



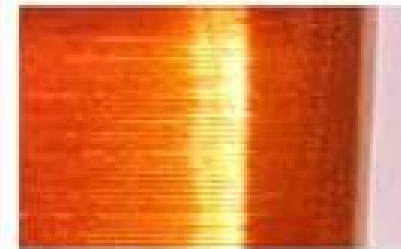
Трансформатори

Условна “конструкция” на трансформатор

W_1

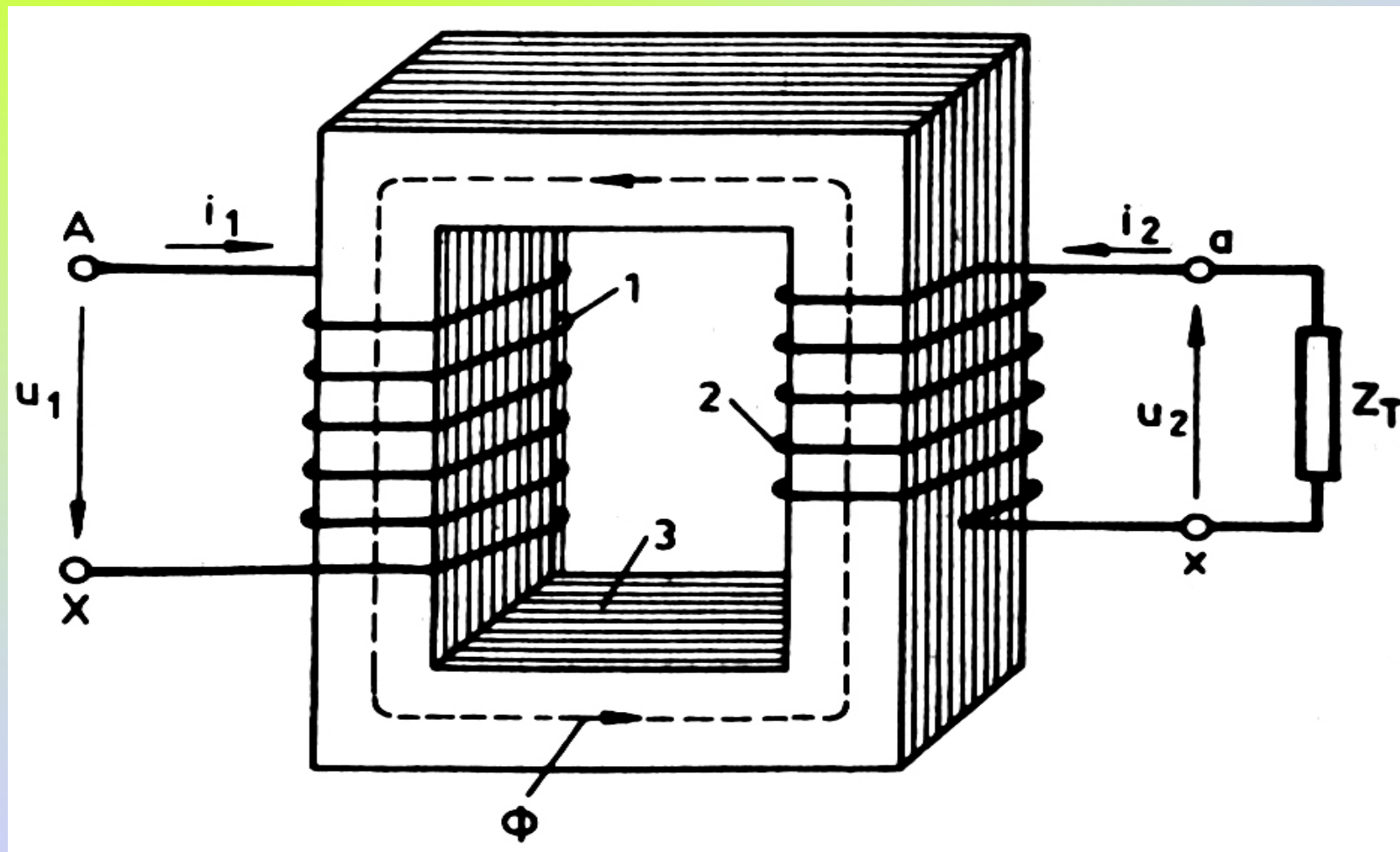


W_2



Трансформатор

1-първична намотка, 2-вторична намотка, 3-магнитопровод



$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

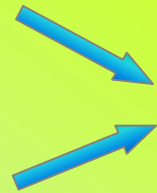
$$P_1 = P_2 + \sum p_{3AG}$$

Идеален трансформатор

$$r_1 = r_2 = 0$$

$$p_{Fe} = 0$$

$$\mu \rightarrow \infty$$



$$\sum p_{3AG} = 0$$



$$I_\mu \rightarrow 0$$

$$\Phi_{\sigma i} = 0 \rightarrow x_{\sigma i} = 0$$



$$P_1 \approx P_2$$



$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$$

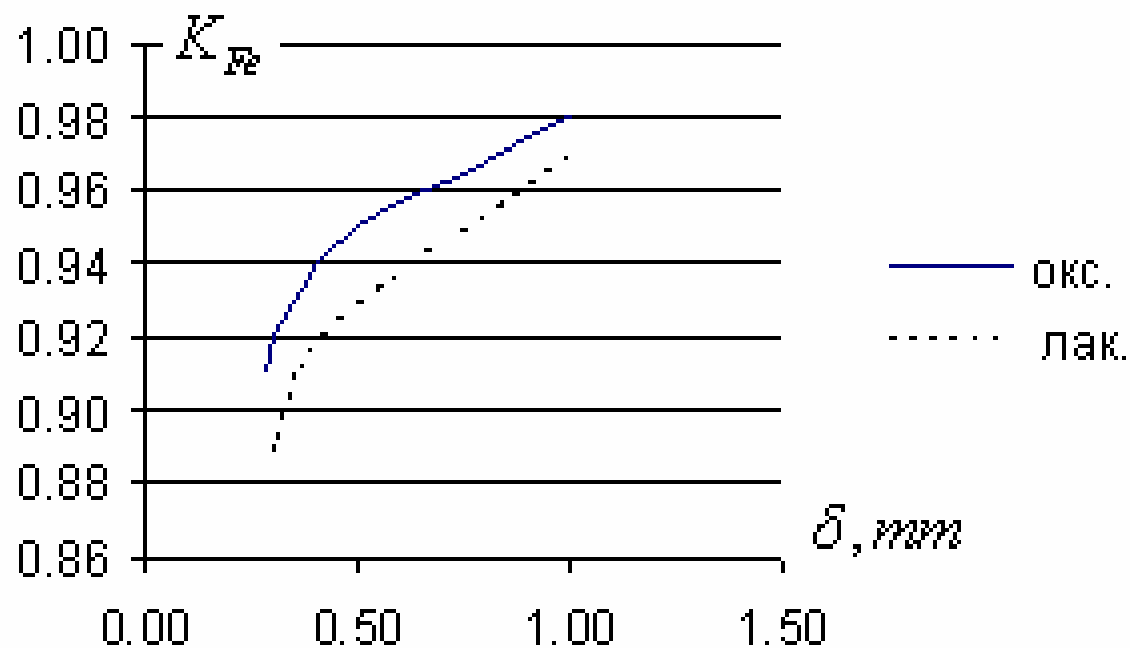
$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_{10}}{U_{20}} \text{ !!!!}$$



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Зависимост на коефициента на запълване със стомана от дебелината на изолираните листове и вида на изолационния слой

$$p_{Fe} = p_{Fe,F} + p_{Fe,H} = G p_{1/50} B^2 \left(f_1 / 50 \right)^\alpha$$



$$K_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{S}$$

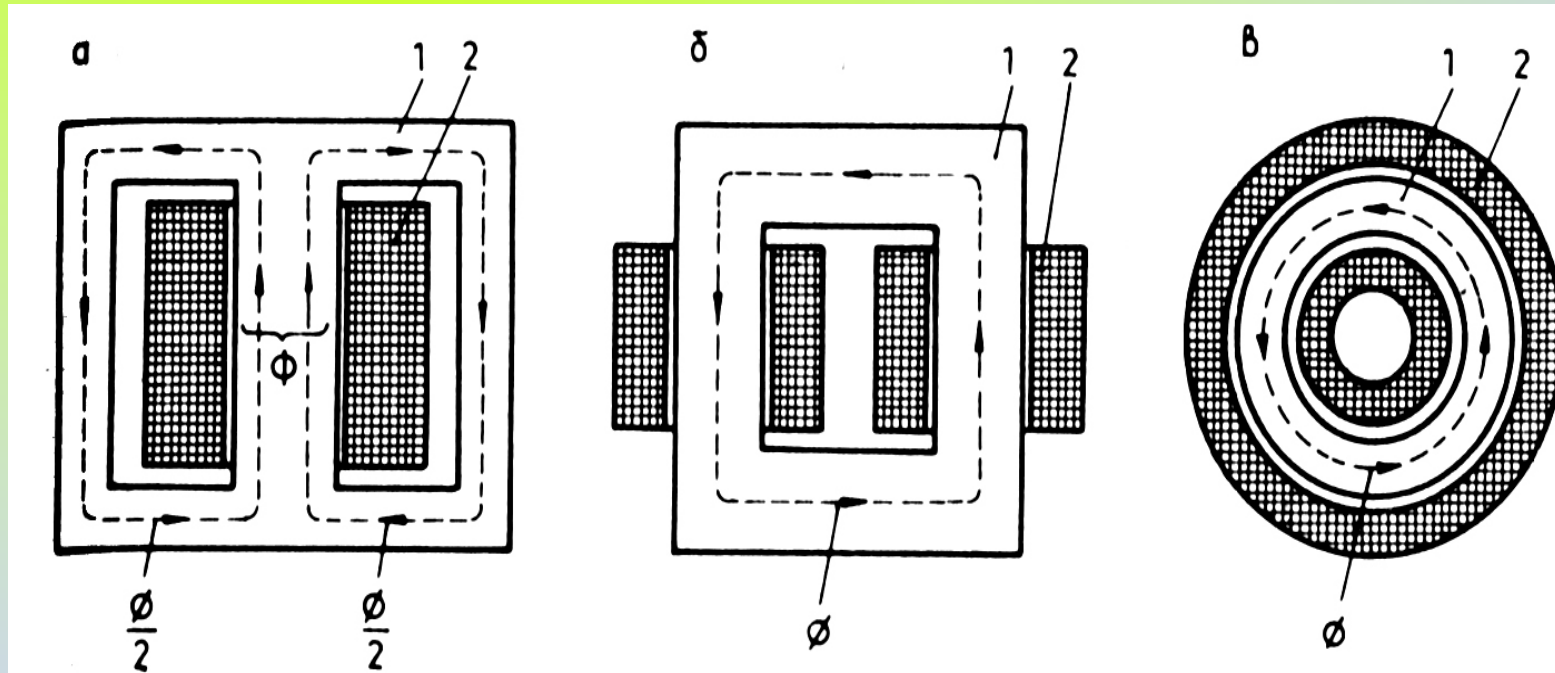
$$S = S_{Fe} + S_{изол}$$

$$S = \frac{1}{K_{Fe}} \frac{\Phi}{B}$$

Типове еднофазни трансформатори

а/ мантиен, б/ ядрен, в/ ториодален

1-магнитопровод, 2-намотки



Класификация според пластините на магнитопровода
а, в, д – пластинчат магнитопровод
б, г, е – лентов магнитопровод

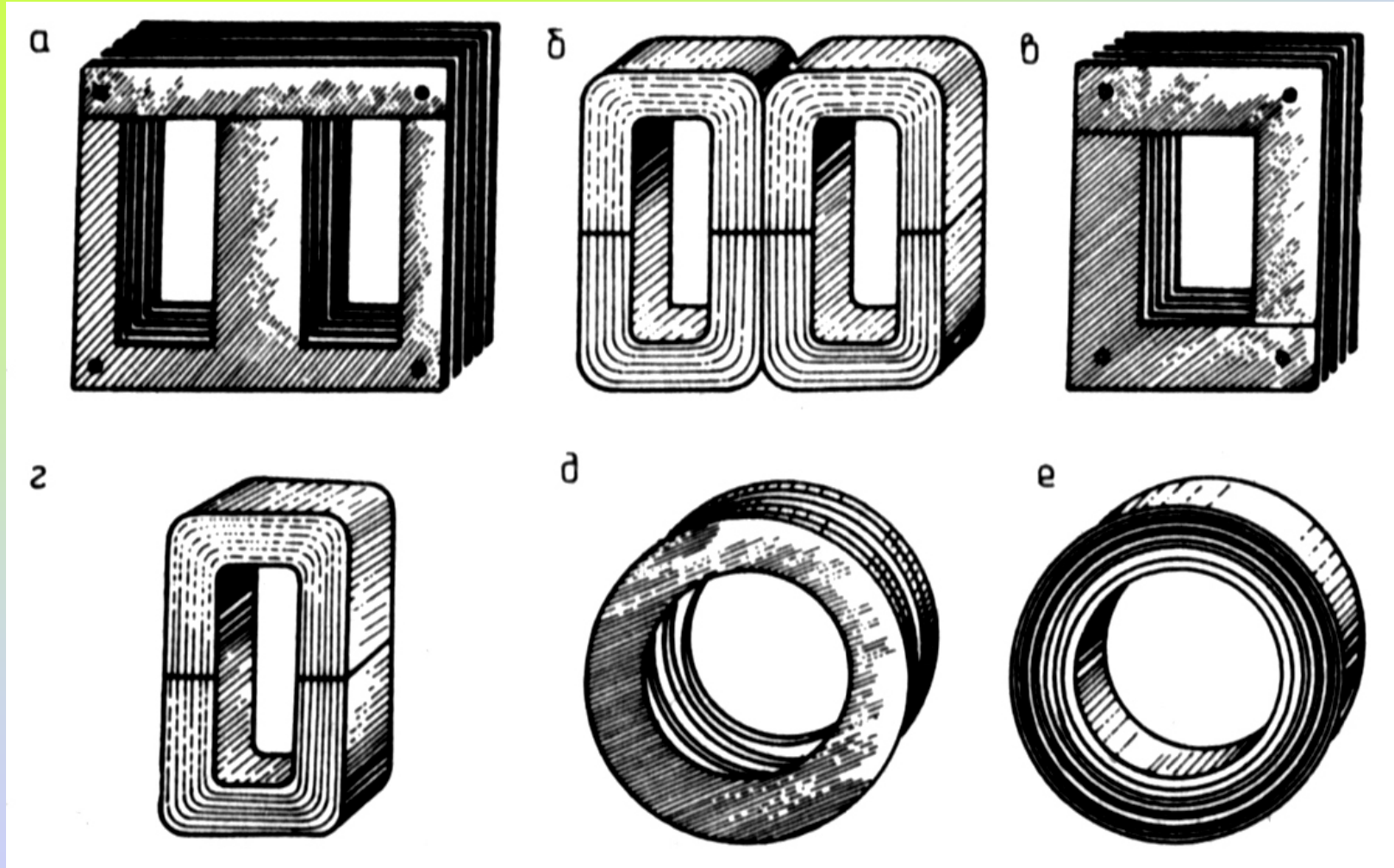
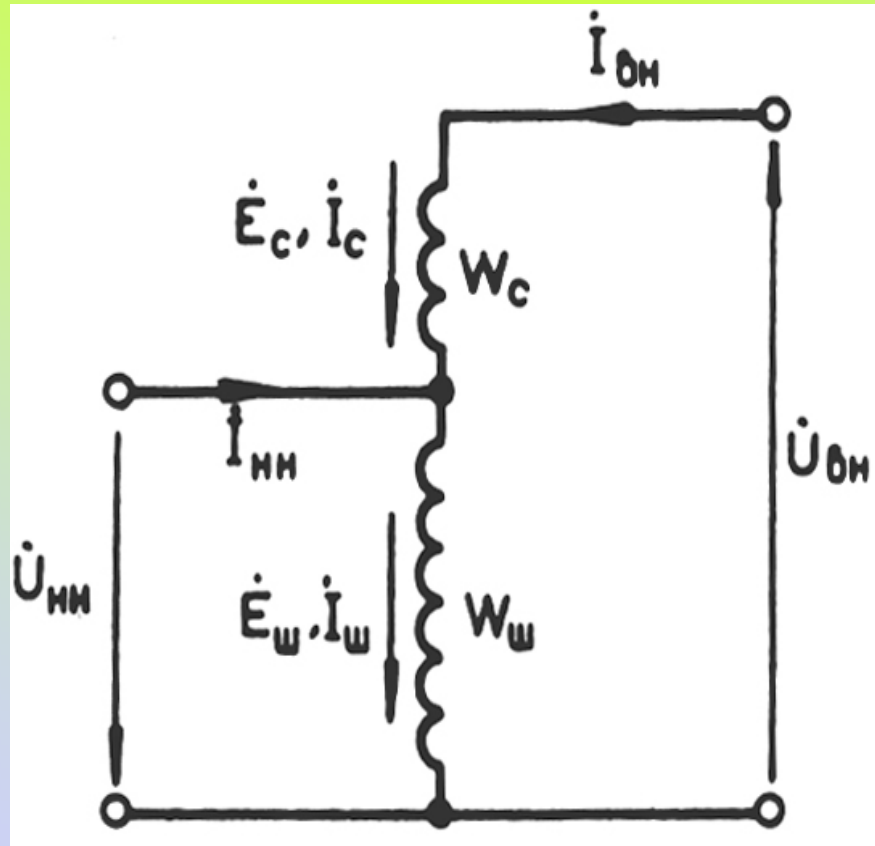




Схема на еднофазен автотрансформатор



Еднофазен автотрансформатор

$$S_H = 1100 \text{ VA}$$

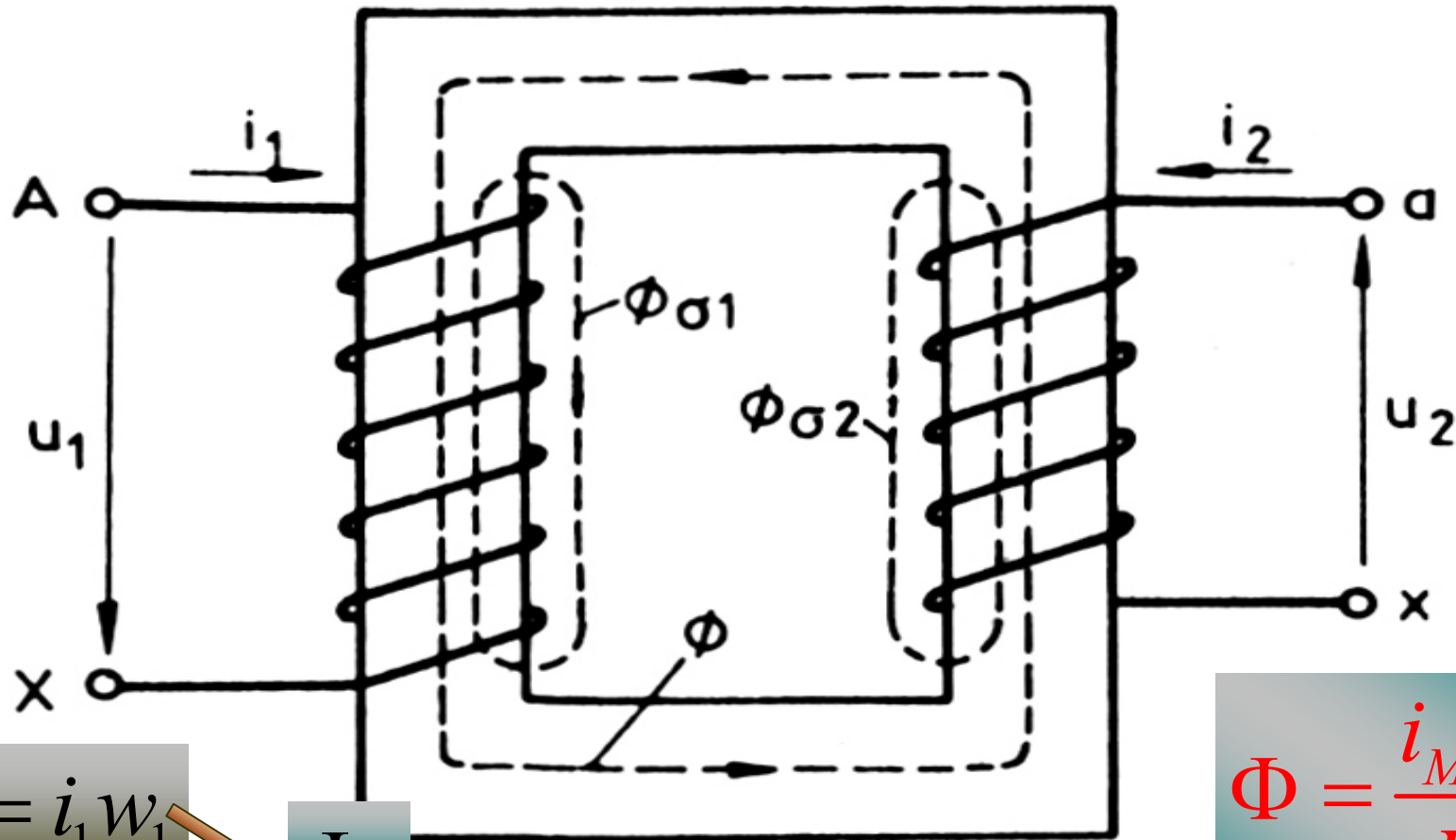




**Аналогия между электрически ток и магнитен поток
/повторение/**

$$\begin{array}{ccc} F = iw & \leftrightarrow & E = -w \frac{d\Phi}{dt} \\ R_{\mu} = \frac{1}{\mu} \frac{l}{S} & \leftrightarrow & R = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{S} \\ \Phi = \frac{F}{R_{\mu}} & \leftrightarrow & I = \frac{E}{R} \end{array}$$

Електромагнитна схема на еднофазен трансформатор



$$F_1 = i_1 w_1$$

Φ_1

$$F_2 = i_2 w_2$$

Φ_2

$$F_M = i_M w_1$$

Φ

$$F_M = F_1 + F_2$$

$$\Phi = \frac{i_M w_1}{R_M}$$

$$i_M w_1 = i_1 w_1 + i_2 w_2$$

За намагнитващия ток !

Приема се, че основният /резултантният/ магнитен поток Φ се създава от намагнитващ ток i_M , който протича през първичната намотка с навивки w_1 , и който удовлетворява уравнението:

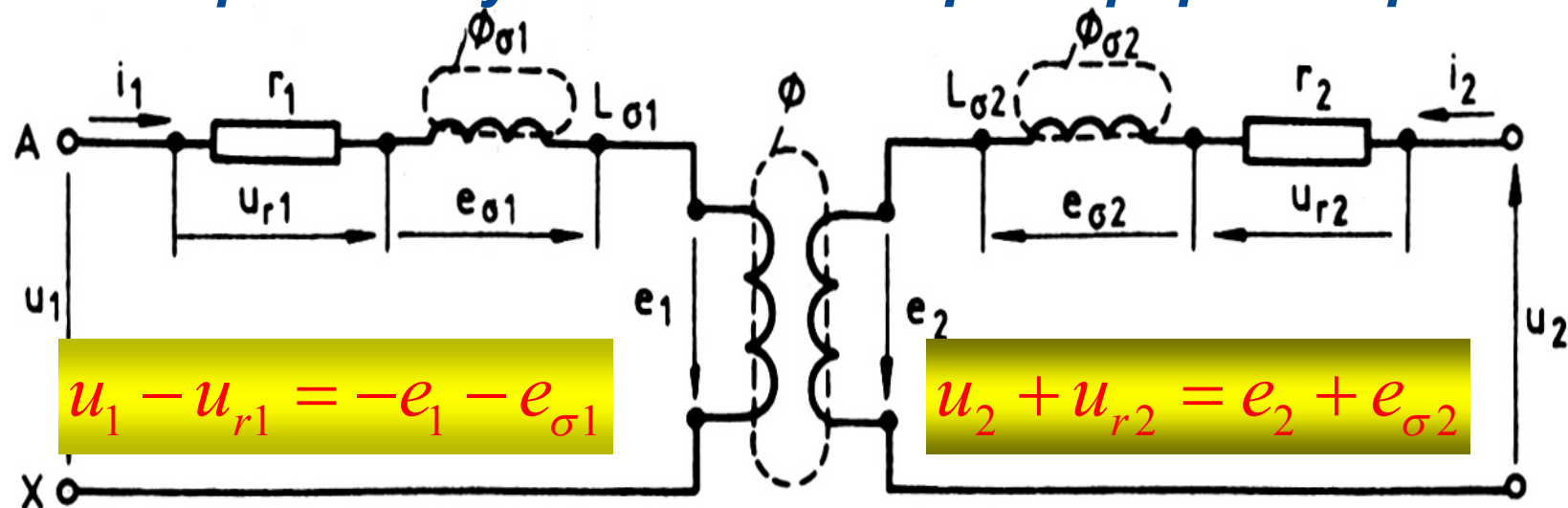
$$i_M w_1 = i_1 w_1 + i_2 w_2$$

За физическия смисъл на намагнитващия ток !

Друга характерна особеност на този привидно фиктивен ток е, че той придобива реално измерение при работа на трансформатора на празен ход, при който $i_2 = 0$. В този случай от основното уравнение се получава $i_M = i_{10}$.

С други думи, измереният ток в първичната страна на трансформатора при празен ход е “почти” равен на намагнитващия ток при този режим на работа. Както ще стане ясно по-нататък, това равенство е толкова по-вярно, колкото по-малки са загубите в стоманата.

Схеми и уравнения на електрическите вериги на еднофазен двунамотъчен трансформатор



$$u_{ri} = i_i r_i \quad i = 1, 2$$

$$\Psi = w\Phi = Li$$

$$e_i = -\frac{d\Psi_i}{dt} = -\frac{d w_i \Phi}{dt} = -w_i \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_{\sigma i} = -\frac{d\Psi_{\sigma i}}{dt} = -\frac{dL_{\sigma i} i_i}{dt} = -L_{\sigma i} \frac{di_i}{dt}$$

$$u_1 = -e_1 + i_1 r_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt}$$

$$i_1 w_1 = i_M w_1 + (-i_2 w_2)$$

$$u_2 = e_2 - i_2 r_2 - L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt}$$

Уравнения на трансформатора в комплексна форма .

Използвани зависимости от теорията на комплексните числа

$$\underline{A} = Ae^{\pm j\varphi_A} = \operatorname{Re}[\underline{A}] \pm j \operatorname{Im}[\underline{A}] = A \cos \varphi_A \pm jA \sin \varphi_A$$

$$|\underline{A}| = \sqrt{(\operatorname{Re}[\underline{A}])^2 + (\operatorname{Im}[\underline{A}])^2} = A$$

Формула на Ойлер за комплексното число

$$e^{\pm j\varphi} = \cos \varphi \pm j \sin \varphi$$

$$|e^{\pm j\varphi}| = |\cos \varphi \pm j \sin \varphi| = \sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} = 1$$

$$e^{\pm j\frac{\pi}{2}} = \cos\left(\pm \frac{\pi}{2}\right) + j \sin\left(\pm \frac{\pi}{2}\right) = \pm j$$

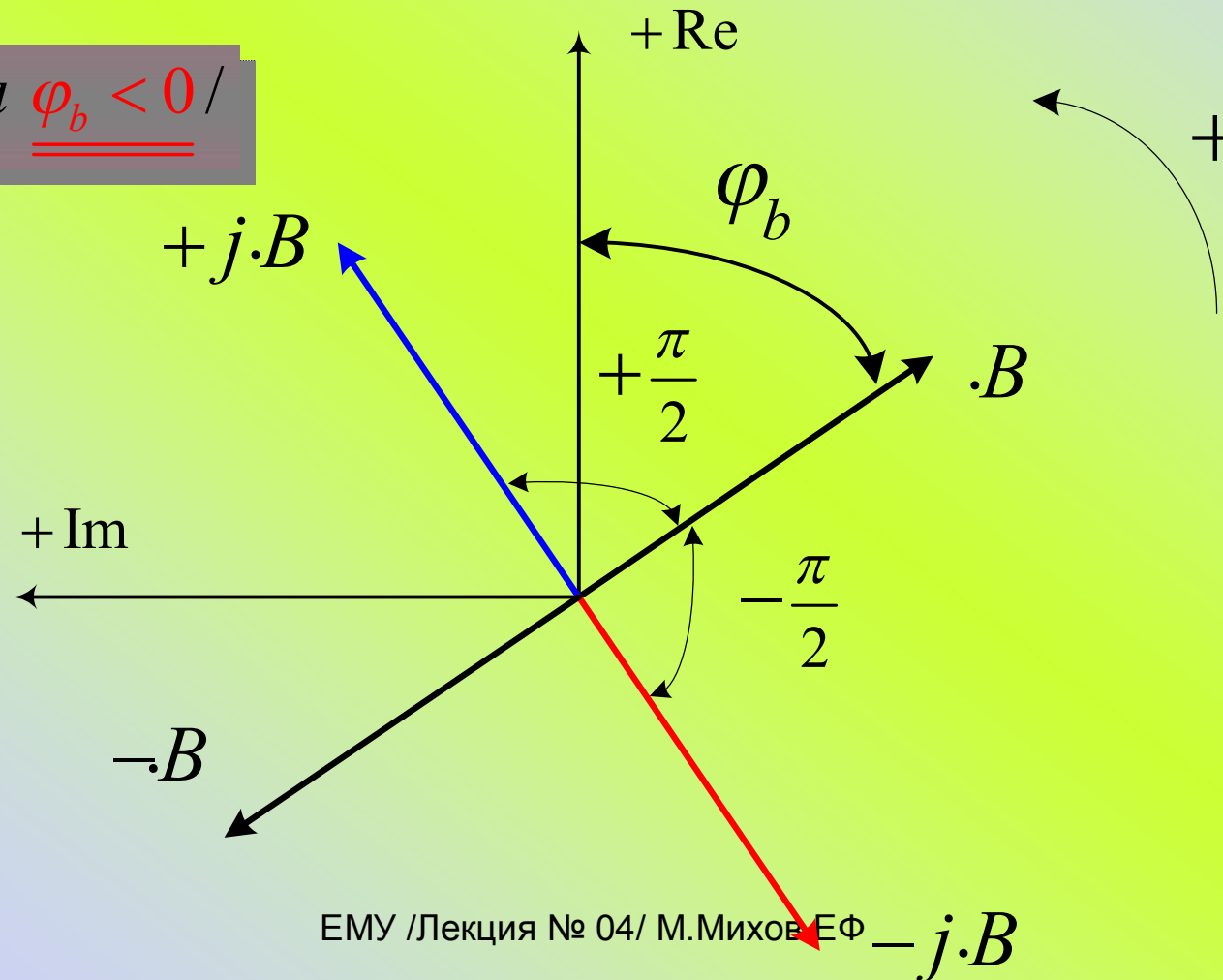
$$\underline{C} = \underline{A}\underline{B} = AB e^{j(\varphi_a + \varphi_b)}$$

$$\pm j \underline{B} = e^{\pm j\frac{\pi}{2}} B e^{j\varphi_b} = B e^{j(\varphi_b \pm \frac{\pi}{2})}$$

**Уравнения на трансформатора в комплексна форма .
 Използвани зависимости от теорията на комплексните числа**

$$\pm jB = e^{\pm j\frac{\pi}{2}} B e^{j\varphi_b} = B e^{j(\varphi_b \pm \frac{\pi}{2})}$$

/ В случая $\varphi_b < 0$ /



Уравнения на трансформатора в комплексна форма /предварителни преобразувания/

$$\underline{\Phi} = \Phi e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})} = \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})}$$

$$\left/ \frac{de^{kx}}{dx} = ke^{kx} \right/$$

$$i_M = R_\mu (i_M) \frac{\Phi}{w_1}$$

при $R_\mu = const.$

при $\Phi / \sin/ \rightarrow i_M / \sin/$

$$\underline{E}_i = -w_i \frac{d\underline{\Phi}}{dt} = -j\omega w_i \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})} = \underline{\underline{-j\omega w_i \Phi_m}}$$

$$\left| \underline{E}_1 \right| = E_1 = \pi \sqrt{2} \underline{\underline{f_1}} \underline{\underline{w_1}} \underline{\underline{\Phi_m}}$$

$$\left| \underline{E}_2 \right| = E_2 = \pi \sqrt{2} \underline{\underline{f_1}} \underline{\underline{w_2}} \underline{\underline{\Phi_m}}$$

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\pi \sqrt{2} f_1 w_1 \Phi_m}{\pi \sqrt{2} f_1 w_2 \Phi_m} = \frac{w_1}{w_2}$$

**Фазови
величини !**

Уравнения на трансформатора в комплексна форма /предварителни преобразувания/

$$\hat{I}_i = I_i e^{j(\omega t - \varphi_{I_i})}$$

$$\left/ \frac{de^{kx}}{dx} = ke^{kx} \right/$$

$$\hat{E}_{\sigma i} = -L_{\sigma i} \frac{d\hat{I}_i}{dt} = -j\omega L_{\sigma i} I_i e^{j(\omega t - \varphi_{I_i})} = \underline{\underline{-jx_{\sigma i} \hat{I}_i}}$$

$$\hat{E}_{\sigma 1} = -jx_{\sigma 1} \hat{I}_1$$

$$\hat{E}_{\sigma 2} = -jx_{\sigma 2} \hat{I}_2$$

$$x_{\sigma 1} = \omega L_{\sigma 1} = 2\pi f_1 L_{\sigma 1} \quad x_{\sigma 2} = \omega L_{\sigma 2} = 2\pi f_1 L_{\sigma 2}$$

Преминаване на уравнения /на трансформатора/
от моментни стойности /диференциална форма/ в
комплексни величини /"алгебрична форма"/

$$u_1 = -e_1 + i_1 r_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt}$$

$$i_1 w_1 = i_M w_1 + (-i_2 w_2)$$

$$u_2 = e_2 - i_2 r_2 - L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt}$$

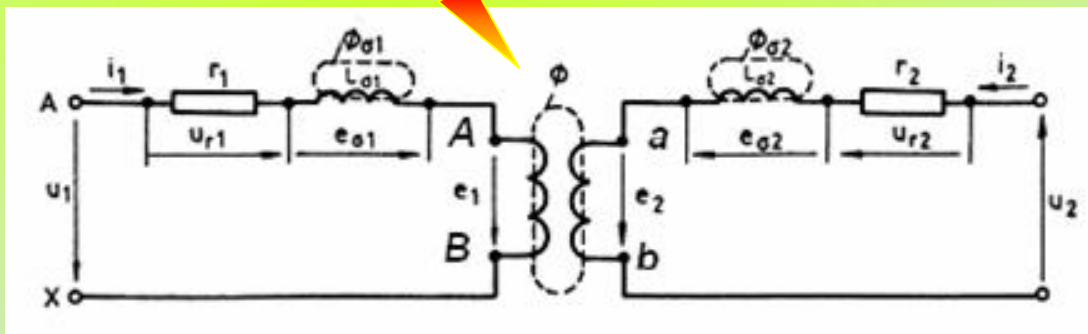


$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_{\sigma 1}$$

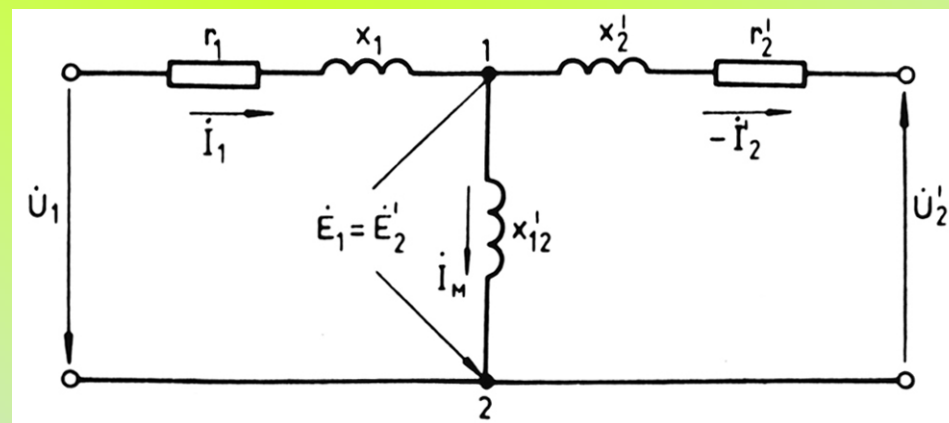
$$I_1 = I_M + \left(-\frac{I_2}{w_1 / w_2} \right)$$

$$U_2 = E_2 - I_2 r_2 - j I_2 x_{\sigma 2}$$

Условия за привеждане на вторичната намотка на трансформатора - 1



$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_{10}}{U_{20}} !!!!!$$



Условия за привеждане на вторичната намотка на трансформатора - 2

$$e'_2 = e_1 \text{ или } \mathcal{E}'_2 = \mathcal{E}_1$$

$$w'_2 = w_1 / = kw_2 /$$

$$E'_2 = \pi\sqrt{2}f_1w'_2\Phi_m = \pi\sqrt{2}f_1w_1\Phi_m = E_1$$

$$E'_2 = E_1 / = kE_2 /$$



$$U'_2 = kU_2$$

.....следователно, то / ПРИВЕЖДАНЕТО / трябва да се направи така, че приведената и изходната намотки трябва:

- а/ да създават еднакви магнитни полета*
- б/ да имат еднакви мощности*
- в/ да имат еднакви електрически загуби*
- г/ да имат еднакви фазови съотношения*

Условия за привеждане на вторичната намотка на трансформатора - 3

а/ да създават еднакви магнитни полета

$$I_2 w_2 = I_2' w_2' = I_2' w_1$$



$$F_2 = F_2'$$

$$I_2' = \frac{I_2}{w_1/w_2} = \frac{I_2}{k}$$

б/ да имат еднакви мощности

$$S_2 = S_2'$$

$$U_2' I_2' = k U_2 \frac{I_2}{k} = U_2 I_2$$

Условия за привеждане на вторичната намотка на трансформатора - 4

в/ да имат еднакви електрически загуби

$$P_{ел2} = P_{ел2}'$$

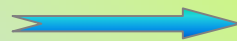
$$P_{ел2} = I_2^2 r_2 = I_2'^2 r_2'$$



$$r_2' = \frac{I_2^2}{I_2'^2} r_2 = k^2 r_2$$

г/ да имат еднакви фазови съотношения

$$\operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{x'_{\sigma 2}}{r_2'} = \frac{x_{\sigma 2}}{r_2}$$



$$x'_{\sigma 2} = \frac{r_2'}{r_2} x_{\sigma 2} = k^2 x_{\sigma 2}$$

Уравнения на приведения трансформатор

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_{\sigma 1}$$

$$I_1 = I_M + (-I_2)$$

$$U_2 = E_2 - I_2 r_2' - j I_2 x_{\sigma 2}'$$

u

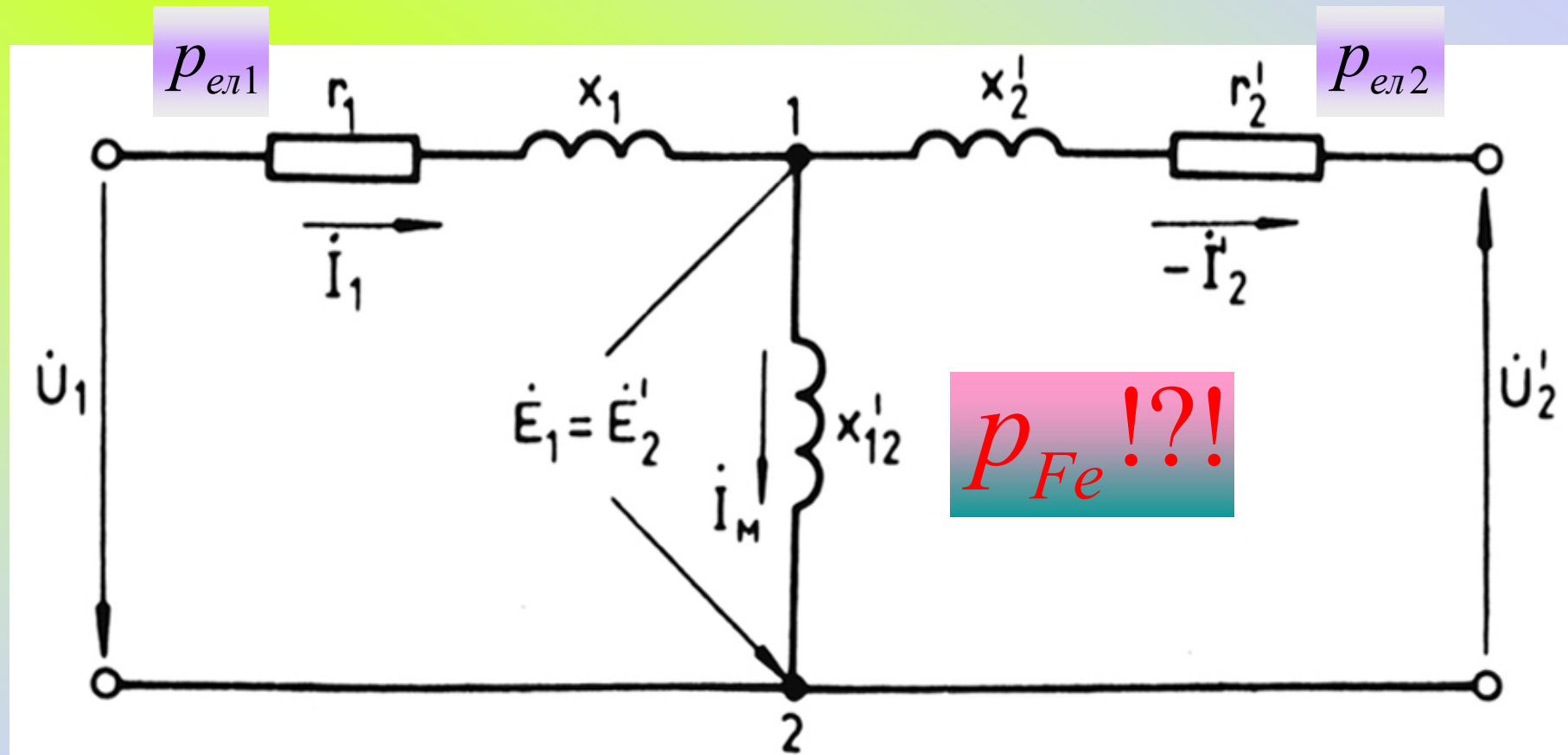
$$E_1 = E_2$$

Важно!!!

.....изключително важна особеност на записаната система уравнения е, че тя се отнася за **ЕДНА ФАЗА на машината.**

С други думи, всички участващи величини и параметри в нея са ФАЗОВИ.

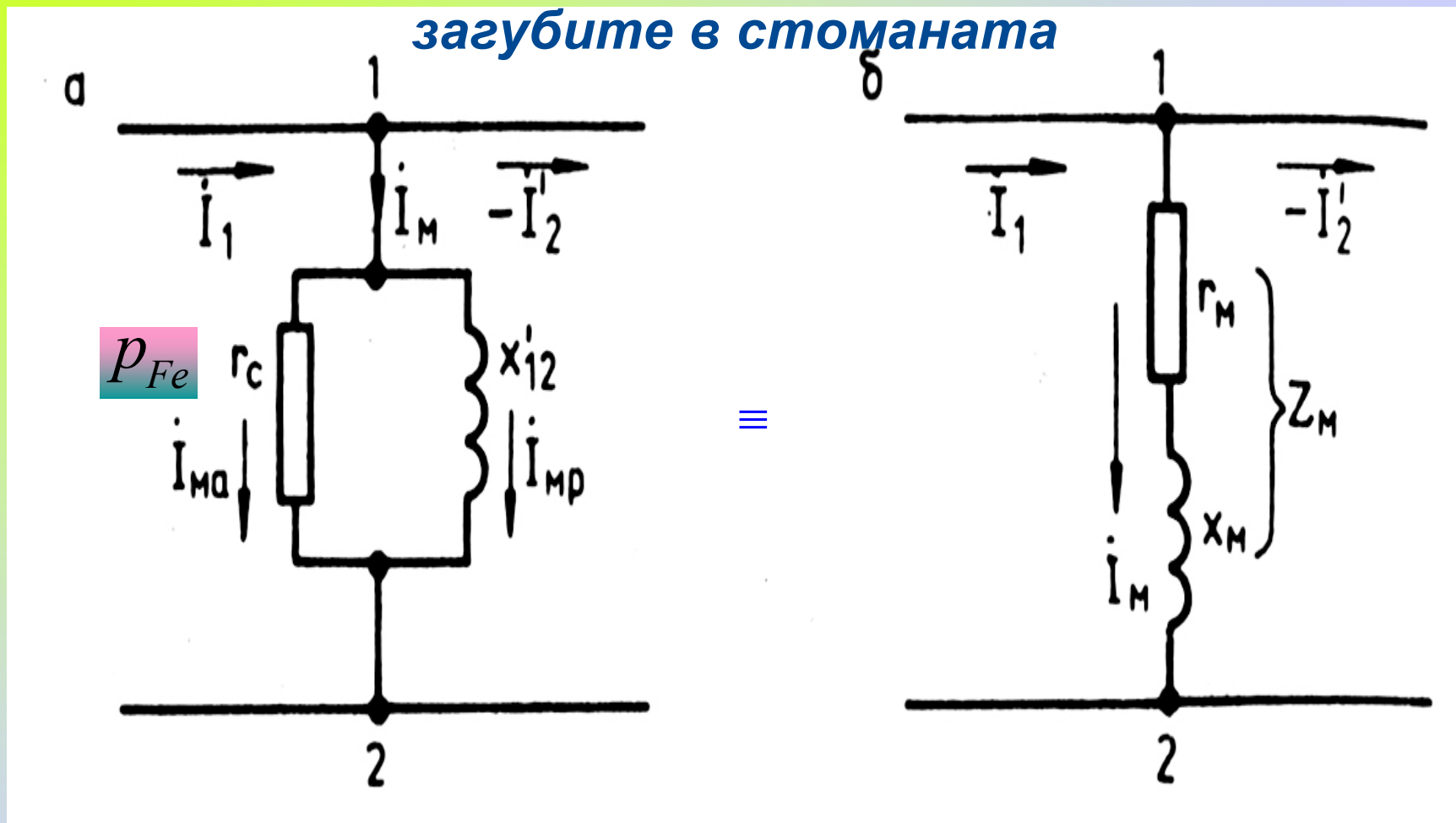
Заместваща схема на трансформатора **без отчитане** на загубите в стоманата



$$\sum P_{ЗАГ} = P_{ел1} + P_{ел2} + P_{Fe}$$

$$P_{ел1} = m I_1^2 r_1; P_{ел2} = m I_2^2 r_2 = m I_2'^2 r_2'$$

Намагнитващ клон на зам. схема при отчитане на загубите в стоманата



$$P_{Fe} \equiv B_m^2 \equiv \Phi_m^2 \equiv E_1^2 \equiv E_2'^2 \equiv U_{12}^2$$

$$r_c = \frac{U_{12}^2}{P_{Fe}} = \frac{E_1^2}{P_{Fe}}$$

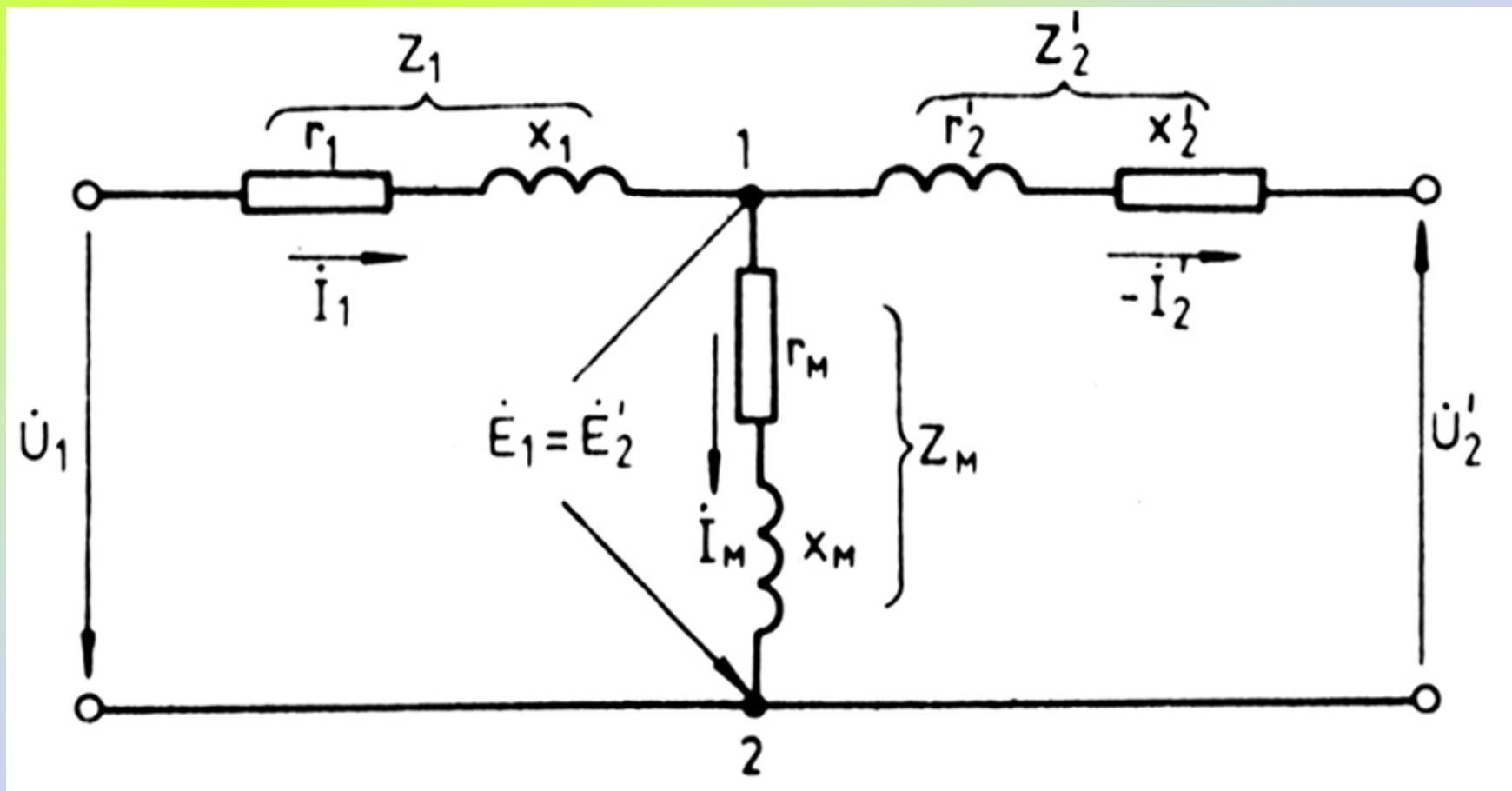
$$I_M = I_{Ma} + I_{Mp}$$

ЕМУ /Лекция № 04/ М.Михов ЕФ

$$I_{Ma} = \frac{U_{12}}{r_c} = \frac{-E_1}{r_c}$$

$$P_{Fe} = E_1 I_{Ma}$$

**Заместваща схема на трансформатора
при отчитане на загубите в стоманата**

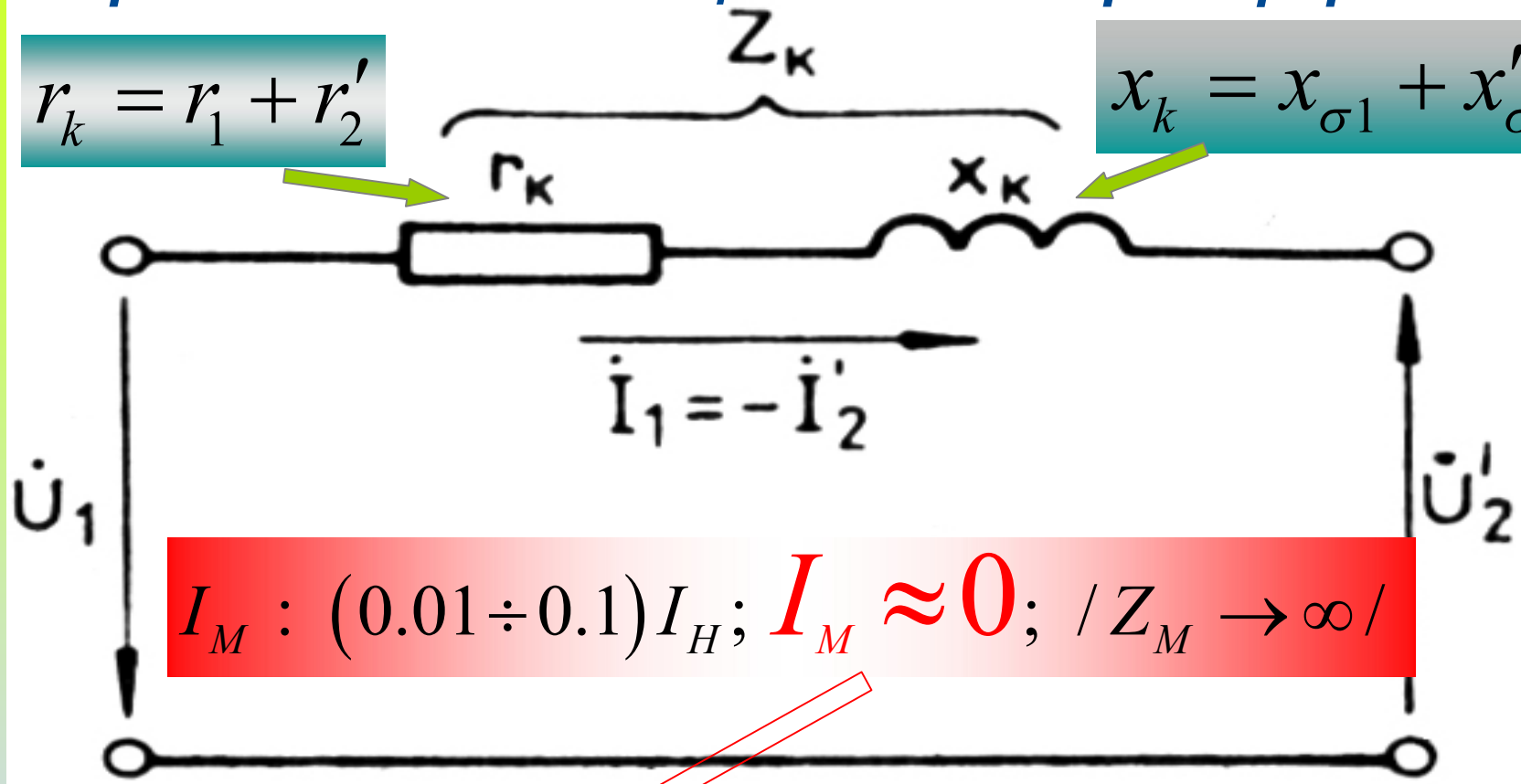


/ Напомняме, че е за ЕДНА ФАЗА!!! /

Опростена заместваща схема на трансформатор

$$r_k = r_1 + r'_2$$

$$x_k = x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2}$$



$$I_M : (0.01 \div 0.1) I_H; \quad I_M \approx 0; \quad / Z_M \rightarrow \infty /$$

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_{\sigma 1}$$

$$U_1 = -U_2 + I_1 (r_1 + r'_2) + j I_1 (x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2})$$

$$I_1 = -I_2$$

$$U_2 = E_2 - I_2 r'_2 - j I_2 x'_{\sigma 2}$$

$$U_1 = -U_2 + I_1 r_k + j I_1 x_k$$

$$/ E_1 = E_2 /$$

$$I_1 = -I_2$$

Преобразуванията за опростената заместваща схема/

$$U_{\&1} = -E_{\&1} + I_{\&1}r_1 + jI_{\&1}x_{\sigma 1}$$

$$I_{\&1} = -I_{\&2}$$

$$U_{\&2}' = E_{\&2}' - I_{\&2}'r_2' - jI_{\&2}'x_{\sigma 2}'$$

$$/ E_{\&1} = E_{\&2}' /$$

$$E_{\&2}' = U_{\&2}' + I_{\&2}'r_2' + jI_{\&2}'x_{\sigma 2}' = E_{\&1}$$

$$I_{\&2}' = -I_{\&1}$$

$$E_{\&1} = U_{\&2}' - \underline{I_{\&1}'r_2'} - j\underline{I_{\&1}'x_{\sigma 2}'}$$

$$U_{\&1} = - \left(U_{\&2}' - I_{\&1}'r_2' - jI_{\&1}'x_{\sigma 2}' \right) + I_{\&1}r_1 + jI_{\&1}x_{\sigma 1} =$$

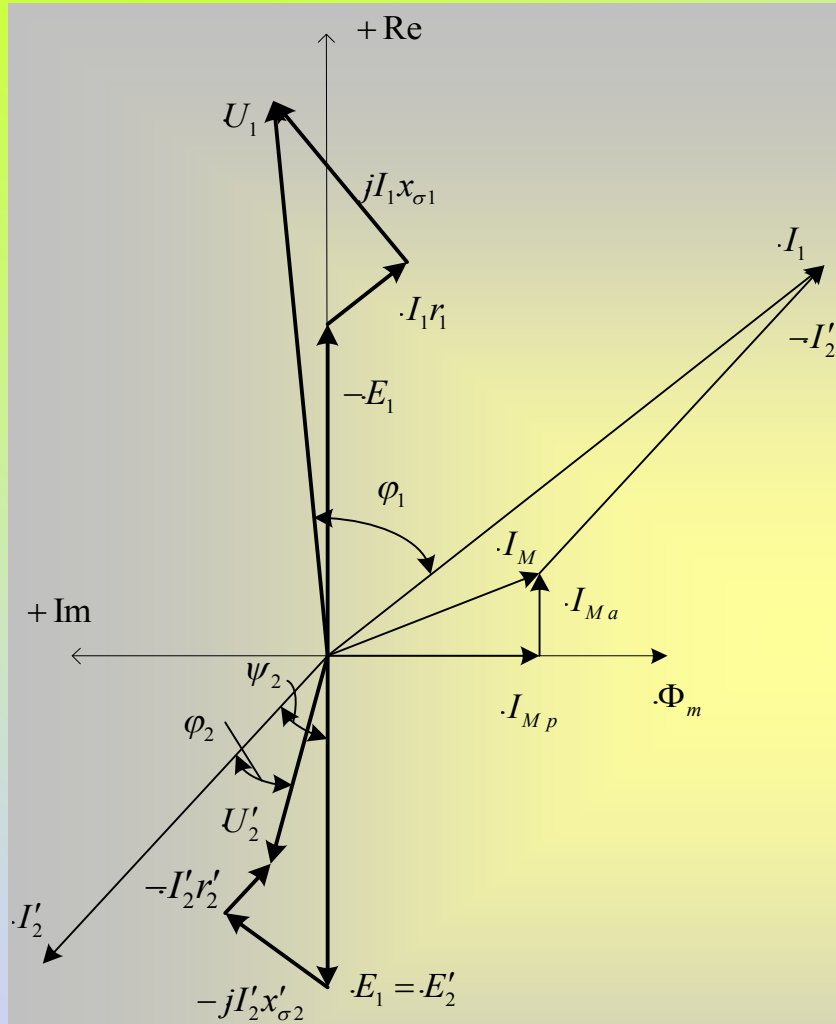
$$= -U_{\&2}' + I_{\&1}'r_2' + jI_{\&1}'x_{\sigma 2}' + I_{\&1}r_1 + jI_{\&1}x_{\sigma 1} =$$

$$= -U_{\&2}' + I_{\&1}'(r_1 + r_2') + jI_{\&1}'(x_{\sigma 1} + x_{\sigma 2}') =$$

$$= -U_{\&2}' + I_{\&1}r_k + jI_{\&1}x_k$$

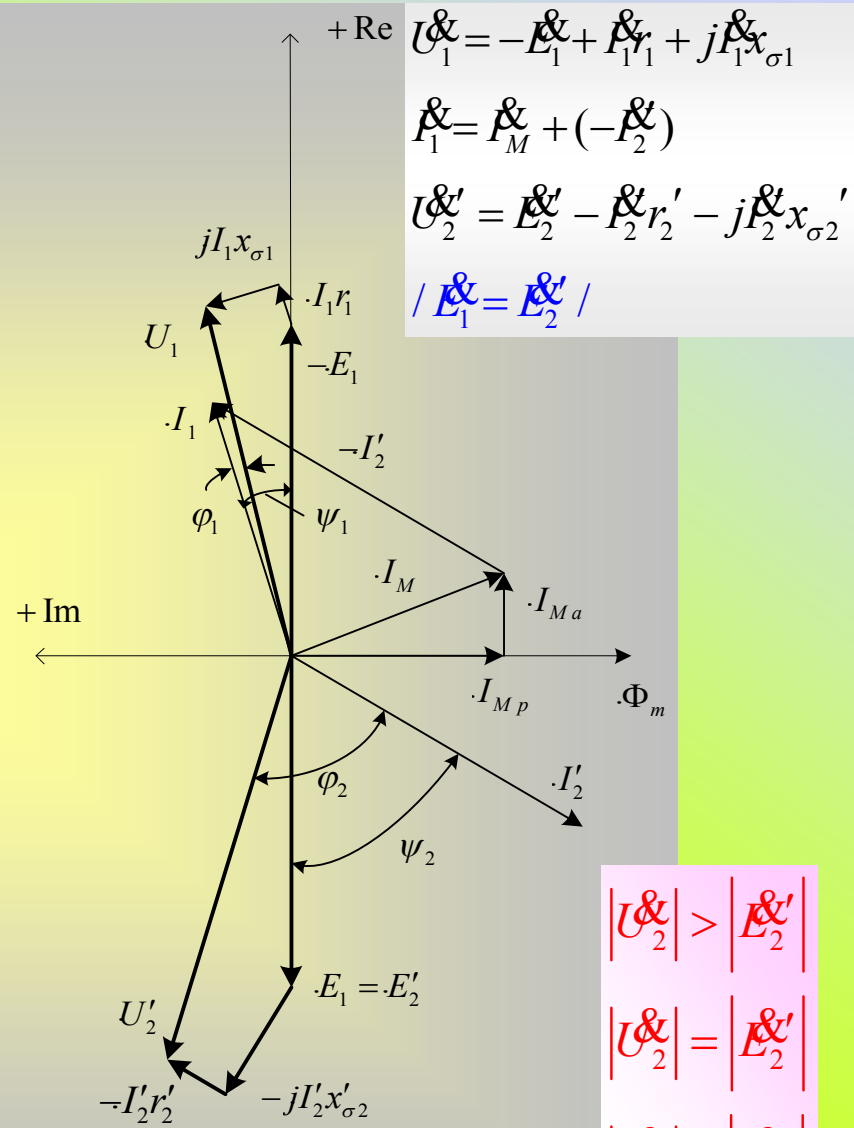
а/ Векторна диаграма на трансформатор при R-L товар

б/ Векторна диаграма на трансформатор при R-C товар



$$|U_2'| < |E_2'|$$

а/



$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_{\sigma 1}$$

$$E_1 = E_M + (-E_2)$$

$$U_2 = E_2 - I_2 r_2' - j I_2 x_{\sigma 2}'$$

$$|E_1| = |E_2|$$

$$|U_2| > |E_2|$$

$$|U_2| = |E_2|$$

$$|U_2| < |E_2|$$

б/

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 x_{\sigma 1}$$

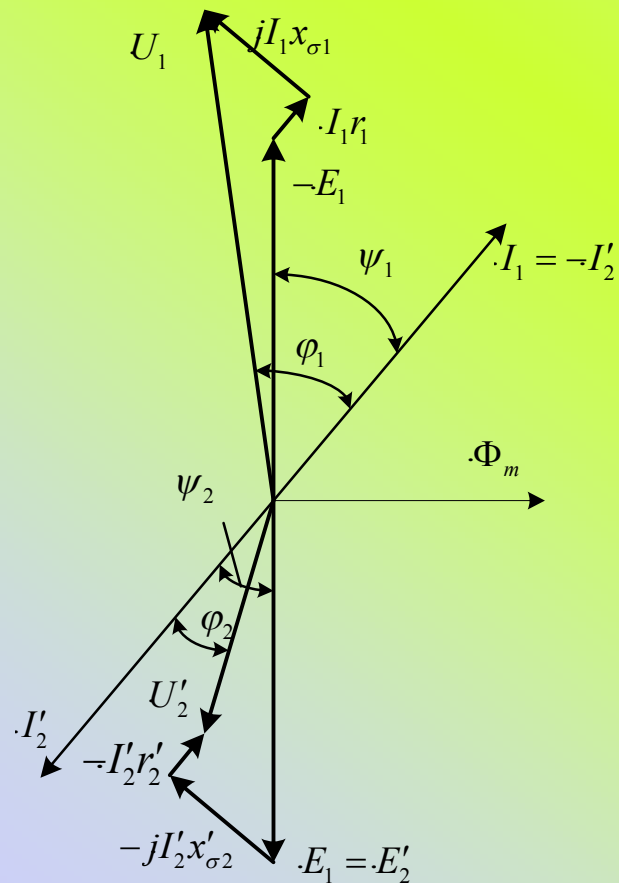
$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 r_2' - j\dot{I}_2 x_{\sigma 2}'$$

$$/ \dot{E}_1 = \dot{E}_2 /$$

$$\dot{I}_M \approx 0$$

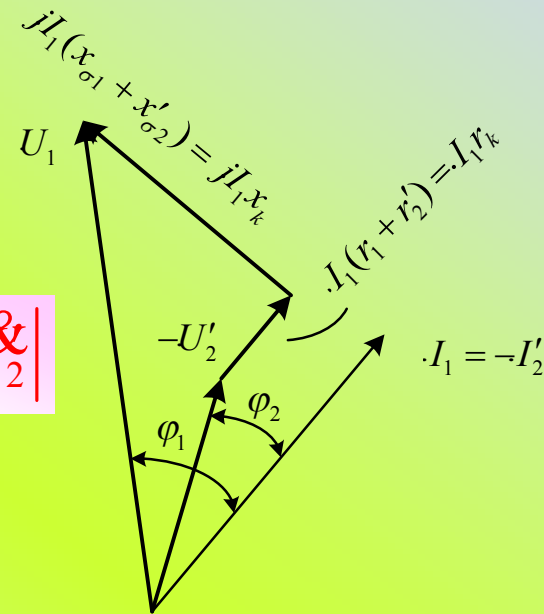
Векторни диаграми по опростена
заместваща схема при **L-R товар**



a/

$$|\dot{U}_1| > |\dot{U}_2|$$

≡



$$\dot{U}_1 = -\dot{U}_2 + \dot{I}_1 r_k + j\dot{I}_1 x_k$$

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2$$

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_{\sigma 1}$$

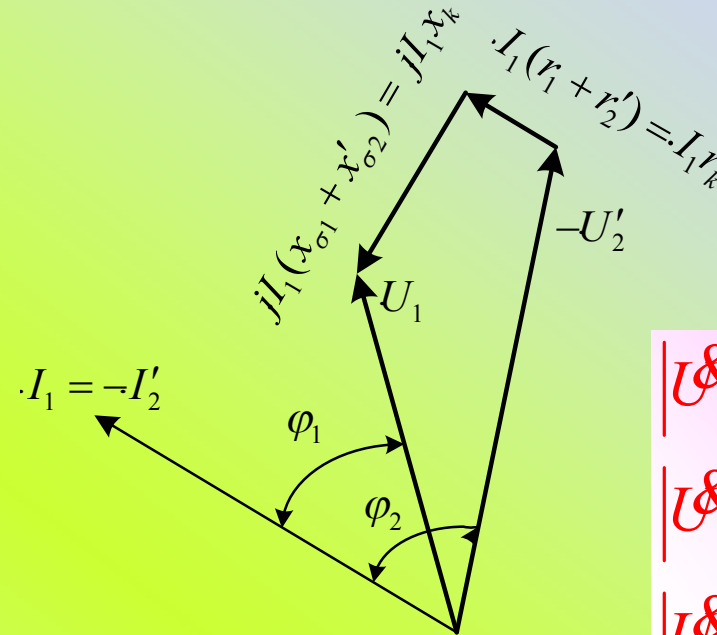
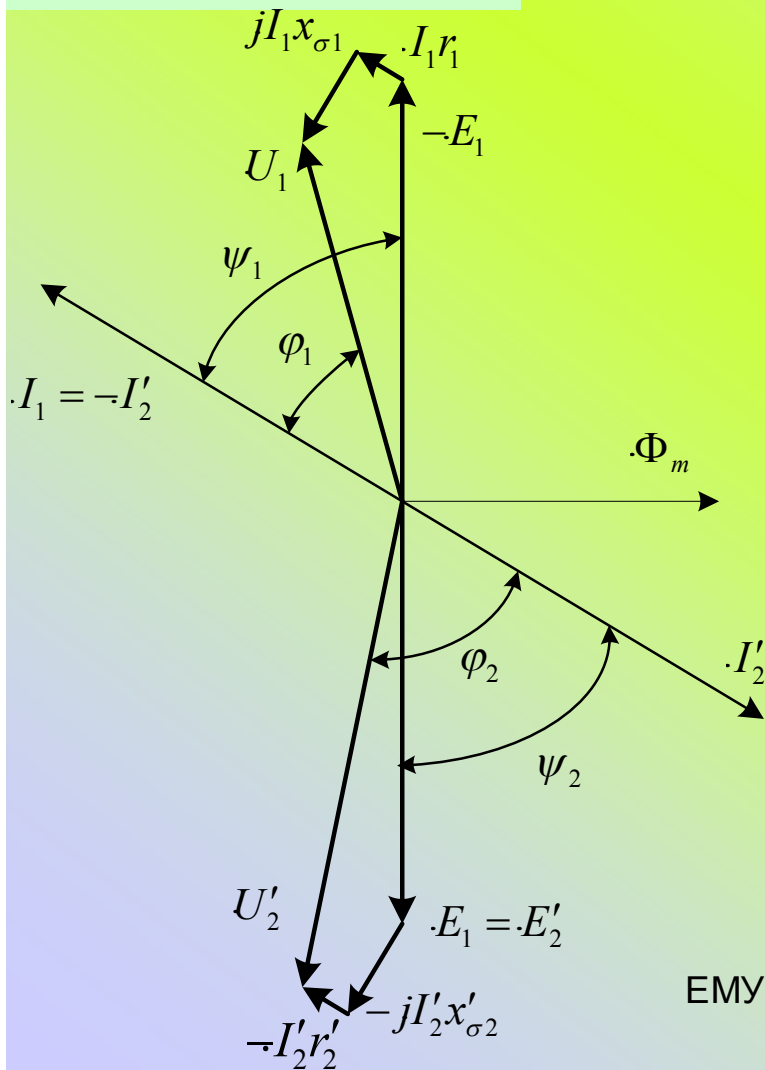
$$I_1 = -I_2$$

$$U_2 = E_2 - I_2 r_2' - j I_2 x_{\sigma 2}'$$

$$|E_1| = |E_2|$$

$$I_M \approx 0$$

Векторни диаграми по опростена заместваща схема при **C-R товар**



$$|U_1| > |U_2|$$

$$|U_1| = |U_2|$$

$$|U_1| < |U_2|$$

$$U_1 = -U_2 + I_1 r_k + j I_1 x_k$$

$$I_1 = -I_2$$

Празен ход на трансформатора - 01

$$U_1 \neq 0; I_1 \neq 0; \underline{\underline{I_2 = 0}}; U_2 \neq 0$$

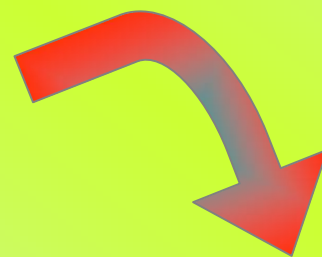
$$U_1 \hat{=} -E_1 \hat{=} + I_1 \hat{=} r_1 + j I_1 \hat{=} x_{\sigma 1}$$

$$I_1 \hat{=} = I_M \hat{=} + (-I_2 \hat{=}')$$

$$U_2 \hat{=} = E_2 \hat{=} - I_2 \hat{=} r_2' - j I_2 \hat{=} x_{\sigma 2}'$$

$$/ E_1 \hat{=} = E_2 \hat{=} /$$

$$I_2 = 0 \rightarrow I_2' = \frac{I_2}{k} = 0$$



$$U_1 \hat{=} = -E_1 \hat{=} + I_0 \hat{=} r_1 + j I_0 \hat{=} x_{\sigma 1} = -E_1 \hat{=} + I_0 \hat{=} Z_1$$

$$I_1 \hat{=} = I_M \hat{=} = I_0 \hat{=}$$

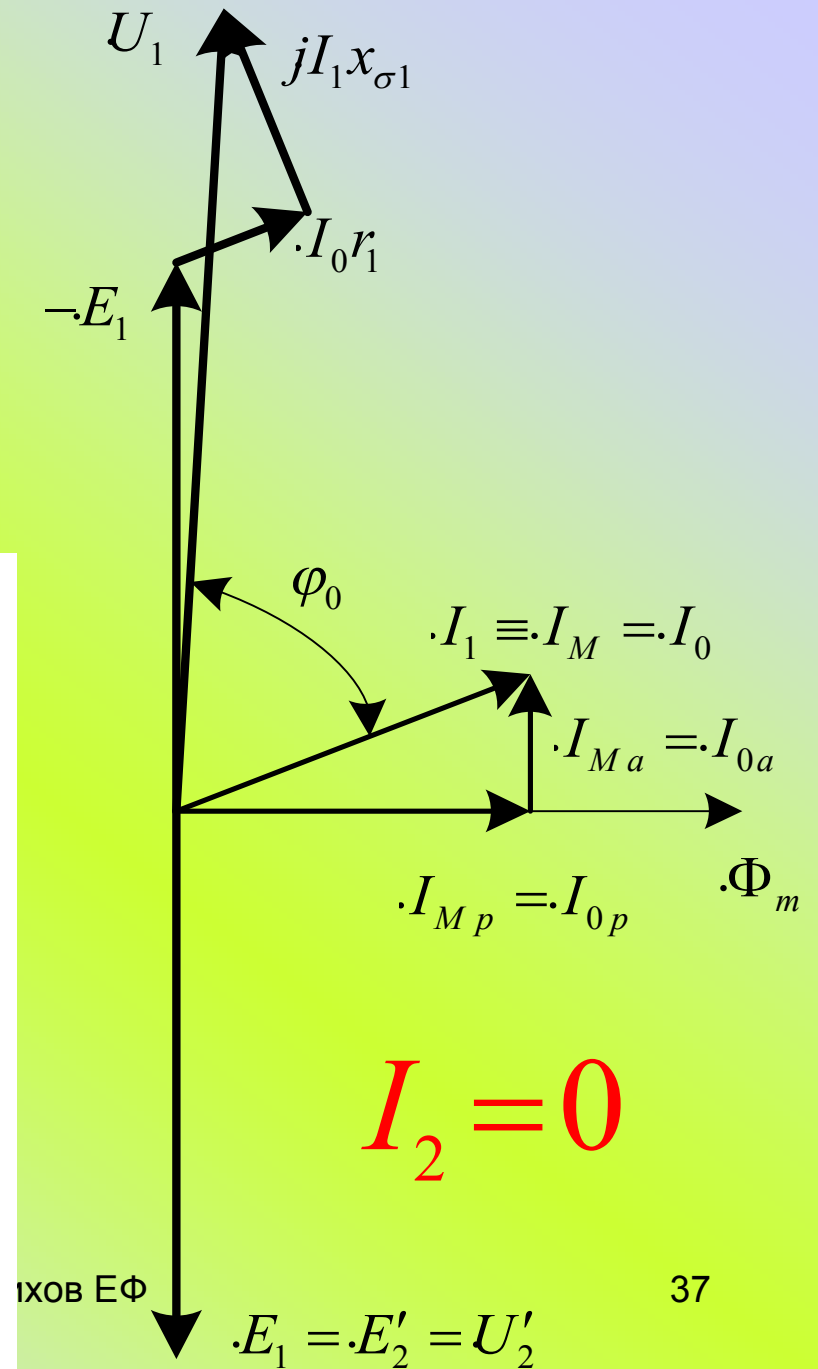
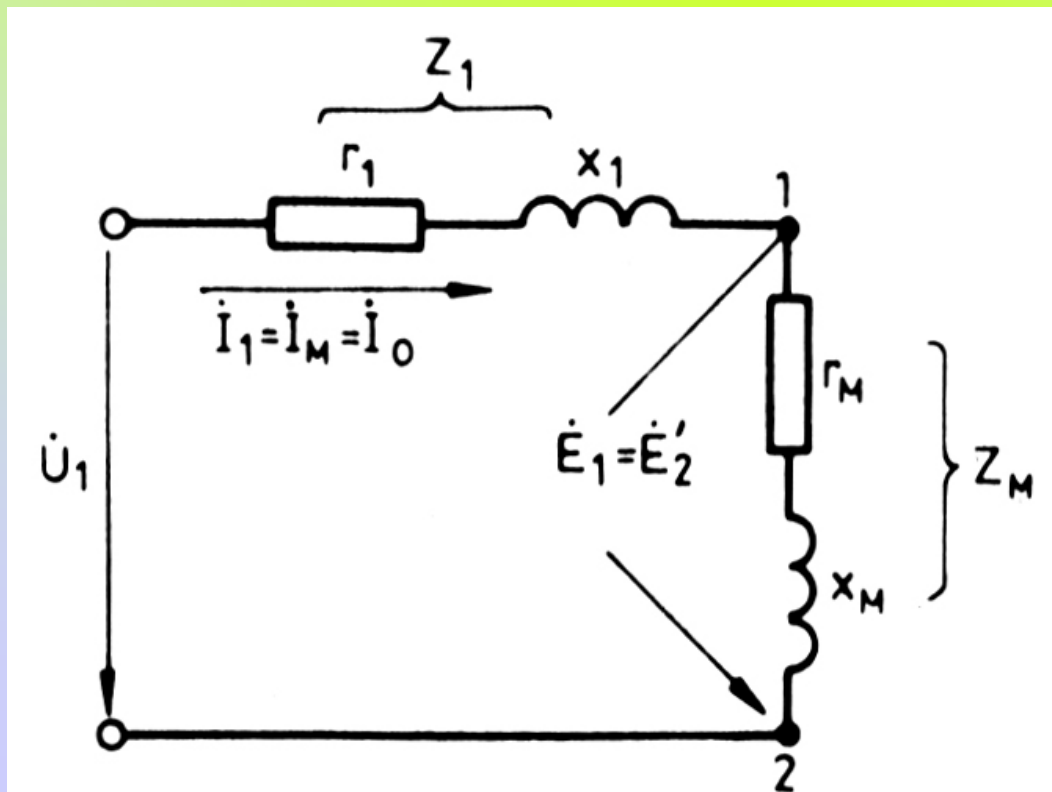
$$U_2 \hat{=} = E_2 \hat{=}$$

Празен ход на трансформатора - 02

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 r_1 + j \dot{I}_0 x_{\sigma 1} = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_M = \dot{I}_0$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2$$



Празен ход на трансформатора – 03

Характерни особености

$$1) \dot{I}_1 = \dot{I}_0 = \dot{I}_M$$

$$2) 0.01 I_n \leq \dot{I}_0 = 0.1 I_n$$

$$I_2 = 0$$

$$3) \dot{I}_{Ma} = \dot{I}_{0a} \ll \dot{I}_{0p} \quad 3') \dot{I}_0 \approx \dot{I}_{Mp} = \dot{I}_{0p} \quad 3'') \varphi_0 = \arctg(I_{0p}/I_{0a}) \rightarrow \pi/2$$

$$P_{1,0} = p_{ел1,0} + p_{Fe} = I_0^2 r_1 + p_{Fe}$$

$$p_{ел1,0} = I_0^2 r_1 = p_{Fe}$$

$$4) P_{1,0} \approx p_{Fe}$$

Фазови
величини!!!

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 r_1 + j \dot{I}_0 x_{\sigma 1} \approx -\dot{E}_1$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2; \dot{U}_{2,0} = \dot{E}_2$$

$$5) k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{1,0}}{U_{2,0}}$$

Режим на късо съединение на трансформатора - 01

$$U_1 \neq 0; I_1 \neq 0; I_2 \neq 0; \underline{\underline{U_2 = 0}}$$

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_{\sigma 1}$$

$$I_1 = I_M + (-I_2')$$

$$U_2' = E_2' - I_2' r_2' - j I_2' x_{\sigma 2}'$$

$$/ E_1 = E_2' /$$

$$I_M \approx 0$$

$$U_2 = 0; U_2' = k U_2 = 0$$

$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_{\sigma 1}$$

$$I_1 = (-I_2')$$

$$E_2 = I_2' r_2' + j I_2' x_{\sigma 2}'$$

$$/ E_1 = E_2' /$$

Режим на късо съединение на трансформатора – 02

Режим на лабораторно късо съединение

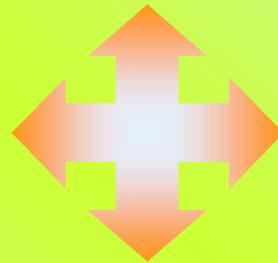
$$U_1 = -E_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_{\sigma 1}$$

$$I_1 = (-I_2)$$

$$E_2 = I_2 r_2' + j I_2 x_{\sigma 2}'$$

$$/ U_1 = U_2' /$$

$$U_2 = 0; U_2' = k U_2 = 0$$



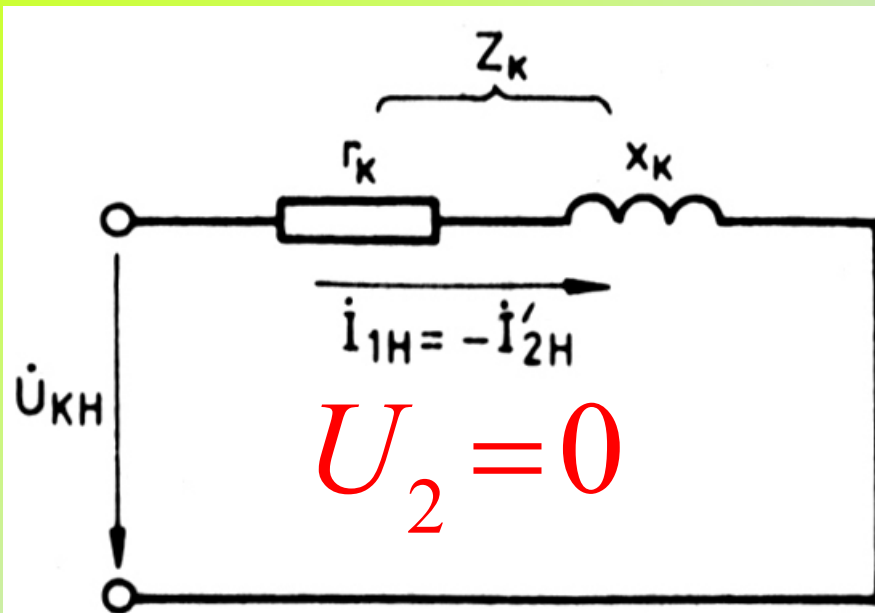
$$I_M \approx 0$$

$$I_1 \leq I_{1H} !!!$$

$$U_{kH} = I_{1H} (r_1 + r_2') + j I_{1H} (x_{\sigma 1} + x_{\sigma 2}') = I_{1H} r_k + j I_{1H} x_k = I_{1H} Z_k$$

$$I_{1H} = -I_{2H}$$

$$u_k \% = \frac{U_{kH}}{U_H} 100$$



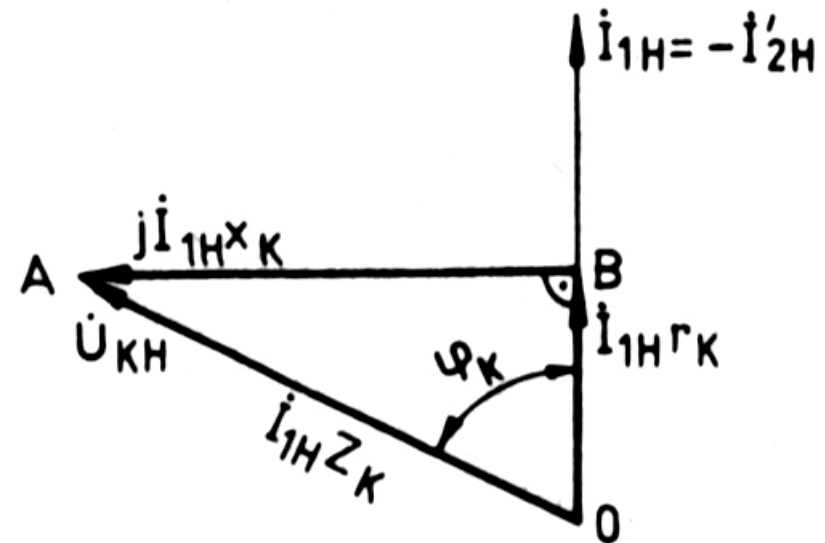
Режим на лабораторно К.С. на трансформатора - 03

$$\dot{U}_{kH} = \dot{I}_{1H} r_k + j \dot{I}_{1H} x_k = \dot{I}_{1H} Z_k$$

$$\dot{I}_{1H} = -\dot{I}_{2H}$$

$$P_{kH} = p_{ел1} + p_{ел2} = I_{1H}^2 r_1 + I_{2H}^2 r_2 =$$

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



Режим на лабораторно **късо съединение** на трансформатора – 04

Характерни особености

$$U_2 = 0; U'_2 = kU_2 = 0$$

$$I_1 \leq I_{1H} \quad !!!$$

$$4\% \leq u_k \% \leq 17\%$$

$$/ u_k \% = \frac{U_{kH}}{U_H} 100 = \frac{I_{1H} Z_k}{U_H} 100 /$$

$$I_M \approx 0$$

$$\Phi_m \approx 0; B_m \approx 0$$

$$p_{Fe} \approx 0$$

$$P_1 = p_{ел1} + p_{ел2}$$

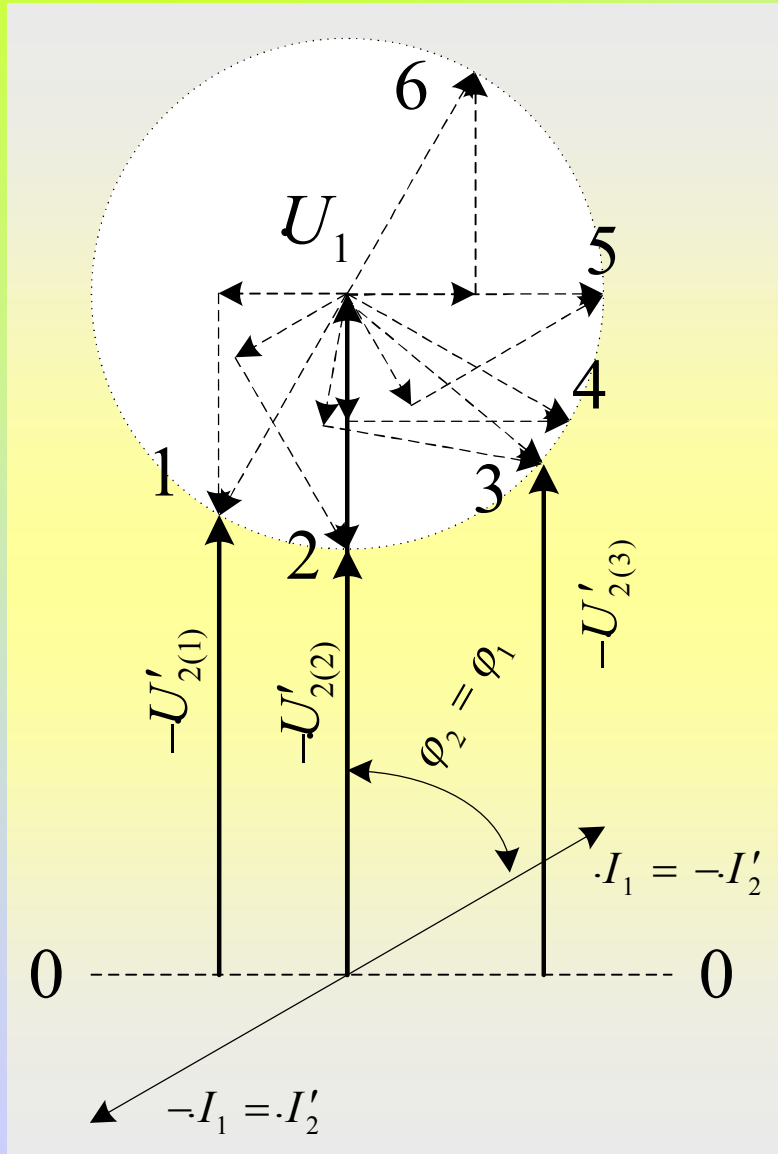
$$P_{кH} = I_{1H}^2 r_1 + I_{2H}^2 r_2 = \\ = I_{1H}^2 r_1 + I'_{2H}^2 r'_2 = I_{1H}^2 r_k \quad !!!$$

Целесъобразно провеждане на измерванията:

а/ Опит на празен ход – от страната на В.Н. или от страната на Н.Н.?

б/ Опит на к.с. – от страната на В.Н. или от страната на Н.Н.?

Определяне на изменението на напрежението на трансформатора по опростената заместваща схема. *Разположение на триъгълника на к.с. при различен характер на товара.*



$$U_1 = -U_2 + I_1 r_k + j I_1 x_k$$

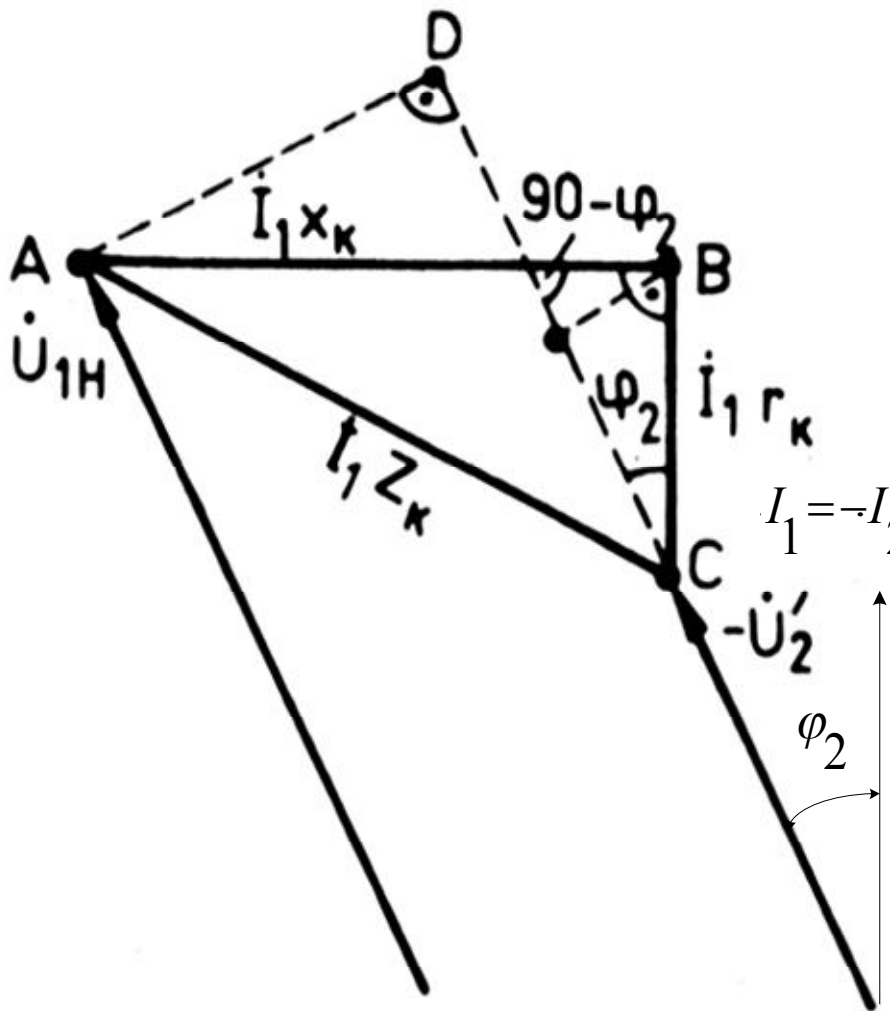
$$I_1 = -I_2$$

$$-U_2 = U_1 - I_1 r_k - j I_1 x_k$$

$$/ I_1 = 0 \Rightarrow -U_2 = U_1 \Rightarrow$$

$$|-U_2| = |U_1| \Rightarrow U_2' = U_1 /$$

Определяне на изменението на напрежението на трансформатора – 02 / по опростена схема /



$$\Delta u\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100 =$$

$$= \frac{kU_{20} - kU_2}{kU_{20}} 100 =$$

$$= \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} 100 \Leftrightarrow U'_{20} = U_{1H}$$

$$\Delta U = U_{1H} - U'_2 = |\dot{U}_{1H}| - |\dot{U}'_2| = \overline{CD}$$

$$\Delta U = |\overline{CD}| = I_1 r_k \cos \varphi_2 + I_1 x_k \sin \varphi_2$$

$$\Delta U = u_{ka} \cos \varphi_2 + u_{kr} \sin \varphi_2$$

Характерни особености на функцията $\Delta U = f(\varphi_2)$

$$\Delta U > 0 \iff U_2 < U_{20}$$

$$\Delta U < 0 \iff U_2 > U_{20}$$

$$\frac{d(\Delta U)}{d\varphi_2} = 0$$



$$\varphi_{2(\max)} = \arctg\left(\frac{x_k}{r_k}\right) = \arctg\left(\frac{u_{kr} \%}{u_{ka} \%}\right)$$

$$\Delta U = 0$$



$$\varphi_{2(0)} = \arctg\left(-\frac{r_k}{x_k}\right) = \arctg\left(-\frac{u_{ka} \%}{u_{kr} \%}\right)$$

$$\varphi_{2(\max)} - \varphi_{2(0)} = 90^\circ$$

Характерни особености на функцията $\Delta U = f(\varphi_2)$

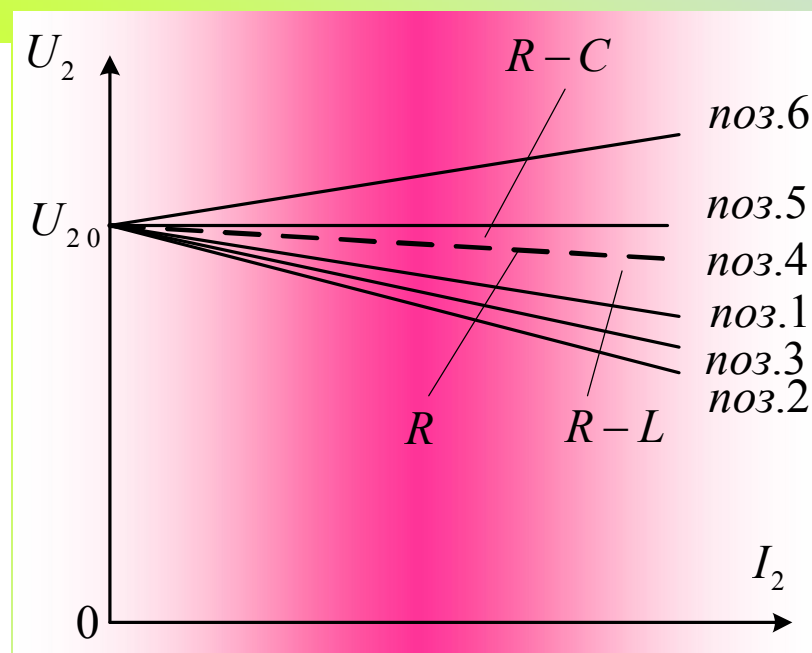
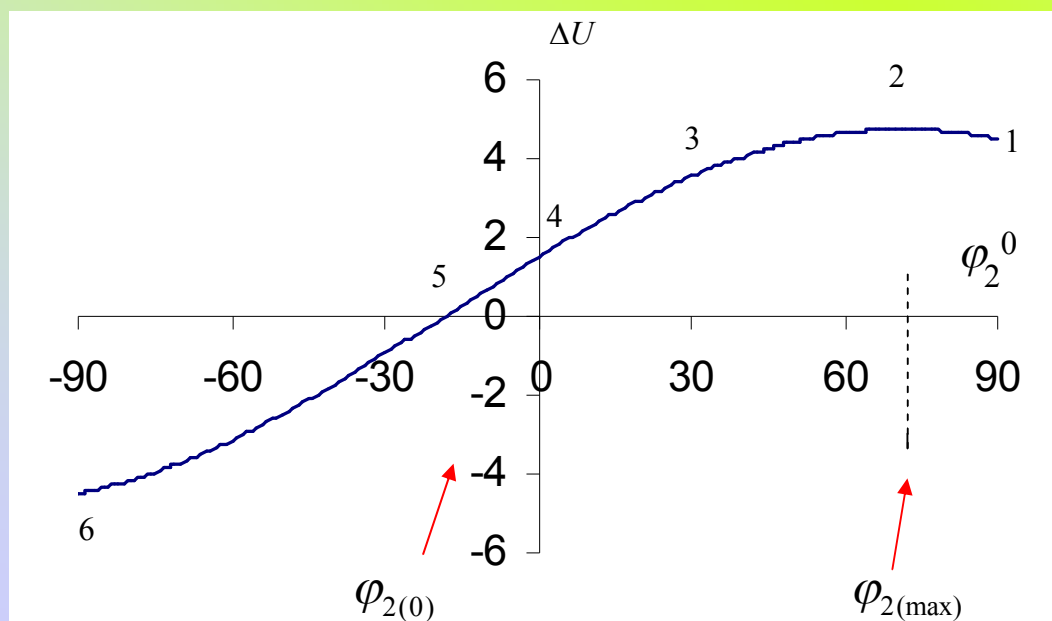
Външни характеристики на трансформатора

$$U_2 = F(I_2)$$

$$U_1 = \text{const.}$$

$$f = \text{const.}$$

$$\cos \varphi_2 = \text{const.}$$



Коефициент на полезно действие на трансформатора – 01

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + p_{el} + p_{Fe}}$$

$$|E_1| \approx |U_{1H}| - \frac{U_{kH}}{2} \approx (0,92 \div 0,97)U_{1H} \approx U_{1H} \rightarrow p_{Fe} \equiv B_m^2 \equiv \Phi_m^2 \equiv E_1^2$$

$$p_{Fe} \approx p_{FeH} = \text{const.!!!}$$

$$p_{el} = p_{el1} + p_{el2} = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 = I_1^2 r_1 + I_2'^2 r_2' = I_1^2 (r_1 + r_2') = I_1^2 r_k$$

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2'}{I_{2H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$$

$$p_{el} = I_1^2 r_k = \beta^2 I_{1H}^2 r_k = \beta^2 P_{kH} = \text{var.!!!}$$

Коефициент на полезно действие на трансформатора - 02

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I'_2}{I'_{2H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + p_{el} + p_{Fe}}$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \beta U_2 I_{2H} \cos \varphi_2 = \beta S_2 \cos \varphi_2 \approx \beta S_H \cos \varphi_2$$

$$p_{Fe} \approx p_{FeH} = \text{const.!!!}$$

$$p_{el} = \beta^2 P_{кH} = \text{var.}$$

$$\eta = \frac{\beta S_H \cos \varphi_2}{\beta S_H \cos \varphi_2 + p_{FeH} + \beta^2 P_{кH}}$$

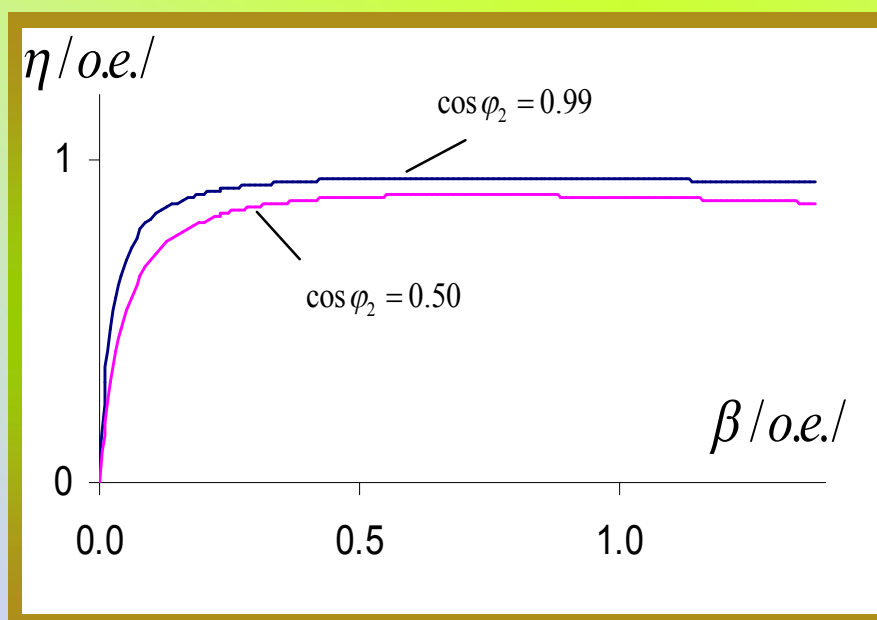
Коефициент на полезно действие на трансформатора – 03

Свойства на функцията $\eta = f(\beta)$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi_2}{\beta S_n \cos \varphi_2 + p_{FeH} + \beta^2 P_{кн}}$$

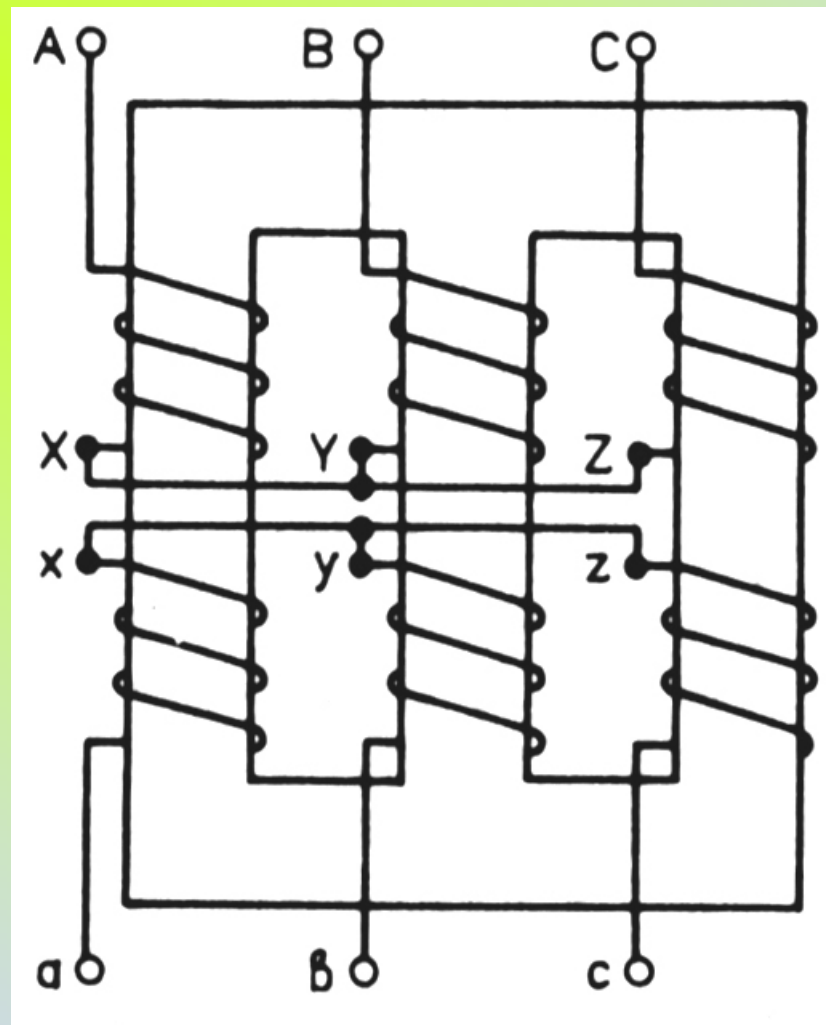
$$1. \quad 0 \leq \beta < \infty \quad \Leftrightarrow \quad 0 \leq \eta < 1$$

$$2. \quad d\eta/d\beta = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \beta_{(\max)} = \sqrt{\frac{P_{FeH}}{P_{кн}}} \quad \Leftrightarrow \quad \beta_{(\max)}^2 P_{кн} = P_{FeH}$$



Трифазен ядрен трансформатор

Принципна схема на активната част



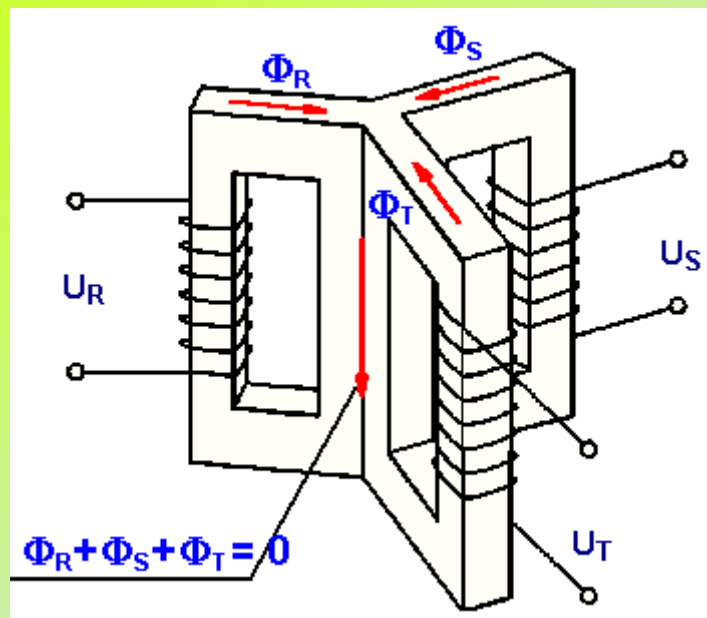
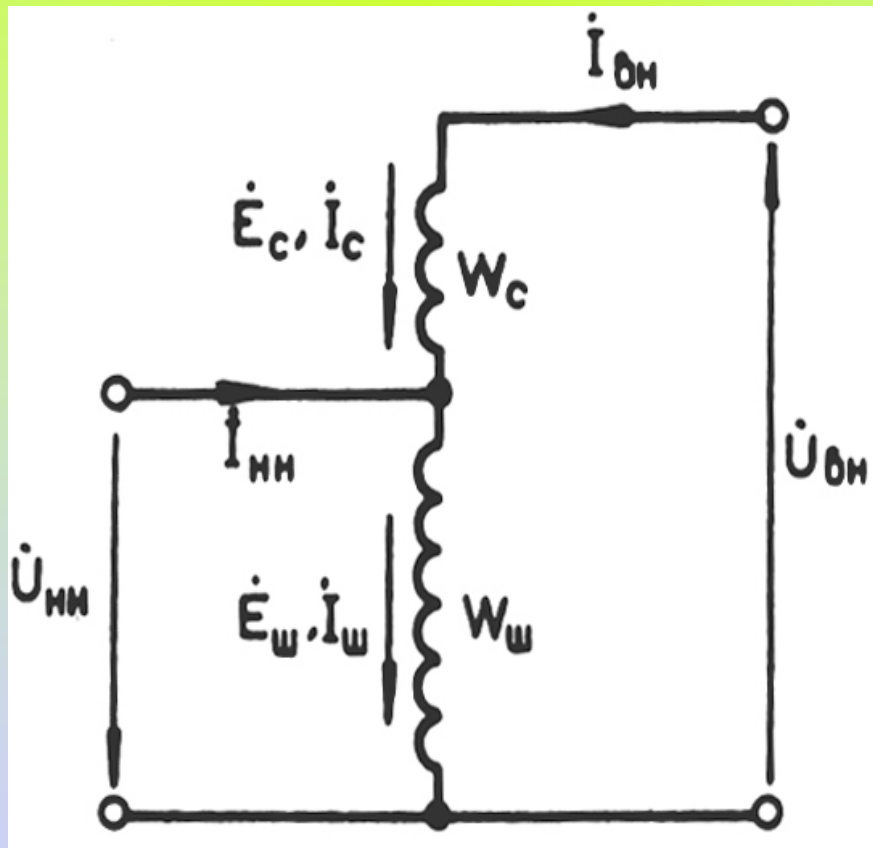


Схема на еднофазен автотрансформатор

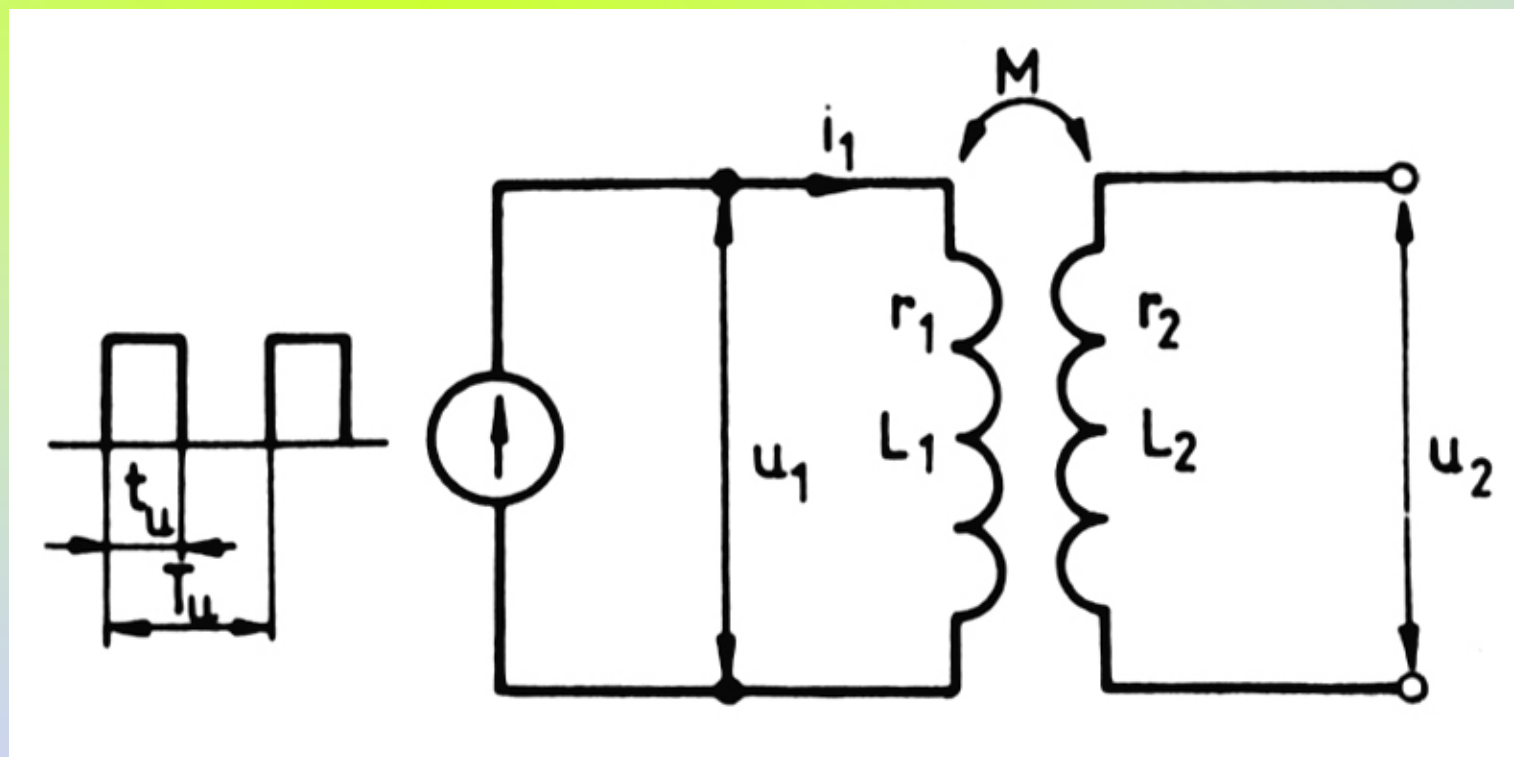


Еднофазен автотрансформатор

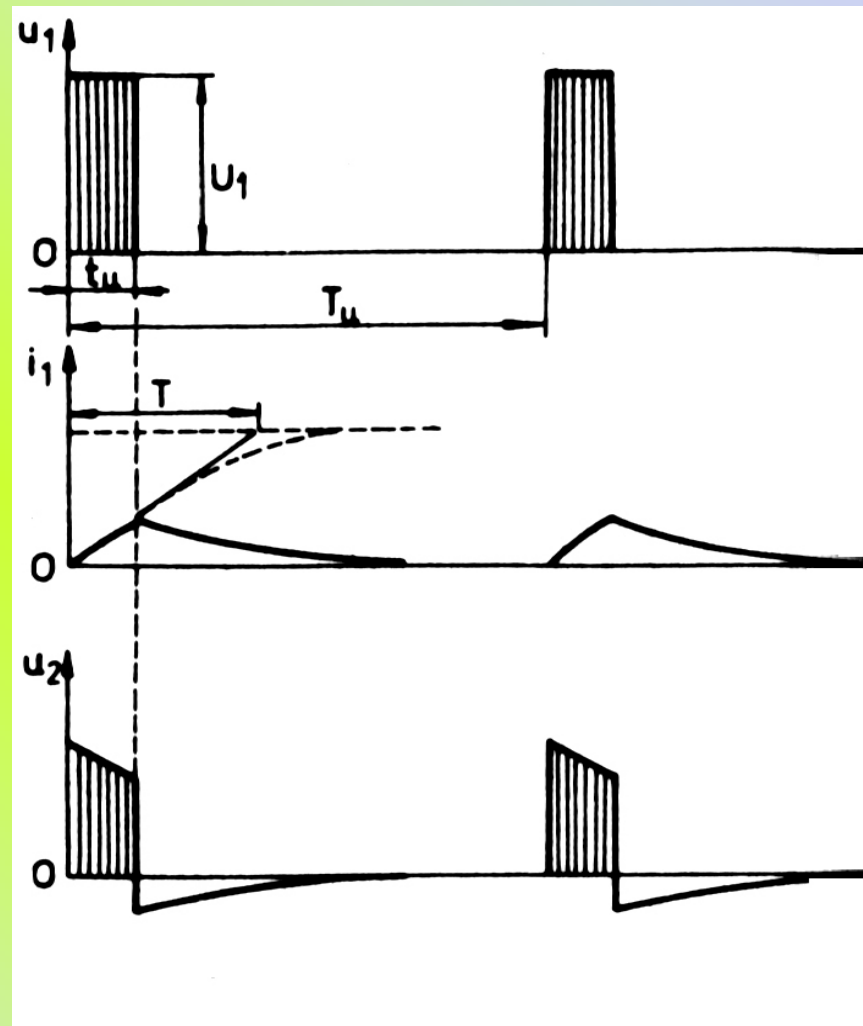
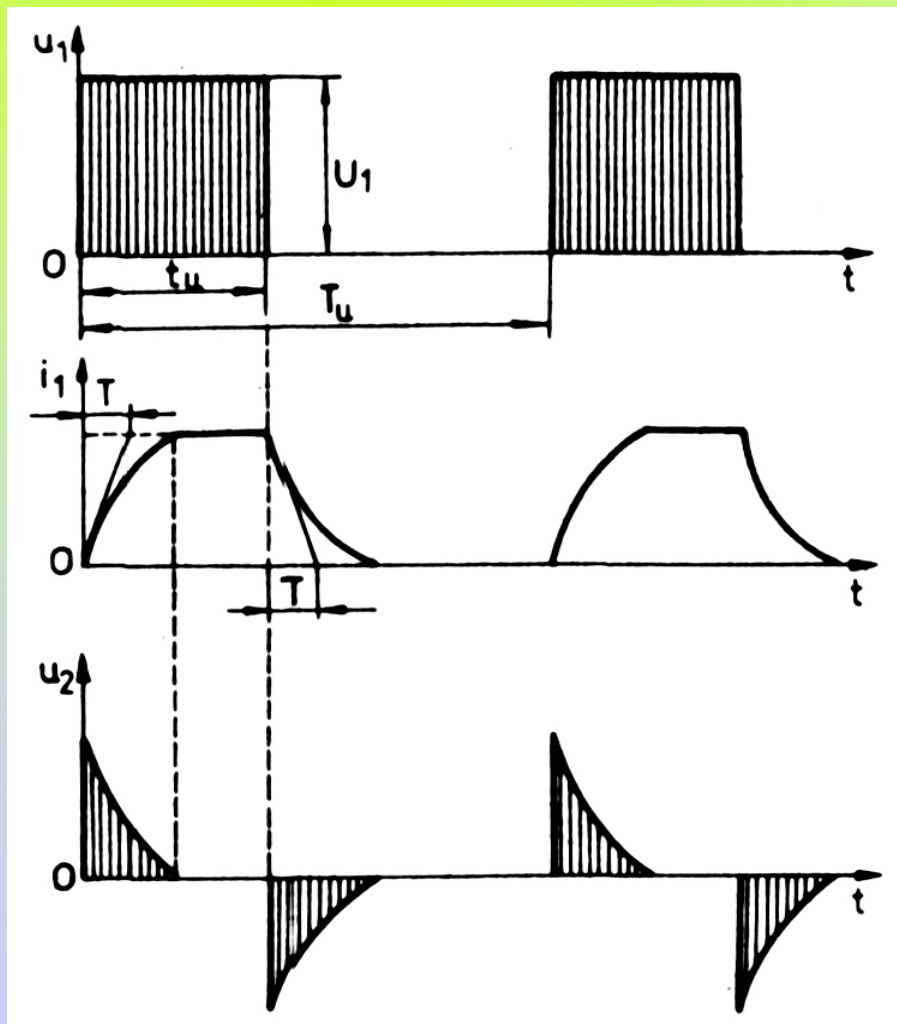
$$S_n = 1100 \text{ VA}$$



Принципна схема на импулсен трансформатор



Крива на напреженията и токовете на импулсен трансформатор



$$t_u \gg T; T_u > T$$

ЕМУ /Лекция № 04/ М.Михов ЕФ

$$t_u \ll T; T_u : 2.5T$$

