

# Radorør kurskveld 4

<http://trhf.no>

klikk på lenken Rørkurs

Petter Brækken

[petter@brakken.no](mailto:petter@brakken.no)

977 58 200

# Emner i teorikurset:

## Til nå gjennomgått:

- Radiorør, oppbygning, fysikalsk virkemåte, varianter og egenskaper (triode tetrode pentode)
- Skjemasympboler, rørsokler, systemer for rørbetegnelser (Europa, USA)
- Rørkarakteristikk (overføringskarakteristikk, utgangskarakteristikk), finne arbeidspunkt og forsterkning
- Rørkonstanter ( $S$ ,  $g_m$ ,  $\mu$ ,  $R_i$ ) og småsignalmodeller (AC ekvivalentskjema) forsterkningsformler
- Forsterkerkonfigurasjoner (FK, FA, FG)
- Forspenningskoblinger (eks. katodemotstand med avkoblingskondensator)
- Effektforsterkertrinn med utgangstransformator, forsterkerklasser (A, B, C)
- Strømforsyning for rørførsterkere, likeretting og glatting.
- Analyse av byggesettets koblingsskjema; trinnenes virkemåte, forsterkning, negativ tilbakekobling
- Forvrengning (THD) i rørførsterkere (trioder og pentoder)

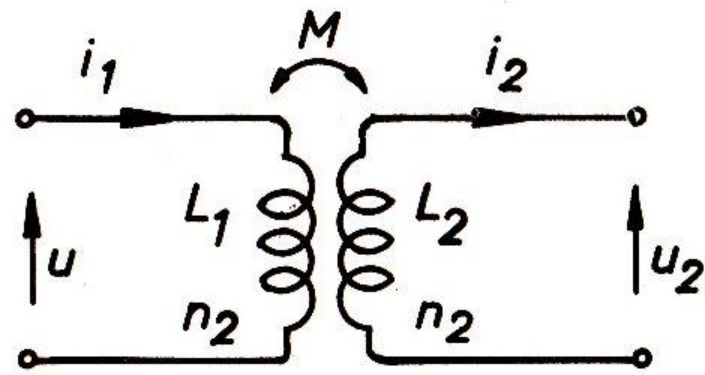
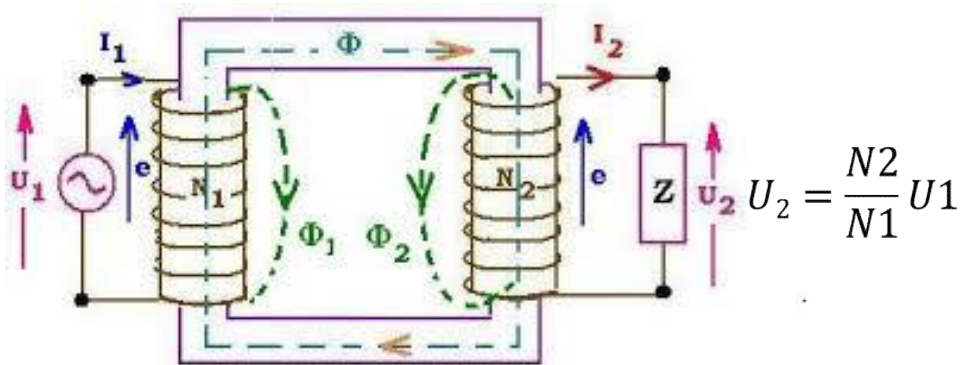
## Gjenstår:

- Utgangstransformatorer, litt om krav til audiotransformatorer og praktiske løsninger. Transformatorberegninger.
- Elektrolyttkondensatorer til likeretteren
- Litt om mottaktkobling (push-pull)
- Praktiske labtips for arbeid med rørutstyr
- HMS (arbeid med utstyr med høye spenninger)
- Opplegget for forsterkerbyggingen

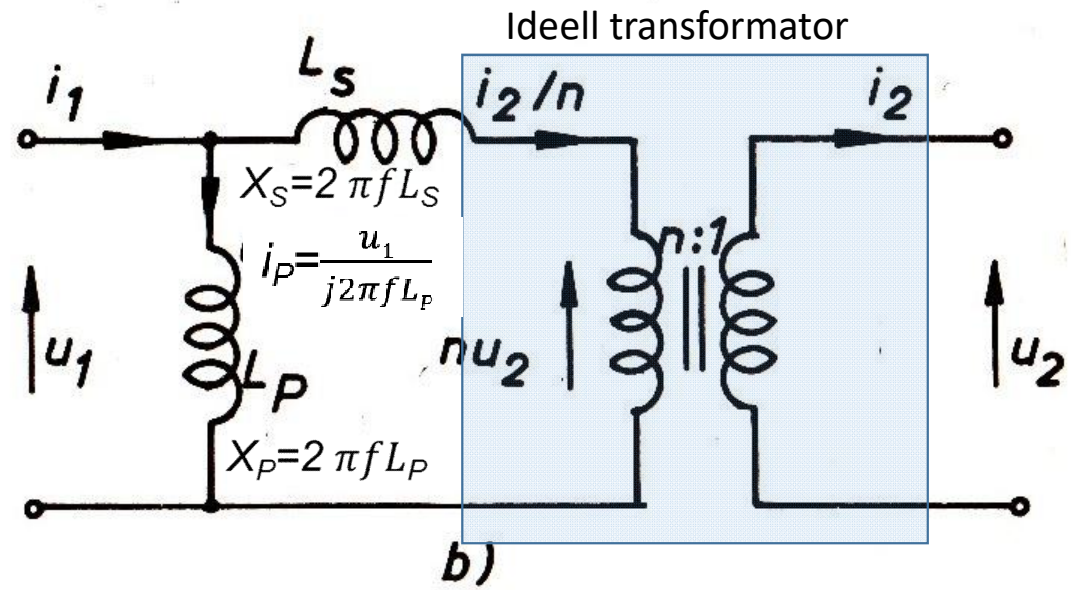
$$\phi = I_1 N_1 / R_m$$

Flukstettheten  $B = \phi / A$

Mer om utgangstransformatoren (Soma kap. 3.4)



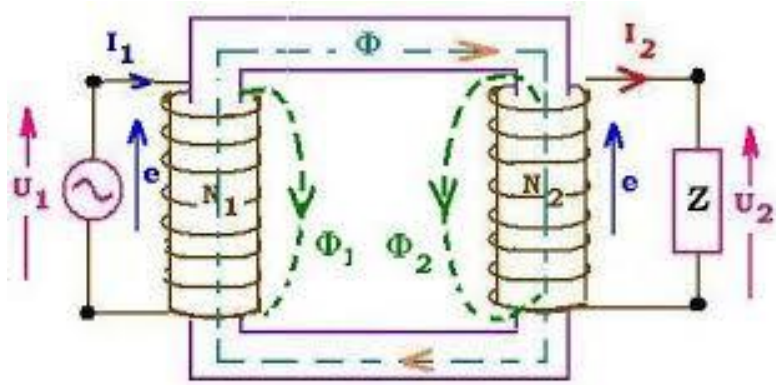
a)



b)

Fig. 3.18. Tapsfri transformator med ekvivalentskjema

# Prinsipp tegning - Praktiske utførelser av utgangstransformator



C-kjerne

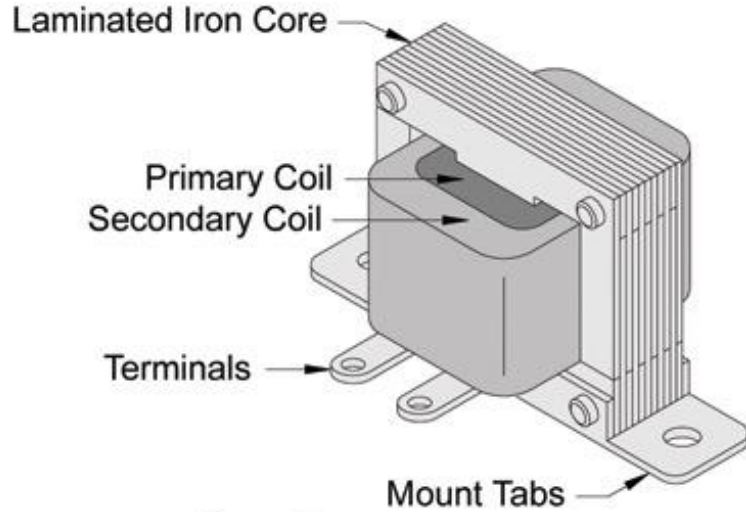
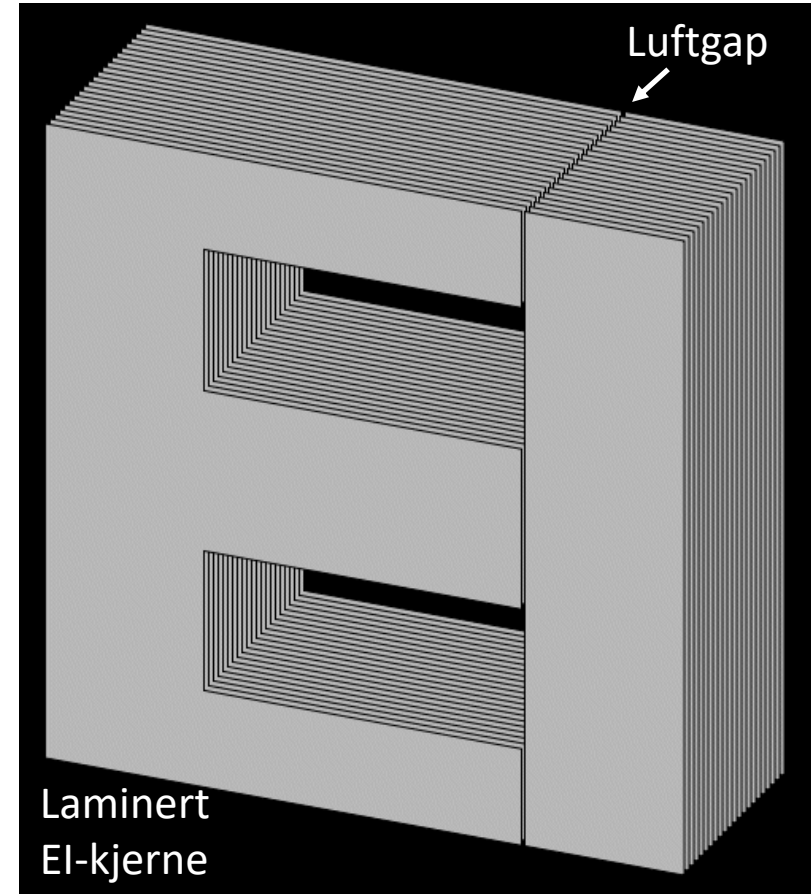
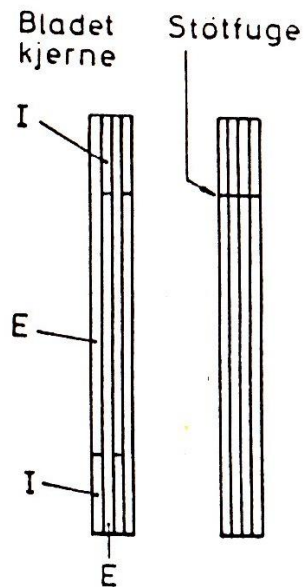
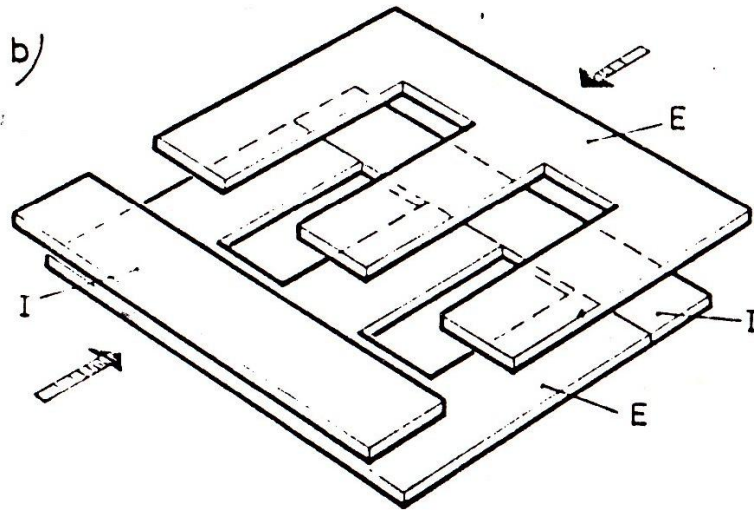


Figure 3  
"E" Core Transformer



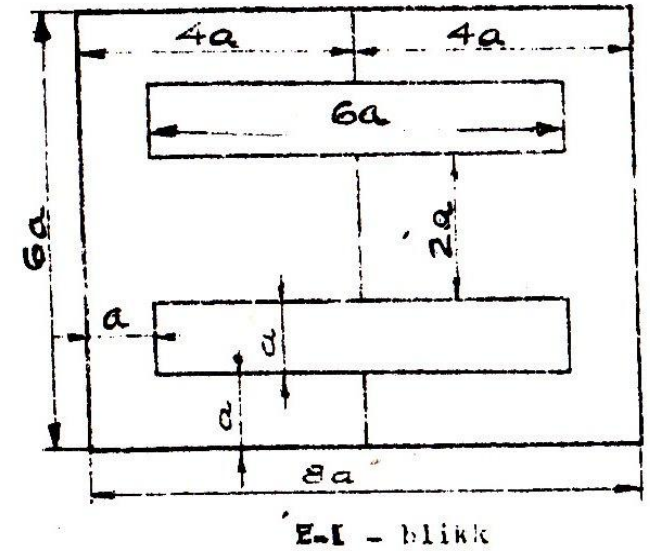
# EI-kjerne

«Bladet blikk» brukes i transformator uten likestrømskomponent:

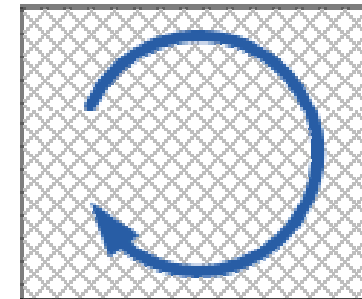


Støtfuge nyttes for å lage luftgap i trafo med likestrømskomponent

«No-waste» blikk:

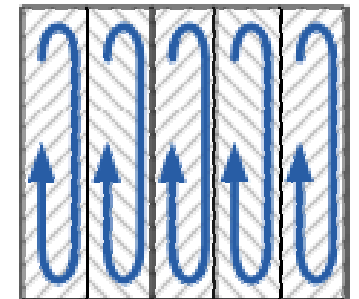


Kompakt kjerne



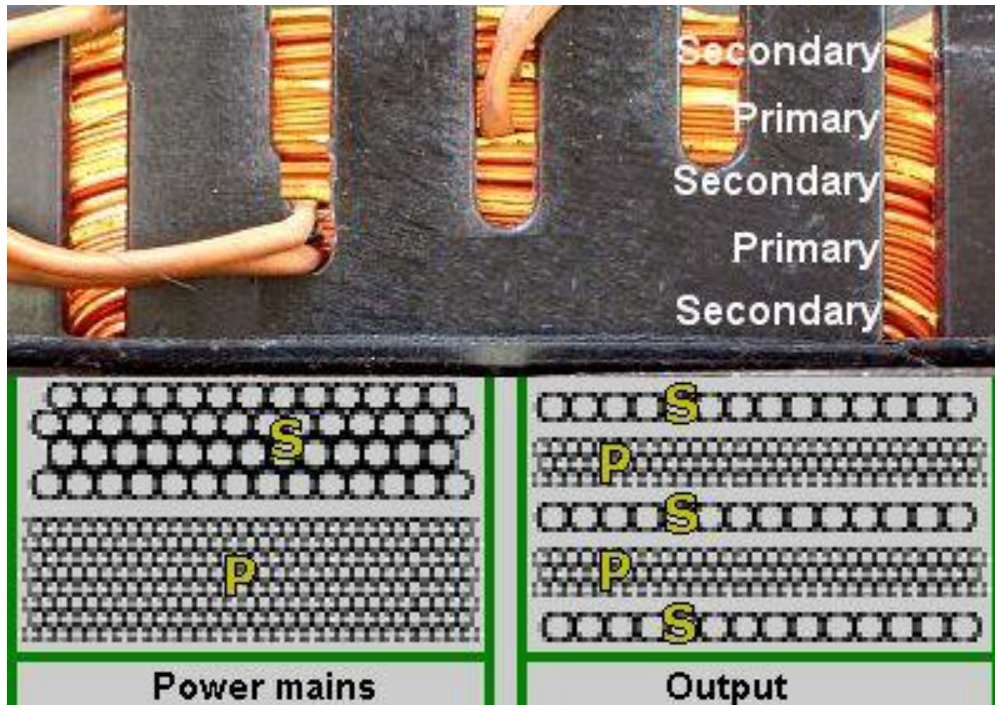
Stor hvirvelstrøm

Laminert kjerne



Små hvirvelstrømmer

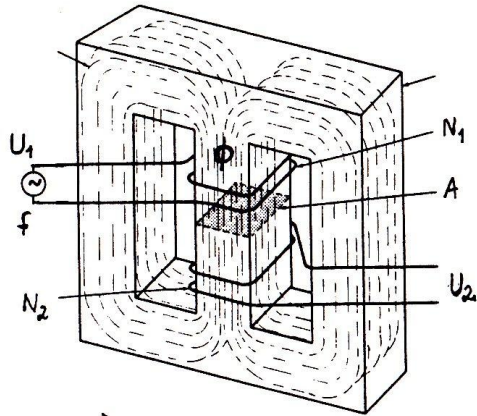
# Oppsummert



## Viktig for utgangstransformatoren:

- Liten lekkfluks (liten  $L_S$ ) – viktig for høye frekvenser (diskant) – viktig ved stor uteffekt. Bruk f. eks «interleaving»
- Stor primærinduktans  $L_P$  – viktig for lave frekvenser (bass)
- Stort jerntverrsnitt  $A$  og Luftgap – viktig for å hindre jernmetning pga. likestrøm

## Kort om transformatorordimensjonering



Påtrykker sinusformet spenning med effektivverdi  $U_1$  på primær med  $N_1$  vindinger

Får sinusformet fluks  $\phi(t) = \Phi \cdot \sin 2\pi f t$  som induserer en motspenning  $u_i = N_1 \frac{d\phi}{dt}$

Flukstettheten i kjerna med tverrsnittareal  $A$  blir  $B(t) = \phi(t)/A$

Antagelsen indusert motspenning ca. lik påtrykt spenning  $u_1$  fører til designformelen:

$$U_1 = 4.44 \cdot N_1 \cdot f \cdot A \cdot \hat{B}$$

*amplitudeverdi*

Ut fra kjernas kjente  $A$  og  $B_{\max}$  og ønsket  $U_1$  kan nødvendig  $N_1$  beregnes

Tommelfingerregel for nett-transformatorer:

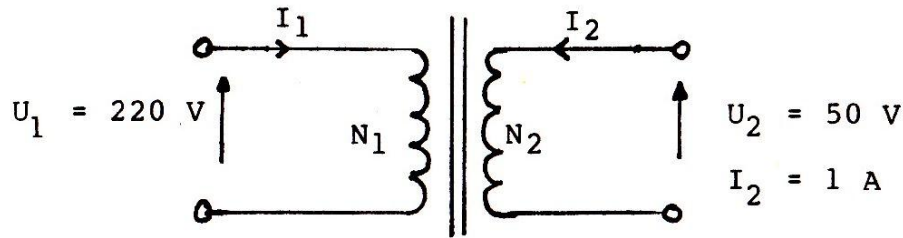
$$A[\text{cm}^2] \approx \sqrt{P[\text{W}]}$$

Forutsetning for formelen:

EI-kjerne,  $B_{\max} \approx 1 \text{ T}$

og strømtetthet i tråden i primærviklingen  $S \approx 3 \text{ A/mm}^2$

# Transformatordimensjonering - talleksempel



Transformatoren skal levere effekten  $S_2 = U_2 \cdot I_2 = 50 \text{ VA}$ , d.v. vi trenger ca kjernetverrsnitt

$$A = \sqrt{50} \text{ (cm}^2\text{)} = 7 \text{ cm}^2 = 7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Bruker kjerneblikk som tåler maksimal flukstetthet  $\hat{B} = 1.2 \text{ T}$ , noe som gir indusert spenning i primæren:

$$U_i = U_1 = 4.44 N_1 f \hat{B}$$

Dette gir mulighet for bestemmelse av primært vindingstall

$$N_1 = U_1 / (4.44 \cdot f \cdot A \cdot \hat{B})$$

$$= 220 / (4.44 \cdot 50 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \cdot 1.2)$$

$$N_1 = 1180$$

=====

Sekundært vindingstall blir:

$$N_2 = N_1 (U_2 / U_1) = 1180 \cdot (50 / 220)$$

$$N_2 = 268$$

=====

Primærstrømmen blir:

$$I_1 = I_2 (N_2 / N_1) = 1 (268 / 1180) = 0.23 \text{ A}$$

=====

Nødvendig trådtverrsnitt eller tråddiameter kan beregnes ut fra tillatt strømtetthet. Tillater vi f.eks.  $J = 2.55 \text{ A/mm}^2$  kan vi bruke tabellen

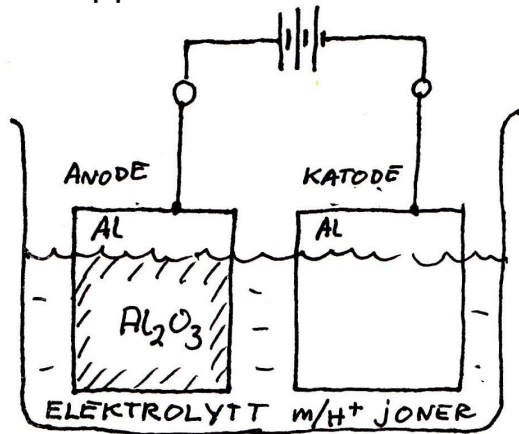
Tabell 3. Dimensjoner og egenskaper for koppertråd.

Tråddiameter		Tråd-tverrsnitt $q_{Cu}$ $\text{mm}^2$	Masse pr. meter $m_{Cu}$ $\text{g/m}$	Resistans pr. meter $R_{Cu}$ $\Omega/\text{m}$	Vindingstall pr. $\text{cm}^2$ $n_F$ $\text{cm}^{-2}$	Maksimal strøm ved	
Uten isolering $d_{Cu}$ $\text{mm}$	Med isolering $d_{CuL}$ $\text{mm}$					$S = 2,55$ $\text{A/mm}^2$ $I_{2,55}$ $\text{mA}^*)$	$S = 1,00$ $\text{A/mm}^2$ $I_{1,00}$ $\text{mA}^*)$
0,33	0,36	86	0,786	0,2051	650	218	90
0,34	0,37	91	0,835	0,1932	600	231	90
0,70	0,74	385	3,43	0,0455	160	980	384
0,75	0,79	444	3,95	0,0395	140	1125	442

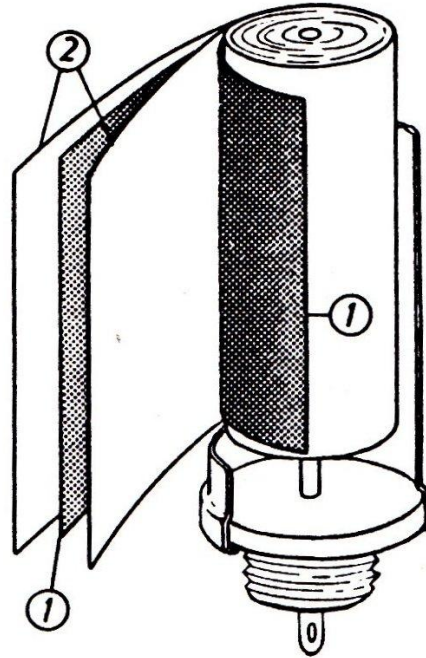
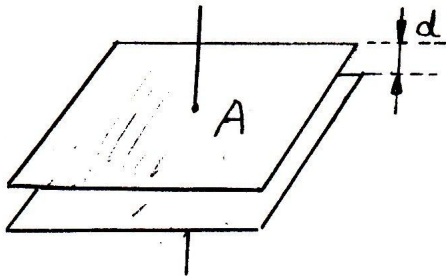
Sekundærviklingen trenger altså  $d_2 = 0.74 \text{ mm } \emptyset$ , mens primæren klarer seg med  $d_1 = 0.37 \text{ mm } \emptyset$ .

# Elektrolyttkondensatorer

Prinsipp:



$$C = \epsilon \frac{A}{d} [F] \quad \epsilon_{Al_2O_3} \approx 8$$



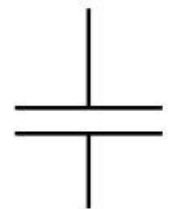
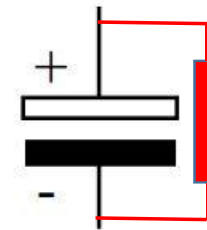
1. Aluminiumfolier (tykkelse 10-50  $\mu\text{m}$  )  
Katodefolien koples sammen med aluminiums-  
beholderen.
2. "Trekkpapir" fuktet med elektrolytt  
(tykkelse 30  $\mu\text{m}$  ca)



Kinesisk variant som produseres i dag

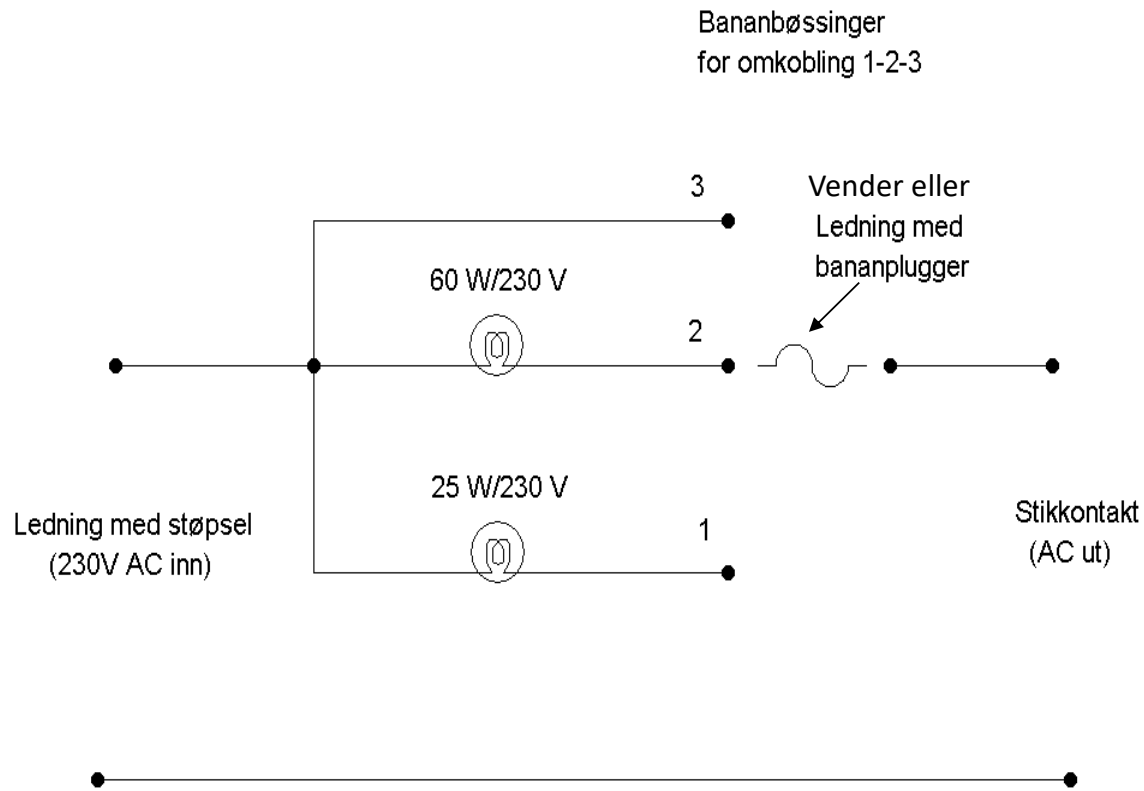
Elektrolytt  
kondensator

"Vanlig"  
kondensator



# Enkel overstrømssikring for testing

60W glødepære vil ved kortslutning begrense strømmen til max. 0,25 A. Pæra vil da lyse fullt og indikere en kortslutningsfeil.  
(0,1A for 25W)



Eksempel med éi pære og forbikoblingsbryter (ikke-norsk jordingsstikkontakt)



# Klasse B push-pull forsterker (Soma kap.7)

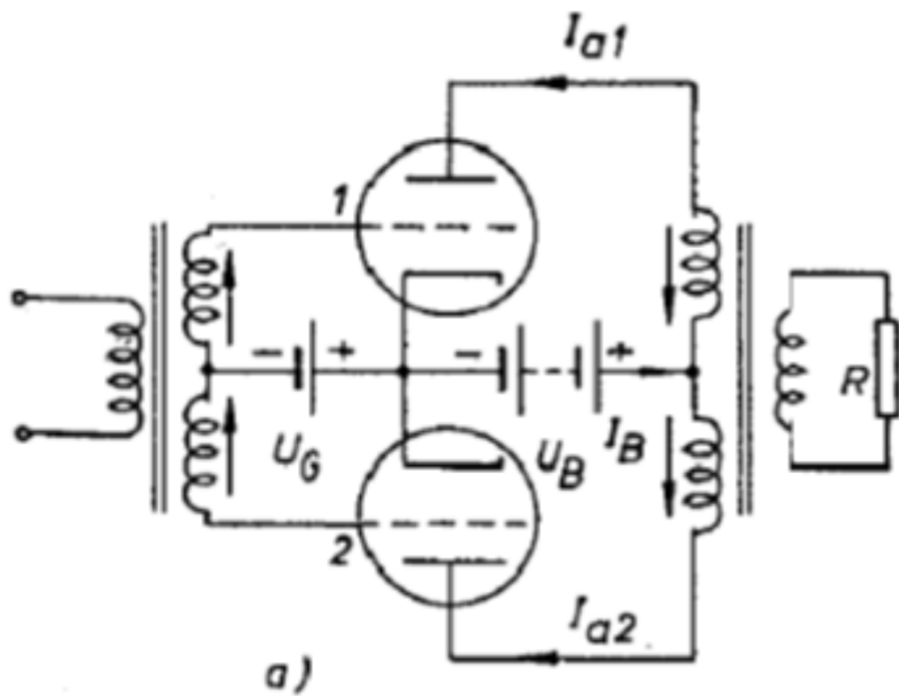
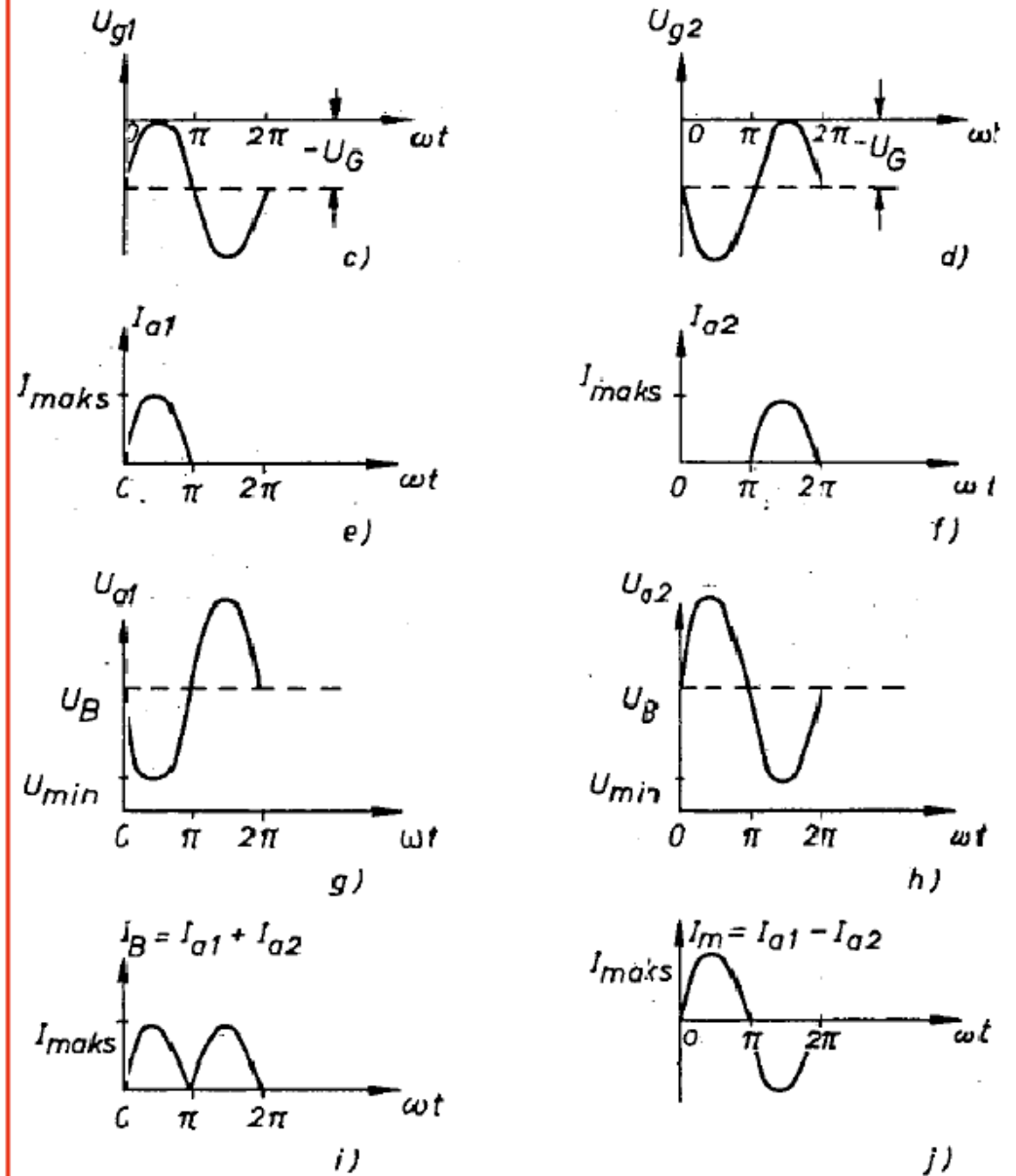


Fig. 7.14. Strøm- og spenningskurver i B-forsterker



# Klasse B og klasse AB-forsterker sammenlignet

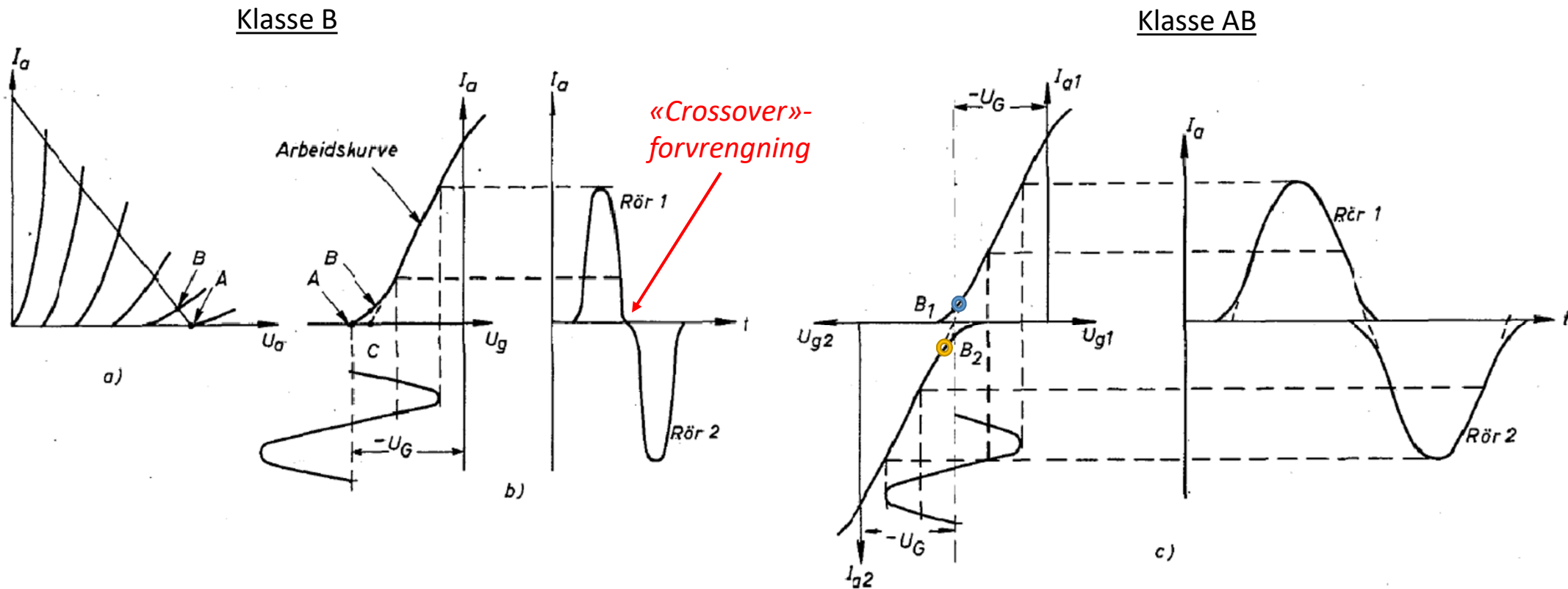
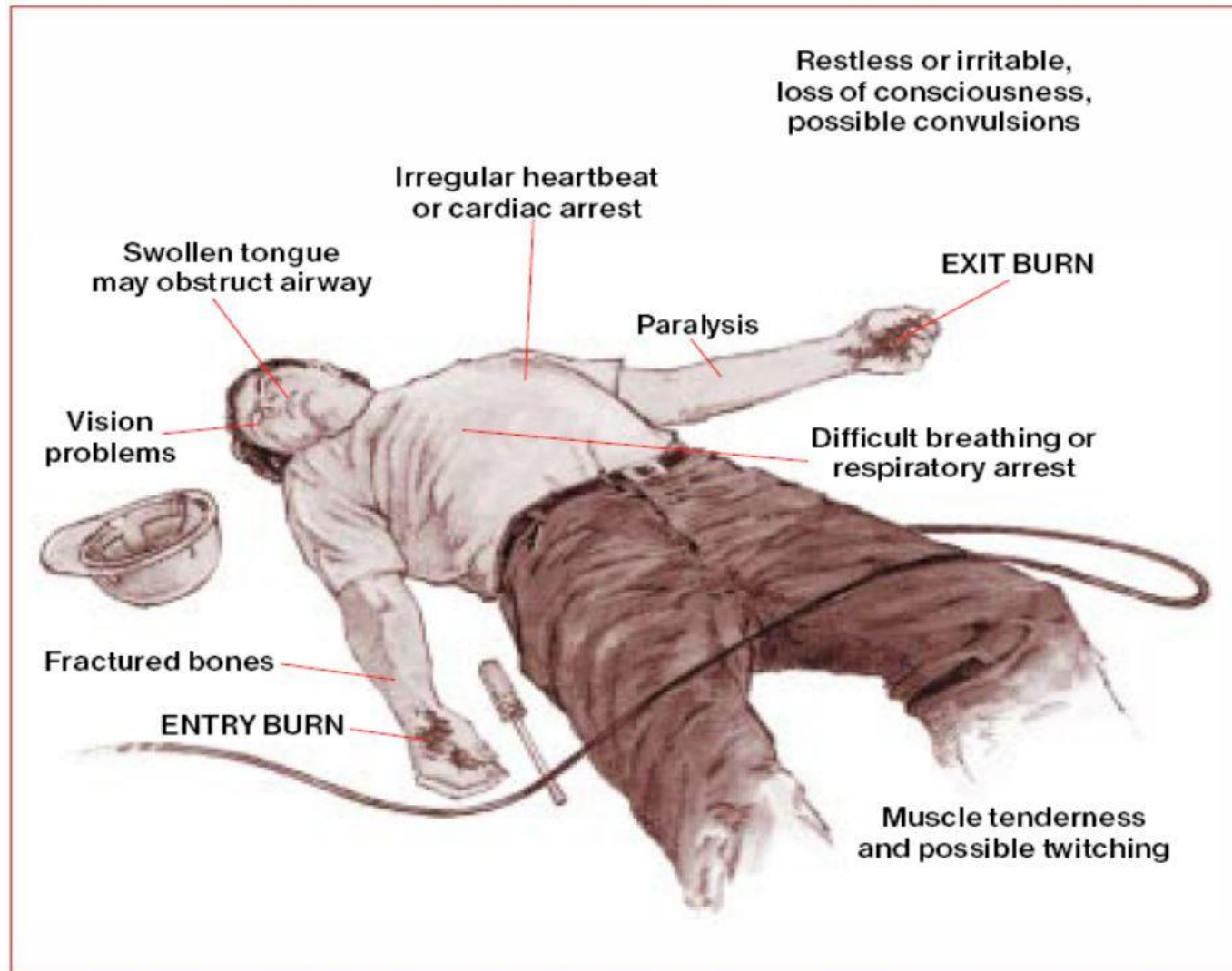


Fig. 7.16. Kurveform i "rein" og "tillempet" B-forsterker (klasse AB)

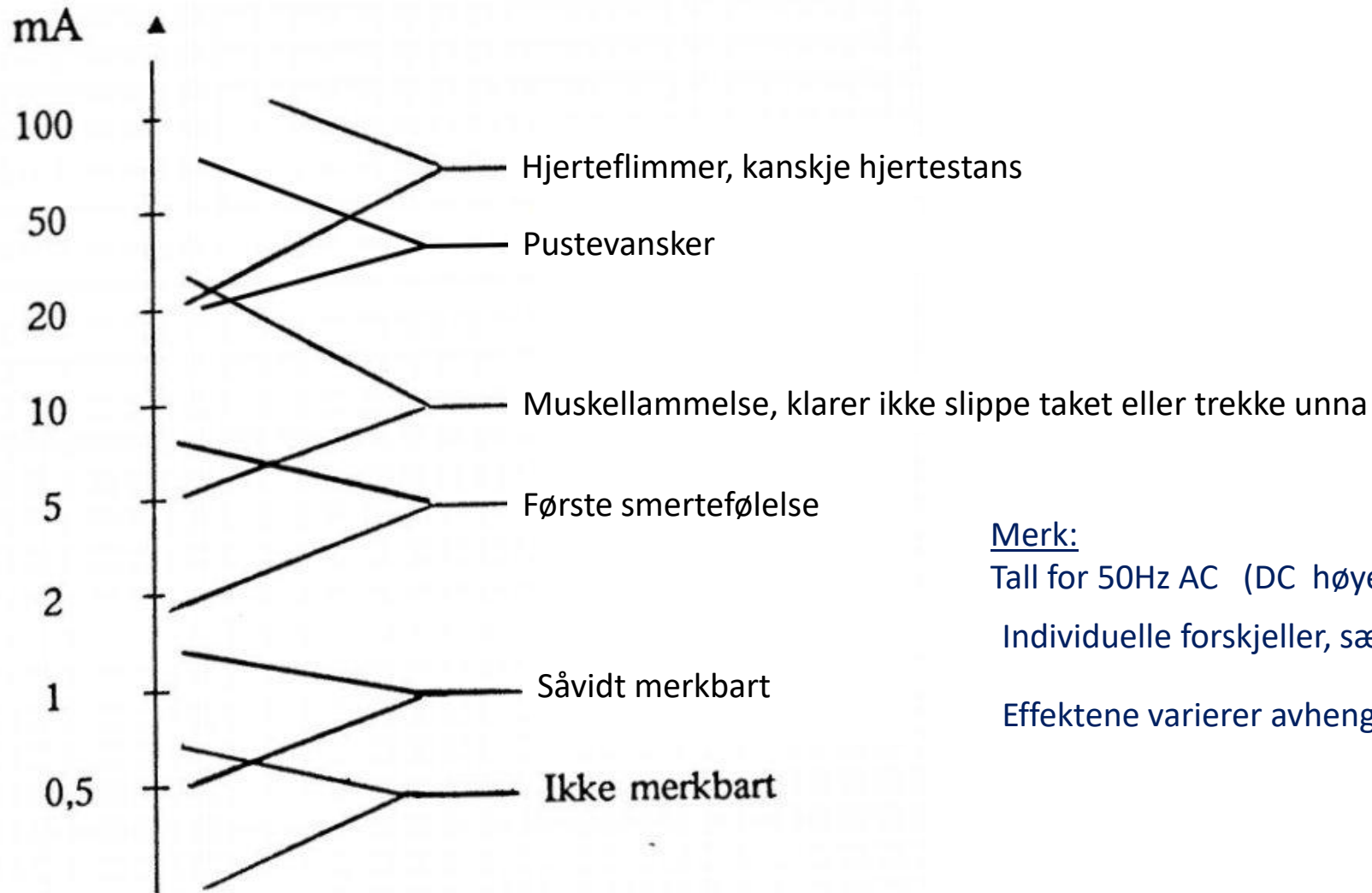
## Sikkerhet ved arbeid med elektrisk utstyr



*A worker with an electrical injury may have any of a number of signs and symptoms.*

# Grenser for virkninger av elektrisk strøm

(kilder: <http://www.arcticpeak.com/files/Sikkerhet.pdf>, TS 60479-1 IEC:2005)



## Merk:

Tall for 50Hz AC (DC høyere strømgrenser)

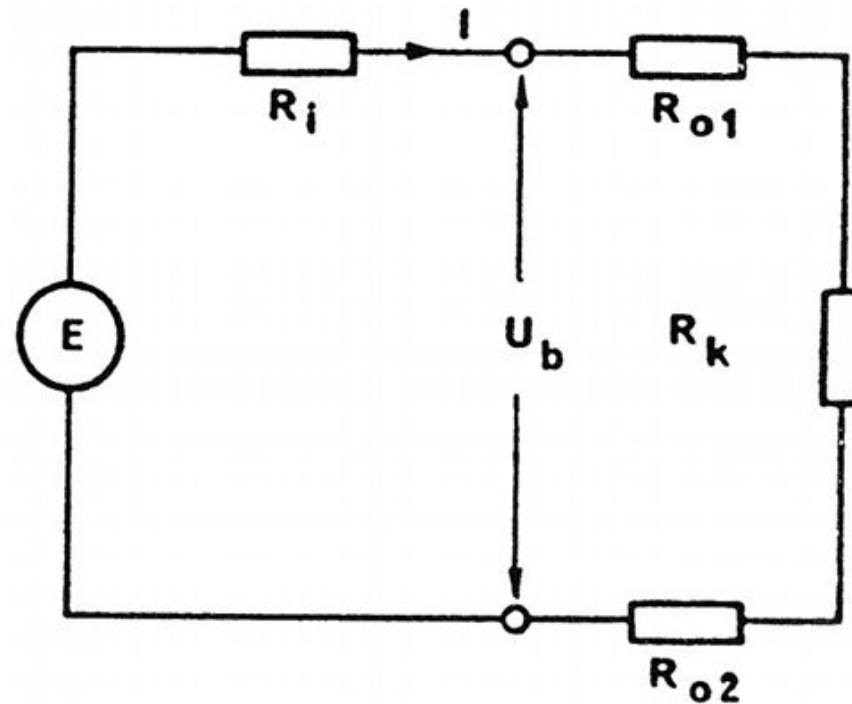
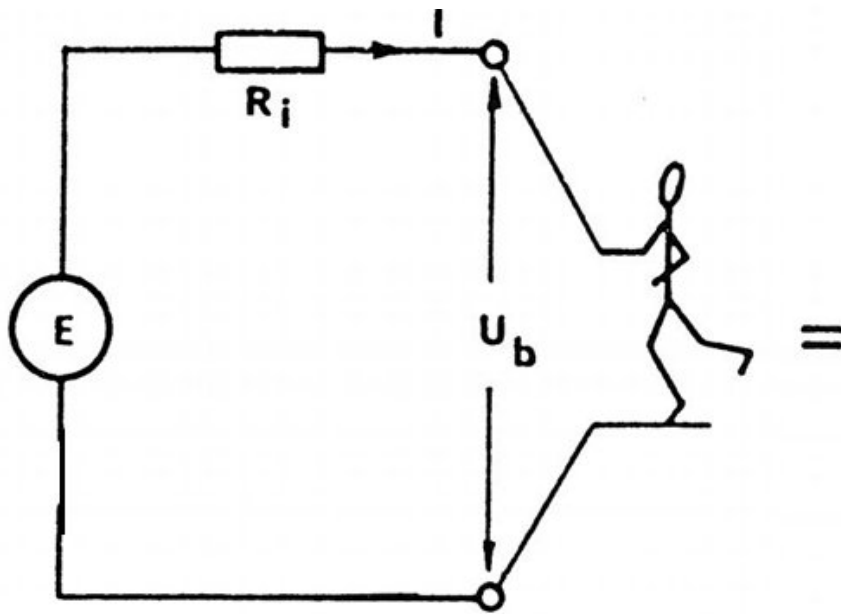
Individuelle forskjeller, særlig mht. smerte

Effektene varierer avhengig av strømveien

## Modellbeskrivelse

-

## Ohms lov for en person



### Eksempler på typiske verdier:

Elnettet:  $E=230\text{V}$   $R_i \approx 0$

Likeretter:  $E=E_{DC}$   $R_i \approx 0$

Biltetting:  $E \approx 30.000\text{V}$   $R_i \approx 2\text{M}\Omega$

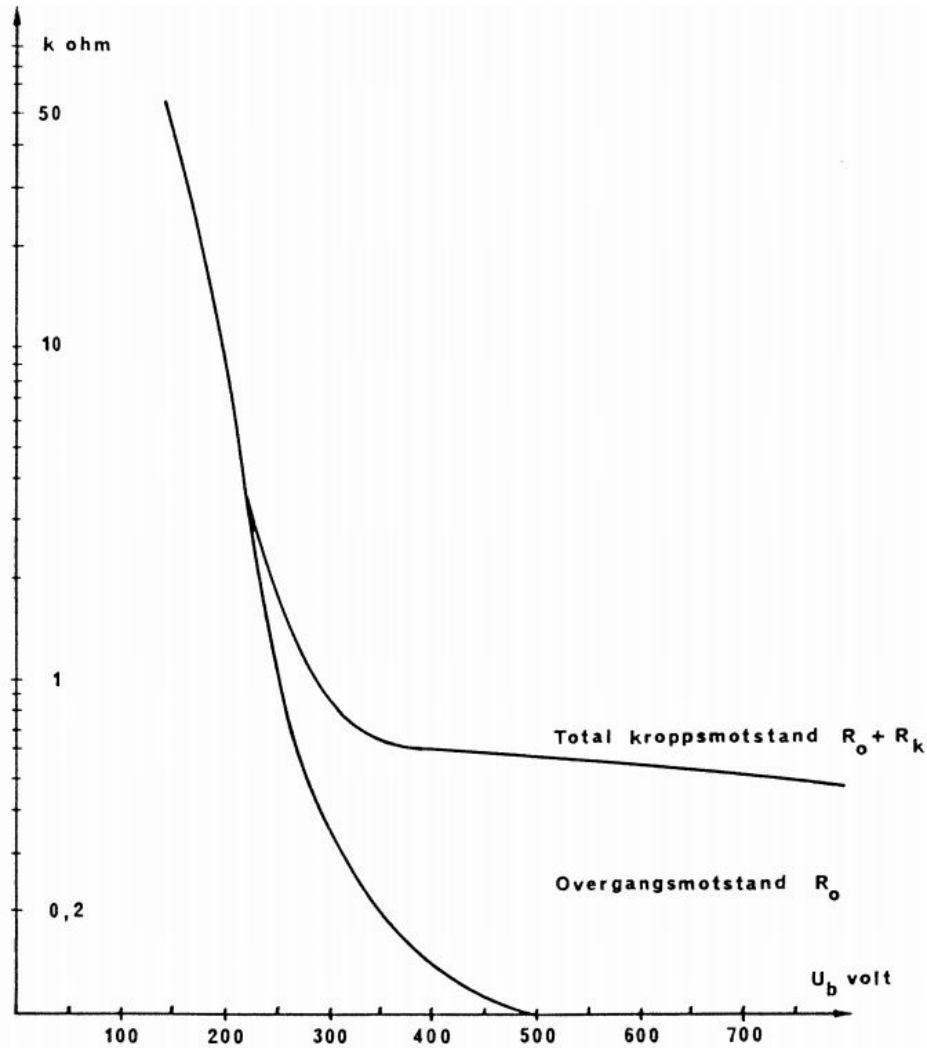
### Eksempler på typiske verdier:

Kroppens indre motstand (uskadd):  $R_k \approx 500\ \Omega$

Overgangsmotstand (hud) :  $R_o \approx 0\text{-}2\text{M}\Omega$

(varierer mye, spennings-, fukt- og skadeavhengig!)

# Hudmotstandens spenningsavhengighet



Målinger foretatt ved 50Hz AC  
(Resistans avhengig også av kontaktareal)

Over 75V synker  $R_o$  mye («forbrenning»)  
(Ohmmeter måler ved få Volt spenning)

Ved våt hud synker  $R_o$  kanskje til 1/10

Regneeksempel, IT eller TN-nett:

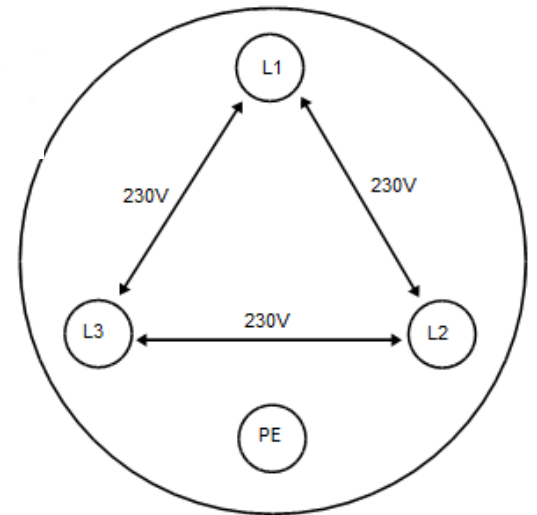
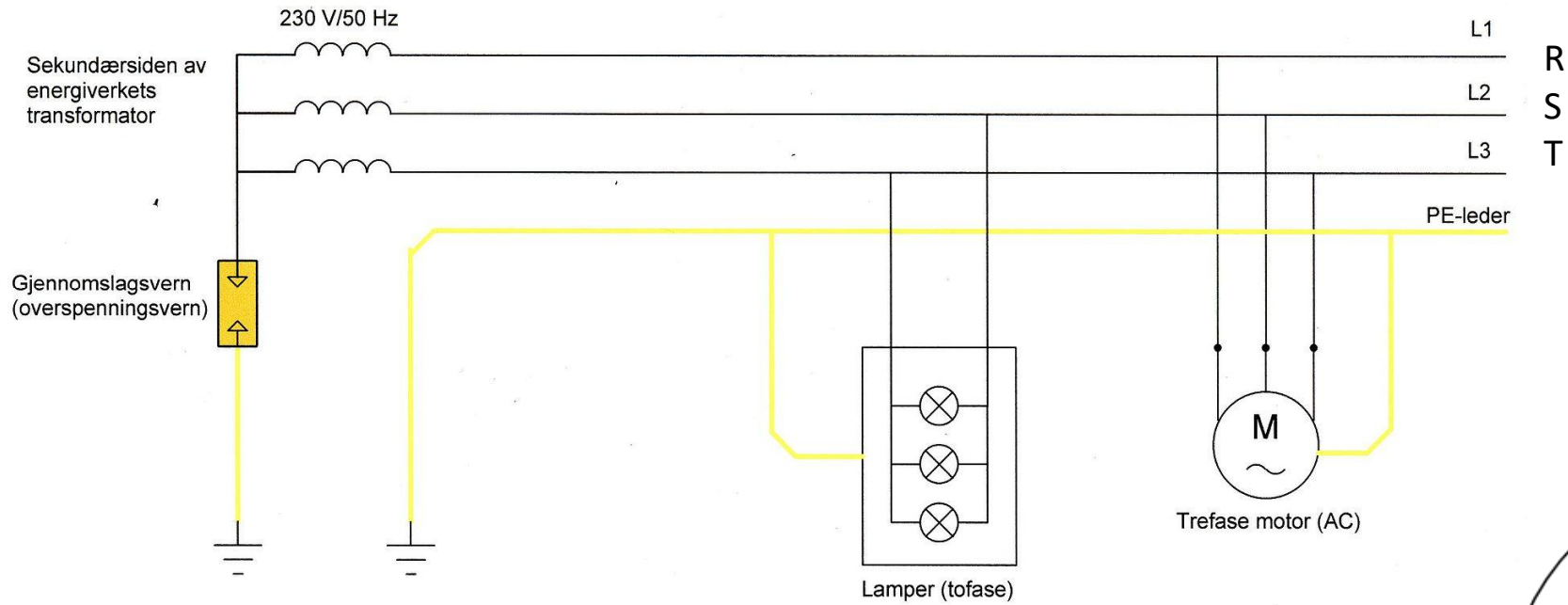
$U=230V$

Avleser  $R_o \approx 3000 \Omega$

$$I = \frac{U}{R_i + 2R_o + R_k} = \frac{230}{0 + 6 + 0,5} = 32 \text{ mA}$$

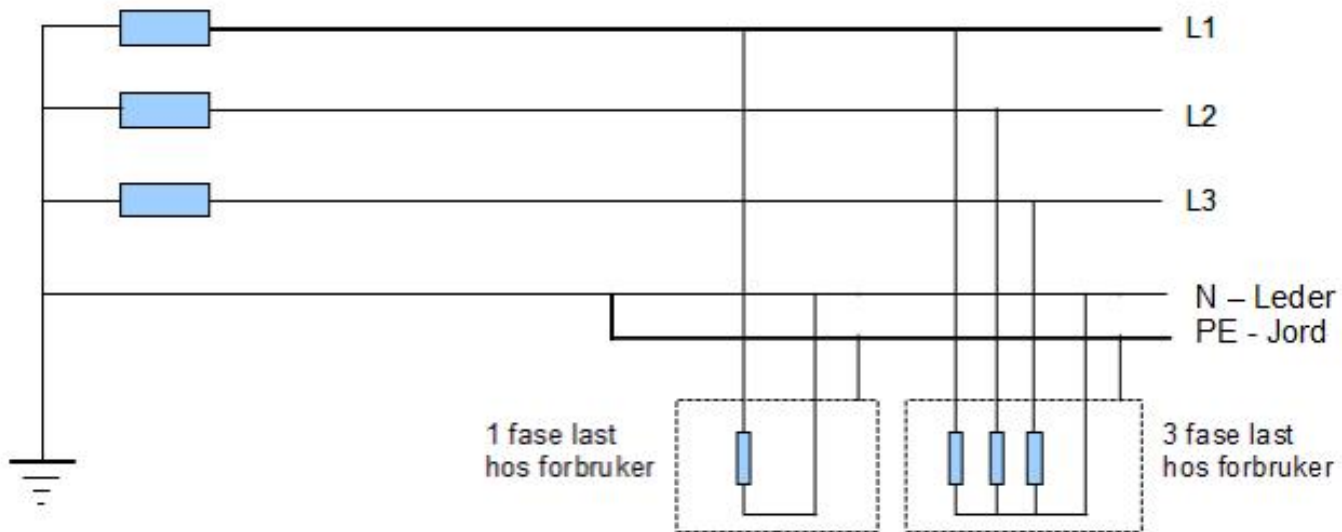
**Dette kan være farlig!**

# IT-nett (IT = Insulated Terra)

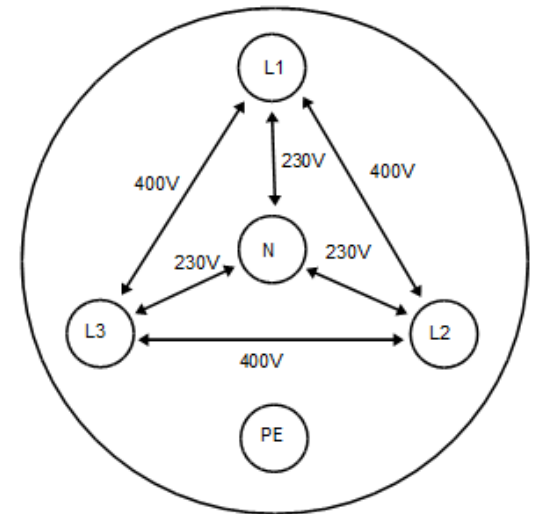


# TN-nett (TN = Terra Neutral)

3 Fase transformator  
hos strømleverandøren



[www.elektrofag.info](http://www.elektrofag.info)



# Kombinert Jordfeil og apparatfeil i IT-nett

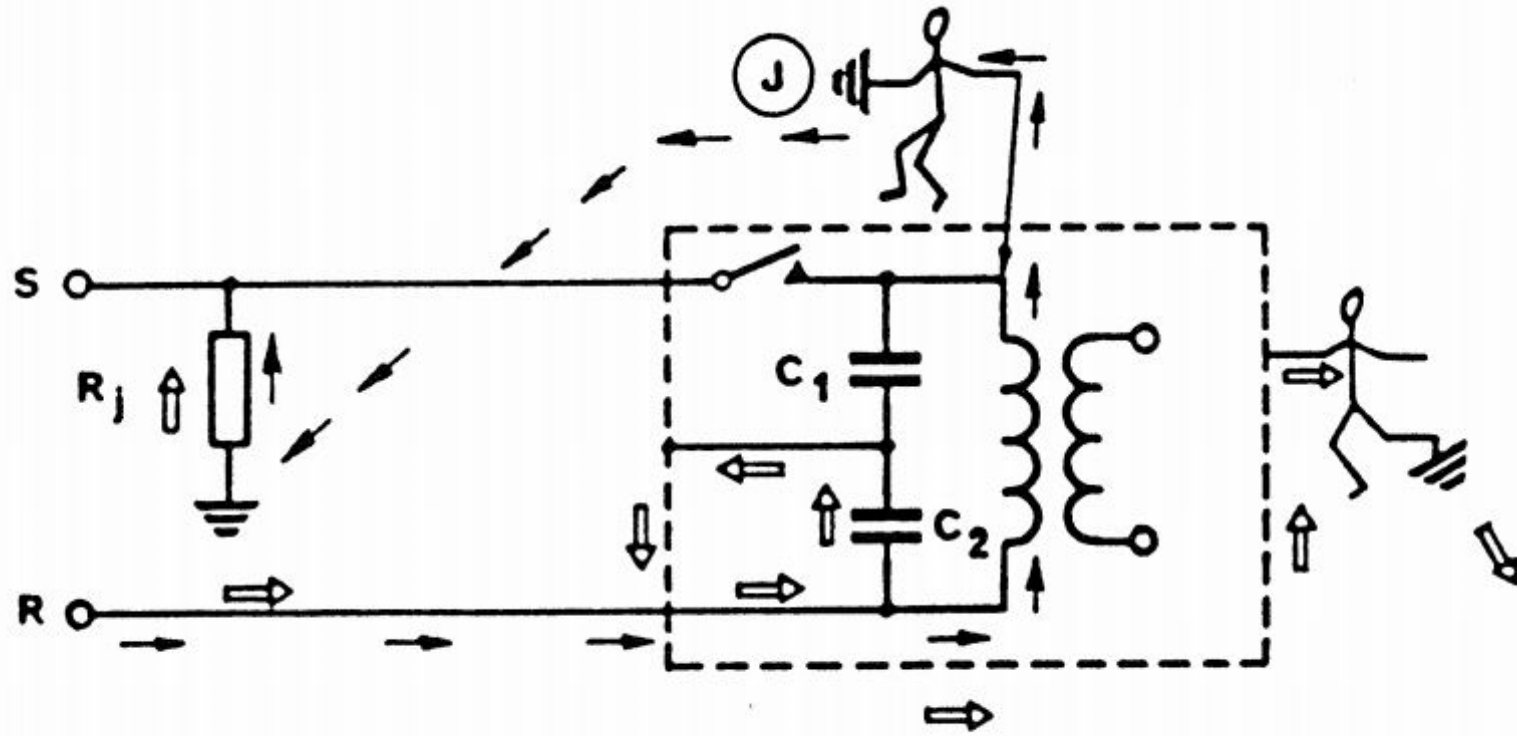


Fig. 7.

# Bruk av skilletrafo for å øke sikkerheten

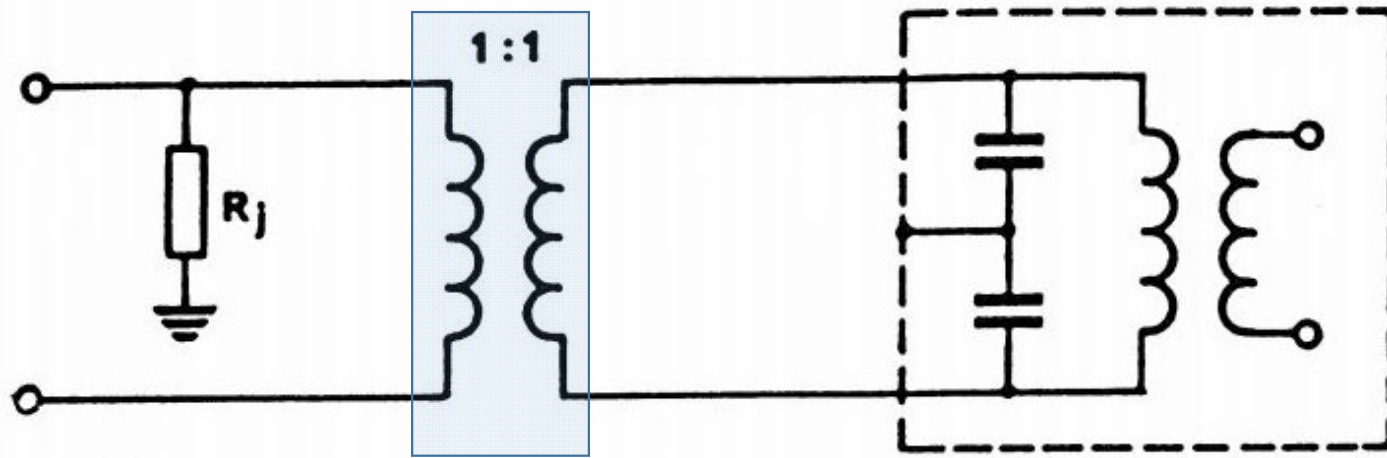
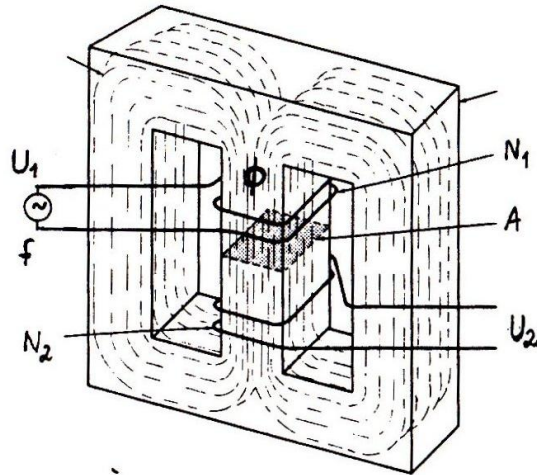


Fig. 8. Bruk av skilletrafo.

Skilletrafoen bryter den mulige strømveien mot jord via nettets jordfeil

# Utleddning av designformelen for transformatorer



Indusert spenning i primærspolen vil bli tilnærmet lik den påtrykte spenning  $U_1$ .

Antar at den påtrykte spenning er sinusformet med effektivverdi  $U_1$

Antar at fluksen  $\phi$  i spolen også blir sinusformet

$$\phi(t) = \hat{\phi} \cdot \sin 2\pi f t$$

Den induserte spenning blir da

$$u(t) = N_1 \frac{d\phi}{dt} = N_1 \cdot 2\pi f \cdot \hat{\phi} \cdot \cos 2\pi f t = u_1(t)$$

$$= \hat{U}_1 \cos 2\pi f t = \hat{U}_1 \sin(\omega t - \pi/2)$$

$$U_1 = \frac{\hat{U}_1}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 \cdot 2\pi f \hat{\phi}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot N_1 \cdot f \cdot A \cdot \hat{B}$$

Vi får altså for primærspolen sammenhengen:

$$U_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot N_1 \cdot f \cdot A \cdot \hat{B}$$

$$U_1 = 4.44 \cdot N_1 \cdot f \cdot A \cdot \hat{B}$$