

Uppgift 3

Uppgiften

I ett tryckeri finns olika motorer och annan elutrustning som en elektriker en gång i tiden har kopplat in. I sin iver att göra allting ”riktigt bra” kopplade denne in en faskompenserande kondensator som var på tok för stor med avsikten ”att kunna växa och slippa köpa till extra kondensator senare då man skall utvidga”. Följande finns:

- Lysrör på totalt 5.0 kW med $\cos \phi = 0,707107$ (ind)
 - Elmotorer på totalt 10 kW med $\cos \phi = 0,80$ (ind)
 - Vanliga resistiva elapparater (tex glödlampor, värmeelement, etc) på totalt 5,5 kW (med $\cos \phi = 1,0$)
 - En faskompenserande kondensator på totalt 20 kVAr
1. Beräkna total aktiv effekt P, total reaktiv effekt Q, totalt skenbar effekt S samt total effektfaktor $\cos \phi$ är för befintlig anläggning. Ledning: Observera att $\cos \phi$ blir kapacitiv (mot normalt induktiv)
 2. Företaget skall utvidga och man köper in 3 st nya elmotorer på vardera 10 kW med $\cos \phi = 0,8$ (ind.). Efter inkopplingen skall totala effektfaktorn vara minst 0,95 (ind). **OBS!** Detta skall inte tolkas som 0,96 utan som 0,95 eller högre. Beräkna den nya effektfaktorn. Behövs ytterligare faskompenserande kondensator (utöver tidigare kondensator/kondensatorer) och hur stor skall i så fall denna nya (extra kondensator) i så fall vara mätt i [kVAr]?
 3. En tid senare köper företaget in ytterligare 3 st nya elmotorer av samma sort som i uppgift b). Efter inkopplingen skall totala effektfaktorn vara minst 0,95 (ind). OBS! Detta skall inte tolkas som 0,96 utan som 0,95 eller högre. Beräkna den nya effektfaktorn. Behövs ytterligare faskompenserande kondensator (utöver tidigare kondensator/kondensatorer) och hur stor skall i så fall denna nya (extra kondensator) i så fall vara mätt i [kVAr]?
 4. Egenkontroll (som skall redovisas): Summera nu ihop P och Q för alla komponenter som nu finns efter uppgift c), dvs lysrör, elmotorer, resistiva elapparater, original faskompenserande kondensator, 3 st nya Elmotorer, eventuell extra faskompenserande kondensator, ytterligare 3 st nya Elmotorer samt eventuell ytterligare extra faskompenserande kondensator.

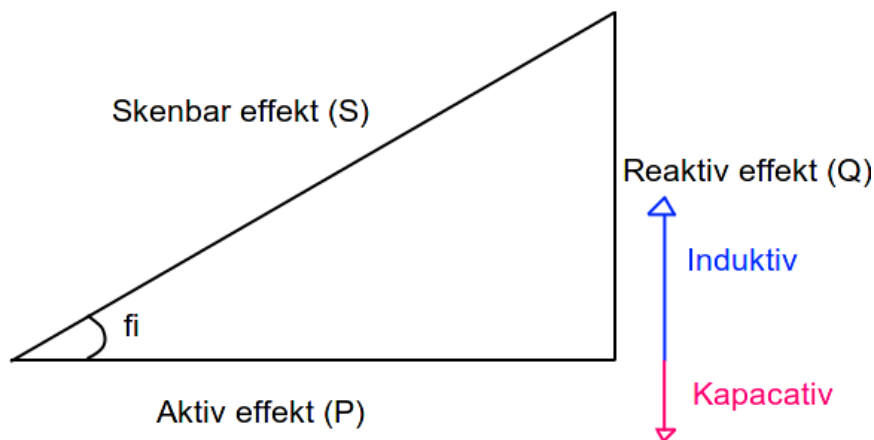
Lösning

Deluppgift 1

- Det finns lysrör på totalt 5.0 kW med $\cos \phi$ 0.707107 (ind)
 - Det finns elmotorer på totalt 10 kW $\cos \phi = 0.80$ (ind)
 - Det finns vanliga resistiva elapparater på totalt 5.5 kW med $PF = 1$ (enbart resistiv)
 - En faskompenserande kondensator på totalt 20 kVAr
1. Beräkna total aktiv effekt P , total reaktiv effekt Q , totalt skenbar effekt S samt total effektfaktor $\cos \phi$ är för befintlig anläggning. Ledning: Observera att $\cos \phi$ blir kapacitiv (mot normalt induktiv)

OBS: jag kommer inte att expandera 20 kVAr till 20 000 VAr, utan kommer istället vara vaksam på att glömma bort "K:et".

Trigonometrin säger att $\tan \phi = \frac{\text{motsäende katet}}{\text{närliggande}}$. Om vi ställer upp informationen i en effektriangel som nedan så ser vi då att $\tan \phi = \frac{Q}{P}$. Vi kan då helt enkelt gånga båda sidorna med P och får då $\tan \phi * P = Q$.



$$P_{lys} = 5.0 \text{ kW}$$

$$Q_{lys} = 5.0 * \tan(\cos^{-1}(0.707107)) \approx 4.999 \text{ kVAr (ind.)}$$

$$P_{elm} = 10 \text{ kW}$$

$$Q_{elm} = 10 * \tan(\cos^{-1}(0.8)) = 7.5 \text{ kVAr (ind.)}$$

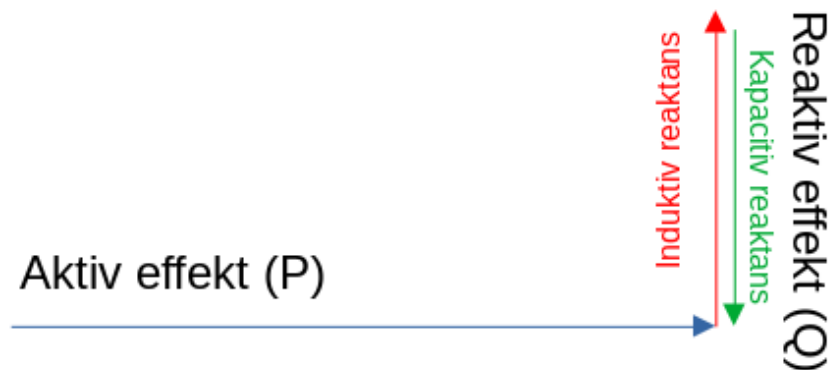
$$P_{app} = 5.5 \text{ kW}$$

$$Q_{app} = 0 \text{ kVAr}$$

För att räkna ut de totala effekterna börjar vi att med att addera P och Q var för sig. Därifrån kan vi räkna ut S med hjälp av Pythagoras sats.

$$\begin{aligned} P_{tot} &= 5.0 \text{ kW} + 10 \text{ kW} + 5.5 \text{ kW} &= 20.5 \text{ kW} \\ Q_{tot} &= 4.99 \text{ kVAr} + 7.5 \text{ kVAr} + 0 \text{ kVAr} &= 12.499 \text{ kVAr (ind.)} \end{aligned}$$

Men vi har även den faskompenserande kondensatorn på total 20 kVAr, så vi räknar in det i Q_{tot} . Då den tillhör kapacitiv reaktans så drar jag bort det från Q_{tot} som annars är induktiv. Se bilden nedan för en visualisering



$$Q_{tot} = |12.499 \text{ (ind.)} - 20 \text{ kVAr (kap.)}| = 7.501 \text{ kVAr (kap.)}$$

Därefter kan vi räkna ut S_{tot} .

$$\begin{aligned}
S_{tot} &= \sqrt{P_{tot}^2 + Q_{tot}^2} \\
S_{tot} &= \sqrt{20.5^2 + 7.501^2} \\
S_{tot} &\approx 21.829 \text{ kVA}
\end{aligned}$$

Med hjälp av detta kan vi räkna ut $\cos \phi$ för anläggningen. Från trigonometrin kanske man vet att $\cos \phi = \text{narliggande/hypotenusa}$, vilket i det här fallet då är...

$$\begin{aligned}
\cos \phi &= \frac{P}{S} \\
\cos \phi &= \frac{20.5}{21.829} \\
\cos \phi &= 0.939 \text{ (ind.)}
\end{aligned}$$

Detta känns rimligt med tanke på hur uppgiften är formulerad. Att elektrikern "i sin iver [...] [installerade en] kondensator som var på tok för stor [, för] att kunna växa och slippa köpa till extra kondensator senare då man skall utvidga". Då har PF-värdet inte ändrats mycket, men man gått från induktiv till kapacitiv

Svar: $P_{tot} = 20 \text{ kW}$, $S_{tot} = 6 \text{ kVA}$, $Q_{tot} = 7 \text{ kVAr (kap.)}$ och $\cos \phi = 0.939(\text{kap})$.

Deluppgift 2

1. Företaget skall utvidga och man köper in 3 st nya elmotorer på vardera 10 kW med $\cos \phi = 0,8$ (ind.). Efter inkopplingen skall totala effektfaktorn vara minst 0,95 (ind). OBS! Detta skall inte tolkas som 0,96 utan som 0,95 eller högre. Beräkna den nya effektfaktorn. Behövs ytterligare faskompenserande kondensator (utöver tidigare kondensator/kondensatorer) och hur stor skall i så fall denna nya (extra kondensator) i så fall vara mätt i [kVAr]?

Innan uppgraderingen vet vi följande:

$$\begin{aligned}P_{tot} &= 20 \text{ kW} \\S_{tot} &= 6 \text{ kVA} \\Q_{tot} &= 7 \text{ kVAr (kap.)} \\ \cos \phi &= 0.939 \text{ (ind.)}\end{aligned}$$

Tre nya elmotorer på 10 kW vardera med $\cos \phi$ 0.8 (ind) ska installeras. Jag kommer räkna dessa som en motor för enkelhetens skull och kalla denna *elm*.

$$\begin{aligned}P_{elm} &= 30 \text{ kW} \\ \cos \phi &= 0.8 \text{ (ind.)}\end{aligned}$$

Då kan vi räkna ut dess reaktiva effekt

$$\begin{aligned}Q &= P * \tan \phi \\ Q_{elm} &= 30 \text{ kW} * \tan(\cos^{-1}(0.8)) \\ Q_{elm} &= 22.5 \text{ kVAr (ind.)}\end{aligned}$$

Rimlighetstest

$$\begin{aligned}\frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} &= \cos \phi \\ \frac{30}{\sqrt{30^2 + 22.5^2}} &= 0.8\end{aligned}$$

Q är korrekt.

Då drar vi av Q_{elm} från den tidigare Q_{tot} , vilket jag kallar Q_{gammal} för att få ut den nya Q_{tot} . Jag subtraherar då Q_{elm} är induktiv och Q_{gammal}

är kapacitiv I mer visuella ord så pekar Q_{gammal} “nedåt” och Q_{elm} pekar “uppåt” (se senaste bilden).

$$Q_{gammal} - Q_{elm} = Q_{tot}$$

$$|7 \text{ kVAr (kap.)} - 22.5 \text{ kVAr (ind.)}| = 15.5 \text{ kVAr (ind.)}$$

Sedan är det bara att lägga på de 30 kW som elmotorerna drar på den tidigare totalen P_{gammal}

$$P_{tot} = P_{elm} + P_{gammal}$$

$$P_{tot} = 30 \text{ kW} + 20 \text{ kW}$$

$$P_{tot} = 50 \text{ kW}$$

Vi kan därmed räkna ut den nya $\cos \phi$.

$$\frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \cos \phi$$

$$\frac{50}{\sqrt{50^2 + 15.5^2}} = 0.955(\text{ind})$$

Vilket känns rimligt, då vi hade ett rätt stort “underskott” (tänkt i visardiagram) och till tre väldigt induktiva elmotorer. Resultatet är även $0 \leq \cos \phi \leq 1$, inte nog med det utan även $0.95 \leq \cos \phi \leq 1.0$. Så ingen ny kondensator behövs.

Rimlighetstest: För att räkna ut ett “målvärde” (egentligen maxvärde) på Q så kan vi använda oss utav...

$$\tan v = \frac{\text{motstaende}}{\text{narliggnade}}$$

$$\tan v = \frac{Q}{P}$$

$$Q = \tan v * P$$

$$Q = \tan(\cos^{-1}(0.95)) * 50 \text{ kW}$$

$$Q \approx 16.434 \text{ kVAr}$$

Nuvarande $Q_{tot} = 15.5$ vilket är mindre än 16.434, svaret att ingen ny kondensator behövs är då rimligt. Det finns ju rum för fel pga avrundning och lågt antal värdesiffror, men jag känner mig bekväm med svaret.

Svar: Ingen ny kondensator behövs.

Deluppgift 3

1. *En tid senare köper företaget in ytterligare 3 st nya elmotorer av samma sort som i uppgift b). Efter inkopplingen skall totala effektfaktorn vara minst 0,95 (ind). OBS! Detta skall inte tolkas som 0,96 utan som 0,95 eller högre. Beräkna den nya effektfaktorn. Behövs ytterligare faskompenserande kondensator (utöver tidigare kondensator/kondensatorer) och hur stor skall i så fall denna nya (extra kondensator) i så fall vara mätt i [kVAr]?*

Vi vet att innan uppgraderingen så var värdena

$$\begin{aligned}P_{tot} &= 50 \text{ kW} \\Q_{tot} &= 15.5 \text{ kVAr (ind.)} \\ \cos\phi &= 0.955 \text{ (ind.)}\end{aligned}$$

Vi vet även följande från tidigare uppgift, då det är samma sorts motorer.

$$\begin{aligned}P_{elm} &= 30 \text{ kW} \\Q_{elm} &= 22.5 \text{ kVAr (ind.)} \\ \cos\phi &= 0.8 \text{ (ind.)}\end{aligned}$$

Så vi börjar att lägga ihop vektorerna P och Q.

$$\begin{aligned}P_{tot} &= P_{gammal} + P_{elm} \\P_{tot} &= 50 \text{ kW} + 30 \text{ kW} = 80 \text{ kW} \\P_{tot} &= 80 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{tot} &= Q_{gammal} + Q_{elm} \\Q_{tot} &= 15.5 \text{ kVAr (ind.)} + 22.5 \text{ kVAr (ind.)} \\Q_{tot} &= 38 \text{ kVAr (ind.)}\end{aligned}$$

Då får vi en PF på...

$$\begin{aligned}\frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} &= \cos\phi \\ \frac{80}{\sqrt{80^2 + 38^2}} &= 0.90 \text{ (ind.)} \\ \cos\phi &= 0.90\end{aligned}$$

Så en till kondensator kommer att behövas. För att räkna ut ett målvärde på Q kan vi använda oss av formeln nedan.

$$\begin{aligned}\tan\phi &= \frac{\text{motstaende}}{\text{narliggnade}} \\ \tan\phi &= \frac{Q}{P} \\ Q &= \tan\phi * P \\ Q_{max} &= \tan(\cos^{-1}(0.95)) * P\end{aligned}$$

Vi sätter in de värden vi vet

$$Q_{max} = \tan(\cos^{-1}(0.95)) * 80 = 26.294 \text{ kVAr}$$

Vi avrundar det nedåt till 26 kVAr för att vara lite på den säkra sidan. Maxvärdet Q får ha är då 26 kVAr och är nu 38 kVAr. Så en kondensator på $38 - 26 = 12$ kVAr behövs.

Svar: En kondensator på 12 kVAr behövs.

Deluppgift 4

1. *Egenkontroll (som skall redovisas): Summera nu ihop P och Q för alla komponenter som nu finns efter uppgift c), dvs lysrör, elmotorer, resistiva elapparater, original faskompenserande kondensator, 3 st nya Elmotorer, eventuell extra faskompenserande kondensator, ytterligare 3 st nya Elmotorer samt eventuell ytterligare extra faskompenserande kondensator.*

Följande finns:

- Lysrör på totalt 5.0 kW med $\cos \phi = 0,707107$ (ind)
- Elmotorer på totalt 10 kW med $\cos \phi = 0,80$ (ind)
- Vanliga resistiva elapparater (tex glödlampor, värmeelement, etc) på totalt 5,5 kW (med $\cos \phi = 1,0$)
- En faskompenserande kondensator på totalt 20 kVAr

Sedan uppgraderades anläggningen med tre nya elmotorer på 10 kW vardera, $\cos \phi = 0.8$ (ind). Jag räknade ut att ingen ny kondensator behövdes.

Därefter uppgraderades anläggningen igen med ytterligare 3 nya elmotorer på 10 kW vardera, $\cos \phi = 0.8$ (ind). Där räknade jag ut att en faskompenserande kondensator på 12 kVAr behövdes.

$$P_{tot} = (((P_{lys} + P_{elmot} + P_{apparater}) + 3 * P_{nymotor}) + 3 * P_{nymotor})$$

$$P_{tot} = (((5.0 + 10 + 5.5) + 3 * 10) + 3 * 10)$$

$$P_{tot} = 80.5 \text{ kW}$$

Därefter kan vi räkna ut Q_{tot} .

$$Q_{tot} = (((Q_{lys} + Q_{elmot} + Q_{apparater}) + 3 * Q_{nymotor}) + 3 * Q_{nymotor})$$

Men vi vet inte Q för någon av komponenterna, utan måste räkna ut det.

Vi vet inte ϕ utan bara $\cos \phi$, så vi får räkna $\tan \phi = \tan(\cos^{-1}(\cos \phi))$

$$Q = P * \tan(\cos^{-1}(\cos\phi))$$

$$Q_{lys} = 5.0 \text{ kW} * \tan(\cos^{-1}(0.0707107))$$

$$Q_{lys} \approx 4.999 \text{ kVAr (ind.)}$$

$$Q_{elmot} = 10 \text{ kW} * \tan(\cos^{-1}(0.8))$$

$$Q_{elmot} = 7.5 \text{ kVAr (ind.)}$$

$$Q_{elapp} = 5.5 * \tan(\cos^{-1}(1.0))$$

$$Q_{elapp} = 0$$

$$Q_{nymotor} = 10 \text{ kW} * \tan(\cos^{-1}(0.8))$$

$$Q_{nymotor} = 7.5 \text{ kVAr (ind.)}$$

Vi har då Q för alla induktiva komponenter. Vi slår ihop dem och får då

$$Q_{okompenserad} = 4.999 + 7.5 + 0 + (6 * 7.5) \text{ kVAr (ind.)}$$

$$Q_{okompenserad} = 57.499 \text{ kVAr (ind.)}$$

Men vi har även två faskompenserande induktorer på 20 kVAr och 12 kVAr, totalt 32 kVAr. Vi drar av det från $Q_{okompenserad}$

$$Q_{tot} = Q_{okompenserad} - 32 \text{ kVAr}$$

$$Q_{tot} = 25.499 \text{ kVAr (ind.)}$$

Vi räknar då ut $\cos \phi$ genom formeln nedan

$$\frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \cos\phi$$

$$\frac{80.5}{80.5^2 + 25.499^2} \approx 0.9533$$

Vilket är något över 0.95, vilket var målet. Det är även ungefär vad jag hade förväntat mig från resultatet i deluppgift 3. Då räknade jag ut vad minsta kravet på en faskompenserande kondensator behöver för värde, men avrundade lite för att vara på den "lite mer säkra sidan" så att säga.