

FASEKOMPENSERING

- Hvad er fasekompensering, og hvorfor gøre det?
- Eksempel



KELD DÝRMOSE

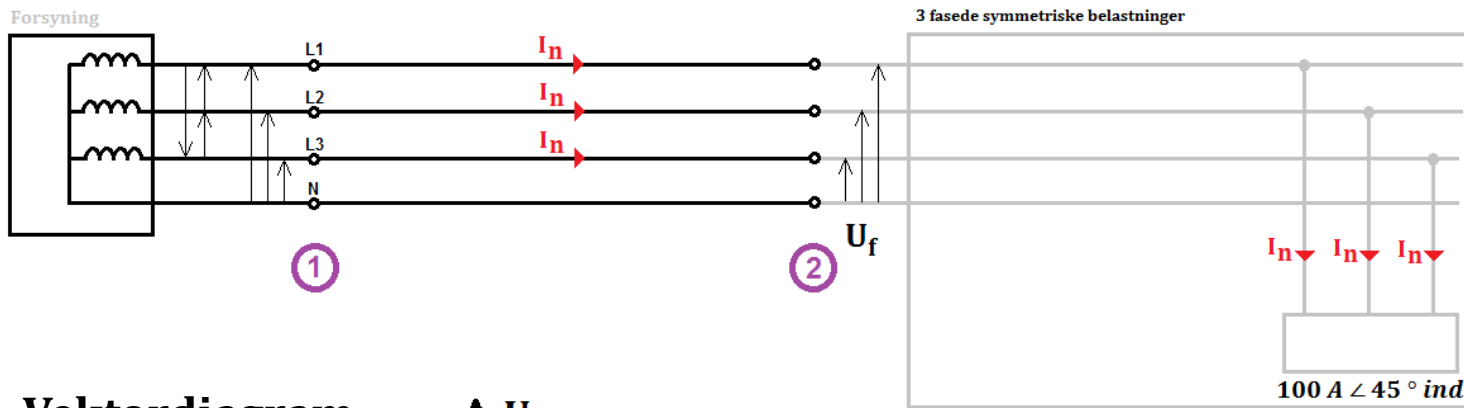


AAMS

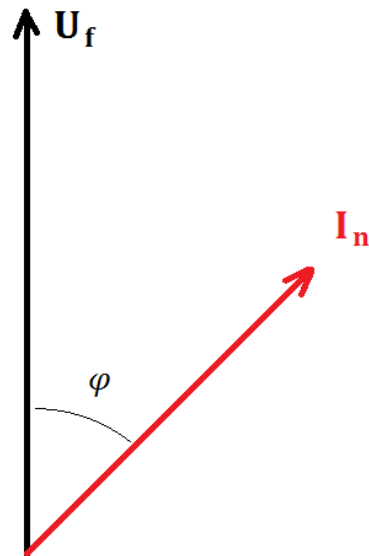
Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering

Fasekompensering - hvad?

Kredsskema:

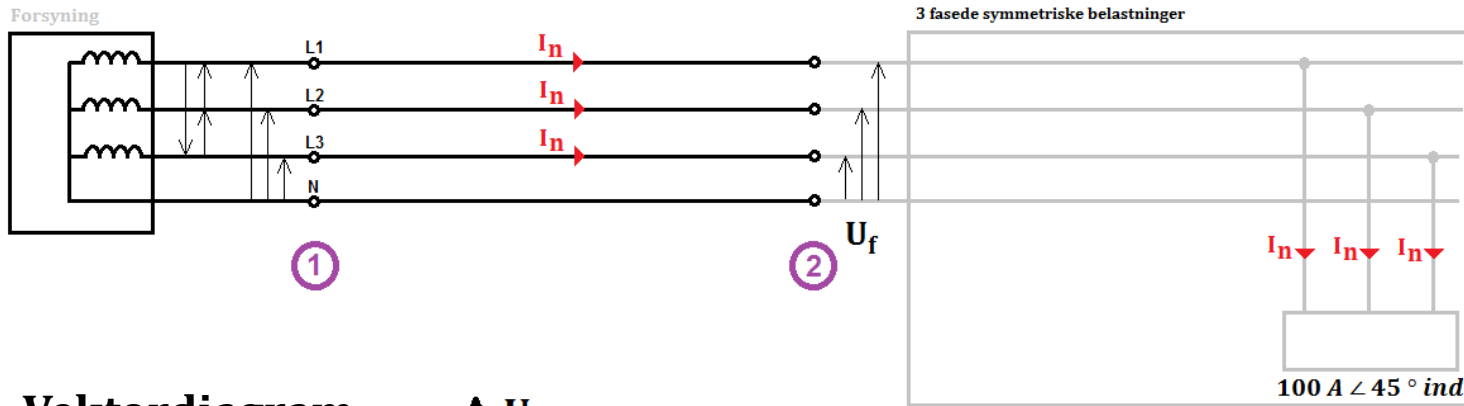


Vektordiagram:

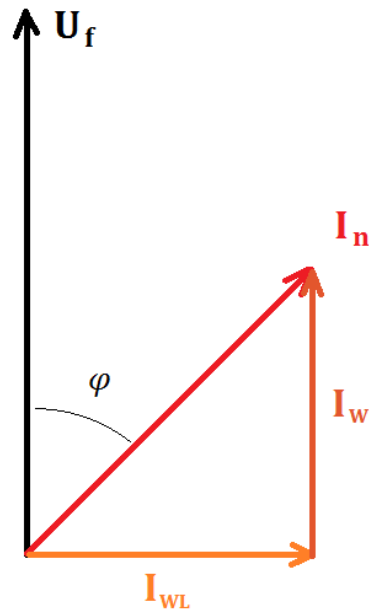


Fasekompensering - hvad?

Kredsskema:

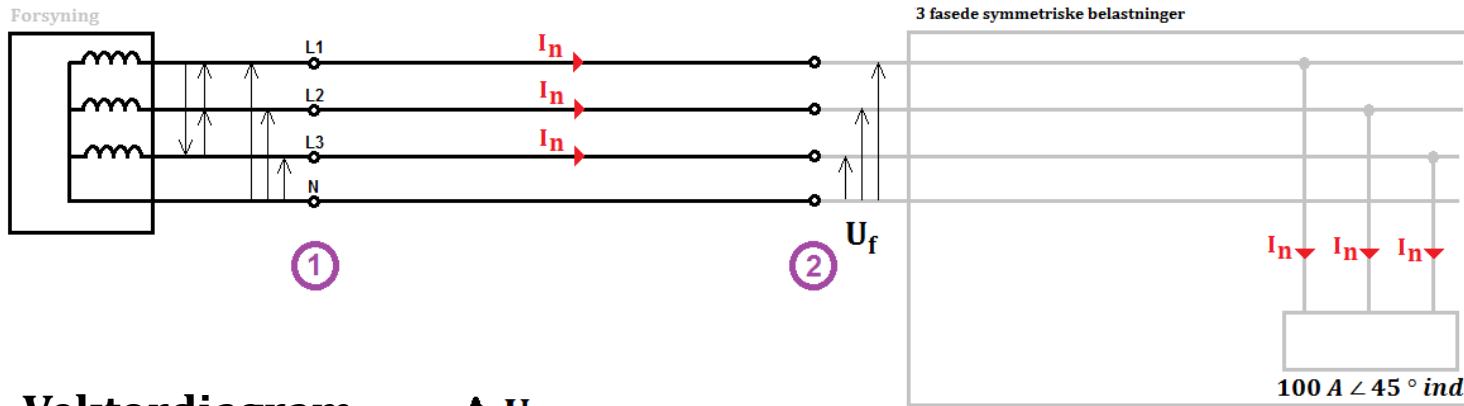


Vektordiagram:

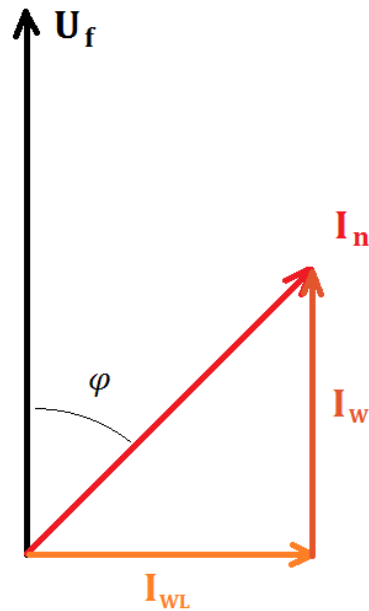


Fasekompensering – hvad?

Kredsskema:



Vektordiagram:

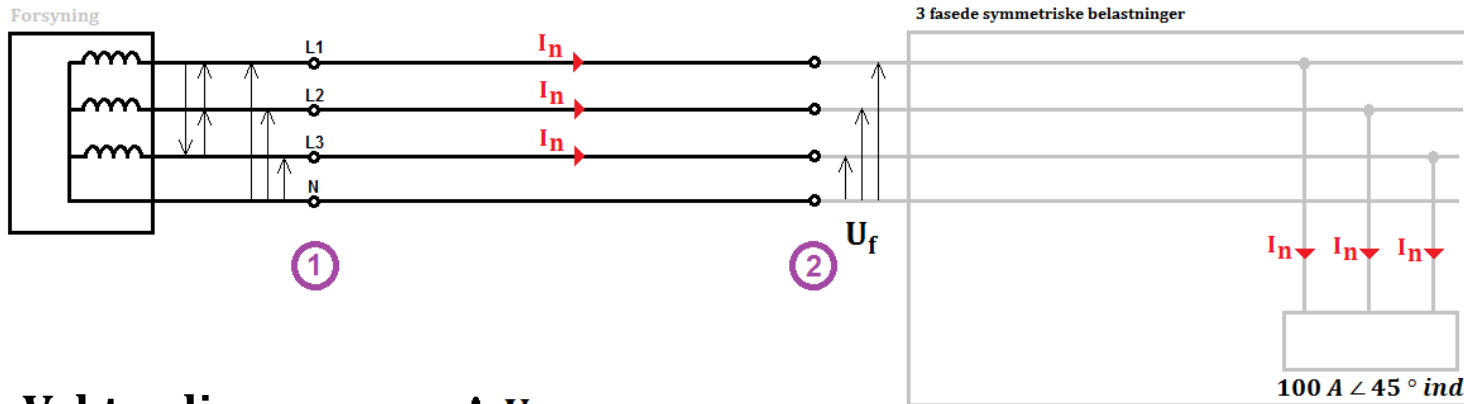


I_w er den del af netstrømmen som udfører det fysiske arbejde (f.eks. akselarbejde i en motor)

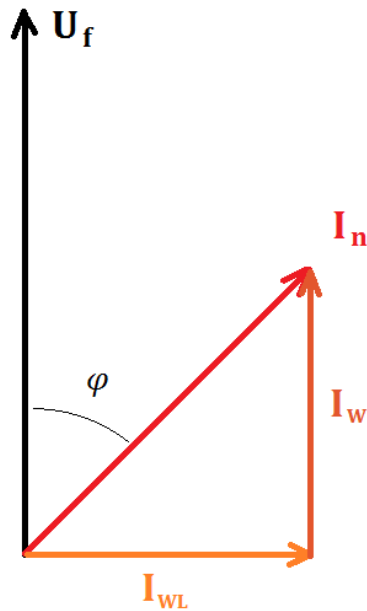
I_{WL} er den del af netstrømmen som opretholder det magnetiske felt (f.eks. det magnetiske felt i en motor hvorigennem energien til akselarbejdet overføres)

Fasekompensering - hvad?

Kredsskema:



Vektordiagram:



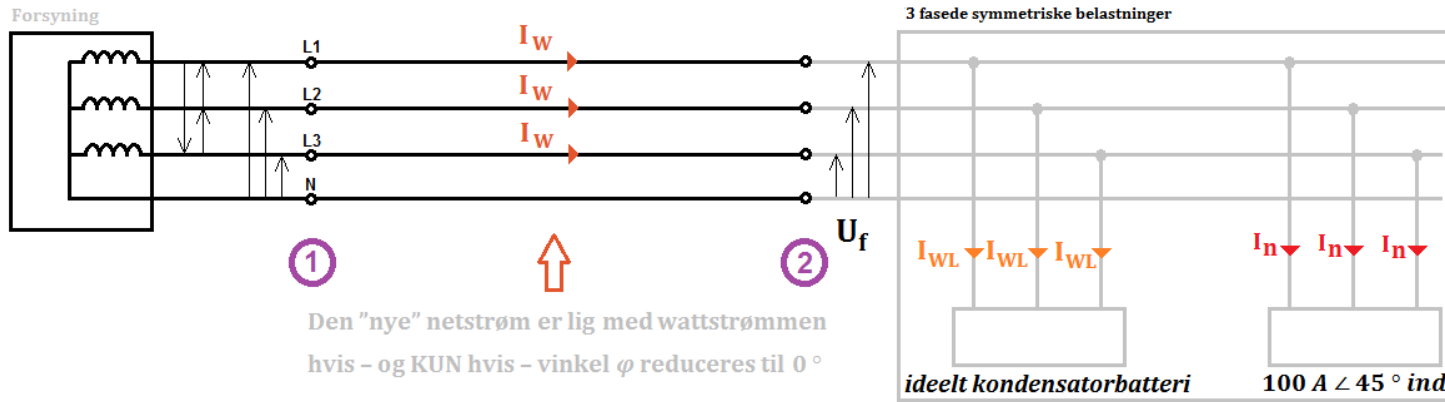
I_W er den del af netstrømmen som udfører det fysiske arbejde (f.eks. akselarbejde i en motor)

I_{WL} er den del af netstrømmen som opretholder det magnetiske felt (f.eks. det magnetiske felt i en motor hvorigennem energien til akselarbejdet overføres)

Fasekompensering er installationen af en belastning - typisk et kondensatorbatteri - som kan levere den wattløse strøm, således at netstrømmen der løber til tavlen, hvori batteriet er installeret, reduceres!

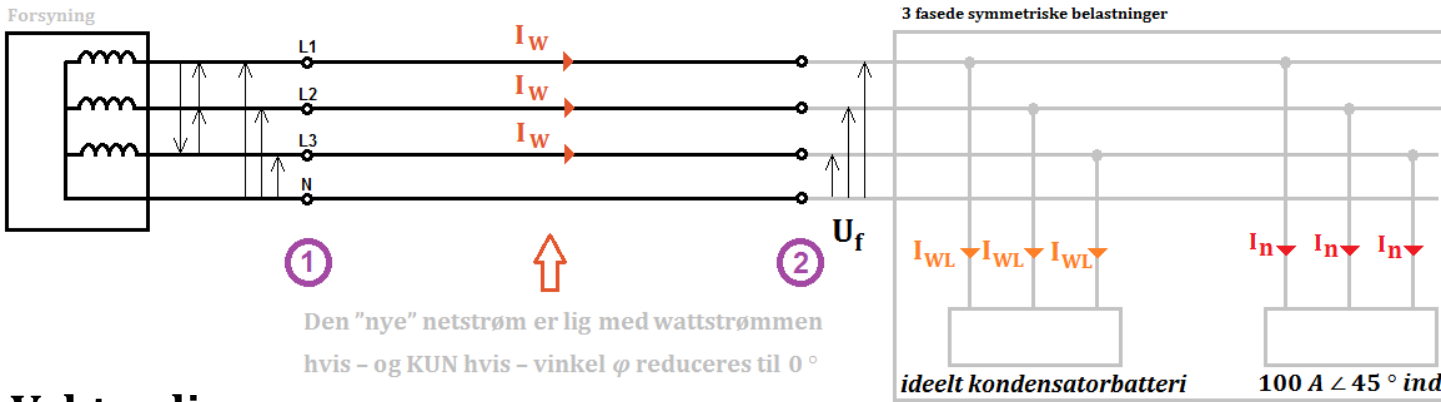
Fasekompensering – hvad?

Kredsskema:

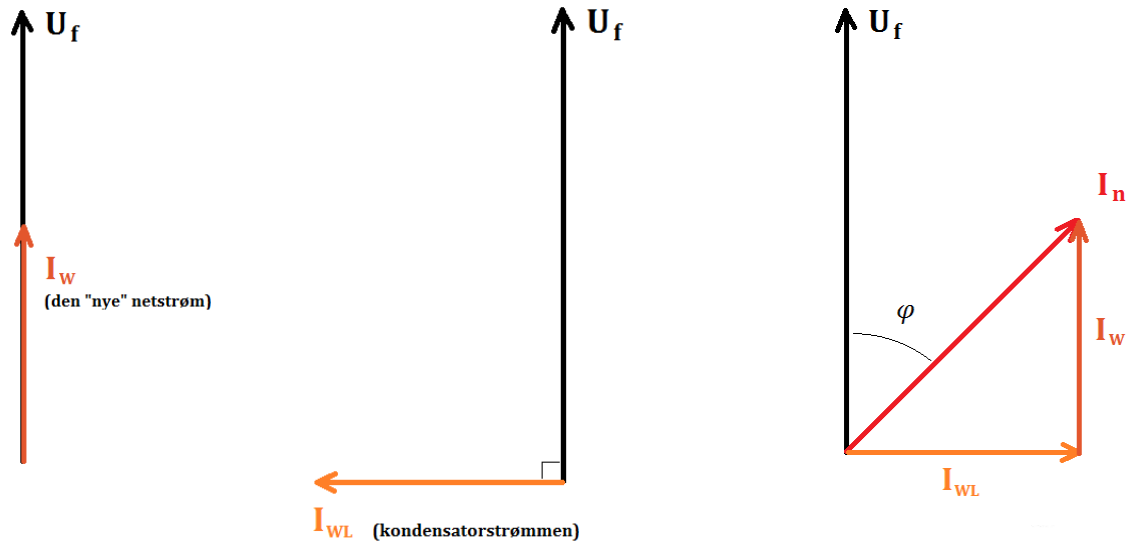


Fasekompensering - hvad?

Kredsskema:

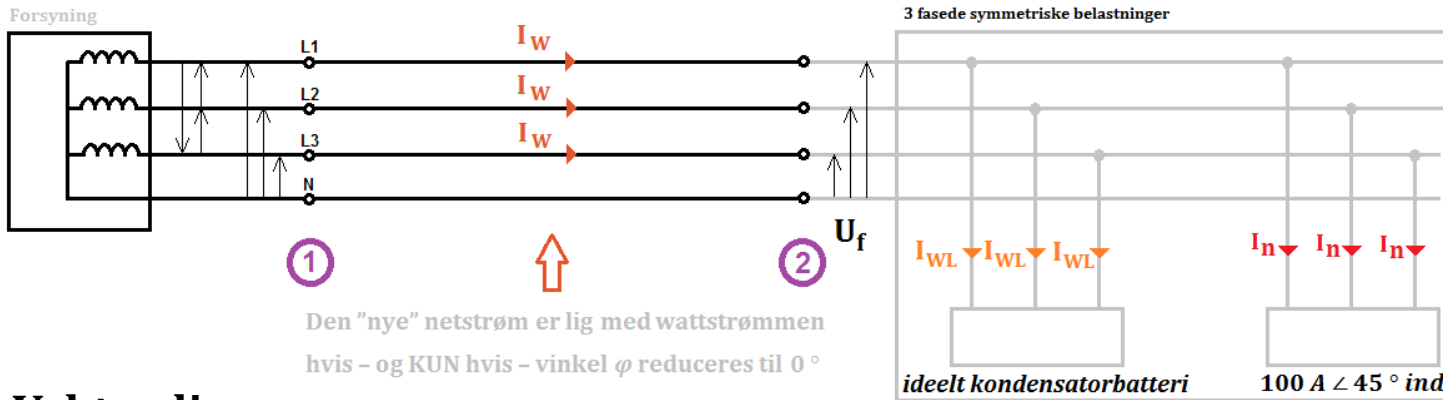


Vektordiagrammer:



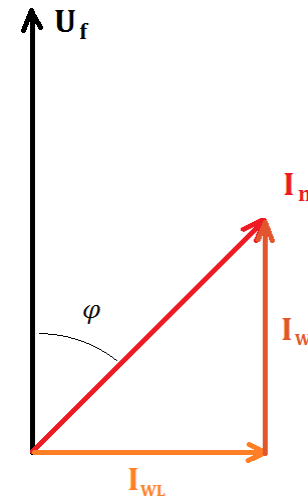
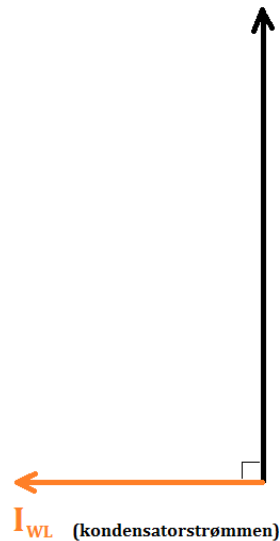
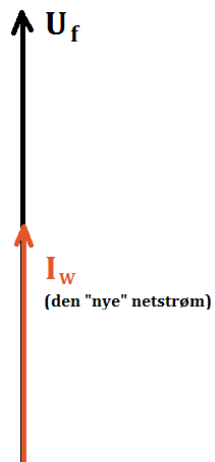
Fasekompensering - hvad?

Kredsskema:



Vektordiagrammer:

Ved at installere kondensatorbatteriet som belastning i vores installation, har vi reduceret netstrømmen, som jo løber i lederne helt fra generatorerne til installationen.



Fasekompensering – hvorfor?

Vi ønsker at fasekompensere fordi:

- Lovkrav

Fællesregulativet, som er udarbejdet med hjemmel i ”Bekendtgørelsen om autorisation og drift af elinstallatørvirksomhed” af interesseorganisationen ”Dansk energi” under de danske netselskaber, erklærer i kapitel 27.1 at effektfaktoren ($\approx \cos \varphi$) skal være mellem 0,9 og 1,0 ($25,8^\circ - 0^\circ$) regnet som middelværdi af målinger hen over et kvarter*.

* (gældende aug. 2015)

- Effekttab

- Spændingsfald

Fasekompensering – hvorfor?

Vi ønsker at fasekompensere fordi:

- Lovkrav

Fællesregulativet, som er udarbejdet med hjemmel i "Bekendtgørelsen om autorisation og drift af elinstallatørvirksomhed" af interesseorganisationen "Dansk energi" under de danske netselskaber, erklærer i kapitel 27.1 at effektfaktoren ($\approx \cos \varphi$) skal være mellem 0,9 og 1,0 ($25,8^\circ - 0^\circ$) regnet som middelværdi af målinger hen over et kvarter*.

*(gældende aug. 2015)

- Effekttab

Strøm er strøm! Uanset hvilket arbejde ladningerne som flyder gennem vores elnet senere kommer til at lave – wattløs strøm til feltdannelse eller wattstrøm til (primært) mekanisk arbejde – så er strømmen altid et udtryk for mængden af ladninger som passerer en leders snitflade pr. sekund.

Disse ladninger (elektroner) vil udfører et arbejde på molekylerne i f.eks. kobberlederne undervejs fra generator til installation, som vi kalder et effekttab:

$$P = I^2 \cdot R \quad [W]$$

- Spændingsfald

Fasekompensering – hvorfor?

Vi ønsker at fasekompensere fordi:

- Lovkrav

Fællesregulativet, som er udarbejdet med hjemmel i "Bekendtgørelsen om autorisation og drift af elinstallatørvirksomhed" af interesseorganisationen "Dansk energi" under de danske netselskaber, erklærer i kapitel 27.1 at effektfaktoren ($\approx \cos \varphi$) skal være mellem 0,9 og 1,0 ($25,8^\circ - 0^\circ$) regnet som middelværdi af målinger hen over et kvarter*.

*(gældende aug. 2015)

- Effekttab

Strøm er strøm! Uanset hvilket arbejde ladningerne som flyder gennem vores elnet senere kommer til at lave – wattløs strøm til feltdannelse eller wattstrøm til (primært) mekanisk arbejde – så er strømmen altid et udtryk for mængden af ladninger som passerer en leders snitflade pr. sekund. Disse ladninger (elektroner) vil udfører et arbejde på molekylerne i f.eks. kobberlederne undervejs fra generator til installation, som vi kalder et effekttab:

$$P = I^2 \cdot R \quad [W]$$

- Spændingsfald

Når ladningerne, som flyder gennem vores elnet, må udfører et arbejde undervejs, mister de arbejdsevne. Antallet af ladninger der passerer en snitflade på en leder undervejs (på et givet tidspunkt) er det samme, da strømmen ellers ikke ville være den samme hele vejen rundt i kredsløbet. Når ladningernes undervejs i kredsløbet mister deres evne til at udføre et stykke arbejde, siger vi at spændingen falder – der er altså som hovedregel flere Joule pr. Coulomb (Volt) til rådighed i starten af et kabel, end ved afslutningen. Spændingsfald kan f.eks. beregnes ved den tilnærmede formel:

$$\Delta U_f = I_B \cdot (\cos \varphi_B \cdot R_L \pm \sin \varphi_B \cdot X_L) \quad [V]$$

Fasekompensering – Eksempel

Oplysninger:

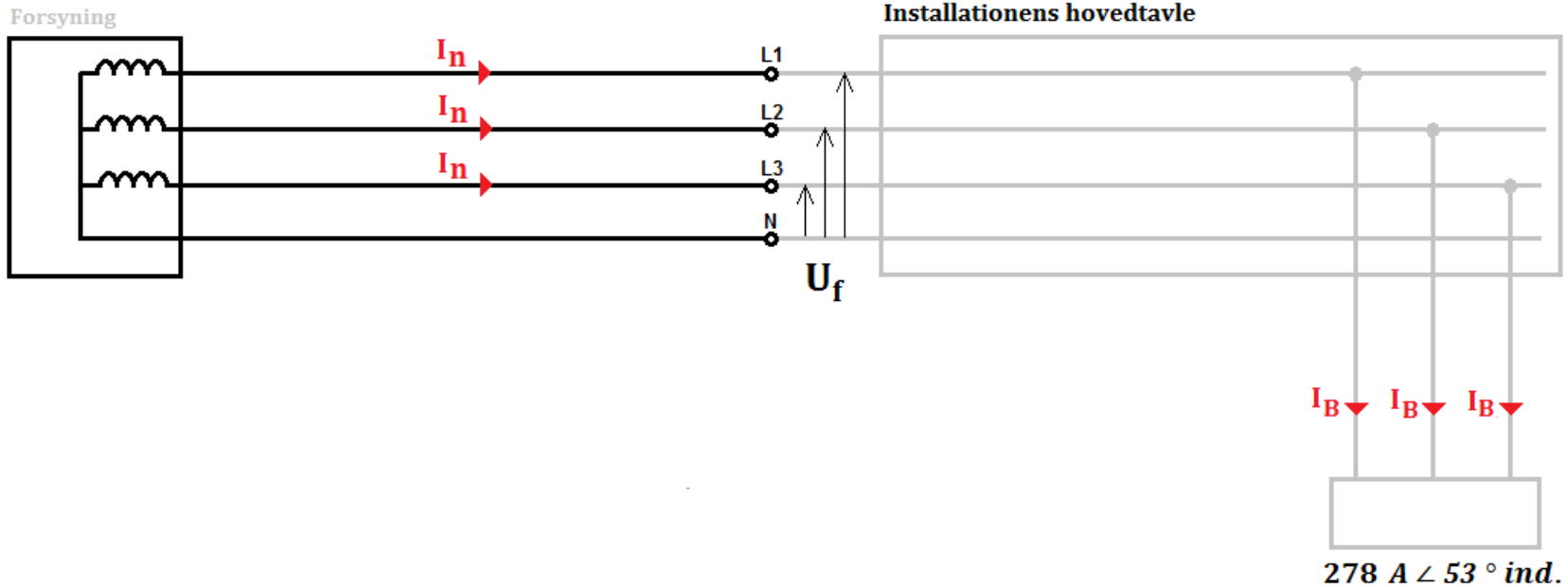
En 3-faset symmetrisk belastet installation trækker en belastningsstrøm (netstrøm) på 278 A vinkel 53° induktiv. Netspændingen er 3×400 V, 50 Hz, og kan regnes konstant.

Spørgsmål:

- Tegn et fuldstregs kredsskema!
- Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

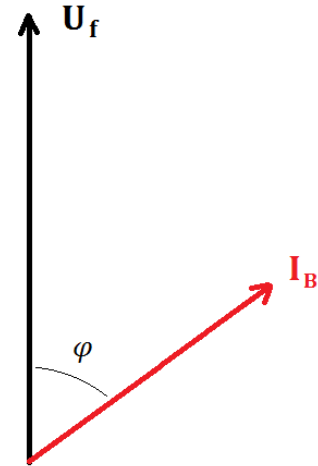
Kredsskema:



- Tegn et fuldstrengs kredsskema!
- Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Netstrømmen efter fasekompensering:



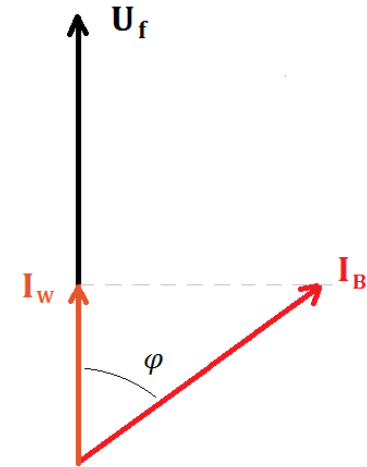
- ✓ Tegn et fuldstrengs kredsskema!
- Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Netstrømmen efter fasekompensering:

Da et kondensatorbatteri ikke kan levere wattstrøm, ved vi at den wattstrøm som installationens belastninger trækker, stadig må komme fra nettet efter fasekompenseringen. Denne beregnes:

$$\cos \varphi = \frac{I_W}{I_n} \quad \Leftrightarrow \quad I_W = \cos \varphi \cdot I_n = \cos 53 \cdot 278 = 167 \text{ A}$$



- ✓ Tegn et fuldstregs kredsskema!
- Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

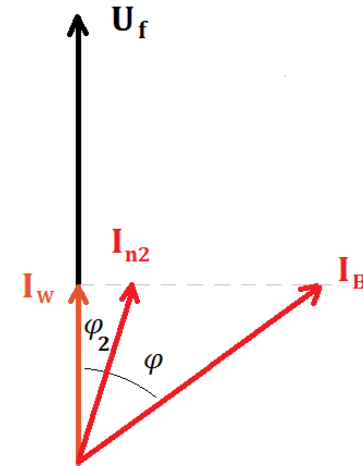
Netstrømmen efter fasekompensering:

Da et kondensatorbatteri ikke kan levere wattstrøm, ved vi at den wattstrøm som installationens belastninger trækker, stadig må komme fra nettet efter fasekompenseringen. Denne beregnes:

$$\cos \varphi = \frac{I_W}{I_n} \Leftrightarrow I_W = \cos \varphi \cdot I_n = \cos 53 \cdot 278 = 167 \text{ A}$$

Da vi kender den vinkel som der ønskes fasekompenseret til (φ_2), og vi samtidig kender wattstrømmen, kan den nye netstrøm (I_{n2}) beregnes:

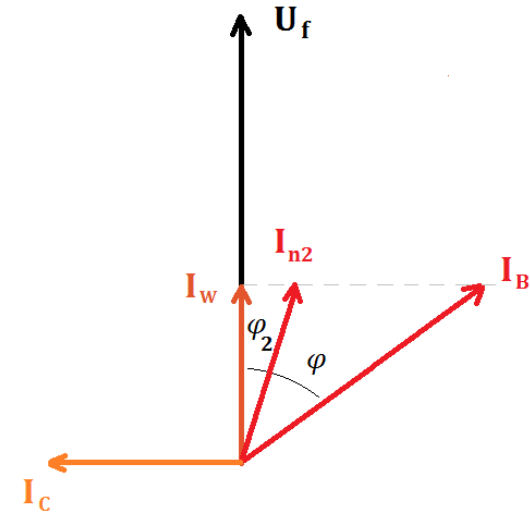
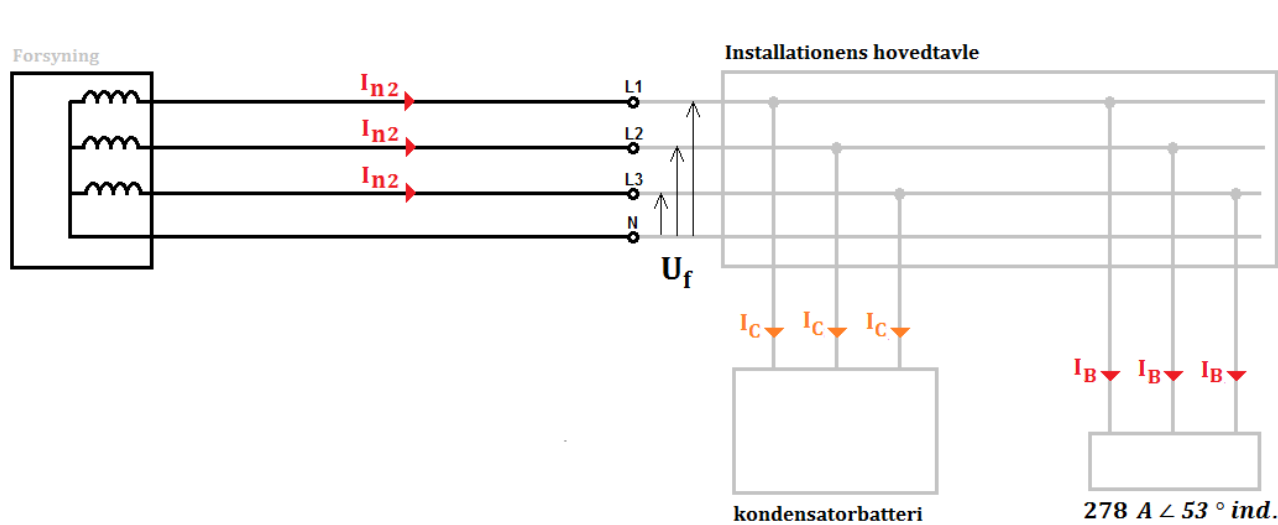
$$\cos \varphi_2 = \frac{I_W}{I_{n2}} \Leftrightarrow I_{n2} = \frac{I_W}{\cos \varphi_2} = \frac{167}{\cos 18} = 176 \text{ A}$$



- ✓ Tegn et fuldstregs kredsskema!
- Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18 °?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kredsskema og vektordiagram:



- ✓ Tegn et fuldstrengs kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18 °?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kondensatorbatteriets reaktive effekt (Q):

For at kunne finde kondensatorbatteriets effekt, må man finde strømmen som løber i lederne til kondensatorbatteriet (I_C). Her kan man blot beregne den reaktive strøm hhv. før og efter kompenseringen, og så trække dem fra hinanden:

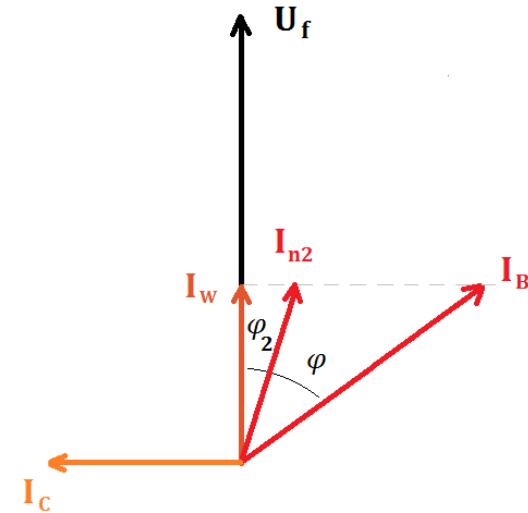
$$\sin \varphi = \frac{I_{WL}}{I_B} \Leftrightarrow I_{WL} = \sin \varphi \cdot I_B = \sin 53 \cdot 278 = 222 \text{ A}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{I_{WL2}}{I_{n2}} \Leftrightarrow I_{WL2} = \sin \varphi_2 \cdot I_{n2} = \sin 18 \cdot 176 = 54,4 \text{ A}$$

$$I_C = I_{WL} - I_{WL2} = 222 - 54,4 = 168 \text{ A}$$

Alternativ kunne man, ud fra kendskab til geometriske sammenhænge, nemmere have løst det ved følgende formel:

$$I_C = I_W \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi_2) = 167 \cdot (\tan 53 - \tan 18) \approx 168 \text{ A}$$



- ✓ Tegn et fuldstreks kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kondensatorbatteriets reaktive effekt (Q):

For at kunne finde kondensatorbatteriets effekt, må man finde strømmen som løber i lederne til kondensatorbatteriet (I_C). Her kan man blot beregne den reaktive strøm hhv. før og efter kompenseringen, og så trække dem fra hinanden:

$$\sin \varphi = \frac{I_{WL}}{I_B} \Leftrightarrow I_{WL} = \sin \varphi \cdot I_B = \sin 53 \cdot 278 = 222 \text{ A}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{I_{WL2}}{I_{n2}} \Leftrightarrow I_{WL2} = \sin \varphi_2 \cdot I_{n2} = \sin 18 \cdot 176 = 54,4 \text{ A}$$

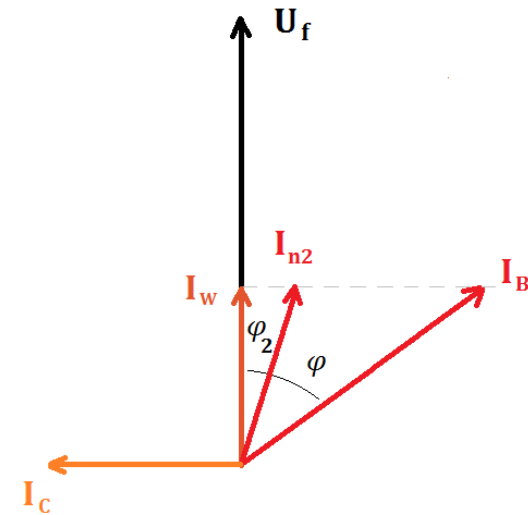
$$I_C = I_{WL} - I_{WL2} = 222 - 54,4 = 168 \text{ A}$$

Alternativ kunne man, ud fra kendskab til geometriske sammenhænge, nemmere have løst det ved følgende formel:

$$I_C = I_W \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi_2) = 167 \cdot (\tan 53 - \tan 18) \approx 168 \text{ A}$$

Herefter er det blot at beregne kondensatorbatteriets Q effekt:

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_C \cdot \sin 90 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 168 \cdot 1 = \mathbf{116 \text{ kvar}}$$



- ✓ Tegn et fuldstreks kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18 °?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kondensatorbatteriets reaktive effekt (Q):

For at kunne finde kondensatorbatteriets effekt, må man finde strømmen som løber i lederne til kondensatorbatteriet (I_C). Her kan man blot beregne den reaktive strøm hhv. før og efter kompenseringen, og så trække dem fra hinanden:

$$\sin \varphi = \frac{I_{WL}}{I_B} \Leftrightarrow I_{WL} = \sin \varphi \cdot I_B = \sin 53 \cdot 278 = 222 \text{ A}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{I_{WL2}}{I_{n2}} \Leftrightarrow I_{WL2} = \sin \varphi_2 \cdot I_{n2} = \sin 18 \cdot 176 = 54,4 \text{ A}$$

$$I_C = I_{WL} - I_{WL2} = 222 - 54,4 = 168 \text{ A}$$

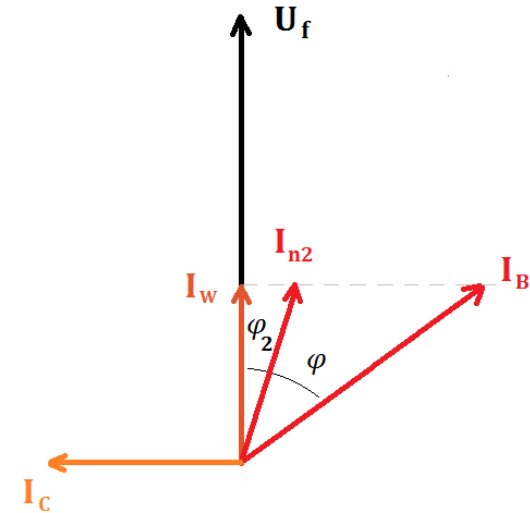
Alternativ kunne man, ud fra kendskab til geometriske sammenhænge, nemmere have løst det ved følgende formel:

$$I_C = I_W \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi_2) = 167 \cdot (\tan 53 - \tan 18) \approx 168 \text{ A}$$

Husk at dette er formelen uanset om kondensatorbatteri er koblet som Y eller D

Herefter er det blot at beregne kondensatorbatteriets Q effekt.

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_C \cdot \sin 90 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 168 \cdot 1 = 116 \text{ kvar}$$



- ✓ Tegn et fuldstreks kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18 °?
- Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kondensatorernes kapacitans i trekantkobling:

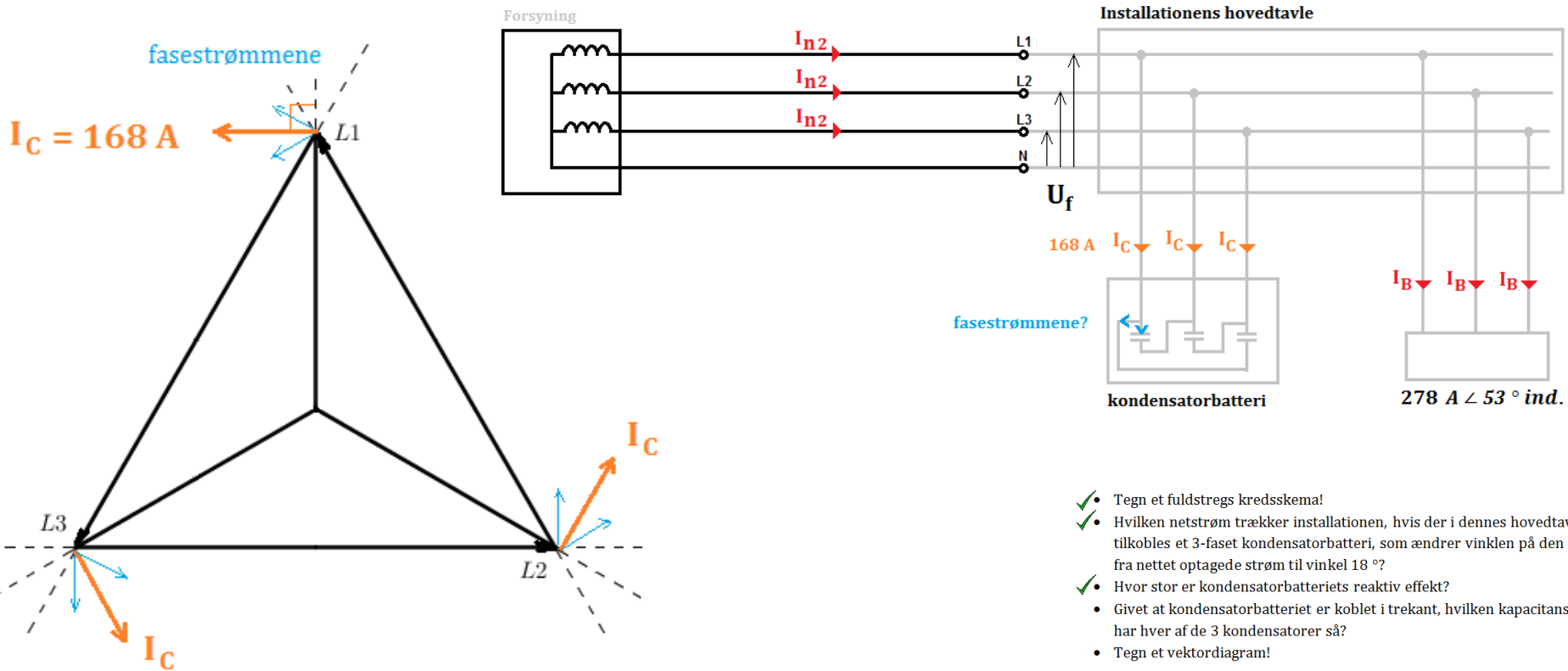
Nu ved jeg altså at jeg skal koble kondensatorerne i trekant, og jeg kender netstrømmen I_c , men jeg kender ikke fasestrømmene! Så hvordan løser jeg det? Lad os lige få et overblik over kredsen og det tilhørende vektordiagram:

- ✓ Tegn et fuldstregs kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- ✓ Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kondensatorernes kapacitans i trekantkobling:

Nu ved jeg altså at jeg skal koble kondensatorerne i trekant, og jeg kender netstrømmen I_C , men jeg kender ikke fasestrømmene! Så hvordan løser jeg det? Lad os lige få et overblik over kredsen og det tilhørende vektordiagram:



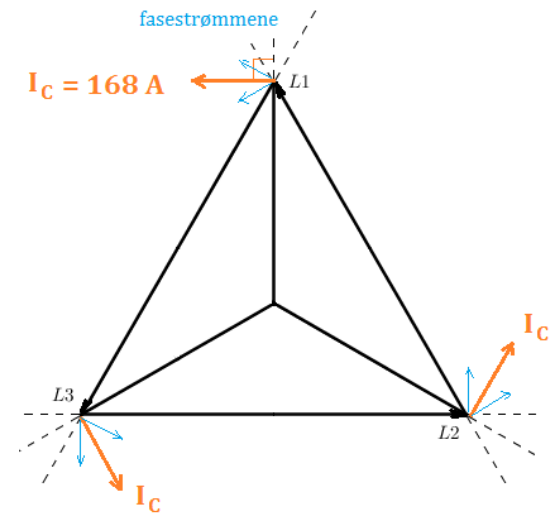
- ✓ Tegn et fuldstreks kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- ✓ Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kondensatorernes kapacitans i trekantkobling:

Da kondensatorbatteriet er en 3-faset symmetrisk belastning, hvor fasestrømmene er lige store og med 60° imellem, må fasestrømmen være kvadratrods 3 mindre end I_C :

$$I_f = \frac{I_C}{\sqrt{3}} \Rightarrow I_f = \frac{168}{\sqrt{3}} = 97 \text{ A}$$



- ✓ Tegn et fuldstreks kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- ✓ Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
 - Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
 - Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

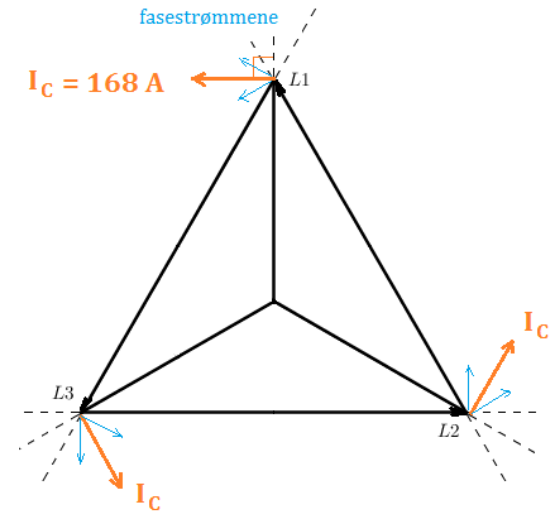
Kondensatorernes kapacitans i trekantkobling:

Da kondensatorbatteriet er en 3-faset symmetrisk belastning, hvor fasestrømmene er lige store og med 60° imellem, må fasestrømmen være kvadratrods 3 mindre end I_C :

$$I_f = \frac{I_C}{\sqrt{3}} \Rightarrow I_f = \frac{168}{\sqrt{3}} = 97 \text{ A}$$

Nu kender vi strømmen som løber "igennem" kondensatoren, og vi kender spændingen som er påtrykt kondensatoren, og dermed kan vi beregne kondensatorens impedans, som jo blot er dennes kapacitive reaktans:

$$X_C = \frac{U_n}{I_f} \Rightarrow X_C = \frac{400}{97} = 4,12 \Omega$$



- ✓ Tegn et fuldstreks kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- ✓ Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kondensatorernes kapacitans i trekantkobling:

Da kondensatorbatteriet er en 3-faset symmetrisk belastning, hvor fasestrømmene er lige store og med 60° imellem, må fasestrømmen være kvadratrods 3 mindre end I_C :

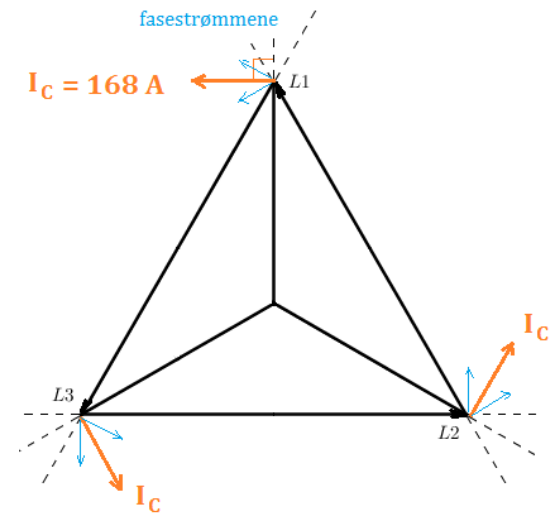
$$I_f = \frac{I_C}{\sqrt{3}} \Rightarrow I_f = \frac{168}{\sqrt{3}} = 97 \text{ A}$$

Nu kender vi strømmen som løber "igennem" kondensatoren, og vi kender spændingen som er påtrykt kondensatoren, og dermed kan vi beregne kondensatorens impedans, som jo blot er dennes kapacitive reaktans:

$$X_C = \frac{U_n}{I_f} \Rightarrow X_C = \frac{400}{97} = 4,12 \Omega$$

Og nu kan vi så beregne hver kondensators kapacitans:

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} \Leftrightarrow C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 4,12} = 773 \mu\text{F}$$



- ✓ Tegn et fuldstreks kredsskema!
- ✓ Hvilken netstrøm trækker installationen, hvis der i dennes hovedtavle tilkobles et 3-faset kondensatorbatteri, som ændrer vinklen på den fra nettet optagede strøm til vinkel 18° ?
- ✓ Hvor stor er kondensatorbatteriets reaktiv effekt?
- ✓ Givet at kondensatorbatteriet er koblet i trekant, hvilken kapacitans har hver af de 3 kondensatorer så?
- Tegn et vektordiagram!

Fasekompensering – Eksempel

Kredsskema og vektordiagram:

