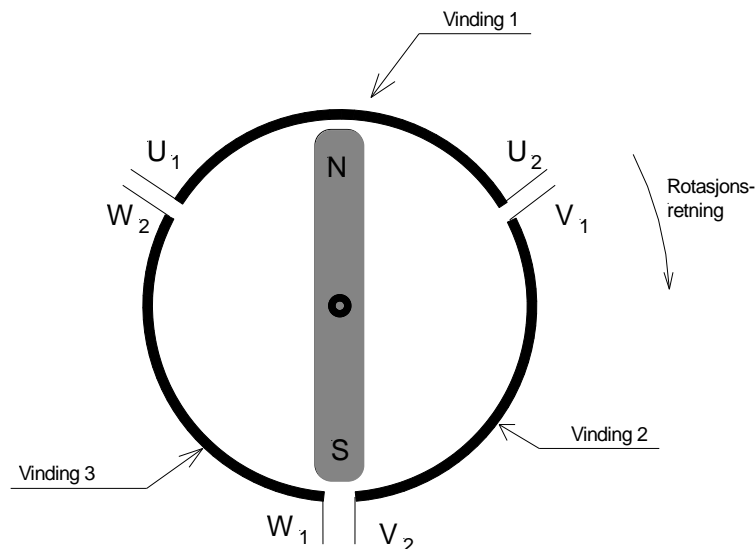


8.1 TREFASET VEKSELSTRØM I SYMMETRI

Når en permanentmagnet roterer inne i en ring av vindinger blir det induisert en spenning i vindingene. Hvis ringen blir delt inn i tre like store deler vil hver vinding omslutte 120° av ringen. ($3 \cdot 120^\circ = 360^\circ$).

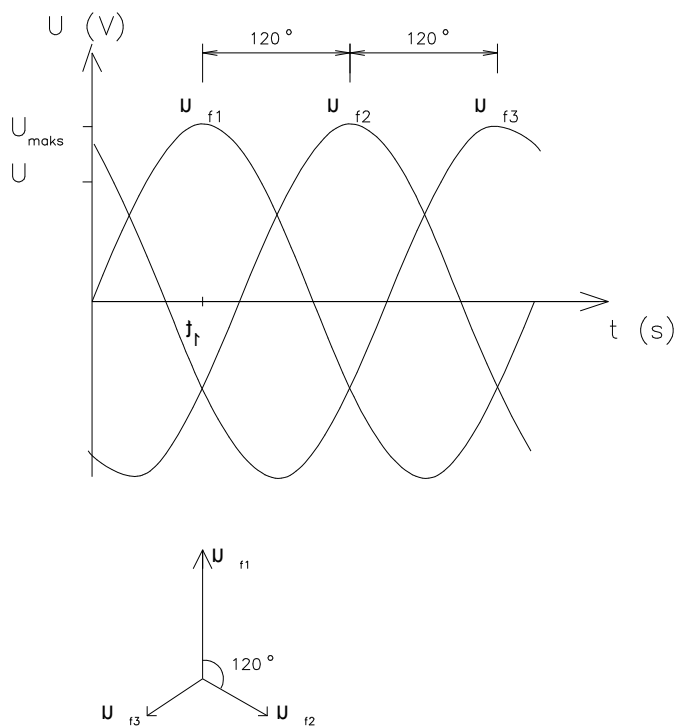
Figur 8.1.1 viser en enkel trefaset generator.

Figur 8.1.1



Når permanentmagneten roterer i rotasjonsretningen induiseres det en spenning i hver vinding. I kapittel «5.2 Induksjon» med underavsnittet «En vinding som roterer i et magnetfelt» er det vist at induisert spenning når sin maksimale verdi når en permanentmagnet er nærmest og midt under en vinding (se figurene 5.2.6 og 5.2.7). Generatorens spenningskurver er vist i figur 8.1.2. I tidsøyeblikket t_1 (figur 8.1.2) er generatorspenningene vist slik permanentmagneten er plassert i figur 8.1.1. Spenningskurvene vil forskyve seg 120° i forhold til hverandre fordi det er 120° mellom midtpunktet til vindingene.

Figur 8.1.2



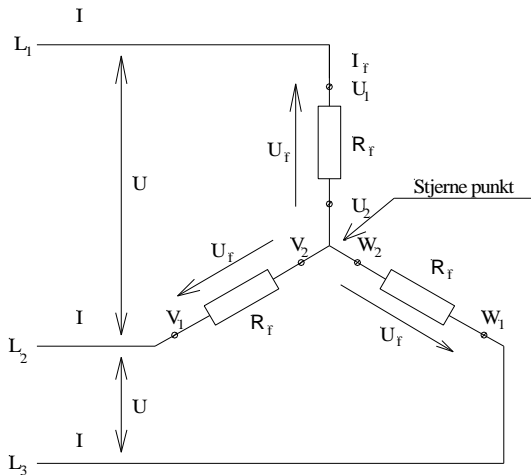
Vektordiagrammet over viser øyeblikksverdiene av spenningene i tidsøyeblikket t_1 .

Formler for øyeblikksverdier av spenningene i trefase:

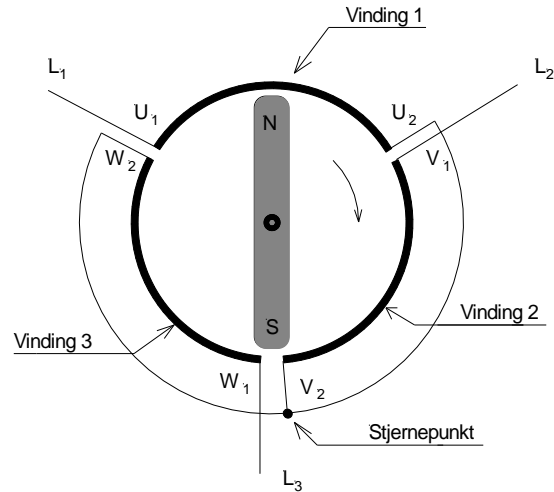
$$\begin{aligned}
 u_{f1} &= U_m \cdot \sin \alpha \\
 u_{f2} &= U_m \cdot \sin(\alpha - 120^\circ) \\
 u_{f3} &= U_m \cdot \sin(\alpha - 240^\circ)
 \end{aligned}
 \tag{8.1.1}$$

STJERNEKOPLING

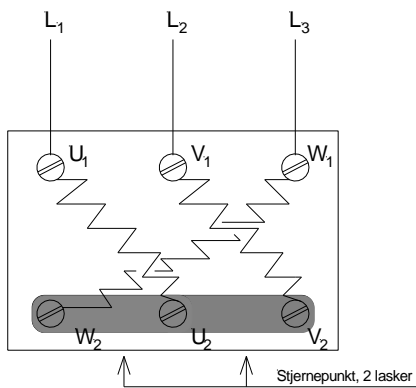
Figur 8.1.3.A



Figur 8.1.3.B



Figur 8.1.3.C. Klemmebrett til en elektrisk motor:



Figur 8.1.3.A viser skjematisk en stjernekopling.

Figur 8.1.3.B viser en generator koplet i stjerne

Figur 8.1.3.C viser klemmebrettet til en elektrisk motor som er stjernekoplet.

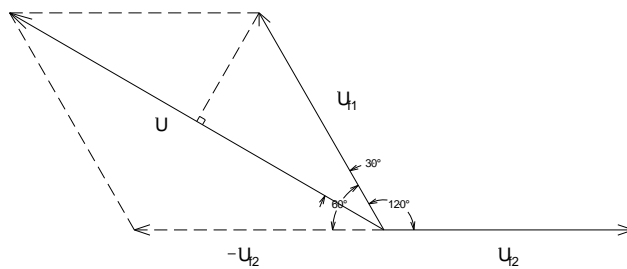
Figur 8.1.3.A viser at fasestrømmene blir lik hovedstrømmene fordi det ikke er noen avgrensning mellom punkt for hovedstrøm og punkt for grenstrøm.

$$I_H = I_F$$

8.1.2

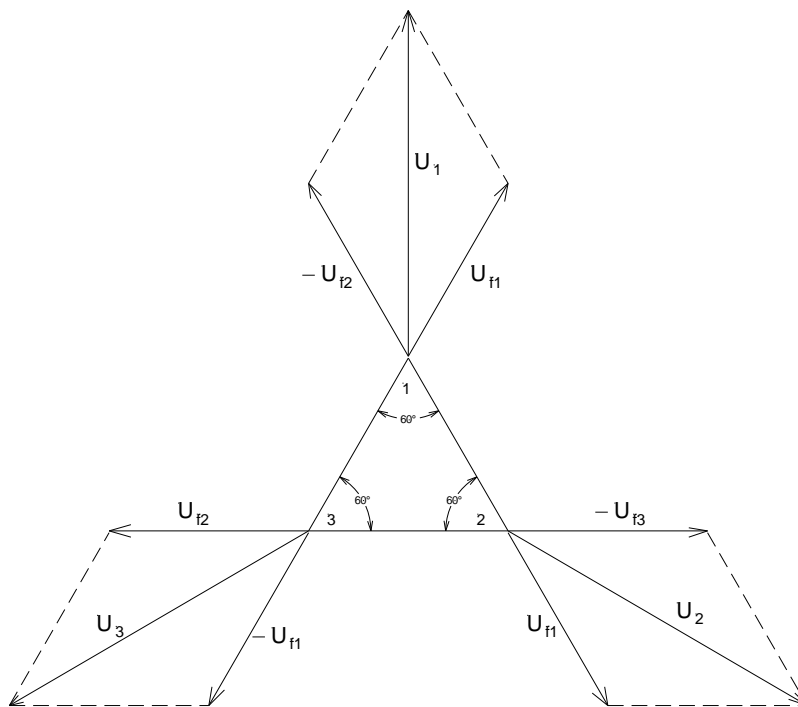
Figur 8.1.4 viser vektorer til effektivverdiene for hovedspenningene og fasespenningene:

Figur 8.1.4



I vektordiagrammet over (figur 8.1.4) er spenningen U_{f1} snudd 180° . Når den ene fasespenningen er snudd blir det 60° mellom fasespenningene. Figur 8.1.5 viser alle tre fasene med tilhørende fasespenninger.

Figur 8.1.5



Figur 8.1.5 viser effektivverdiene av fase- og hovedspenningene til en trefaset stjernekopling. Trekanten i midten kalles grunntrekanten hvor alle vinklene er 60° . Grunntrekanten er til hjelp i konstruksjon av vektordiagrammet fordi en da får 60° mellom aktuelle fasespenninger. Vinklene mellom hovedspenningene blir 120° når kretsen er symmetrisk.

Fra figur 8.1.4 kan vi sette opp uttrykket:

$$\cos 30^\circ = \frac{\frac{U}{2}}{U_{f1}}$$

Vi kan snu uttrykket med henblikk på fasespenningen:

$$U_{f1} = \frac{\frac{U}{2}}{\cos 30^\circ}$$

Vi setter inn eksaktverdien for $\cos 30^\circ$ som er $\frac{\sqrt{3}}{2}$:

$$U_{f1} = \frac{\frac{U}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}$$

Når vi forkorter uttrykket over få vi et uttrykk for fasespenningen for en symmetrisk stjernekopling:

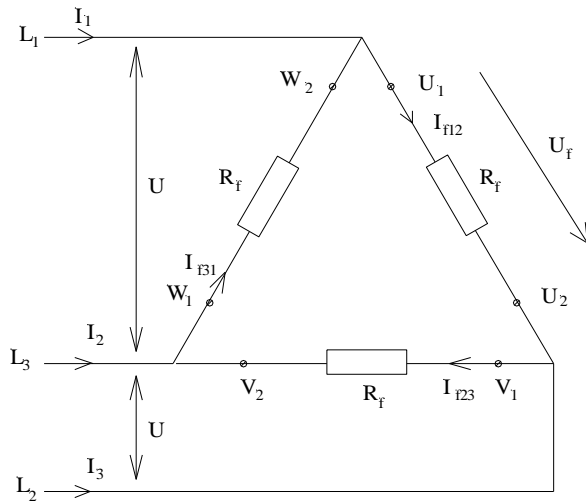
$$U_f = \frac{U_H}{\sqrt{3}}$$

8.1.3

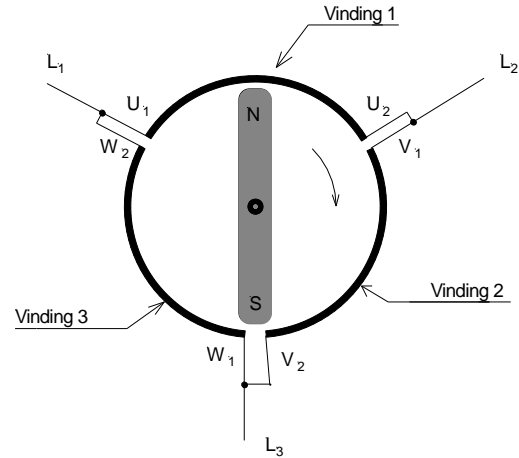
I	hovedstrøm -linjestrøm (A)
I _f	fasestrøm (A)
U	hovedspenning - linjespenning (V)
U _f	fasespenning (V)

TREKANTKOPLING

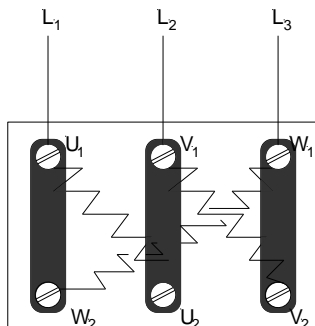
Figur 8.1.6.A



Figur 8.1.6.B



Figur 8.1.6.C. Klemmebrett til en elektrisk motor:



Figur 8.1.6.A viser skjematisk en trekantkopling.

Figur 8.1.6.B viser en generator koplet i trekant

Figur 8.1.6.C viser klemmebrettet til en elektrisk motor som er trekantkoplet.

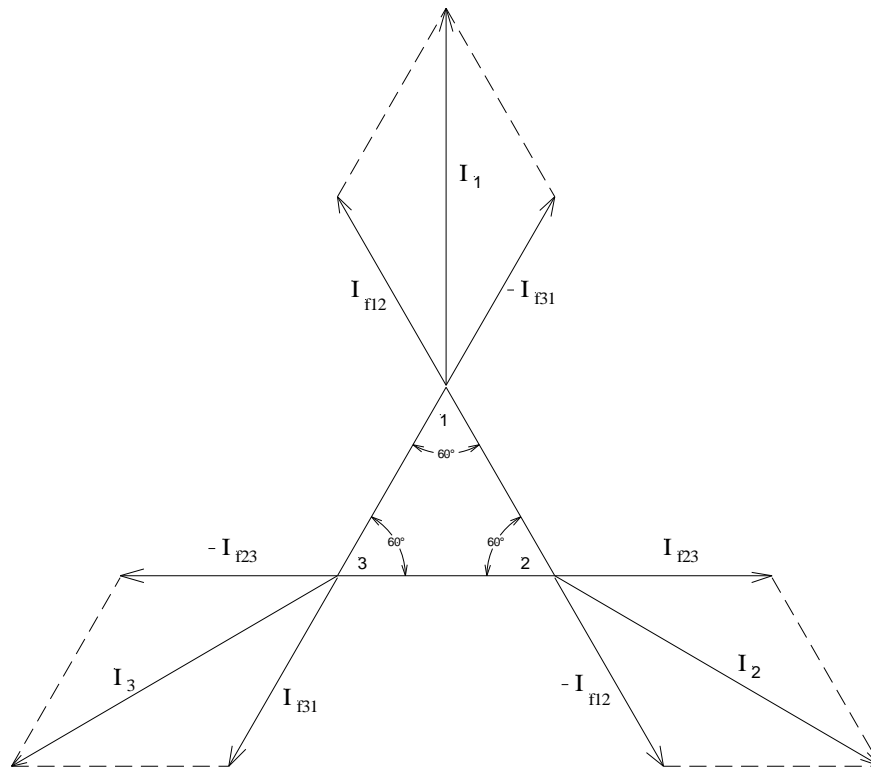
Figur 8.1.6.A viser at hovedspenning og fasespenning er like. Måles spenningen over en fase er den det samme som ved hovedspenningen, fordi det er bare ledninger i mellom målepunktene.

$$U = U_f$$

8.1.4

Figur 8.1.7 viser vektorer til effektivverdiene for hovedstrømmene og fasestrømmene:

Figur 8.1.7



Figur 8.1.7 viser effektivverdiene av fase- og hovedstrømmene til en trefaset trekantkopling. Trekanten i midten kalles grunn trekanten hvor alle vinklene er 60° . Grunn trekanten er til hjelp i konstruksjon av vektordiagrammet fordi en da får 60° mellom aktuelle fasestrømmer. Vinklene mellom hovedstrømmene blir 120° når kretsen er symmetrisk

Fra figur 8.1.7 kan vi sette opp uttrykket:

$$\cos 30^\circ = \frac{\frac{I_1}{2}}{I_{f12}}$$

Vi kan snu uttrykket med henblikk på fasestrømmen:

$$I_{f12} = \frac{\frac{I_1}{2}}{\cos 30^\circ}$$

Vi setter inn eksaktverdien for $\cos 30^\circ$ som er $\frac{\sqrt{3}}{2}$:

$$I_{f12} = \frac{\frac{I_1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}$$

Når vi forkorter uttrykket over får vi et uttrykk for fasestrømmen for en symmetrisk trekantkopling:

$$I_f = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

8.1.5

I	hovedstrøm -linjestrøm (A)
I _f	fasestrøm (A)
U	hovedspenning - linjespenning (V)
U _f	fasespenning (V)

AKTIV EFFEKT I SYMMETRISK TREFASEKRETS

Figur 8.1.3.A, stjernekopling og figur 8.1.6.A, trekantkopling har tre belastninger (vindinger). Vi kan sette opp følgende uttrykk for de tre belastningene som i dette tilfellet er symmetriske effekter koplet i stjerne:

$$\text{I} \quad P = P_f \cdot 3$$

Faseeffekten P kan uttrykkes på formelen:

$$\text{II} \quad P_f = U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Kombinerer vi formlene I og II og multipliserer begge sider i uttrykket med $\frac{1}{\sqrt{3}}$ får vi:

$$\text{I+II} \quad P = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \left| \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \right.$$

Dette gir:

$$\frac{P}{\sqrt{3}} = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Vi får da et uttrykk for aktiv effekt ved trefase symmetri:

$$\boxed{P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}$$

8.1.6

P aktiv effekt (W)
 U spenning (V)
 I strømmen (A)
 cosφ effektfaktoren

Hvis samme utledning som er foretatt over utføres på en trekantkopling får vi lik formel som formel 8.1.6. Dvs formel 8.1.6 gjelder for stjerne- og trekantkopliger.

REAKTIV EFFEKT I SYMMETRISK TREFASEKRETS

Utledningen av reaktiv effekt blir lik utledningen av formelen for aktiv effekt. Dette gir formelen for aktiv effekt:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad 8.1.7$$

Q	reaktiv effekt (VAr)
U	spenning (V)
I	strømmen (A)
φ	faseforskyvningsvinkelen

TILSYNELATENDE EFFEKT I SYMMETRISK TREFASEKRETS

Utledningen av tilsynelatende effekt blir lik utledningen av formelen for aktiv effekt. Dette gir formelen for aktiv effekt:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad 8.1.8$$

S	tilsynelatende effekt (VA)
U	spenning (V)
I	strømmen (A)

Eksempel 8.1.1

En symmetrisk stjernekopling har verdiene: $U=230,0\text{ V}$, 50 Hz , $\cos\varphi=0.9$ og $I=10,0\text{ A}$.

- Hva blir fasespenningene?
- Finn aktiv, reaktiv- og tilsynelatende effekt for stjernekoplingen.
- Kretsen blir koplet over i trekant. Finn fasestrømmen når hovedspenningen beholdes på 230 V , 50 Hz .
- Beregn aktiv, reaktiv- og tilsynelatende effekt for trekantkoplingen.

Løsning:

STJERNEKOPLING

- a) Fasespenningene:

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{230,0\text{V}}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{132,8\text{V}}}$$

- b) Effektene i stjerne:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 230,0\text{V} \cdot 10,0\text{A} \cdot 0,9 = \underline{\underline{3585\text{W}}}$$

$$\cos\varphi = 0,9 \quad \text{dette gir:} \quad \angle\varphi = \underline{\underline{25,8^\circ}}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 230,0\text{V} \cdot 10,0\text{A} \cdot \sin 25,8^\circ = \underline{\underline{1734\text{VAR}}}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 230,0\text{V} \cdot 10,0\text{A} = \underline{\underline{3984\text{VA}}}$$

- c) Før vi går over i trekant må belastningene i stjerne finnes først:

$$Z_f = \frac{U_f}{I_f} = \frac{132,8\text{V}}{10,0\text{A}} = \underline{\underline{13,3\Omega}}$$

TREKANTKOPLING

$$U = U_f = \underline{230,0V}$$

Fasestrøm i trekant:

$$I_f = \frac{U_f}{Z_f} = \frac{230,0V}{13,3\Omega} = \underline{17,3A}$$

Hovedstrøm i trekant:

$$I = I_f \cdot \sqrt{3} = 17,3A \cdot \sqrt{3} = \underline{30,0A}$$

d) Effektene i trekant:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 230,0V \cdot 30,0A = \underline{11951VA}$$

$$\cos \varphi = 0,9 \quad \text{dette gir:} \quad \angle \varphi = \underline{25,8^\circ}$$

$$\bar{S} = S \angle \varphi = 11951VA \angle 25,8^\circ = \underline{10760W + j5202VAR}$$

NB!

Effektene i trekant er 3 ganger effektene i stjerne. Det samme gjelder hovedstrømmene.

OPPGAVER

8.1.1

En trefasekrets er stjernekoplet til en spenning på 230 V, 50 Hz. Hovedstrømmen som går i kretsen er 10 A.

- a) Finn fasespenning og fasestrøm i kretsen
- b) Hva blir effekten når belastningen er rent reesestiv?

8.1.2

En trefasekrets er trekantkoplet til en spenning på 400 V, 50 Hz. Hovedstrømmen som går i kretsen er 5 A.

- a) Finn fasespenning og fasestrøm i kretsen
- b) Hva blir effekten når belastningen er rent reesestiv?

8.1.3

En trefasekrets er trekantkoplet til en spenning på 110 V, 50 Hz. Tegn sinuskurvene til de tre trefasespenningene og merk punktene for hver 30. grad. Bruk målestokk $30\text{ V}=1\text{ cm}$ og $360^\circ=12\text{ cm}$.

8.1.4

I en stjernekopling går det en hovedstrøm på 12,7 A. Resistansen i hver fase er $10\ \Omega$.

- a) Finn hovedspenningen til stjernekoplingen grafisk.
- b) Beregn hovedspenningen til stjernekoplingen.

8.1.5

I en symmetrisk trekantkopling er det en hovedspenning på 400 V. Resistansen i hver fase er $20\ \Omega$.

- a) Finn hovedstrømmene til trekantkoplingen grafisk.
- b) Beregn hovedstrømmen til trekantkoplingen.

8.1.6

En symmetrisk stjernekopling har disse verdiene: $U=240\text{ V}$, 50 Hz , $\cos\phi=0.85$ og $I=7\text{ A}$.

- Finn fasespenningene.
- Finn aktiv, reaktiv -og tilsynelatende effekt for stjernekoplingen.
- Kretsen blir koplet over i trekant. Finn fasestrømmen når hovedspenningen beholdes på 240 V , 50 Hz .
- Finn aktiv, reaktiv -og tilsynelatende effekt for trekantkoplingen.
- Hva er forholdet mellom stjernekopling og trekantkopling ved samme hovedspenning for effektene?

8.1.7

En symmetrisk stjernekopling har disse verdiene: $U=440\text{ V}$, 60 Hz , $\cos\phi=0.7$ og $I=12\text{ A}$.

- Finn aktiv, reaktiv -og tilsynelatende effekt for stjernekoplingen.
- Det blir brudd i den ene tilførselsledningen til stjernekoplingen. Beregn effektene som utvikles i kretsen.
- Kretsen blir koplet over i trekant og hovedspenningen beholdes på 440 V , 60 Hz . Finn aktiv, reaktiv -og tilsynelatende effekt for trekantkoplingen.
- Det blir brudd i den ene tilførselsledningen til trekantkoplingen. Beregn effektene som utvikles i kretsen.

8.1.8

En symmetrisk stjernekopling har disse verdiene: $U=200\text{ V}$, 50 Hz , $\cos\phi=0.85$ og $I=12\text{ A}$.

- Finn aktiv, reaktiv -og tilsynelatende effekt for stjernekoplingen.
- Det blir brudd i den ene faseledningen i stjernekoplingen. Beregn strømmene i kretsen.
- Kretsen blir koplet over i trekant og hovedspenningen beholdes på $U=200\text{ V}$, 50 Hz . Finn aktiv, reaktiv -og tilsynelatende effekt for trekantkoplingen.
- Det blir brudd i den ene faseledningen i trekantkoplingen. Beregn strømmen i fasene.

8.1.9

En stjernekoplet 3-fase synkrongenerator avgir 500 A ved nettspenning på 250 V , 50 Hz . Effektfaktoren er $0,85$.

- Hva blir generatorens fasespenning?
- Hva blir ytelsen i kVA ?
- Finn effektene i W og VAR .
- Generatoren har et effekttap på $12,0\text{ kW}$, hva blir generatorens virkningsgrad -og tilførte mekanisk effekt.