

Effektöverföring på långa ledningar

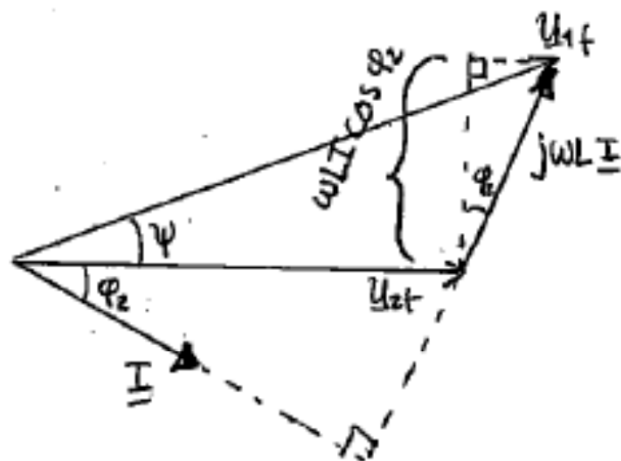
induktiva ledningar (R_l – försummas)

Det krävs:

ψ – för att överföra P
amplitudskillnad – för att överföra Q

$$P = 3 \frac{U_{1f} U_{2f}}{X_l} \sin \psi$$

Rent induktiva ledningar



Överförd effekt:

$$P_{\text{fas}} = U_{2f} I \cos \varphi_2$$

$$\text{men } I \omega L \cos \varphi_2 = U_{1f} \sin \psi$$

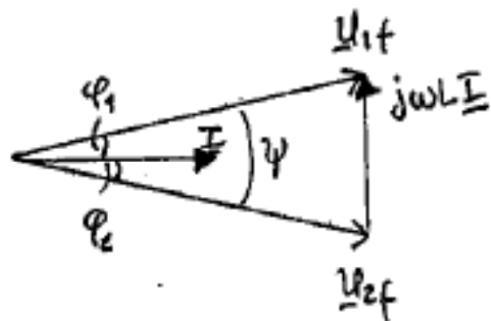
$$\Rightarrow \underline{P_{\text{fas}} = \frac{U_{2f} \cdot U_{1f}}{\omega L} \sin \psi}$$

- Överförd effekt är proportionell mot $\sin \psi$

$$P_{\text{fas max}} = \{ \psi = 90^\circ \} = \frac{U_{2f} \cdot U_{1f}}{\omega L}$$

L begränsar
överförbar effekt

Vanligt specialfall: $|\underline{U}_{1f}| = |\underline{U}_{2f}|$



$$\boxed{\varphi_1 = \frac{\psi}{2} = -\varphi_2}$$

φ_2 negativ, ty den ligger efter $\underline{I}$ i fas.

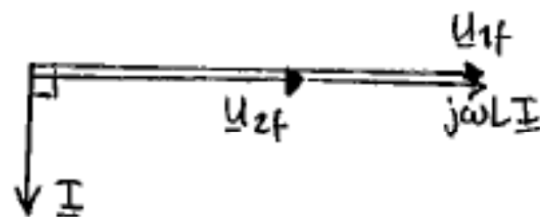
- $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 \Rightarrow P_2 = P_1$

(uttagen aktiv effekt = införd aktiv effekt, naturligtvis)
eftersom det inte finns någon resistans.

Aktiv effekt överförs från $\underline{U}_{1f}$ till $\underline{U}_{2f}$

- $\sin \varphi_1 = -\sin \varphi_2 \Rightarrow Q_2 = -Q_1 \quad Q_1 > 0$

Ett annat specialfall: Antag $\psi = 0$



$$\varphi_1 = 90^\circ = \varphi_2 \Rightarrow$$

ingen aktiv effekt
överförs!

- $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = 0 \Rightarrow P_1 = P_2 = 0$
- $\sin \varphi_1 = \sin \varphi_2 = 1 \Rightarrow Q_1 > 0, Q_2 > 0 \Rightarrow$
ledningen överför reaktiv effekt.

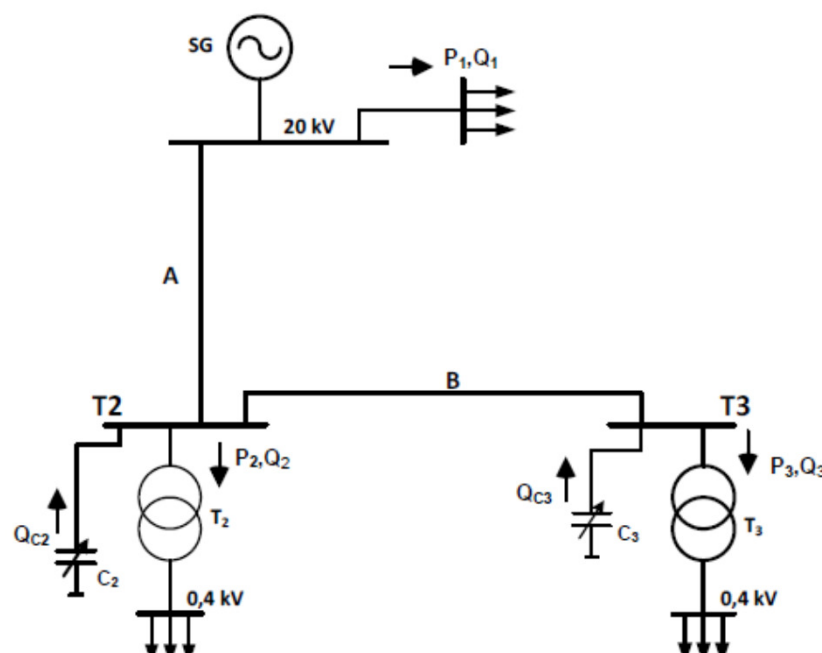
ÖVERFÖRING PÅ INDUKTIV LEDNING:

Aktiv effekt fås då $\psi \neq 0$

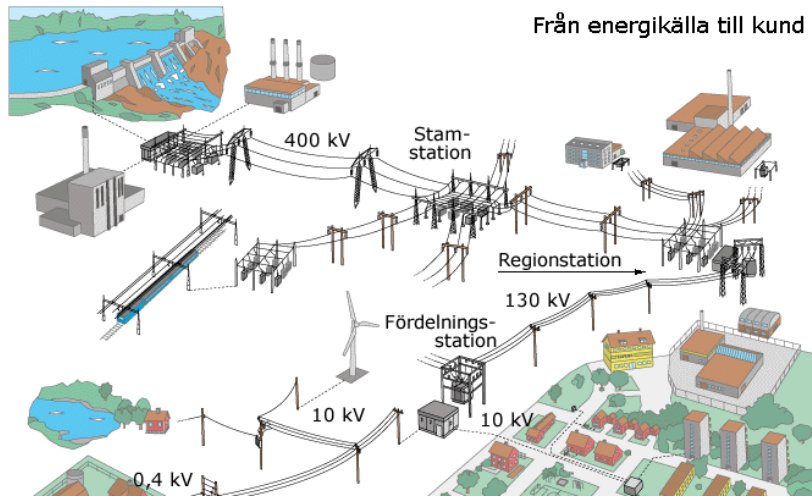
Reaktiv effekt fås då $|U_{1f}| \neq |U_{2f}|$

2. Det finns tre samhällen som försörjs med elenergi från ett litet kraftverk via en 20 kV luftledning (se enlinjeschema nedan). I varje samhälle finns en 20 kV till 0,4 kV transformatorstation. Ledningarna har försumbar serieresistans och shuntkapacitans, deras reaktans är: $X_A = 20 \Omega/\text{fas}$ och $X_B = 10 \Omega/\text{fas}$. Anta att alla stationernas spänningar hålls på 20 kV.

- Överföringsvinkeln för ledning A är 5° och den aktiva effekten som tas i transformatorstation T2 är $P_2 = 1\,200 \text{ kW}$. Hur stor är överföringsvinkeln för ledning B och hur stor aktiv effekt P_3 tas då ut av transformatorstation T3? (2p)
- Beräkna strömmen i ledningen A. (1p)
- Det upptas en reaktiv effekt på $Q_2 = 600 \text{ kVAr}$ av T2 och $Q_3 = 200 \text{ kVAr}$ av T3. Hur mycket reaktiv effekt producerar kondensatorbatterierna C2 och C3? (2p)

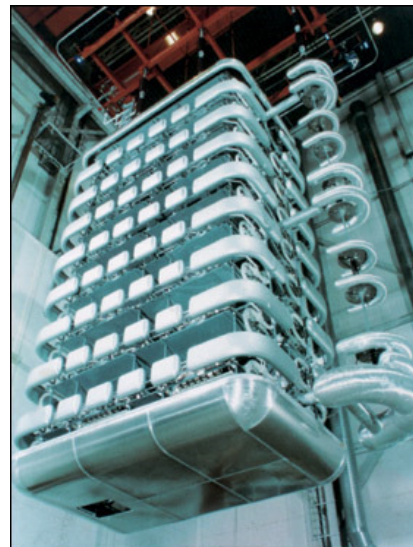
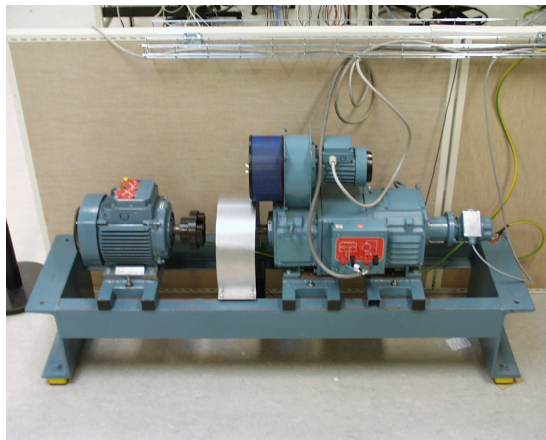


CHALMERS



ELKRAFTSTEKNIK

7,5 p



EEK565

Två hål i väggen



Vad finns bakom ?

EEK 565

Syfte

Kursen är avsedd att ge den nödvändiga baskunskap i elkraftteknik som är viktig för alla elektroingenjörer.

Lärandemål (efter fullgjord kurs ska studenten kunna)

Förstå grundläggande begrepp och samband inom elkraftstekniken samt kunna utföra ingenjörsmässiga beräkningar på elkraftstekniska komponenter och system i stationärt tillstånd.

1. En symmetrisk trefasig, Y-kopplad belastning består av tre stycken lika stora impedanser. Varje impedans består av ett motstånd $20\ \Omega$ seriekopplat med en kondensator $1,0\ \text{mF}$ och över den seriekopplingen är en spole $100\ \text{mH}$ parallellkopplad. Belastningen ansluts till en $400\ \text{V}$, $50\ \text{Hz}$ trefasspänning via en trefasledning som har en serieresistans $0,5\ \Omega$ per fas. Ledningens induktans och kapacitans kan försummas.
- a) Beräkna spänningen över belastningen. (6p)
 - b) Beräkna strömmarna (i komplex form) genom varje gren i belastningen. (3p)
 - c) Rita upp ett visardiagram över fasspänningarna före och efter ledningen, strömmen i ledningen samt spänningsfallet. (4p)
 - d) Bestäm den totala aktiva, reaktiva och skenbara effekten som tas ifrån nätet. (3p)
 - e) Bestäm belastningens effektfaktor. Har belastningen kapacitiv eller induktiv karaktär? (2p)

Kursens mål:

Symmetriska 3-fassystem: alla laster // (utom ledningens impedans)

Beräkningar: gå över till ekv. Y-fas eller

ΣP och ΣQ (med tecken) ej ΣS men ok $\Sigma \underline{S}$

$$\Delta \Rightarrow Y \quad Z_y = \frac{Z_{\Delta}}{3} \quad I = \sqrt{3} \cdot I_{\Delta}$$

U – huvudspänning (data för 3-fas utrustning) U_f – fasspänning;

I – fasström; I_{Δ} – ström i Δ ; $\cos \varphi$ – effektfaktor

Z – impedans

R – resistans

X – reaktans

$$\underline{Z} = R + jX$$

X_L eller X_C

$$I_{tot} \times 3 * I$$

2. I en industrianläggning som matas från ett 400 V, 50 Hz trefasnät finns elektriska maskiner och apparater som sammanlagt förbrukar 140 kW vid $\cos \varphi = 0,707$. Anläggningen kompletteras med en maskin som drivs av en asynkronmotor som förbrukar 15 kW och 28,5 A. Dessutom inkopplas ett kondensatorbatteri med tre kondensatorer om vardera 1 mF i Δ -koppling.
- a) Beräkna strömmen i matningsledningen till anläggningen före och strömmen och resulterande effektfaktor efter kompletteringen med asynkronmotor och kondensator. (7p)
- b) Jämför och förklara resultatet i a) (3p)

Faskompensering:

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

seriekompensering

beräkningar

Visardiagram: välj referens – oftast fasspänning

Ledningar: π – schema; parametrar: R, L, C ;
 spänningsfall; effektförluster
 beräkningar

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

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

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

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

Elnätet : övervakning $\Rightarrow$ P, Q, f, U

överföringsvinkeln Ψ

$P \Leftrightarrow f$ $U \Leftrightarrow Q$

uppbyggnad

Trafo : två separata elektriska kretsar ihopkopplade

mha en magnetisk krets - galvaniskt skilda elkretsar

ekv.schema x 3; visardiagram

hur får man fram: R_k ; X_k och Z_k ; R_{Fe} och X_m

r_k ; x_k ; z_k

beräkningar impedanstransformering

märkskylt

5. Tomgångs- och kortslutningsprov har utförts på en trefastransformator märkt:

40 kVA; 1,5/0,23 kV; D/yn

Proven utförda på transformatorn gav följande resultat:

Tomgångsprov med märkspänning: $P_0 = 384 \text{ W}$, $I_0 = 10 \text{ A}$

Kortslutningsprov med märkström: $U_k = 125 \text{ V}$, $P_k = 550 \text{ W}$

Transformatorn ansluts till märkspänning 1,5 kV samt belastas sekundärt med 100 A vid en induktiv effektfaktor $\cos \varphi = 0,8$.

- a) Räkna fram den relativa kortslutningsimpedansen z_k samt relativa kortslutningsresistansen r_k . (4p)
- b) Bestäm parametrarna i det ekvivalenta schemat som fås med hjälp av tomgångsprovet. (4p)
- c) Bestäm den sekundära klämspänningen på transformatorn. (4p)
- d) Bestäm belastningsförlusterna i transformatorn. (2p)

Elektriska maskiner

hur skapas pulserande och roterande magn.flöde

AM - funktionssätt; ekvivalenta schema; eftersläpning
beräkningar: start; tomgång; drift; effektpilen
AM-s momentkaraktäristik $\Leftrightarrow$ lastens momentkaraktäristik
startmetoder – fördelar och nackdelar
varvtalsstyrning
märkdata
Q vid tomgång, drift och start
enfas AM

LM - funktionssätt; ekvivalenta schema; magnetisering;
styrning
beräkningar

SM - funktionssätt; ekvivalenta schema; Q; infasning
beräkningar

Verkningsgrad

6. En asynkronmotor driver en last som behöver ett vridmoment som är noll vid stillestånd, varierar med kvadraten av varvtalet och som är 140 Nm vid 1000 rpm. Motorn som drivs med 50 Hz trefassspänning, 400 V, har följande märkdata:

15 kW 400 V 50 Hz 32 A 970 rpm $\cos\varphi = 0,81$

- a) Vilket varvtal kommer motorn att rotera med när den driver sin last? (6p)
- b) Vilket vridmoment skapar motorn då? (2p)
- c) Rita asynkronmotorns vridmoment som funktion av varvtalet vid märkdrift och vid ett driftsfall med lägre och ett driftsfall med högre frekvensen av nätspänningen. Vad används för att åstadkommas det? Vad krävs för att bibehålla momentkurvans förlopp? (4p)

Varvtalsreglering av AM:

$$n = (1 - s) \frac{f}{p}$$

s : 1. Rotorresistanser :

$$R_r' \uparrow \quad s \uparrow \quad P_{\text{cuv}} \uparrow \quad \eta \downarrow$$

2. U_s : $U_s \downarrow \quad s \uparrow \quad P_{\text{cuv}} \uparrow \quad \eta \downarrow$

P : polomkoppling - lågt s ; hög η

f : hög η

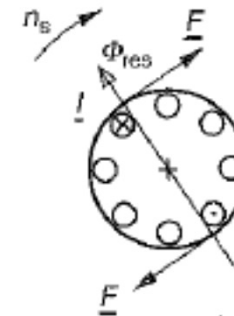
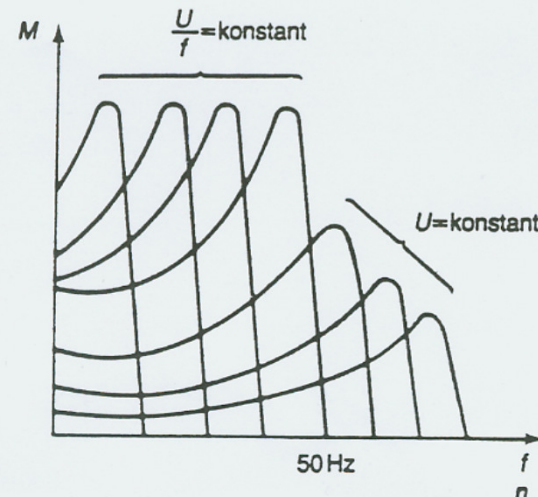


Fig 3.5. Principen för det roterande flödets alstring av vridande kraft på en kortsluten rotor. (Kraften fås som vektorprodukten $\underline{E} = k \cdot \underline{I} \cdot \underline{\Phi}_{\text{res}}$, dvs $E = k \cdot I \cdot \Phi_{\text{res}} \cdot \sin \varphi$, där k är en maskinkonstant).

$$\hat{\Phi} \approx \hat{e} / \omega \approx U / f$$

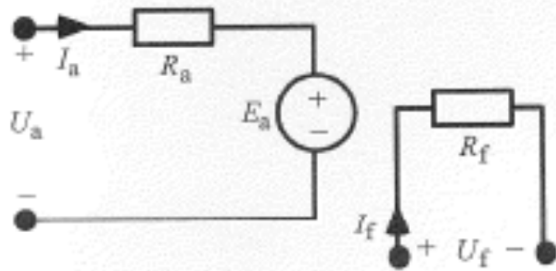


fältförsvagning

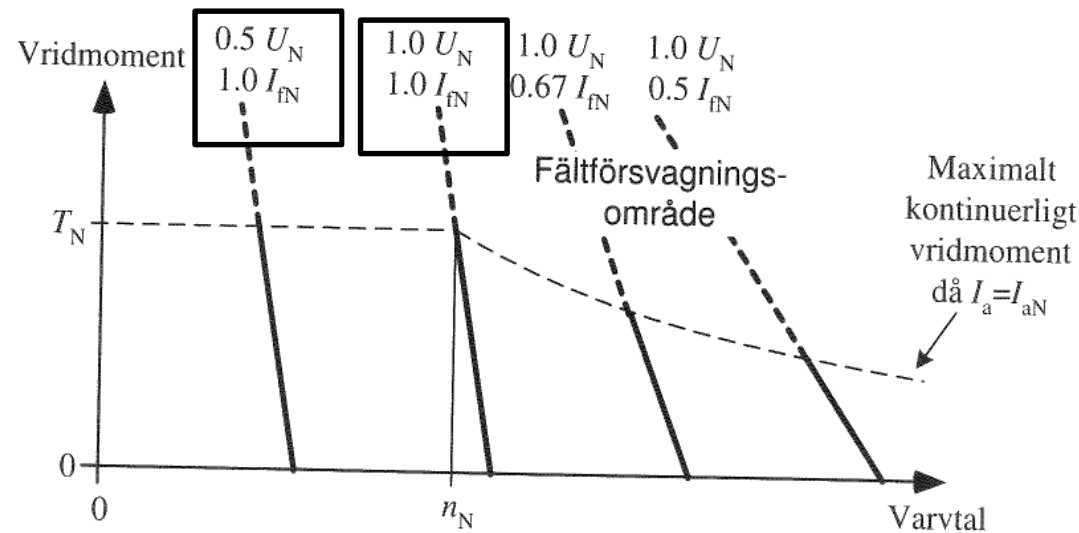
4. Rita momentkurvor, $T = f(n)$, för en separatmagnetiserad likströmsmotor vid tre följande driftsfall: 1) $U_a = U_n$ och $I_f = I_{fn}$ 2) $U_a = 0,5 U_n$ och $I_f = I_{fn}$ 3) $U_a = U_n$ och $I_f = 0,5 I_{fn}$.
Markera märkmomentet T_n för alla driftsfall. (6p)

CHAL

$$E_a = k I_f \omega \quad T_{LM} = k I_f I_a$$



$$T = k \cdot I_f I_a$$



$$\omega = \frac{U_a}{k \cdot I_f} - \frac{R_a T}{(k \cdot I_f)^2}$$

$$T = \frac{k \cdot I_f \cdot U_a}{R_a} - \frac{(k \cdot I_f)^2}{R_a} \omega$$

$$I_a = \frac{U_a - k \cdot I_f \cdot \omega}{R_a} = \frac{U_a - E_a}{R_a}$$

- Märkmoment på alla varvtal tills märkvarvtal nås för ökande U_a
- Inducerade spänningen E_a ökar med varvtalet, kräver ökande U_a
- För att nå högre varvtal utan för högt U_a får I_f sänkas (fältet försvagas).
 - Vi kan ej hålla momentet uppe med de högre varvtalen.

Kraftelektronik:

likriktare: en- och trefas

LS – omriktare

Växleriktare pulsbreddsmodulation

L och C

beräkningar

Dimensionering av elektriska anläggningar – elektrisk, mekanisk och termisk

Kortslutningsberäkningar: två metoder

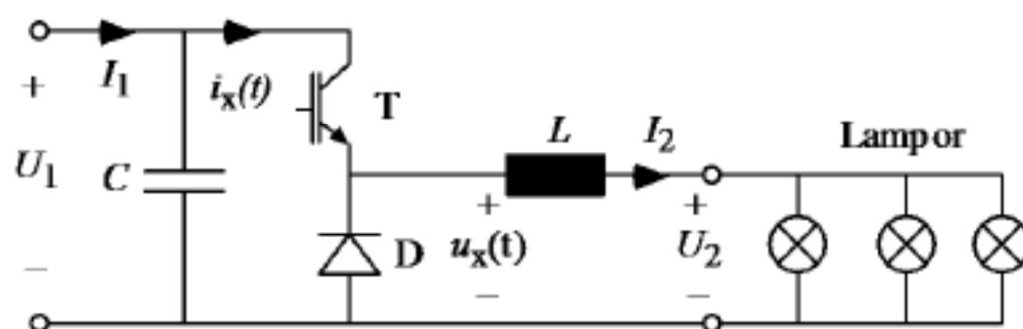
-successiv nätreduktion (impedanssummering)

enhetsspänning

- med delkortslutningseffekter

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad S_k = \frac{U^2}{Z_k} \quad S_k = \frac{S_n}{Z_k}$$

8. En LS-omriktare används i ett nätaggregat för att skapa en stabil likspänning till provning av 12 V halogenlampor. Den matas med en likspänning på $U_1 = 40$ V från en diodlikriktare. Kopplingen är gjord som i figuren nedan och modulationsperiodtiden är $50 \mu\text{s}$.

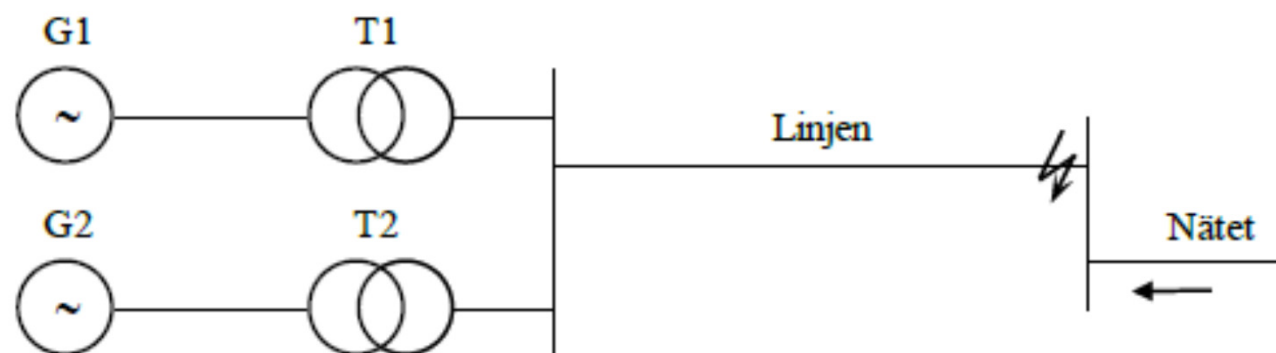


Halogenlamporna matas med $U_2 = 12$ V och strömmen I_2 är 2 A likström.

- Räkna ut och rita upp hur spänningen $u_x(t)$ över dioden D ser ut under två modulationsperioder. Gradera axlarna på diagrammet. (3p)
- Hur lång tid under varje modulationsperiod leder transistorn? Markera på tidsaxeln i diagrammet vilken del av perioden transistorn T leder och när den är av. (2p)
- Vad blir strömmen $i_x(t)$ genom transistorn och strömmen I_1 från 40 V källan? Rita in dem i ett diagram med graderade axlar. (3p)

9. Två generatorer matar över varsin transformator en 100 km lång 130 kV-linje.

Via en fördelningsstation är ett nät anslutet till linjen. Se figuren nedan:



Följande data gäller för generatorerna, transformatorerna, linjen och nätet:

Generator G1	75 MVA, 16 kV	$x_d = 20 \%$
Generator G2	60 MVA, 10 kV	$x_d = 22 \%$
Transformator T1 dY0	75 MVA, 16/130 kV	$x_k = 10 \%$
Transformator T2 dY0	60 MVA, 10/130 kV	$x_k = 8 \%$
Linjen:	$x = 0,4 \Omega/\text{fas}, \text{km}$	
Nätet:	$S_k = 2000 \text{ MVA vid } 130 \text{ kV}$	

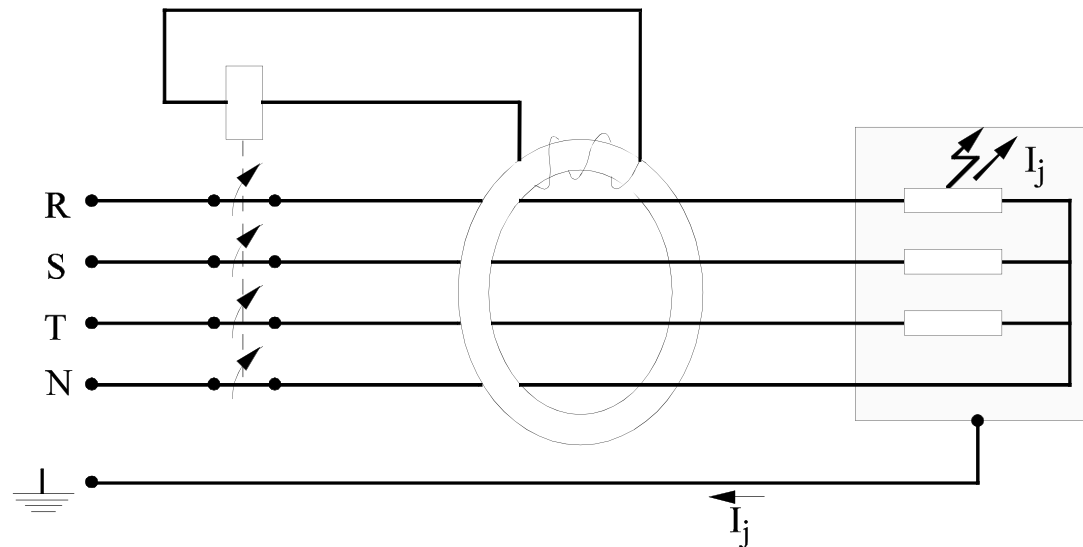
Beräkna kortslutningsströmmen vid trefasig kortslutning i ändpunkten på linjen (se figuren). Resistansen för alla komponenter försummas. (10p)

Elsäkerhet: strömmens ”biologiska skadeverkningar
säkringar, jordfelsbrytare
föreskrifter, risker

Slutsatser från laborationer!

3. Vad är det som avgör hur allvarliga personskadorna blir vid elolyckor? Vad använder man för att skydda mot personskador? Beskriv hur ett sådant skydd fungerar. Skissa hur det kopplas in i elsystemet hemma. (6p)

Principskiss av en trefasig **jordfelsbrytare**



Tentamen

Räkne- och teoriuppgifter

100 poäng

40p - 3

60p - 4

80p - 5

Duggan – räknas in

(min 5p av 10p för projektfrågor)

Hjälpmedel: **typgodkänd räknare** samt

bifogat formelblad

Granskning – senast 18 juni ? (i mitt rum – Johanneberg)

CHALMERS



CHALMERS



CHALMERS



Lycka till!

Frevlig sommar!

