



ELEKTRIČNE MAŠINE 1

Ekvivalentna šema i režimi rada transformatora

Profesor s.s.: Dr Zorica Bogicevic, dip.inz.el.

Saradnik u nastavi: Milan Tomović, dip.inz.el.

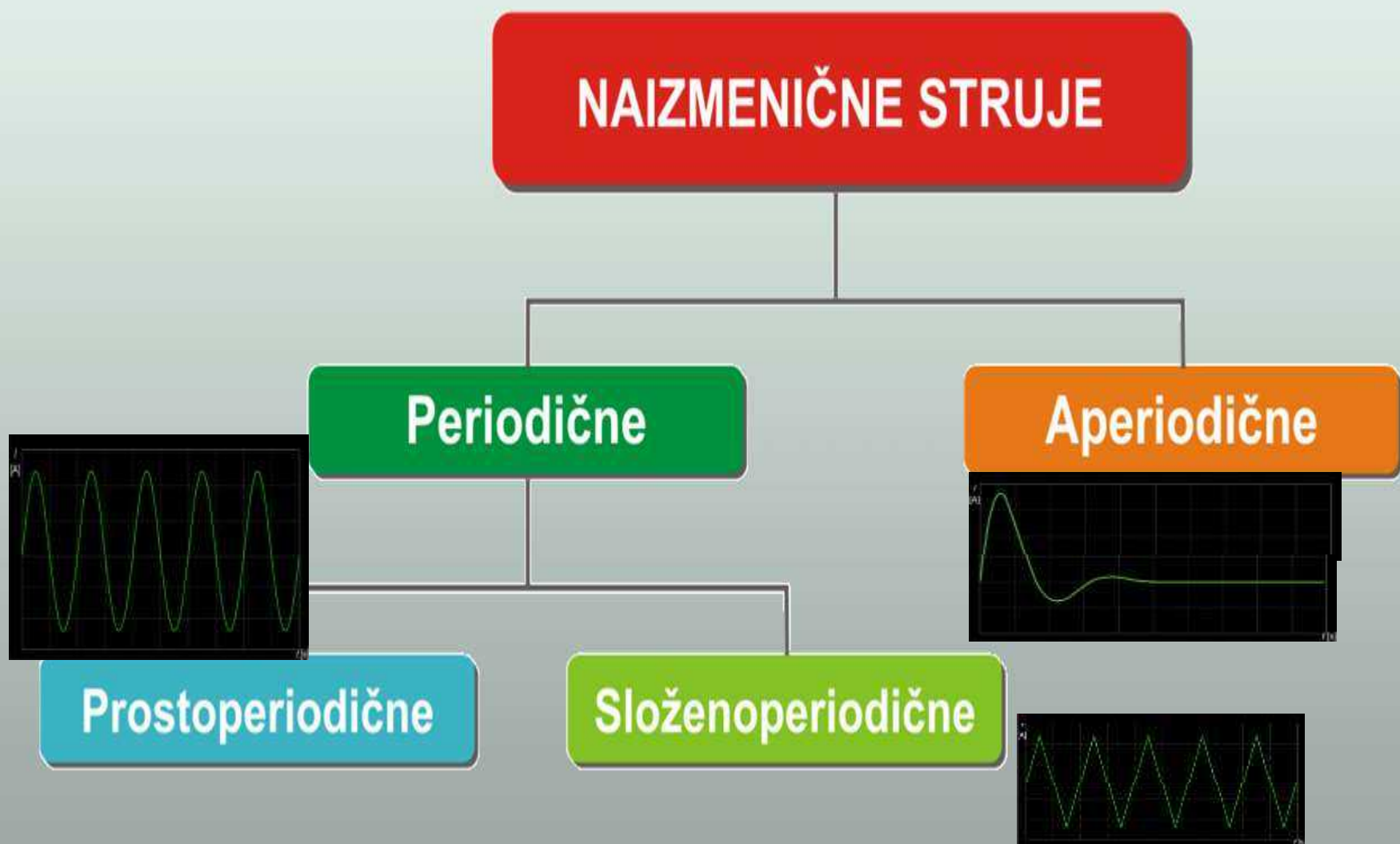
II deo

- NAIZMENIČNE STRUJE su vremenski promenljive struje koje naizmenično menjaju intenzitet, a povremeno i smer.

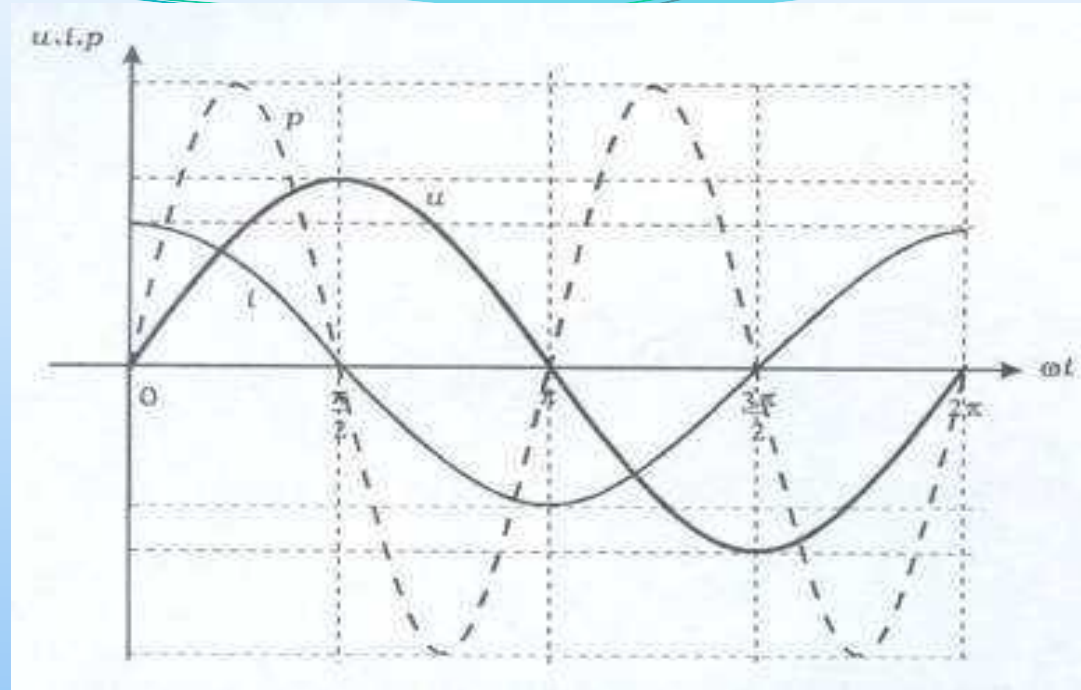
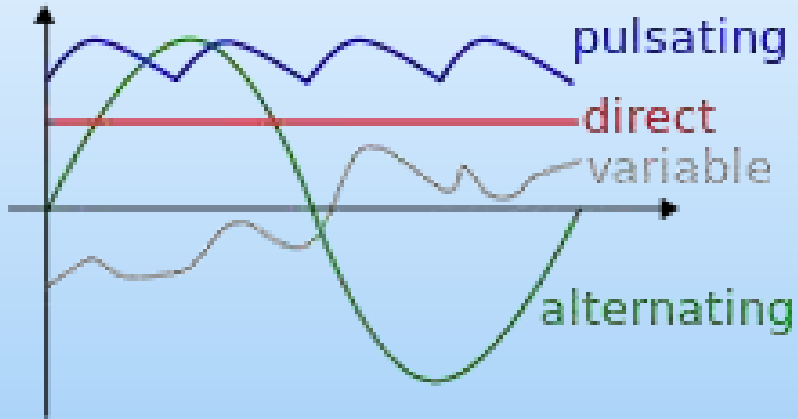
Najčešći zakon po kome se menjaju promenljive veličine kod naizmeničnih struja je sinusoidalni zakon.

Takav zakon omogućava najefikasniji prenos energije.

Prema zakonu promene u funkciji vremena, naizmenične struje mogu se podeliti na sledeći način:



Naizmenična struja



1. Trenutna vrednost:

$$i(t) = I_m \sin \omega t + \varphi$$

Ako je početna faza jednaka nuli:

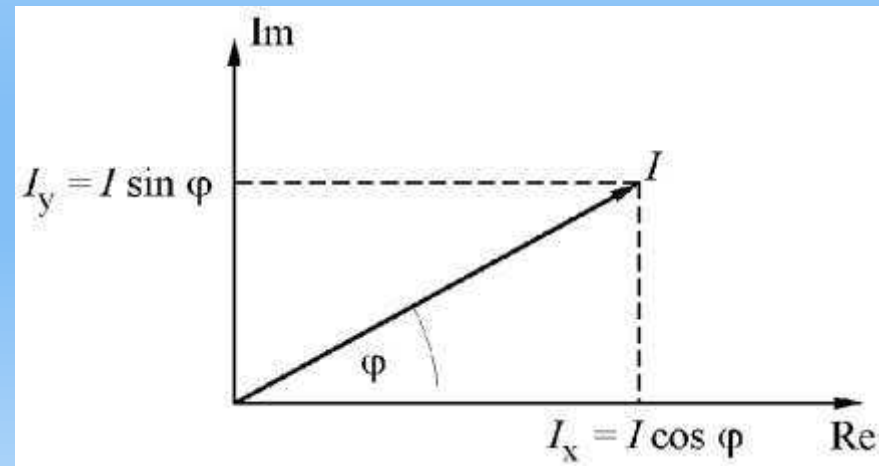
$$i(t) = I_m \sin \omega t$$

3. Kompleksno predstavljanje:

$$I = I_x + j I_y, Z = R + jX, Z = R + j\omega L$$

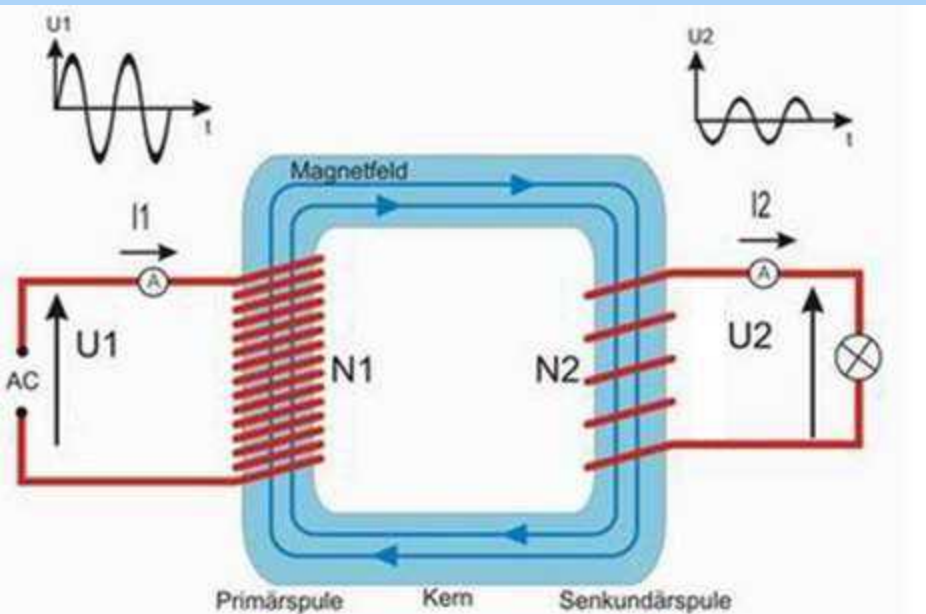
$$I = I \cos \varphi + j I \sin \varphi$$

2. Vektorsko predstavljanje:



2.1. Opste jednačine transformatora

Transformator predstavlja spregnuto kolo primarne i sekundarne strane, pa možemo primeniti sledeće diferencijalne jednačine, u skladu sa naizmeničnim (prostoperiodičnim veličinama):



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

• Trenutna vrednost:

$$u'(t) = L_1 \frac{di'}{dt} + L_{12} \frac{di''}{dt} + R'i'$$

$$u''(t) = -L_2 \frac{di''}{dt} - L_{21} \frac{di'}{dt} - R''i''$$

• Kompleksno pretstavljajanje:

$$U' = jX'I' + jX_{12}I'' + R'I'$$

$$U'' = -jX''I'' - jX_{21}I' - R''I''$$

$$U' = Z'I' + jX_{12}I''$$

$$U'' = -Z_2I'' - jX_{21}I'$$

2.2.MPS i struje transformatora-vektori

Glavnu ulogu u pretvaranju jednog oblika energije u drugi ima magnetski fluks u mag. kolu transformatora.

Za održavanje magnetnog fluksa potrebno je da postoji magnetopobudna sila (mps) koja taj fluks i stvara.

-kada je transformator u radnom stanju:

$F = F' + F''$ - zajednička mps

$$F = N'I' + N''I''$$

-kada transformator nije u radnom stanju (nije opterećen):

$F_0' = F$ - zajednička mps

$$N'I_0' = N'I' + N''I''$$

$$F_0' = N'I' + N''I''$$

2.3. Fluksovi transformatora

Φ -zajednicki fluks

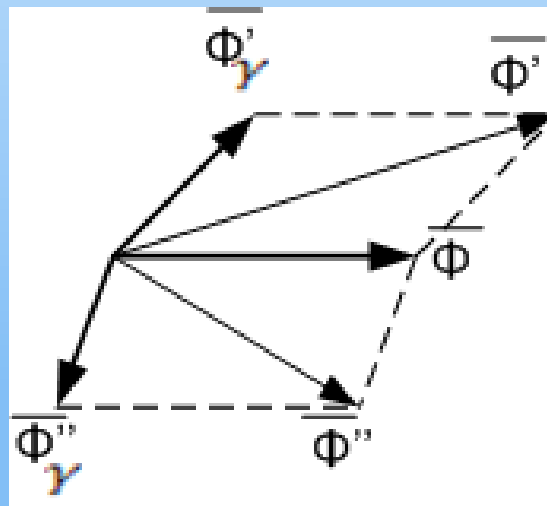
Φ_{γ} -rasuti fluks

Φ' -rezultantni fluks primara

Φ'' -rezultantni fluks sekundara

$$\Phi' = \Phi + \Phi'_{\gamma}$$

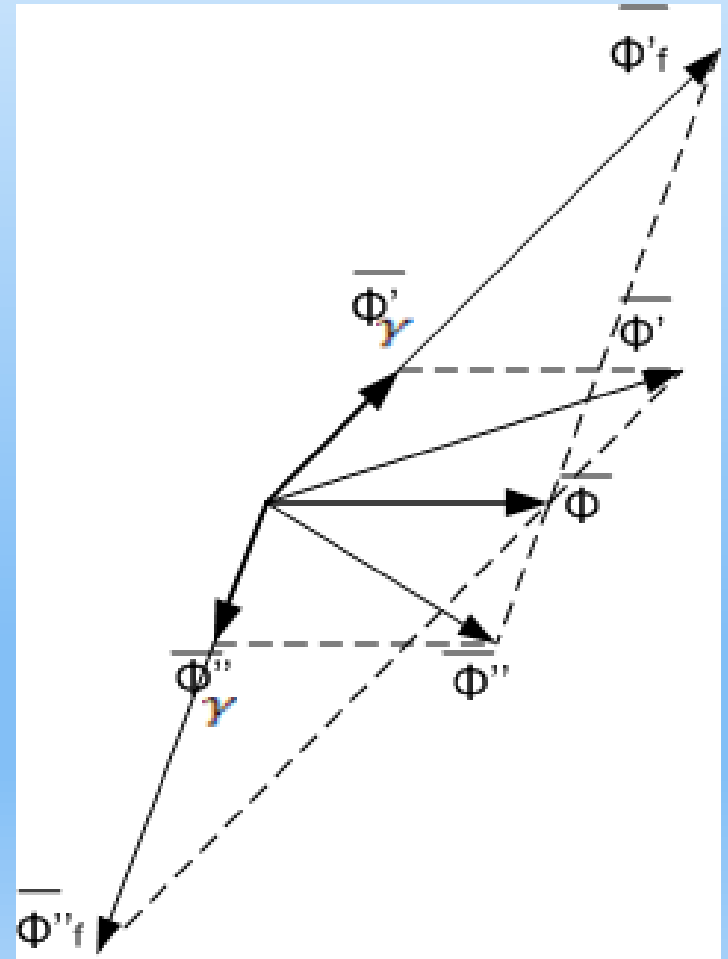
$$\Phi'' = \Phi + \Phi''_{\gamma}$$



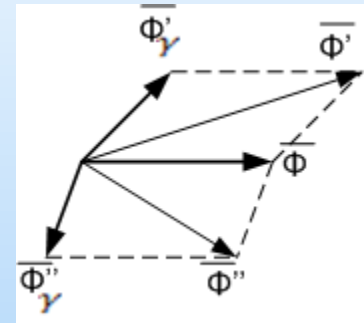
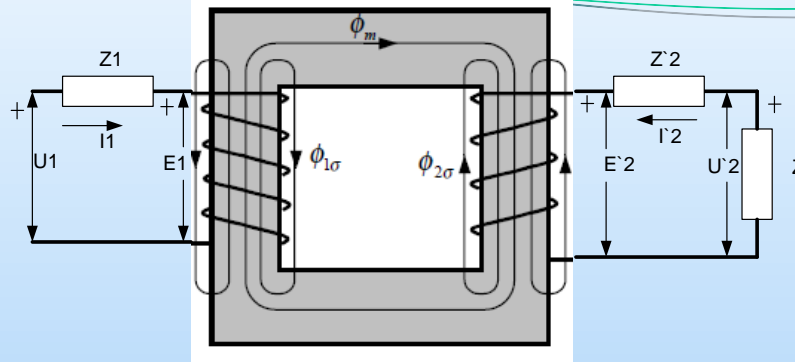
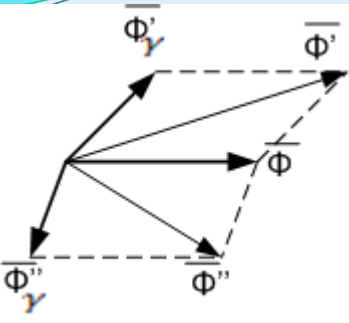
Koliki je udeo primarne i sekundarne mps u stvaranju zajedničkog fluksa, možemo videti kada nacrtamo dva vektora čija je rezultanta zajednički fluks (fiktivni fluks).

Ukupni fluks primara Φ_1 ,
jednak je zbiru fiktivnog i rasutog fluksa

Ukupni fluks sekundara Φ_2 ,
jednak je zbiru fiktivnog i rasutog fluksa



2.4. Vektorski dijagram transformatora



Primar:

- Zajednicki fluks (nastaje usled struje magnecenja i induktivnosti) obuhvata i primarnu i sekundarnu stranu, tako da ce indukovati ems u primaru $E' = 4,44fN'\Phi_m$ ili kompleksno $-j4,44fN'\Phi_m = -Z_m I_o$

Sekundar:

.....
...
..

- Rasuti fluks primara indukuje samo u primarnim namotajima:

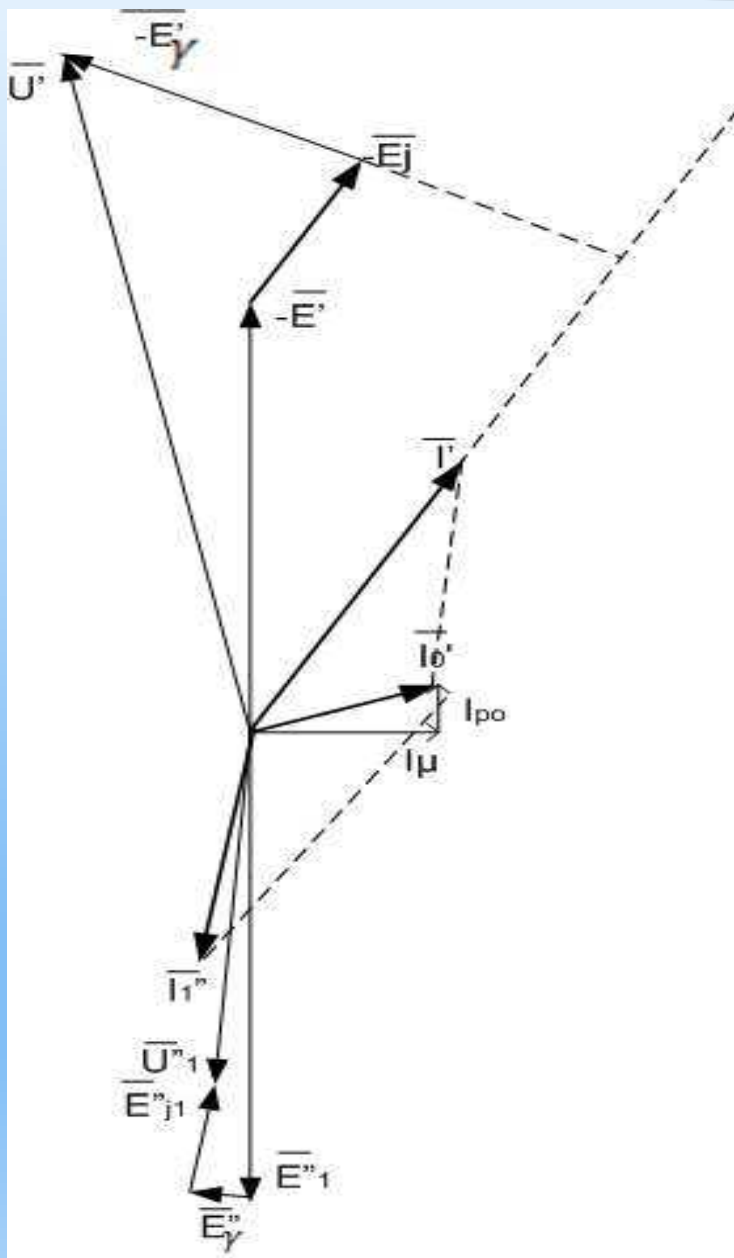
$$E'_{\gamma} = 4,44fN'\Phi'_{\gamma} \text{ ili kompleksno } -j4,44fN'\Phi'_{\gamma} = -jX'_{\gamma} I'$$

- U primaru postoji ems usled omske otpornosti R' : $E'_j = -R'I'$

Jednačina ravnoteže električnih sila: $(U_{ul}-U_{iz})+\Sigma(e)=0$

$$U' + E' + E'_{\gamma} + E'_{j} = 0$$

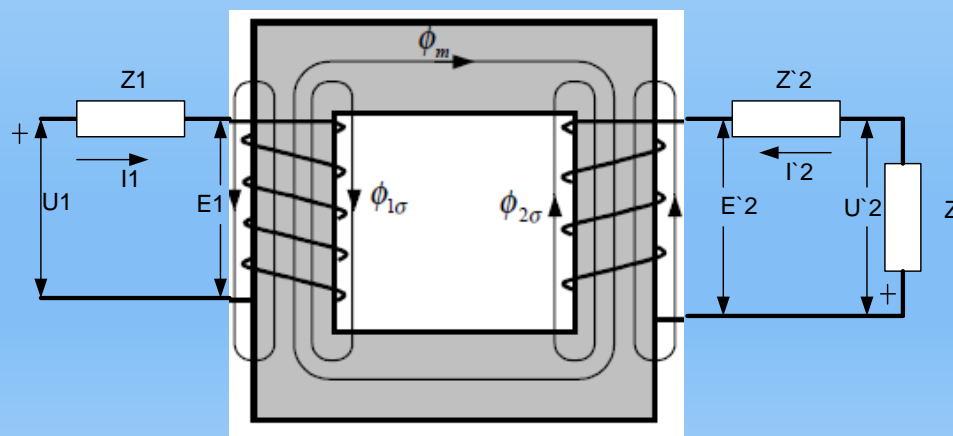
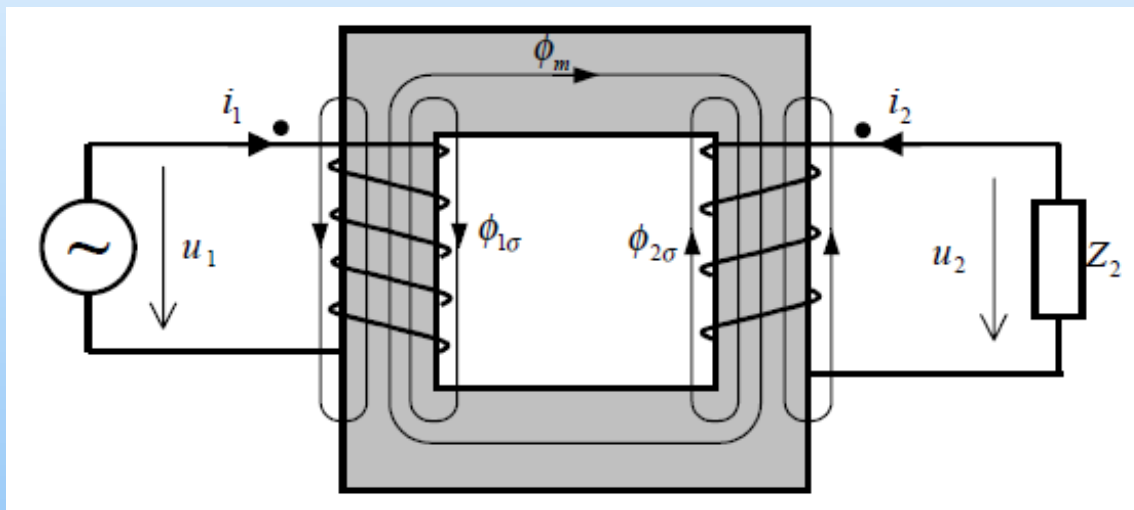
$$U' = -E' - E'_{\gamma} - E'_{j}$$



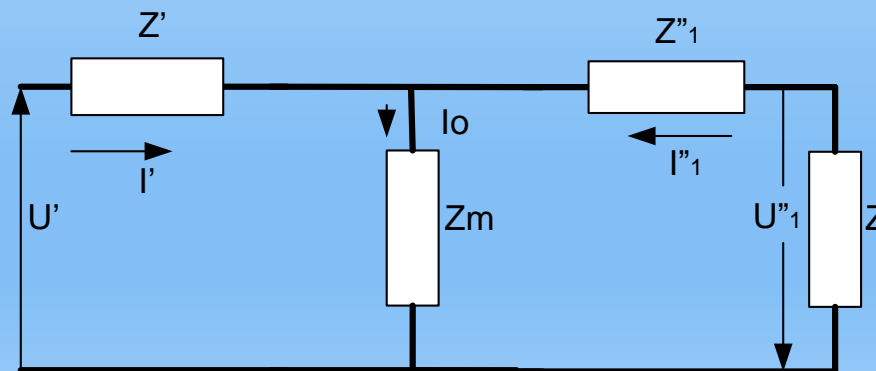
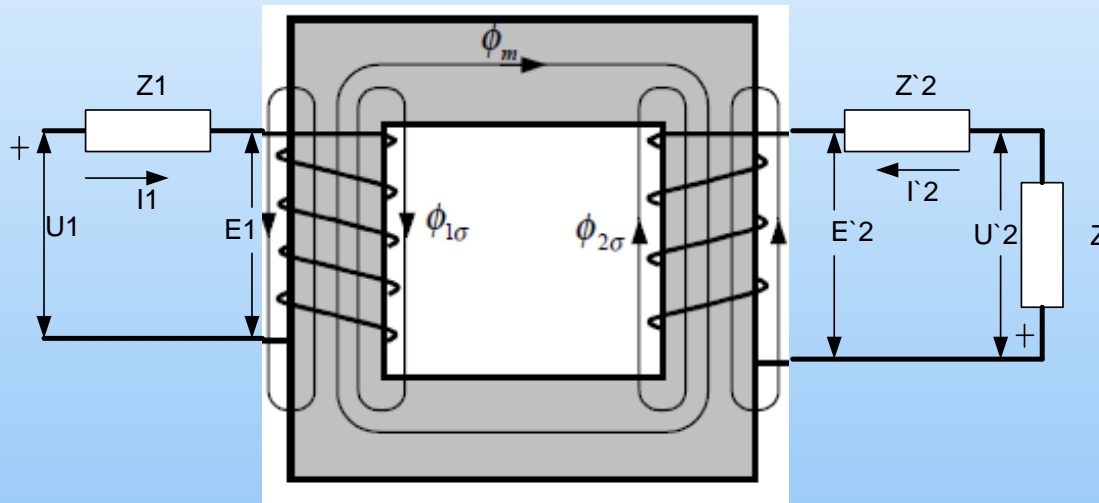
$$-U'' + E'' + E''_{\gamma} + E''_{j} = 0$$

$$U'' = E'' + E''_{\gamma} + E''_{j}$$

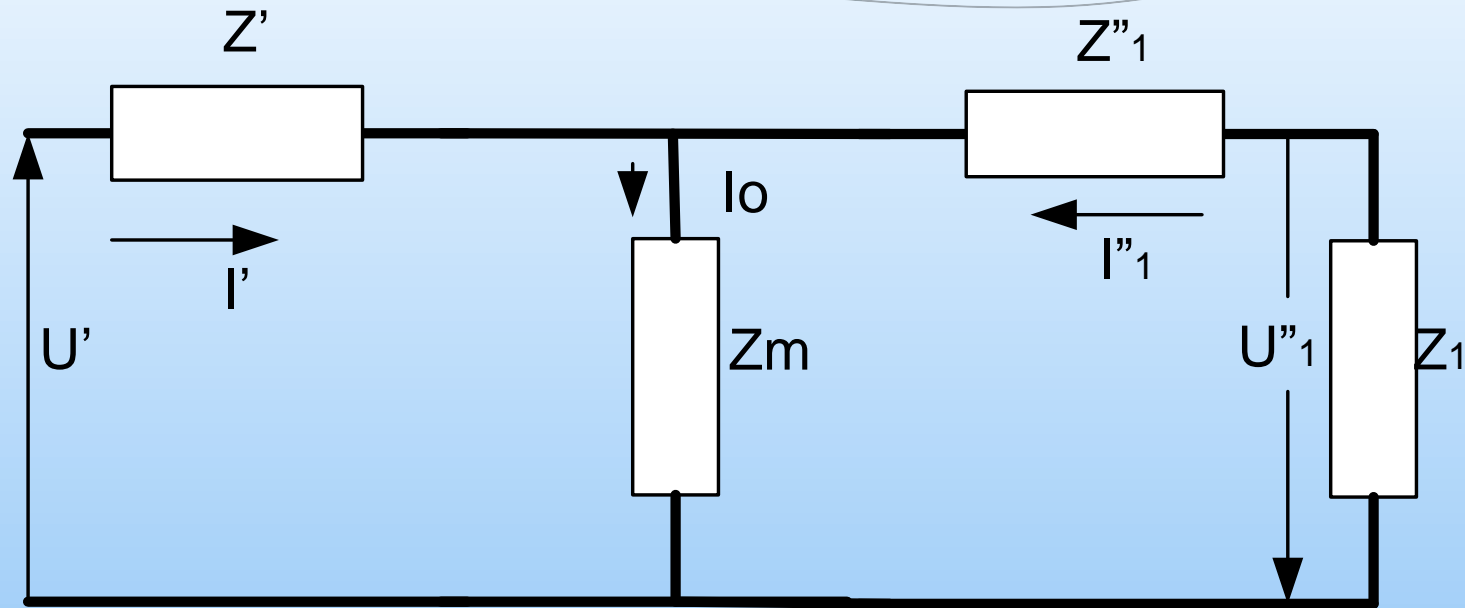
2.5. Ekvivalentna šema transformatora



2.5. Ekvivalentna šema transformatora



2.5. Ekvivalentna šema transformatora



$$U' = Z' I' + Z_m I_0 \quad \dots\dots(1)$$

$$U''_1 = -Z''_1 I''_1 - Z_m I_0 \quad \dots\dots(2)$$

$$I_0 = I' + I''_1 \quad \dots\dots(3)$$

$$U''_1 = Z_1 I''_1 \quad \dots\dots(4)$$

2.5. Ekvivalentna šema transformatora

Iz (1).....
$$U' = I' \left(Z' + Z_m \frac{I_0}{I'} \right) \quad \text{.....(5)}$$

Iz (3).....
$$\frac{I_0}{I'} = 1 + \frac{I_1''}{I'} \quad \text{.....(6)}$$

Iz (4 i 2).....
$$Z_1 I_1'' = -Z_1'' I_1'' - Z_m I_0$$

$$I_1'' (Z_1 + Z_1'') = -Z_m I_0 \quad / I'$$
$$\frac{I_1''}{I'} (Z_1 + Z_1'') = -Z_m \frac{I_0}{I'}$$
$$\frac{I_1''}{I'} = - \frac{Z_m}{Z_1 + Z_1''} \frac{I_0}{I'} \quad \text{.....(7)}$$

2.5. Ekvivalentna šema transformatora

jed.(7) u jed.(6)..
$$\frac{I_0}{I'} = 1 - \frac{Z_m}{Z_1 + Z_1''} \frac{I_0}{I'}$$

$$\frac{I_0}{I'} \left(1 + \frac{Z_m}{Z_1 + Z_1''}\right) = 1$$

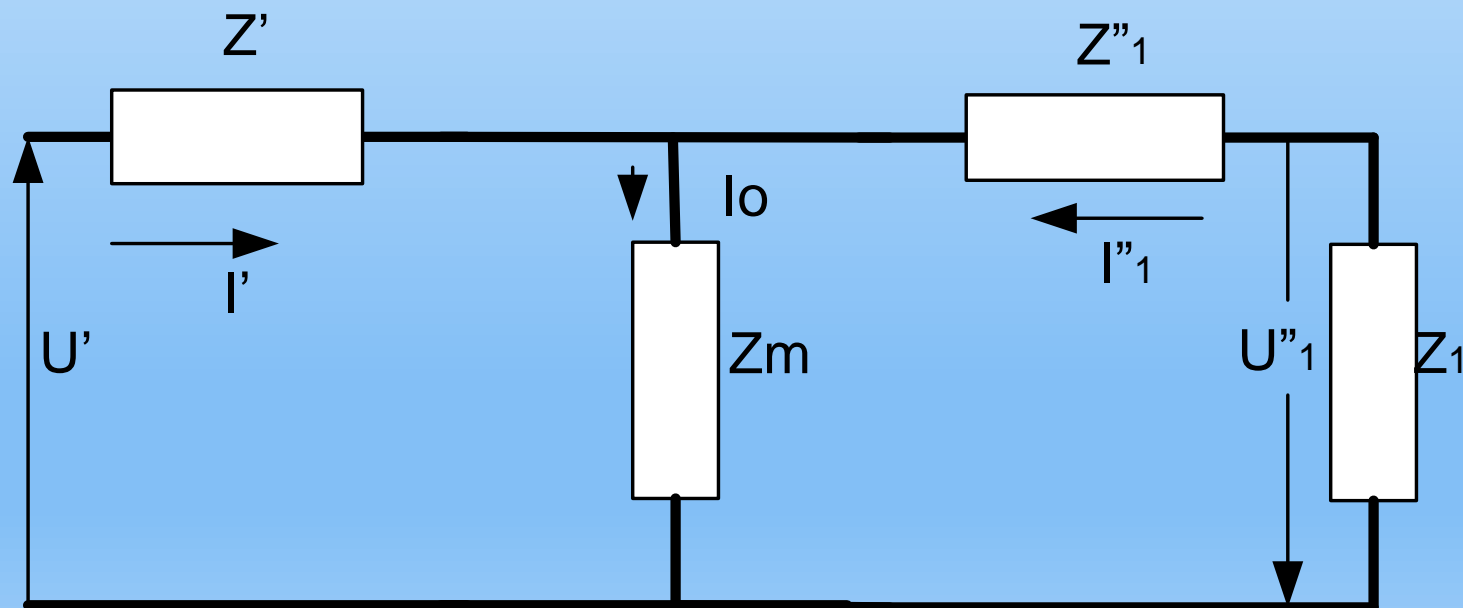
$$\frac{I_0}{I'} \left(\frac{Z_1 + Z_1'' + Z_m}{Z_1 + Z_1''}\right) = 1$$

$$\frac{I_0}{I'} = \frac{Z_1 + Z_1''}{Z_1 + Z_1'' + Z_m} \quad \text{.....(8)}$$

jed.(8) u jed.(5)..
$$U' = I' \left(Z' + Z_m \frac{Z_1 + Z_1''}{Z_1 + Z_1'' + Z_m} \right)$$

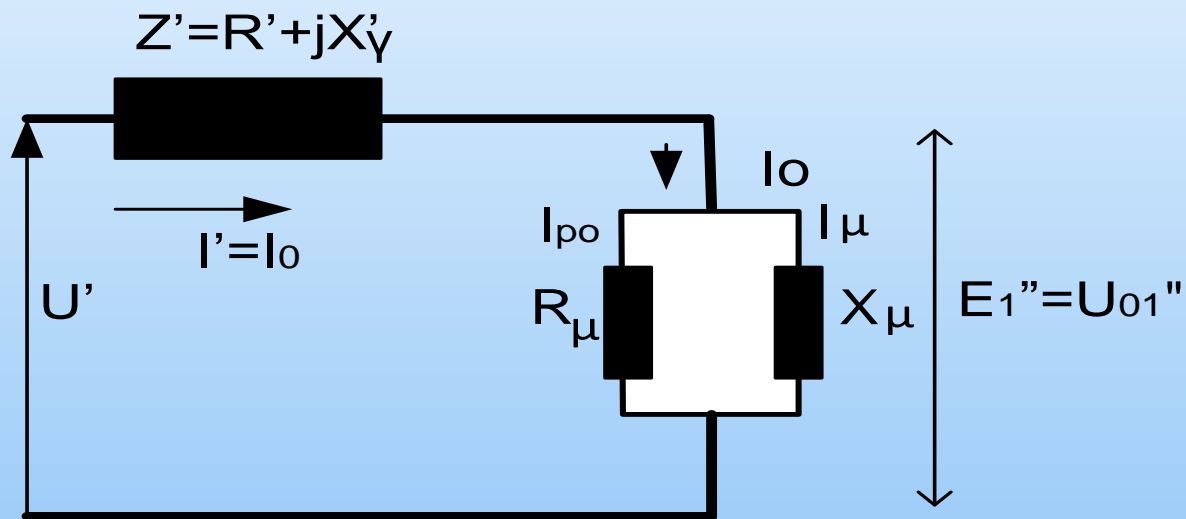
2.6. Radne osobine transformatora

- Na osnovu prethodno izvedenih jednakosti mozemo posmatrati transformator pri opterecenju.
- Postoje jos dva karakteristicna radna stanja transformatora i to **rezim praznog hoda i rezim kratkog spoja.**



2.7. Prazan hod transformatora

Nastaje kada je TR magnetno pobudjen a sekundar neopterećen. U PRAZAN HOD TR se ponaša kao prigušnica na gvozdenom jezgru priključena na naizmenični napon.



Prazan hod se sprovodi zbog određivanja k-ka i kvaliteta transformatora.

Na osnovu podataka izmerenih u ph. određuje se i proverava:

1. odnos transformacije,
2. gubici u gvožđu TR.

$$m_T = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$P_0 = P_{Cu0} + P_{Fe} \approx P_{Fe}$$

2.7. Prazan hod transformatora

Ogled ph. je sastavni deo ispitivanja svakog TR

Iz snage koju uzima transformator u praznom hodu pri nom. naponu napajanja dobijamo nominalne gubitke gvožđu i uobičajeno se primenjuje sa nižeg napona.

Tokom ogleda praznog hoda meri se:

- Napon napajanja $U_0 \approx U_n$.
- Struja primara I_0 – struja ph. I_0 (0,2÷1% I_n).
- Snaga uzeta iz mreže P_0 –snaga praznog hoda.

Za ocenu kvaliteta magnetnog kola TR karakt. podaci su relativna struja ph. i_0 i faktor snage ph. $\cos\varphi_0$.

$$i_0 = \frac{I_0}{I_n} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 \cdot I_n} \cdot 100$$

Mali jednofazni transformatori			Trofazni transformatori		
S_n [VA]	i_0 [%]	$\cos\varphi_0$	S_n [kVA]	i_0 [%]	$\cos\varphi_0$
25	22	0,28÷0,35	10	3	0,35÷0,4
100	17		50	1,5	
250	15		100	0,8	
500	14		1000	0,5	
1000	13		10000	0,3	
2000	11		100000	0,21	
4000	8		300000	0,18	

2.7. Prazan hod transformatora

- Prazni hod:
 - sekundar nije opterećen - stezaljke su otvorene,
 - primar priključen obično na nazivni napon.
- Teče struja samo u primarnom namotu – struja praznog hoda:

$$I_1 = I_0$$

- Struja praznog hoda mala - zanemarivi padovi napona i gubici u primaru.

- Vrijedi:
$$\frac{U_1}{U_2} \cong \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$m_T = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

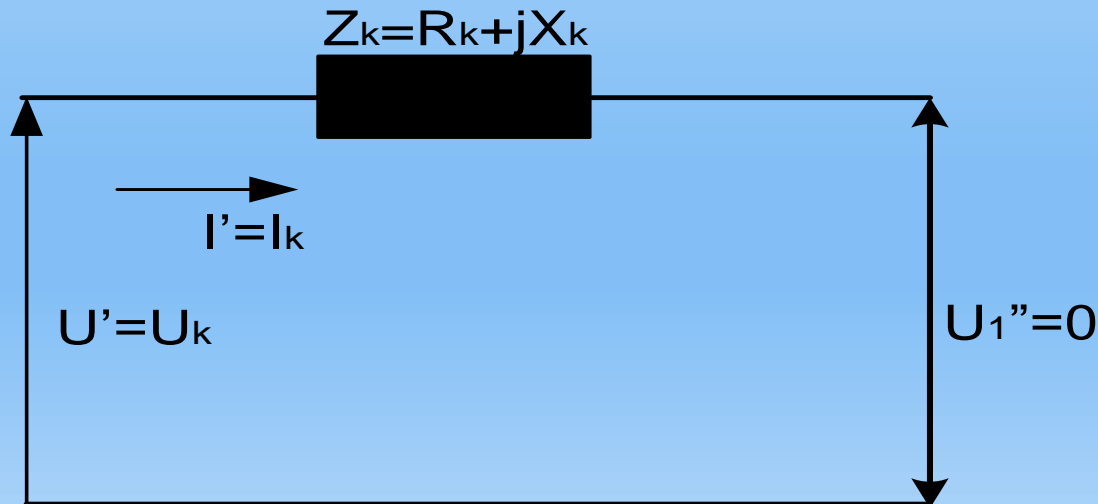
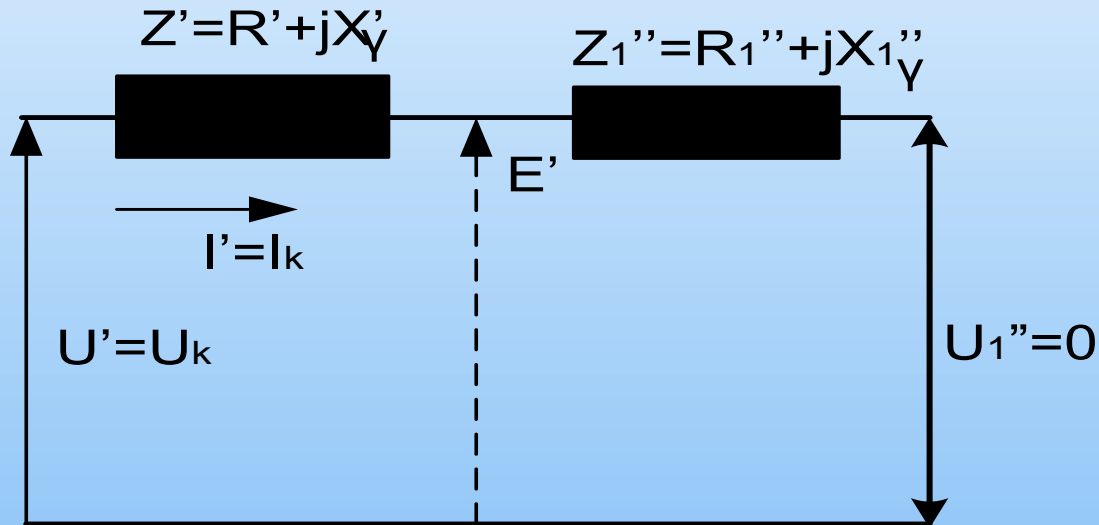
$$P_0 = P_{Cu0} + P_{Fe} \approx P_{Fe}$$

2.8. Kratak spoj transformatora

Kratak spoj je režim rada u kome je namotaj sekundara kratko spojen.

U slučaju da KS. nastaje kada je primarni namotaj priključen na U_n , govori se o havarijskom KS., struje u namotajima tada iznose 10 do 20 x I_n .

Ovolike struje dovode do povećanih termičkih i mehaničkih naprezanja TR.



Pomoću ovog oglada se određuju parametri ekvivalentne šeme – redna grana.

Izračunava se:

- impedansa KS: $Z_k = U_k / I_k = U_{kn} / I_{kn}$

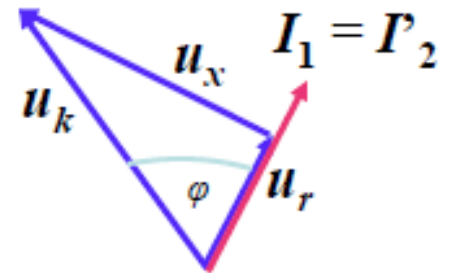
- reaktansa KS: $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$

$$\underline{U}_k = (R_k + jX_k)\underline{I}_k$$

$$u_k = \frac{U_k}{U_n} = \frac{Z_k I_n}{U_n}$$

$$u_r = \frac{R_k I_n}{U_n} = \frac{P_k}{S_n}$$

$$u_x = \frac{X_k I_n}{U_n} = \sqrt{u_k^2 - u_r^2}$$



Kapov trougao-
Trougao kratkog spoja

KAPOV TROUGAO-Razlike u parametrima malih i velikih transformatora

Mali transformator

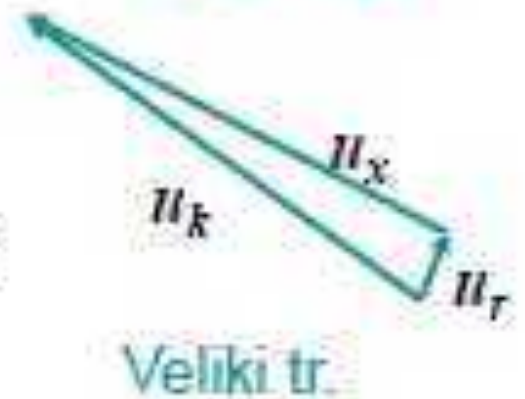
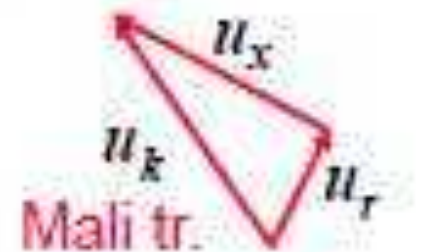
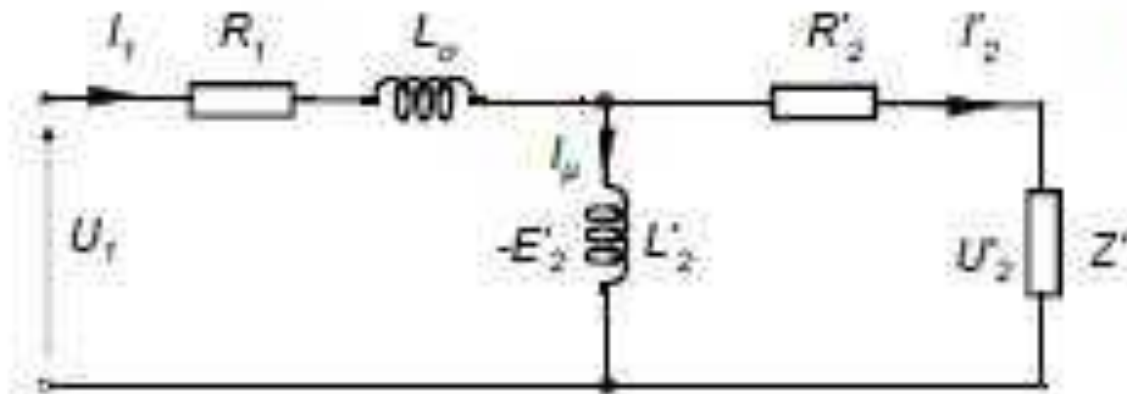
$$R_1 \approx R'_2 = 1 \%$$

$$X_\sigma = L_\sigma = 5 \%$$

Veliki transformator

$$R_1 \approx R'_2 = 0,1 \%$$

$$X_\sigma = L_\sigma = 12 \%$$



2.8. Kratak spoj transformatora

- Zbog niskog napona zanemareni su gubici u Fe
- Snaga iz mreže se troši na gubitke u namotajima

$$P_k = P_{Cu} = P_{Cu}' + P_{Cu}'' = R_k I_k^2$$

$$I_k = I_n, P_k = P_{Cun}$$