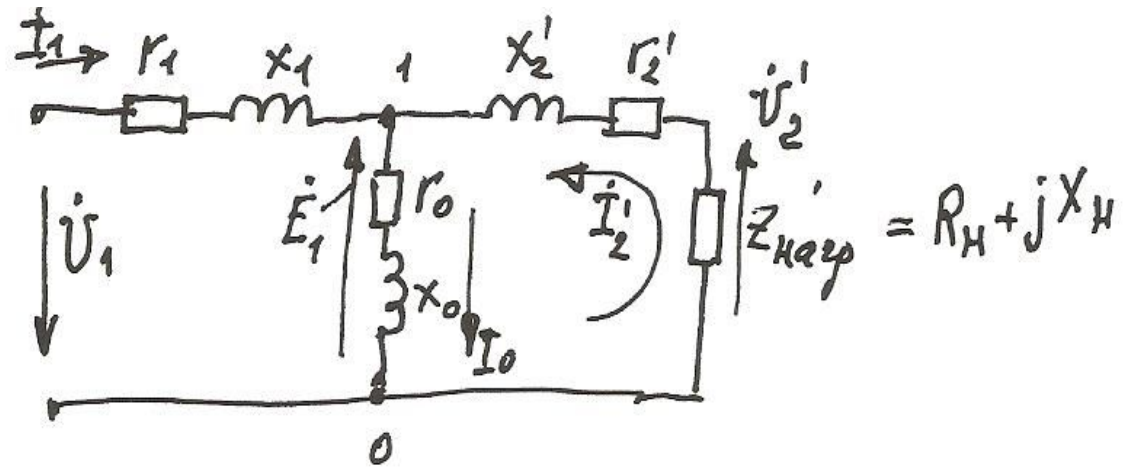


8





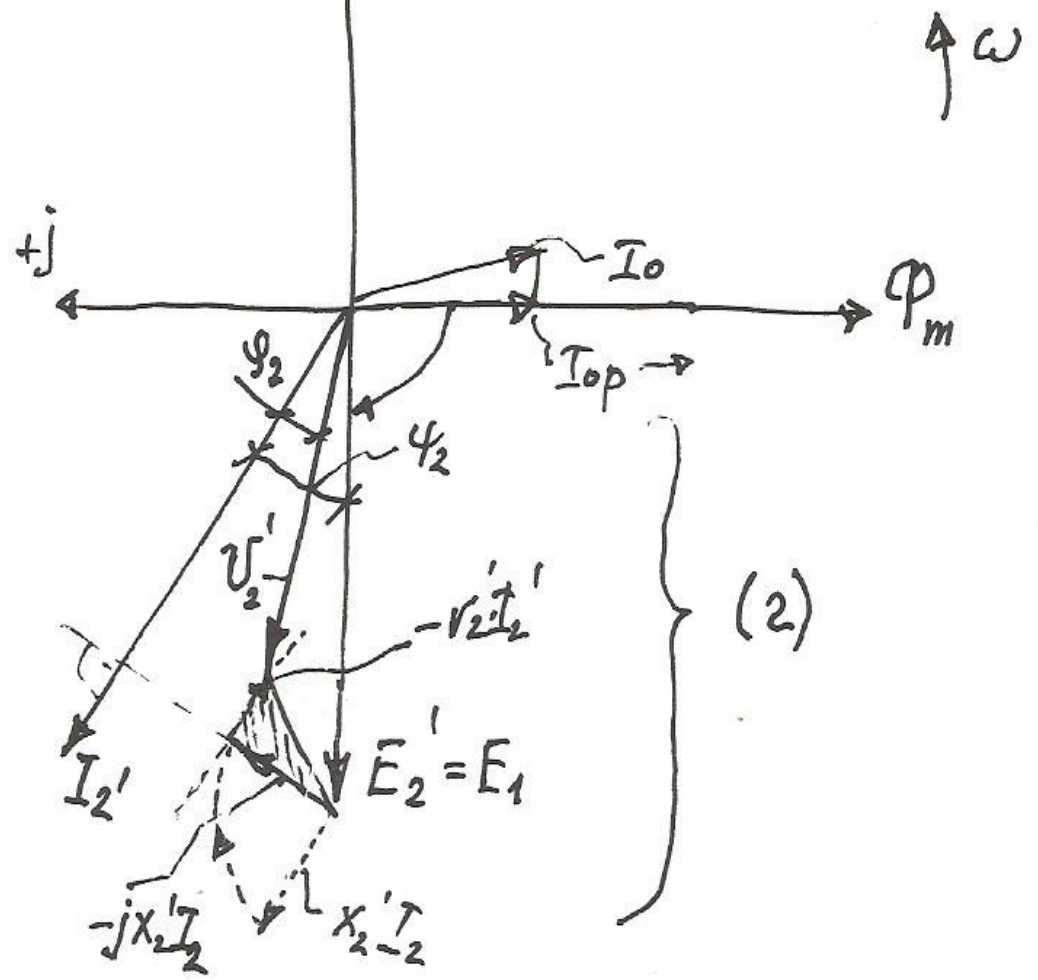
9



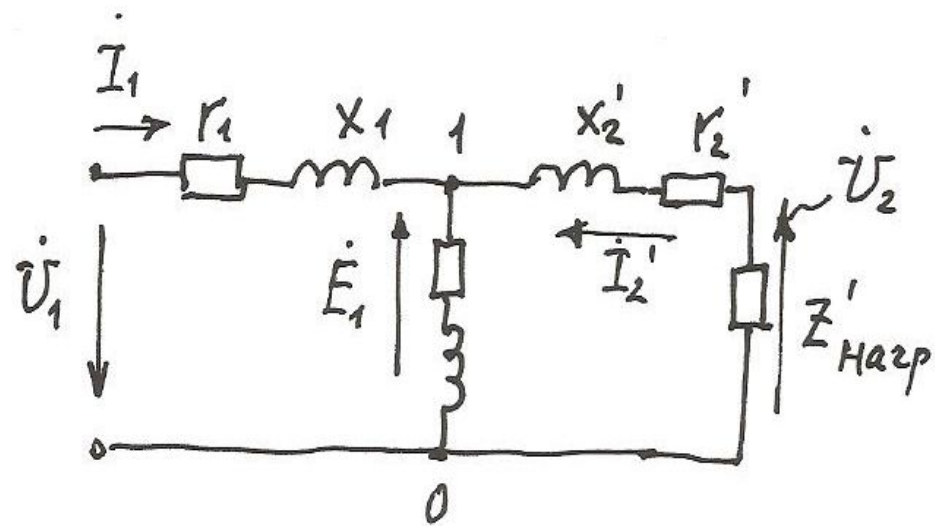
$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + r_1 \cdot \dot{I}_1 + jx_1 \cdot \dot{I}_1 \quad (1)$$

$$\dot{U}_2' = \dot{E}_2' - jx_2' \dot{I}_2' - r_2' \cdot \dot{I}_2' \quad (2)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2') \quad (3)$$



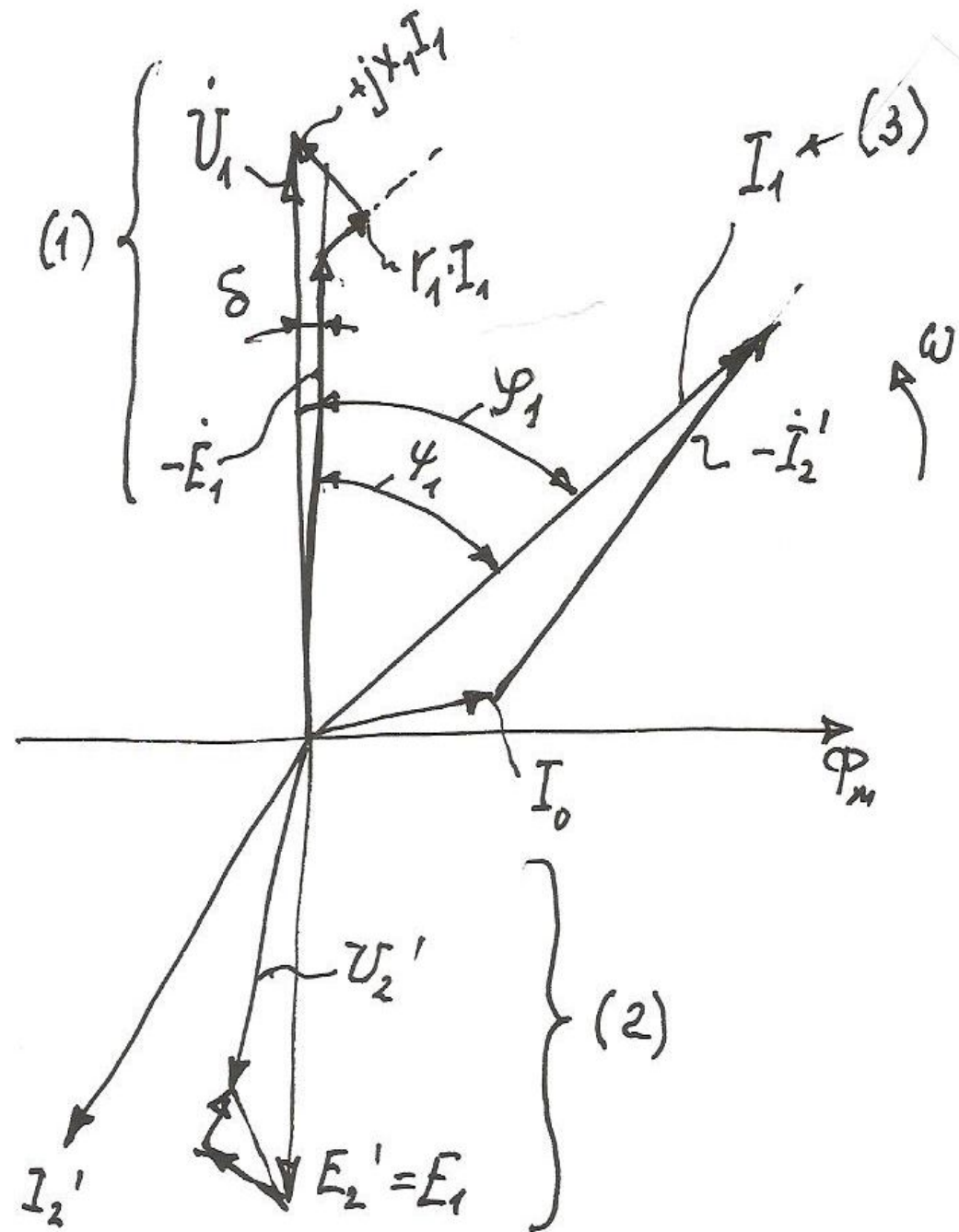
10



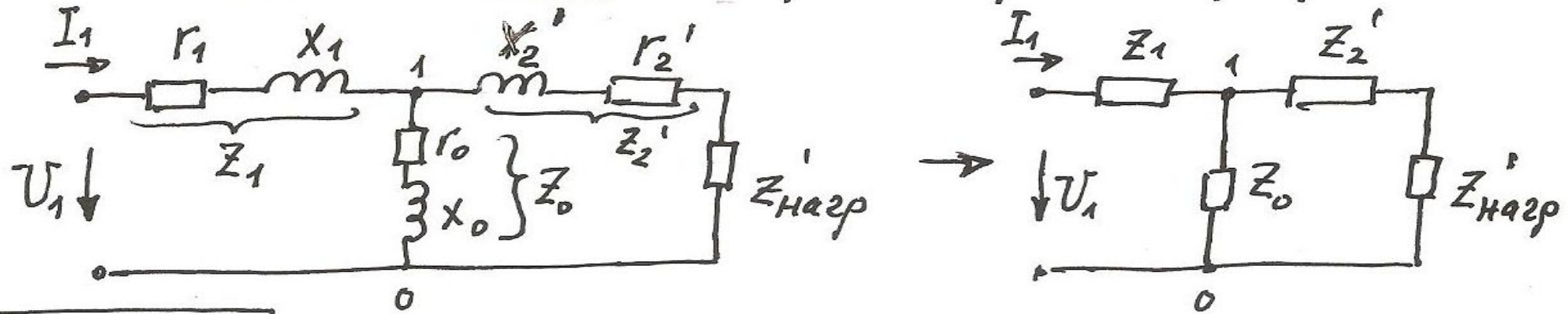
$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + r_1 \dot{I}_1 + jX_1 \cdot \dot{I}_1 \quad (1)$$

$$\dot{U}_2' = E_2' - jX_2' \cdot \dot{I}_2' - r_2' \dot{I}_2' \quad (2)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2') \quad (3)$$



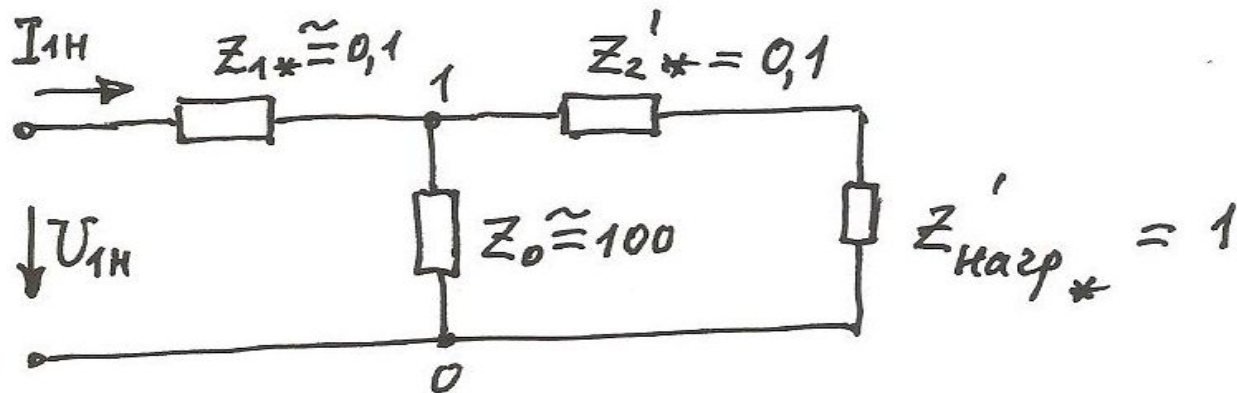
# Соотношение параметров тр-ра



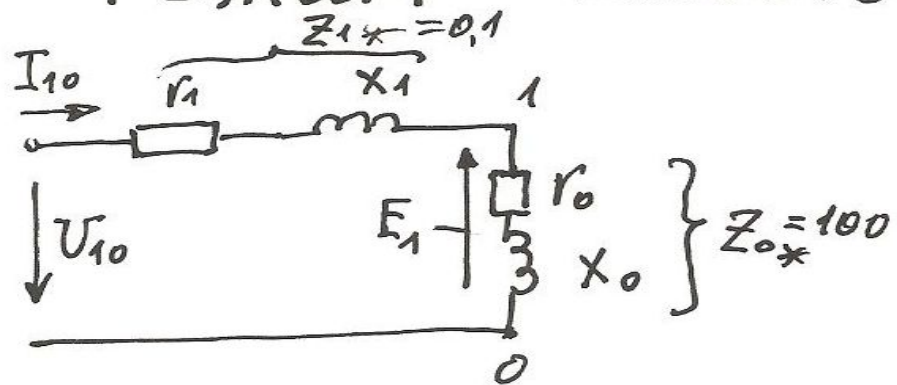
$$Z_{ном} = \frac{U_{1H}}{I_{1H}}$$

$$Z_{1*} = \frac{Z_1}{Z_{ном}} \approx 0,1 ; \quad Z_{2*}' = \frac{Z_2'}{Z_{ном}} = 0,1 ;$$

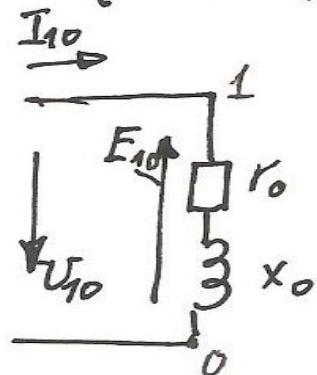
$$Z_{0*} = \frac{Z_0}{Z_{ном}} = 25 \dots 200 \quad (100) ; \quad Z_{нагр*}' = \frac{Z'_{нагр}}{Z_{ном}} = 1$$



# Режим холостого хода (х.х.)

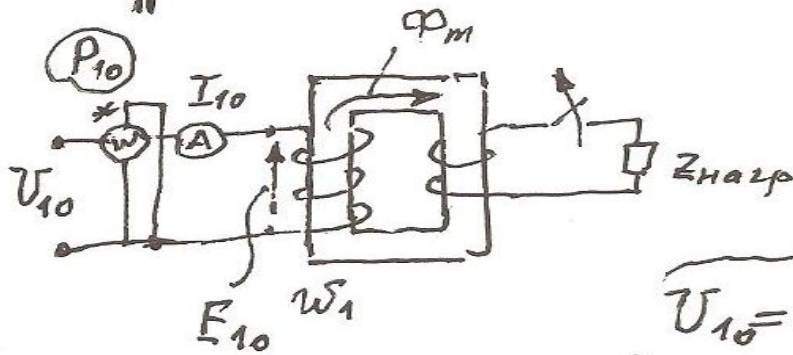


$$Z_0 \gg Z_1$$



При  $U_1 = U_{1H}$  и  $Z_{нагр} = Z_{ном}$   $I_1 = I_{1H}$

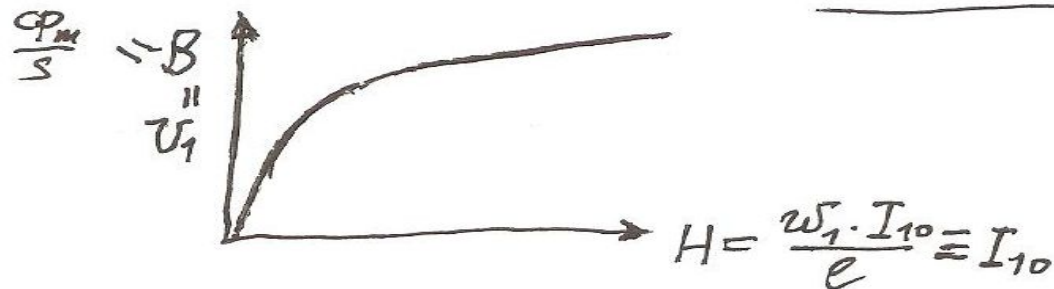
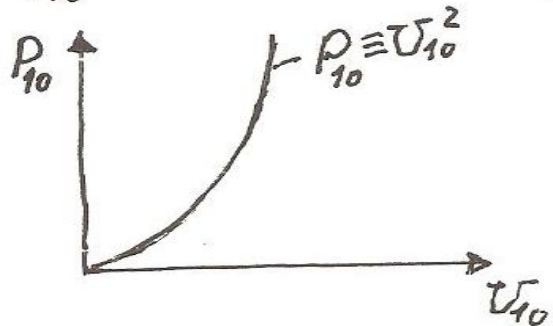
В х.х.  $U_1 = U_{1H}$  ток протекает по  $Z_0 \approx 100 \cdot Z_{нагр}$ , поэтому  $I_{10} = \frac{I_{1H}}{100}$ . Т.е. составляет 1% от номинального тока.



$$P_{10} = P_{MГ} = \Phi_m^2 \cdot R_{MГ} \quad \text{— реальн. тр-р}$$

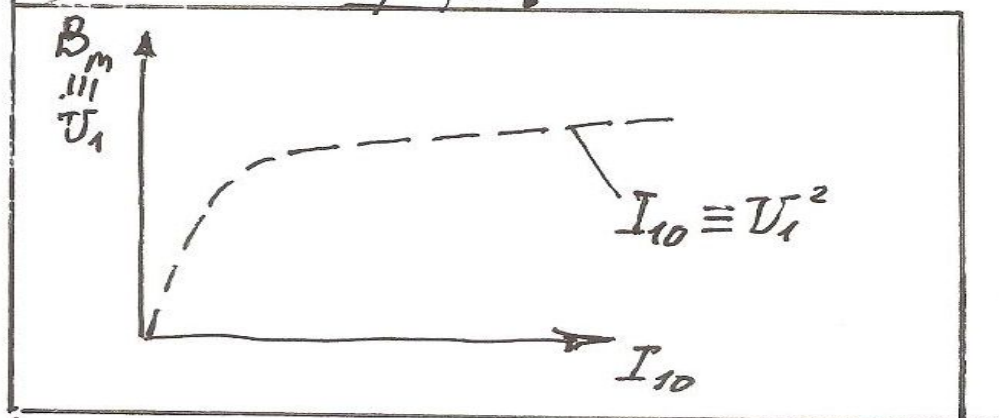
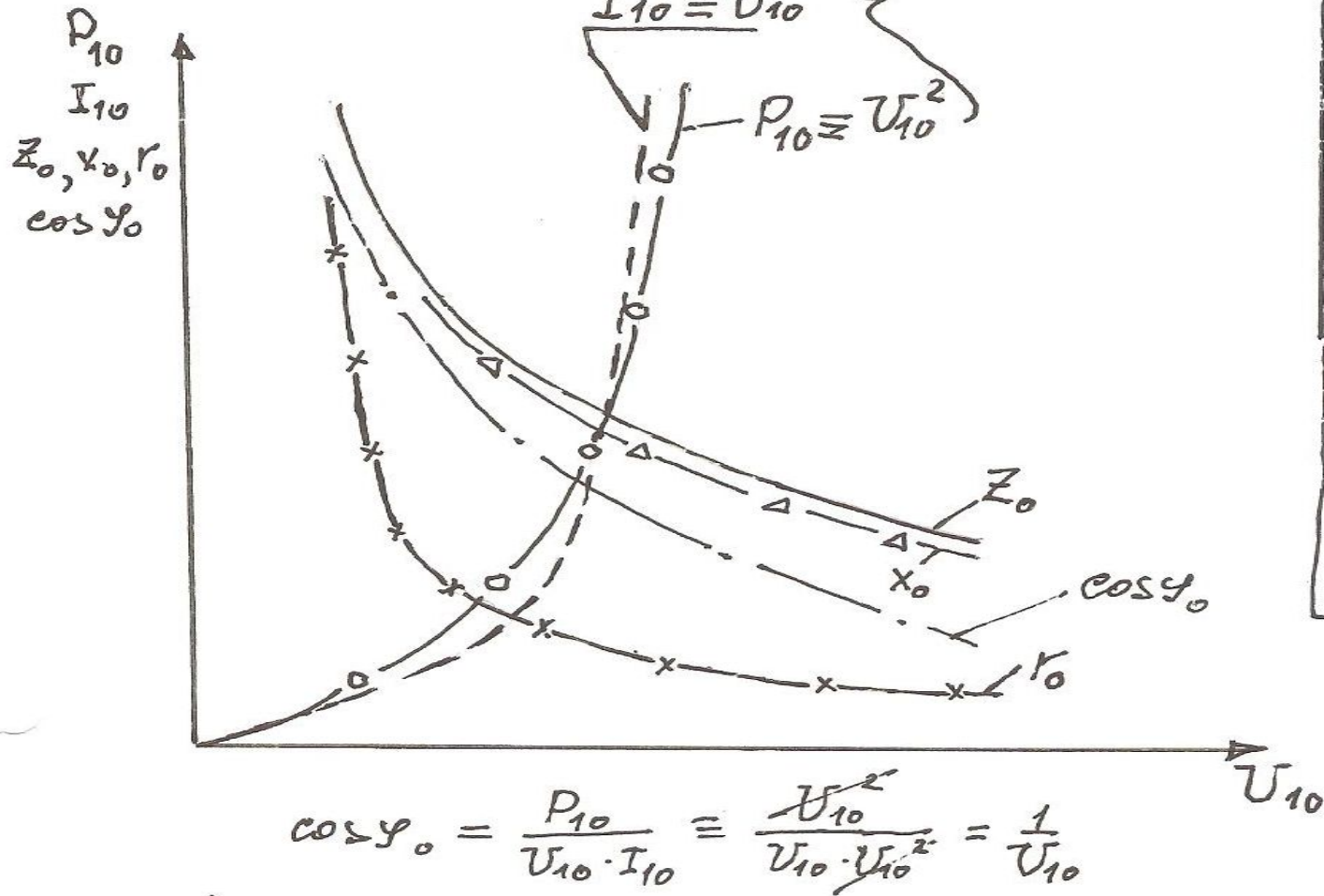
$$P_{10} = P_{MГ} \approx r_0 \cdot I_{10}^2 \quad \text{— схема замещения}$$

$$U_{10} = E_{10} = 4,44 \cdot f_1 \cdot \omega_1 \cdot \Phi_m \rightarrow \Phi_m \approx U_1 \rightarrow P_{10} \approx U_{10}^2 \quad \text{— реальн. транс.}$$





Эти x-ки снимаются из опыта х.х реального тр-ра!



$$Z_0 = \frac{U_{10}}{I_{10}} \equiv \frac{U_{10}}{U_{10}^2} = \frac{1}{U_{10}}$$

$$r_0 = \frac{P_{10}}{I_{10}^2} = \frac{U_{10}^2}{U_{10}^4} = \frac{1}{U_{10}^2}$$

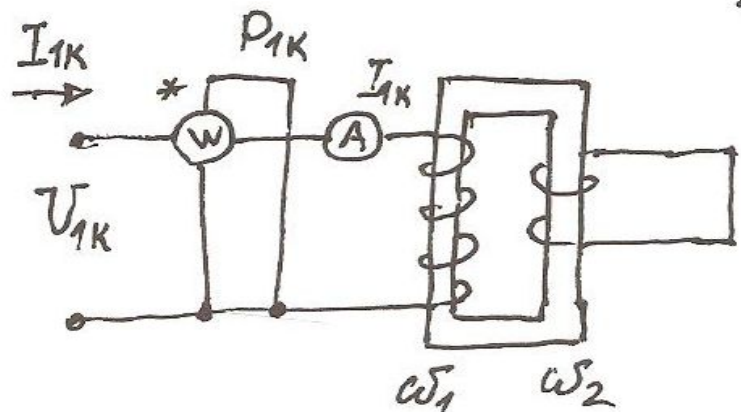
$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{\frac{U_{10}^2 - 1}{U_{10}^4}} \approx \frac{1}{U_{10}}$$

из реального тр-ра

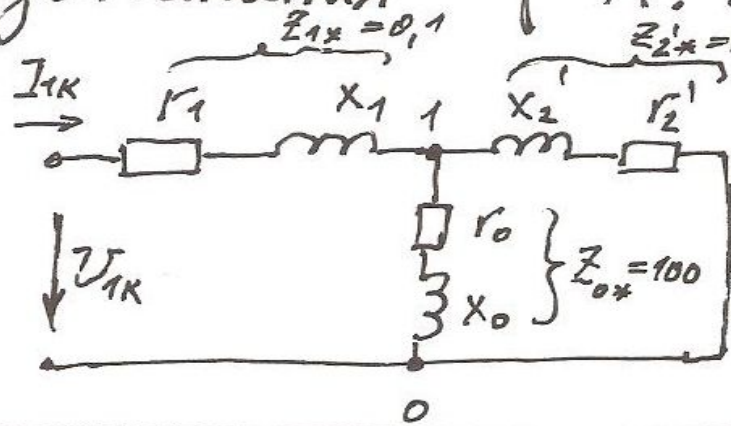
$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{10}}{U_{10} \cdot I_{10}} \equiv \frac{U_{10}^2}{U_{10} \cdot U_{10}^2} = \frac{1}{U_{10}}$$

Вывод: Опыт х.х в реальном тр-ре определяется для того, чтобы определить переменные параметры и электрические величины для вертикальной ветки схемы замещения (!) (или параметров цепи намагничивания).

# Режим короткого замыкания



# замыкания (К.З.)



При // соединении в схеме замещения  $\frac{Z_{0*}}{Z_2'} = 1000$ ,  
 то пренебрегаем сопротивлением цепи намагничивания

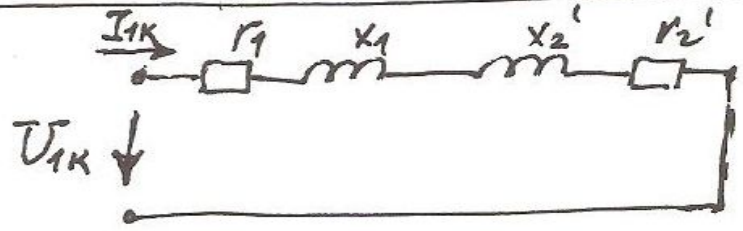
## прогноз:

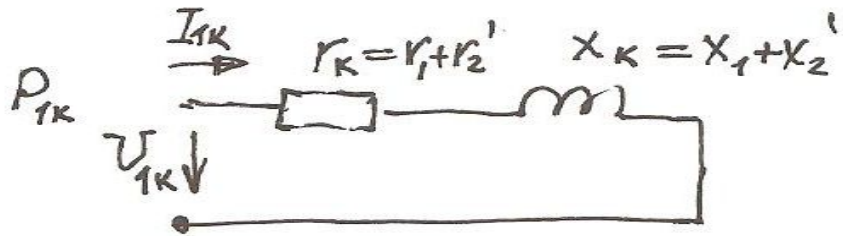
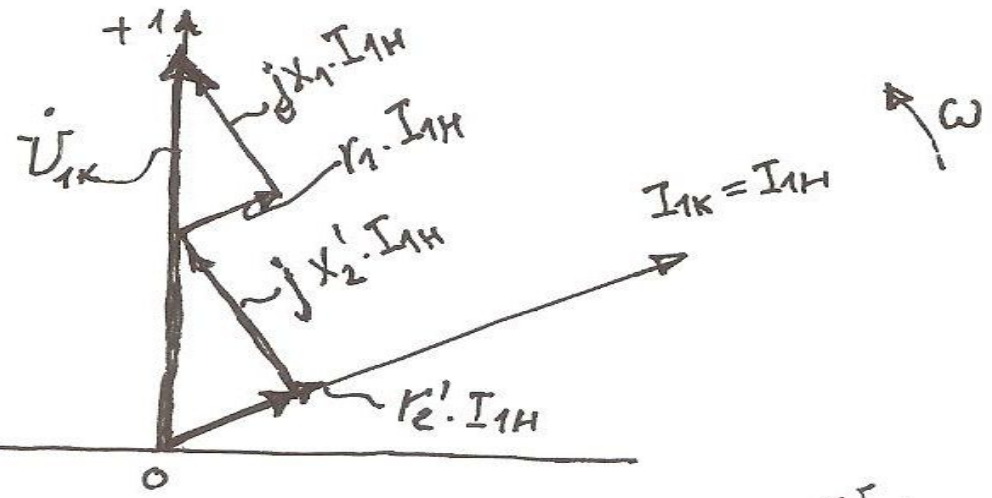
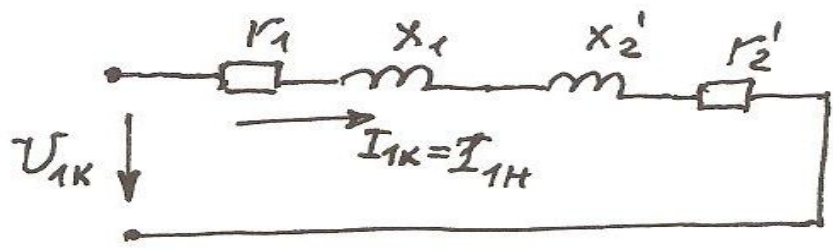
В режиме К.З.  $Z_{нагр*} = 0$ ,  
 поэтому ток ограничивается  
 параметрами обмоток:

$$Z_{к*} = Z_{1*} + Z_{2*}' = 0,2$$

Поэтому необходимо ограничить  
 напряжение  $U_{1к}$

$$I_{1к} = I_{1н} \text{ при } U_{1к} = 0,2 \cdot U_{1н}$$





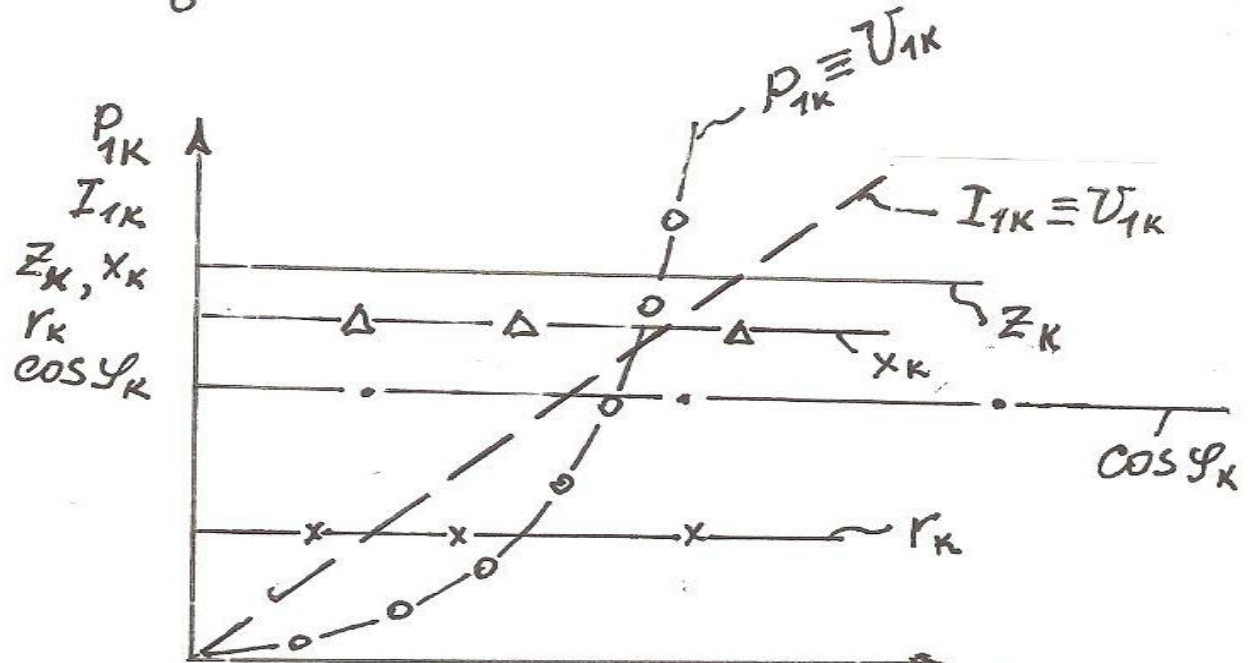
+j

$$Z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1K}} - \text{const} \quad (r_K, x_K - \text{const})$$

$$I_{1K} = \frac{U_{1K}}{Z_K} \equiv U_{1K}$$

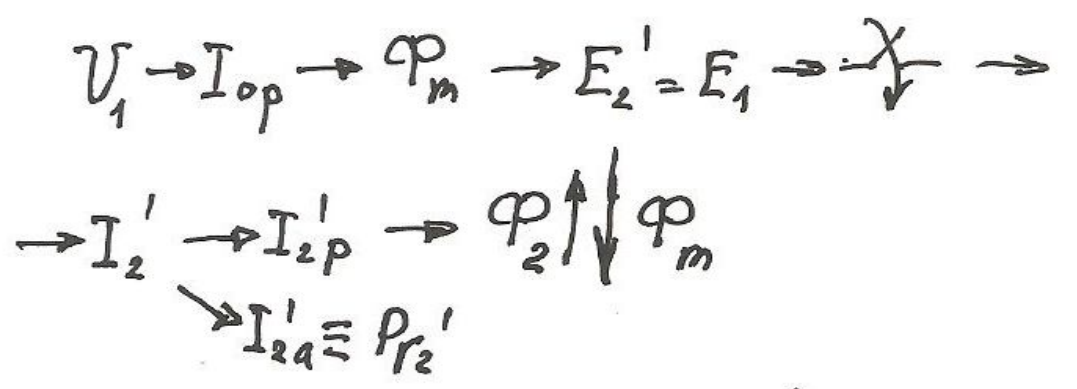
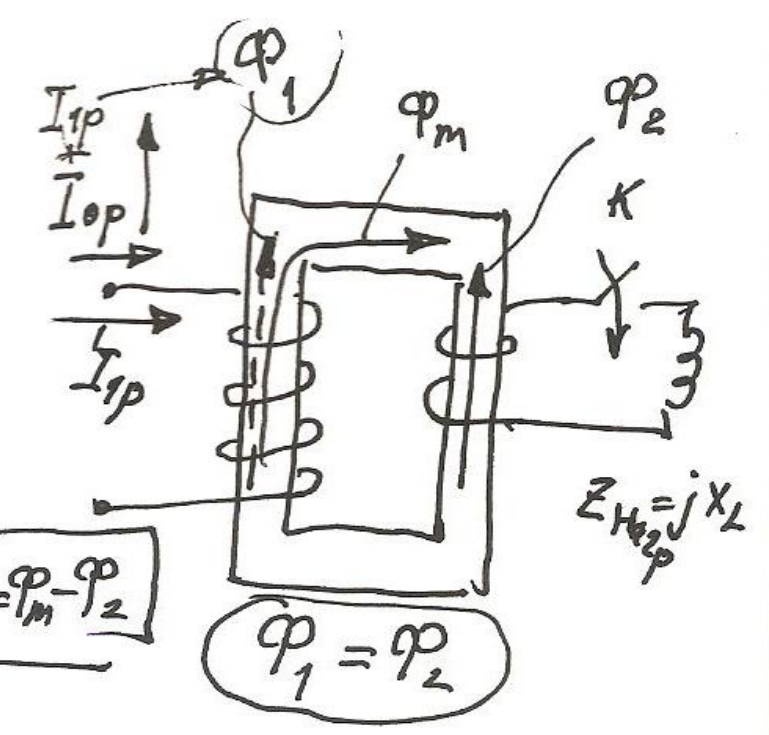
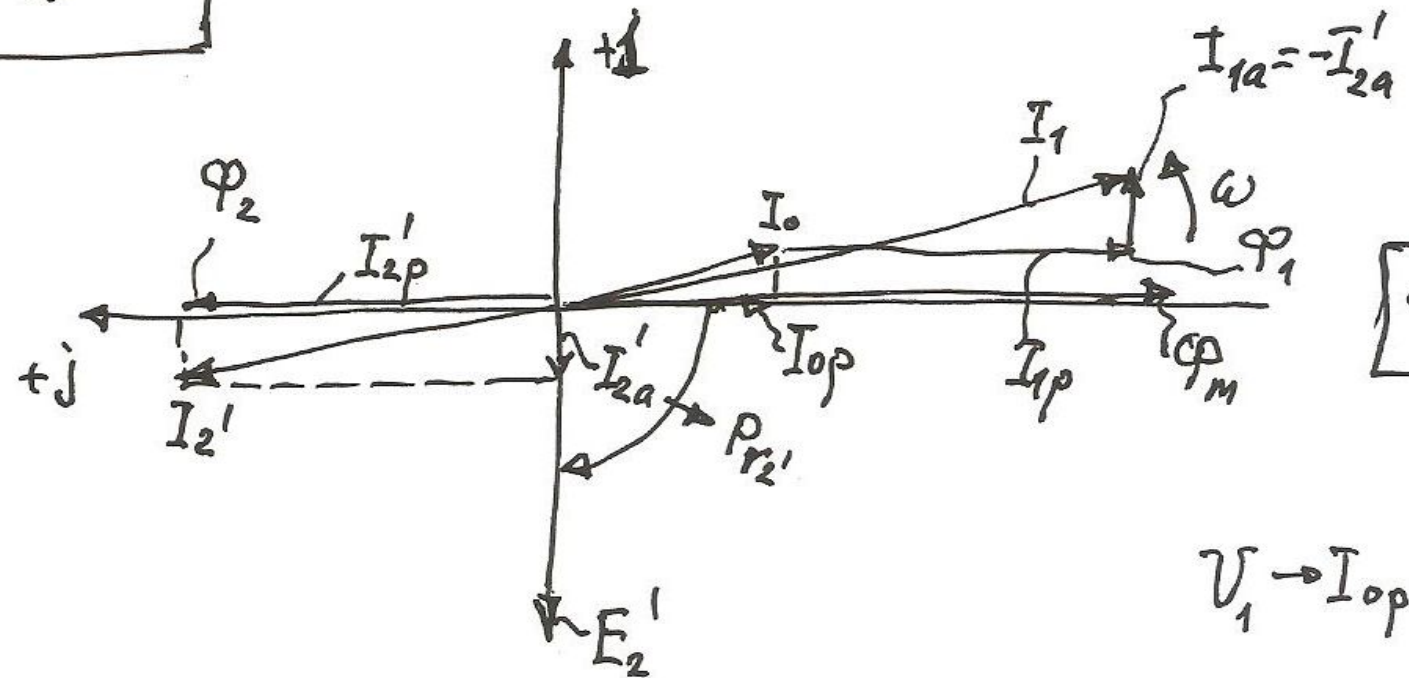
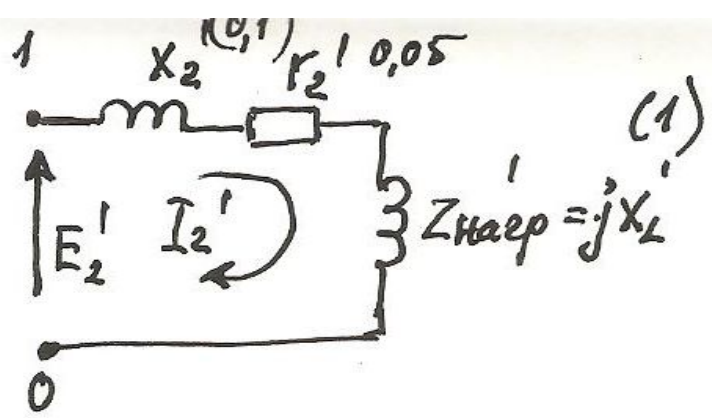
$$P_{1K} = r_K \cdot I_{1K}^2 \equiv U_{1K}^2$$

$$r_K = \frac{P_{1K}}{I_{1K}^2} = \frac{U_{1K}^2}{U_{1K}^2} - \text{const}$$



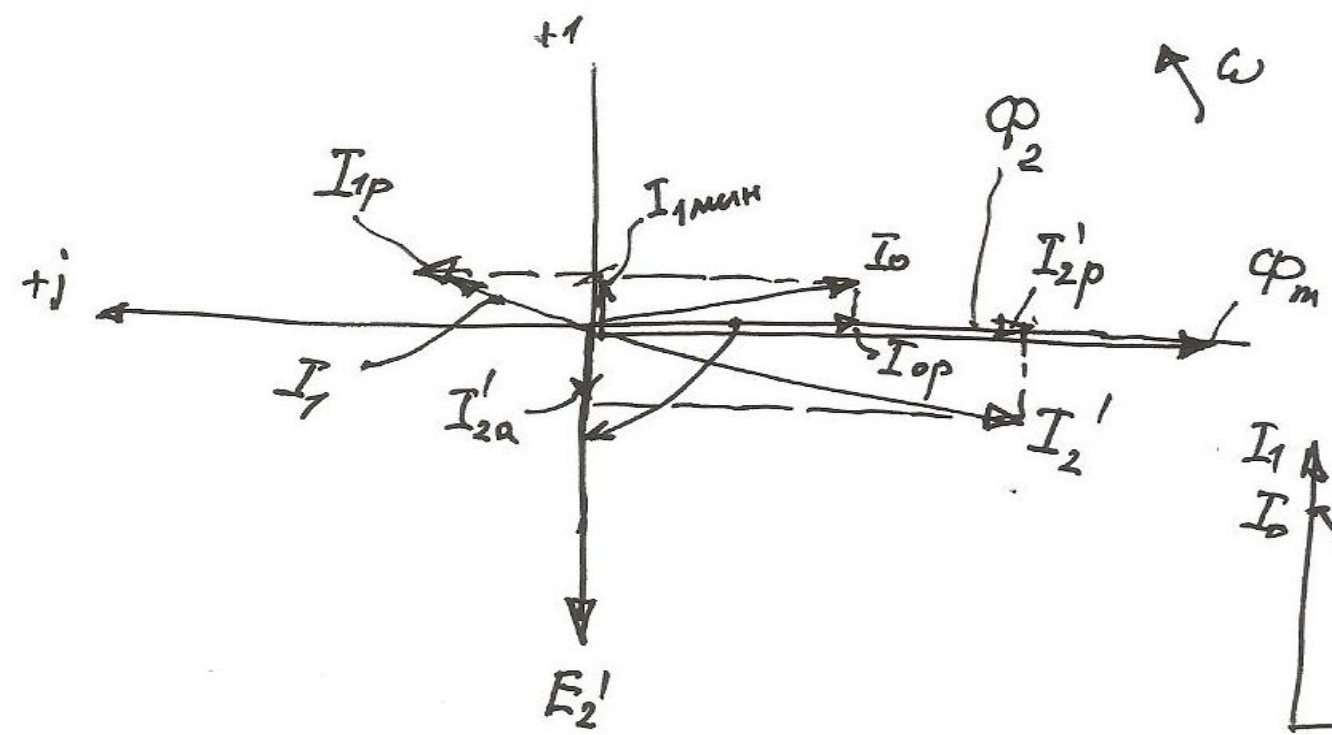
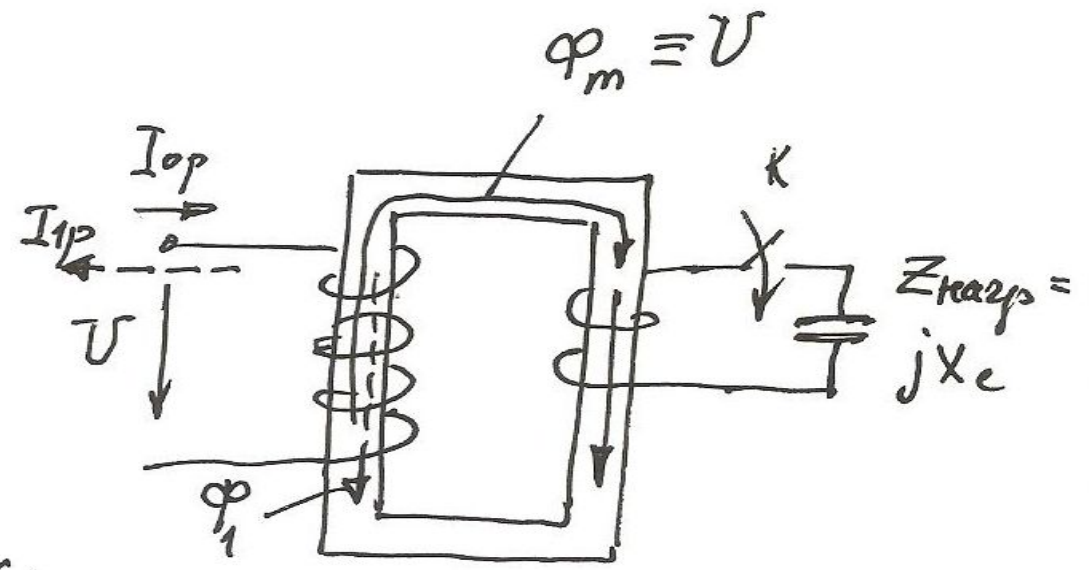
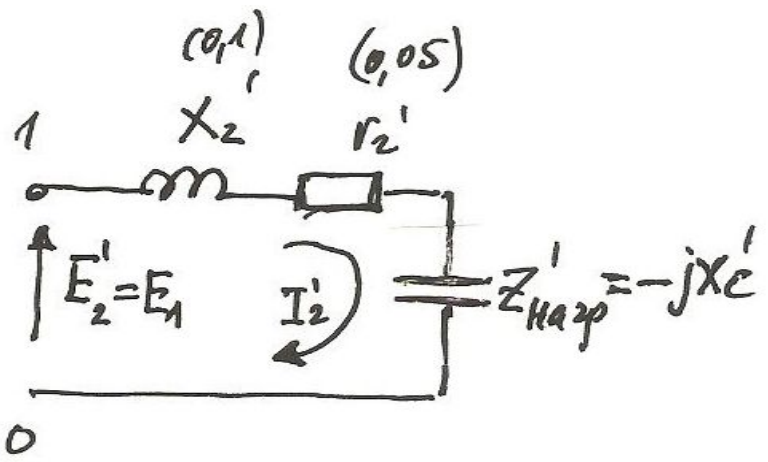
$$\cos \varphi_K = \frac{P_{1K}}{U_{1K} \cdot I_{1K}} \equiv \frac{U_{1K}^2}{U_{1K} \cdot U_{1K}} - \text{const}$$





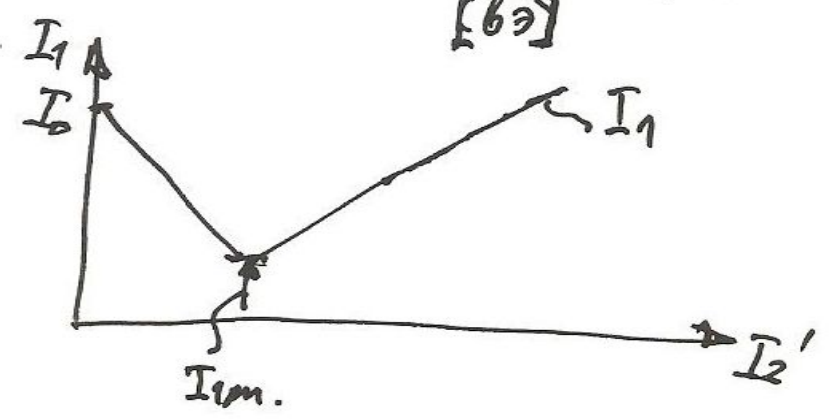
$$U = \underbrace{(-E_1)}_{\text{const}} + \underbrace{(r_1 + jX_1)}_{\varphi_\Sigma \downarrow} \cdot I_{1p}$$



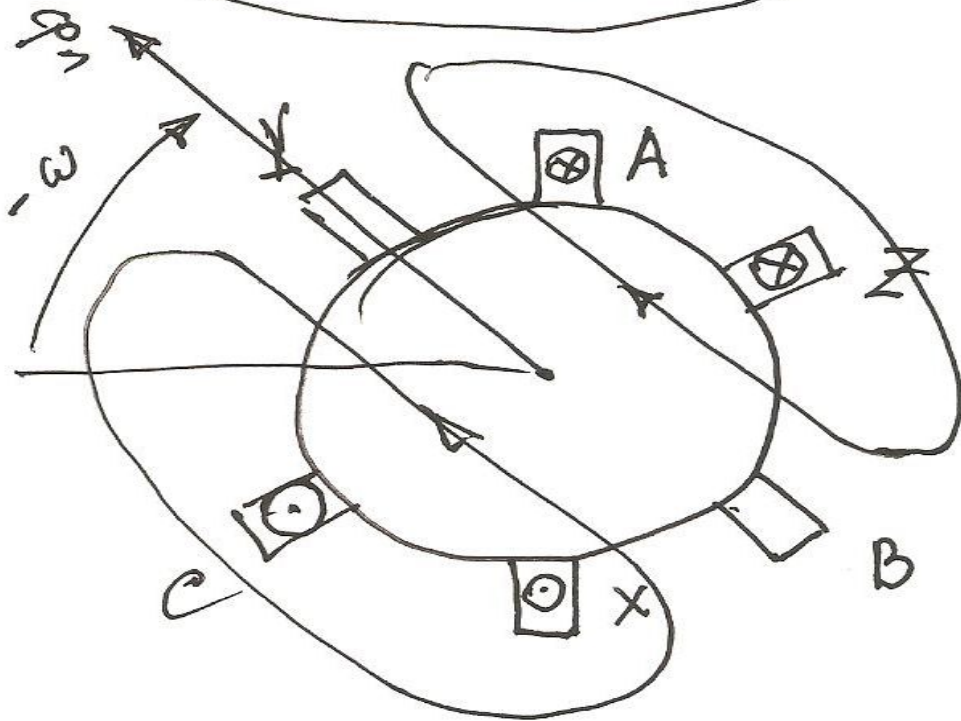
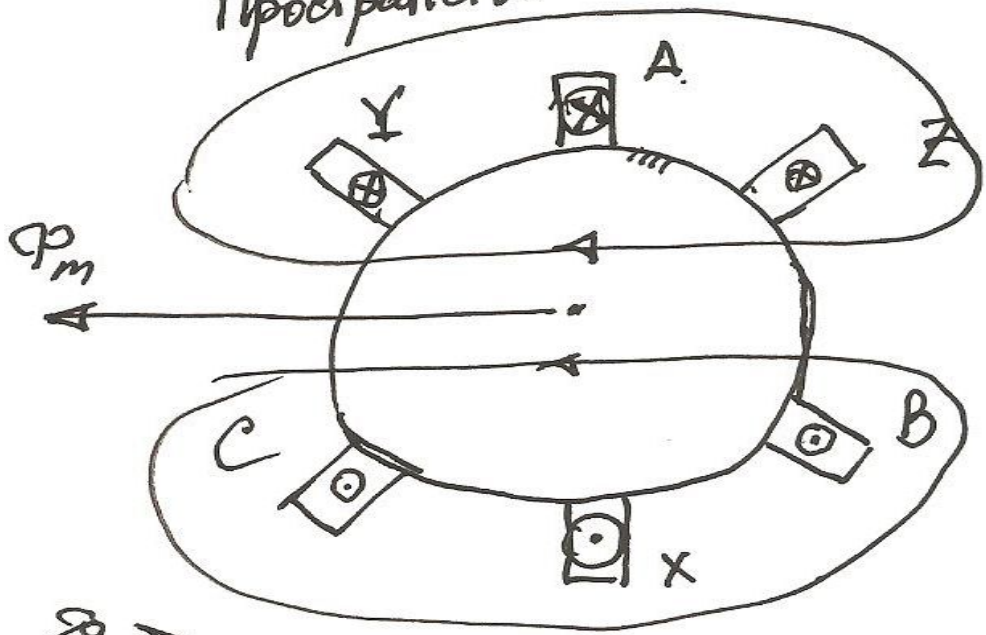


$\varphi_{\Sigma} = \varphi_m + \varphi_2$

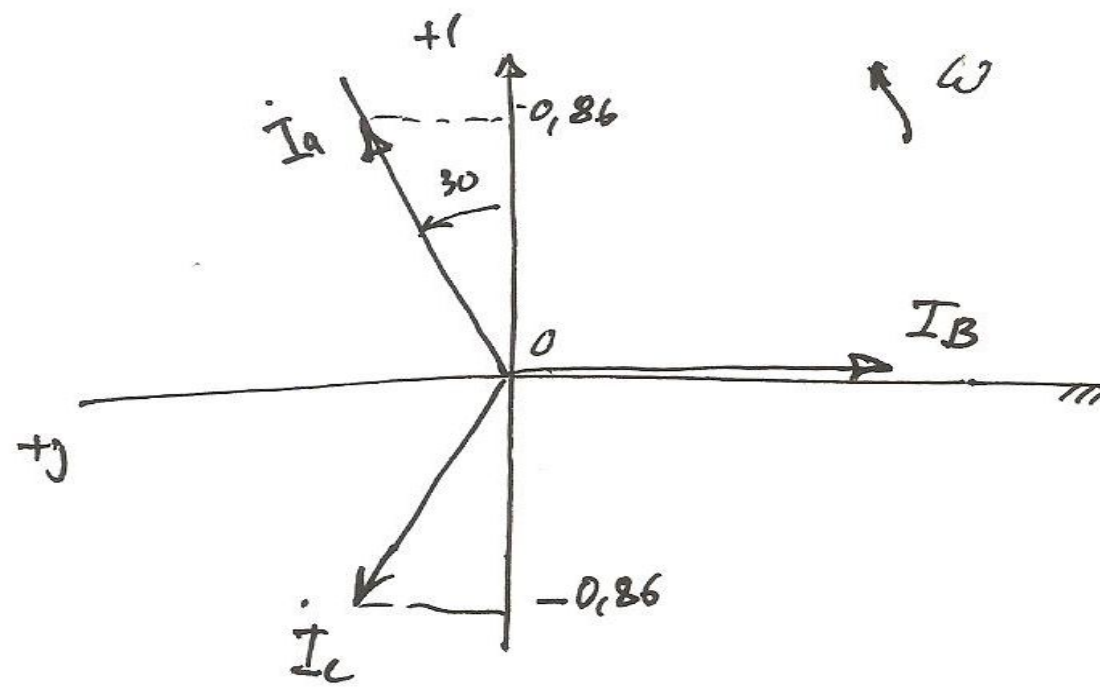
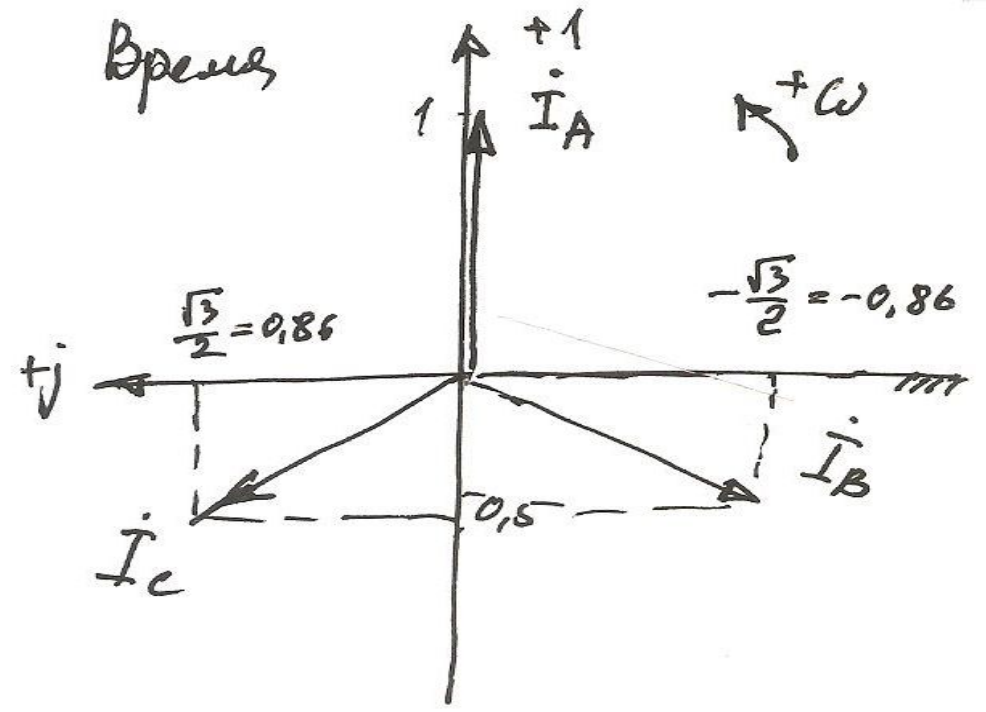
"V"-образная x-ка  
 [6э]

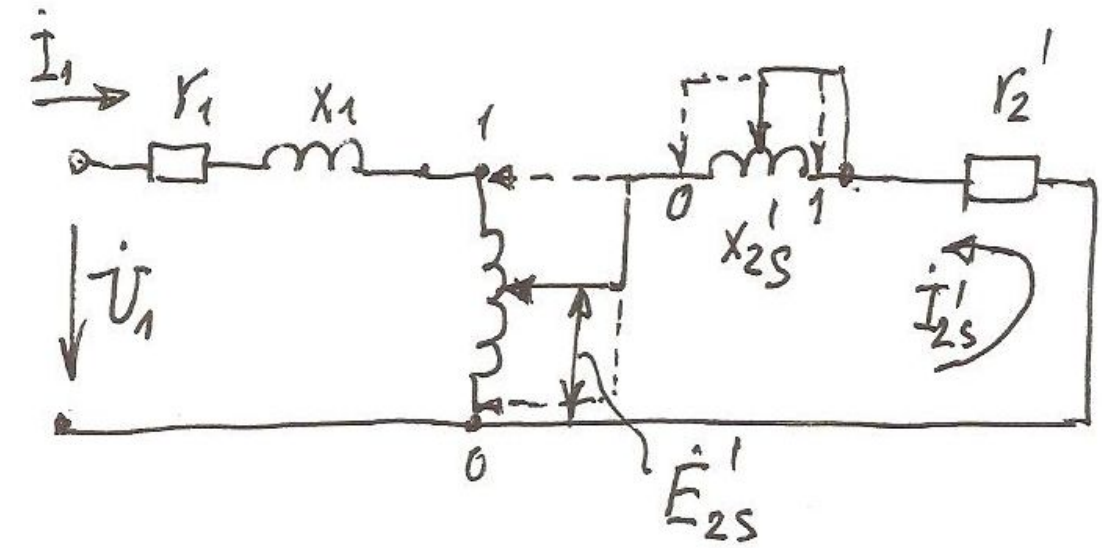
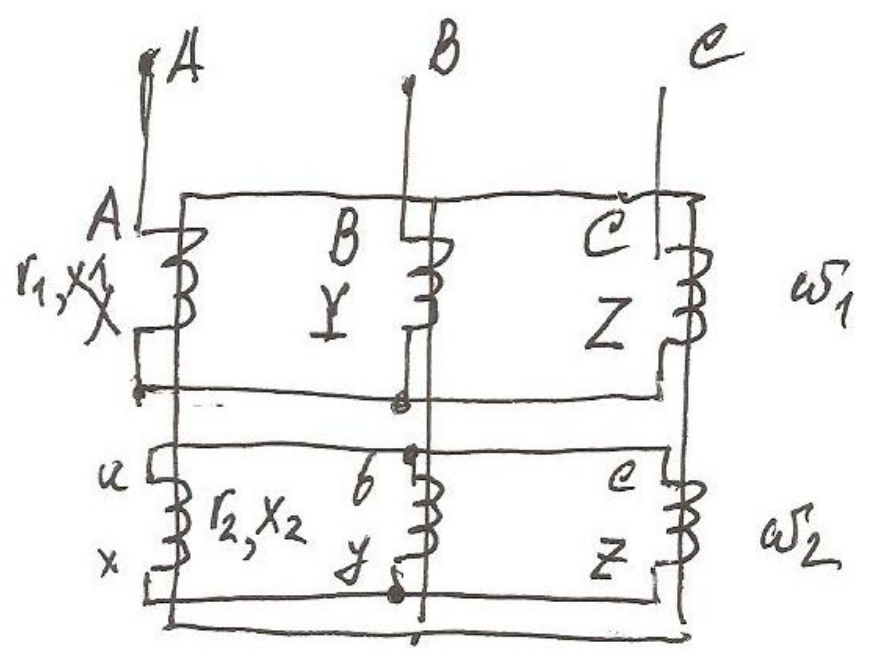
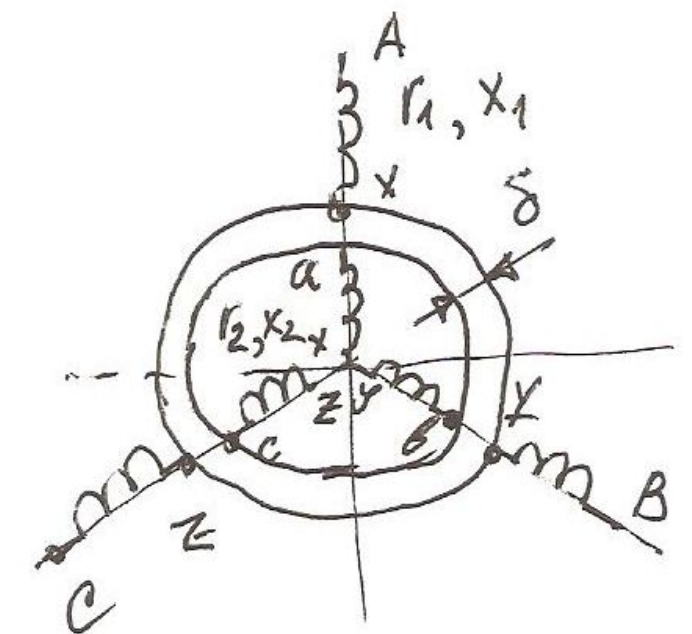
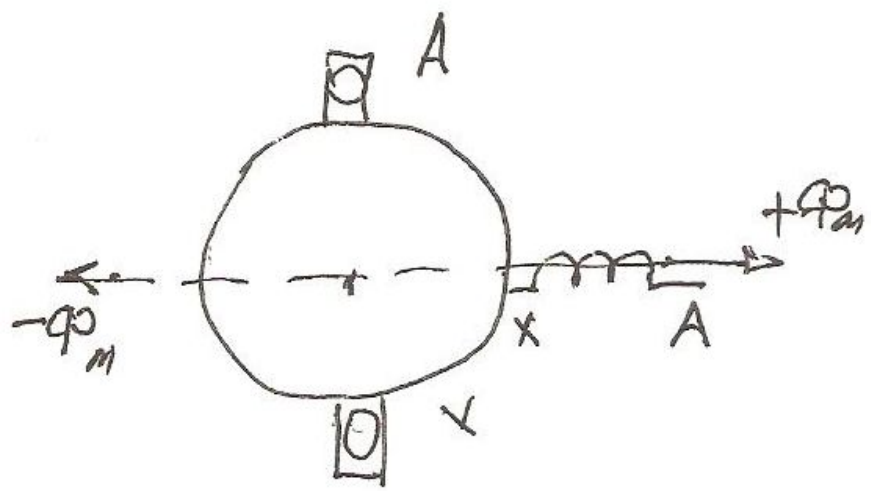


Пространство



Время





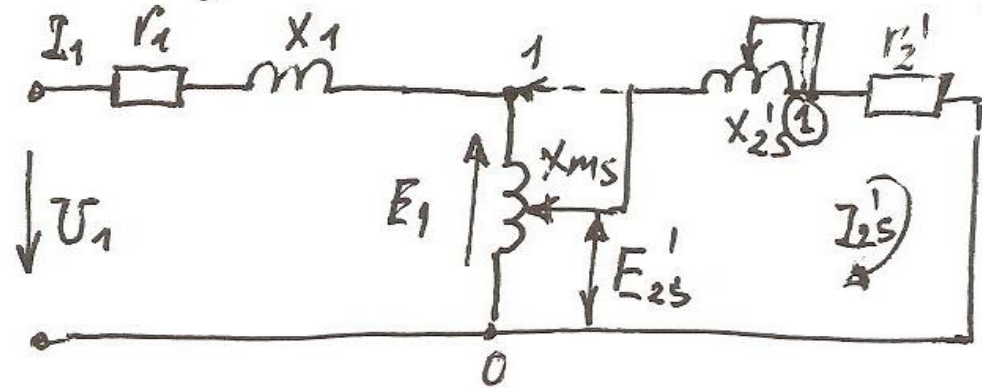
$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \text{ — скольжение}$$

Если  $n_2 = n_1 \rightarrow S = 0$  — И.Х.Х.

$n_2 = 0 \rightarrow$  К.З. (невозв. ротор)  
 $S = 1$



# Схема замещения АД с вращающимся ротором



$$S = \frac{n_2 - n_1}{n_1}$$

$n_1$  — синхронная скорость вращающегося поля

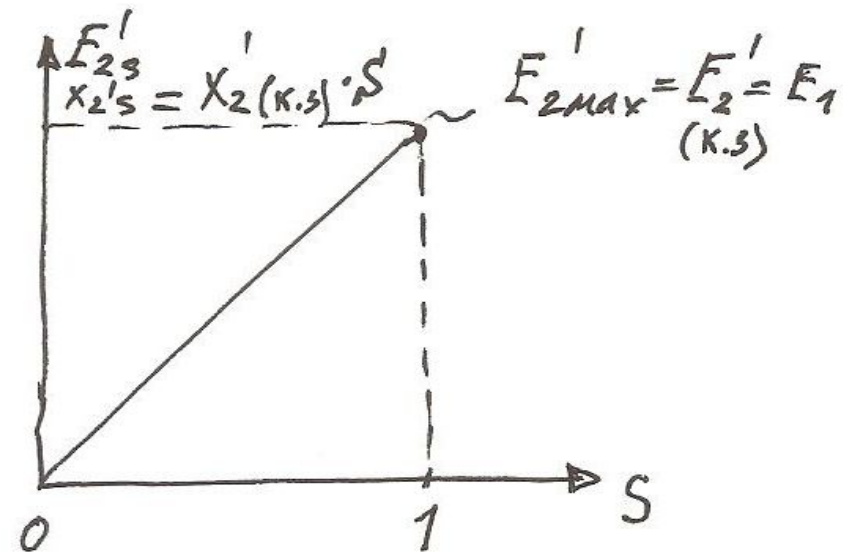
$n_2$  — скорость ротора.

$$\begin{cases} E_{2s}' = 4,44 \cdot f_2 \cdot W_1 \cdot k_{об} \cdot \Phi_m \equiv E_2' \cdot S \\ X_{2s}' = X_2' \cdot S \end{cases} \quad \begin{matrix} \parallel \\ E_1 \\ (к.с) \end{matrix}$$

$$\begin{cases} U_1 = (-E_1) + r_1 \cdot I_1 + j X_1 \cdot I_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} E_{2s}' - j X_{2s}' \cdot I_2' - r_2' \cdot I_2' = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} I_1 = I_0 + (-I_2') \end{cases} \quad (3)$$





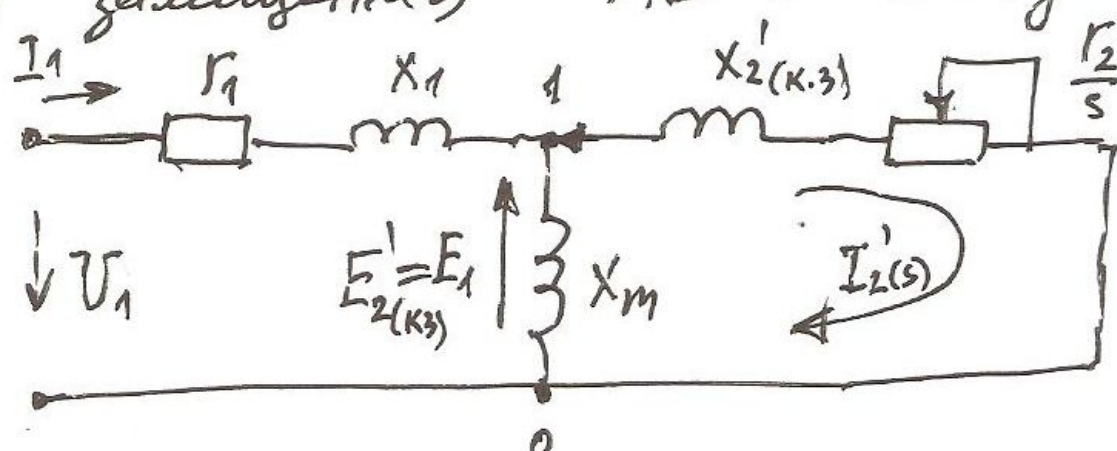
Из уравнения (2):

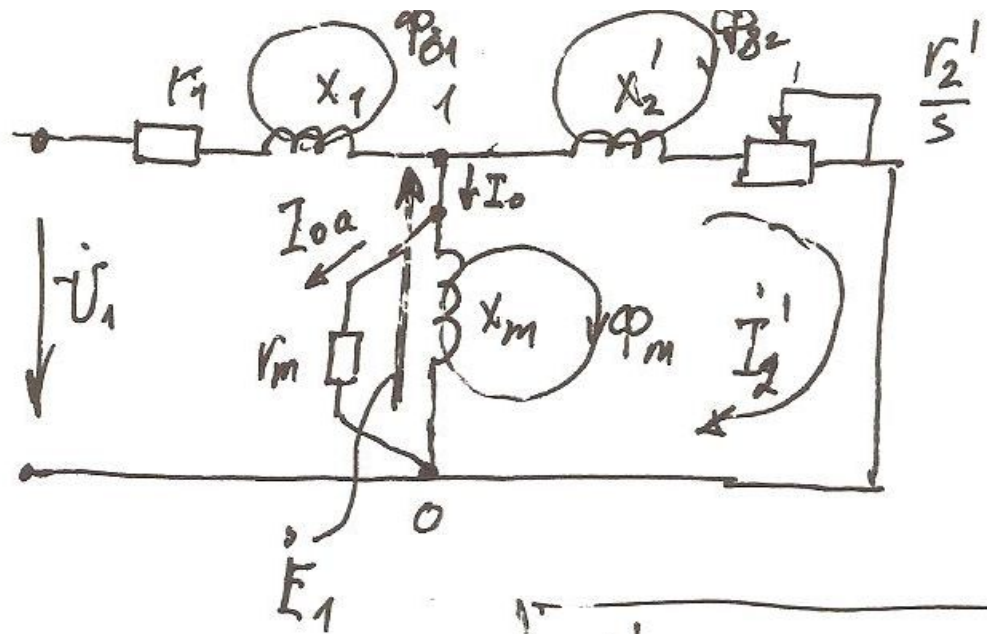
$$E_{2s}' - j X_{2s}' \cdot I_2' - r_2' \cdot I_2' = 0$$

$$I_2' = \frac{E_{2s}'}{r_2' + j X_{2s}'} = \frac{\overset{E_1}{E_{2(k.3)}} S'}{r_2' + j X_{2(k.3)}' \cdot S'} = \text{— уравнение с вращающимся ротором.}$$

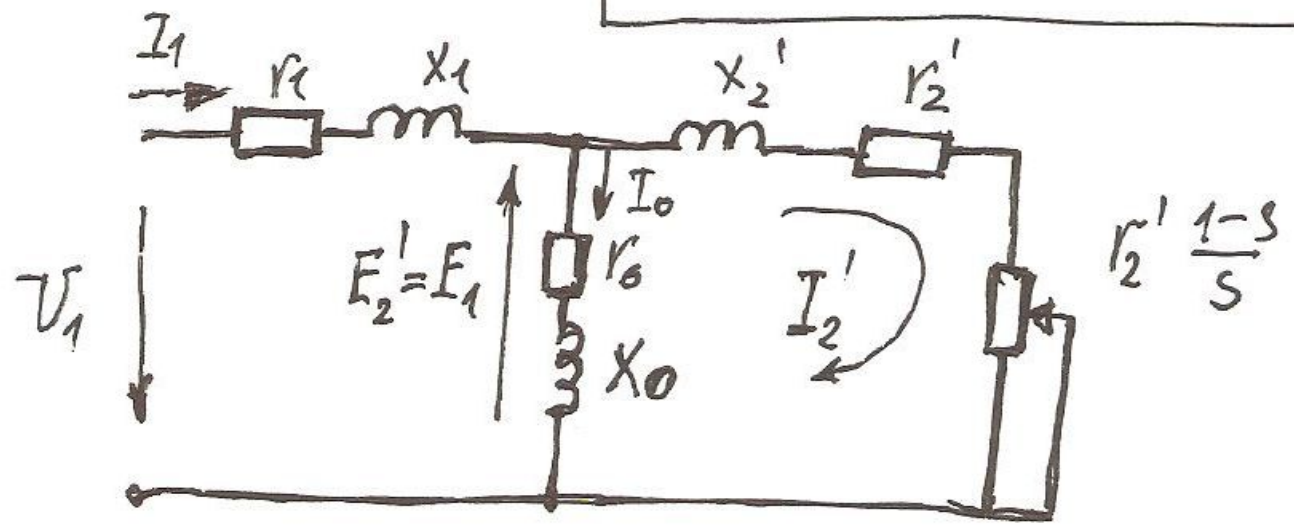
$$= \frac{E_{2(k.3)}}{\frac{r_2'}{S} + j X_{2(k.3)}'} \text{— уравнение с неподвижным ротором.}$$

Схема замещения АД с неподвижным ротором:



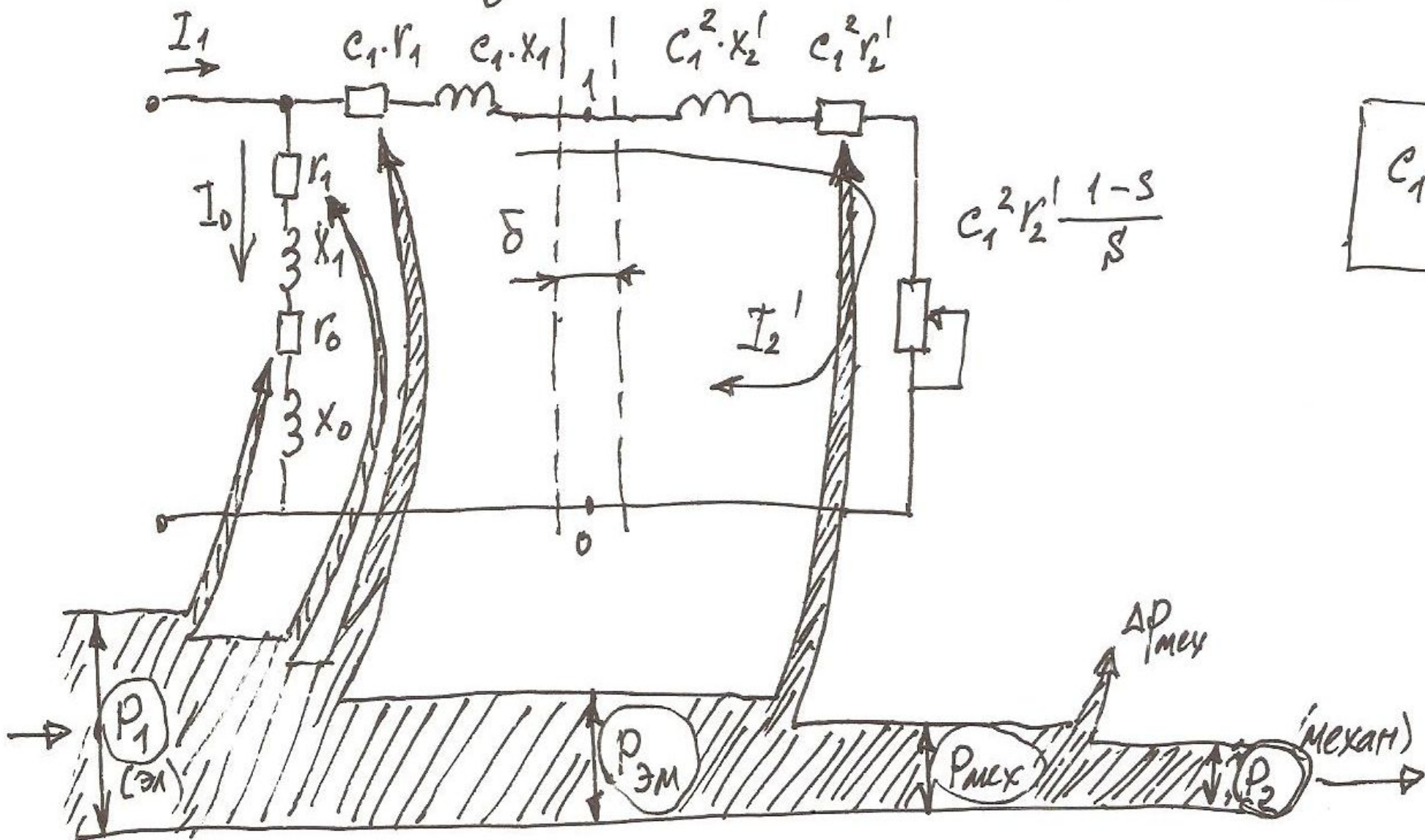


$$\frac{r_2'}{s} - r_2' = r_2' \frac{1-s}{s}$$



$$\begin{cases} \dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + r_1 \cdot \dot{I}_1 + jX_1 \cdot \dot{I}_1 & (1) \\ \dot{E}_2' - jX_2' \cdot \dot{I}_2' - r_2' \cdot \dot{I}_2' = \underbrace{r_2' \frac{1-s}{s} \cdot \dot{I}_2'}_{\dot{U}_2'} & (2) \\ I_1 = I_o + (-I_2') & (3) \end{cases}$$

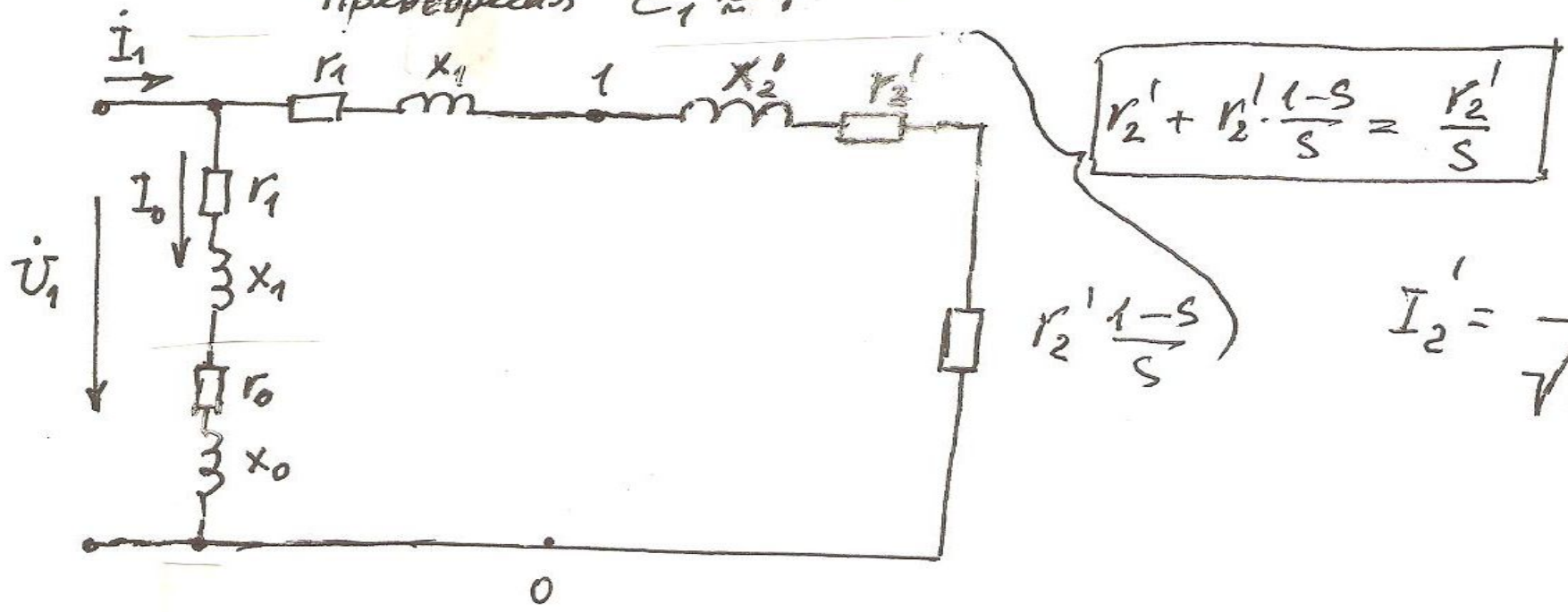
# Г-схема замещения АД и энергетическая диаграмма



$$c_1 = \frac{U_1}{E_1} = \underline{\underline{1,02 \div 1,04}}$$



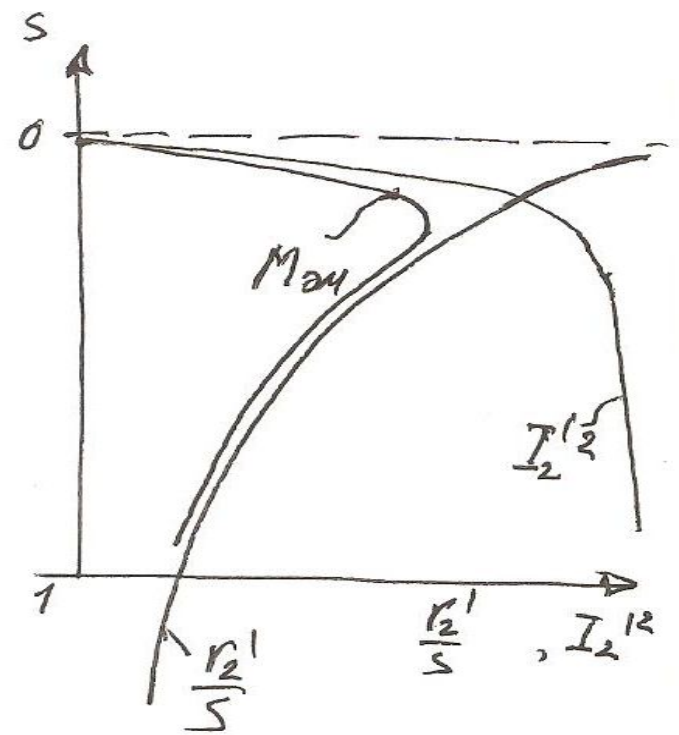
Пренебрегая  $C_1 \approx 1$



$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\underbrace{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2}_R + \underbrace{(x_1 + x_2')^2}_X}}$$

$$P_{\text{эм}} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{r_2'}{s} = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot \frac{r_2'}{s}}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

$$M_{\text{эм}} = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_0} = \frac{P_{\text{эм}}}{\frac{2\pi f}{p}}$$



$$\hat{U} I_2' \rightarrow \operatorname{tg} \beta = \frac{r_1 + \frac{r_2'}{s}}{\underbrace{x_1 + x_2'}_{x_K}} = \frac{r_1 + \frac{r_2'}{s}}{x_K}$$

Ось  $P_{эм} = 0$   $s=0$  (ч. х. х) и  $s=\infty$

$$\boxed{\operatorname{tg} \beta' \Big|_{s=\infty} = \frac{r_1'}{x_K}}$$

Ось  $P_{max} = 0$   $s=0$  и  $s=1$  (к. з)

$$\operatorname{tg} \beta'' \Big|_{s=1} = \frac{r_1 + r_2'}{x_K}$$

Ось линии диаметра

$$\operatorname{tg} 2\gamma = \frac{2 \cdot r_1 \cdot I_0}{U_{1H}}$$

$$P_{эм0} = I_0^2 \cdot r_1$$

$$D.m_I = I_2'_{max} = \frac{U_1}{\sqrt{\underbrace{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2}_{=0} + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{U}{x_1 + x_2} \rightarrow x_1 + x_2' = \frac{U}{I_2'_{max}}$$

К построению  
круговой диаграммы









