

دانش اگر در ثریا هم باشد مردمانی از سرزمین پارس بر آن دست خواهند یافت.

پیامبر اعظم (ص)

شرح جامع

بررسی سیستم‌های قدرت ۱

«مهندسی برق»

مولف: حسین مولوی

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

تقدیم به پدر و مادرم

خواهران و برادرانم

و همه عزیزانم

اگر در خور تقدیم باشد...

نهال را باران باید تا بشوید غبار نشسته بر برگهایش و سیرابش کند از آب حیات و آفتاب باید تا بتاباند نیـــرو را و محکـــم کنـــد شاخه‌های تازه روییده را به نام مادر، بوسه‌ای باید زد دست‌هایی را که می‌شویند غبار خستگی روزگار را و سیراب می‌کننـــد روح تشنه را به نام پدر، بوسه‌ای باید زد دست‌هایی را که می‌تابانـــد نیرو را و محکم می‌کنند استواری پایه‌های زیستن را

پیشگفتار مولف

گسترش و توسعه روز افزون تحصیلات تکمیلی در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی برق در کشور منجر به رقابت تنگاتنگی در بین دانشجویان این رشته گردیده است. درس بررسی سیستم‌های قدرت یکی از دروسی است که در آزمون کارشناسی ارشد مورد توجه قرار می‌گیرد. با وجود آنکه تا به حال منابع متعددی در این زمینه به چاپ رسیده است ولی نبود مرجعی که بتواند به صورت جامع نکات این درس را در برداشته باشد و کمک لازم را به دانشجویان نماید، احساس می‌شود.

در این کتاب سعی شده است که تمامی نکات لازم آورده شود تا دانشجویان عزیز بتوانند به سوالات مطروحه در کنکور ارشد به خوبی پاسخ دهند. این کتاب در ۵ فصل و برطبق سرفصل‌های وزارت علوم تألیف گردیده است.

در اینجا بر خود واجب می‌دانم تا از مدیریت محترم انتشارات ارشد ....، از سرکار خانم ... مسئول حروچینی و تمامی کسانی که در تألیف این کتاب مرا یاری نمودند، نهایت تشکر و امتان را داشته باشم. در نهایت از تمامی دانشجویان گرامی خواهشمند است تا نظرات و انتقادات خود را در جهت افزایش کیفیت کتاب حاضر با ما در میان بگذارند.

با سپاس

مولوی

Email:
Molavi.hd@gmail.com

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پپیشگفتارناشر ۳
یشگفتار مولف ۵
فصل اول: مفاهیم اساسی در شبکه‌های قدرت ۹
فصل دوم:پارامترهای خط انتقال ۳۷
فصل سوم: مدل‌سازی خطوط انتقال ۶۵
فصل چهارم: پخش بار در شبکه‌های قدرت ۱۰۱
فصل پنجم: مقدمه‌ای بر شبکه‌های توزیع ۱۲۱

فصل اول

مفاهیم اصلی در شبکه‌های قدرت

عناوین اصلی

- توان ظاهری و مثلث توان
- پخش توان در یک سیستم تکفاز ساده
- سیستم‌های سه فاز
- محاسبات به روش پریونیت

فصل اول

مفاهیم اساسی در شبکه‌های قدرت

اصولاً بحث در مورد سیستم‌های قدرت با مقوله‌ای توان لحظه‌ای آغاز می‌شود، توان لحظه‌ای عبارتست از حاصل ضرب ولتاژ لحظه‌ای در جریان لحظه‌ای.

$$u(t) = V_m Cos(\omega t + \alpha)$$

$$c(t) = I_m Cos(\omega t + \gamma)$$

با توجه به تعریف $\Rightarrow p(t) = V(t) \cdot j(t) = \left[V_m Cos(\omega t + \alpha)\right] * \left[I_m Cos(\omega t + \gamma)\right]$

$$\frac{1}{2} V_m I_m \left[Cos(\alpha - \gamma) + Cos \underbrace{(2\omega t + \alpha + \gamma)}_{2\omega t + \alpha - \alpha + \gamma} \right] \Rightarrow$$

$$= \frac{1}{2} V_m I_m \left[Cos(\alpha - \gamma) + Cos\left((2\omega + \alpha) + (\gamma - \alpha)\right) \right] = \underbrace{V_r I_r Cos(\alpha - \gamma)\left[1 + Cos 2(\omega t + \alpha)\right]}_{1} + \underbrace{V_r I_r Sin(\alpha - \gamma)\left[Sin\, 2(\omega t + \alpha)\right]}_{2}$$

منظور از V_r و I_r مقادیر RMS جریان و ولتاژ است.

📖**نکته:** هرجاکه بحث از مقدار ولتاژ و جریان باشد مقدار **Rms** آن مد نظر است مگر آنکه به صراحت ذکر شود که چیز دیگر مدنظر است.

توان اکتیو (توان متوسط) عبارتست از:

$$P_{active} = P_{ave} = \frac{1}{T} \int_T P(t) dt$$

$$\Rightarrow P_{active} = \underline{V_r I_r Cos(\alpha - \gamma)}$$

همانطور که ملاحظه می‌شود توان اکتیو صرفاً ناشی از جمله‌ی اول رابطه‌ی فوق است چراکه مقدار متوسط جمله‌ی دوم صفر است.

📖**نکته:** توان اکتیو همان $V_r I_r Cos(\alpha - \gamma)$ و توان راکتیو همان $V_r I_r Sin(\alpha - \gamma)$ می‌باشد.

$$P = V_r I_r Cos(\alpha - \gamma) \ , \ Q = V_r I_r Sin(\alpha - \gamma)$$

نکته: توان لحظه‌ای (اعم از اکتیو یا راکتیو) با فرکانس ۲ برابر فرکانس ولتاژ و جریان در حال نوسان می‌باشد.

توان ظاهری و مثلث توان

قبل از بیان توان ظاهری گریزی به مفهوم فازور می‌زنیم، برای ولتاژ و جریان لحظه‌ای ذکرشده در بالا فازور به صورت زیر بیان می‌شود:

$$u(t) = V_m Cos(\omega t + \alpha) \rightarrow V = V_r < \alpha = Re\left[V_r e^{j\alpha} \right]$$

$$c(t) = I_m Cos(\omega t + \gamma) \rightarrow I = I_r < \gamma = Re\left[I_r e^{j\gamma} \right]$$

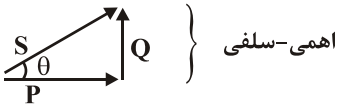
طبق تعریف توان ظاهری عبارتست از:

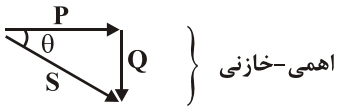
$$S = VI^*$$

که I^* در آن مزدوج مختط I می‌باشد.

$$\Rightarrow S = V_r e^{+j\alpha} \cdot I_r e^{-j\gamma} = V_r I_r e^{j(\alpha-\gamma)} = V_r I_r Cos(\alpha-\gamma) + jV_r I_r Sin(\alpha-\gamma)$$

ملاحظه می‌شود که قسمت حقیقی همان توان اکتیو و قسمت موهومی همان توان راکتیو است، در نتیجه داریم:
واضح است که به دلیل وجود عامل j و P و Q بر هم عمودند بعبارت دیگر تشکیل یک مثلث قائم‌الزاویه را می‌دهند که تحت عنوان مثلث توان مطرح است. مثلث توان در دو حالت بار اهمی- سلفی و اهمی- خازنی به صورت زیر است:





در حالت اهمی خالص نیز ضلع Q (توان راکتیو صفر است) و در حالت سلفی یا خازنی خالص ضلع p (توان اکتیو) صفر است.

نکته: مشاهده می‌شود که در حالت خازنی ($\theta < 0$) و در حالت اهمی سلفی ($\theta > 0$) است.

نکته: θ همان $\alpha - \gamma$ یا زاویه‌ی بین ولتاژ و جریان است و $Cos\theta$ ضریب توان (PF) می‌باشد.
برخی روابط مفید حاصل از مثلث توان:

(۱) $|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$

(۲) $P = SCos\theta$

(۳) $Q = SSin\theta$

(۴) $Q = P\tan\theta$

$$(۵)\ S = VI^* \Rightarrow S^* = V^*I \Rightarrow I = \frac{S^*}{V^*}$$

$$(۶)\ V = ZI \Rightarrow S = Z|I|^۲$$

نکته: در رابطه‌ی ۶ اندازه‌ی **I** است که به توان ۲ می‌رسد.

از رابطه‌ی ۶ می‌توان نتایج زیر را گرفت که مهم بوده و در برخی سوالات راهی ساده برای دستیابی به جواب می‌باشد:

$$\left.\begin{matrix} S = Z|I|^۲ \\ Z = R + jX \end{matrix}\right\} \Rightarrow S = \underbrace{R(I)^۲}_{P} + j\underbrace{XI^۲}_{Q}$$

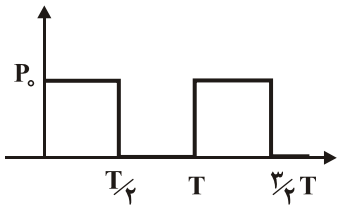
نکته: توان اکتیو صرفاً ناشی از مقاومت اهمی است و چنانچه سلف یا خازن ایده‌آل باشند نباید به هیچ‌وجه گرم شوند چون گرما ناشی از اتلاف انرژی در مقاومت است.

نکته: توان ظاهری مجموعه‌ای از بارهای موازی با جمع برداری توان ظاهری هر کدام بدست می‌آید البته ساده‌تر آنست که ابتدا توان‌های اکتیو و راکتیو تک‌تک مجموعه‌ها روی خود عمود یا مثلث توان آورده و با هم جبری کرده و در نهایت توان ظاهری کل را بدست آورد.

سوال

منحنی توان لحظه‌ای یک بار بصورت زیر است، مقدار توان اکتیو آن چقدر است؟

پاسخ: طبق تعریف توان اکتیو عبارتست از:

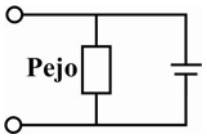


$$P_{active} = P_{ave} = \frac{۱}{T}\int_T P(t)dt \Rightarrow$$

$$P_{active} = \frac{۱}{T}\left\{\int_۰^{\frac{T}{۲}} P_۰ dt + \int_{\frac{T}{۲}}^{T} (۰)dt\right\} = \frac{P_۰}{۲}$$

سوال

باری با توان ۵ kvA و ضریب توان ۰/۸ (پس‌فاز) توسط یک منبع ۲۲۰ V تأمین می‌شود، اگر یک خازن با ظرفیت ۰/۱mf با این مجموعه موازی شود، در این حالت P و Q چقدر است؟ (۵۰HZ)

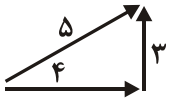


پاسخ: با افزودن خازن مدار به شکل مقابل خواهد بود:

$$P_۰ = S\cos\theta_۰ = ۵ * ۰/۸ = ۴\,k\omega$$

$$Q_۰ = S\sin\theta_۰ = ۵ * ۰/۶ = ۳\,KAR$$

واضح است که طبق نکته ۷ توان اکتیو مجموعه ثابت است و توان راکتیو مجموع جبری توان راکتیو دو بار است:



$$Q_{\circ} = ۳\,kVAR$$

$$\text{خازن } Q = X_c I^{۲} = \frac{V^{۲}}{X_c} = V^{۲} * c\omega = (۲۲۰)^{۲} * ۱ * ۱۰^{-۴} * ۱۰۰ * \pi = ۱/۵\,KVAR$$

$$\Rightarrow \text{کل } Q = ۳ - ۱/۵ = ۱/۵\,KVA$$

از سوالات مهمی که در این بخش مطرح می‌شود بحث اصلاح ضریب توان است، همان‌طور که قبلاً ذکر گردید ضریب توان همان $Cos\theta(PF)$ می‌باشد، در واقع اصلاح ضریب توان بدین دلیل صورت می‌گیرد که توان راکتیو مصرفی کاهش یابد و این کار نیز با افزودن خازن انجام می‌گیرد، رابطه‌ی کلی جهت این کار به ترتیب زیر بدست می‌آید:
فرض کنید که می‌خواهیم ضریب توان را از ($PF_۱$ به $PF_۲$ برسانیم لذا داریم:

$$\begin{cases} P_۱ = S_۱ * Cos\theta_۱ \\ Q_۱ = S_۱ * Sin\theta_۱ \end{cases} \qquad \begin{cases} P_۲ = S_۲ Cos\theta_۲ \\ Q_۲ = S_۲ Sin\theta_۲ \end{cases}$$

طبق نکته توان اکتیو ثابت است (چون خازن می‌افزاییم) لذا داریم:

$$P_۱ = P_۲ \Rightarrow S_۱ Cos\theta_۱ = S_۲ Cos\theta_۲ = P \Rightarrow S_۱ = \frac{P}{Cos\theta_۱}\ ,\ S_۲ = \frac{P}{Cos\theta_۲}$$

از طرفی مقدار توان راکتیو تزریقی توسط خازن تفاضل $Q_۱$ و $Q_۲$ است:

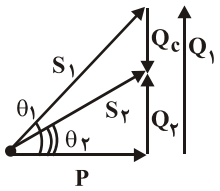
$$Q_C = Q_۱ - Q_۲ = S_۱ Sin\theta_۱ - S_۲ Sin\theta_۲ = \frac{P}{Cos\theta_۱} * Sin\,\theta_۱ - \frac{P}{Cos\theta_۲} \cdot Sin\theta_۲$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_C = P(\tan\theta_۱ - \tan\theta_۲)}$$

و اما چنانچه ظرفیت خازن مجهول باشد داریم:

$$Q_C = C V_r^{۲} \omega \Rightarrow \boxed{C = \frac{Q_C}{V_r^{۲}\omega}}$$

مثلث توان بصورت زیر است:
در واقع اصلاح ضریب توان بدین معنی است که اگر ما یک بار اکتیو ثابت داشته باشیم و در کنار آن بار راکتیو زیادی مصرف کنیم نیاز به توان ظاهری بیش‌تری داریم که با افزایش ضریب توان، توان راکتیو کاهش می‌یابد در نتیجه توان ظاهری کم‌تری بازای همان بار اکتیو ثابت نیاز داریم.



سوال

یک موتور تکفاز ۵KVA تحت ضریب توان ۰/۸ باری را تامین می‌کند (ولتاژ ۲۲۰V) مطلوب است: ۱) تعیین کیلو ولت آمپر خازنی که ضریب توان را به ۰/۹ برساند. ۲) جریان خط قبل و بعد از افزودن خازن ۳) توان ظاهری با افزوده شدن خازن.

(۱)

$$P = S\cos\theta = ۵ * ۰/۸ = ۴V$$

$$Q_C = P(\tan\theta_۱ - \tan\theta_۲)$$

$$\cos\theta_۱ = ۰/۸ \Rightarrow \theta_۱ \simeq ۳۶^\circ \ , \ \tan\theta_۱ = ۰/۷۵$$

$$\cos\theta_۲ = ۰/۹ \Rightarrow \theta_۲ \simeq ۲۵^\circ \ , \ \tan\theta_۲ = ۰/۴۸$$

$$\Rightarrow Q_C = ۴ * (۰/۷۵ - ۰/۴۸) = ۱/۰۸KVAR$$

(۲)

جریان در حالت اول: $S = VI^* \Rightarrow S^* = V^*I \Rightarrow I = \frac{S^*}{V^*} \Rightarrow S^* = ۵ < -۳۶^\circ$

$$I = \frac{۵ < -۳۶}{۲۲۰} * ۱۰^۳ = ۲۲/۷۲ < -۳۶^\circ$$

جریان در حالت ۲: $S_۲ = ۴ + j۲ \Rightarrow I = \frac{۴ - j۲}{۲۲۰} * ۱۰۰۰ = ۲۰/۳ < -۲۶/۵^\circ$

(۳) در قسمت ۲ بدست آمده است.

همان‌طور که از مثال فوق پیداست افزودن خازن منجر به کاهش جریان تزریقی از طرف منبع (کاهش توان ظاهری) شده است.

پخش توان در یک سیستم تکفاز ساده

قبل از شروع بحث خاطرنشان می‌داریم که مهم‌ترین قسمت بخش همین بحث است، سعی نمایید بخوبی آن را فهمیده و درک نمایید.

سیستم ساده‌ی زیر را در نظر بگیرید:

$S_{۱۲}$: توان ارسالی از ۱ به سمت ۲

$S_{۲۱}$: توان ارسالی از ۲ به سمت ۱

برای آنکه توان ارسالی از سمت S(۱) را به R(۲) بیابیم داریم:

$$I_{۱۲} = \frac{V_۱ < S_۱ - V_۲ < S_۲}{R + jX} \ , \ S_S = S_{۱۲} = V_۱ I_{۱۲}^*$$

$$\Rightarrow S_{۱۲} = V_۱ < S_۱ \left(\frac{V_۱ < S_۱ - V_۲ < S_۲}{R + jX} \right)^* = V_۱ < S_۱ \left(\frac{V_۱ < -S_۲ - V_۲ < -S_۲}{|Z| < -\alpha} \right)$$

$$S_{12} = \frac{V_1^2}{|Z|} < \alpha - \frac{V_1 V_2}{|Z|} < S_1 - S_2 + \alpha = \frac{V_1^2}{|Z|}(\text{Cos}\alpha + j\text{Sin}\alpha) -$$

$$\frac{V_1 V_2}{|Z|}\text{Cos}(S_1 - S_2 + \alpha) - j\frac{V_1 V_2}{|Z|}\text{Sin}(S_1 - S_2 + \alpha)$$

$$\Rightarrow P_{12} = \frac{V_1^2}{|Z|}\text{Cos}\alpha - \frac{V_1 V_2}{|Z|}\text{Cos}(S_1 - S_2 + \alpha)$$

$$Q_{12} = \frac{V_1^2}{|Z|}\text{Sin}\alpha - \frac{V_1 V_2}{|Z|}\text{Sin}(\alpha + S_1 - S_2)$$

چون در اغلب مسائل مطروحه مقدار مقاومت صفر است لذا روابط فوق به صورت زیر ساده می‌شوند:

$$P_{12} = \frac{V_1 V_2}{X}\text{Sin}(S_1 - S_2) \quad , \quad Q_{12} = \frac{V_1^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X}\text{Sin}(S_1 - S_2)$$

نکته‌ای که در این جا بسیار مهم و حیاتی است توجه به جهت فلش‌هاست که اغلب داوطلبان بدان توجه نمی‌نمایند در نهایت با تعمیم روابط خواهیم داشت:

$$S_{21} = P_{21} + jQ_{21} \quad , \quad P_{21} = \frac{V_1 V_2}{X}\text{Sin}(\delta_2 - \delta_1)$$

$$Q_{21} = \frac{V_2^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X}\text{Cos}(\delta_2 - \delta_1)$$

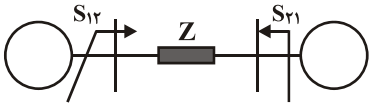
بالطبع برای توان رسیده به باس ۲ روابط زیر برقرار است:

$$\begin{matrix} P_R = -P_{21} \\ Q_R = -Q_{21} \end{matrix} \Rightarrow S_R = -S_{21}$$

سوال

دو ماشین (۱) و (۲) به ترتیب با سه امپدانس زیر به هم وصل می‌شوند در هر حالت در مورد موتور یا ژنراتور بودن هر یک از ماشین‌ها چه می‌توان گفت؟

۱) $Z = j5$ ۲) $Z = -j5$ ۳) $z = 5$



برای خط شین ۱ در حالت کلی داریم:

$$P_{12} = \frac{V_1 V_2}{X}\text{Sin}(-30 - 0) = -\frac{1}{2}\frac{V_1 V_2}{X}$$

$$Q_{۱۲}=\frac{V_۱^۲}{X}-\frac{V_۱V_۲}{X}\mathrm{Cos}(-۳۰-۰)=\frac{V_۱^۲}{X}-\frac{V_۱V_۲}{X}*\frac{\sqrt{۳}}{۲}$$

برای حالت ۱ داریم:

$$P_{۱۲}=\frac{۲۰۰*۲۰۰}{۵}*\frac{۱}{۲}=-۴\,\mathrm{K}\omega$$

$$Q_{۱۲}=\frac{۲۰۰^۲}{۵}-\frac{۲۰۰^۲}{۵}*\frac{\sqrt{۵}}{۲}=۱/۰۷۱\mathrm{KVAR}$$

با توجه به آنکه $P_{۱۲}$ لذا ماشین ۱ موتور است.

$$P_{۲۱}=\frac{V_۱V_۲}{X}\mathrm{Sin}\left(۰-(۳۰)\right)=\frac{۱}{۲}\frac{V_۱V_۲}{X}=۴\mathrm{k}\omega>۰$$

لذا ماشین ۲ ژنراتور است.

$$Q_{۲۱}=\frac{V_۱^۲}{X}-\frac{V_۱V_۲}{X}\mathrm{Cos}(-۳۰-۰)=۱/۰۷\,\mathrm{KVAR}$$

ملاحظه می‌شود که هر دو دارای Q بزرگ‌تر از صفرند یعنی هر دو Q تولید می‌کنند که در خط مصرف می‌شود (چون خط سلفی خالص است).

(۲)

$$P_{۱۲}=-\frac{۱}{۲}\frac{V_۱V_۲}{X}=-۴\,\mathrm{k}\omega<۰\Rightarrow \text{موتور}$$

$$P_{۲۱}=\frac{۱}{۲}\frac{V_۱V_۲}{X}=۴\,\mathrm{k}\omega\Rightarrow \text{ژنراتور}$$

$$Q_{۱۲}=-\left(\frac{V_۱^۲}{X}+\frac{V_۱V_۲}{X}\mathrm{Cos}\,۳۰\right)=-۱/۰۷\quad,\quad Q_{۲۱}=-\left(\frac{V_۲^۲}{X}+\frac{V_۱V_۲}{X}\mathrm{Cos}\,۳۰\right)$$

ملاحظه می‌شود که هر دو Q منفی می‌باشند که بدین معنی است که $(Q_{۱۲}=-۱/۰۷, Q_{۲۱}=-۱/۰۷)$ هر دو توان راکتیو مصرف می‌کنند که این توان راکتیو توسط خط تولید می‌شود (خط خاصیت خازنی دارد).

(۳) چون خط اهمی است لذا روابط پخش توان با توجه به فرمول‌های اصلی ارائه شده به صورت زیر است:

$$P_{۱۲}=\frac{V_۱^۲}{R}-\frac{V_۱V_۲}{R}\mathrm{Cos}(\delta_۱-\delta_۲)=۱/۰۷\,\mathrm{k}\omega>۰$$

$$Q_{۱۲}=-\frac{V_۱V_۲}{R}\mathrm{Sin}(\delta_۱-\delta_۲)=۴۰۰۰>۰$$

به همین ترتیب برای $P_{۲۱}$ و $Q_{۲۱}$ نیز بدست می‌آید که:

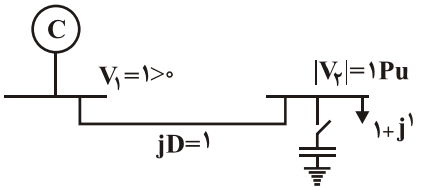
$$P_{۲۱} = ۱/۰۷\cos\omega > ۰$$

$$Q_{۲۱} = -۴۰۰۰ < ۰$$

یعنی هر دو ژنراتورند و توان اکتیو تولید می‌کنند که در مقاومت اهمی خط تلف می‌شود و ژنراتور اول توان راکتیو تولید می‌کند که ژنراتور دومی مصرف می‌شود.

سوال

یک سیستم مطابق شکل زیر مفروض است، اگر بخواهیم که $|V_۱| = |V_۲| = ۱Pu$ باشد قدرت راکتیو مورد نیاز تولیدی توسط خازن چقدر است؟ (Pu) **(سراسری ۸۴)**



۱) ۱/۰۵
۲) ۱/۱۵
۳) ۱/۵
۴) ۲/۲

پاسخ: با توجه به مدار واضح است که توان اکتیو بار $(۱+j۱)$ توسط ژنراتور ۱ تأمین می‌شود و چون خط فاقد مقاومت است یعنی:

$$P_{۱۲} = ۱Pu \quad , \quad V_۲ = ۱ < \delta_۲$$

$$\Rightarrow P_{۱۲} = \frac{V_۱V_۲}{X}\sin(۰ - \delta_۲) \Rightarrow ۱۰\sin - S_۲ = ۱ \Rightarrow \sin\delta_۲ = -۰/۱$$

$$\Rightarrow \cos S_۲ = ۰/۹۹۵$$

$$\Rightarrow Q_{۲۱} = \frac{V_۲^۲}{X} - \frac{V_۱V_۲}{X}\cos = ۰/۰۵\,Pu$$

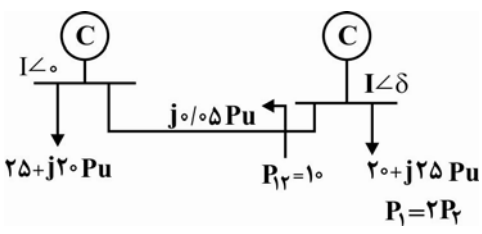
و چون $Q_{۲۱} > ۰$ یعنی باس ۲ توان راکتیو به طرف ۱ ارسال می‌کند و از طرفی خودداری مصرف $۱Pu$ است یعنی راکتیو تولیدی توسط خازن برابر است با:

$$Q_C = ۱ + ۰/۰۵ = ۱/۰۵$$

حل: گزینه «۱»

سوال

در سیستم زیر توان اکتیو تولیدی ژنراتور اول دو برابر ژنراتور دوم است. توان راکتیوی ژنراتور دوم چقدر است؟



۱) $(۵۰ - ۱۰\sqrt{۳})Pu$
۲) $(۴۵ - ۱۰\sqrt{۳})Pu$
۳) $(۴۸ - ۱۰\sqrt{۳})Pu$
۴) $۴۵(۱ - \sqrt{۳})Pu$

برای حل سوال داریم:

$$\Rightarrow P_۱ + P_۲ = ۴۵ \Rightarrow P_۲ = ۱۵ \ , \ P_۱ = ۳۰$$

در نتیجه برای تأمین توان اکتیو در باس اول بایستی $P_{۱۲} = ۱۰$ باشد.

$$P_{۱۲} = \frac{V_۱ V_۲}{X} \text{Sin S} \Rightarrow \frac{۱*۱}{۰/۰۵} \text{Sin}\,\delta = ۱۰ \Rightarrow \text{Sin}\,\delta = ۰/۵$$

$$\Rightarrow \underline{S = ۳۰^\circ} \Rightarrow Q_{g_۱} = ۲۵ + Q_{۱۲}$$

$$Q_{۱۲} = \frac{V_۱^۲}{X} - \frac{V_۱ V_۲}{X} \text{Cos}\,\delta = ۲۰ - ۲۰ \text{Cos}\,۶۰ = ۲۰\left(۱ - \sqrt{\frac{۳}{۲}}\right)$$

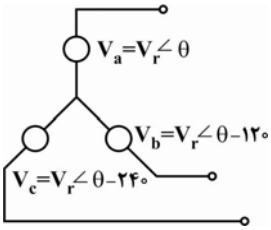
حل: گزینه «۲»

$$\Rightarrow Q_{g_۱} = (۴۵ - ۱۰\sqrt{۳})\text{Pu}$$

تذکر مهم: از این نوع سوال در کنکور بسیار تکرار شده است.

سیستم‌های سه فاز

یک منبع سه فاز را می‌توان ترکیب سه منبع با اندازه‌های یکسان ولی با اختلاف فاز ۱۲۰° و ۲۴۰° دانست که به صورت زیر می‌باشد:



$$V_a = V_m \text{Cos}(\omega t + \theta)$$

$$V_b = V_m \text{Cos}(\omega t + \theta - ۱۲۰)$$

$$V_C = V_m \text{Cos}(\omega t + \theta - ۲۴۰)$$

بالطبع برای جریان‌ها نیز اندازه‌ها یکسان باشد و صرفاً اختلاف فازهای ۱۲۰° و ۲۴۰° وجود داشته باشد:

$$I_a = I_r \text{Cos}(\omega t + \alpha)$$

$$I_b = I_r \text{Cos}(\omega t + \alpha - ۱۲۰)$$

$$I_c = I_r \text{Cos}(\omega t + \alpha - ۲۴۰)$$

در بحث سیستم‌های سه فاز با دو حالت ستاره و مثلث سر و کار داریم، که در ادامه به تشریح این دو حالت می‌پردازیم: