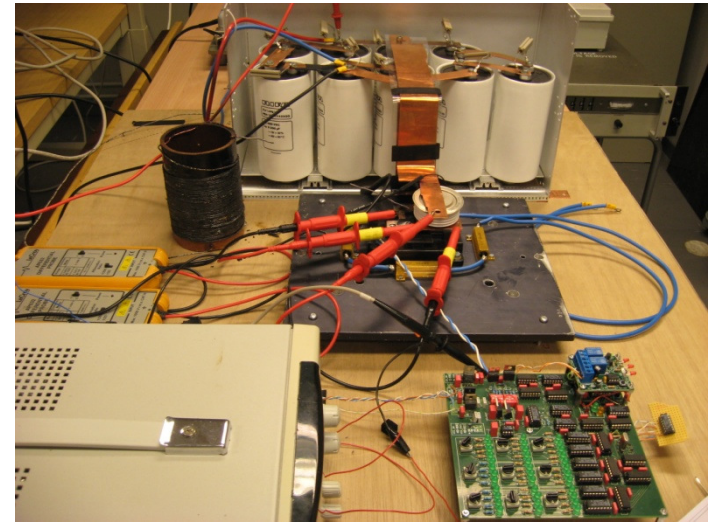


Elsäkerhet

Den elektriska faran



Thomas Hammarström



CHALMERS



CHALMERS



CHALMERS



Elektriska fält (grundläggande samband)

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \text{ (Gauss lag)}$$

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}$$

$$E_{1t} = E_{2t}$$

$$D_{1n} - D_{2n} = \rho_s$$

Elektriska fält $\perp$ isolerande yta
 Elektriska fält $\parallel$ ledande yta
 Elektriska fält $\perp$ elektriska fält

Bytning för:

• Elektriska fält

$$\epsilon_1 \alpha_2 = \epsilon_2 \alpha_1$$

är riktväkt i normala

• Elektriska fält

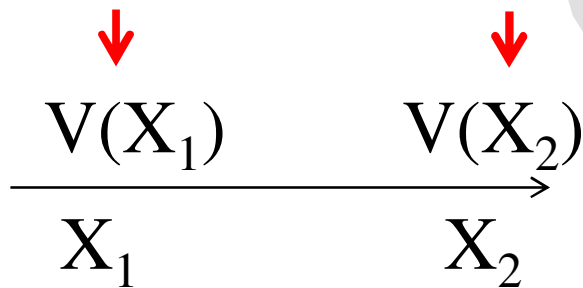
$$\epsilon_1 \beta_2 = \epsilon_2 \beta_1$$

är riktväkt i tangent

Elektriska fält (grundläggande samband)

$$E = - (V(x_1) - V(x_2)) / (x_2 - x_1)$$

• När potentialen V ändras!!



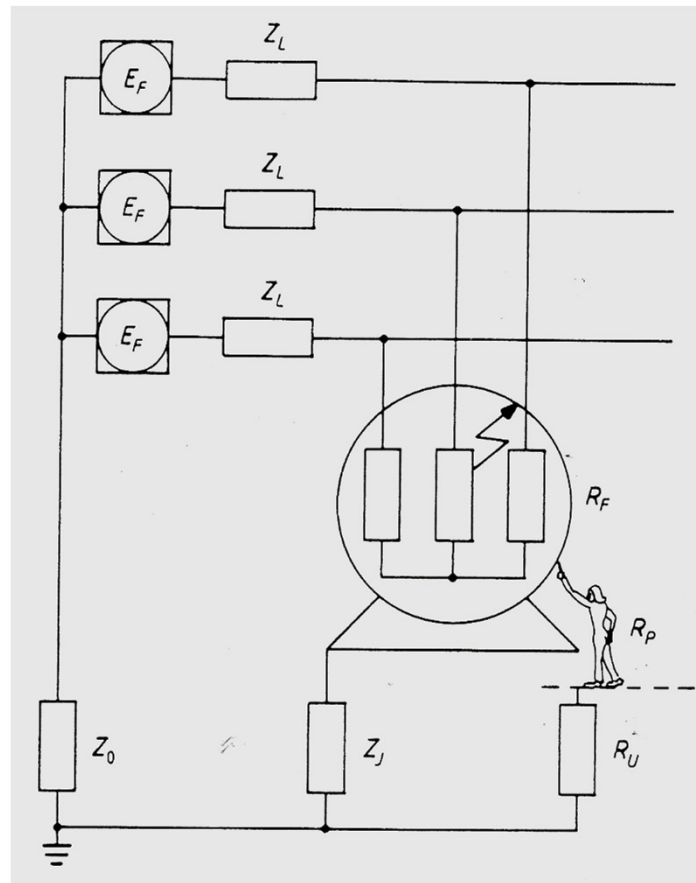
Elektriska fält är vinkelräta mot isopotentialer
 Elektriska fält är parallella med isopotentialer
 Isopotentialer är vinkelräta mot elektriska fält

Personfara

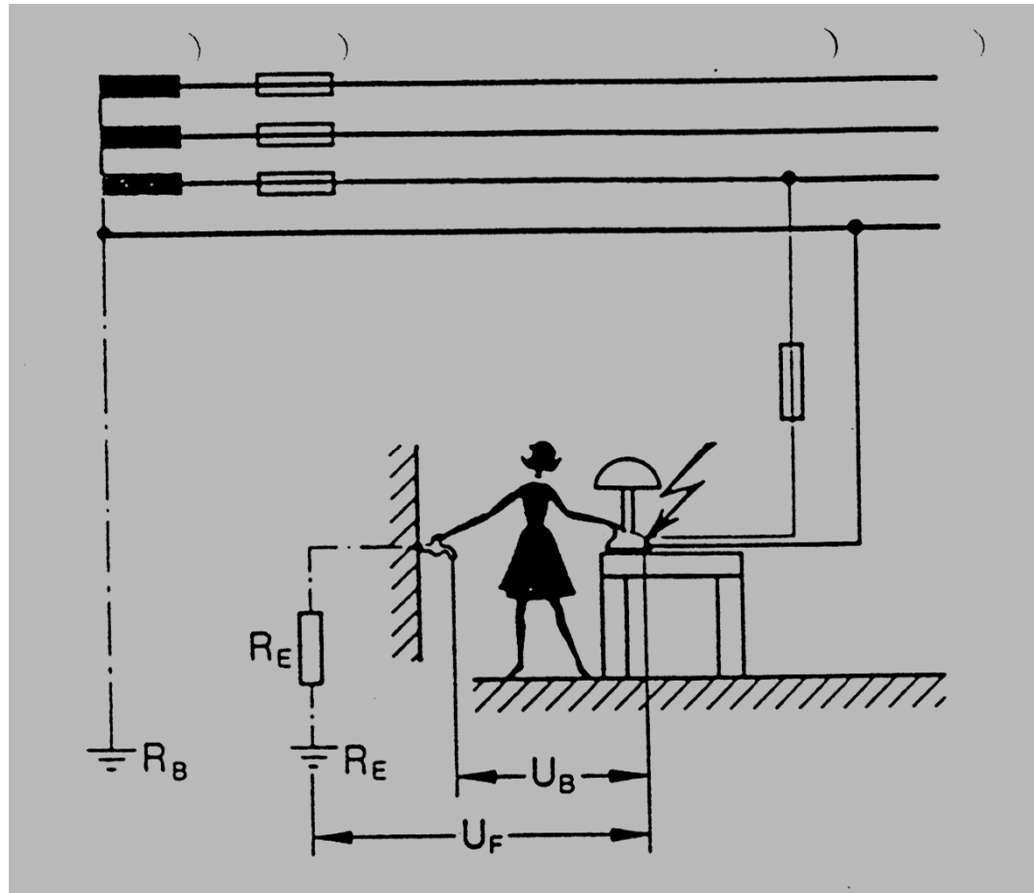
Vad är avgörande hur stor skadan blir?

- **strömstyrkan**
- **hur lång tid strömmen flyter genom kroppen**
- **vilken väg strömmen flyter genom kroppen**
- **kroppens kontaktyta med spänningsförande del**
- **kroppens fuktighet**
- **strömmens frekvens**
- **hudimpedans**
- **...**

Strömkrets vid beröring av ett hölje som spänningssatts på grund av isolationsfel



Ett fel i lampans hölje:



U_F - felspänning

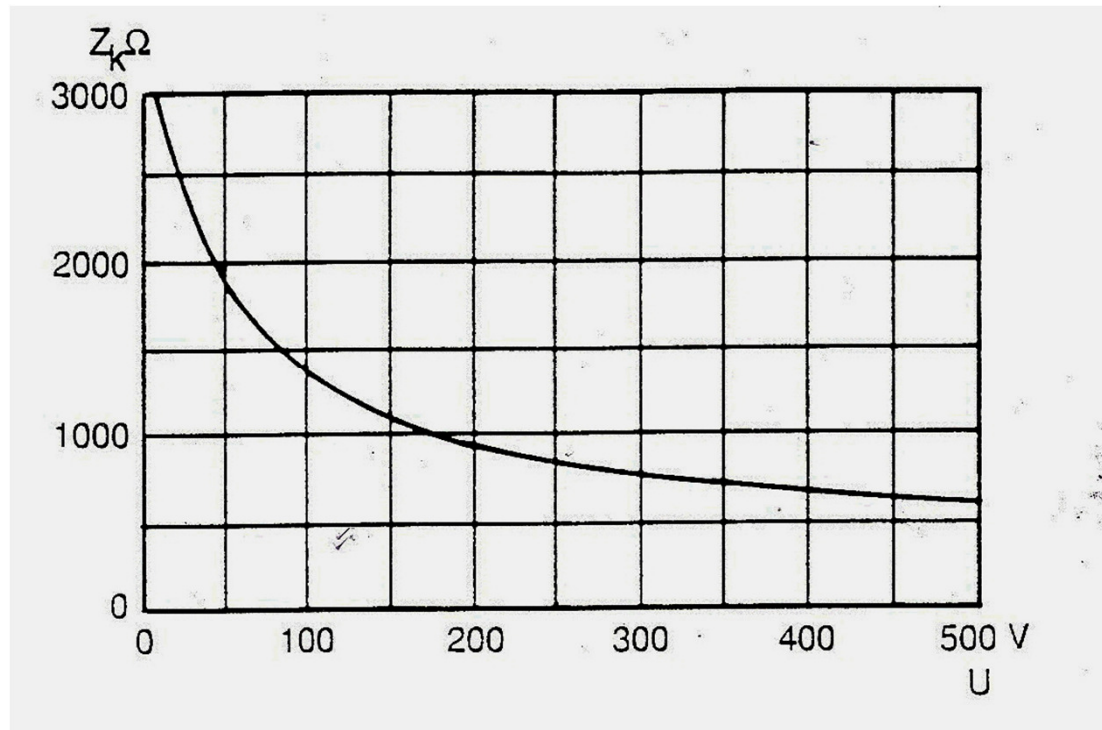
U_B - beröringsspänning

R_M - kroppens inre resistans

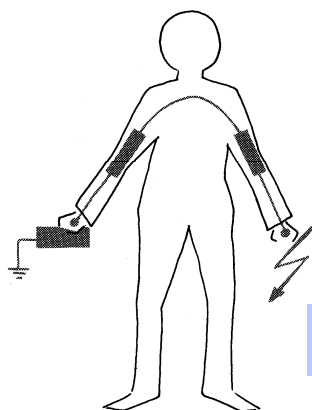
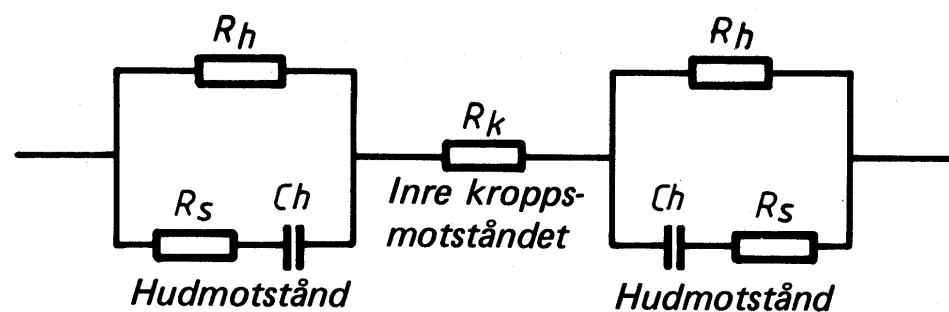
R_E - yttre resistans (jordresistans)

$$U_B = \frac{U_F \cdot R_M}{R_E + R_M}$$

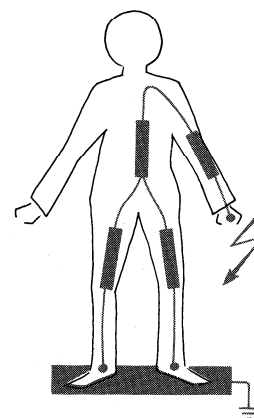
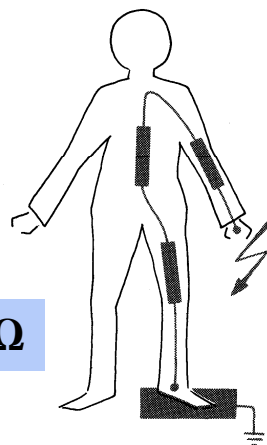
Kroppsimpedansen som funktion av beröringsspänningen (DC och AC - 50 Hz)



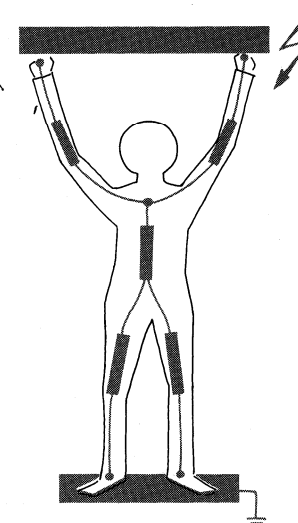
Kroppens ekvivalensschema



1300 Ω

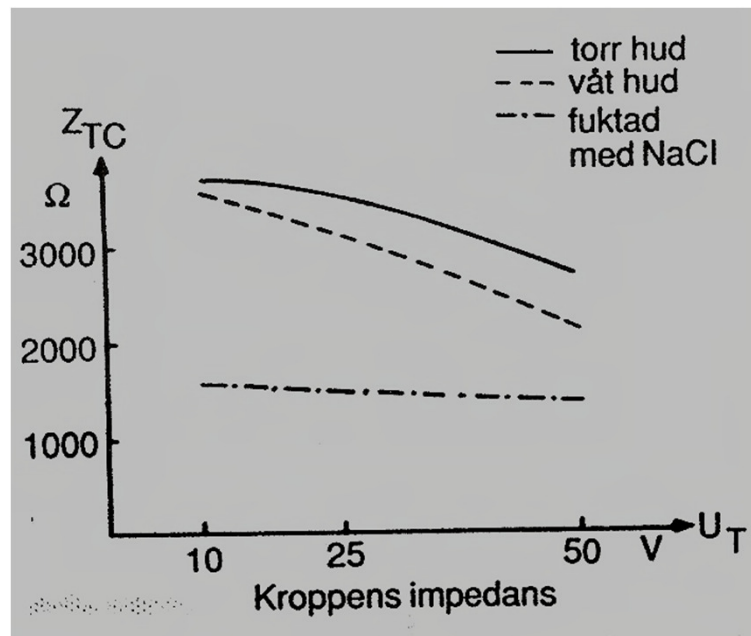


975 Ω

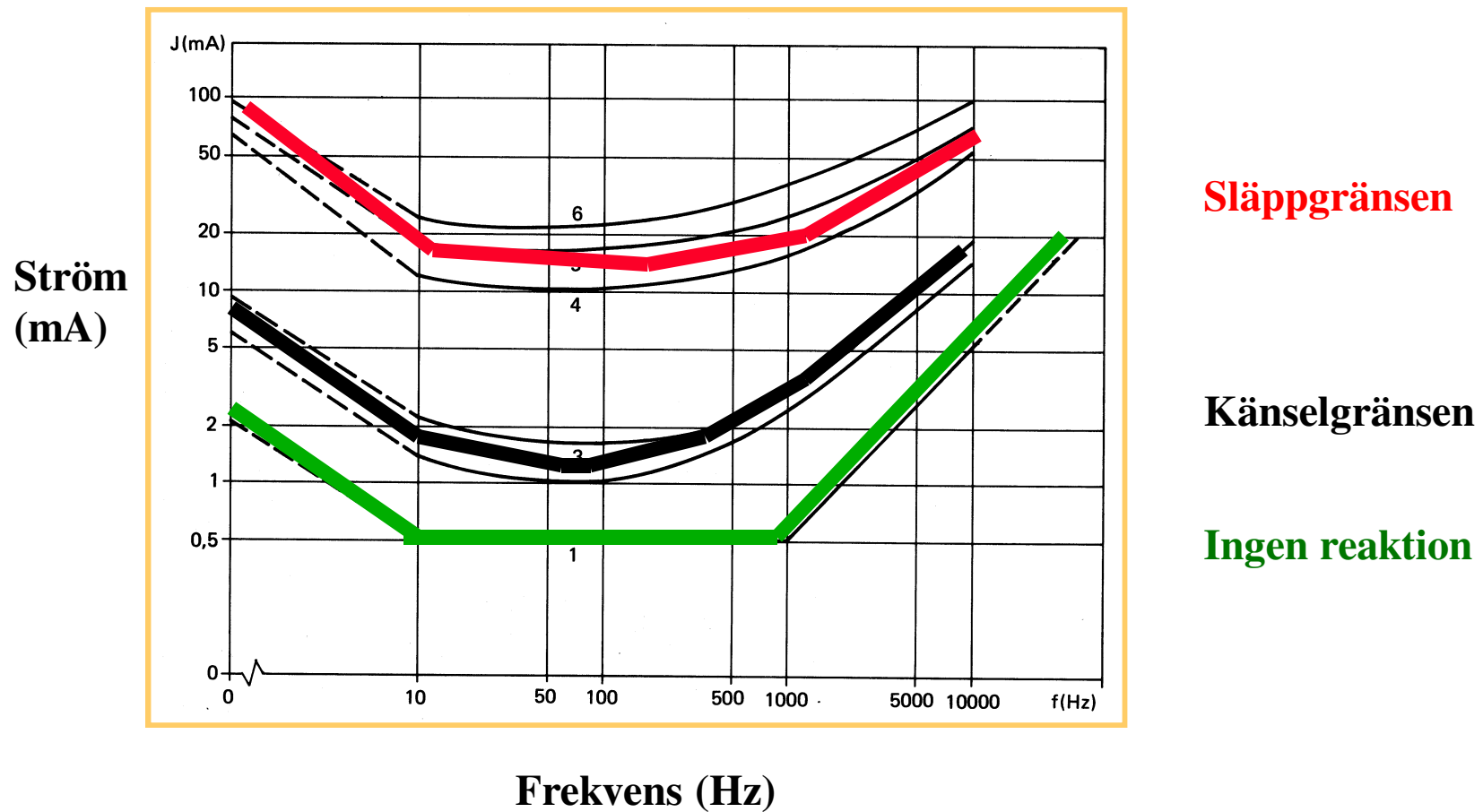


650 Ω

Fuktighetens inverkan på kroppsimpedans och begynnelse-resistans vid beröringsspänning 10 – 50 V

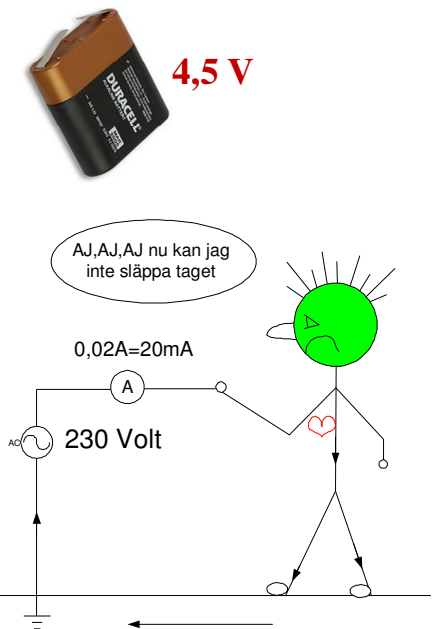


Frekvensens inverkan på kroppens känslighet för strömmen



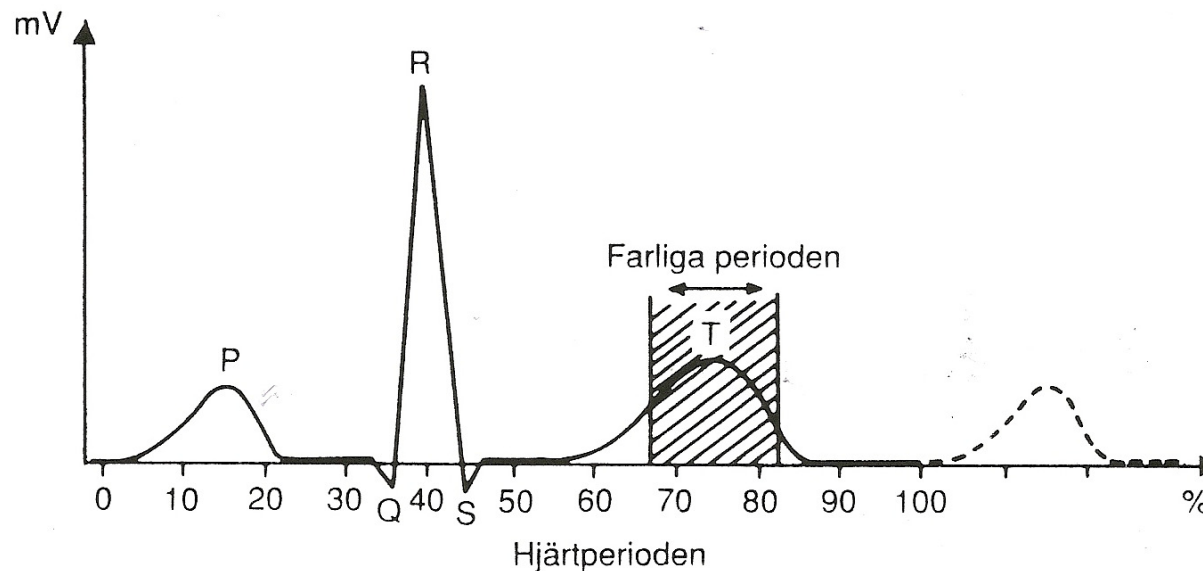
Fysiologisk inverkan på människokroppen av växelström 50 Hz

Ström	Fysiologisk verkan
45 μ A	Kan uppfattas med tungan
0,5 – 1 mA	Känslgräns för fingrarna – häftig reaktion möjlig
1 – 10 mA	Obehagliga stickande smärtor i kontaktytan
>10 mA	Muskelkramper
15 – 20 mA	Släppgränsen , andningsbesvär
20 – 40 mA	Medvetsslöshet
40 – 400 mA	Kraftig chock med smärtsam svår kramp, syretillförsel störs -> hjärnan skadas
>400 mA	Hjärtkammerflimmer om T-fasen ingår
flera A	Svåra brännskador, hjärtstopp...



EKG – elektrokardiogram

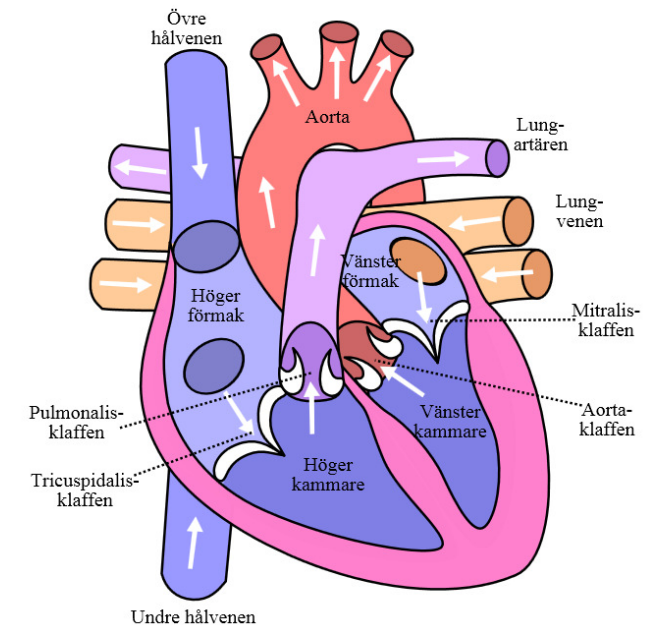
elektrisk aktivitet från hjärtmuskeln



Q-R-S kammarkontraktion

T återställning – vulnerabla (ömtåliga) perioden

$1 \div 1,6 \text{ mV}$
 $1,1 \div 1,3 \text{ Hz}$



Defibrillator, eller hjärtstartare

Tillåten beröringsspänning U_{Tp} som funktion av felets bortkopplingstid

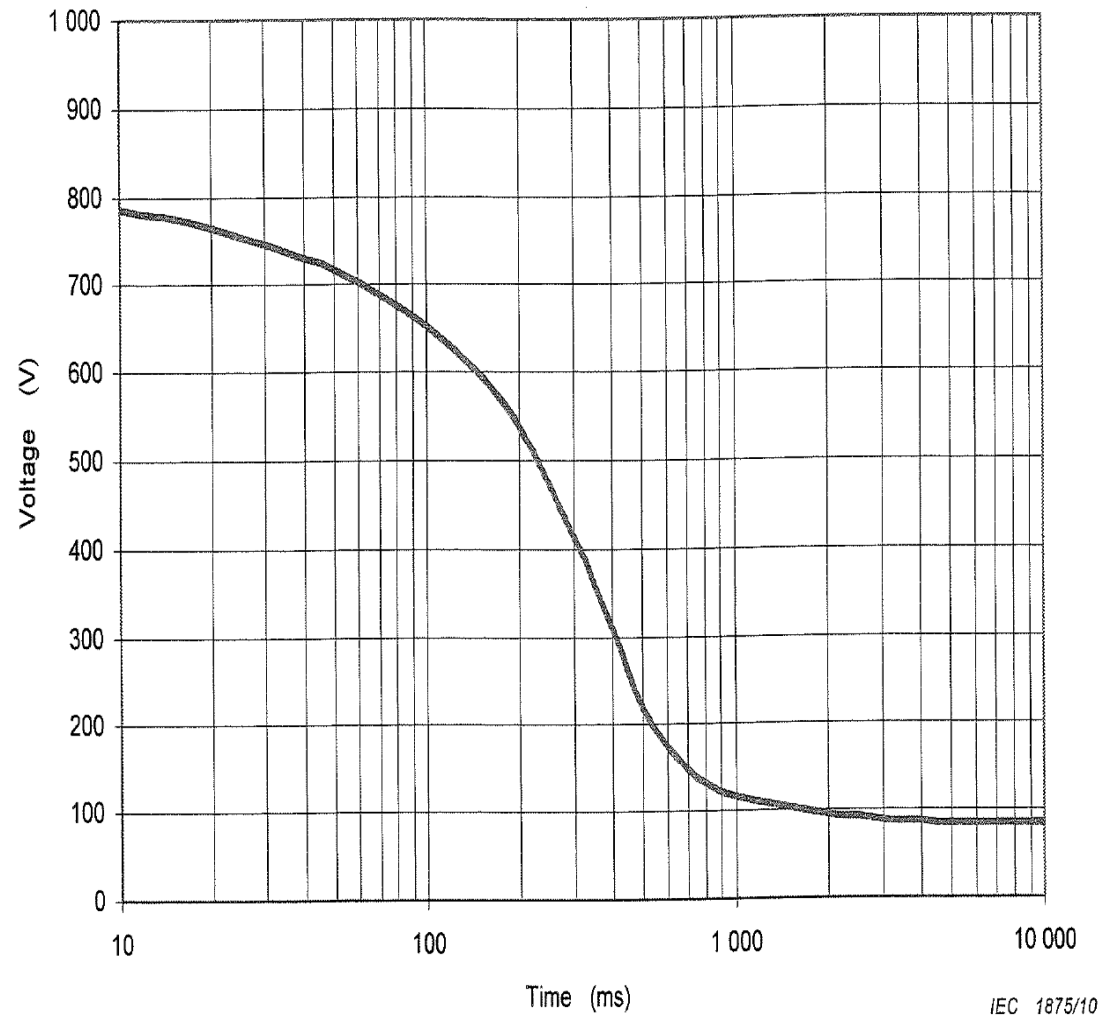
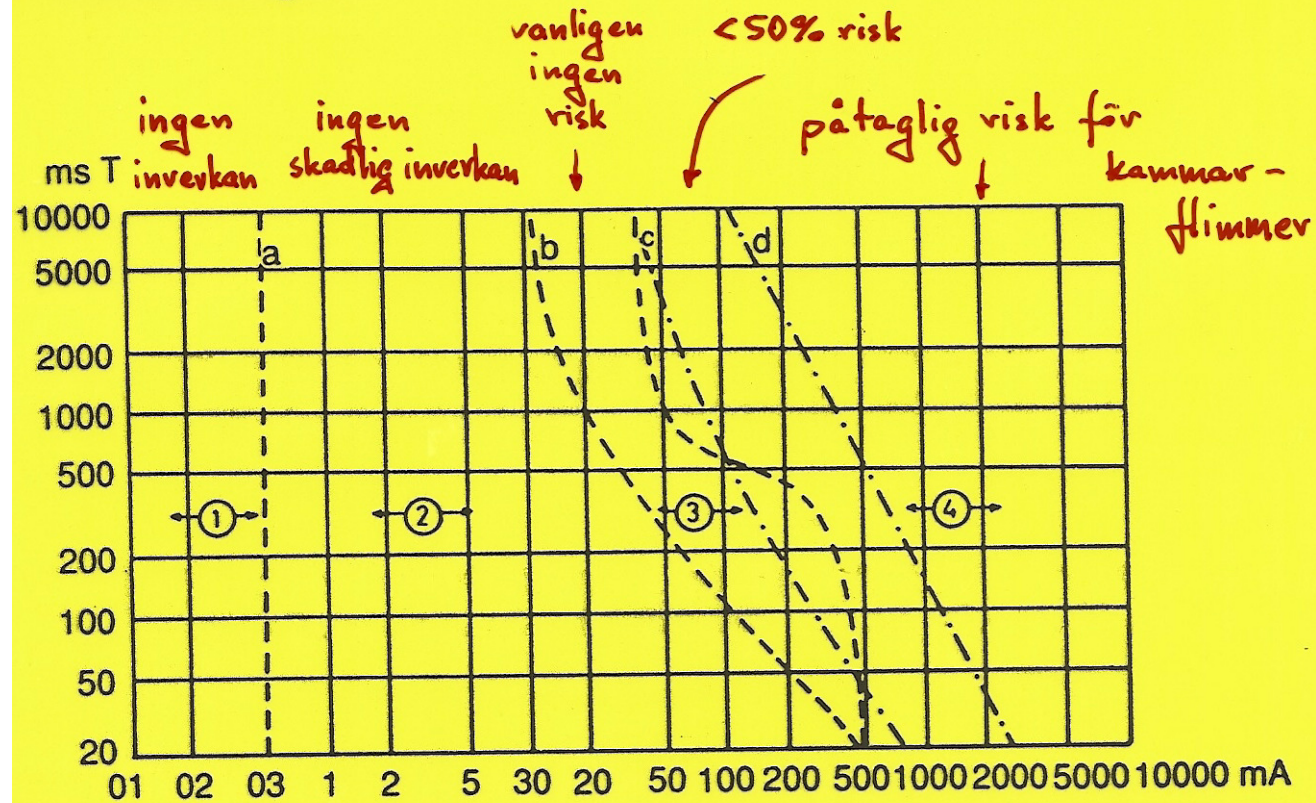
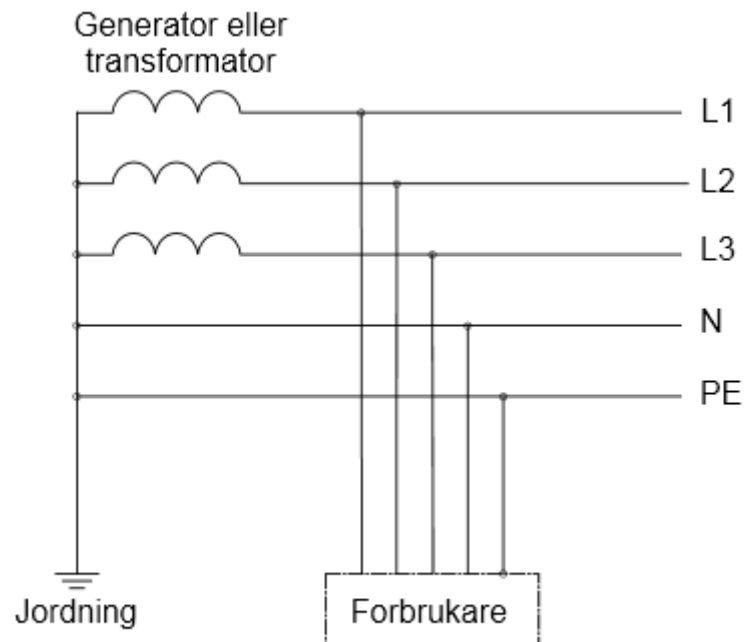


Figure 12 – Permissible touch voltage U_{Tp}

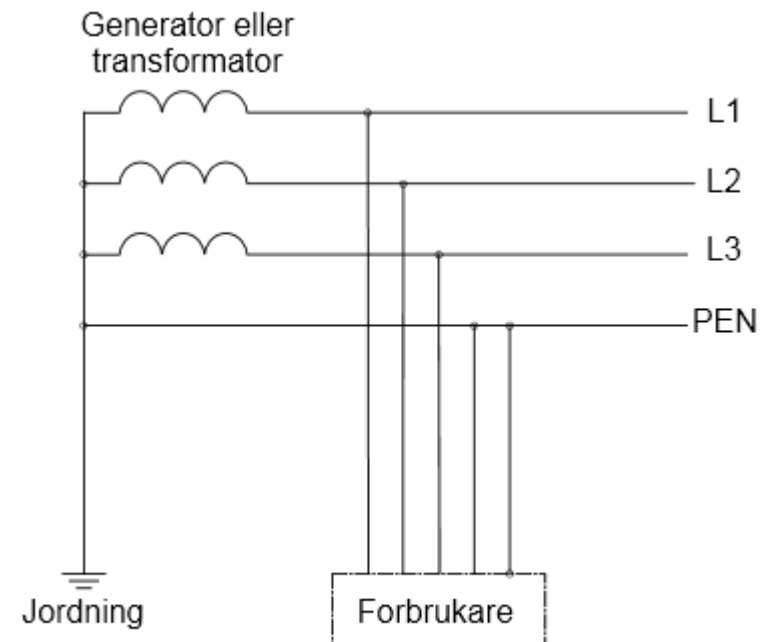
Riskzondiagram



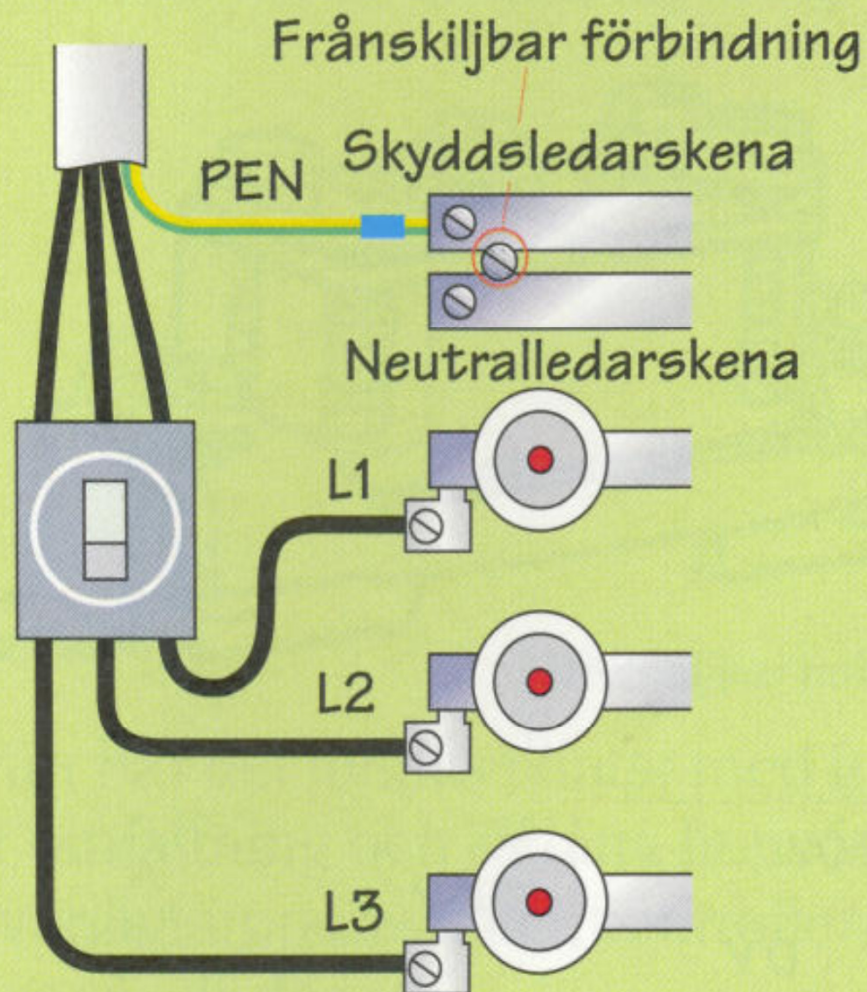
Allmänna distributionsnät för lågspänning ska vara utförda som TN-system



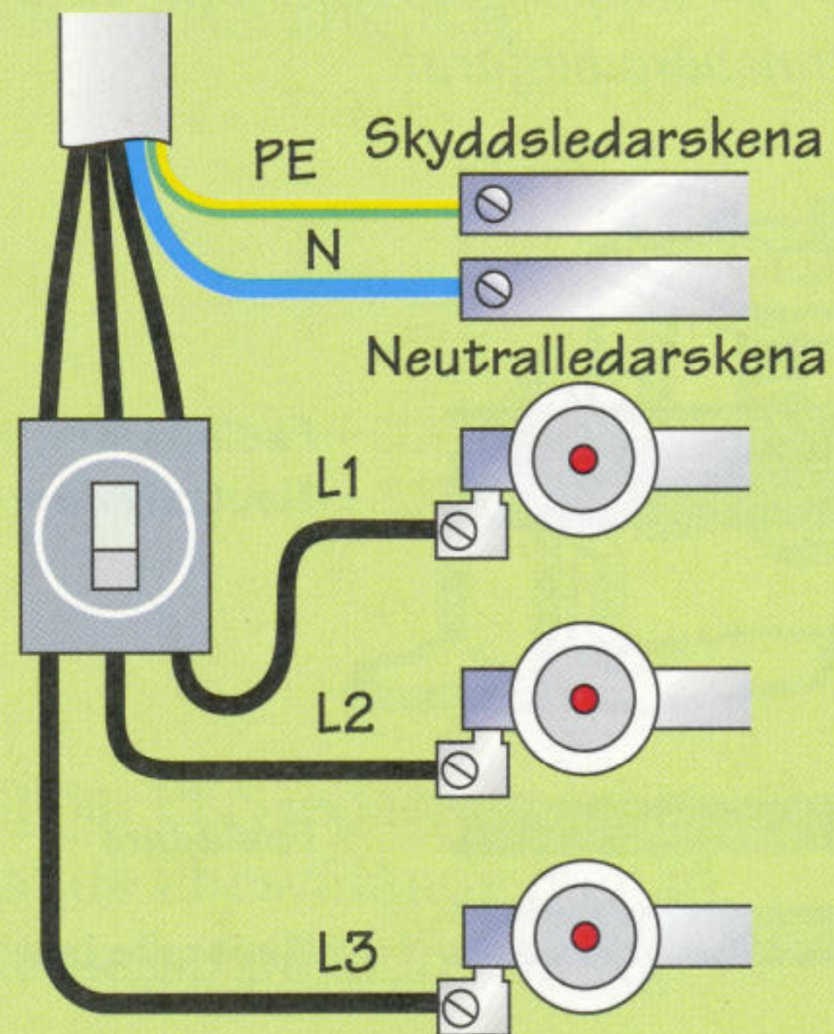
TN-S system



TN-C system

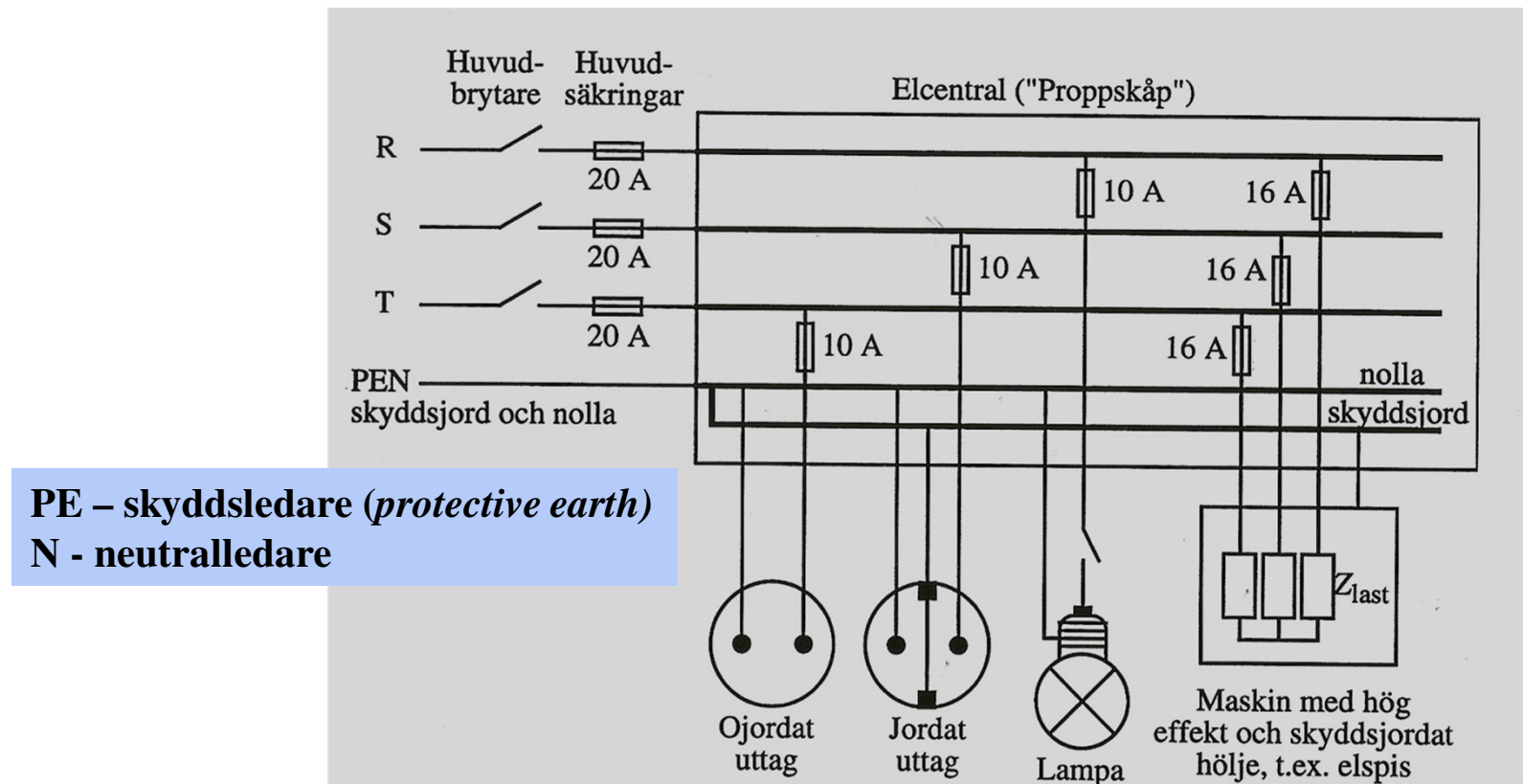


Anslutning TN-C-system.



Anslutning TN-S-system.

Principiellt utförande av en vanlig elinstallation matad från ett fyrledarsystem



TN-C-S system



Jordat vägguttag



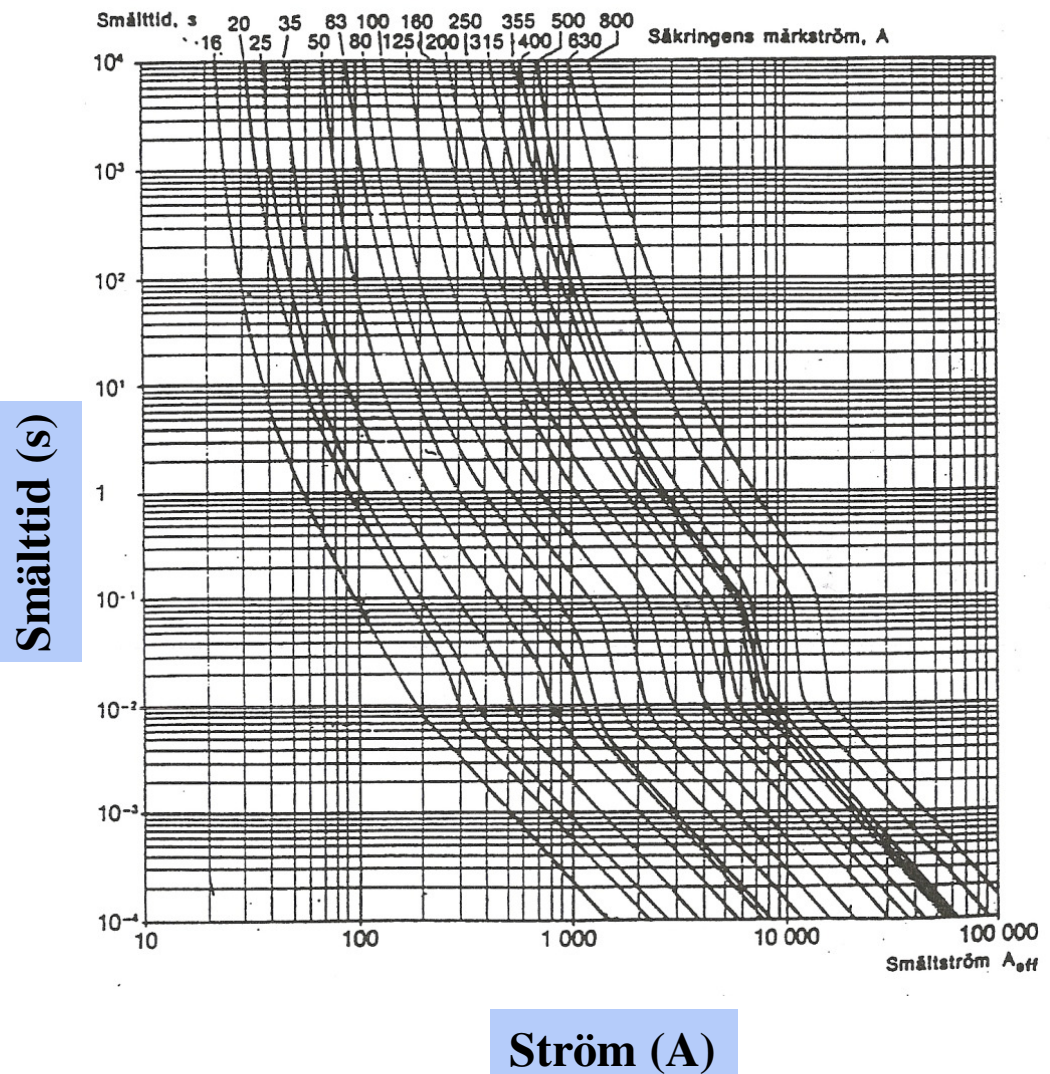
Propssäkring = gängssäkring



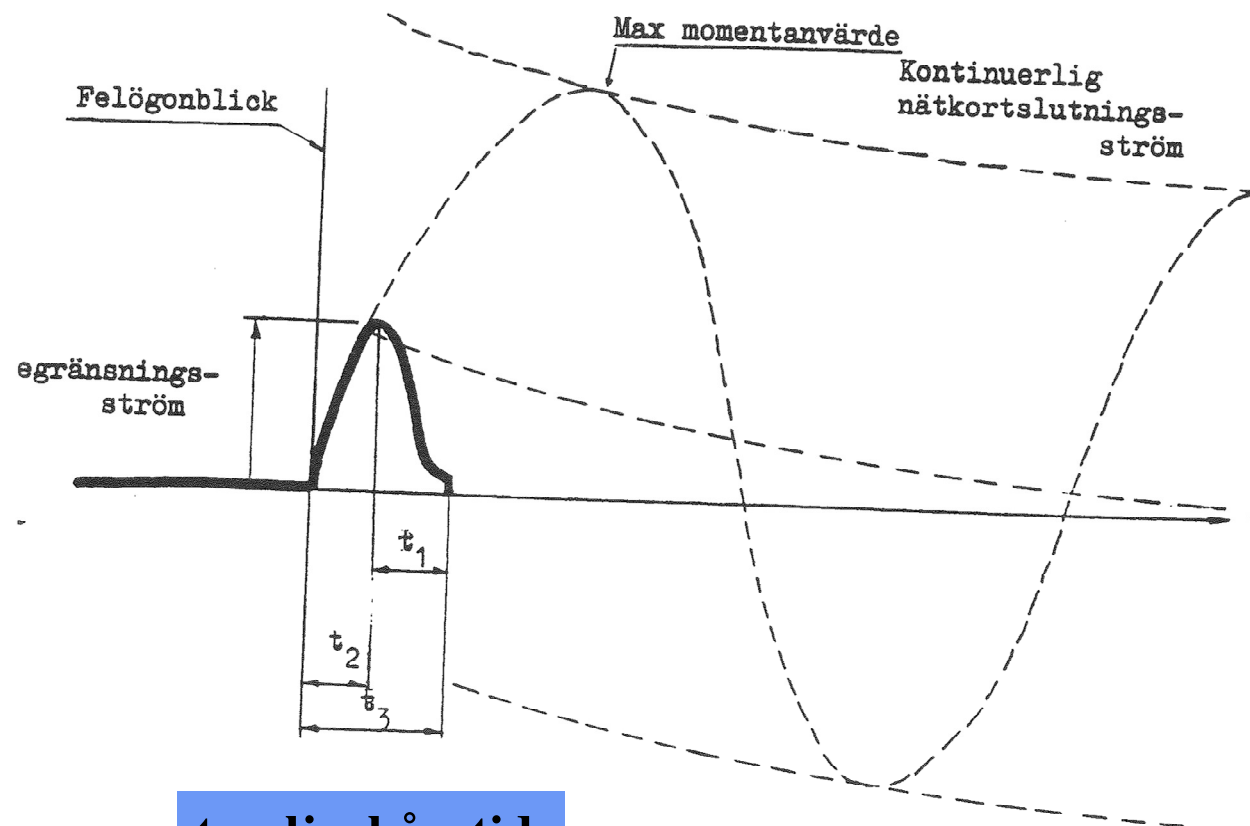
**Automatsäkringar =
dvärgbrytare**



Smälttidskurvor för säkringar



Strömbegränsande brytförlopp med smältsäkring

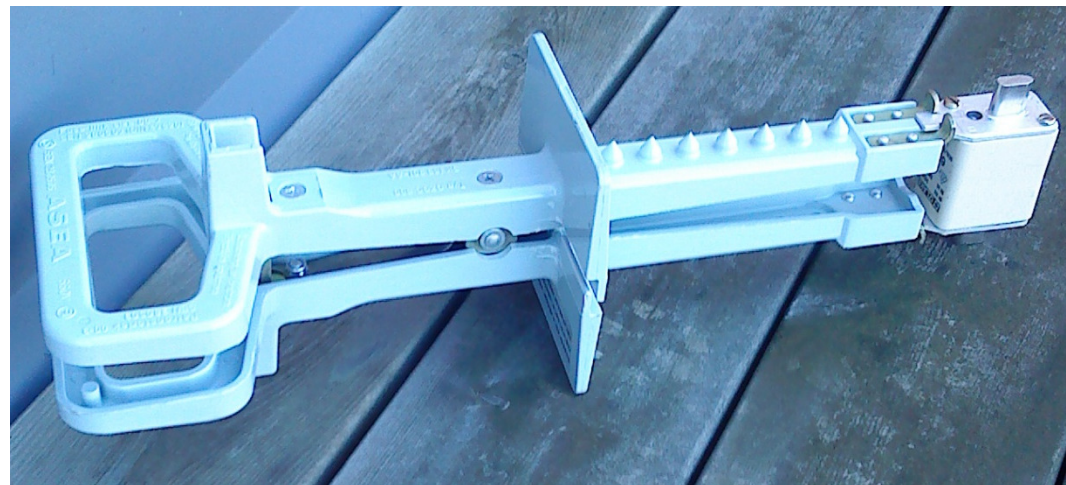


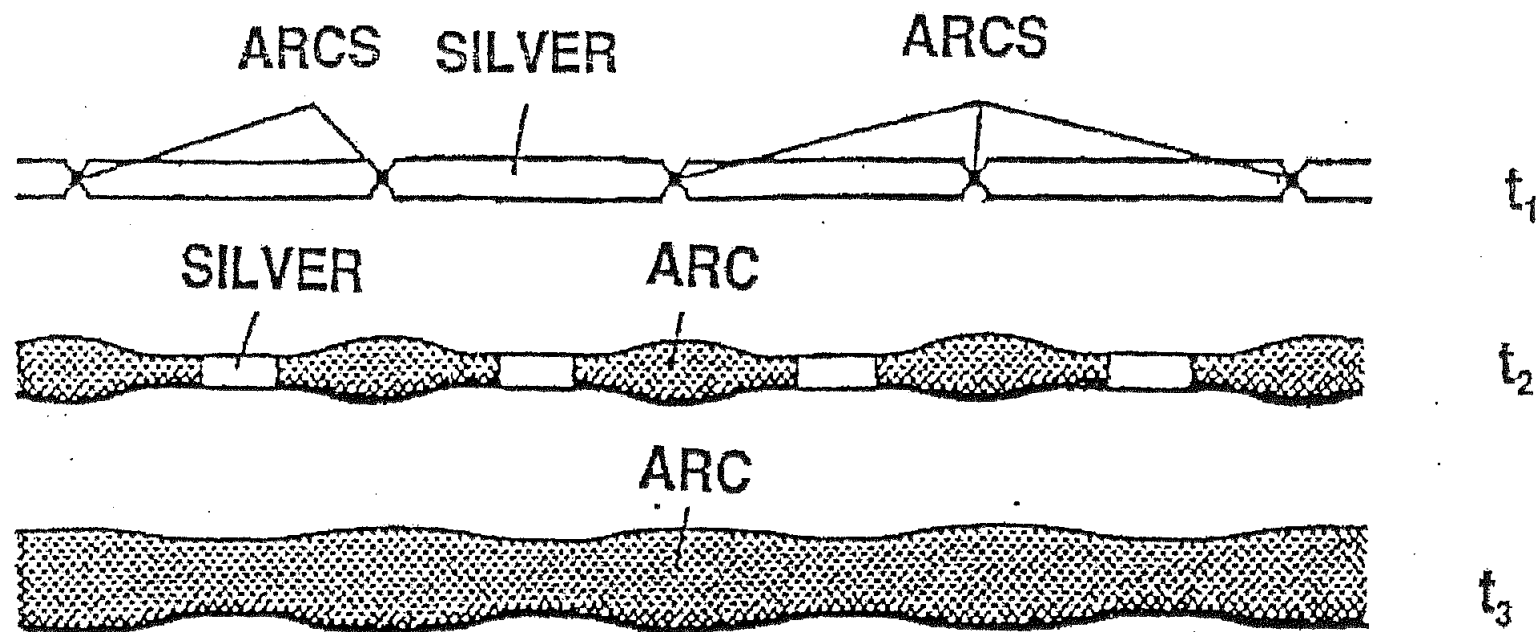
t_1 – ljusbågstad
 t_2 – smälttid
 t_3 – bryttid



Knivsäkring

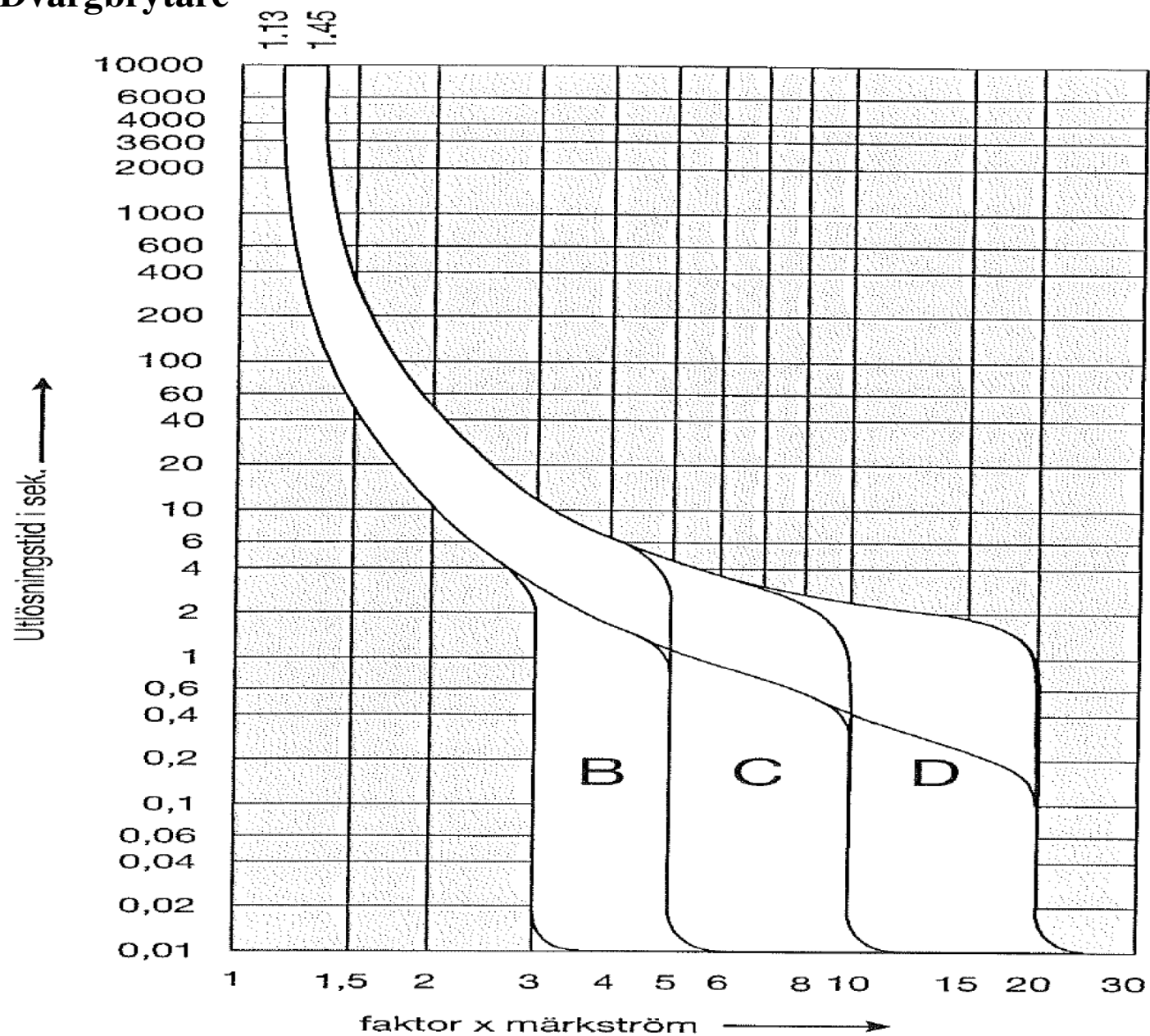
Verktyg för byte





Avsmältning av smältledare

Dvärgbrytare

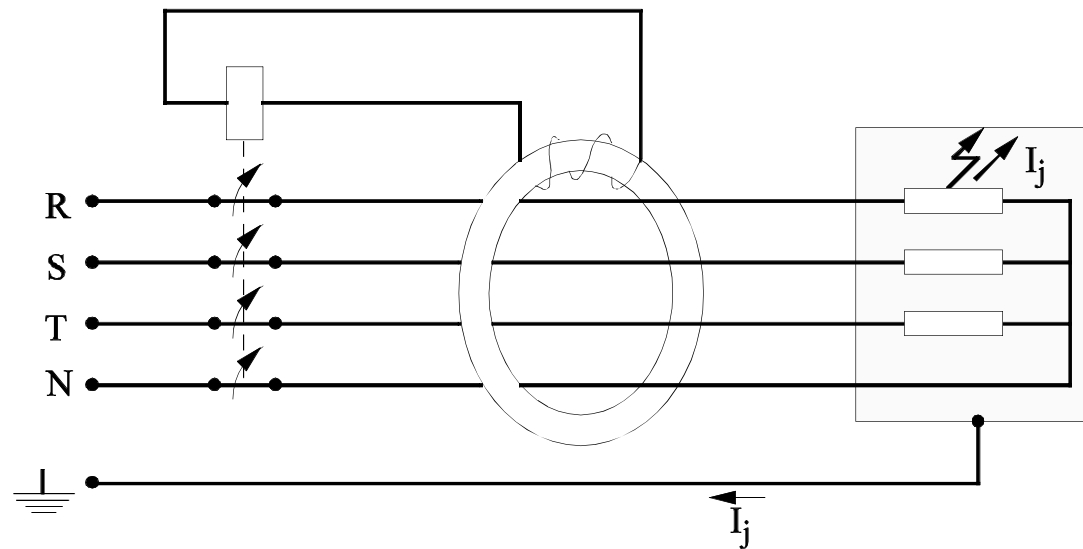


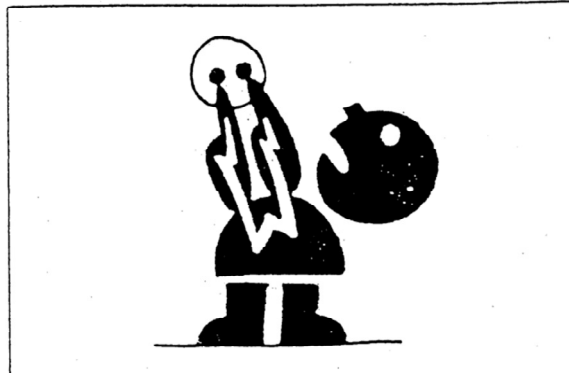
Utsatta delar skall skyddsjordas!

Skydd mot direkt beröring:

- 1. Genom isolering av spänningsförande del*
- 2. Genom avskärmningar eller kapslingar*
- 3. Genom placering utom räckhåll*

Principskiss av en trefasig **jordfelsbrytare**





**Jordfelsbrytaren skyddar inte vid
strömgenomgång från fas till
nolla(N-ledare)!!!**

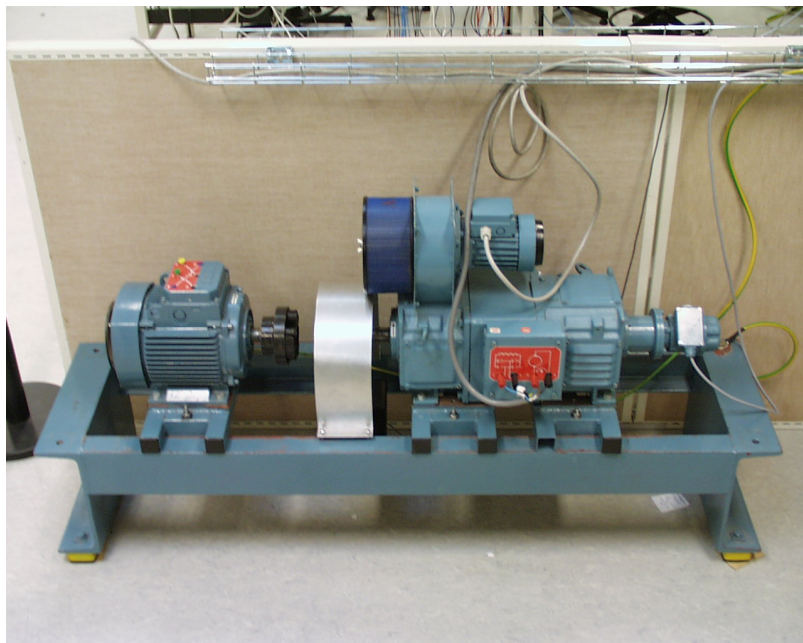
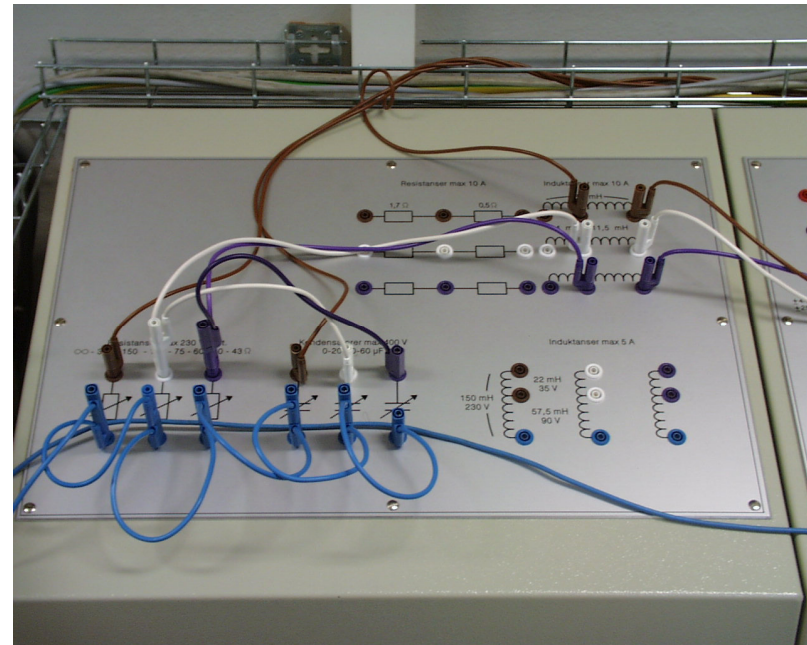
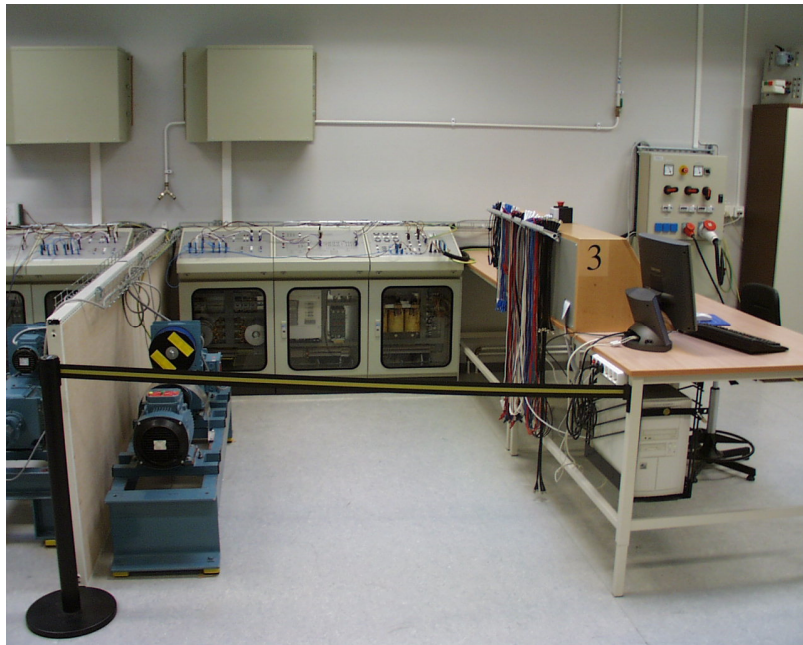
I våra lablokaler gäller:

- 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.



Nödstopp

Registrering av tid för fränkoppling vid nödstopp.

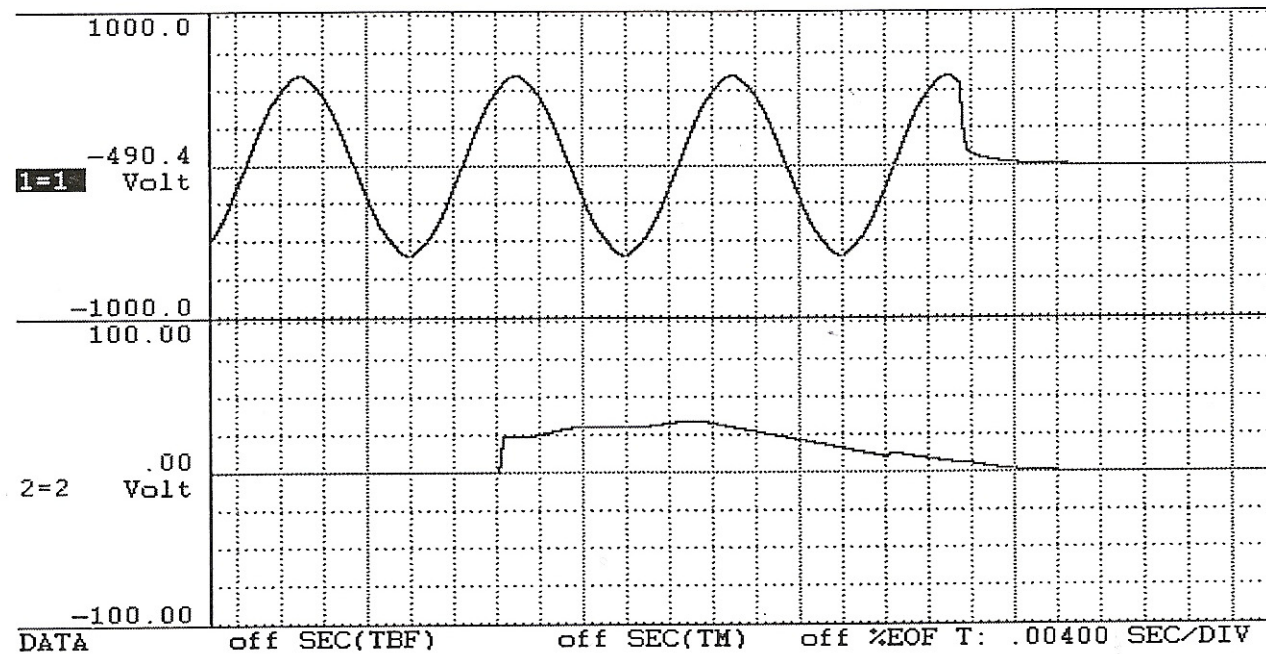
Datum: 991013

Provplats: +2565.3 Fast spänning 400V 63A.

Mätt med DATAQ DI-730.

Kanal 1: Huvudspänning.

Kanal 2: Direkt över nödstoppsknappen.



Vägledning – vid elskada

CHECKLISTA

- **Bryt ALLTID strömmen** eller dra bort den skadade från strömförande föremål.
- Tänk på din egen säkerhet, berör inte bar hud.
- Dra i den skadades kläder eller använd något föremål emellan dig och den skadade.
- Kontakta alltid sjukvården även om olyckan inte verkar så allvarlig.
- Berätta för vårdpersonalen att det är **EN OLYCKA ORSAKAD AV EL**.
- **RING 112 – TILLKALLA HJÄLP.**

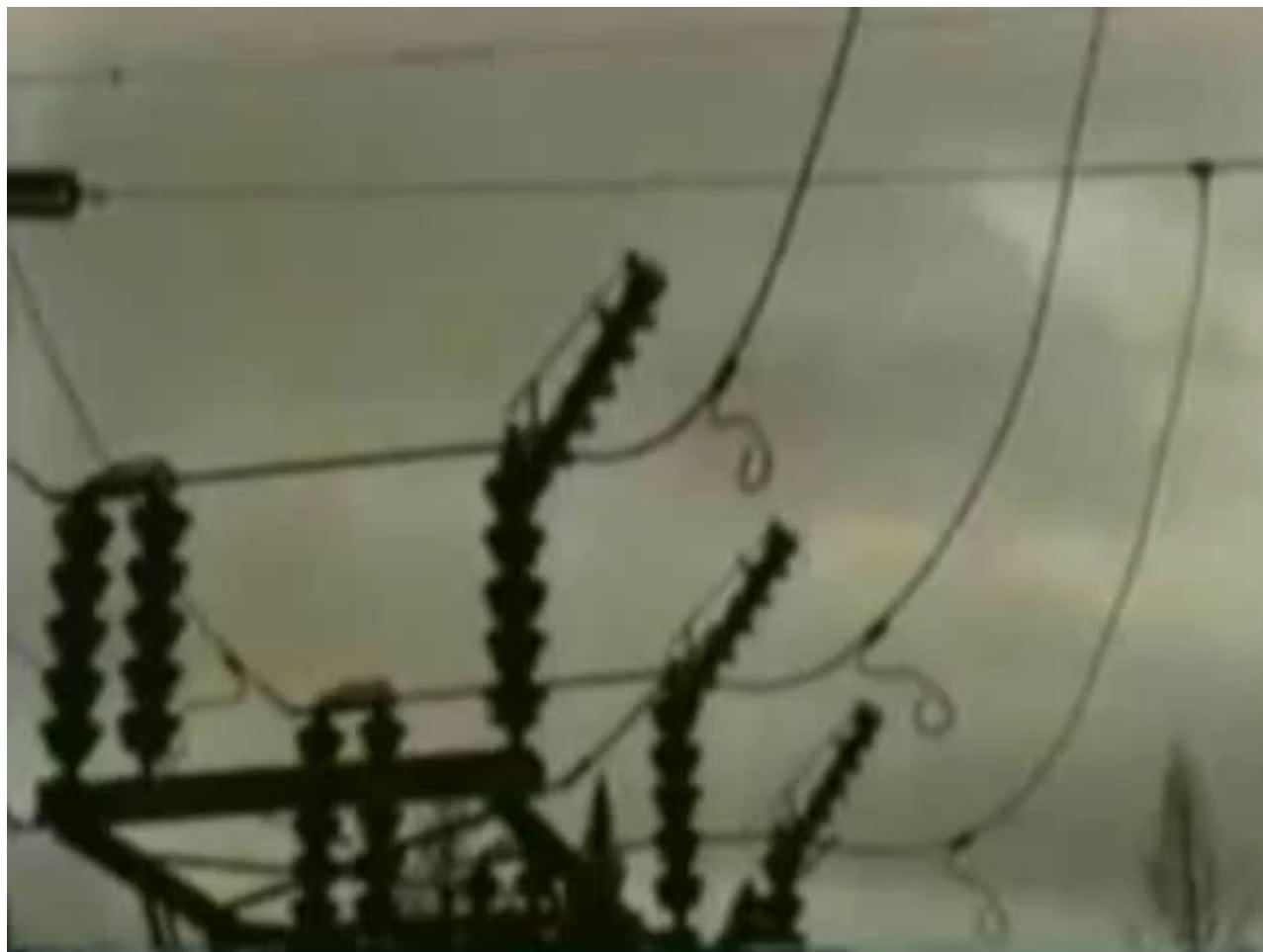
Ljusbågsskador



- Släck brand i hår och kläder med brandfilt eller vatten.
- Ögon som utsätts för bländning från en ljusbåge kan svida.
- Doppa kompresser i svalt vatten och lägg på ögonen för att lindra.
- Ta inte av kläder som täcker skadan.
- Kyl skadan med svalt vatten tills ambulansen kommer.
- För ut den skadade i luften.

**RING 112 –
TILLKALLA
HJÄLP.**

CHALMERS



- Warning signs, together with a double warning lamp shall be mounted in a prominent location. The lamp should automatically switch on and off to coincide with the switching (on or off) of a circuit breaker or disconnector located between the voltage source and the system.



Blockering

Jordar, förhindrar tillkoppling

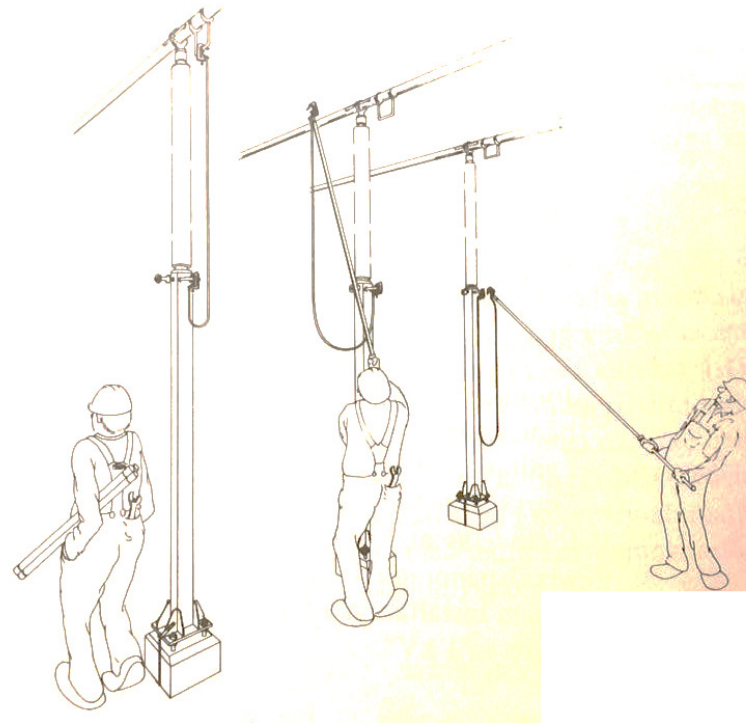


Fig 7.49. Arbetsjordning med portabla don.



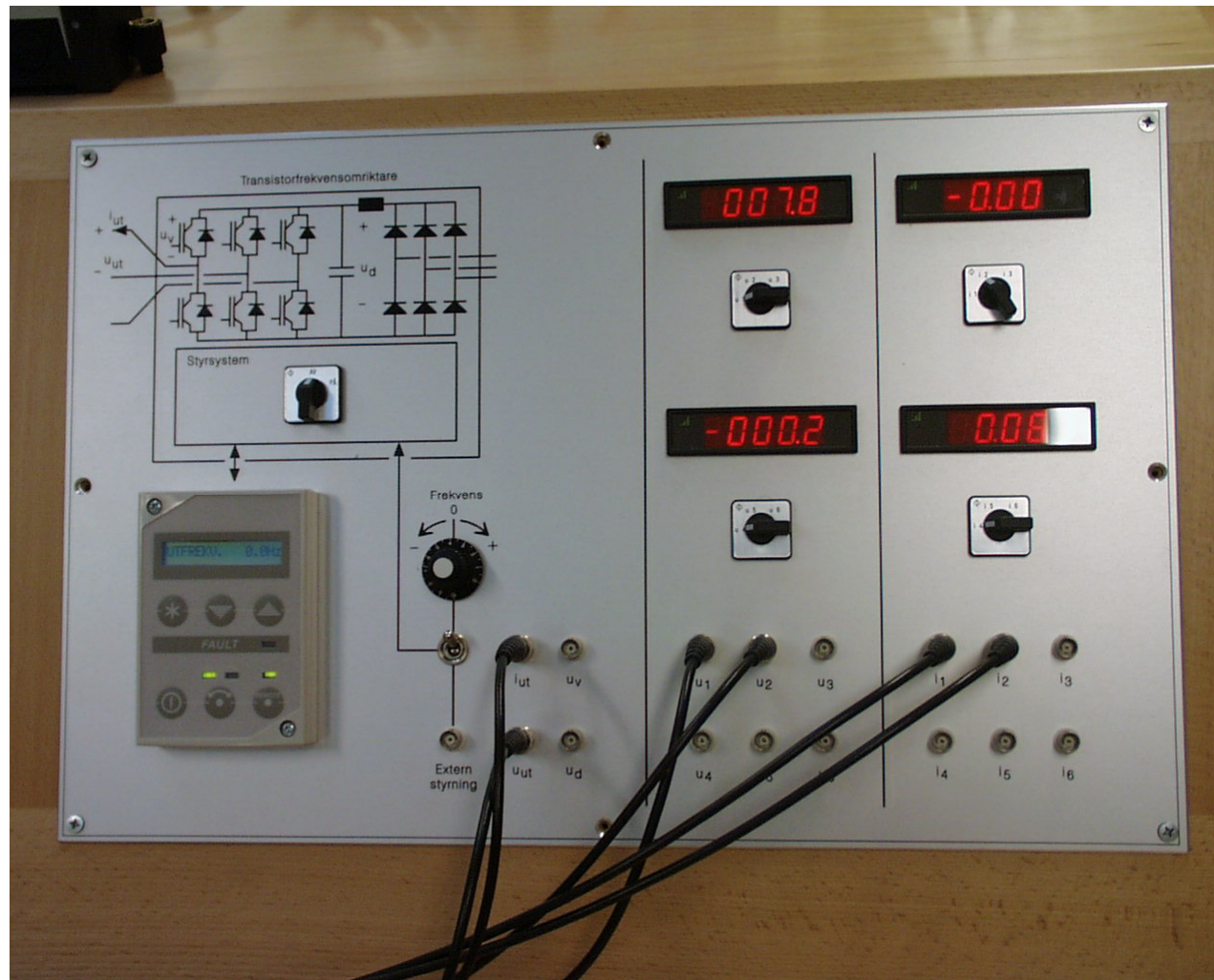
CHALMERS

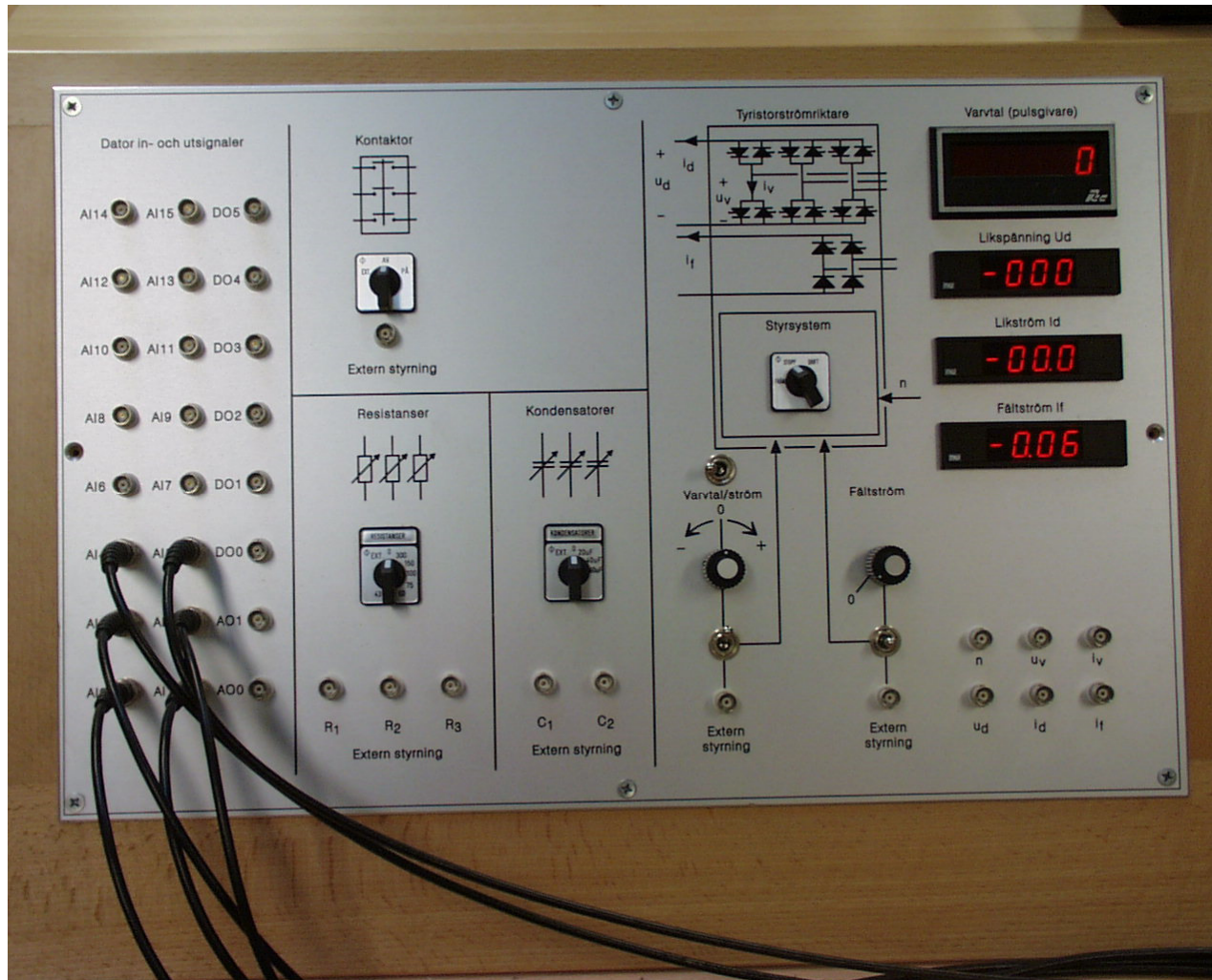




BRYT STRÖMMEN !!!

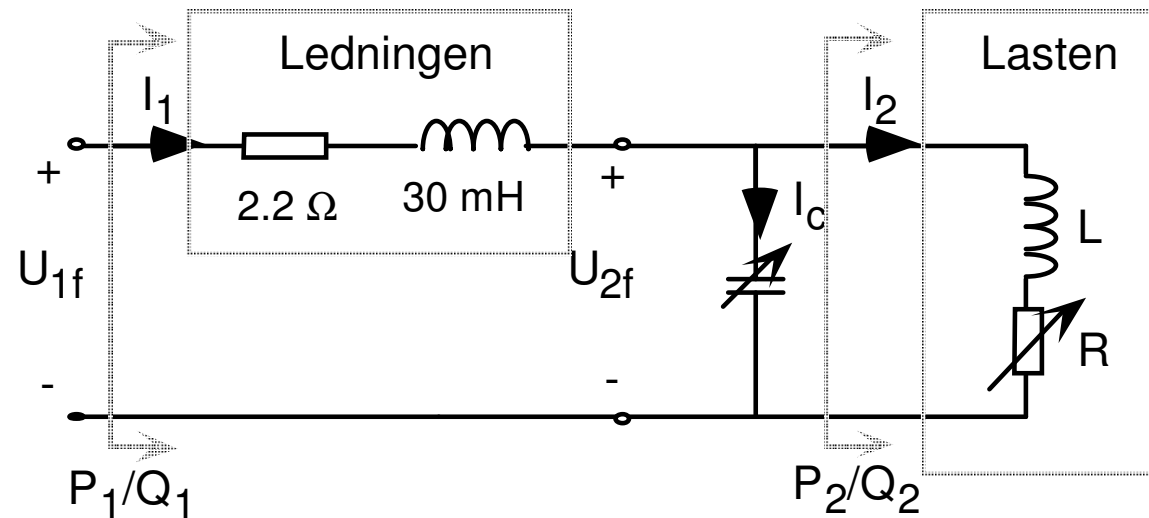
Lite mer inför Lab1



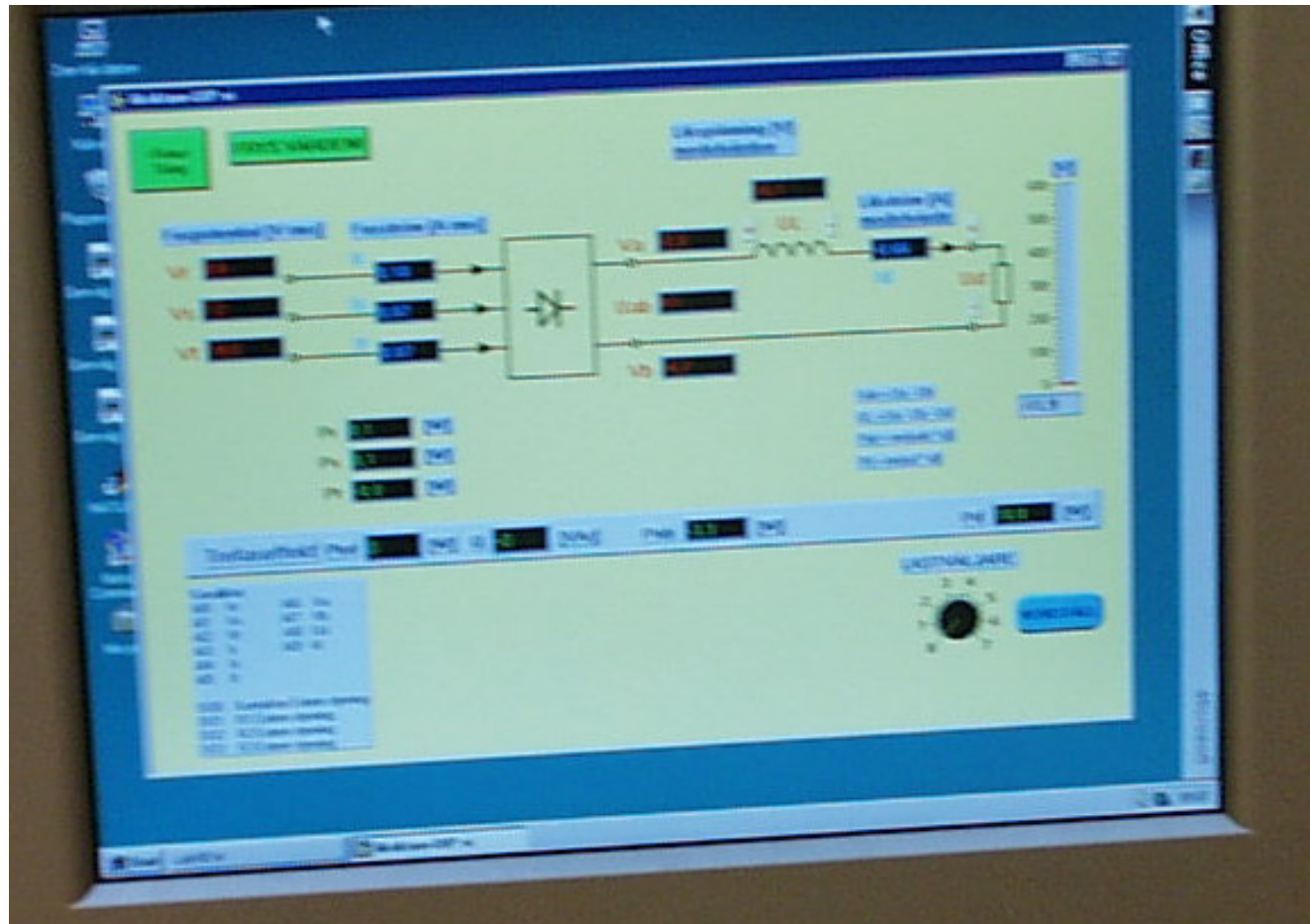


Lab 1

Induktiv och resistiv ledning, faskompensering

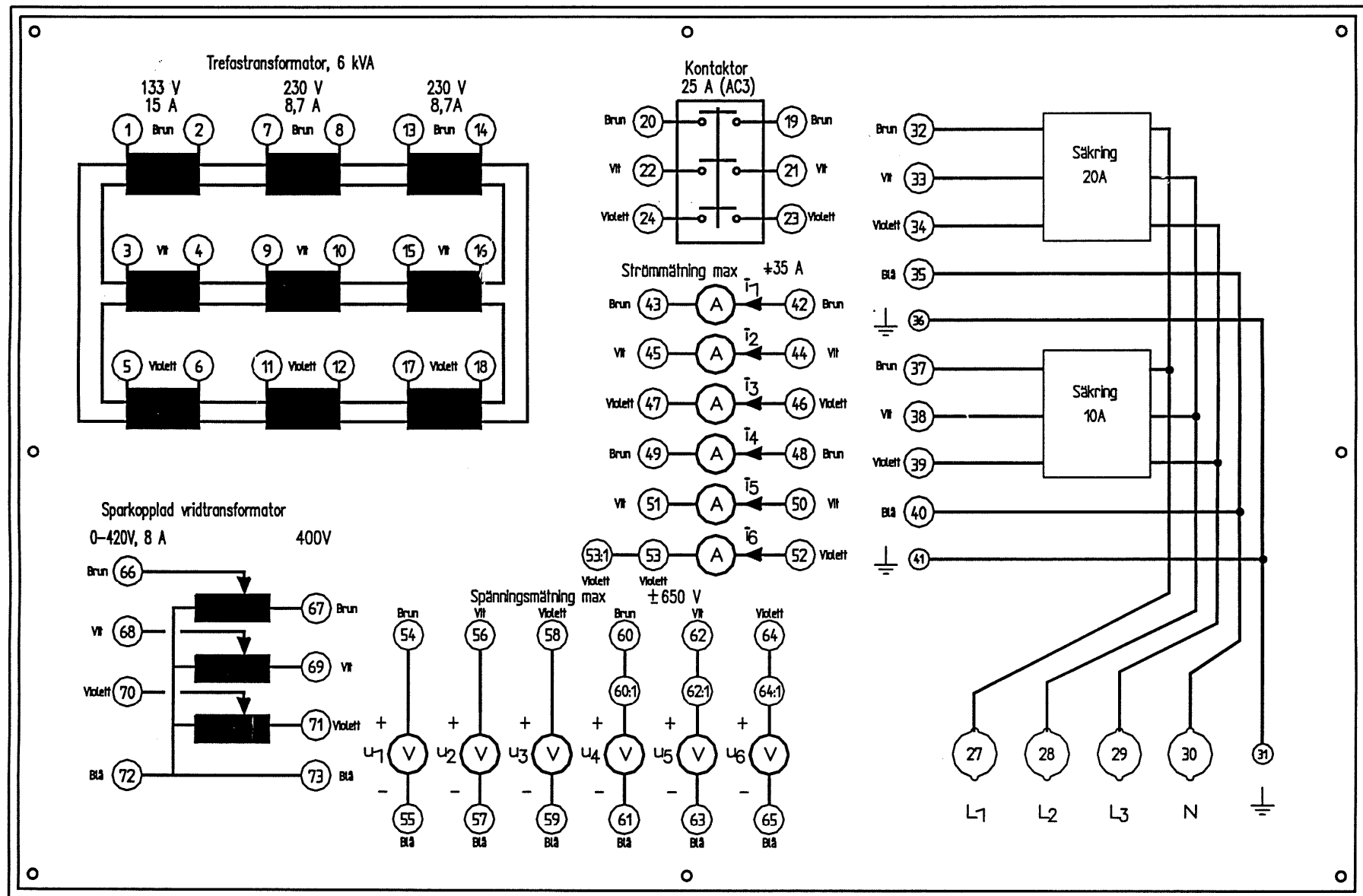


CHALMERS



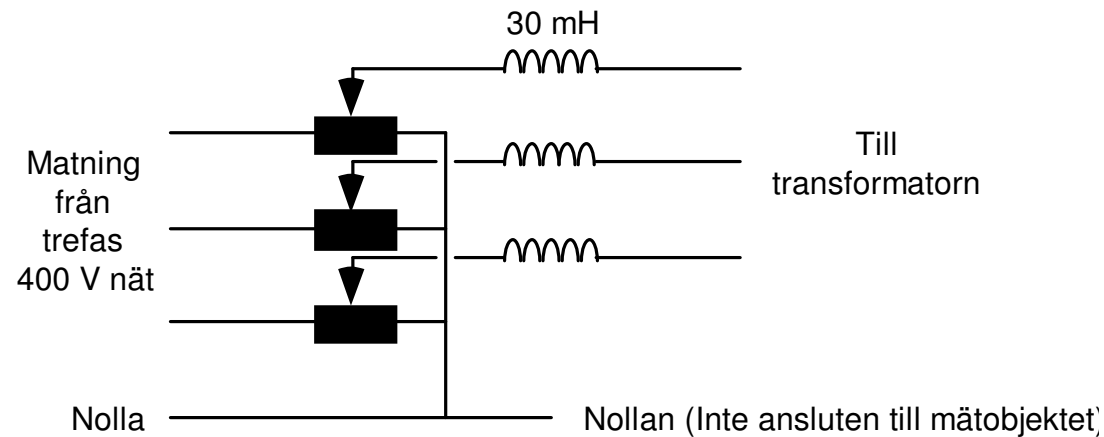
PLATS 1,3,5

Lab 1

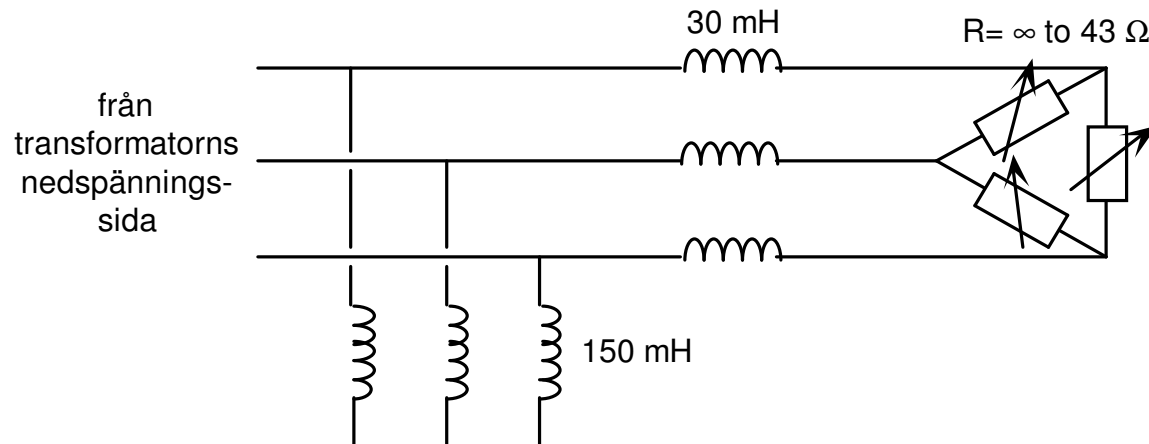


Lab 1

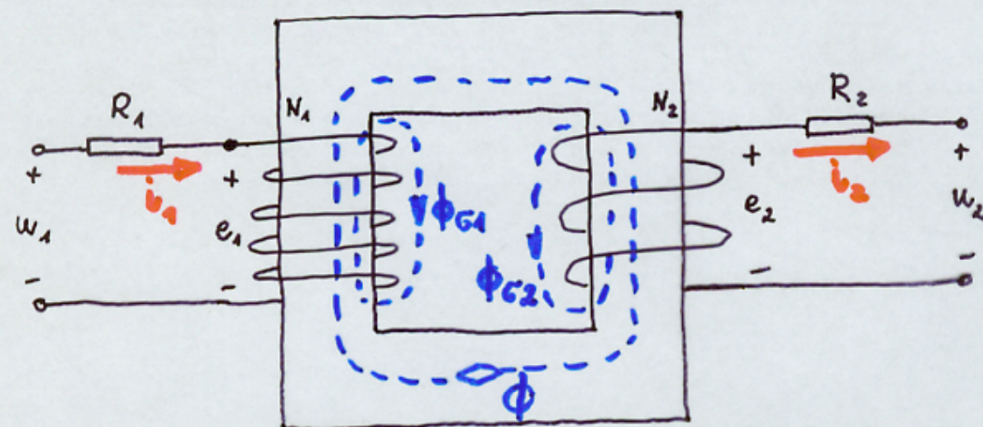
Kortslutningsprovet och tomgångsprovet på transformator



Belastning av transformatorn med RL-last



En ickeideal transformator



Φ_G - läckflöde

Φ - huvudflöde

L_G - läckinduktans

X_G - läckreaktans

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

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

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

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

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

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

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

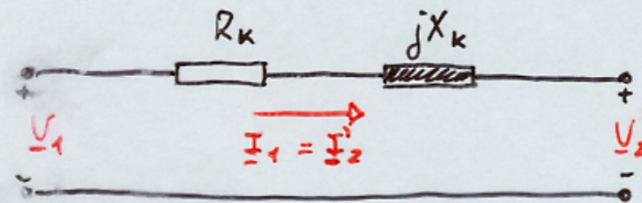
$$u_2 = -R_2 i_2 + e_2 = -R_2 i_2 + \frac{d\psi_2}{dt} = -R_2 i_2 - L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

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

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

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

Förenklade ekvivalenta schema



Enkla ekvivalenta schema

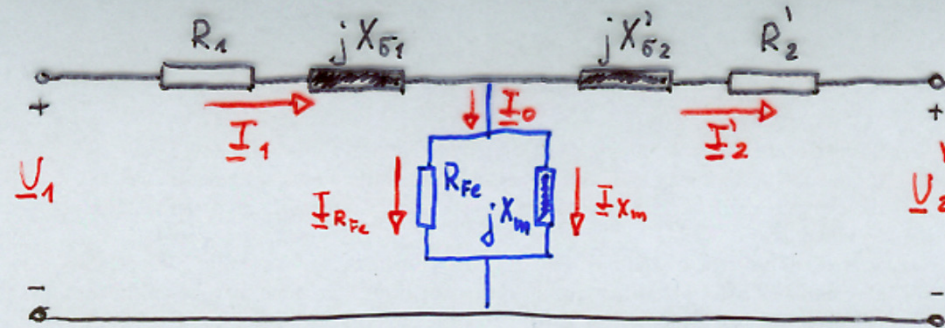
$$R_k = R_1 + R_2' \quad \text{kortslutningsresistans}$$

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

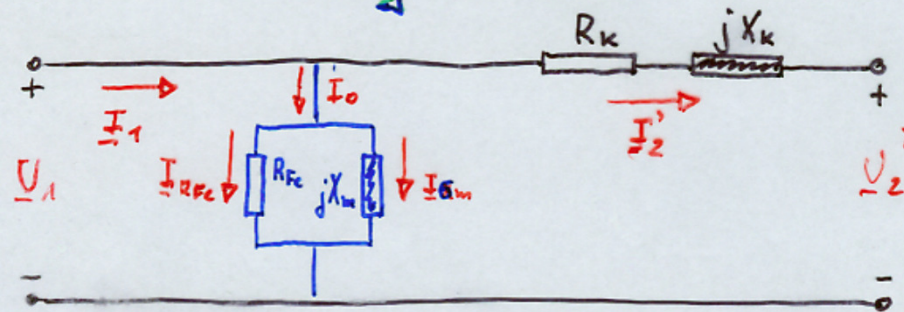


$$\underline{U}_1 = R_1 \underline{I}_2' + jX_{\sigma 1} \underline{I}_2' + R_2' \underline{I}_2' + jX_{\sigma 2}' \underline{I}_2' + \underline{U}_2'$$

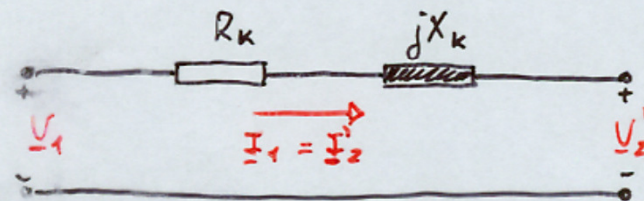
mmk balansen: $N_1 \underline{I}_1 - N_2 \underline{I}_2 = N_1 \underline{I}_0 \Rightarrow \underline{I}_1 = \underline{I}_2' + \underline{I}_0$



Fullständiga ekvivalenta schema



Förenklade ekvivalenta schema



Enkla ekvivalenta schema

$$R_k = R_1 + R_2'$$

kortslutningsresistans

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

kortslutningsreaktans

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.

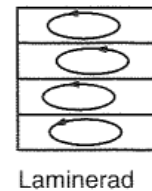
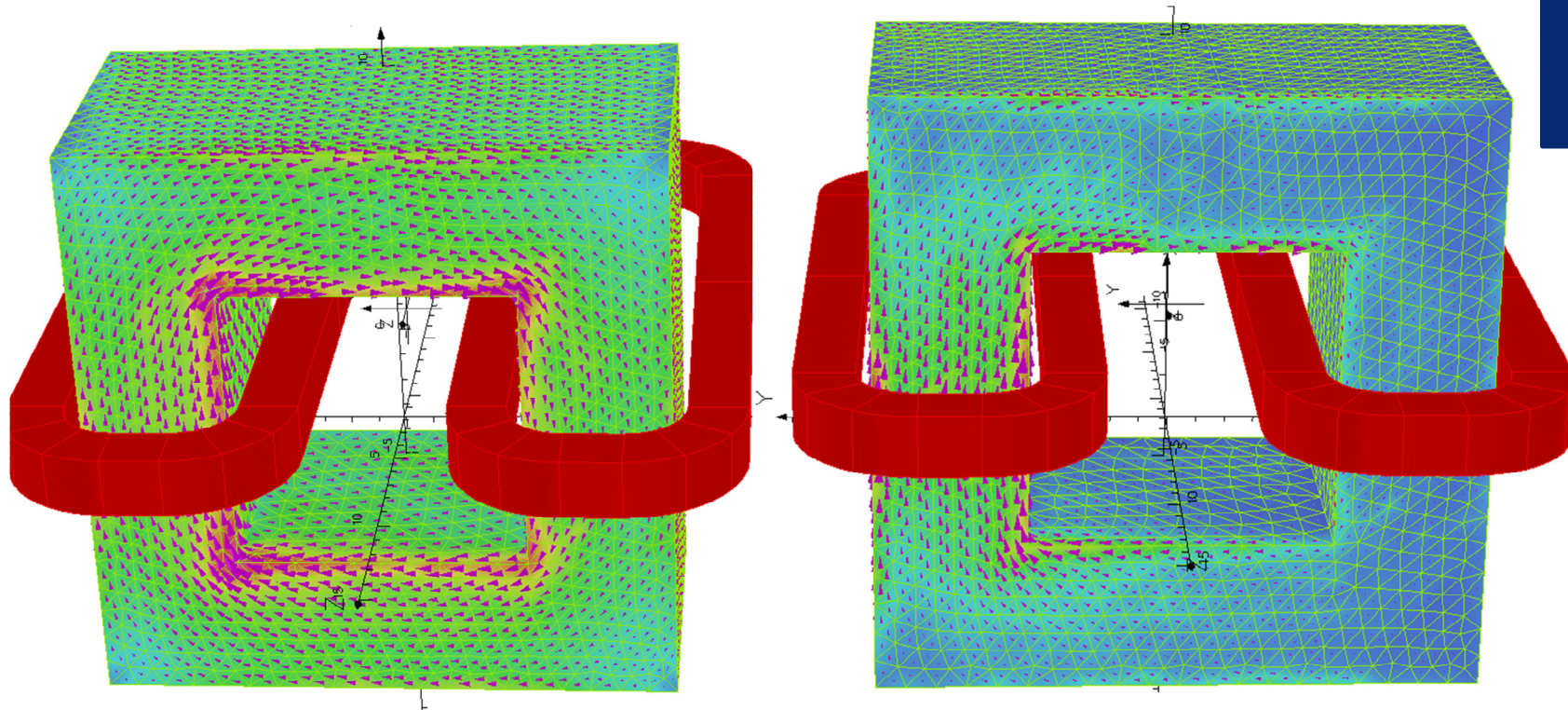
Förhållandet: $z_k = \frac{Z_k}{Z_{bas}} \cdot 100\%$ kallas för **relativa kortslutningsimpedansen**

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!

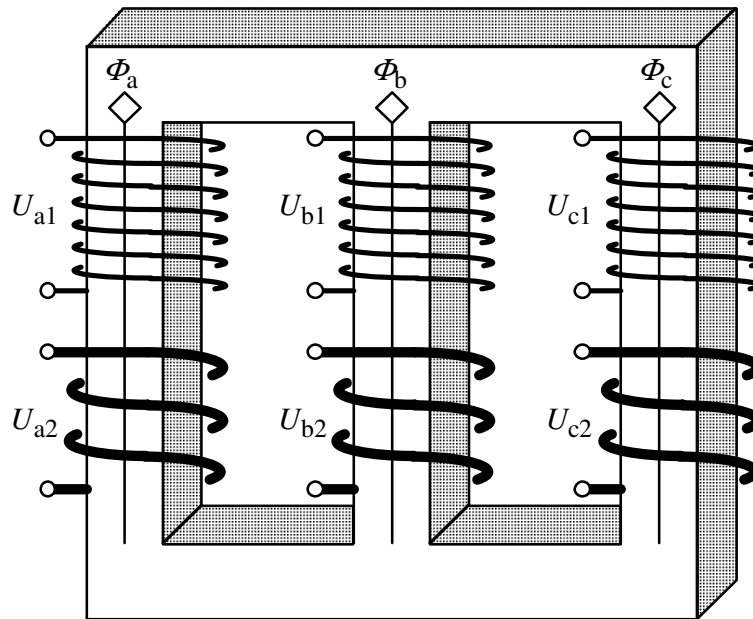


L min e n g m å k r
k r n f ö l s t e !



Trefastransformator

Y/y
YN/yn
 Δ /y-noll
 Δ/Δ
D/d
Y/z



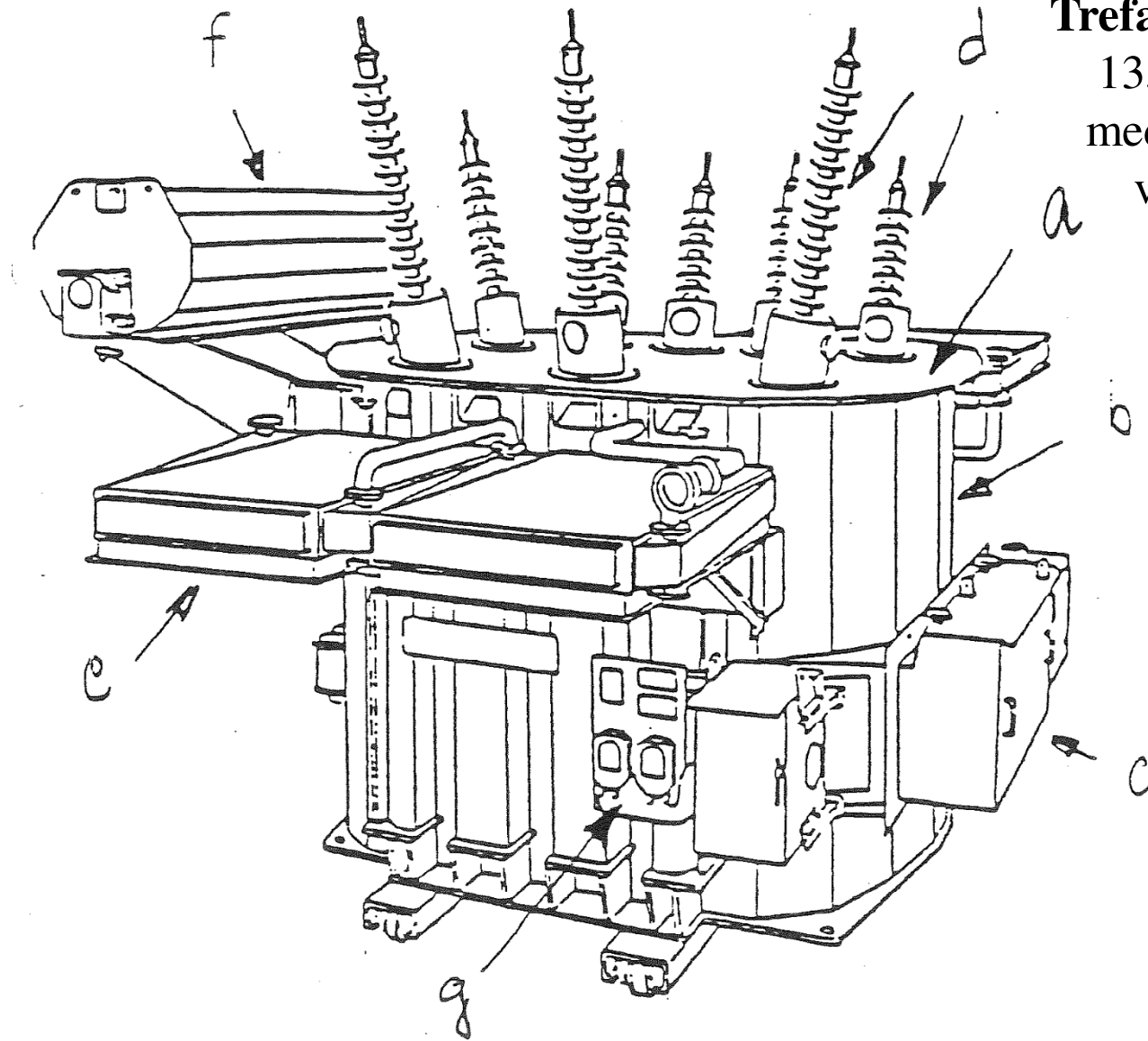
En principskiss av en trefastransformator.

Trefas krafttransformator

135/46 kV; 40 MVA

med lindningskopplare

vikt med olja 50 ton



a – lock

b – låda

c – lindningskopplare
(manöverdon)

d – genomföring

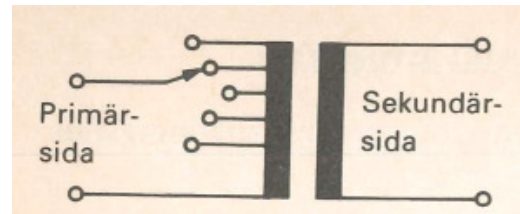
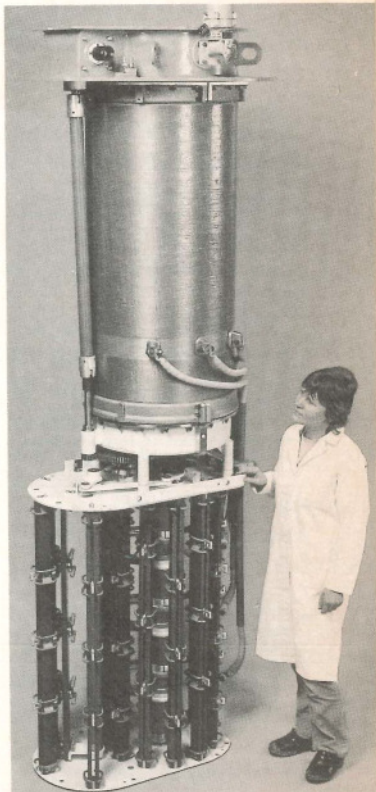
e – kylutrustning

f – expansionskärl

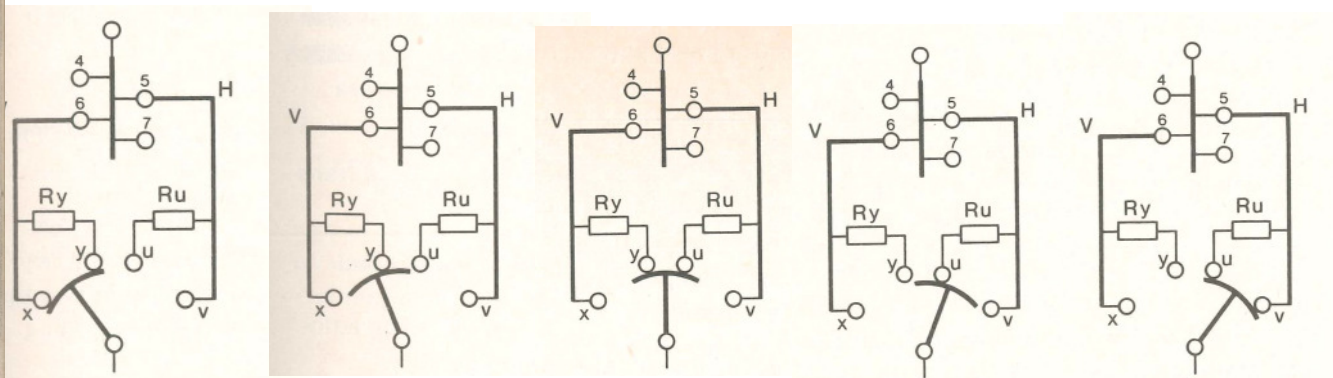
g - termometrar

Ödning om kopplare (p r n p)

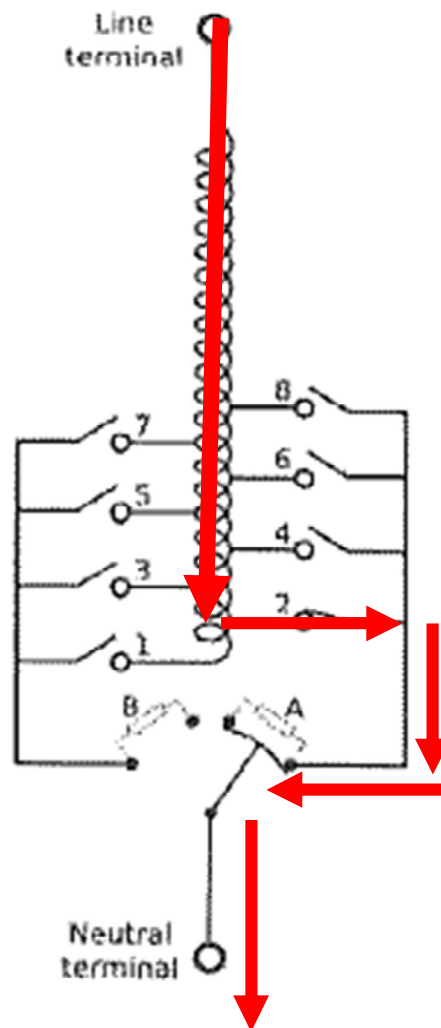
b. Lindningskopplare till en 150 MVA krafttransformator.

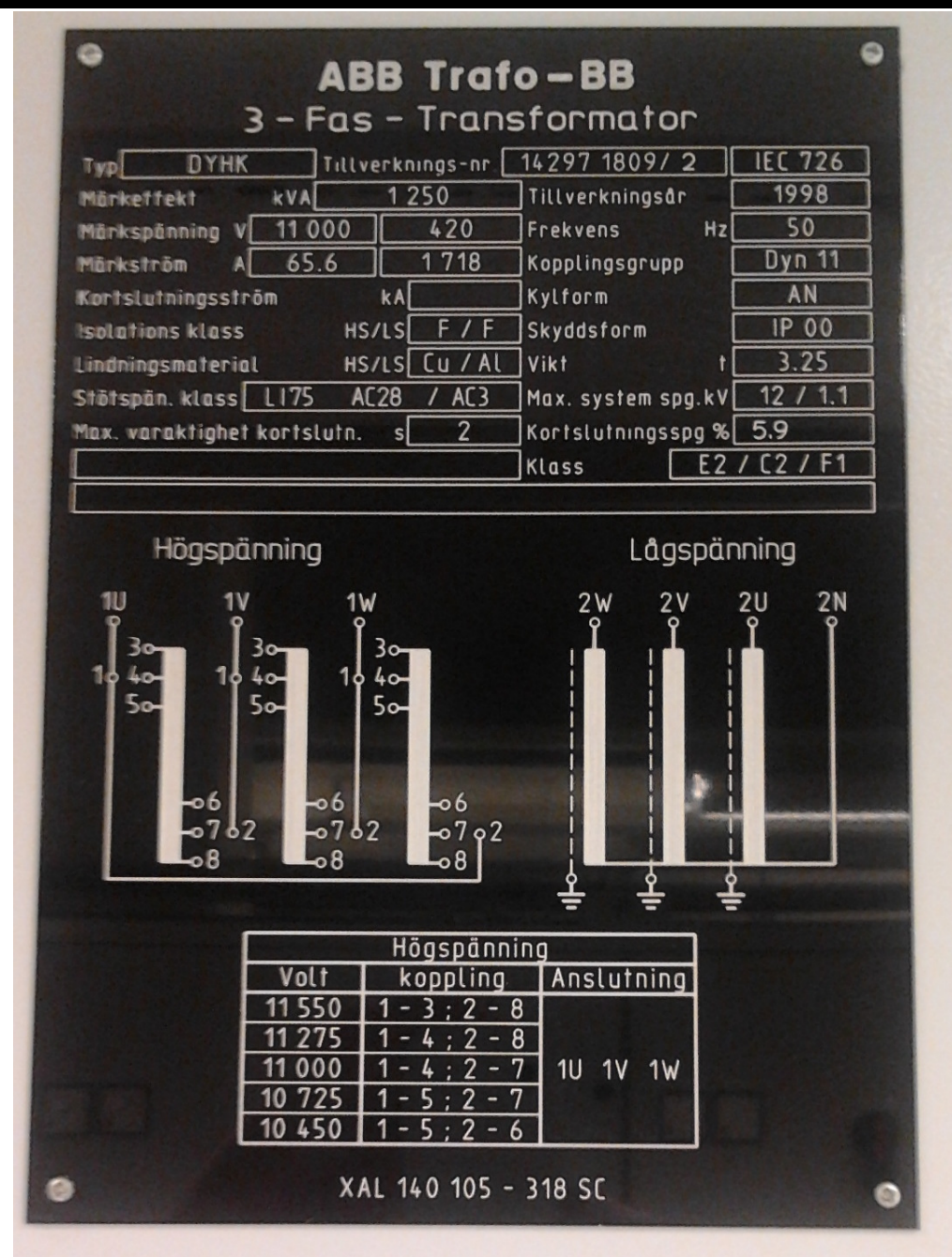


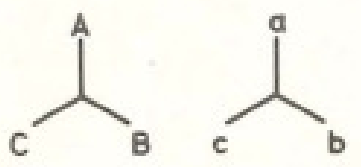
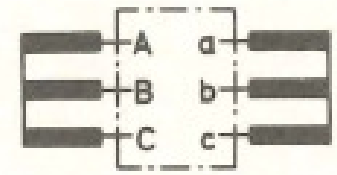
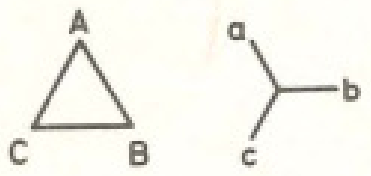
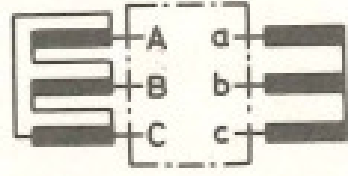
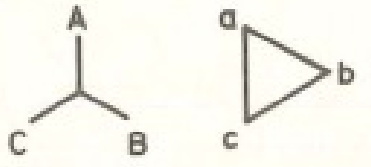
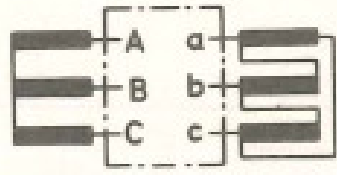
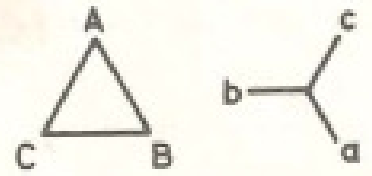
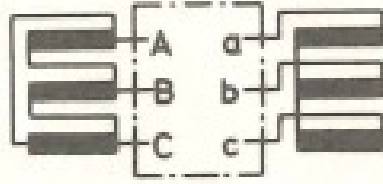
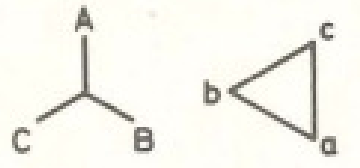
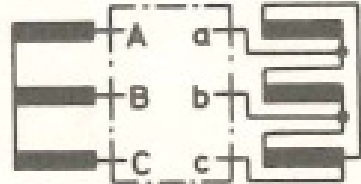
Ödning om kopplare (p r n p)



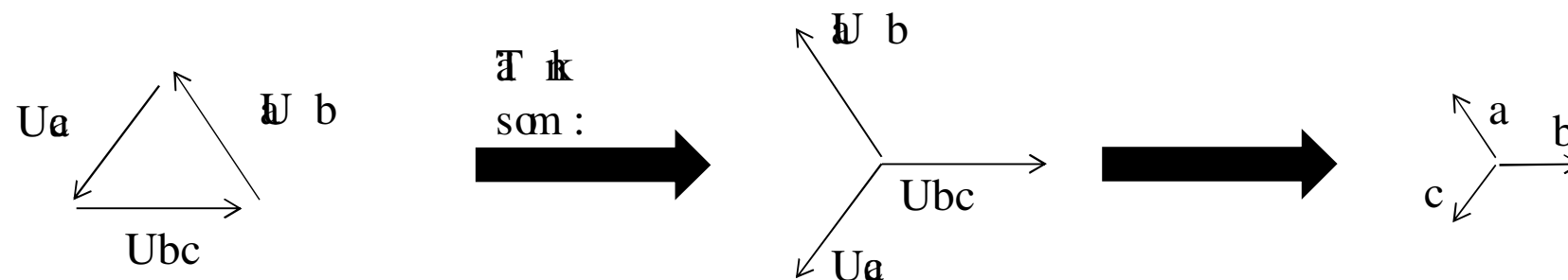
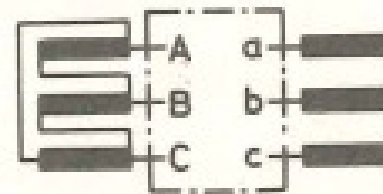
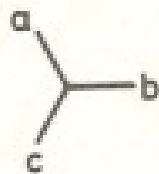
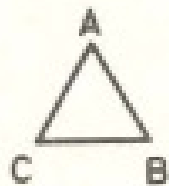
Lindningsomkopplare (princip)





Kopplingsart	Visardiagram	Schemasymbol
Yy0		
Dy11		
Yd11		
Dy5		
Yd5		

Dy11



Dy5

