



دانشگاه فنی حرفه ایی انقلاب اسلامی تهران
(انستیتو برق)

آموزش مجازی درس بررسی سیستم های قدرت ۱

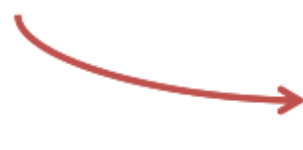
ارائه دهنده: دکتر علیرضا ناطقی

مفاهیم اساسی در سیستم‌های قدرت

$$v(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta_V)$$

سیگنال فوق دارای مقدار ماکزیمم V_{max} و زاویه فاز θ_V می‌باشد. حال اگر بخواهیم $v(t)$ را به صورت فازوری نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$v(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta_V)$$


$$\bar{V} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \angle \theta_V$$

اولاً سیگنال مرجع برای نمایش فازوری را $\cos$ در نظر گرفته‌ایم

ثانیاً در نمایش فازور از مقدار مؤثر سیگنال سینوسی استفاده نموده‌ایم، نه مقدار ماکزیمم.

به طور مشابه می‌توان برای جریان سینوسی $i(t) = I_{max} \cos(\omega t + \theta_I)$ ، نمایش فازوری $\bar{I} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \angle \theta_I$ را در نظر گرفت.

مفاهیم اساسی در سیستم‌های قدرت

مثال سیگنال‌های زیر را به صورت فازوری نمایش دهید.

توجه شود که طبق تعریف، فازور را بر مبنای $\cos$ تعریف نموده‌ایم. هم‌چنین دقت شود که دامنه (مقدار ماکزیمم) سیگنال همواره عددی مثبت است. لذا:

$$v_1(t) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 60)$$

نکته: در حل مثال فوق از اتحادهای زیر استفاده

$$\sin \theta = \cos(\theta - 90)$$

$$v_1(t) = 10\sqrt{2} \cos(\omega t + 60 - 90) = 10\sqrt{2} \cos(\omega t - 30) \Rightarrow \bar{V}_1 = 10 \angle -30$$

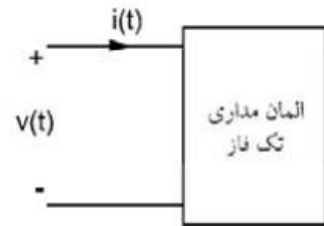
نکته: بردار منفی یک، برداری با اندازه یک و زاویه 180° است:

نکته: علامت منفی در پشت یک بردار، بیانگر ضرب بردار در بردار منفی یک است. یعنی اندازه تغییری نکرده اما 180° درجه به زاویه بردار اضافه میشود.

$$i_1(t) = -5\sqrt{2} \cos(\omega t - 30)$$

$$i_1(t) = 5\sqrt{2} \cos(\omega t - 30 + 180) = 5\sqrt{2} \cos(\omega t + 150) \Rightarrow \bar{I}_1 = 5 \angle 150$$

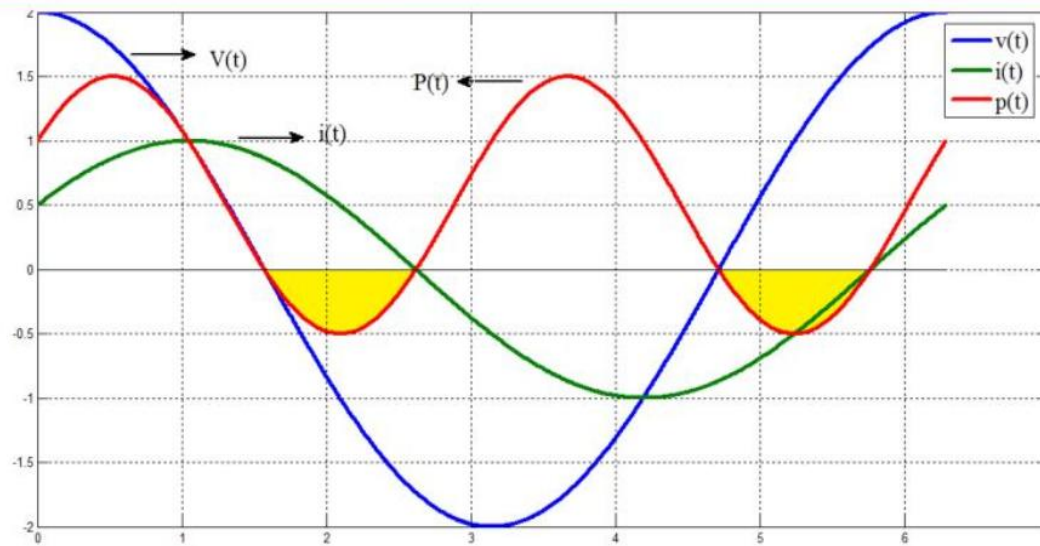
توان در مدارهای AC تک فاز



ولتاژ و جریان مطابق با جهت قراردادی

طبق تعریف، توان لحظه ای مصرف شده در این المان برابر خواهد بود با:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$



$$v(t) = v_{max} \cos(\omega t + \theta_v) \quad i(t) = i_{max} \cos(\omega t + \theta_i)$$

توان در مدارهای AC تک فاز

در مدار AC تک فاز، اگر ولتاژ و جریان سینوسی را به صورت

$$v(t) = V\sqrt{2} \cos(\omega t + \theta_V)$$

$$i(t) = I\sqrt{2} \cos(\omega t + \theta_I)$$

$$p(t) = 2VI \cos^{\alpha}(\omega t + \theta_V) \cos^{\beta}(\omega t + \theta_I)$$

با استفاده از اتحاد $\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$

$$p(t) = VI [\cos(\theta_V - \theta_I) + \cos(2\omega t + \theta_V + \theta_I)]$$

$$p(t) = \boxed{VI \cos(\theta_V - \theta_I)} + \boxed{VI \cos(2\omega t + \theta_V + \theta_I)}$$

مقداری ثابت

یک عبارت متغیر با زمان و
با فرکانس دو برابر فرکانس شبکه

$$P(t) = VI \cos(\theta_v - \theta_i) + VI [\cos(2\omega t + \theta_v - \theta_i)]$$

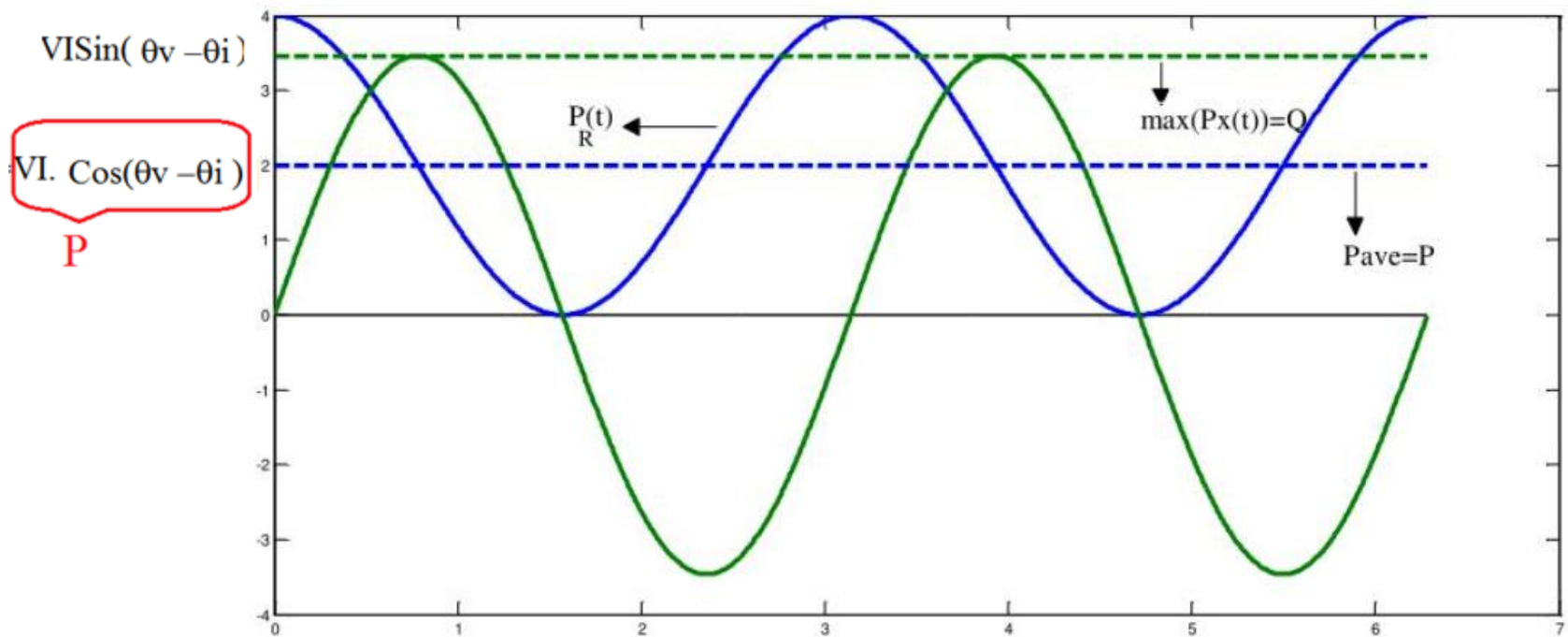
$$P(t) = VI \cos(\theta_v - \theta_i) + VI [\cos(\underbrace{2(\omega t + \theta_v)}_{\alpha}) - \underbrace{(\theta_v - \theta_i)}_{\beta}]$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) + \sin(\alpha)\sin(\beta)$$

$$P(t) = \underbrace{VI \cos(\theta_v - \theta_i)}_P [1 + \cos(2\omega t + \theta_v)] + \underbrace{VI \sin(\theta_v - \theta_i)}_Q \sin[2(\omega t + \theta_v)]$$

$$S = P + jQ = \underbrace{VI \cos(\theta_v - \theta_i)}_P + j \underbrace{VI \sin(\theta_v - \theta_i)}_Q$$

$$S = VI^* \Rightarrow S = VI \angle (\theta_v - \theta_i)$$

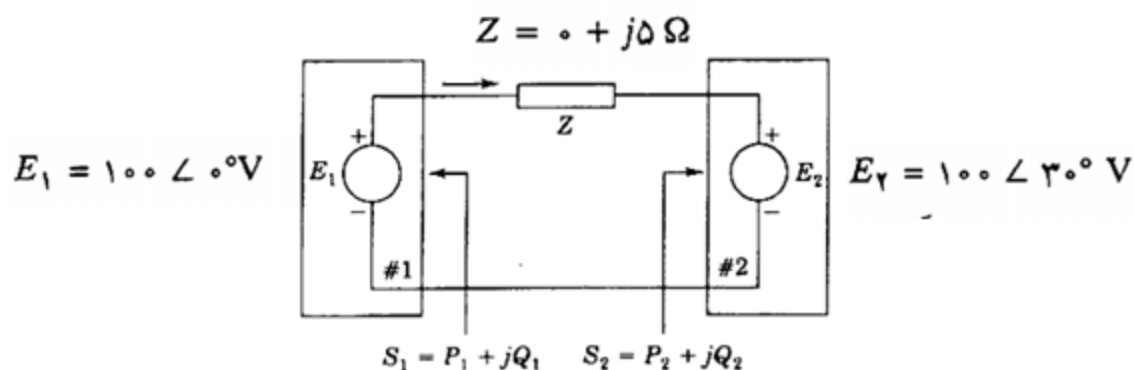


$$P(t) = \underbrace{VI \cos(\theta_v - \theta_i)}_P [1 + \cos(2\omega t + \theta_v)] + \underbrace{VISin(\theta_v - \theta_i)}_Q \sin[2(\omega t + \theta_v)]$$

P

Q

مثال ۱-۱ دو منبع ولتاژ ایده‌آل یعنی ماشینهای ۱ و ۲، مانند شکل (۱-۱۰) به هم وصل شده‌اند. اگر $E_1 = 100 \angle 0^\circ \text{ V}$ و $E_2 = 100 \angle 30^\circ \text{ V}$ و $Z = 0 + j5 \Omega$ باشد، (الف) اندازه توانی را که هر ماشین دریافت یا تولید می‌کند به دست آورید. (ب) اندازه توان راکتیو تولیدی یا دریافتی به وسیله هر ماشین را به دست آورید. (پ) P و Q دریافت شده به وسیله امپدانس چقدر است؟



$$I = \frac{E_1 - E_2}{Z} = \frac{100 + j0 - (86.6 + j50)}{j5}$$

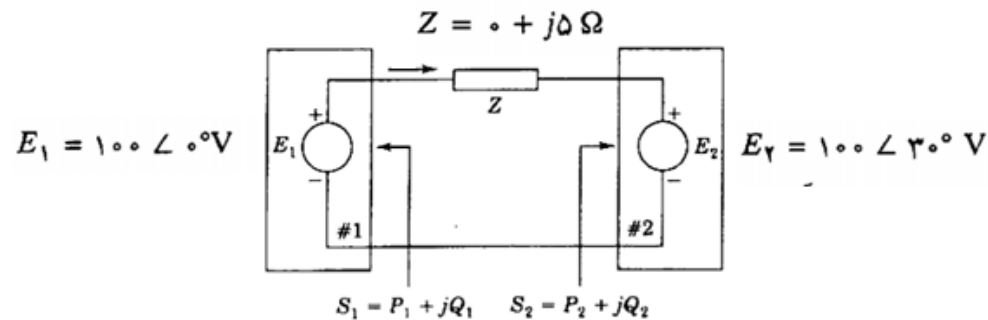
پاسخ:

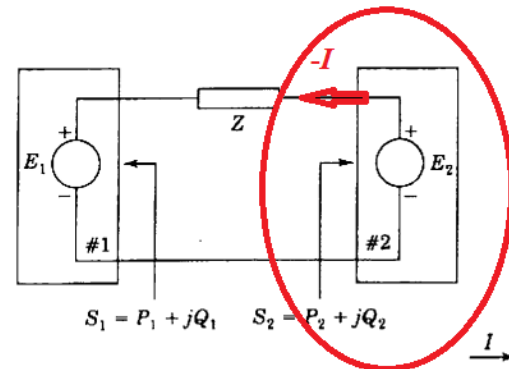
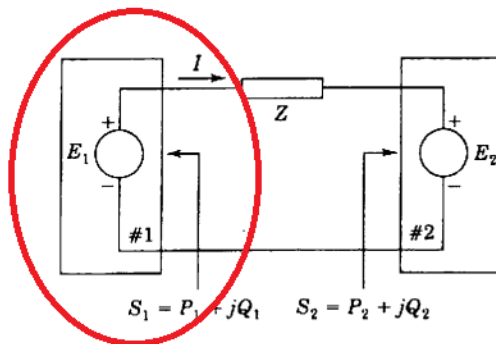
$$= \frac{13.4 - j50}{j5} = -10 - j2.68 = 10.35 \angle 195^\circ \text{ A}$$

جریان ورودی به جعبه ۱ برابر $-I$ برابر و جعبه ۲ برابر I است. بنابراین:

$$S_1 = E_1 (-I)^* = P_1 + jQ_1 = 100(10 + j2.68)^* = 1000 - j268 \text{ VA}$$

$$S_2 = E_2 I^* = P_2 + jQ_2 = (86.6 + j50)(-10 + j2.68) = -1000 - j268 \text{ VA}$$





$$I = -1.0 - j2.68$$

$$(I)^* = (-1.0 + j2.68)$$

$$(-I)^* = (1.0 + j2.68)^* = (1.0 - j2.68)$$

$$S_1 = E_1 I^* = P_1 + jQ_1 = 100 (-1.0 - j2.68)^* = 100 (-1.0 + j2.68) = -100.0 + j268 \text{ VA}$$

$$S_2 = E_2 (-I)^* = P_2 + jQ_2 = (86.6 + j50) (1.0 - j2.68) = 100.0 - j268 \text{ VA}$$

$$I = -10 - j27.68$$

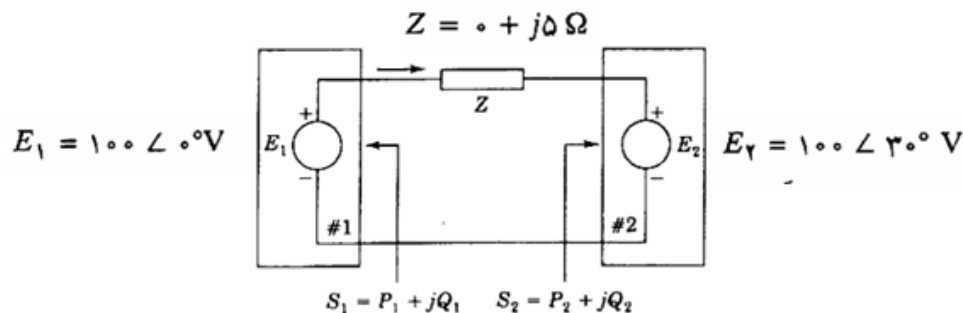
$$(I)^* = (-10 + j27.68)$$

$$(-I)^* = (10 + j27.68)^* = (10 - j27.68)$$

$$S_1 = E_1 I^* = P_1 + jQ_1 = 100 (-10 - j27.68)^* = 100 (-10 + j27.68) = -1000 + j2768 \text{ VA}$$

$$S_2 = E_2 (-I)^* = P_2 + jQ_2 = (86.6 + j50) (10 - j27.68) = 1000 + j2768 \text{ VA}$$

توجه شود که توان راکتیو تولیدی، $536 \text{ var} = 268 + 268$ است. یعنی همان مقداری که راکتانس القایی 5Ω نیاز دارد. چون امپدانس کاملاً راکتیو است، P مصرفی آف صفر بوده همه وات تولید شده به وسیله ماشین ۲ به ماشین ۱ منتقل می شود.

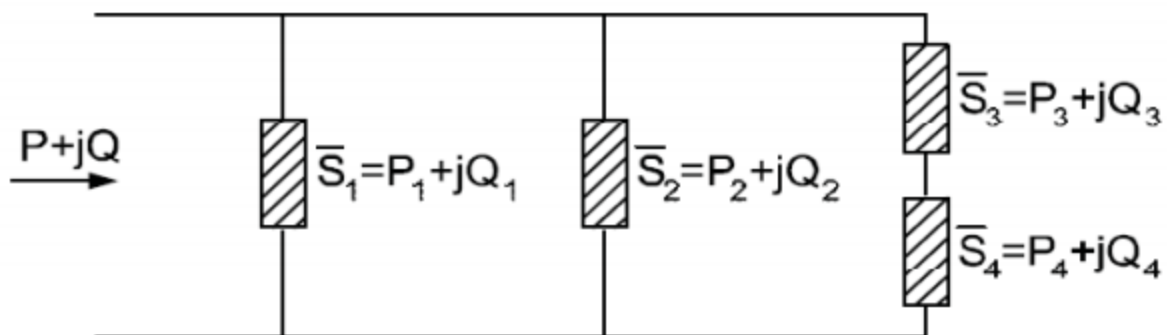


روش دوم محاسبه توان راکتیو خط:

$$|I|^2 X = 10.35^2 \times 5 = 536 \text{ var}$$

حال فرض کنید که چندین بار با توان‌های مختلط مختلف، موجود باشند که از یک منبع تغذیه می‌شوند. در این صورت توان مختلط کل برابر مجموع توان‌های مختلط تمام بارها خواهد بود.

مثال در شکل زیر، توان مختلط مصرفی کل بارها و ضریب توان معادل را به دست آورید.



توان در مدارهای AC تک فاز

چهار بار وجود دارند که به صورت سری-موازی تغذیه می شوند:

$$\bar{S} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \bar{S}_3 + \bar{S}_4$$

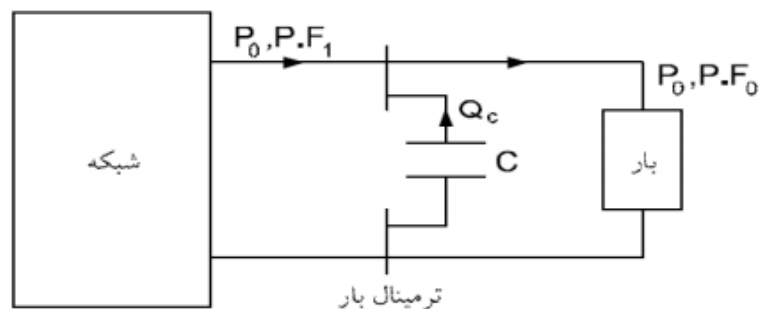
$$= (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + j(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = P_T + jQ_T$$

$$\Rightarrow P.F = \cos \varphi = \frac{P_T}{\sqrt{P_T^2 + Q_T^2}} \rightarrow \text{ضریب قدرت معادل}$$

اصلاح ضریب توان بار

معمولاً بارهای موجود در شبکه دارای ضریب قدرت پس فاز بسیار پایین می باشند. این مسئله باعث می شود که برای انتقال مقدار مشخصی از توان اکتیو، ظرفیت شبکه اشغال شده و تلفات و هزینه های اضافی افزایش یابند.

توان راکتیو مورد نیاز بار در محل خود بار و به وسیله تجهیزات تولیدکننده توان راکتیو (عموماً خازن هایی که موازی بار قرار می گیرند) تأمین شود.



$$P.F_1 > P.F_0$$

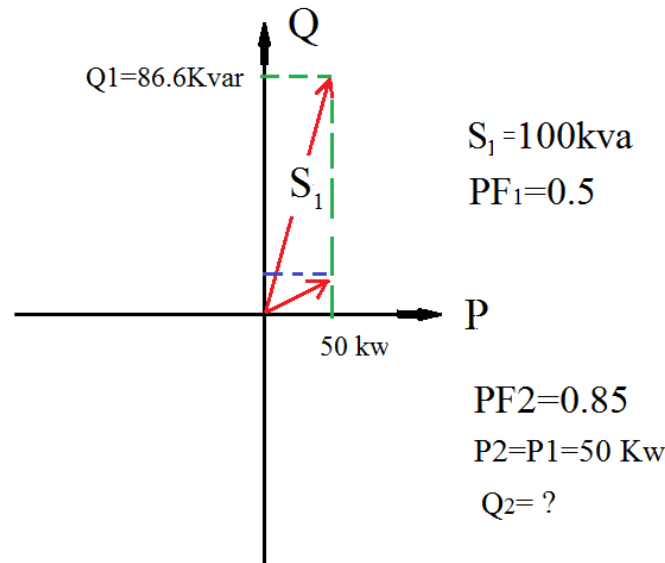
نصب خازن جبران ضریب توان در ترمینال بار پس فاز

اصلاح ضریب توان بار

مثال یک موتور تک فاز 100KVA با ضریب توان 0.5 پس فاز از یک منبع 480 ولت تغذیه می شود. مطلوب است تعیین قدرت و ظرفیت خازن مورد نیاز برای بهبود ضریب توان کل از 0.5 به 0.85 پس فاز. جریان منبع را قبل و بعد از نصب خازن به دست آورید. تلفات سیستم بر اثر نصب این خازن چند درصد کاهش می یابد؟ فرکانس سیستم را 60Hz در نظر بگیرید.

$$\begin{aligned} |S_0| &= 100 \text{ KVA} \\ P.F_0 &= 0.5 \text{ lag} \end{aligned} \Rightarrow \begin{cases} P_0 = (|S_0|(P.F_0)) = 100(0.5) = 50 \text{ KW} \\ Q_0 = (|S_0|\sqrt{1 - (P.F_0)^2}) = 100\sqrt{1 - 0.25} = 86.60 \text{ KVAR} \end{cases}$$

$$P.F_1 = 0.85 \text{ lag} \Rightarrow Q_1 = P_0 \tan(\cos^{-1}(P.F_1)) = 50 \tan(\cos^{-1}(0.85)) = 30.99 \text{ KVAR}$$



اصلاح ضریب توان بار

$$\Rightarrow |Q_c| = 86.60 - 30.98 = 55.62 \text{ KVAR}$$

$$\Rightarrow C = \frac{|Q_c|}{\omega V^2} = \frac{55.62}{(120\pi)(480)^2} = 640.3 \mu F$$

حال، جریان کشیده شده از منبع را قبل و بعد از نصب خازن محاسبه می‌کنیم:

$$V = 480V$$

$$\text{قبل از نصب خازن: } |I| = \frac{|S_0|}{V} = \frac{100 \times 10^3}{480} = 208.33 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{بعد از نصب خازن: } |I'| &= \frac{|S_1|}{V} = \frac{|P_0 + jQ_1|}{V} = \frac{|50 + j30.98| \times 10^3}{480} \\ &= 122.54 \text{ A} \end{aligned}$$

ملاحظه می‌شود که جریان کشیده شده از منبع 41.18% کاهش یافته است.

اصلاح ضریب توان بار

$$\begin{cases} \bar{S}_0 = P_0 + jQ_0 \\ Q_0 = P_0 \tan(\cos^{-1}(P.F_0)) \end{cases}$$

که Q_0 توان راکتیو جذب شده توسط بار قبل از نصب خازن اصلاح ضریب توان است. حال پس از نصب خازن و اصلاح ضریب توان بار از مقدار $P.F_0$ به $P.F_1$ ، توان مختلط و راکتیو جذب شده از شبکه برابر خواهد بود با:

$$\begin{cases} \bar{S}_1 = P_0 + jQ_1 \\ Q_1 = P_0 \tan(\cos^{-1}(P.F_1)) \end{cases}$$

