

Några rep-frågor:

Är en luftledning resistiv, kapacitiv eller induktiv till sin "natur"?

- 1) *Kapacitiv*
- 2) *Induktiv*
- 3) *Resistiv*



Några rep-frågor:

Är en kabel resistiv, kapacitiv eller induktiv till sin "natur"?

- 1) Induktiv
- 2) Resistiv
- 3) Kapacitiv



Varför?

Det _ lilla _ avståndet _ till _ jord!

Några rep-frågor:

Hur gör man INTE en reaktiv effekt kompensering för en kabel?

- 1) Med en shunkapacitans
- 2) Med en shuntinduktans
- 3) Med en seriekapacitans



Varför?

Tänk _ på _ impedansens _ tecken!

Idag :

- Enkel/utvidgad transformatormodell
- Öppen krets/kortslutningsmodell
- Basimpedansberäkningar
- 3-fastransformator

Transformator (trafo):

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

Kunna: Transformatorns funktionssätt, mättransformatorer.

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	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$	$[\text{Vs/Am}]$

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:

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

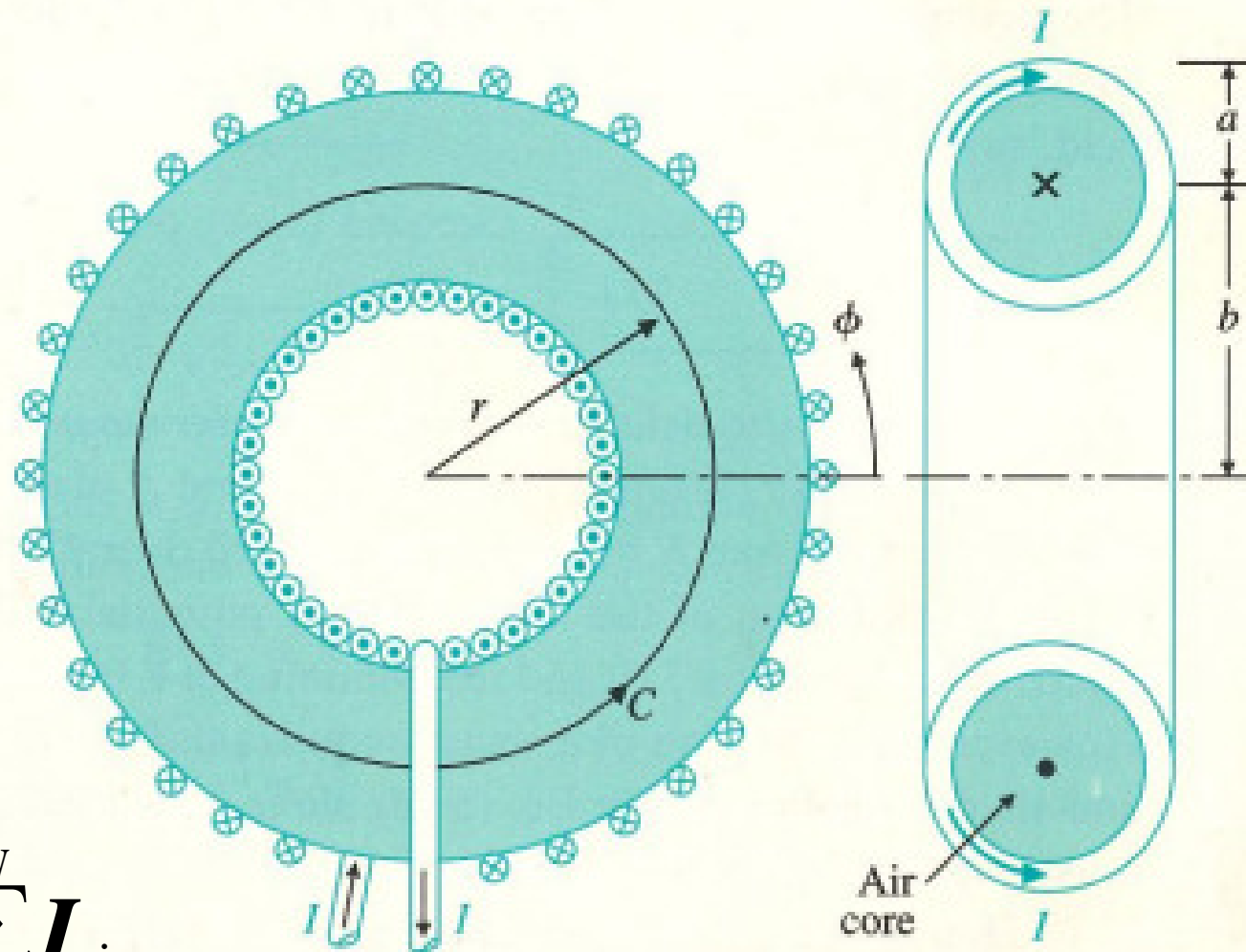
Ampers cirkulationslag: ett samband mellan linjeintegralen av **$\underline{H}$** (den magnetiska fältstyrkan) längs en sluten väg och **strömmen $\underline{I}$** i en ledare som passerar den inneslutna ytan:

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

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

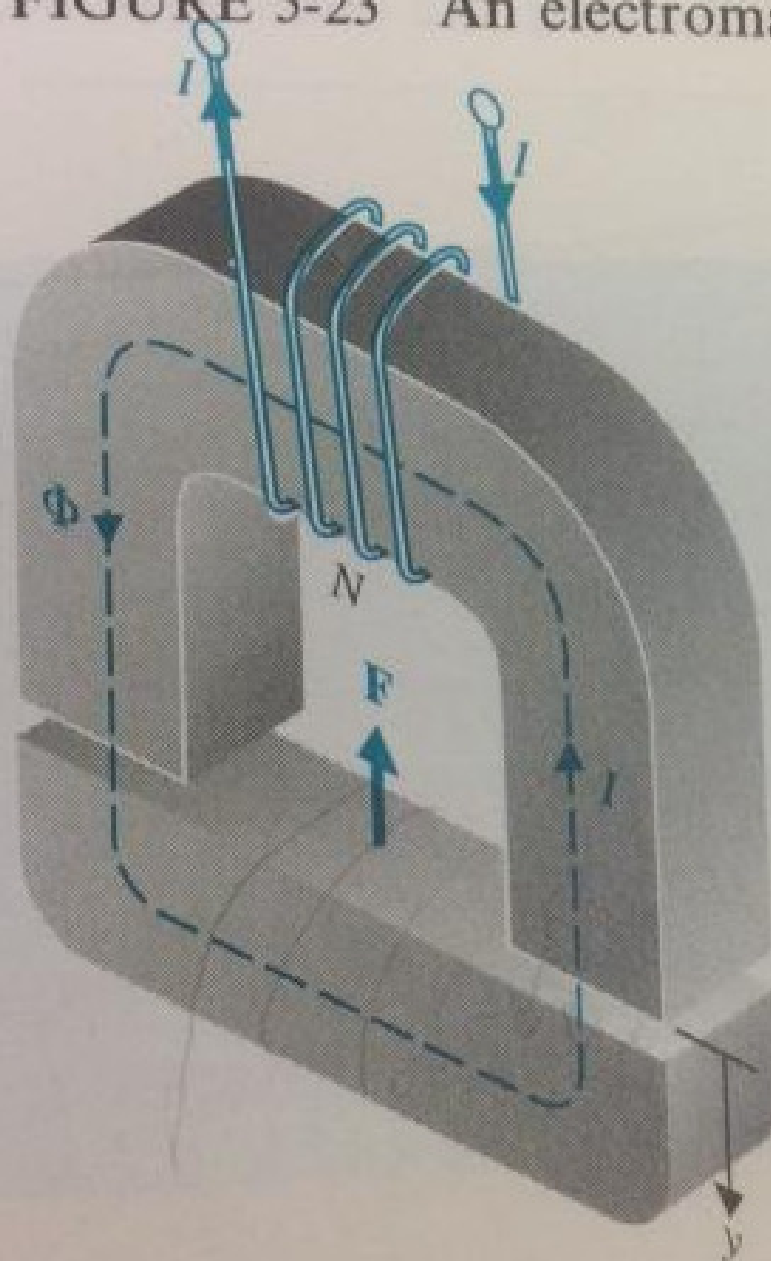
$$\text{Reluktans} \quad R_m = \frac{l}{\mu_r \mu_0 A} \quad \left[\frac{A}{Vs} \right]$$

FIGURE 5-3 A current-carrying toroidal coil (Example 5-2).



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

FIGURE 5-23 An electromagnet (Example 5-16).



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
tekn.rent	6 500
Permalloy (Fe-Ni legering)	100 000
Kiselplåt	7 000

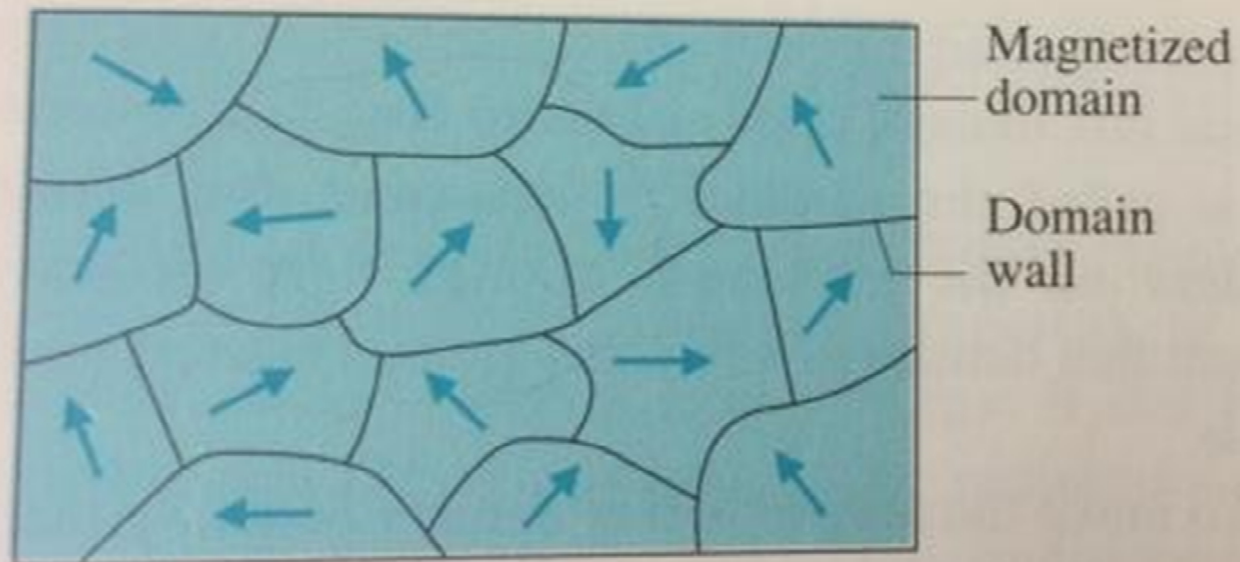
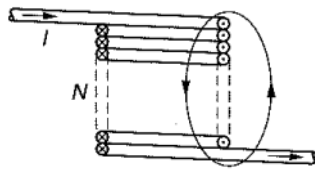


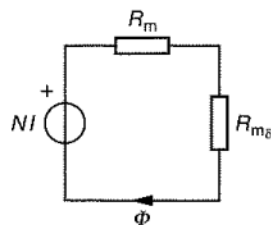
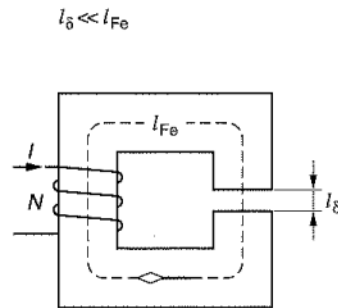
FIGURE 5-11 Domain structure of a polycrystalline ferromagnetic specimen.

Idag :

- Utvidgad transformatormodell
- Öppen krets/kortslutningsmodell
- Basimpedansberäkningar
- 3-fastransformator
- Lab 1



N antalet ledare omslutna av en flödeslinje
 I strömmen i varje ledare
 F_m mmk (A, At)
 $F_m = N \cdot I$



Amperes lag

Mmk = Σ magnetiska delspänningar

Tillämpningsexempel:

H_{Fe} magnetiska fältstyrkan i järnet

H_δ magnetiska fältstyrkan i luftgapet

l_{Fe} flödeslinjernas medelväglängd i järnet

l_δ flödeslinjernas medelväglängd i luftgapet

Går man runt utmed en sluten flödeslinje erhålls

$$NI = H_{Fe} l_{Fe} + H_\delta l_\delta = \sum_n H_n l_n$$

För luftgapet gäller $H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$

R_m reluktansen mellan två punkter i en magnetisk krets

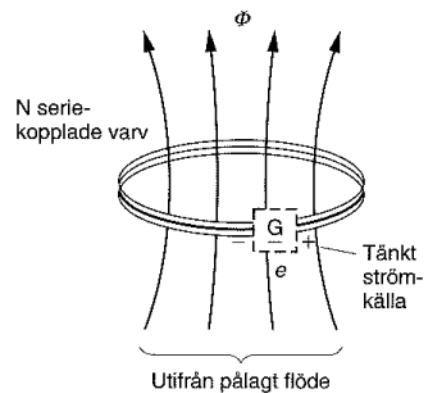
A tvärsnittsarea (m^2)

$$R_m = \frac{l}{\mu A} \quad \text{Enhet: } \frac{A}{Vs} = (\Omega s)^{-1}$$

Går man runt utmed en sluten flödeslinje erhålls

$$NI = \Phi \left(\frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe} A_{Fe}} + \frac{l_\delta}{\mu_0 A_\delta} \right)$$

$$F_m = \Phi (R_{mFe} + R_{m\delta})$$



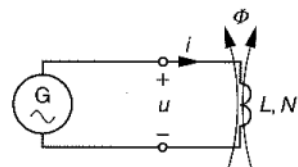
Slinga med N lindningsvarv

Φ flödet som omfattas av slingan

Slingan fungerar såsom den utritade strömkällan.

e momentanvärde (V)

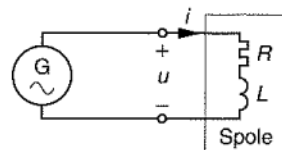
$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$



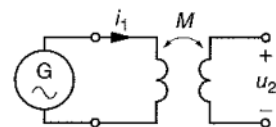
L induktans Enhet: henry = H = Vs/A

u spänningens momentanvärde (V)

$$u = L \frac{di}{dt} = N \frac{d\Phi}{dt}$$



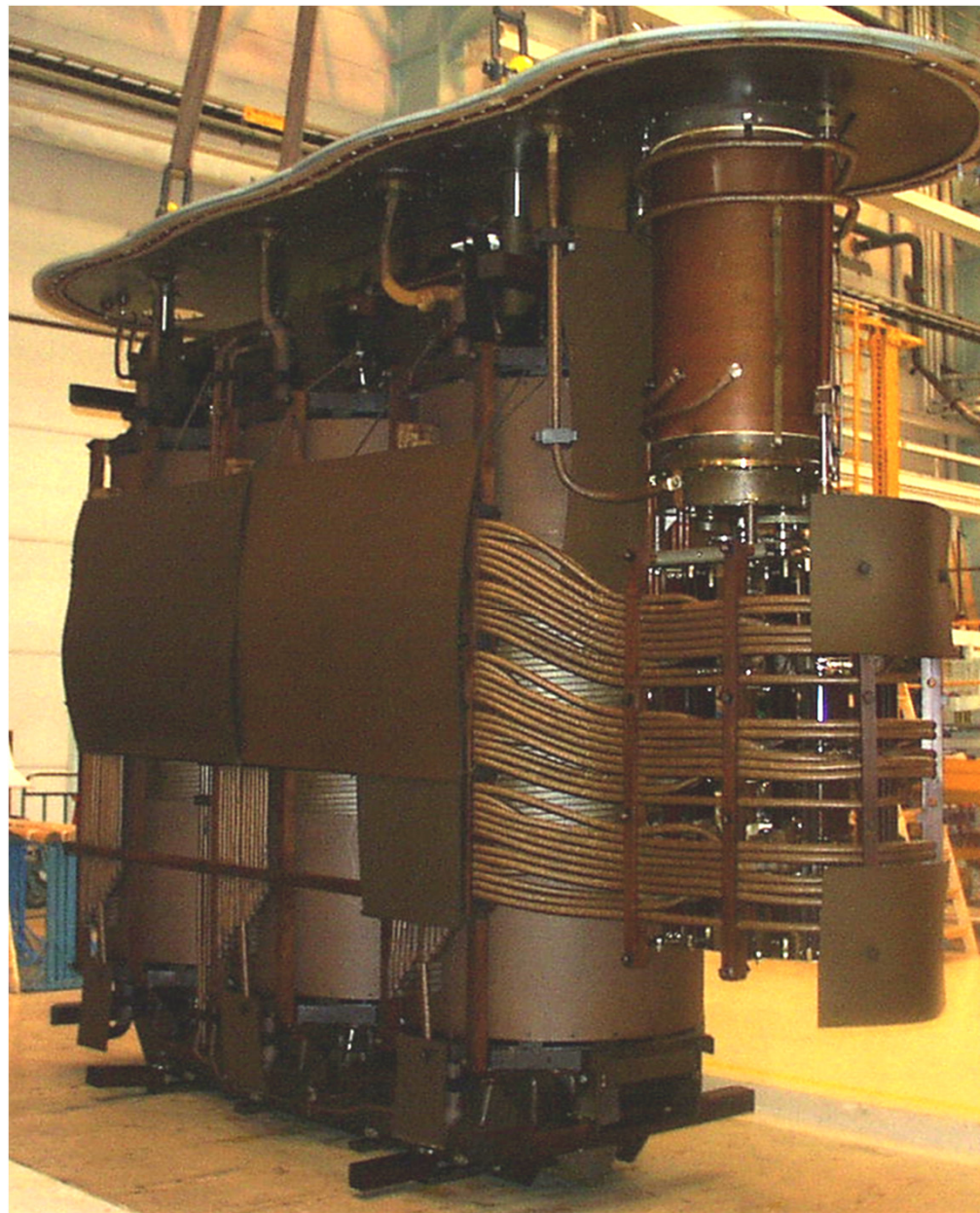
$$u = Ri + L \frac{di}{dt}$$



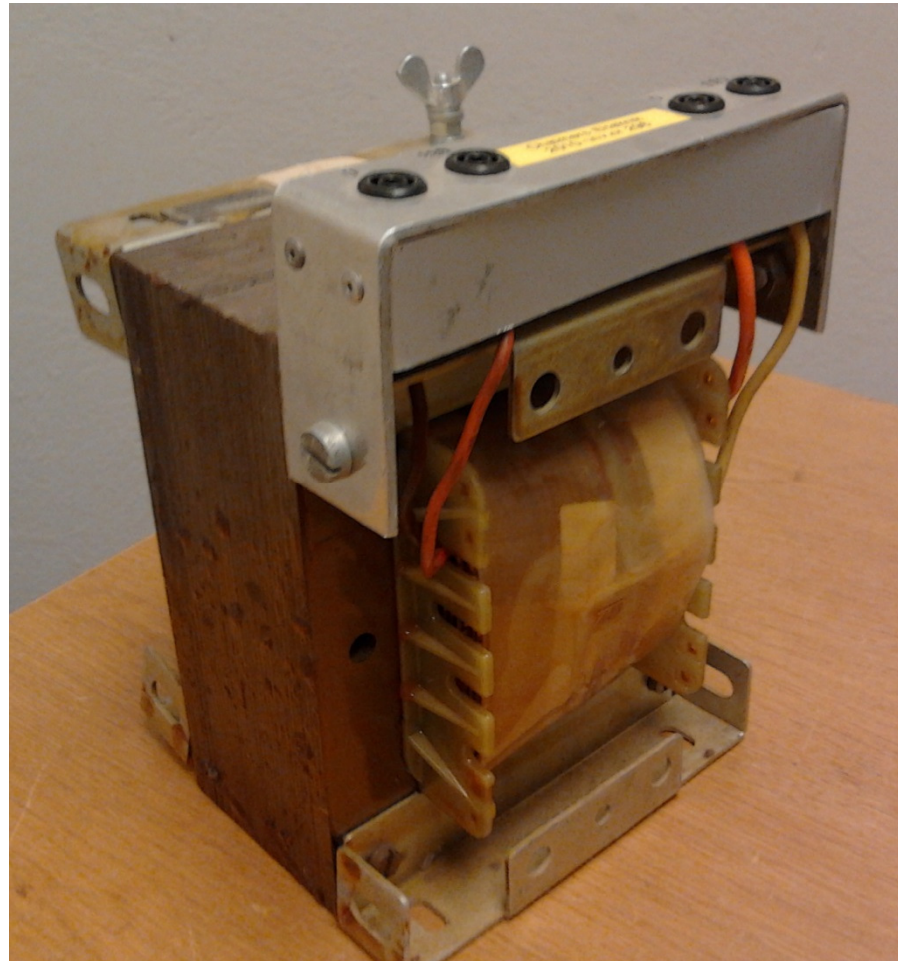
M ömsesidig induktans (H)

$$|u_2| = M \frac{di_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{12}}{dt}$$

Transformator



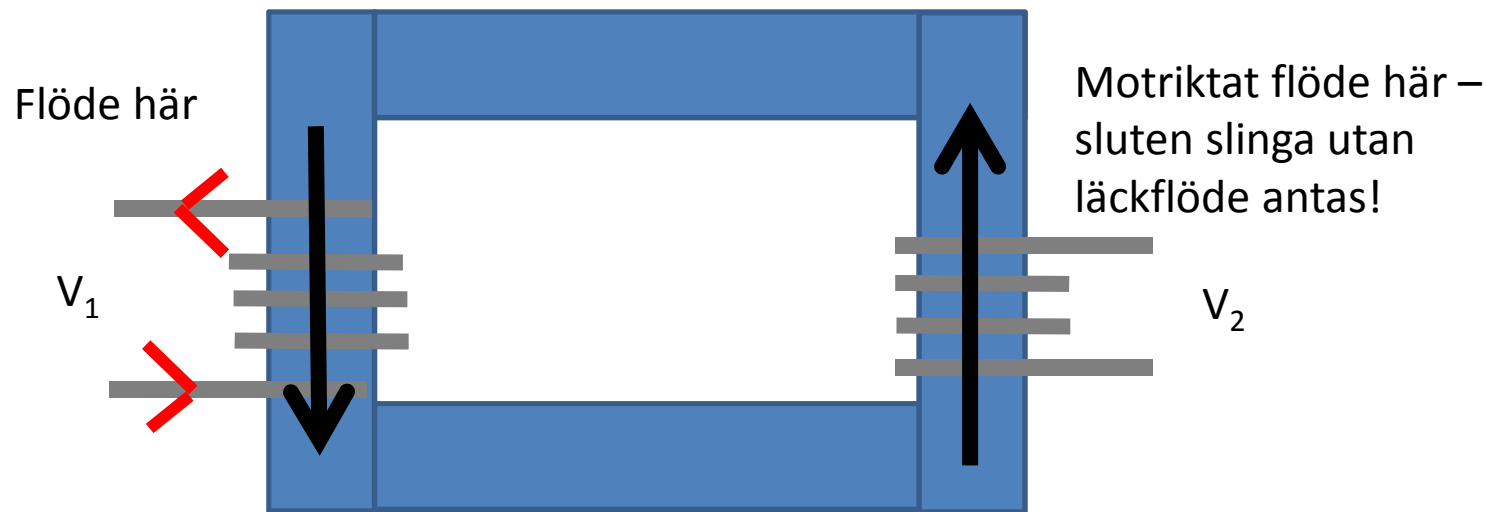
Också transformator..



Hur får vi till en transformator?

-vi vill använda magnetism!

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

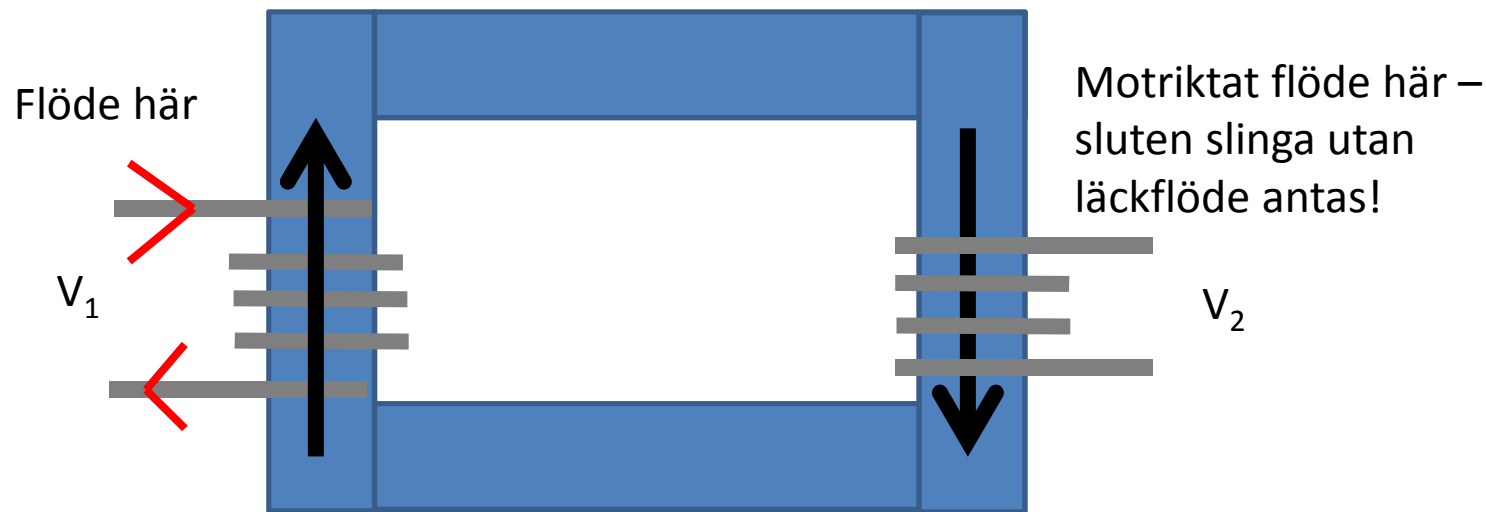


- Minns att vi har växelspanning! $V_1 = N_1 df_i/dt$, $V_2 = N_2 df_i/dt$, $V = L di/dt$

Hur får vi till en transformator?

-vi vill använda magnetism!

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

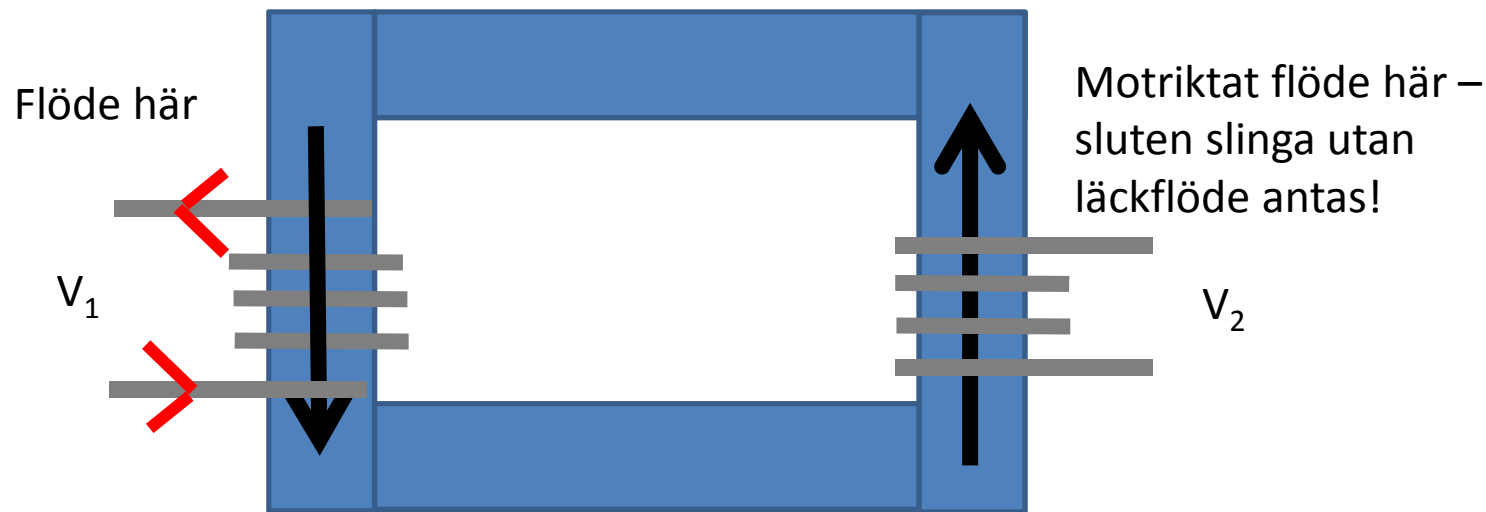


- Minns att vi har växelspanning! $V_1 = N_1 df_i/dt$, $V_2 = N_2 df_i/dt$, $V = L di/dt$

Hur får vi till en transformator?

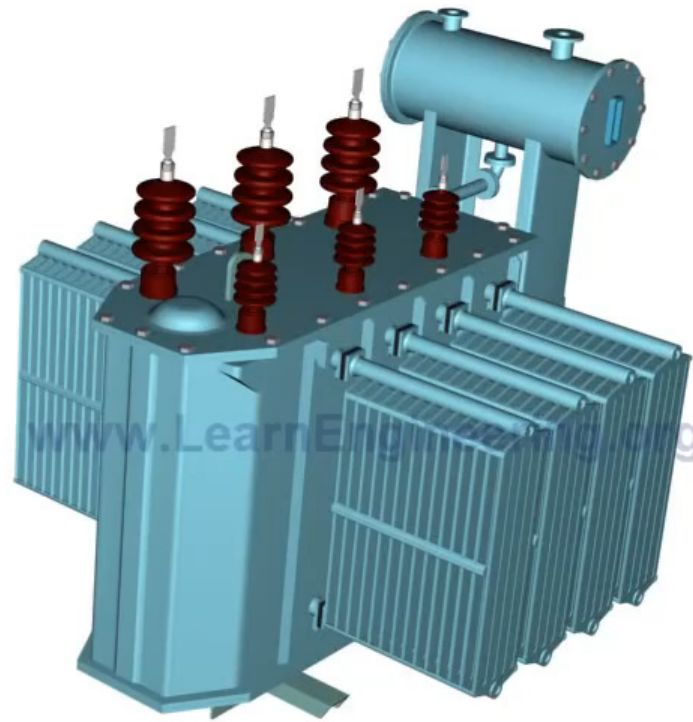
-vi vill använda magnetism!

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



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

Transformatorns funktions princip



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

Den ideala transformator:

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

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

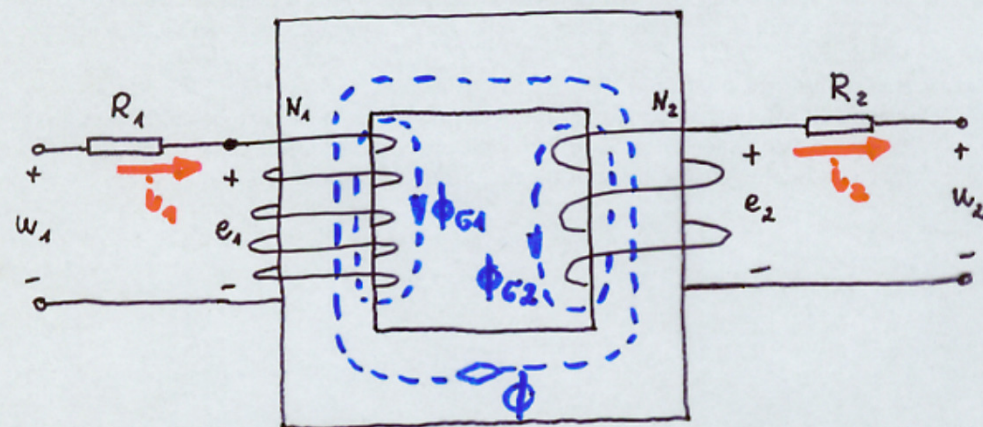
$$\underline{Z}_2' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \underline{Z}_2 = n^2 \underline{Z}_2$$

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

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_σ - läckflöde

Φ - huvudflöde

L_σ - läckinduktans

X_σ - läckreaktans

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2' \quad (\underline{I}_0 - \text{försummas})$$

$$n = \frac{N_1}{N_2} \quad ; \quad \underline{U}_2' = n \underline{U}_2 \quad ; \quad \underline{I}_2' = \frac{1}{n} \underline{I}_2$$



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

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.

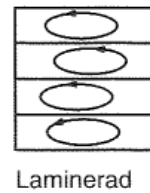
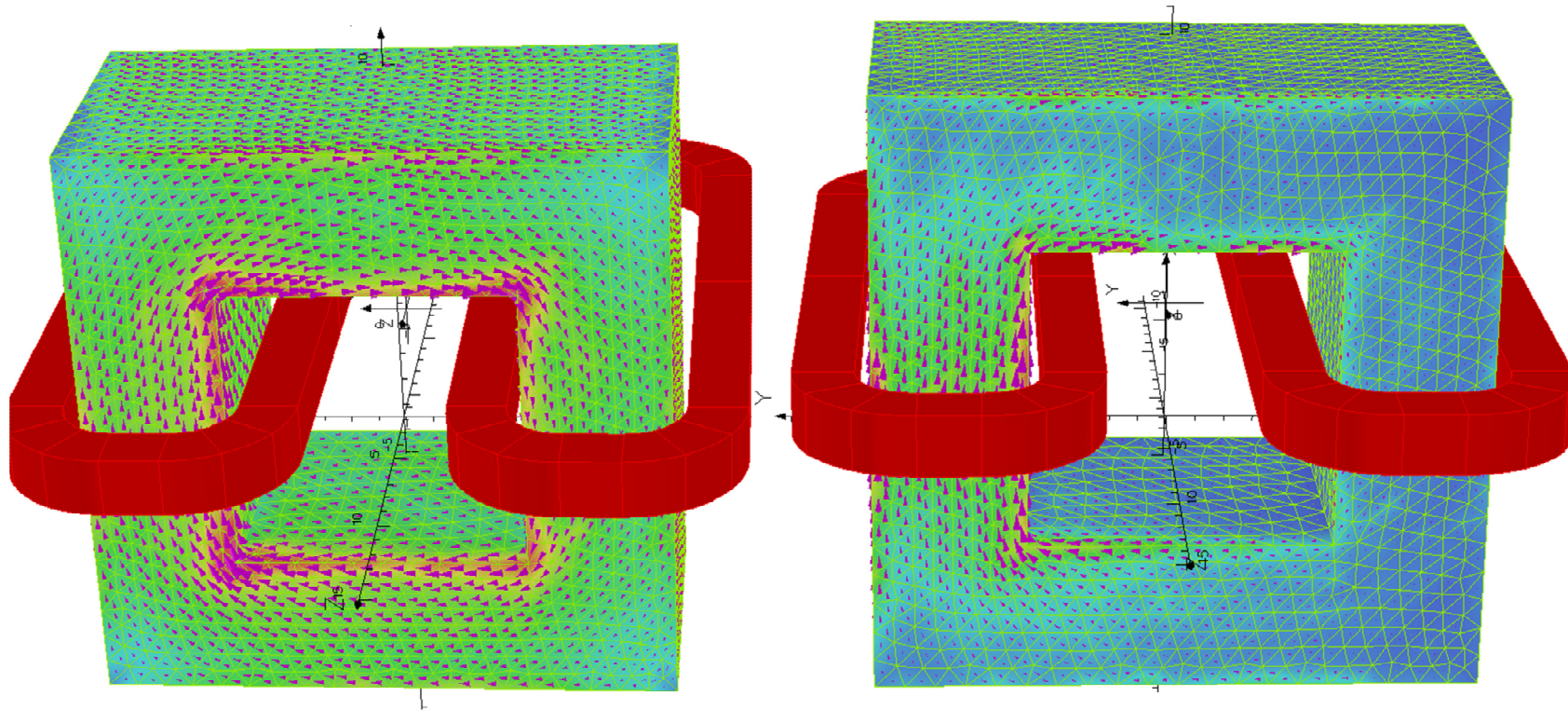
Förhållandet: $z_k = \frac{Z_k}{Z_{bas}} \cdot 100\%$ kallas för **relativa kortslutningsimpedansen**

på motsvarande sätt definieras:

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

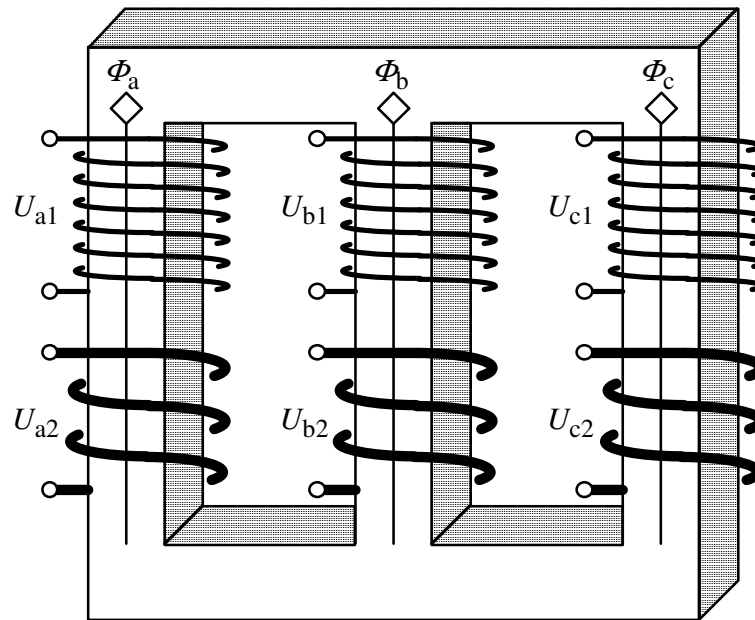
$$x_k = \frac{X_k}{Z_{bas}} \cdot 100\% \quad \text{kortslutningsreaktansen}$$

Med massivt järn ökar förlusterna!



Trefastransformator

Y/y
YN/yn
 Δ /y-noll
 Δ/Δ
D/d



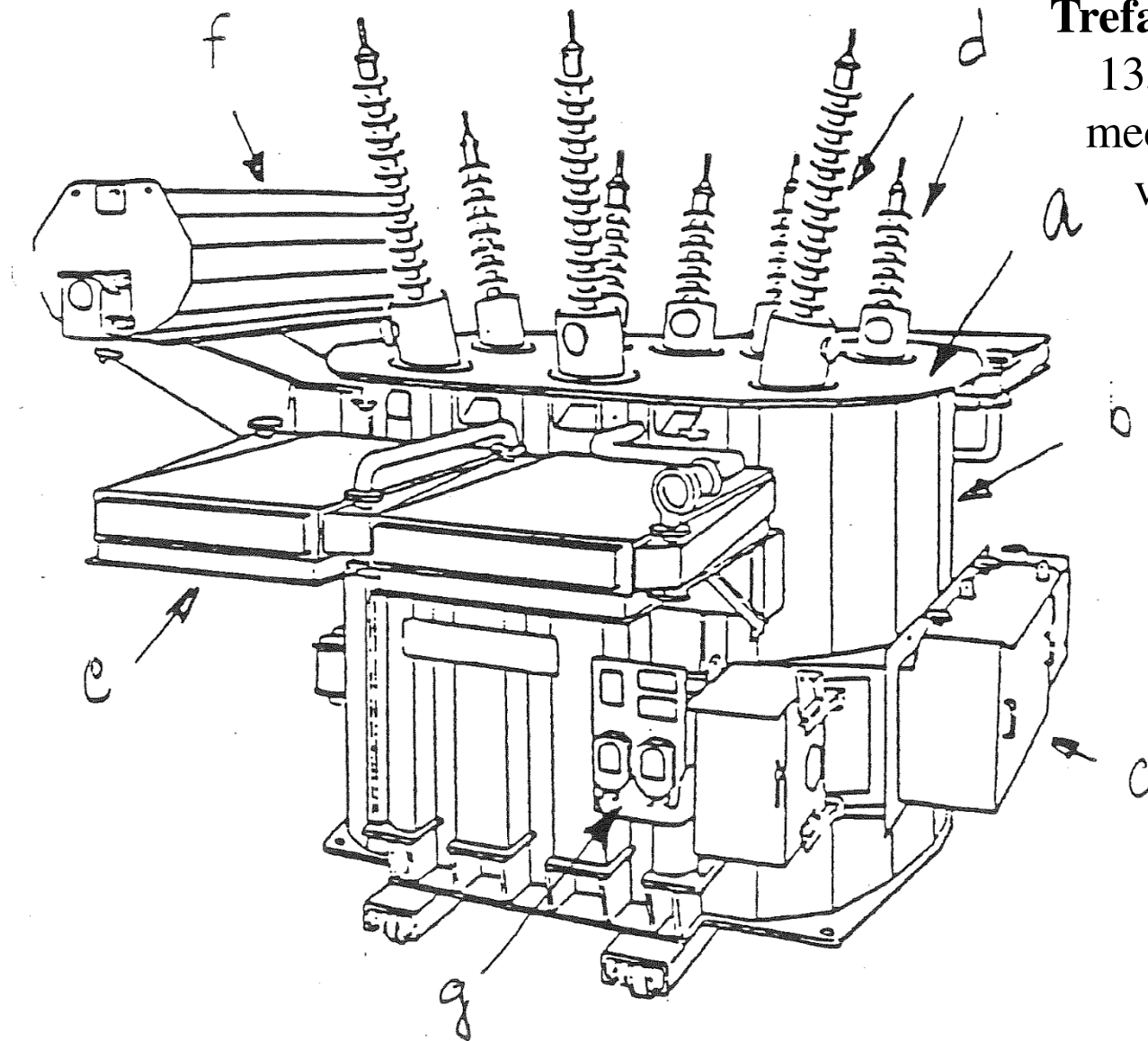
En principskiss av en trefastransformator.

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

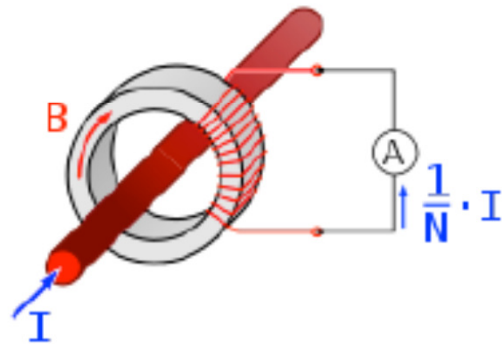
10/0.4 kV, 400 kVA



Figure 3- Low voltage transformer

There are three types of current transformer:

- Bushing type



Figur 3: Bilden visar funktionen för en strömtransformator[19]



Figure 15- Current transformer on 130 KV side

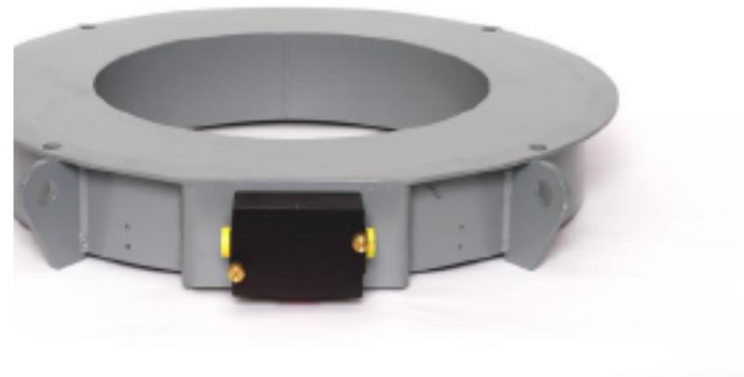
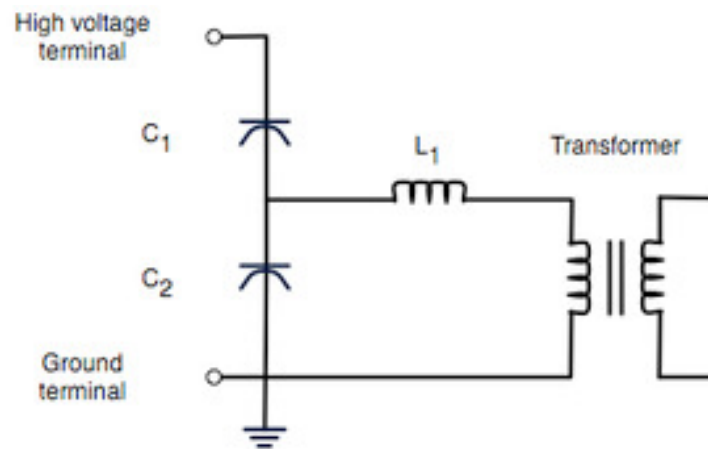


Figure 17- Low voltage CT

Kapacitiv spänningstransformator



CHALMERS



Mättransformator



Figur 5. Mättransformatorer. ABB



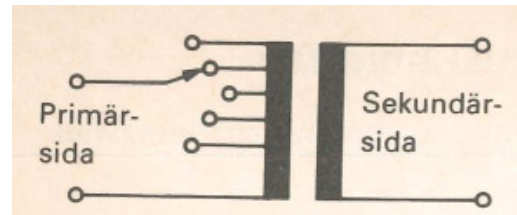
Figure 19-Inductive voltage transformer

ABB type EMF for 145kV

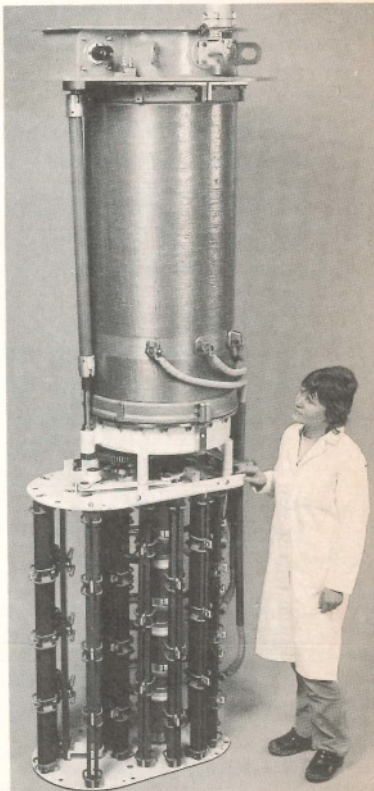


ABB type CPA for 420 kV

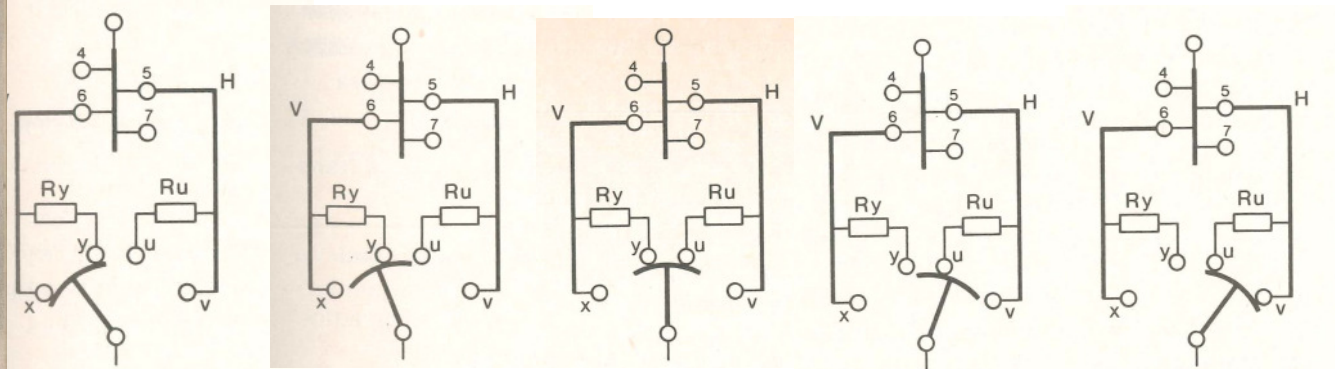
Omsättningsomkopplare (princip)



b. Lindningskopplare till en 150 MVA krafttransformator.



Lindningsomkopplare (princip)



Lindningsomkopplare (princip)

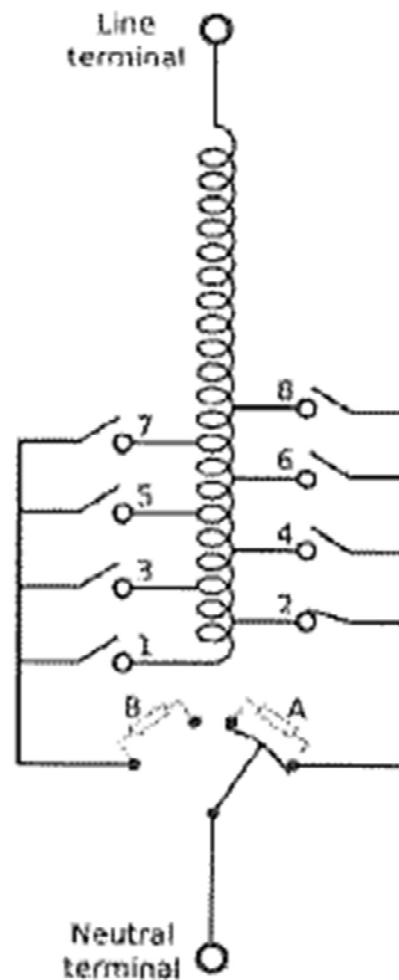


ABB Trafo-BB

3 - Fas - Transformator

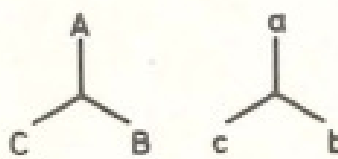
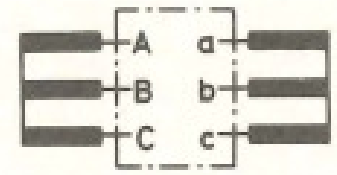
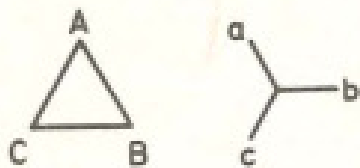
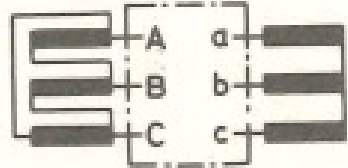
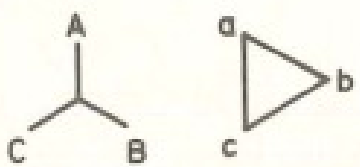
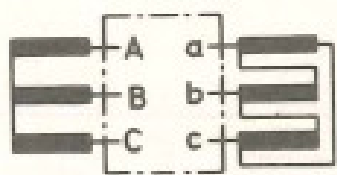
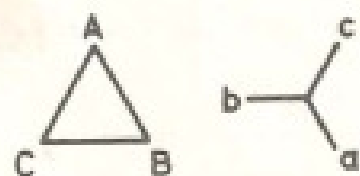
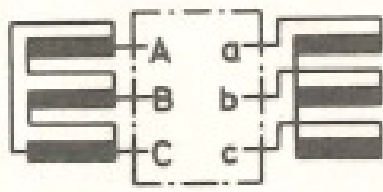
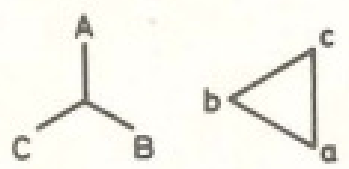
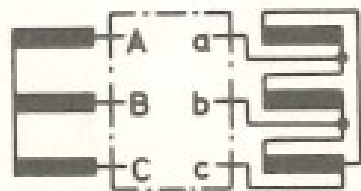
Typ	DYHK	Tillverknings-nr	14297 1809/ 2	IEC 726
Märkeffekt	kVA	1 250	Tillverkningsår	1998
Märkspänning V	11 000	420	Frekvens Hz	50
Märkström A	65.6	1 718	Kopplingsgrupp	Dyn 11
Kortslutningsström	kA		Kylform	AN
Isolations klass	HS/LS	F / F	Skyddsform	IP 00
Lindningsmaterial	HS/LS	Cu / Al	Vikt t	3.25
Stötspän. 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

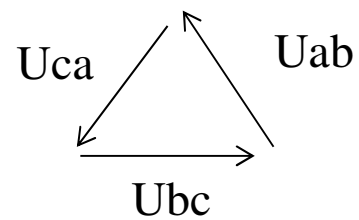
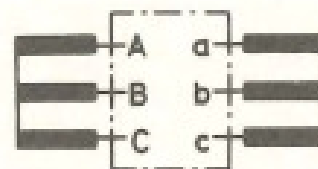
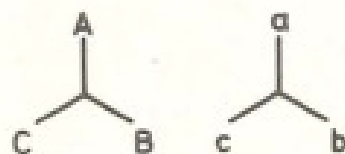
Kopplingsart	Visardiagram	Schemasymbol
Yy0		
Dy11		
Yd11		
Dy5		
Yd5		

Kopplingsart

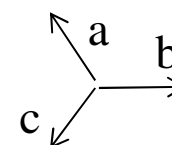
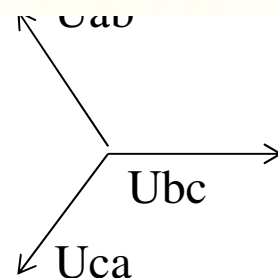
Visardiagram

SchemasyMBOL

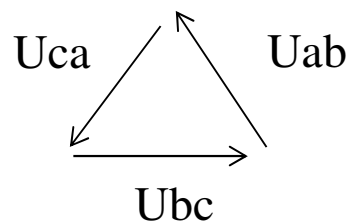
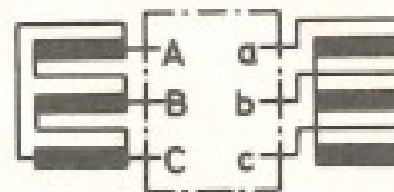
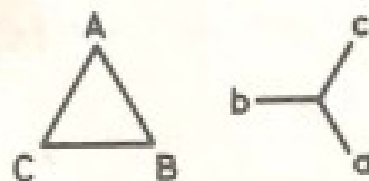
Yy0



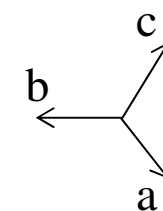
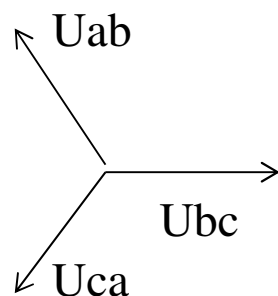
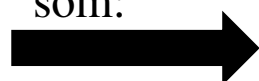
Tänk
som:



Dy5



Tänk
som:



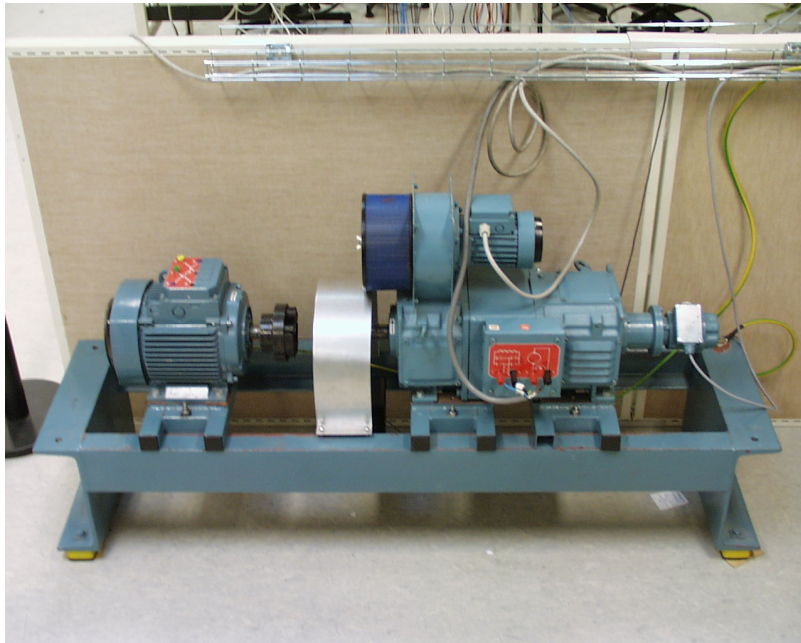
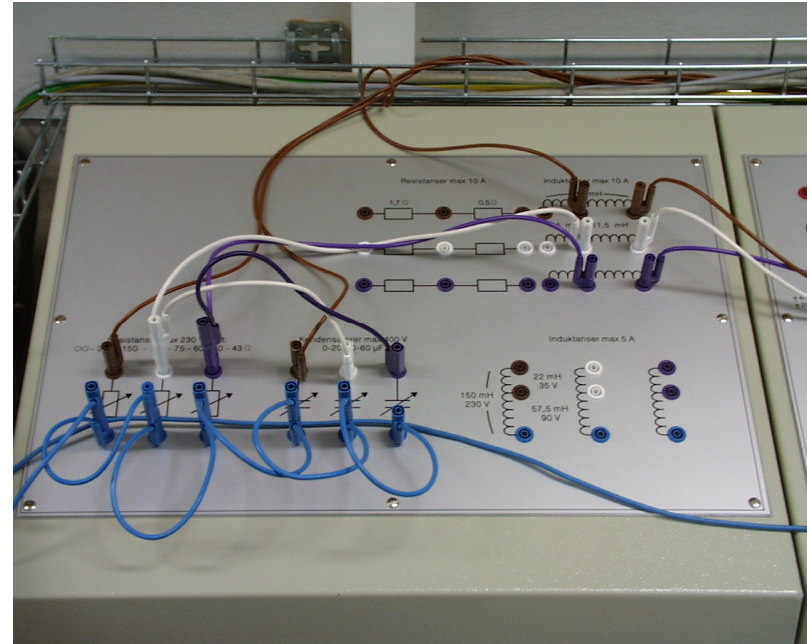
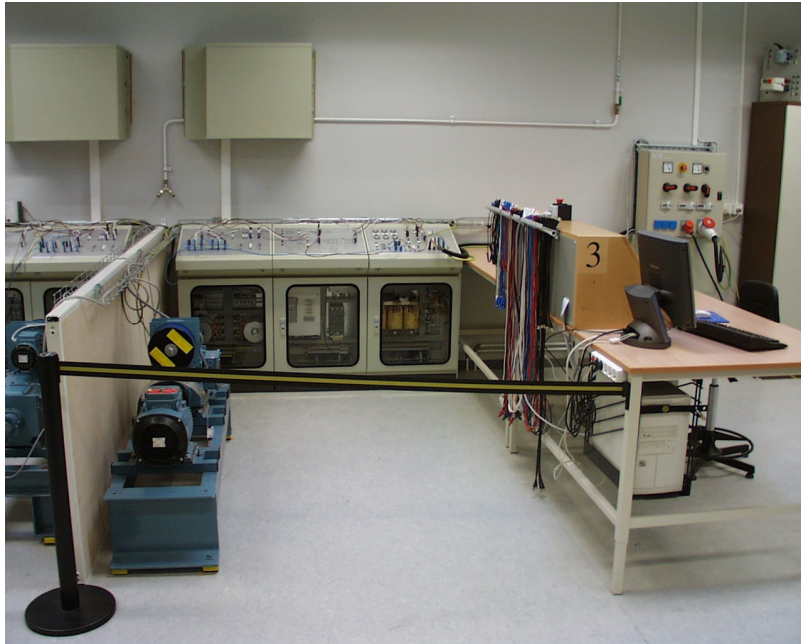
I våra lablokaler gäller:

- Det är förbjudet att arbeta med livsfarliga spänningar och maskiner i laboratorier och verkstäder, när inte annan person finns inom syn- och hörhåll!

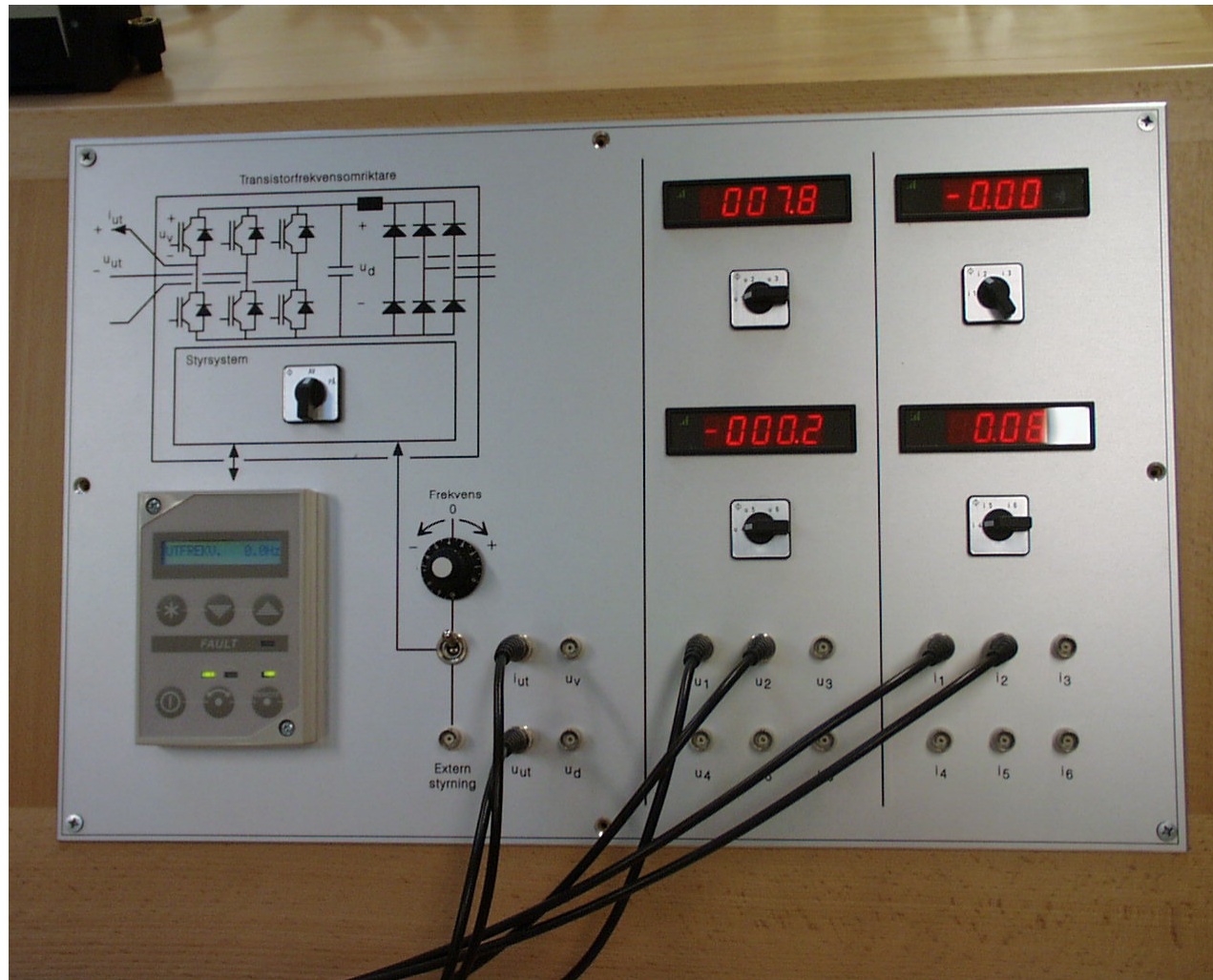
Livsfarlig spänning:

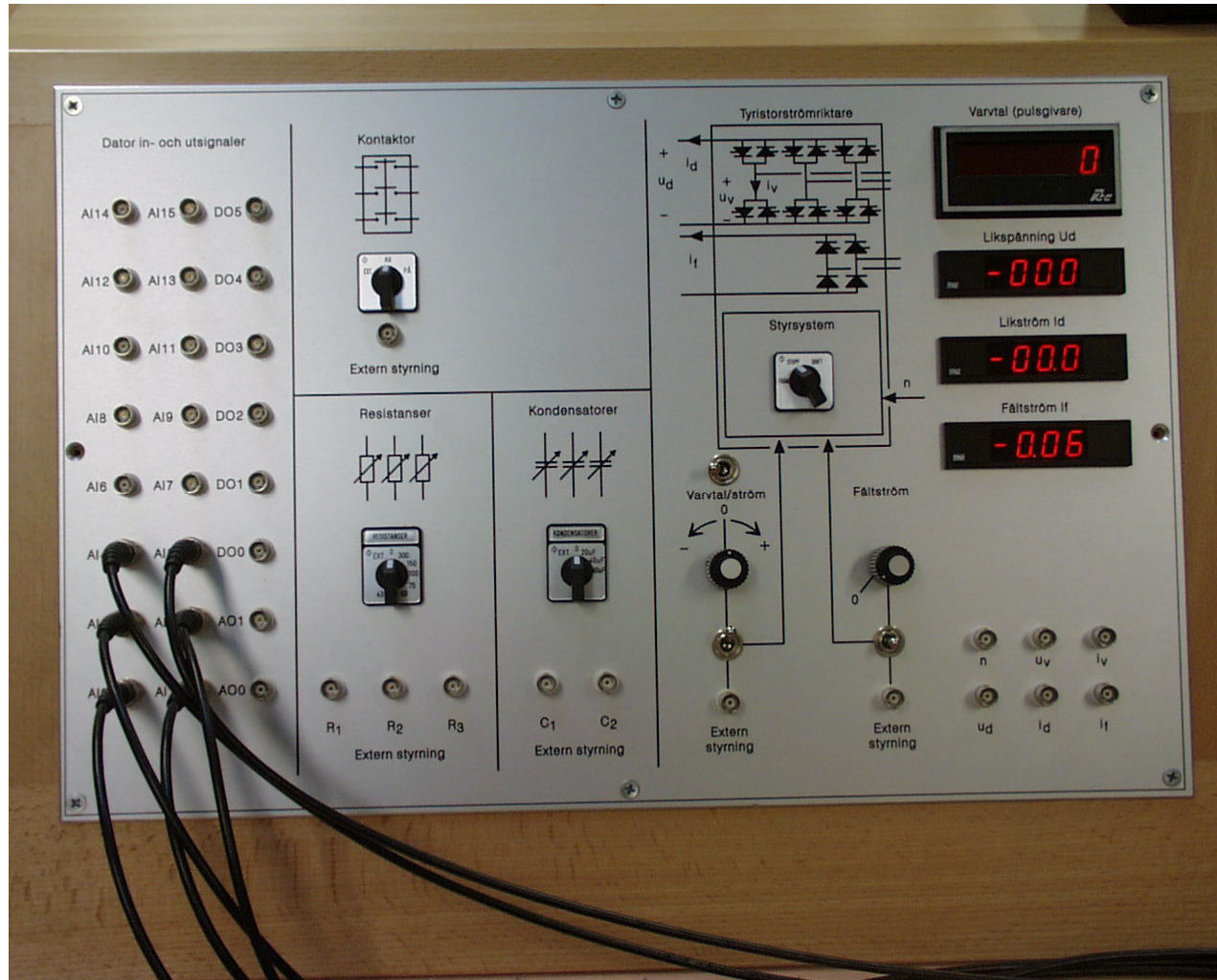
AC	> 25 V
DC	> 60 V

- Alla kopplingar i labuppställningar för livsfarlig spänning skall ske i spänningslöst tillstånd!
- Slå inte på spänningen innan en labassistent har gett klartecken!
- De som arbetar med elektriska experiment bör undvika att bära ringar, armband, halskedjor och dylikt av metall.
- Då kondensatorer kan behålla laddningsspänningen under långa tider, får anslutna prov föremål inte beröras utan att kondensatorerna är kortslutna och jordförbundna.



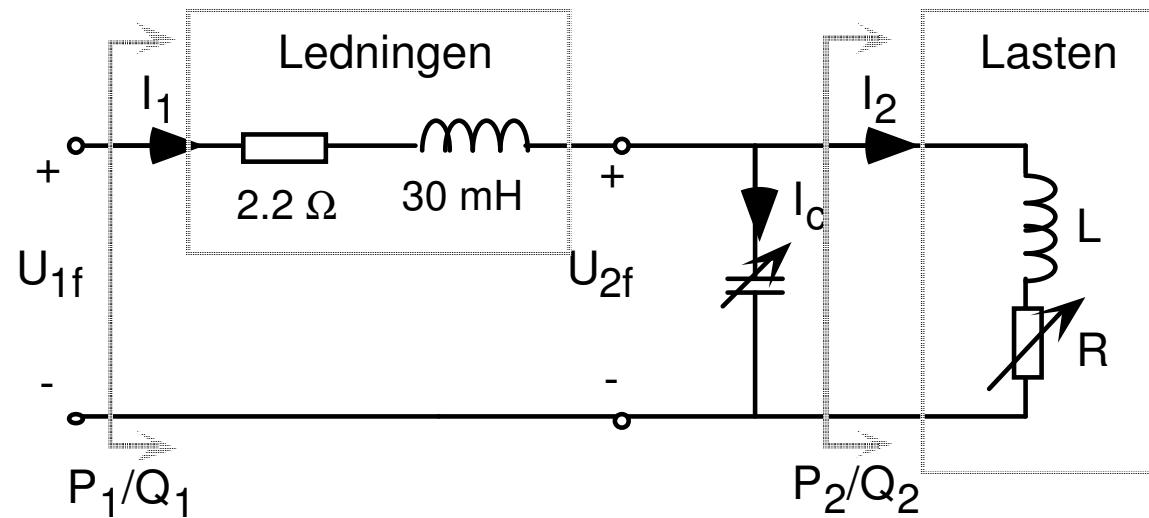
Lite mer inför Lab1



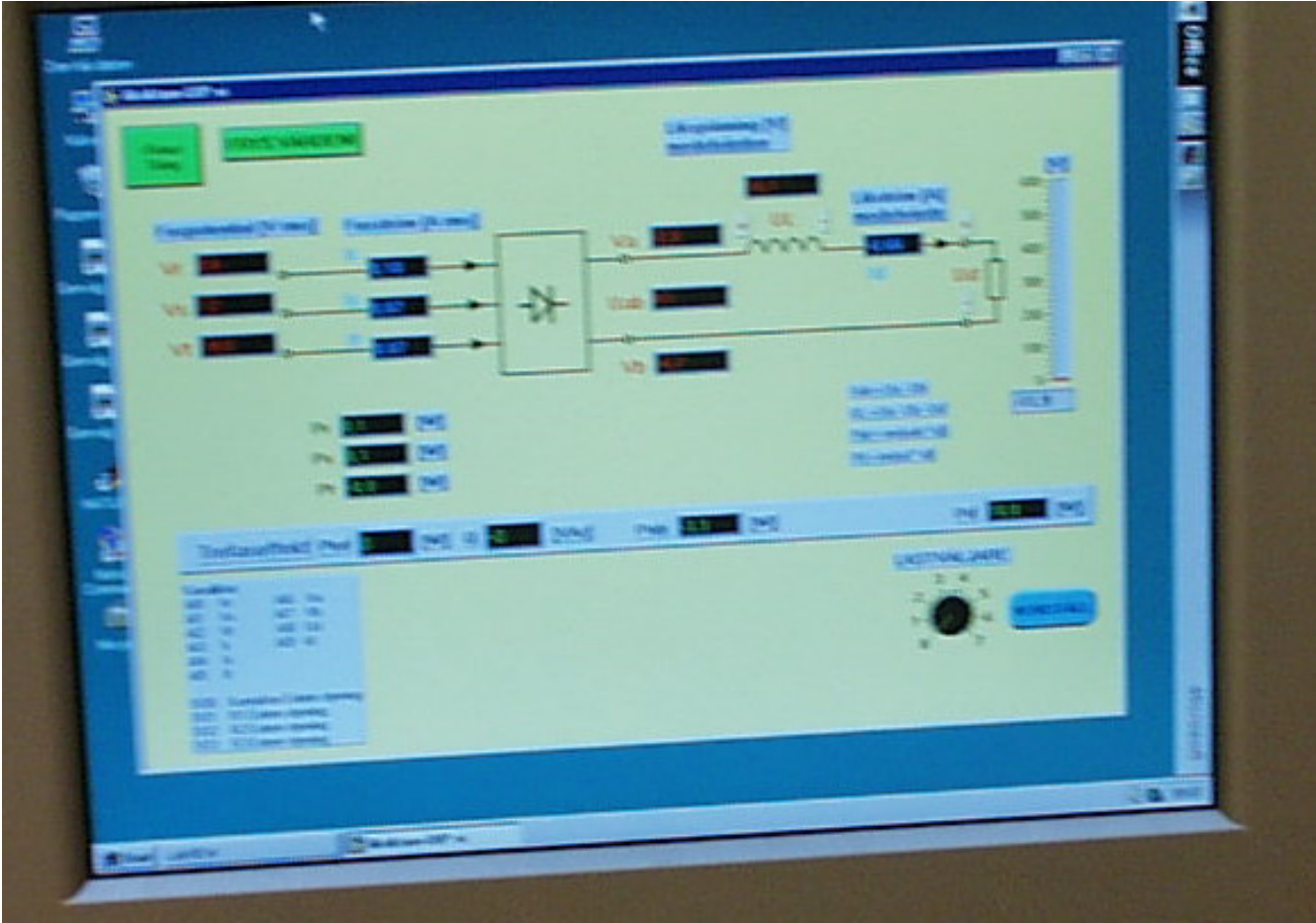


Lab 1

Induktiv och resistiv ledning, faskompensering

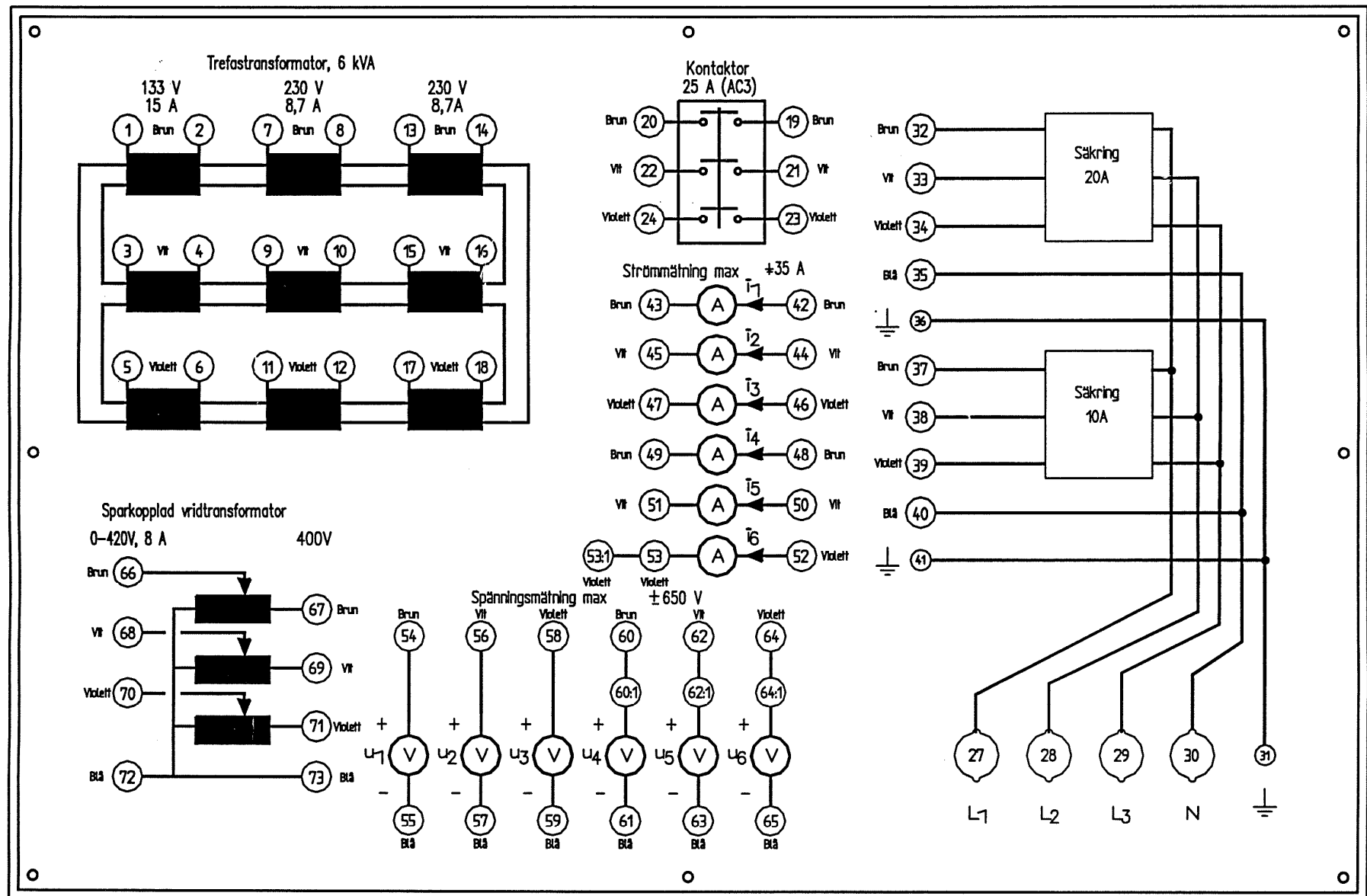


CHALMERS



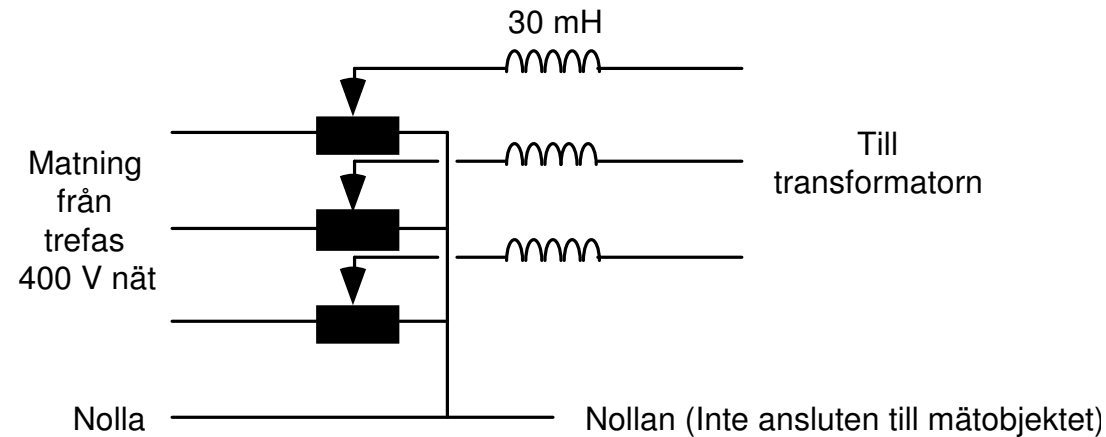
PLATS 1,3,5

Lab 1

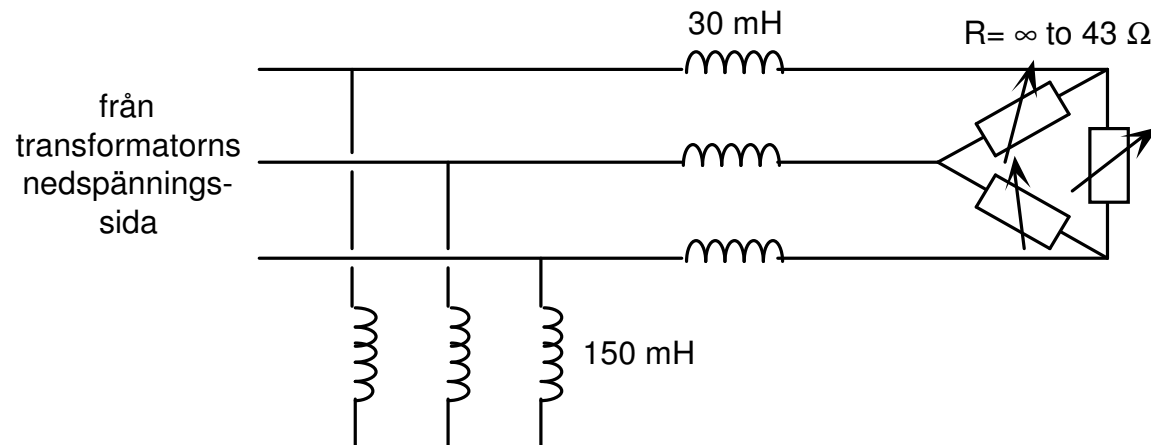


Lab 1

Kortslutningsprovet och tomgångsprovet på transformator

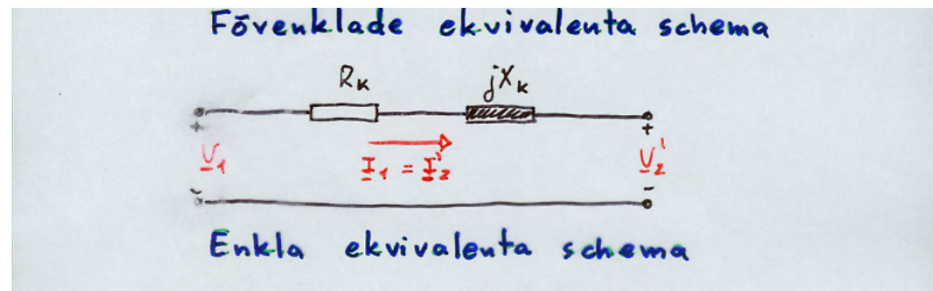


Belastning av transformatorn med RL-last



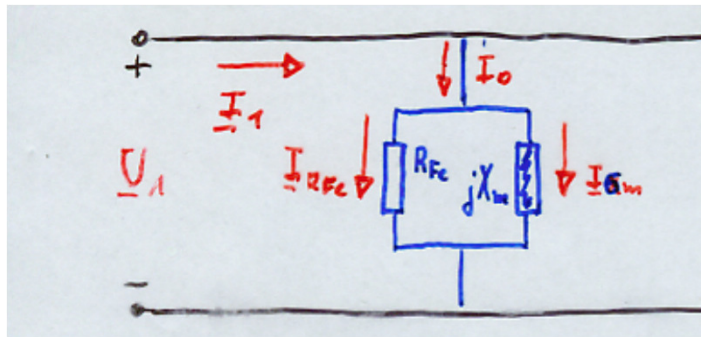
Några rep-frågor:

Vilket driftsfall är följande transformator modell giltig för?



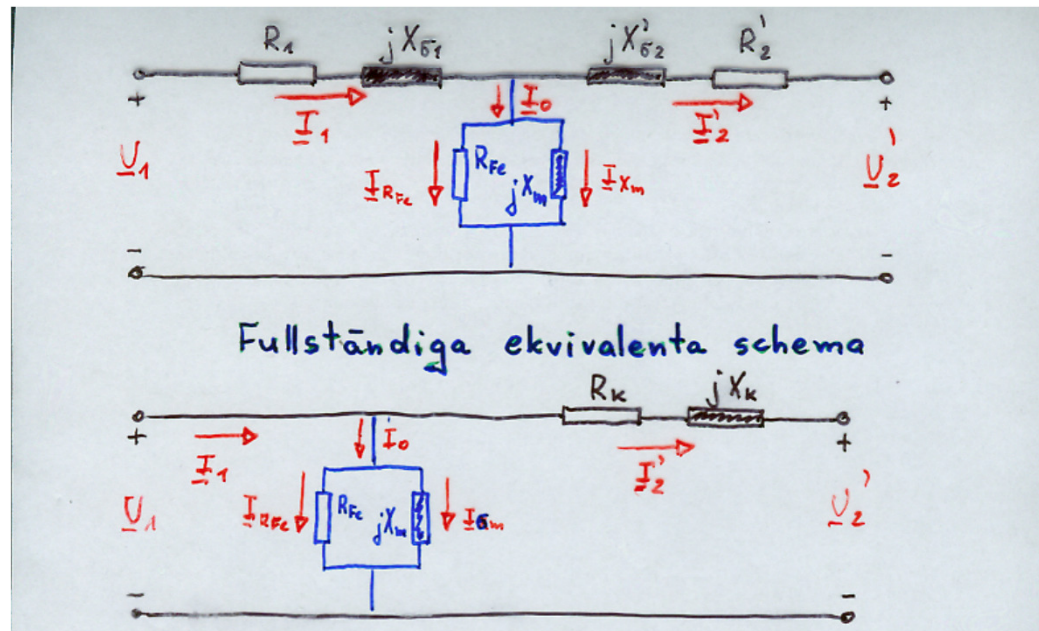
Några rep-frågor:

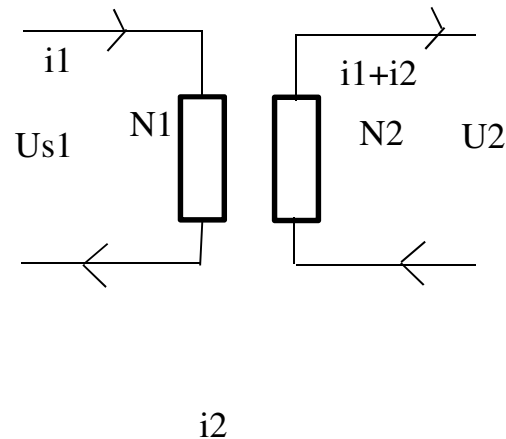
Hur ser modellen vid öppen krets prov?



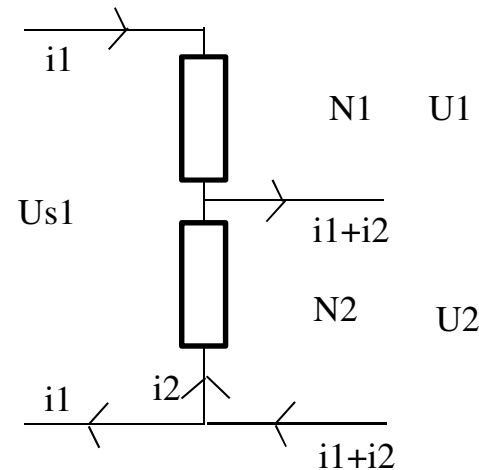
Några rep-frågor:

Vilket antagande ligger bakom nedanliggande förändring?





- Skenbar effekt överförd ”icke-galvaniskt”:
 $S_{niso} = U_{s1} \cdot i_1 = 400 \cdot 100 = 40 \text{ kVA}$



$I_1 = 100 \text{ A}, i_2 = 33 \text{ A},$
 $U_1 = 100 \text{ V},$
 $U_2 = 300 \text{ V},$
 $U_{s1} = 400 \text{ V},$
 $N_1 = 400, N_2 = 300$

- Skenbar effekt överförd $S_{nspar} = U_{s1} \cdot i_1 = 400 \cdot 100 = 40 \text{ kVA}$
- MEN: ”icke-galvaniskt”: $S_{niso_spar} = U_1 \cdot i_1 = 100 \cdot 100 = 10 \text{ kVA}$
- Endast transformeringen mellan N1 och N2 överförs magnetiskt.
- 30 kVA leds elektriskt.

Om vi jämför: $S_{niso}/S_{niso_spar} = 4$, ser vi att den sparkopplade kan göras mindre då mindre effekt behöver överföras magnetiskt. Resten endast elektriskt.

$$\frac{S_{niso}}{S_{niso_spar}} = \frac{U_{s1}}{U_1 \cdot i_1} = \frac{(U_1 + U_2) \cdot i_1}{U_1 \cdot i_1} = 1 + \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{N_2}{N_1}$$

Effektivt om U_1 är betydligt mindre än U_2 .