

Förra gången:

- Avslut 3-fas,
- Spänningsfall
- Inledande om reaktiv effektkompensering

Idag (och i morgon):

- Rep+avslut faskompensering
- Enkel/utvidgad transformatormodell
- Öppen krets/kortslutningsmodell
- Basimpedansberäkningar
- 3-fastransformator

R, L och C för luftledningar och kablar

$$R = \frac{\rho}{A} l \quad \Omega/\text{fas} \quad \rho_{\text{Cu}} = 17,5 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{km}} ; \quad \rho_{\text{Al}} = 27,0 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{km}}$$

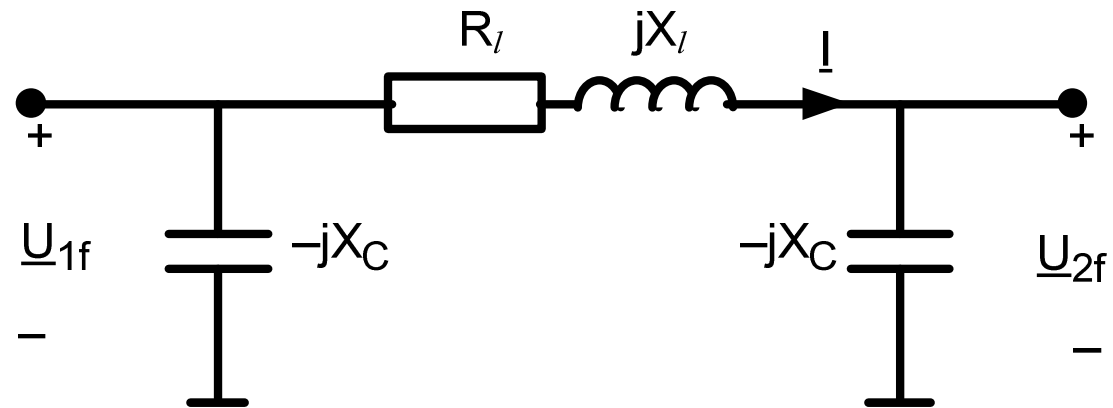
$$C = \frac{1}{18 \ln \left(\frac{\sqrt[3]{abc}}{r} k \right)} \quad \mu\text{F}/\text{km}/\text{fas} \quad a, b, c - \text{avstånd mellan faser}$$

$$L = 10^{-4} \left(2 \ln \frac{\sqrt[3]{abc}}{r} + 0,5 \right) \quad \text{H}/\text{km}/\text{fas}$$

3-fas ledningar skruvas (transponeras)

C för luftledningar: $9 \times 10^{-3} \div 11 \times 10^{-3} \mu\text{F}/\text{km}$

Ett ekvivalent Y-fasschema för
en ledning



π – schema

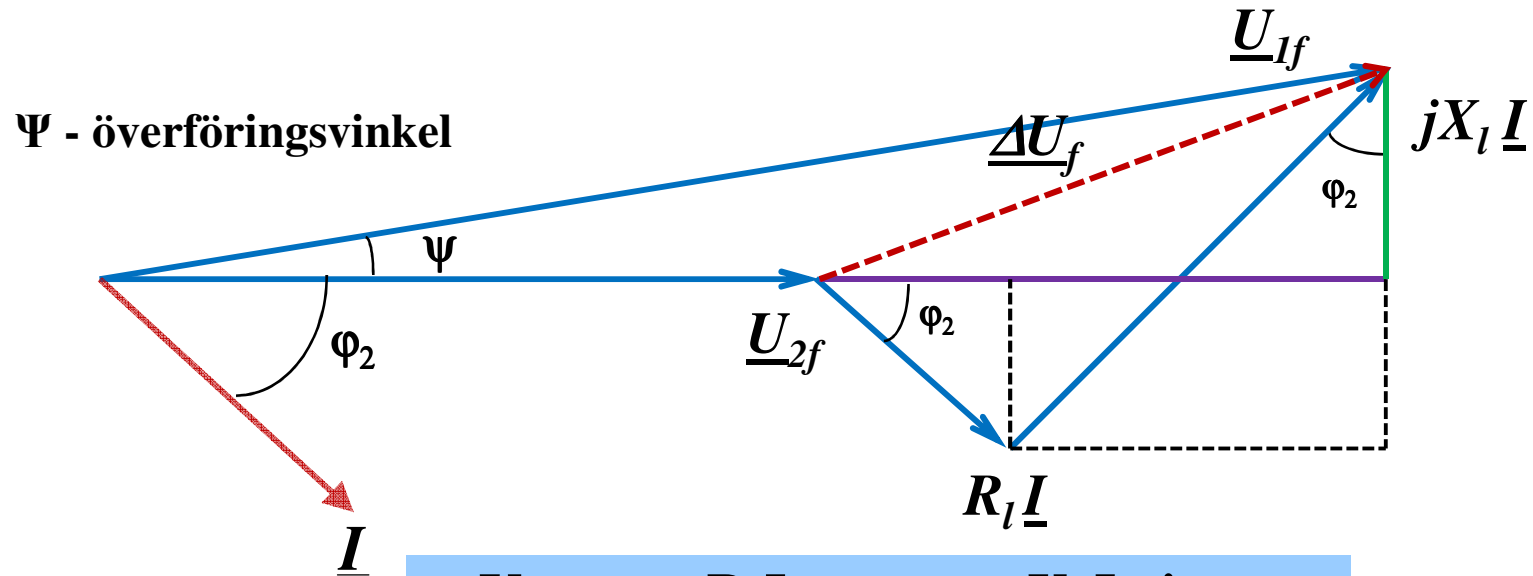
G - försummas

Koronaurladdningar



— längsspänningsfallet

— tvärspänningsfallet



$$U_{\text{längsf}} = R_l I \cos \varphi_2 + X_l I \sin \varphi_2$$

$$U_{\text{tvärf}} = X_l I \cos \varphi_2 - R_l I \sin \varphi_2$$

$$U_{\text{längs}} = \frac{R_l P_2 + X_l Q_2}{U_2}$$

$$P_{\text{förl}} = P_1 - P_2 = 3R_l I^2 = R_l \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2}$$

Kondensatorbatteri



Faskompensering:

shuntkompensering

$$P_f = P_L; \quad Q_f = Q_L - Q_c$$

$$Q_c = 3 \cdot X_c \cdot I_c^2 = 3 \frac{U_c^2}{X_c} = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot U_c^2$$

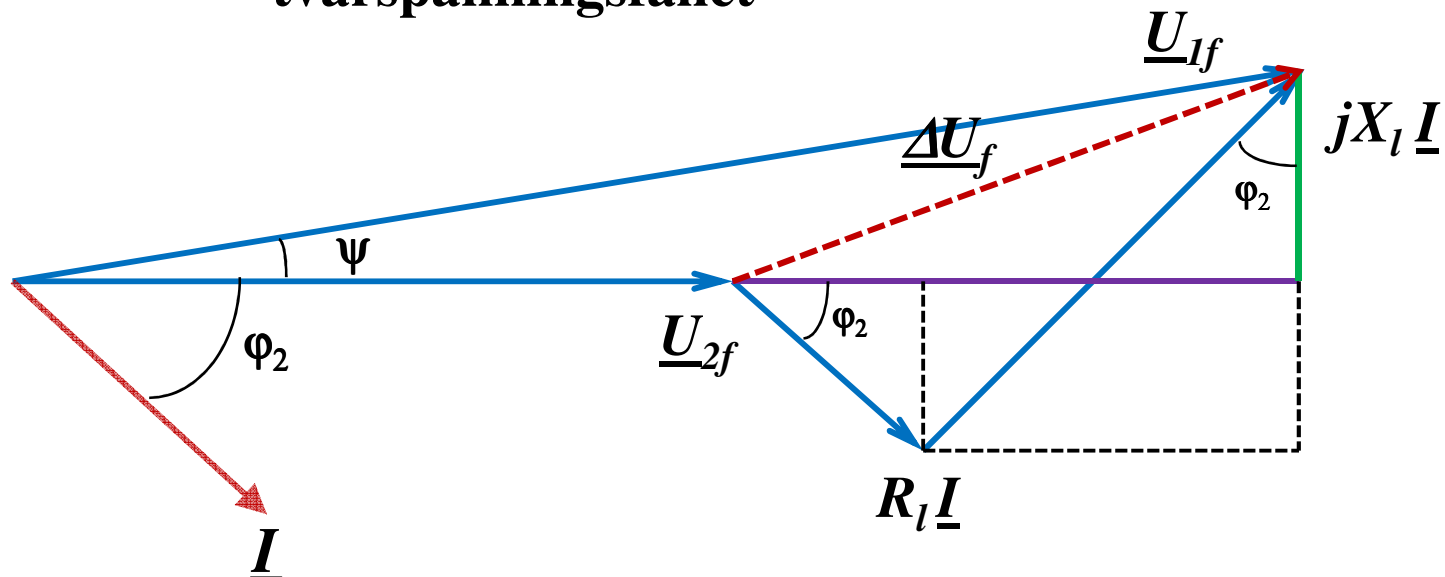
seriekompensering

$$U_{\text{längs}} = \frac{R_l P_2 + (X_l - X_c) Q_2}{U_2}$$

Spänningsfall i en ledning

— längsspänningsfallet

— tvärspänningsfallet



Kort repetition av magnetiska kretsar:

Magn. flöde	Φ	$[1 \text{ Wb} = 1 \text{ V/s}]$
Magn. flödestäthet	B	$[1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2]$
Mag. fältstyrka	H	$[1 \text{ A/m}]$
Sammanlänkande flöde	ψ	
Permeabilitet för vakuum	$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$	$[\text{Vs/Am}]$

Vi definierar den **magnetiska flödestätheten $\underline{B}$** som ett mått på antalet fältlinjer som per ytenhet passerar genom en yta som är vinkelrät mot fältlinjerna:

$$\Phi = \int_A \underline{B} d\underline{A}$$

Ampers cirkulationslag: ett samband mellan linjeintegralen av **$\underline{H}$** (den magnetiska fältstyrkan) längs en sluten väg och **strömmen $\underline{I}$** i en ledare som passerar den inneslutna ytan:

$$\oint_s \underline{H} d\underline{s} = \sum_{j=1}^N \underline{I}_j$$

$$\text{mmk} - F_m = N \cdot I \qquad F_m = R_m \cdot \Phi$$

$$\text{Reluktans} \quad R_m = \frac{l}{\mu_r \mu_0 A} \quad \left[\frac{A}{Vs} \right]$$

Permeabilitetstal (relativa permeabiliteten) - μ_r för:

Diamagnetiska material

Bly	0,9999831
Koppar	0,9999906
Vatten	0,9999912

Paramagnetiska material

Platina	1,000293
Aluminium	1,0000214
Luft	1,000000365

Ferromagnetiska material

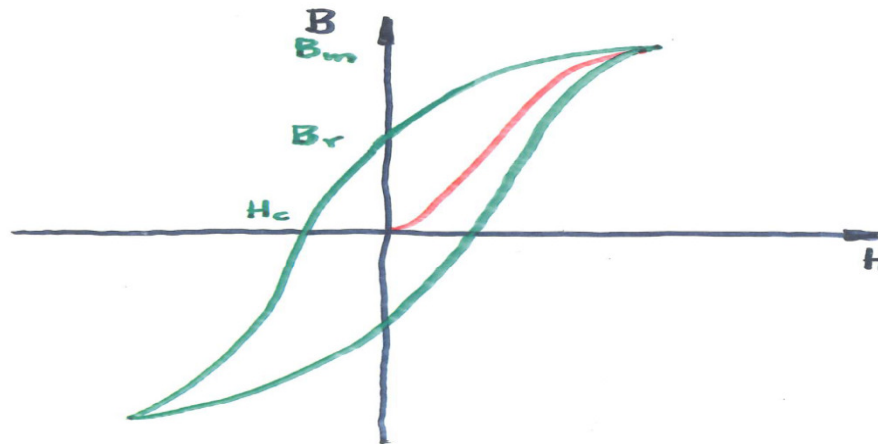
Järn	600 – 1000 000
gjutjärn	600
Permalloy (Fe-Ni legering)	100 000
Kiselplåt	7 000

1. För varje sluten slinga i magnetkretsen gäller att summan av mmk:erna är noll:

$$F_m - \sum_{j=1}^n R_{mj} \phi_j = 0$$

2. Summan av magnetflöde i varje nod i magnetkretsen är noll:

$$\sum_{j=1}^n \phi_j = 0$$



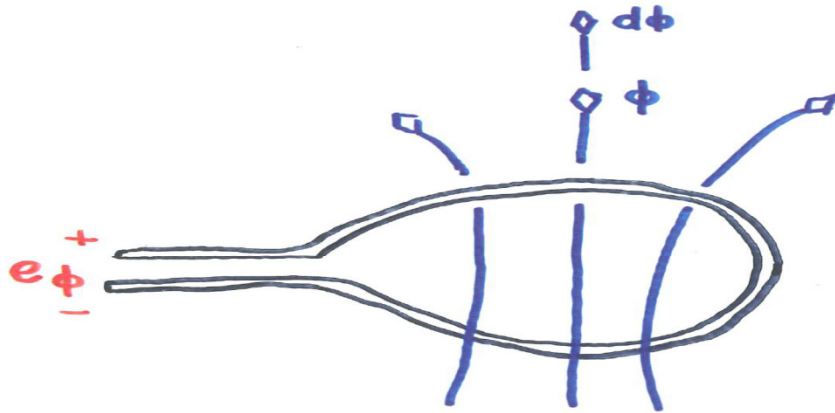
B_r - remanens
 H_c - koercitivfältstyrka

$\sim f$
 Hystereseförluster

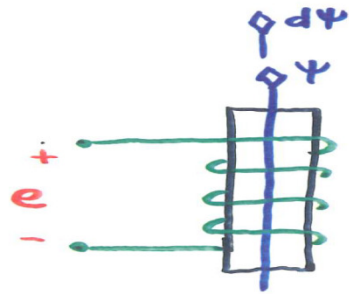
Virvelströmsförluster
 $\sim f^2$

$\mu_r \neq \text{konst}$

Induktionslagen - Faraday



$$e_{\phi} = \frac{d\phi}{dt}$$



$$e = \frac{d\Psi}{dt}$$

$$\Psi = L I$$

$$L = \mu_r \mu_0 N^2 \frac{A}{l} = \frac{N^2}{R_m} \quad [H]$$

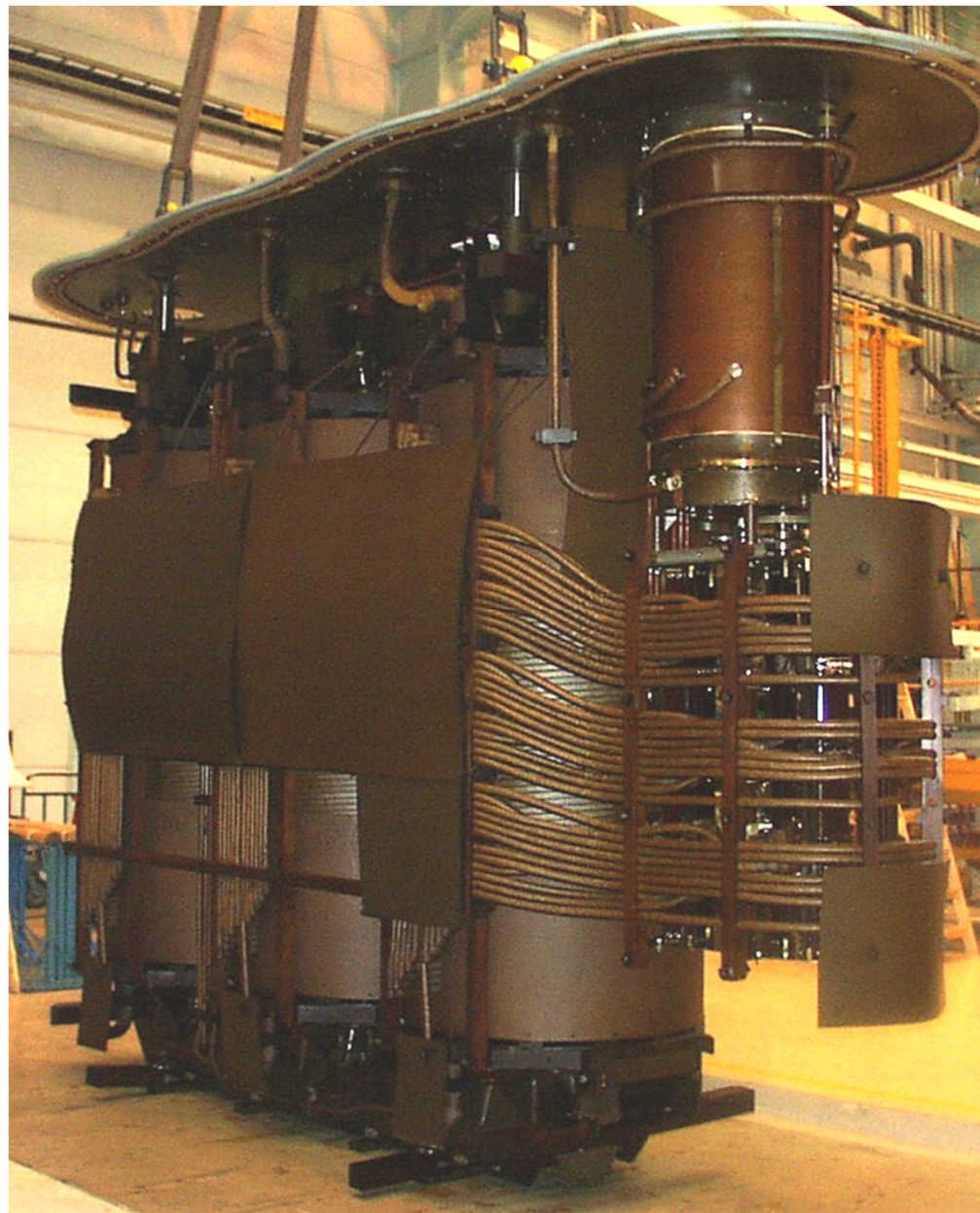
Magnetiska kretsar	Elektriska kretsar
mmk F_m [A]	emk E [V]
magn. flöde Φ [Vs]	ström I [A]
magn. flödestäth. B [T, $\frac{Vs}{m^2}$]	strömstäth. S [$\frac{A}{m^2}$]
reluktans R_m [$\frac{A}{Vs}$]	resistans R [$\frac{V}{A}$]
permeans Λ [$\frac{Vs}{A}$]	konduktans G [$\frac{A}{V}$]
permeabilitet μ [$\frac{Vs}{Am}$]	konduktivitet σ [$\frac{A}{Vm}$]

Transformator (trafo):

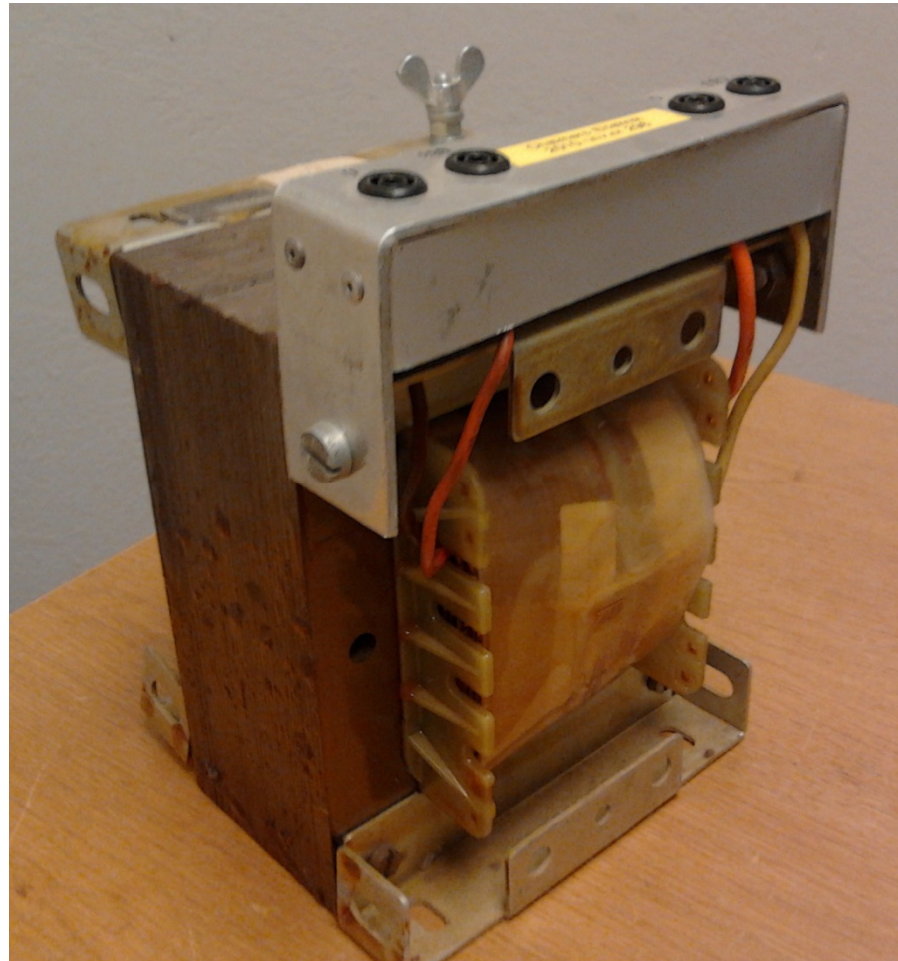
Beräkna: Transformatorns ekvivalenta schema (3), transformera impedanser, spänningsfall, förluster, trefaskopplingar, sparkopplad trafo, visardiagram.

Kunna: Transformatorns funktionssätt, mättransformatorer.

Transformator



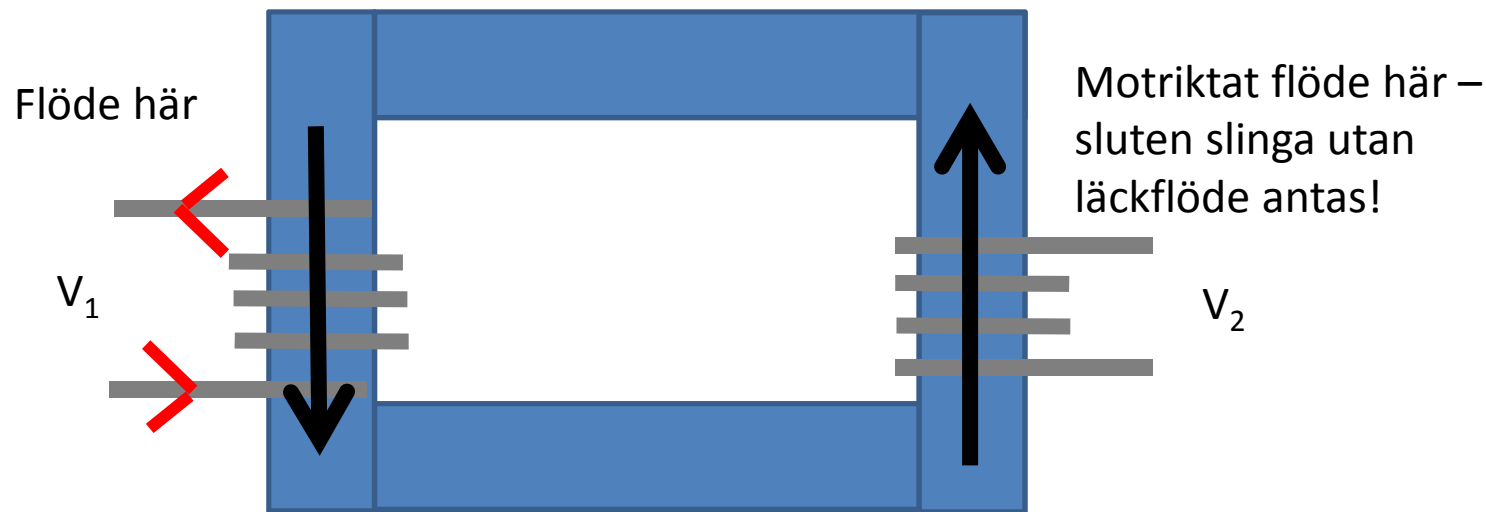
Också transformator..



Hur får vi till en transformator?

-vi vill använda magnetism!

Vi har en växelspanning, men vill ha en annan spänningsnivå!

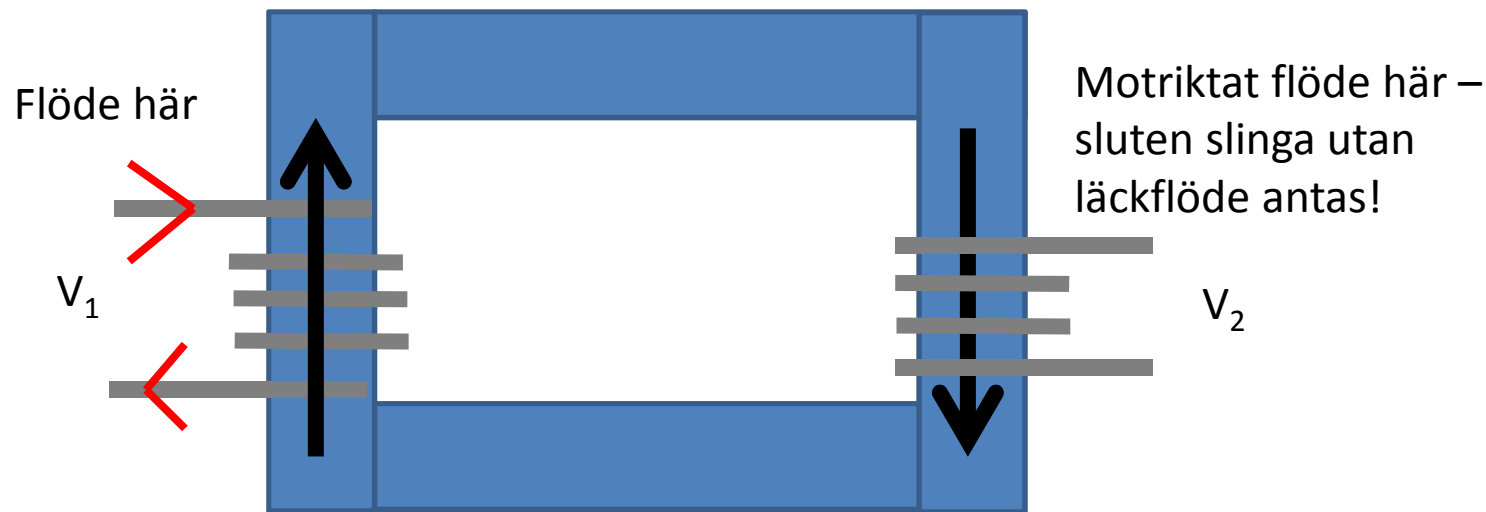


- Minns att vi har växelspanning! $V_1 = N_1 df_i/dt$, $V_2 = N_2 df_i/dt$, $V = L di/dt$

Hur får vi till en transformator?

-vi vill använda magnetism!

Vi har en växelspanning, men vill ha en annan spänningsnivå!

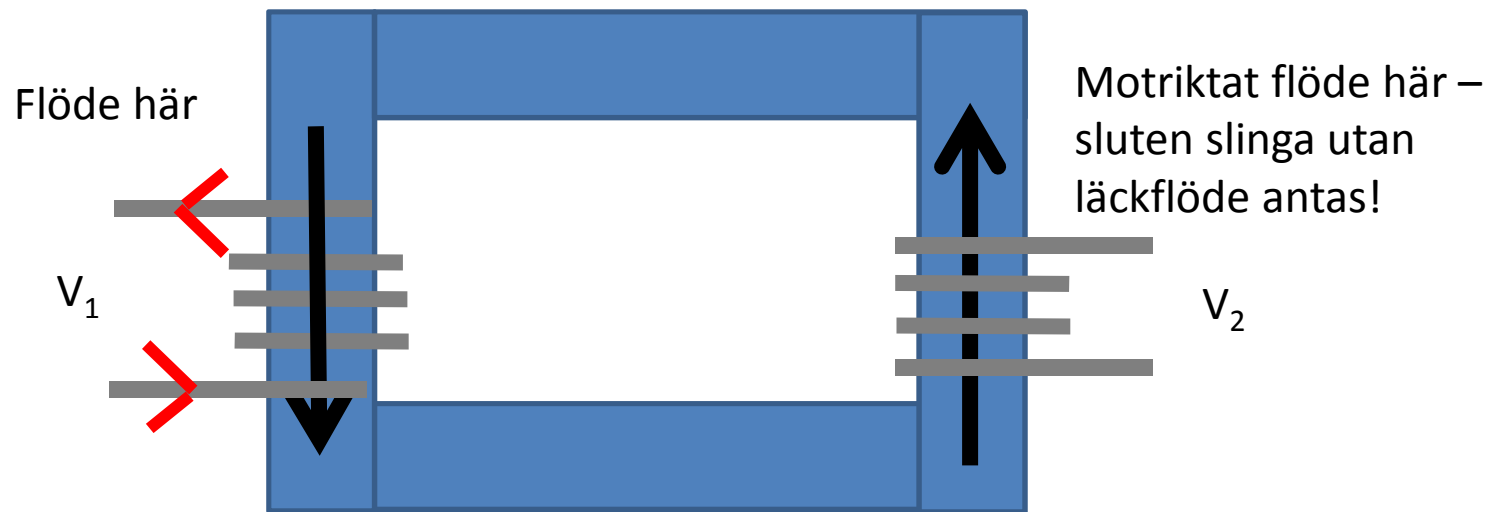


- Minns att vi har växelspanning! $V_1 = N_1 df_i/dt$, $V_2 = N_2 df_i/dt$, $V = L di/dt$

Hur får vi till en transformator?

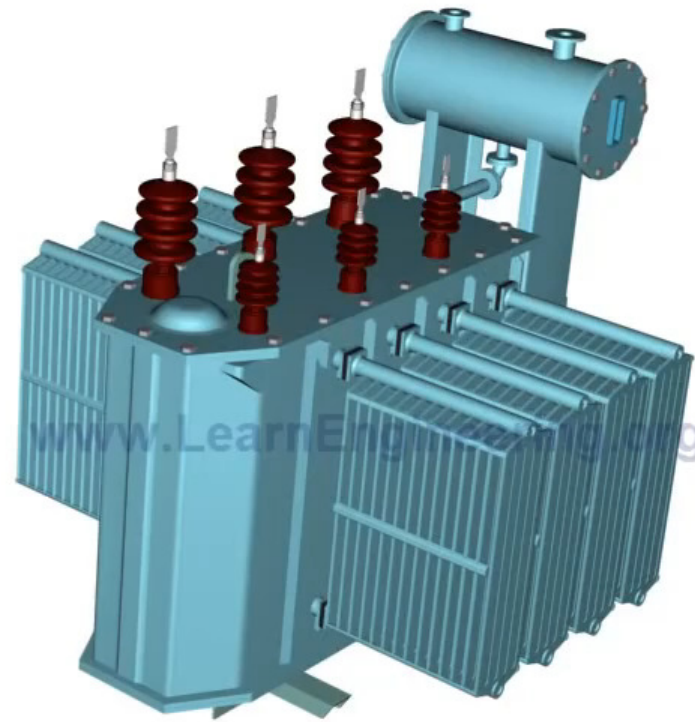
-vi vill använda magnetism!

Vi har en växelspanning, men vill ha en annan spänningsnivå!



- Minns att vi har växelspanning! $V_1 = N_1 df_i/dt$, $V_2 = N_2 df_i/dt$, $V = L di/dt$

Transformatorn princip



$$E = 4,44 f N A \hat{B}$$

Den ideala transformator:

1. förluster (R)
 2. magnetisk läckning
 3. kärnans magnetiseringsbehov
- } försummas

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad ; \quad \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad ; \quad \underline{Z}_1 = \underline{Z}_2'$$

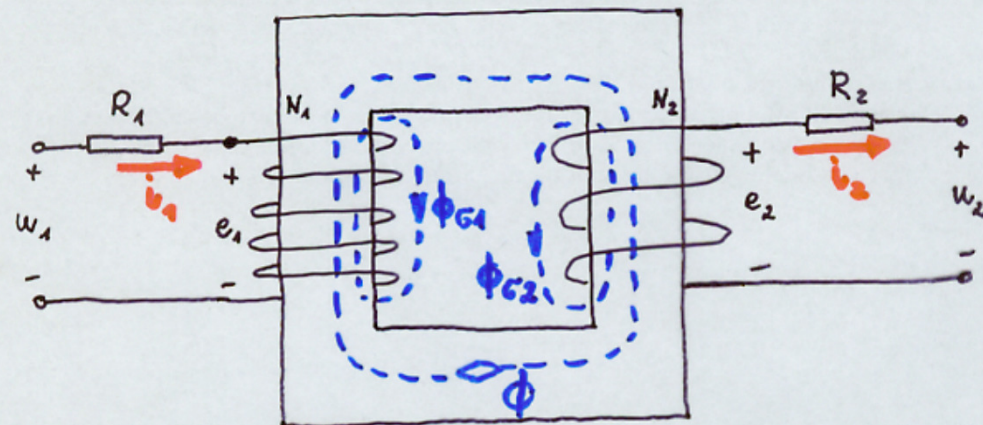
$$\underline{Z}_2' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \underline{Z}_2 = n^2 \underline{Z}_2$$

$$\underline{U}_2' = n \underline{U}_2 \quad ; \quad \underline{I}_2' = \frac{1}{n} \underline{I}_2$$

För en ideal trafo : $\underline{U}_2' = \underline{U}_1$ och $\underline{I}_2' = \underline{I}_1$

Galvaniskt skilda primär- och sekundärlindningar

En ickeideal transformator



ϕ_G - läckflöde

ϕ - huvudflöde

L_G - läckinduktans

X_G - läckreaktans

$$\left. \begin{aligned} \psi_1 &= N_1 \phi_{\sigma 1} + N_1 \phi = \psi_{\sigma 1} + N_1 \phi \\ \psi_2 &= -N_2 \phi_{\sigma 2} + N_2 \phi = -\psi_{\sigma 2} + N_2 \phi \end{aligned} \right\} \text{ magn. ekv.}$$

$$\psi_{\sigma 1} = L_{\sigma 1} i_1 \quad ; \quad \psi_{\sigma 2} = L_{\sigma 2} i_2$$

$$\left. \begin{aligned} u_1 - R_1 i_1 &= e_1 \\ e_2 - R_2 i_2 &= u_2 \end{aligned} \right\} \text{ elektr. ekv.}$$

$$u_1 = R_1 i_1 + e_1 = R_1 i_1 + \frac{d\psi_1}{dt} = R_1 i_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$u_2 = -R_2 i_2 + e_2 = -R_2 i_2 + \frac{d\psi_2}{dt} = -R_2 i_2 - L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\text{komplexform: } \frac{d}{dt} = j\omega$$

$$u_1 = R_1 i_1 + e_1 = R_1 i_1 + \frac{d\psi_1}{dt} = R_1 i_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

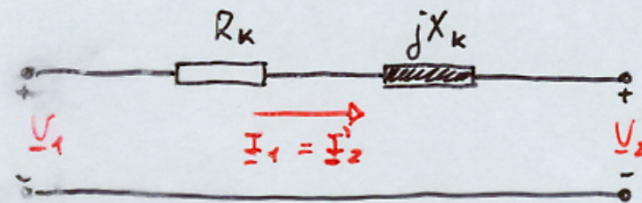
$$u_2 = -R_2 i_2 + e_2 = -R_2 i_2 + \frac{d\psi_2}{dt} = -R_2 i_2 - L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

komplexform: $\frac{d}{dt} = j\omega$

$$\underline{U}_1 = R_1 \underline{I}_1 + j\omega L_{\sigma 1} \underline{I}_1 + j\omega N_1 \underline{\phi}$$

$$\underline{U}_2 = -R_2 \underline{I}_2 - j\omega L_{\sigma 2} \underline{I}_2 + j\omega N_2 \underline{\phi}$$

Förenklade ekvivalenta schema



Enkla ekvivalenta schema

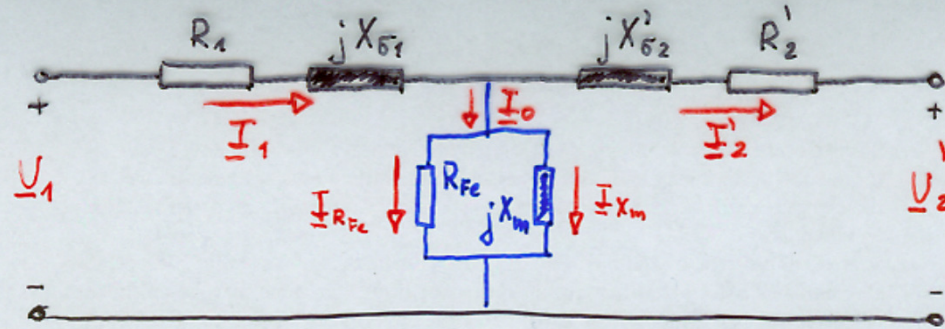
$$R_k = R_1 + R_2' \quad \text{kortslutningsresistans}$$

$$X_k = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' \quad \text{kortslutningsreaktans}$$

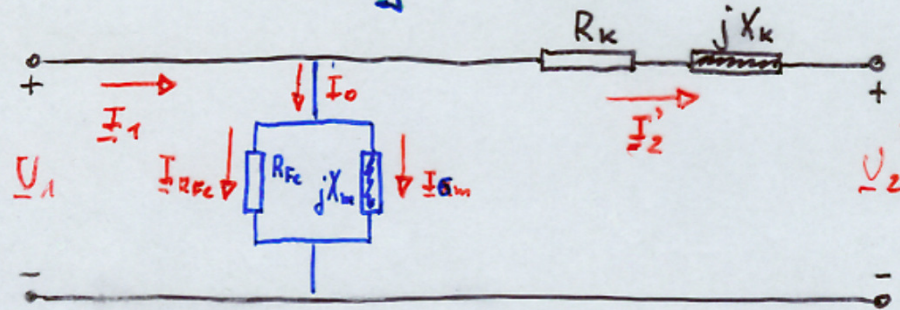


$$\underline{U}_1 = R_1 \underline{I}_2' + jX_{\sigma 1} \underline{I}_2' + R_2' \underline{I}_2' + jX_{\sigma 2}' \underline{I}_2' + \underline{U}_2'$$

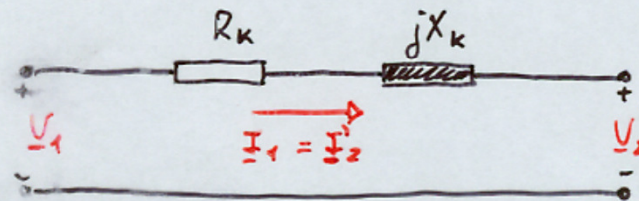
mmk balansen: $N_1 \underline{I}_1 - N_2 \underline{I}_2 = N_1 \underline{I}_0 \Rightarrow \underline{I}_1 = \underline{I}_2' + \underline{I}_0$



Fullständiga ekvivalenta schema



Förenklade ekvivalenta schema



Enkla ekvivalenta schema

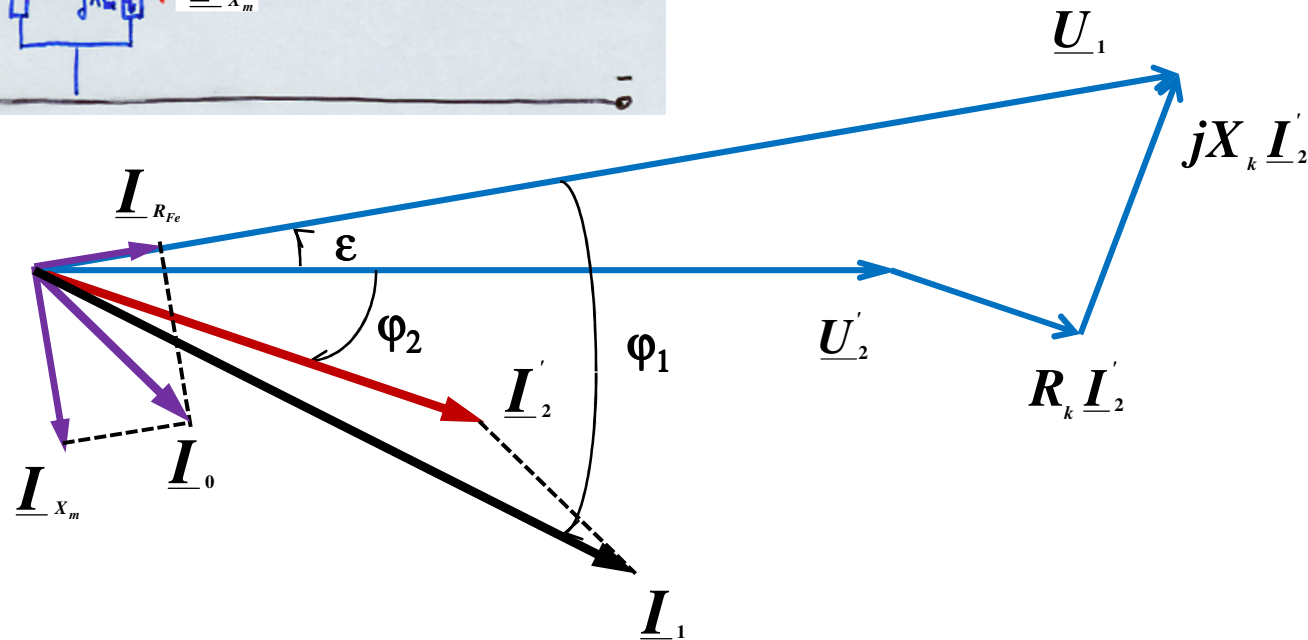
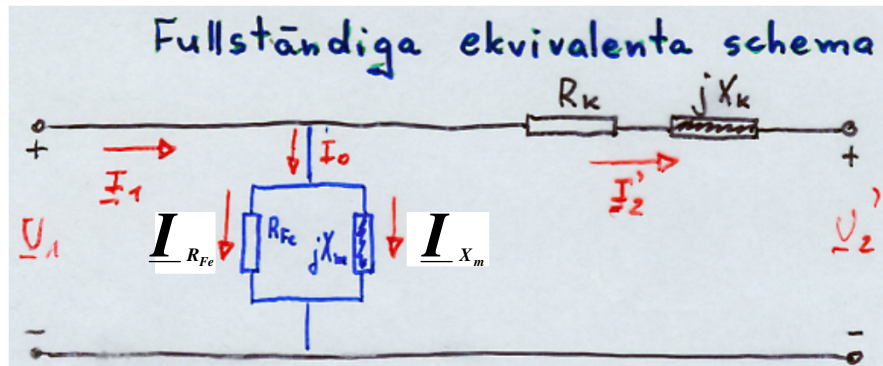
$$R_k = R_1 + R_2'$$

kortslutningsresistans

$$X_k = X_{l1} + X_{l2}'$$

kortslutningsreaktans

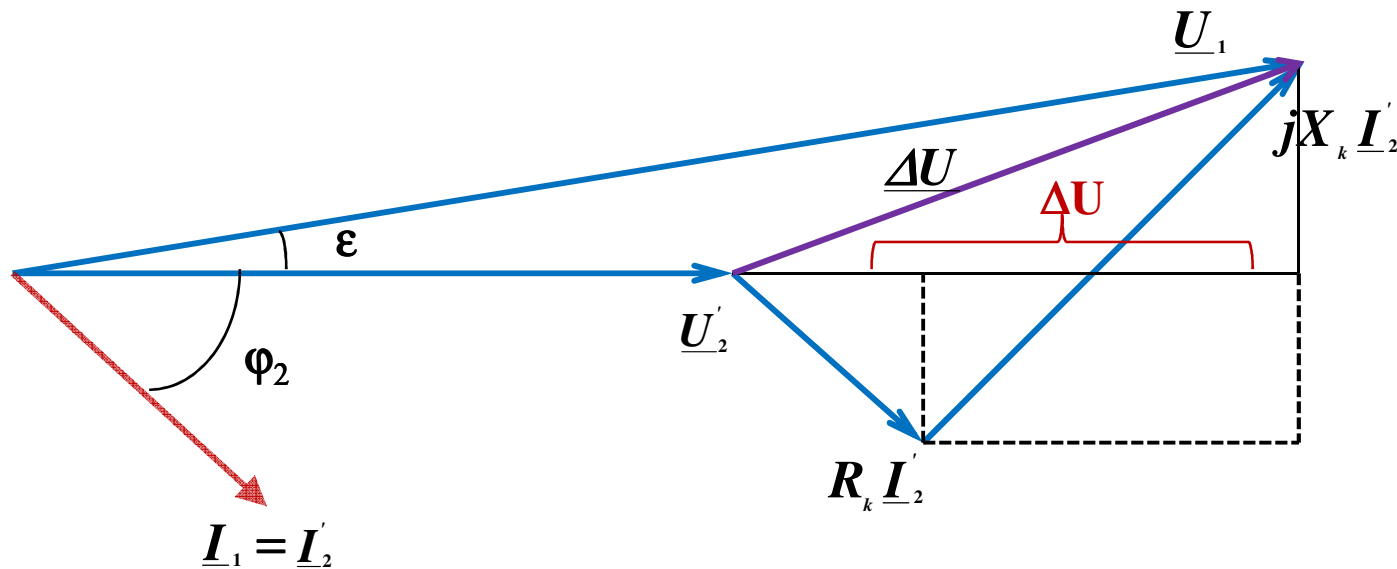
Visardiagram – förenklat ekvivalenta schema för enfastransformatorn (induktiv last)



ϵ - fasvridning

Spänningsfall i en enfas transformator

$$\Delta U = I'_2 (R_k \cos \varphi_2 + X_k \sin \varphi_2)$$



Förluster och verkningsgrad

$$P_1 = P_2 + P_{\text{förl}}$$

$$P_{\text{förl}} = P_0 + P_{\text{Cu}}$$

$$\eta = \frac{P_1 - P_{\text{förl}}}{P_1} \cdot 100 \%$$

Tomgångsprov utförs från lågspänningssidan av trafo med märkspänning

$$U_0 = U_n \quad P_0 \quad I_0 \quad \rightarrow \quad R_{\text{Fe}} \quad X_m$$

Kortslutningsprov utförs från uppspänningssidan av trafo med märkström

$$I_k = I_n \quad P_k \quad U_k \quad \rightarrow \quad R_k \quad X_k$$

Basimpedansen definieras med transformatorns märkvärden, märkspänning (U_n) och märkeffekt (S_n), enligt:

$$Z_{bas} = \frac{U_n^2}{S_n}$$

Denna kvot motsvarar den impedans en trefasbelastning har som vid märkspänning förbrukar märkström.

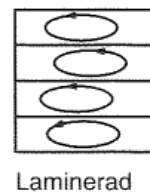
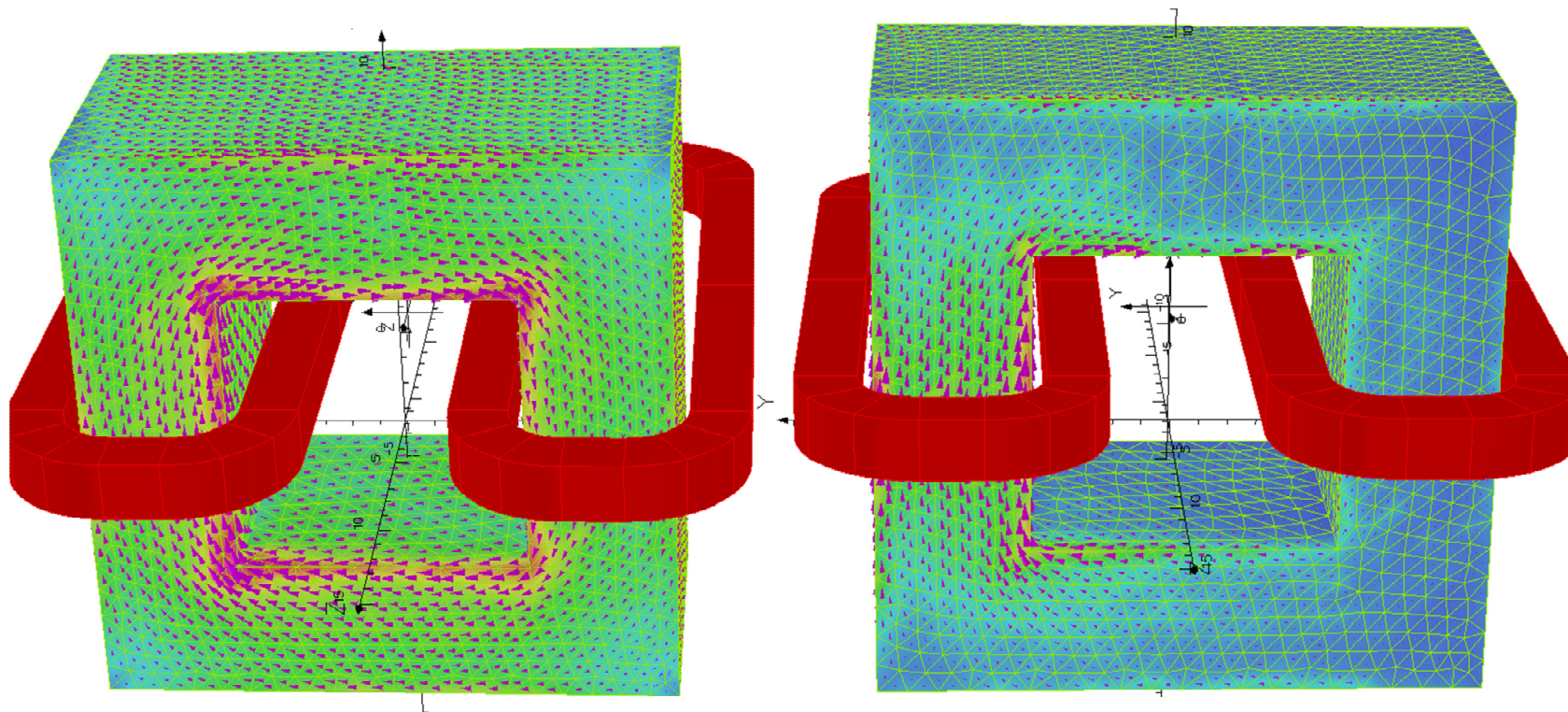
Förhållandet: $z_k = \frac{Z_k}{Z_{bas}} \cdot 100\%$ kallas för **relativa kortslutningsimpedansen**

på motsvarande sätt definieras:

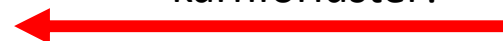
$$r_k = \frac{R_k}{Z_{bas}} \cdot 100\% \quad \text{kortslutningsresistansen } (P_{cu})$$

$$x_k = \frac{X_k}{Z_{bas}} \cdot 100\% \quad \text{kortslutningsreaktansen}$$

Med massivt järn ökar förlusterna!

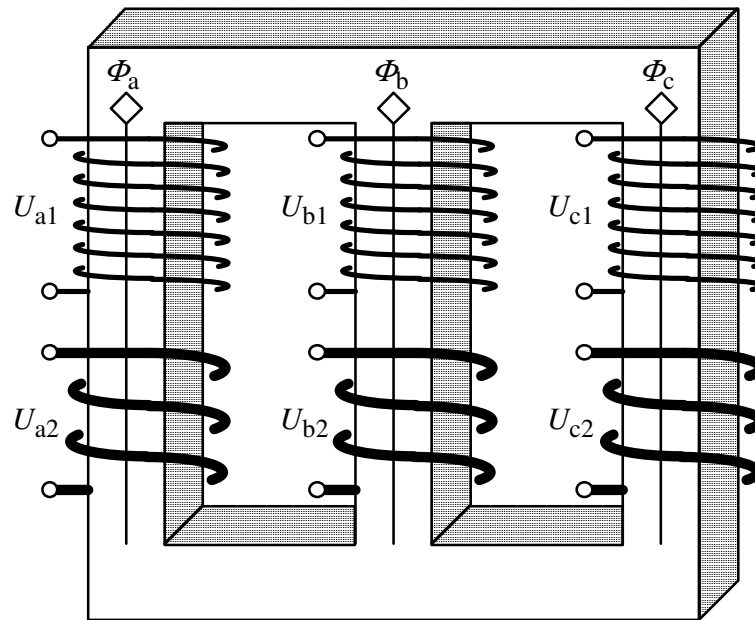


Laminering minskar
kärnförluster!



Trefastransformator

Y/y
YN/yn
 Δ /y-noll
 Δ/Δ
D/d
Y/z



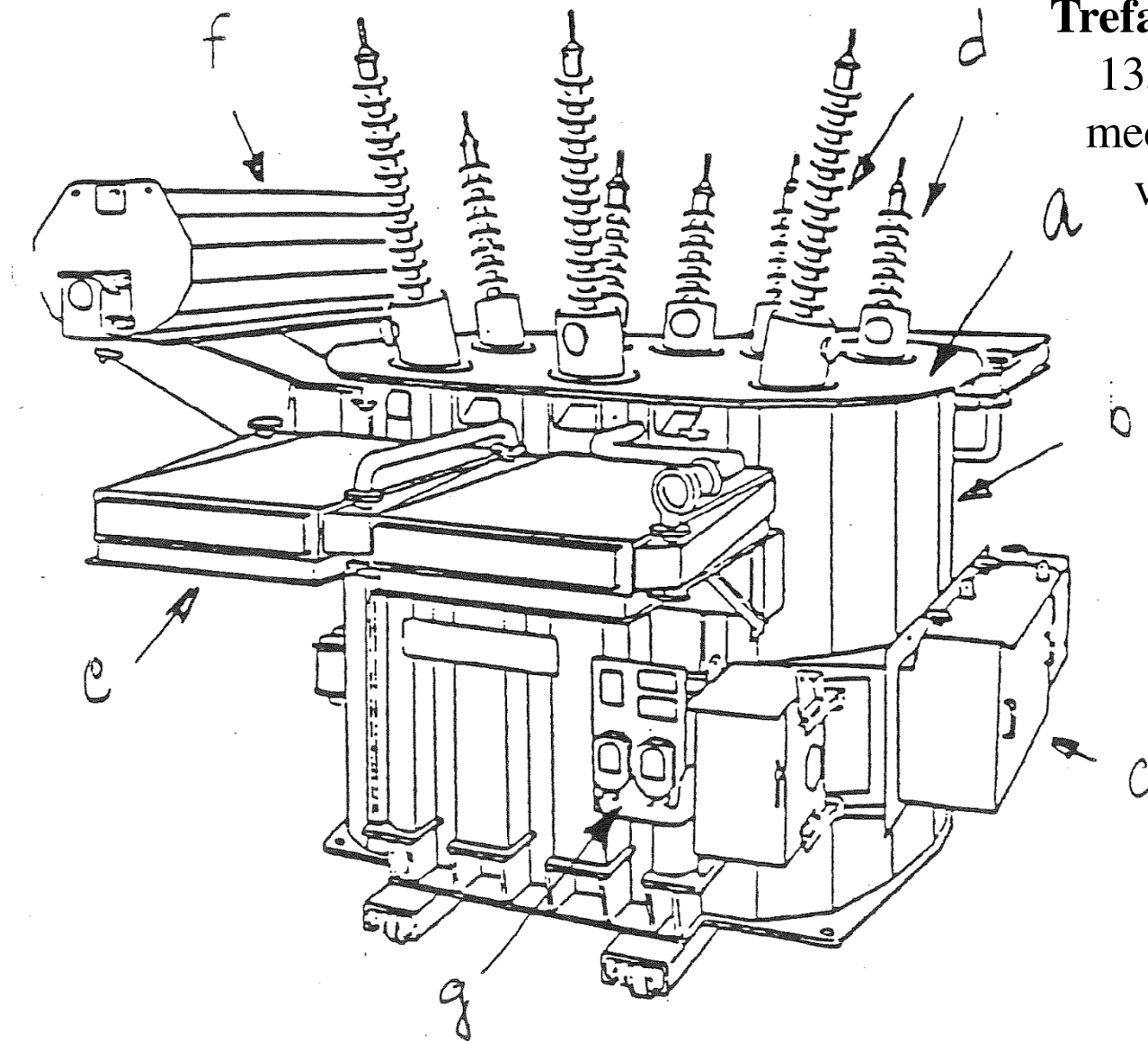
En principskiss av en trefastransformator.

Trefas krafttransformator

135/46 kV; 40 MVA

med lindningskopplare

vikt med olja 50 ton



a – lock

b – låda

c – lindningskopplare
(manöverdon)

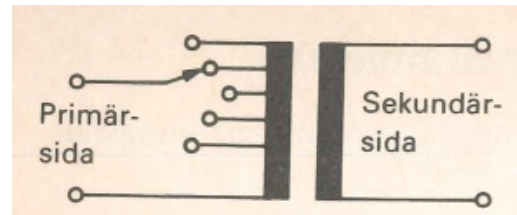
d – genomföring

e – kylutrustning

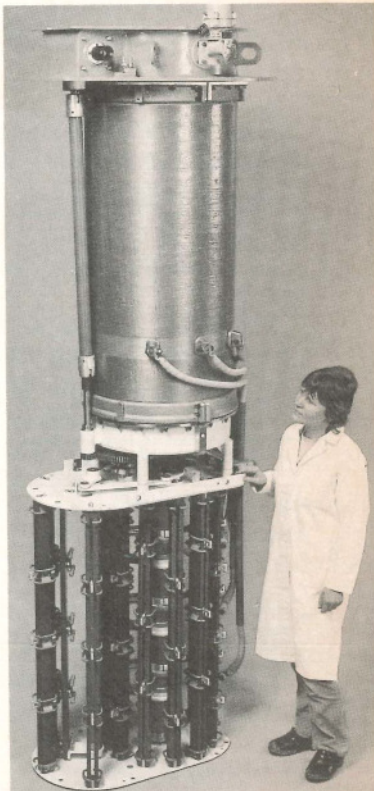
f – expansionskärl

g - termometrar

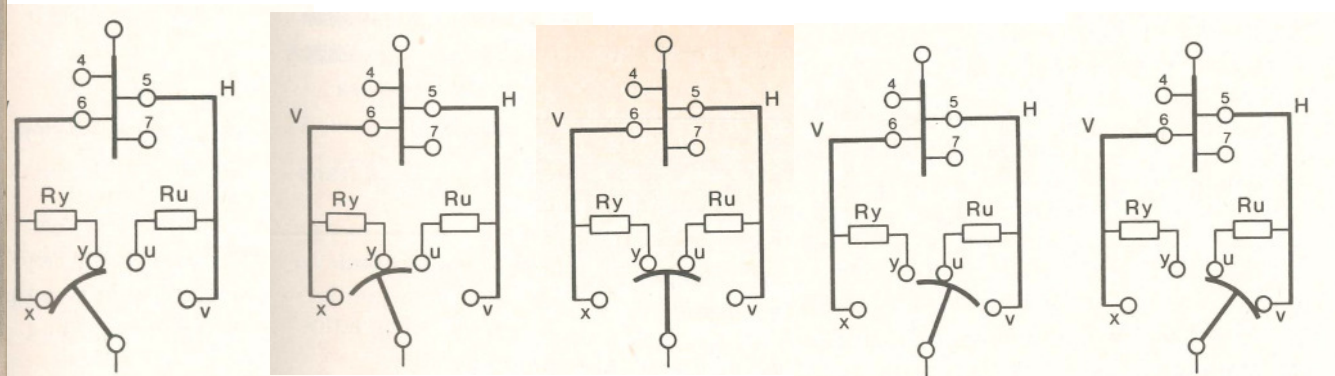
Omsättningsomkopplare (princip)



b. Lindningskopplare till en 150 MVA krafttransformator.



Lindningsomkopplare (princip)



Lindningsomkopplare (princip)

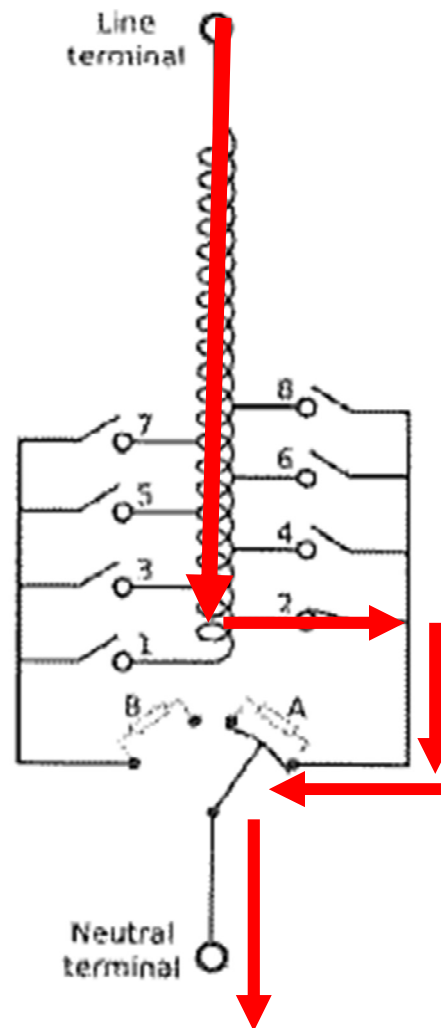


ABB Trafo-BB

3 - Fas - Transformator

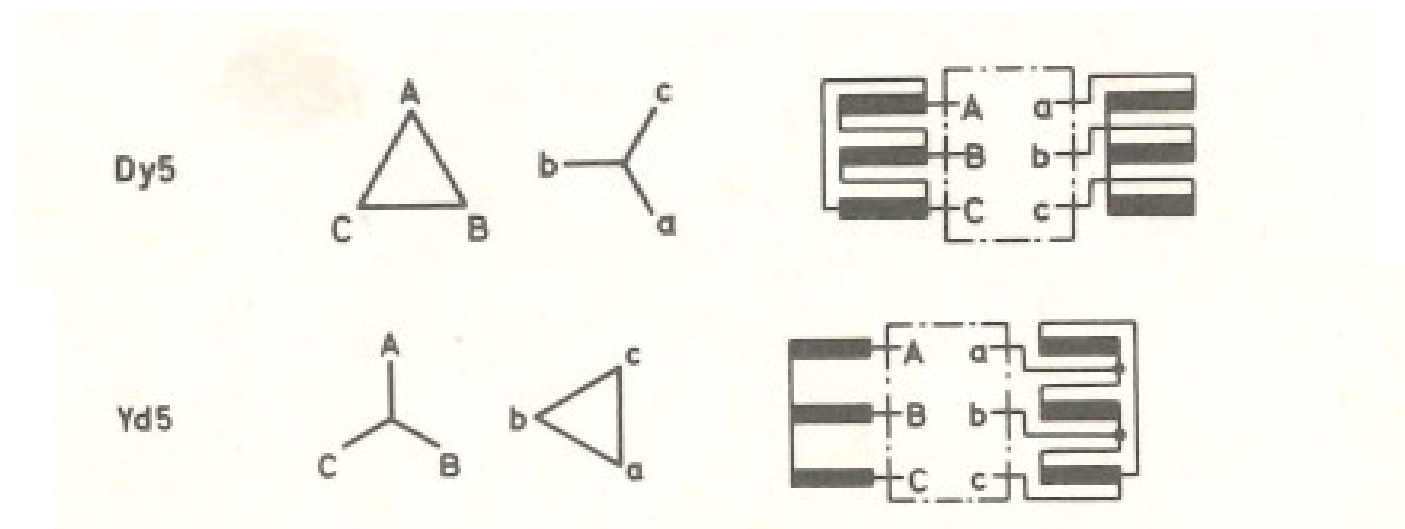
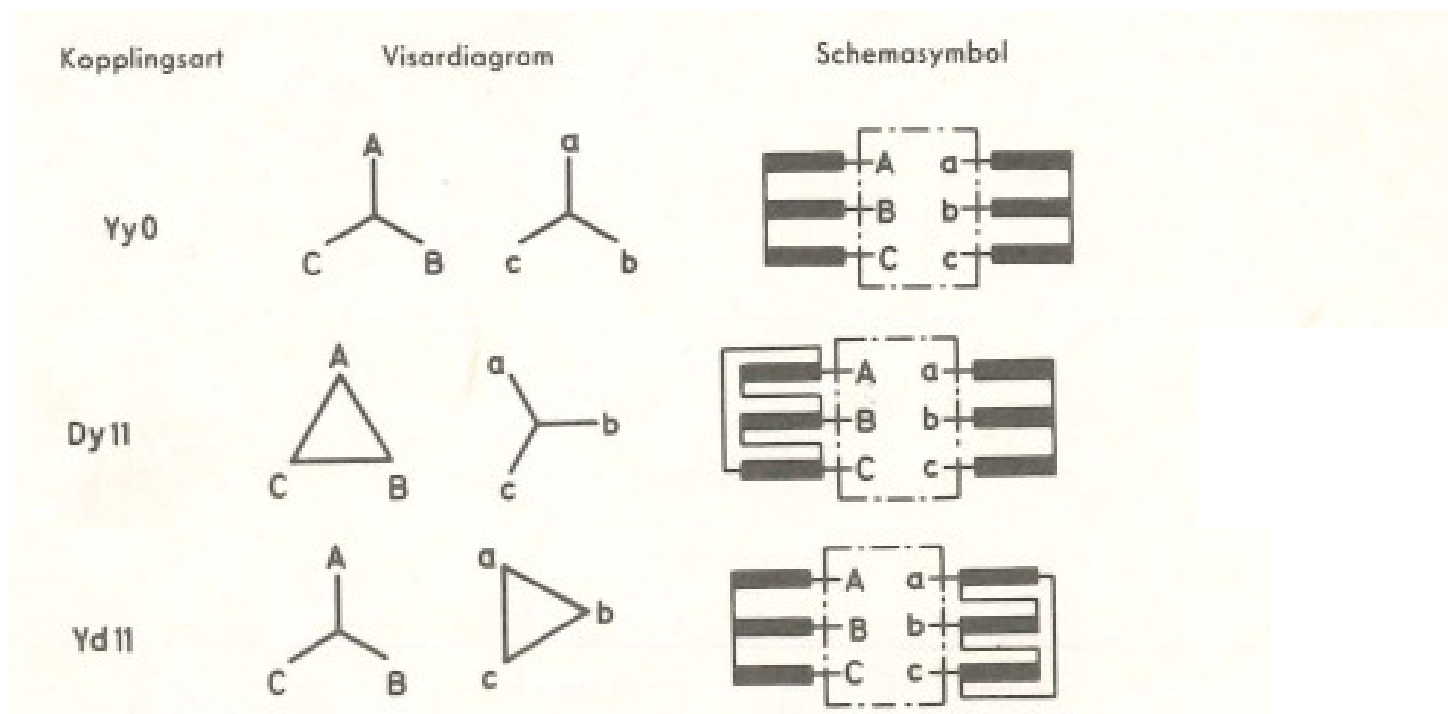
Typ	DYHK	Tillverknings-nr	14297 1809/ 2	IEC 726
Märkeffekt	kVA	1 250	Tillverkningsår	1998
Märkspänning V	11 000	420	Frekvens Hz	50
Märkström A	65.6	1 718	Kopplingsgrupp	Dyn 11
Kortslutningsström	kA		Kylform	AN
Isolations klass	HS/LS	F / F	Skyddsform	IP 00
Lindningsmaterial	HS/LS	Cu / Al	Vikt t	3.25
Stötspän. klass	L175	AC28 / AC3	Max. system spg. kV	12 / 1.1
Max. varaktighet kortslutn.	s	2	Kortslutningsspg %	5.9
		Klass	E2 / C2 / F1	

Högspänning

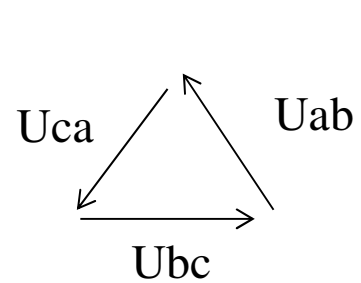
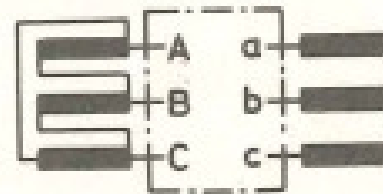
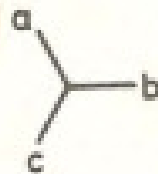
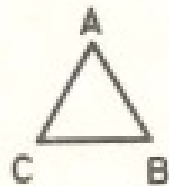
Lågspänning

Högspänning		
Volt	koppling	Anslutning
11 550	1 - 3 ; 2 - 8	1U 1V 1W
11 275	1 - 4 ; 2 - 8	
11 000	1 - 4 ; 2 - 7	
10 725	1 - 5 ; 2 - 7	
10 450	1 - 5 ; 2 - 6	

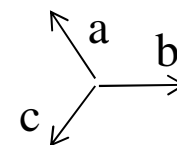
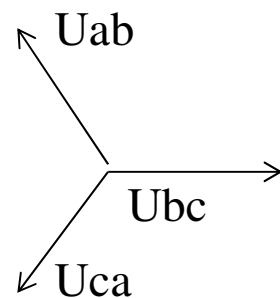
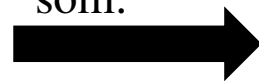
XAL 140 105 - 318 SC



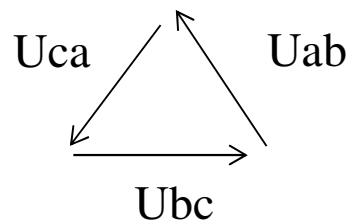
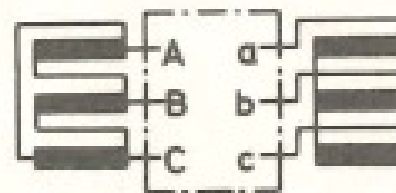
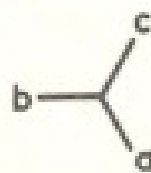
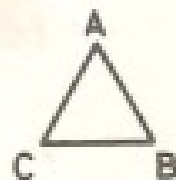
Dy11



Tänk
som:



Dy5



Tänk
som:

