دانشگاه فنی و حرفه‌ای خراسان شمالی

آموزشکده فنی و حرفه‌ای پسران شیروان

طرح درس بررسی سیستم های قدرت ۱ مقطع: کارشناسی مدرس: حجت مویدی راد

برنامه درسی جلسه سوم:

ادامه‌ی تدریس فصل دوم:

- تعریف توان‌های اکتیو و راکتیو و اثبات وجود توان راکتیو از طریق مفاهیم و فرمول‌ها.

- بیان مفاهیم ضریب قدرت، توان لحظه‌ای و مختلط و نیز بیان قضیه‌ی توازن توان مختلط.

- بیان مشکلات ضریب قدرت کمتر از یک و ارائه‌ی راه حل برای اصلاح ضریب قدرت.

- ارائه‌ی یک مثال عددی برای حل مشکلات ضریب قدرت کمتر از یک و نشان دادن کاهش جریان توسط اصلاح ضریب قدرت.

اهداف کلی جلسه سوم:

۱- دانشجویان بایستی قادر به تعریف جامع توان‌های اکتیو، راکتیو، ظاهری و مختلط باشند.

۲- ارائه‌ی مفهوم ضریب توان و بیان مشکلات پایین بودن آن.

۳- دانشجویان بایستی قادر به حل مدارهای تکفاز باشد و به محاسبات اعداد مختلط و تبدیلات مربوطه تسلط داشته باشند.

برنامه درسی جلسه چهارم:

- بیان پخش توان مختلط و تأثیر تغییرات اندازه و زاویه‌ی فاز ولتاژ بر توان اکتیو و راکتیو.

- معرفی مدارهای سه فاز

- بیان برتری‌های مدارهای سه فاز نسبت به تکفاز

- معرفی ساختارهای سه فاز شامل ستاره و مثلث و بیان رابطه‌های فاز و خط در این دو آرایش.

- بیان رابطه‌های توان در مدارهای سه فاز.

- حل عددی یک مسأله سه فاز با استفاده از تحلیل مدار تکفاز آن.

- معرفی حالات کاری ژنراتور سنکرون روتور استوانه‌ای با استفاده از نمایش دیاگرام‌های فازوری مربوطه.

اهداف کلی جلسه چهارم:

۱- دانشجویان بایستی با ذکر دلایل قانع کننده تأثیر تغییرات اندازه و زاویه‌ی فاز ولتاژ را بر توان اکتیو و راکتیو را تشریح کنند.

۲- آشنایی دانشجویان با تأثیر تغییرات اندازه و زاویه‌ی فاز ولتاژ بر توان اکتیو و راکتیو.

۳- دانشجویان بایستی توانایی درک ولتاژها و جریان‌های فاز و خط را در ساختارهای مدارهای سه فاز داشته باشند.

۴- دانشجویان بایستی قادر باشد مسأله‌های سه فاز متقارن را به درستی تجزیه کرده و سپس حل نمایند.

برنامه درسی جلسه پنجم:

- حل عددی یک مسأله تکفاز متشکل از سه بار موازی مقاومتی، خازنی و سلفی.

شروع فصل سوم:

- بیان مقدمه‌ای از فصل سوم و سپس معرفی ژنراتور سنکرون به عنوان تولید کننده‌ی توان و معرفی انواع ساختار روتور آن و کاربردهای آن با توجه به نوع توربین.

- ارائه‌ی مدل ژنراتور سنکرون در حالت دائم و تعریف شین بینهایت.

- معرفی حالات کاری ژنراتور سنکرون روتور استوانه‌ای با استفاده از نمایش دیاگرام‌های فازوری مربوطه.

اهداف کلی جلسه پنجم:

۱- دانشجویان بایستی با مدل ژنراتور سنکرون و علت استفاده از آن به عنوان تولید کننده‌ی اصلی توان آشنا شوند.

۲- دانشجویان بایستی مفهوم شین بینهایت را به خوبی درک کنند.

۳- دانشجویان بایستی قادر باشد دیاگرام فازوری حالات کاری ژنراتور سنکرون را ترسیم کرده و جزئیات آن را شرح دهند.

به نام خدا

بررسی سیستم‌های قدرت ۱، حجت مویدی راد

Power System Analysis I

Lec.: *Hojat Moayedirad*, Ph.D. of Electrical Power Engineering, 2018, ***Email***: *hojatrad@yahoo.com*

Home pages:

https://scholar.google.com/citations?user=V28m4S4AAAAJ&hl=en

https://orcid.org/0000-0001-9803-9306

نکات مهم:

۱- با توجه به عدم برگزاری حضوری کلاس‌ها در سال ۹۸، دانشجویان بایستی مطالب درسی بارگذاری شده بر روی سایت را دانلود کرده و مطالعه نمایند و تمرین‌ها را انجام داده و در اولین جلسه‌ی حضوری در سال ۹۹ تحویل دهند.

۲- در دومین جلسه‌ی حضوری در سال ۹۹، از شش جلسه‌ی اول درس، کوئیزی در سطح آشنایی با مفاهیم شش جلسه‌ی اول گرفته می‌شود که نمره‌ی آن در نمره‌ی تمرین‌های تحویلی شش جلسه‌ی اول، ضرب می‌شود و نمره‌ی حاصل به عنوان نمره‌ی تمرین‌های تحویلی بخش اول، منظور می‌شود.

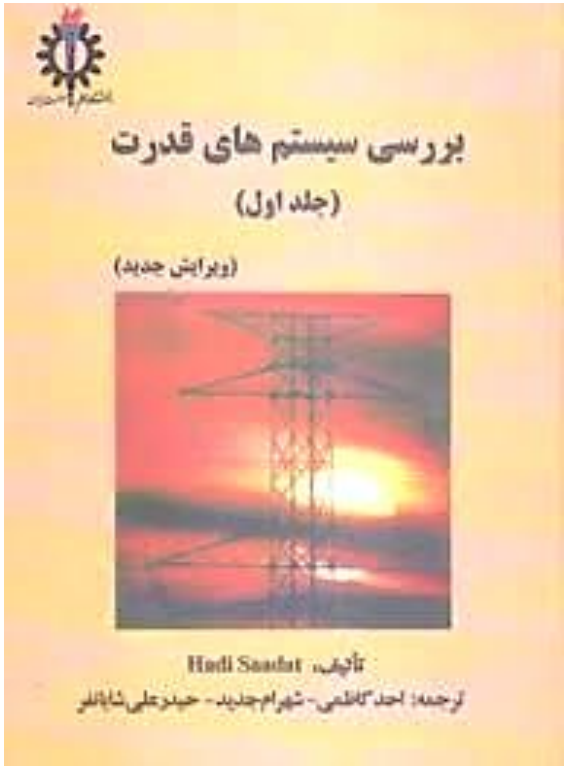
۳- یک نمره از ۵ نمره‌ی سرکلاسی اختصاص به پروژه دارد. پروژه‌ها در صفحه ۴ این فایل آماده است. موضوع پروژه بر اساس رقم آخر شماره‌ی دانشجویی است. مثلاً اگر رقم آخر شماره دانشجویی، ۳ باشد دانشجو بایستی فقط پروژه شماره‌ی ۳ را انجام دهد. موارد استثناء به این شرح است: رقم آخر شماره دانشجویی که ۹ است پروژه شماره ۶ انجام شود و اگر صفر است پروژه شماره ۴ انجام شود.

۴- با توجه به امکانات پیام رسان Skype (https://www.skype.com) نظیر ارتباط ویدئوی کنفرانسی، دانشجویان تا زمان برگزاری حضوری کلاس‌ها می‌توانند از جهت رفع ابهام و توضیح بیشتر مطالب درس، در روزهای جمعه و دوشنبه‌ی هر هفته از ساعت ۳ الی ۴:۳۰ بعدازظهر از طریق اسکایپ با اینجانب ارتباط برقرار کنند. در صورت سوال، دانشجویان می‌توانند از طریق ایمیل با اینجانب ارتباط برقرار کنند.

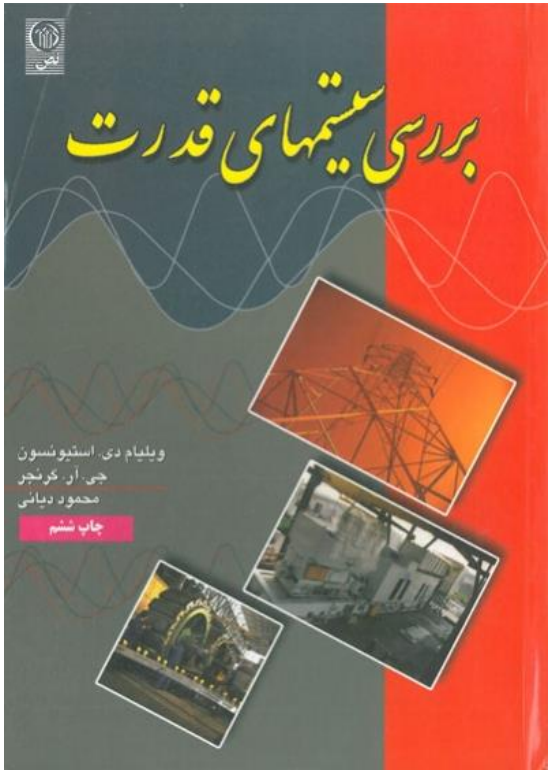
My Skype name: hojatrad

آرم دانشگاه فنی و حرفه ای: تصویر پروفایل

مراجع:



۱– بررسی سیستم قدرت (جلد اول)
مؤلف: هادی سعادت



۲– بررسی سیستم قدرت
مؤلفان: گرنجر و استیونسون

3- Power System Analysis and Design, By: Elgerd

4- Power System Analysis and Design, By: Glover and Sarma

بارم بندی:

بارم بندی				
پایان ترم	فعالیت های کلاسی (۵ نمره)			جمع بارم
	کوئیز	تمرین‌های تحویلی	پروژه	۲۰ نمره
۱۵نمره	۲ نمره	۲ نمره	۱ نمره	

توجه: نمره‌ی کوئیز دومین جلسه‌ی حضوری در سال ۹۹، جزو ۲ نمره‌ی کویز که در جدول بالا آمده است، نیست و آن کوئیز صرفاً برای راستی آزمایی تمرین‌های پاسخ داده شده توسط دانشجویان است.

توجه: در سومین جلسه‌ی حضوری در سال ۹۹، **اولین** کوئیز رسمی برگزار می‌شود که جزو ۲ نمره‌ی کویز که در جدول بالا آمده است، می‌باشد.

پروژه ها:

زمان های تحویل پروژه: اوایل خرداد ۱۳۹۹

۱- بررسی خطوط HVDC

۲- بررسی و تحلیل روش های تجدید آرایش شبکه های فشار متوسط (منبع: مقالات معتبر علمی)

۳- تشریح کامل روش پخش بار جاروب رفت و برگشت (backward forward power flow)(منبع: مقالات معتبر علمی)

۴- جبران سازی توان راکتیو در سیستم قدرت (منبع: مقالات معتبر علمی)

۵- نحوه‌ی بررسی و تحلیل خطاهای متقارن و نامتقارن در شبکه های قدرت (منبع: فصل ۹ و ۱۰، کتاب بررسی ۲ هادی سعادت جلد دوم)

۶- بررسی و تحلیل پایداری های ماندگار و گذرا در سیستم قدرت (منبع: فصل ۱۱ کتاب بررسی ۲ هادی سعادت جلد دوم)

۷- بررسی و تحلیل کنترل سیستم قدرت (منبع: فصل ۱۲ کتاب بررسی ۲ هادی سعادت جلد دوم)

۸- پخش بار بهینه (OPF) (منبع: مقالات علمی و فصل ۷ کتاب بررسی ۱ هادی سعادت جلد اول)

توجه: ارائه‌ی پروژه به صورت شفاهی (پرسش و پاسخ) است و احتیاجی به آماده کردن هیچ فایل الکترونیکی یا چاپ شده نیست.

توجه: احتیاجی به حفظ کردن هیچ متنی و مداری نیست و دانشجو می تواند در هنگام ارائه‌ی پروژه برای بیان پاسخ سوالات از منابع در دسترس خود استفاده کند. هدف از پروژه فهم مطالب مورد بحث است.

فهرست مطالب

جلسه اول

فصل اول:سیستم قدرت،مرور کلی

۱-۱ مقدمه

۱-۲ سیستم قدرت پیشرفته

۱-۲-۱ تولید

۱-۲-۲ انتقال وفوق توزیع

۱-۲-۳ توزیع

۱-۲-۴ بار

۱-۳ حفاظت سیستم

فصل دوم: تئوری توان در سیستم قدرت

فصل سوم: مدل های ژنراتور و ترانسفورماتور وسیستم پریونیت

فصل چهارم: آشنایی با پارامترها،مدل و عملکرد خط انتقال

فصل پنجم: تجزیه‌وتحلیل پخش بار

فصل اول

۱-۱- مقدمه

تاریخچه:

اولین شبکه برق: سال ۱۸۸۲در ایالت متحده و در شهر نیویورک توسط توماس ادیسون تأسیس شد.این شبکه،برق را به صورت dc و توسط ژنراتور dc تولید می کرد و از طریق خطوط زیر زمینی به مصرف کننده تحویل می داد .

مشکل اولین شبه برق: تلفات اهمی زیاد(RI^2) در ولتاژهای پایین داشت

لذا درفاصله کوتاهی از نیروگاه انرژی الکتریکی تحویل داده می شد.

*در سال ۱۸۸۵ ترانسفورماتور(افزایش سطح ac رابه همراه داشت) توسط ویلیام استانلی اختراع شد.

*با اختراع موتورالقایی در سال ۱۸۸۸ توسط تسلا سیستم توزیع ac گسترده تر شد.

*در ژنراتورهایdc به کموتاتور احتیاج است اما در ژنراتورهای ac به آن احتیاجی نیست لذا در سیستم های ac می توان قدرت بالاتر **تولید** کرد.

*شرکت ادیسون در سال۱۸۹۳ **اولین** سیستم سه فاز ac را با ولتاژ **2.3**kv نصب کرد

فصل اول

۱-۱- مقدمه

*در ابتدا تأسیس سیستم های قدرت فرکانس بین ۲۵Hz تا ۱۳۳ Hz، **متغیر** بود.

*نیاز به موازی کردن شبکه‌های قدرت باهم فرکانس ۶۰Hz توسط ایالت متحده و کانادا و فرکانس۵۰Hz توسط اکثر کشورهای اروپایی انتخاب شد .

*وقتی فاصله انتقال بیشتر از۵۰۰ Km باشد خطوط dc برای انتقال انرژی الکتریکی مناسب تر است.چون خطوط dc رکتانس ندارد لذا در مقایسه باهادی هم اندازه خطوط ac توانایی قدرت **بیشتری را دارد**.

سوال:مشکل اصلی خطوط انتقال dc چیست؟

مزایای سیستم قدرت به هم پیوسته:

۱-در اوج بار به ژنراتور کمتری احتیاج است

۲-اقتصادی تر است

۳-افزایش قابلیت اطمینان

فصل اول

۱-۲- سیستم قدرت پیشرفته

۱-۲-۱- تولید

عناصر اصلی سیستم های قدرت ژنراتور های سه فاز ac«انواع ژنراتور سنکرون(آلترناتور)»هستند

محور ژنراتور توسط یک محرک اولیه بعنوان منبع مکانیکی به چرخش در می آید

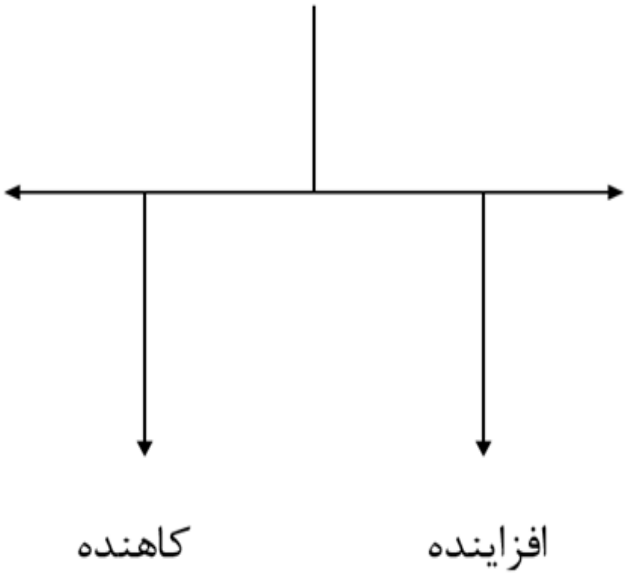
- توربین بخار
  - دارای سرعت بالا هستند و رتور آن از نوع استوانه ای است (دو قطب یا چهار قطب)
- توربین آبی
  - دارای سرعت کمی هستند و رتور آن از نوع قطب برجسته است و دارای چندین قطب هستند.

فصل اول

۱-۲- سیستم قدرت پیشرفته

۱-۲-۱- تولید

*عنصر مهم دیگر سیستم قدرت ترانسفورماتورها هستند.



برای انتقال قدرت به کار می رود وجریان ثانویه را به $\frac{1}{a}$ کاهش می دهد(کاهش تلفات)

قدرت را با بازده بسیار بالا از یک سطح ولتاژبه سطح ولتاژدیگری انتقال می دهد

فصل اول

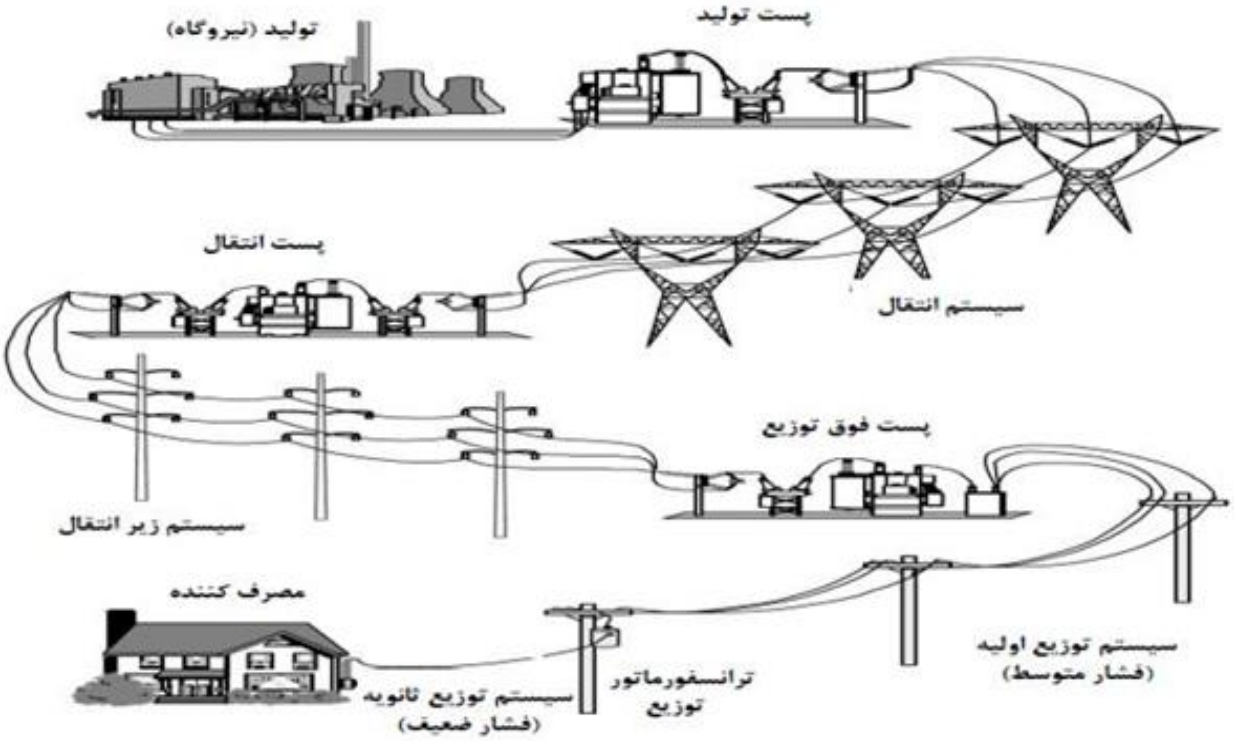
۱-۲- سیستم قدرت پیشرفته

۱-۲-۲- انتقال و فوق توزیع:

استاندارد ولتاژ های خط به خط:(در ایالات متحده)

۷۶۵ Kv ، ۵۰۰ ، ۳۴۵ ، ۲۳۰ ، ۱۶۱ ، ۱۳۸ ، ۱۱۵ ، ۶۹

*ولتاژهای بیش از ۲۳۰Kv به عنوان ولتاژ فوق فشار قوی(EHV) شناخته می شوند



شماتیکی از نحوه‌ی رسیدن برق به مصرف کننده‌ها

فصل اول

جلسه دوم

۱-۲- سیستم قدرت پیشرفته

۱-۲-۲- انتقال و فوق توزیع:

* بخشی از سیستم انتقال که پست‌های فشار قوی را از طریق ترانسفورماتورهای کاهنده به پست های توزیع وصل می کند شبکه فوق توزیع نامیده می شود.

*مرز مشخصی برای جداسازی سطوح ولتاژ انتقال و فوق توزیع وجود ندارد.برای مثال سطح ولتاژ فوق توزیع از ۶۹Kv الی ۱۳۸Kv قرار دارد.

*بار بعضی از مصرف کنندگان بزرگ از طریق سیستم فوق توزیع تأمین می گردد

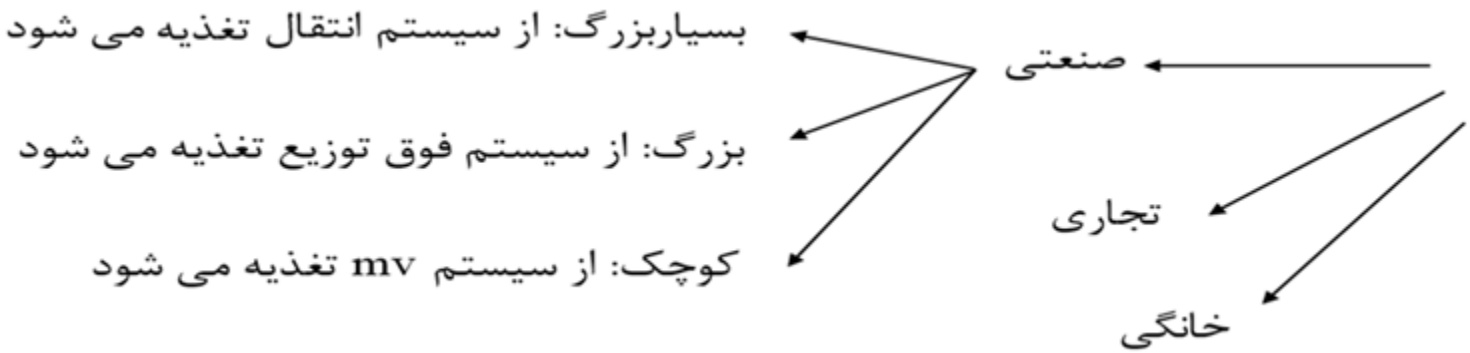
*برای حفظ ولتاژ خط انتقال معمولاً از بانک خازنی و راکتوری در پست ها نصب می شود

*معمولاً خطوط توزیع اولیه (فشار متوسط) در محدوده ۴Kv الی ۵/۳۴Kv می باشد

۱-۲-۳- سیستم توزیع

سیستم توزیع به دو صورت هوایی و زمینی تقسیم می شود

۱-۲-۴- بارها:



فصل اول

۱-۲- سیستم قدرت پیشرفته

۱-۲-۴- بارها:

*بارها ماهیت متغیر دارد،در طراحی شبکه قدرت مبحث پیش بینی بار مطرح است که از روش های نظیر شبکه های مصنوعی جهت پیش بنی بار استفاده شود

$$\text{ضریب استفاده} = \frac{\text{حداکثر تقاضا}}{\text{ظرفیت نصب شده}}$$

$$\text{ضریب بار روزانه} = \frac{\text{متوسط بار}}{\text{اوج بار}}$$

$$\text{ضریب بار سالانه} = \frac{\text{کل انرژی سالانه}}{\text{۸۷۶۰ ساعت} * \text{بار اوج}}$$

تمرین تحویلی ۱: انواع روش های تخمین بار (Load Estimation) را نام برده به طور مختصر شرح دهید. (به مقالات و منابع علمی مراجعه شود.)

فصل اول

۱-۳- حفاظت سیستم قدرت

انواع فیوزها ، انواع کلید قطع

*یک سیستم قدرت باید ایمن ، اقتصادی ، ومطمئن باشد

*برای طراحی مناسب باید تجزیه تحلیل زیادی انجام شود و عناصر و خطوط شبکه قدرت به درستی مدل شوند.

***تجزیه تحلیل شامل:**

-ارزیابی پارامترهای خط انتقال و عملکرد و جبران سازی آن

-تجزیه و تحلیل پخش بار

-برنامه ریزی اقتصادی بار

-تجزیه تحلیل حالت گذرای ماشین سنکرون

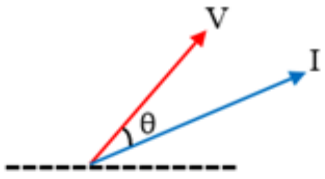
-خطاهای متقارن و نامتقارن

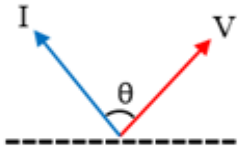
-مطالعات پایداری

-کنترل سیستم قدرت

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۱– انواع بار:





بار
- سلفی ← پس فاز :جریان عقب تر از ولتاژ است(θ مثبت است)
- خازنی ← پیش فاز:جریان جلوتر از ولتاژ است(θ منفی است)
- مقاومتی

بار $Z=R+JX$

$\theta=\theta_V-\theta_I$:زاویه بین V و I(معروف به زاویه امپدانس)

بار
- مؤلفه اهمی ← مؤلفه حقیقی:توان حقیقی(اکتیو) توسط مؤلفه اهمی بار جذب می شود
- مؤلفه خازنی ← مؤلفه موهومی: باعث مطرح شدن توان موهومی توان اکتیو می شود

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

جلسه سوم

۲– معرفی توان ها در سیستم قدرت:

توانی است حقیقی و مفید، که توسط مولفه‌ی اهمی (مقاومتی) بار جذب می‌شود.

توان است **مجازی**، که توسط مولفه **موهومی** (القایی یا خازنی) بار **گرفته** و **برگشت** داده می‌شود.

توان اکتیو:P

توان راکتیو:Q

ناشی ازبار سلفی(القایی):علامتQ مثبت است.

ناشی ازبار خازنی:علامتQ منفی است.

متوسط توان راکتیو صفر است .یعنی در بازه ای از زمان تولید ودر بازه‌ای دیگر مصرف می شود .پس Q توان مجازی است در کل کاری انجام نمی دهد ولی در سیستم قدرت درحال گردش است.

واحد توان راکتیو و اکتیو یکی است. ولی برای تمایز،توان راکتیو بر حسب وار(var)(ولت آمپر راکتیو) بیان می شود.

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

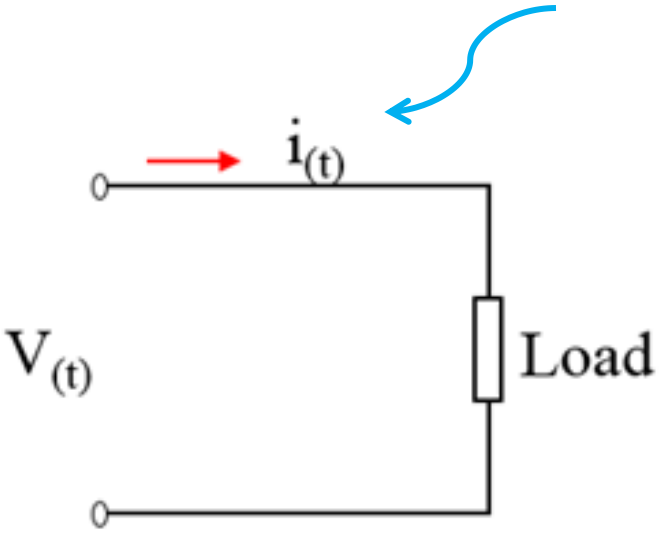
۲– معرفی توان ها در سیستم قدرت:

❊نوع بار ها و وجود خاصیت های سلفی وخازنی در خطوط انتقال به توان راکتیو معنا می دهد .پس اگر تمامی بار ها کاملاً اهمی خالص فرض شوند واز خاصیت سلفی یا خازنی صرف نظر شود توان راکتیو معنا نمی یافت.بنابراین مفهوم توان راکتیو برای نمایش کمیت توان الکتریکی حاصل از همفاز بودن نبودن جریان بار با ولتاژ شبکه تعریف می شود.

۲–۱– توان در مدارهای متناوب تکفاز:

نکته مهم: اگر بار مقاومتی خالص باشد انرژی الکتریکی به انرژی حراراتی تبدیل می‌شود و اگر القایی خالص یا خازنی خالص باشد تبدیل انرژی الکتریکی به غیر الکتریکی انجام نمی‌شود و توان لحظه‌ای بین مدار و منبع نوسان می‌کند.

یک مدار یکفاز با ولتاژ سینوسی در حال تغذیه یک بار تکفاز



جریان و ولتاژ لحظه ای

$$\begin{cases} V_{(t)} = V_{(m)} \cdot \cos(w_t + \theta_v) \\ i_{(t)} = I_m \cdot \cos(w_t + \theta_i) \end{cases}$$

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۲– معرفی توان ها در سیستم قدرت:

۲–۱– توان در مدارهای متناوب تکفاز:

توان لحظه ای تحویل داده شده به بار: $p_{(t)} = v_{(t)} \cdot i_{(t)} = I_m V_m \cos(w_{t+}\theta_v) \cdot \cos(w_{t+}\theta_i)$

$$p(t) = \underbrace{|V||I| \cos\theta[1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)]}_{p_R(t)} + \underbrace{|V||I| \sin\theta \sin 2(\omega t + \theta_v)}_{p_X(t)} \qquad (2.5)$$

$p_R(t)$: Energy flow into the circuit

$p_X(t)$: Energy borrowed and returned by the circuit

$$p_R(t) = |V||I| \cos\theta + |V||I| \cos\theta \cos 2(\omega t + \theta_v)] \qquad (2.6)$$

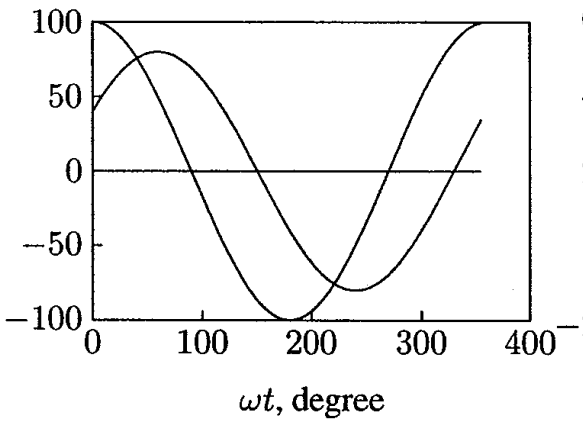
$$p_X(t) = |V||I| \sin\theta \sin 2(\omega t + \theta_v) \qquad (2.8)$$

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

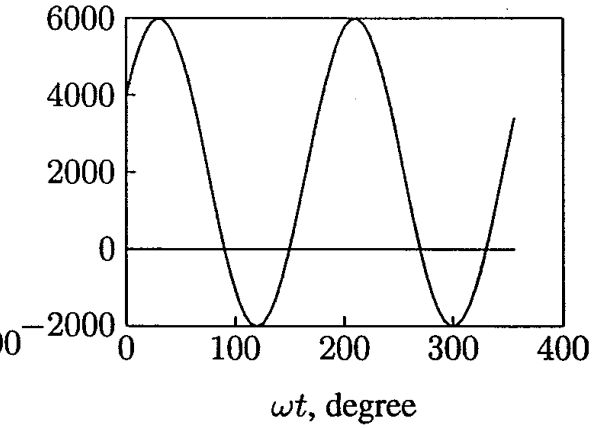
۲– معرفی توان ها در سیستم قدرت:

۲–۱– توان در مدارهای متناوب تکفاز:

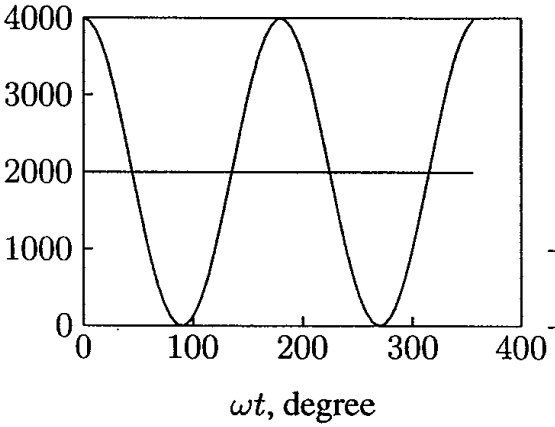
$v(t) = V_m \cos \omega t,\ i(t) = I_m \cos(\omega t - 60)$



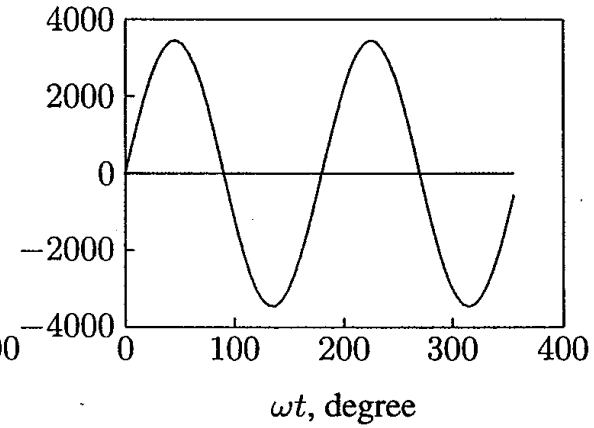
$p(t) = v(t)i(t)$



$p_r(t)$, Eq. 2.6



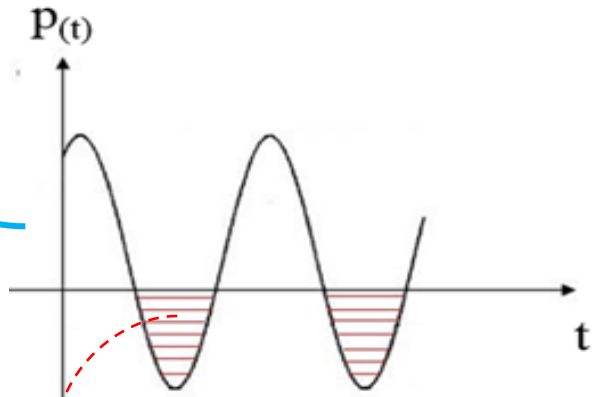
$p_x(t)$, Eq. 2.8



فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۲–۱– توان در مدارهای متناوب تکفاز:

توان لحظه ای تحویل داده شده به بار: $p_{(t)} = v_{(t)} \cdot i_{(t)} = I_m V_m \cos(w_{t+}\theta_v) \cdot \cos(w_{t+}\theta_i)$



سه نکته مهم:

۱-توان لحظه ای در حالت تکفاز نسبت به زمان نوسان دارد

۲-فرکانس توان لحظه ای در حالت تکفاز دو برابر فرکانس منبع است

۳-توان برای قسمتی از سیکل منفی است (در یک شبکه غیر فعال توان منفی به منزله جذب انرژی ذخیره شده در سلف ها و خازن ها می باشد

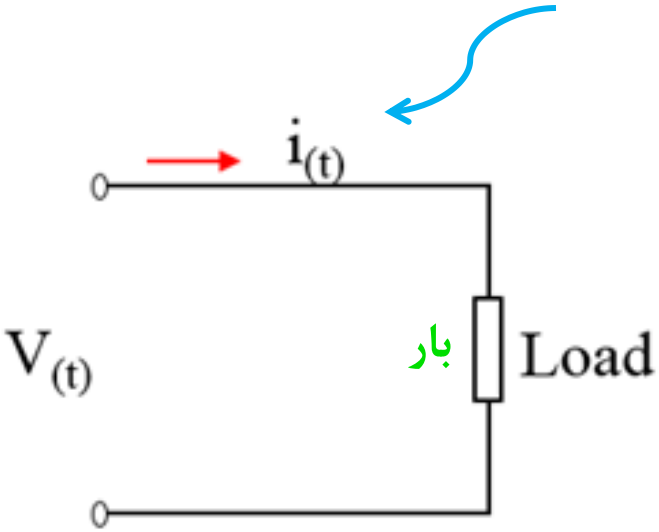
فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۲–۱– توان در مدارهای متناوب تکفاز:

یادآوری دوباره:

نکته مهم: اگر بار القایی خالص باشد (R=0)

یک مدار یکفاز با ولتاژ سینوسی در حال تغذیه یک بار تکفاز



اگر $p(t)>0$ باشد، قاعدتاً انرژی استفاده شده است، اما انرژی در بار القایی ذخیره شده و استفاده نشده است.

اگر $p(t)<0$ باشد، قاعدتاً انرژی تولید شده است. اما در حقیقت تولید نشده است بلکه انرژی از میدان مغناطیسی بار القایی جذب شده است.

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۲-۱- توان در مدارهای متناوب تکفاز:

$|v| = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$:مقدار مؤثر $v_{(t)}$ (rms)

rms:جذرمیانگین مربعات

۲-۲- توان لحظه ای:

$P_{(t)} = P_{R(t)} + P_{X(t)}$ توان لحظه ای

برای عنصر راکتیو(سلفی خازنی):$Q = |V|.|I|.\sin\theta$

$P = |V|.|I|.\cos\theta$:توان اکتیو (توان متوسط) یا توان داده شده به بار

توان گرفته شده و برگشت داده شده توسط مدار

این توان توسط مؤلفه اهمی بار جذب می شود.

۲-۳- توان ظاهری:

حاصل ضرب مقدار مؤثر ولتاژ ومقار مؤثر جریان($|V|.|I|$)را گویند.

$|S| = |V|.|I|$:توان ظاهری (برحسب ولت آمپر بیان می شود و نشان دهنده مستقیم گرمایش بوده و به عنوان مقدار نامی وسایل برقی بکار می رود)

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۲-۳- توان ظاهری:

Q مثبت، یعنی بار القایی

Q منفی، یعنی بار خازنی

Q :توان راکتیو $= \text{توان ظاهری} * sin\theta$

توان اکتیو P=توان ظاهری * cosθ

جریان عقب تر از ولتاژ:پس فاز

جریان جلوتر از ولتاژ:پیش فاز

توان نامی وسائل برقی

نشان دهنده مستقیم گرمایش در وسائل برقی

نقش کلیدی در توان متوسط دارد

معروف به ضریب قدرت

(زاویه امپدانس) $\theta = \theta_v - \theta_i$

*بار مقاوتی خالص: (θ= 0) ← یعنی زاویه بین V و I وجود ندارد (هم فازند)

cos=۱ (ضریب قدرت) پس در بار مقاومتی توان ظاهری و حقیقی با هم برابراند.

انرژی الکتریکی در باراهمی خالص به انرژی حرارتی تبدیل می شود.

***بار القایی خالص**: جریان ۹۰° از ولتاژ عقب است(پس فاز) cos۹۰° (توان متوسط صفر است.انرژی الکتریکی به غیر الکتریکی تبدیل نمی شود)

توان لحظه ای در پایانه های مدار القایی خالص بین مدار ومنبع نوسان می نماید.وقتی $p_{(t)}$ مثبت است انرژی در میدان مغناطیسی عناصر القایی ذخیره شده و وقتی $p_{(t)}$ منفی است انرژی از میدان مغناطسی عناصر القایی جذب می شود

***بار خازنی خالص**:جریان ۹۰° از ولتاژ جلو تر است(پیش فاز) و بقیه مطالب مشابه بار القایی می باشد

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۲-۴- توان مختلط:

مقادیر مؤثر فازوری ولتاژ و جریان:

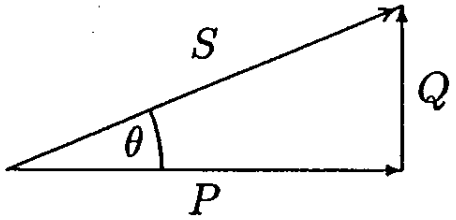
$V=|V|<\theta$

$I=|I|<\theta_I$

بار القایی

مثلث توان

$$\theta = \theta_v - \theta_i$$



$$S=V.\ I^*=|V|.|I|<\theta=|V|.|I|.\cos\theta+j|V|.|I|.\sin\theta=P+JQ$$

|S|: ظاهری توان Z: امپدانس بار $\longrightarrow$ $V=Z.\ I \longrightarrow S=V.I^*=ZI.\ I^*=R|I|^2+JX|I|^2$

$$S=V.I^*=\frac{|V|^2}{Z^*} \longrightarrow Z=\frac{|V|^2}{S^*}$$

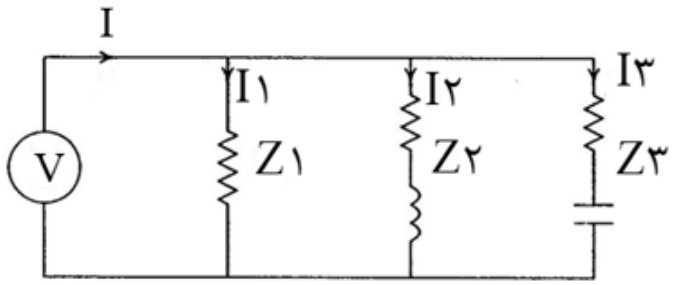
نتیجه گیری: توان مختلط S و امپدانس Z دارای زاویه یکسان می باشند.(زاویه امپدانس گاهی زاویه توان نامیده می شود)

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۲-۴- توان مختلط:

۲-۴-۱- توازن توان مختلط:

کل توان مختلط داده شده به بارهای موازی بنابر مجموع توان های مختلط داده شده به هر یک از آنها می باشد.



نکته: ضریب قدرت کمتر از یک به نفع یا ضرر شرکت توزیع برق است؟

نکته:P=V.I.cosθ ⟶ If cosθ < ۱ ⟶ |S| = |V|.|I| > P ⟶ I

تحویل جریان بیشتر(ضررشرکت برق) در PF < ۱ نسبت به حالت PF = ۱

توان متوسط

ضریب توان کم

پس شرکت برق نمی تواند بدون دریافت هزینه اضافی ، جریان بیشتری تحویل دهد

راه حل: اصلاح ضریب قدرت

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۳– اصلاح ضریب قدرت:

بارهای صنعتی القایی می باشند و دارای ضریب قدرت پایین پس فاز می باشند

پس برای جبران PF(cos θ)باید از بانک خازنی استفاده شود

یادآوری: *تبدیل دکارتی به قطبی و بالعکس*

یادآوری : $Z=x+jy=r(\cos\theta+j\sin\theta)=|r|<\theta=(\sqrt{x^2+y^2})<\tan^{-1}\frac{y}{x}$ ؛

$$\begin{cases} r=\sqrt{x^2+y^2} \\ \theta=\tan^{-1}\dfrac{y}{x} \end{cases}$$

یادآوری: *نوشتن اعداد مختلط کسری به فرم استاندارد، به عنوان مثال:*

$$\frac{۲۰۰}{۱۰+j۲۰}$$

$$\frac{۲۰۰}{۱۰+j۲۰}=\frac{۲۰۰<۰}{۱۰+j۲۰}*\frac{۱۰-j۲۰}{۱۰-j۲۰}=\frac{۲۰۰(۱۰-j۲۰)}{۱۰^۲-j^۲۲۰^۲}=\frac{۲۰۰(۱۰-j۲۰)}{۱۰۰+۴۰۰}$$

$$=\frac{۲۰۰}{۵۰۰}(۱۰-j۲۰)=\frac{۲}{۵}(۱۰-j۲۰)=\frac{۲}{۵}*۱۰+\frac{۲}{۵}(-j۲۰)=۴-j۸$$

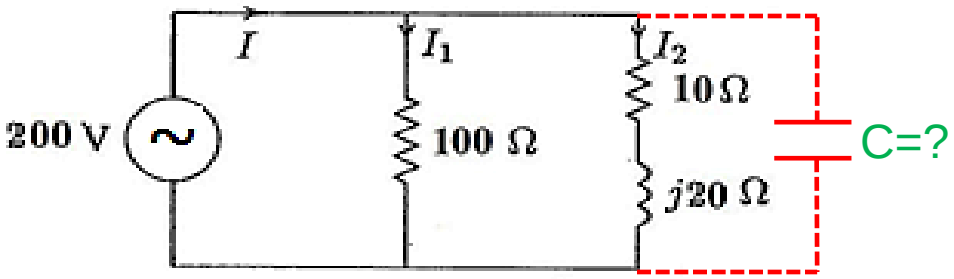
فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۳- اصلاح ضریب قدرت:

مثال عددی: دو بار به منبعی با ولتاژ ولت ۲۰۰ و فرکانس ۶۰ هرتز مطابق شکل زیر متصل شده اند. مطلوبست:

الف) محاسبه‌ی توان های اکتیو و راکتیو کل و ضریب قدرت منبع و جریان کل.

ب) جهت اصلاح ضریب قدرت به ۰/۸، خازنی به دو سر بارها متصل می‌شود ظرفیت خازن را محاسبه کنید.



نکته‌ی کلی: به طورکلی در حل یک مساله ابتدا باید بر اساس مجهولات خواسته شده، فرمول های موجود نوشته شوند و بر اساس آن نقشه ی راه مشخص شود.

مجهولات قسمت الف مساله P، Q، PF و I کل هستند. روابط زیر را برای حل مساله داریم:

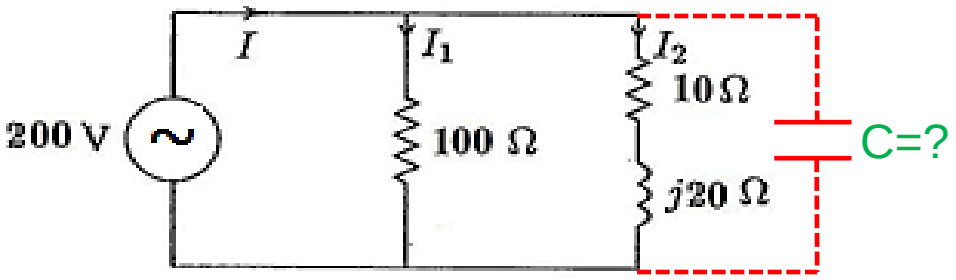
$$P = V.I.\cos\theta$$
$$Q = V.I.\sin\theta$$
$$S=V.I^*=P+jQ$$

حل مثال:

سر راست ترین راهی که به ذهن می رسد این است که با توجه به معلوم بودن V در هر دو بار، توان مختلط بار شماره ۱ و ۲ را طبق رابطه ی $S=V.I^*$ بدست آوریم؛ واضح است که جریان هر یک از بارها طبق قانون اهم بدست می آیند. در ادامه، بر اساس قضیه توازن توان مختلط می توانیم S کل را بدست آوریم. S کل ماهیتی مختلط دارد که طبق رابطه‌ی $S=P+jQ$ قسمت حقیقی آن برابر P کل و قسمت موهومی آن برابر Q کل است. در ضمن با مشخص شدن S کل و معلوم بودن V می‌توان طبق رابطه ی $S=V.I^*$ ، جریان کل را نیز بدست آورد.

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۳– اصلاح ضریب قدرت:



مثال عددی: دو بار به منبعی با ولتاژ ولت ۲۰۰ و فرکانس ۶۰ هرتز مطابق شکل زیر متصل شده اند. مطلوبست:

الف) محاسبه‌ی توان های اکتیو و راکتیو **کل** و ضریب قدرت **منبع** و جریان کل.

ب) جهت **اصلاح** ضریب قدرت به ۰/۸، خازنی به دو سر بارها متصل می‌شود ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

حل الف:

خودمان به دلخواه صفر انتخاب می کنیم. چرا؟

قانون اهم : $I_1=\frac{200\angle 0}{100}=2\angle 0 \quad A \qquad , \quad I_2=\frac{200\angle 0}{10+j20}=---=4-j8 \quad A$

$$\begin{cases} S_1 = V_1 I_1^* = 200\angle 0(2-j0) = 400^{\text{وات}} + j0^{\text{وار}} \longrightarrow \begin{cases} S_1 = 400^w + j0^{Var} \\ S_2 = 800^w + j1600^{Var} \end{cases} \\ S_2 = V_2 I_2^* = 200\angle 0(4+j8) = 800^w + j1600^{Var} \end{cases}$$

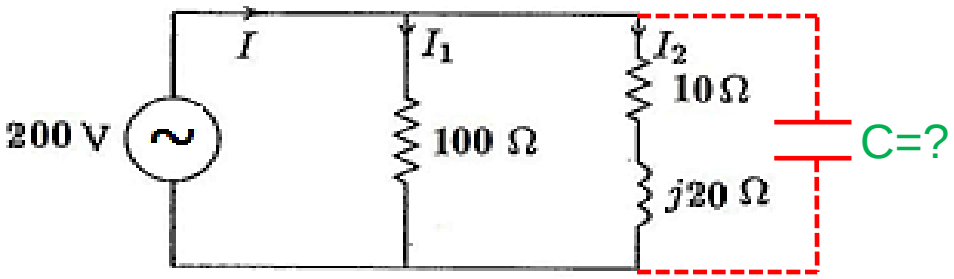
S_1

$P_{\text{منبع}} = 1200^w, \quad Q_{\text{منبع}} = 1600^w$

$$S_{\text{منبع}} = P + jQ = \sqrt{1200^2 + 1600^2}\angle tan^{-1}\frac{1200}{1600} = 2000\angle 53.13°$$

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۳- اصلاح ضریب قدرت:



مثال عددی: **دو بار** به منبعی با ولتاژ ولت ۲۰۰ و فرکانس ۶۰ هرتز مطابق شکل زیر متصل شده اند. مطلوبست:

الف) محاسبه‌ی توان های اکتیو و راکتیو **کل** و ضریب قدرت **منبع** و جریان کل.

ب) جهت **اصلاح** ضریب قدرت به ۰/۸، خازنی به دو سر بارها متصل می‌شود ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

$$\theta = \theta_v - \theta_i$$

$$S_{\text{منبع}} = 2000\angle 53.13^\circ \text{ V.A}$$

حل الف:

توجه: زاویه ۵۳/۱۳ درجه، اختلاف زاویه بین ولتاژ و جریان است. با توجه به اینکه زاویه ولتاژ به دلخواه صفر انتخاب شد؛ لذا ۵۳/۱۳ مقدار تتا است.

$$PF = cos\theta = cos53.13^\circ = 0.6 \ \ Lag$$

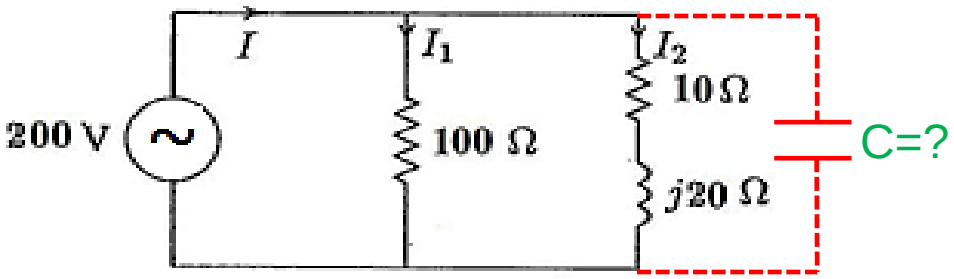
- در ادامه جریان کل را محاسبه می کنیم:

$$S_{\text{منبع}} = V_{\text{منبع}} I^*_{\text{منبع}} \rightarrow I^*_{\text{منبع}} = \frac{S_{\text{منبع}}}{V_{\text{منبع}}} = \frac{2000\angle 53.13^\circ}{200\angle 0} = 10\angle 53.13^\circ \rightarrow I^*_{\text{منبع}} = 10\angle 53.13^\circ$$

$$I_{\text{منبع}} = (10\angle 53.13^\circ)^* = 10\angle -53.13^\circ \ A$$

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۳– اصلاح ضریب قدرت:



مثال عددی: دو بار به منبعی با ولتاژ ولت ۲۰۰ و فرکانس ۶۰ هرتز مطابق شکل زیر متصل شده اند. مطلوبست:

الف) محاسبه‌ی توان های اکتیو و راکتیو **کل** و ضریب قدرت **منبع** و جریان کل.

ب) جهت **اصلاح** ضریب قدرت به ۰/۸، خازنی به دو سر بارها متصل می‌شود ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

حل ب:

$$PF_{new} = 0.8 = cos\theta_{new} \rightarrow \theta_{new} = \cos^{-1} 0.8 = 36.87°$$

توجه: اضافه کردن یک خازن به عنوان یک عنصر موهومی فقط برروی توان راکتیو تاثیر می گذارد و توان اکتیو ثابت خواهد بود.

$$\begin{cases} P = VIcos\theta \\ Q = VIsin\theta \end{cases} \rightarrow \frac{Q}{P} = \frac{VIsin\theta}{VIcos\theta} = \frac{sin\theta}{cos\theta} = tan\theta \rightarrow \frac{Q_{new}}{1200} = tan36.87° \rightarrow Q_{new} = 1200 \times \tan(36.87°) = 900 \ \ VAR$$

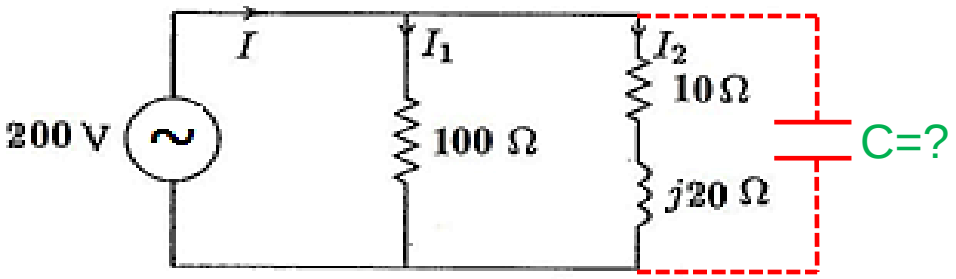
$$Q_{new} = 900 \ \ VAR$$

توان راکتیوی که باید توسط خازن تأمین شود:

$$Q_c = 1600 - 900 = 700 \ \ VAR$$

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۳– اصلاح ضریب قدرت:



مثال عددی: **دو بار** به منبعی با ولتاژ ولت ۲۰۰ و فرکانس ۶۰ هرتز مطابق شکل زیر متصل شده اند. مطلوبست:

الف) محاسبه‌ی توان های اکتیو و راکتیو **کل** و ضریب قدرت **منبع** و جریان کل.

ب) جهت **اصلاح** ضریب قدرت به ۰/۸، خازنی به دو سر بارها متصل می‌شود ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

حل ب: در ادامه ظرفیت خازن معادل توان ۷۰۰ وار محاسبه می شود:

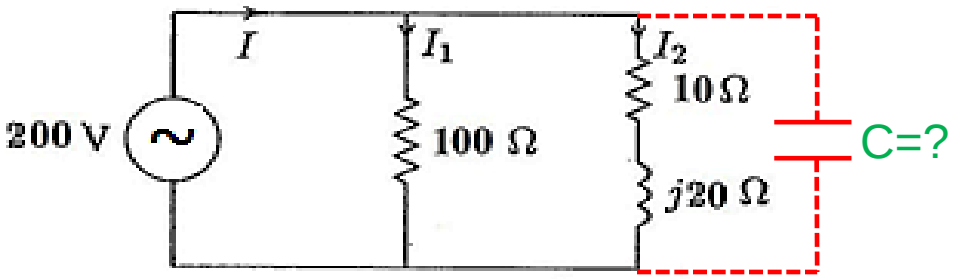
$$Z_c = \frac{|V|^2}{S_c^*} = \frac{200^2}{(-j700)^*} = -j57.14\ \Omega = 0 - jX_c \rightarrow X_c = 57.14\ \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{j\omega c} \rightarrow c = \frac{1}{j\omega X_c} = \frac{1}{2\pi f\,(57.14)} = \frac{1}{2\pi 60\,(57.14)} \quad \text{فاراد} \rightarrow c = 46.42\ \mu F$$

توجه: خازن با ظرفیت ۴۶/۴۲ میکروفاراد، ۷۰۰ VAR توان راکتیو مورد نیاز را تامین می‌کند. درمجموع بارهای مدار ۱۶۰۰ VAR احتیاج داشتند که مجبور بودن از منبع (شبکه) دریافت کنند. با توجه به ضریب قدرت ۰/۶ که ضریب توان پایینی بود جریان ۱۰ A از منبع کشیده می‌شد. حال با وجود خازنی که توان راکتیو ۷۰۰AVR را تامین می‌کند، بارها از منبع ۹۰۰ AVR توان راکتیو خواهند کشید. در ادامه، جریان کشیده شده از منبع را با حضور خازن محاسبه می‌کنیم:

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۳– اصلاح ضریب قدرت:



مثال عددی: **دو بار** به منبعی با ولتاژ ولت ۲۰۰ و فرکانس ۶۰ هرتز مطابق شکل زیر متصل شده اند. مطلوبست:

الف) محاسبه‌ی توان های اکتیو و راکتیو **کل** و ضریب قدرت **منبع** و جریان کل.

ب) جهت **اصلاح** ضریب قدرت به ۰/۸، خازنی به دو سر بارها متصل می‌شود ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

حل ب:

محاسبه جریان کشیده شده از منبع با حضور خازن:

$$S_{new} = P + jSQ_{new} = 1200 + j900 = 1500\angle 36.87^\circ \text{ V.A}$$

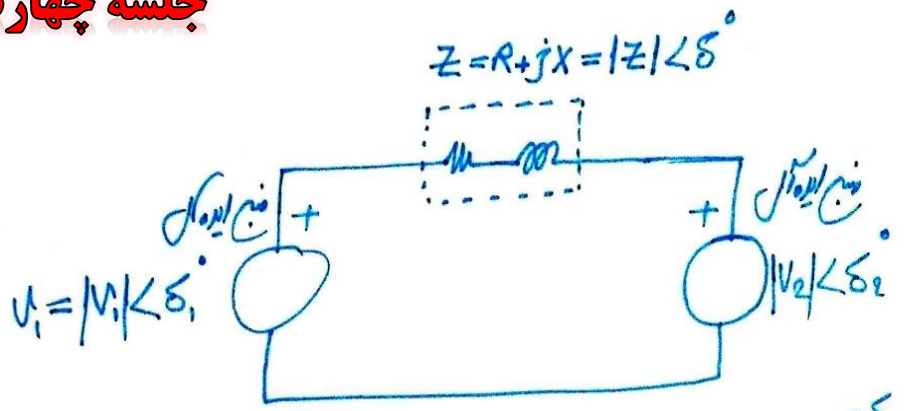
$$I^*_{new} = \frac{S_{new}}{V} = \frac{1500\angle 36.87^\circ}{200\angle 0^\circ} = 7.5\angle 36.87^\circ \rightarrow I_{new} = 7.5\angle -36.87^\circ$$

جریان کشیده شده از منبع با حضور **خازن** از ۱۰ آمپر به ۷/۵ آمپر **کاهش** یافت. این مهم به لطف تصحیح زاویه تتا بود که بهبود ضریب قدرت منبع را به دنبال داشت. توان راکتیو اضافه، باعث اضافه جریانی شد که آن اضافه جریان، توان مفیدی را باعث نمی‌شد.

جلسه چهارم

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۴– پخش توان مختلط:



$\delta \triangleq \delta_1 - \delta_2$

$$P_{12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X} \cdot \sin(\underbrace{\delta_1 - \delta_2}_{=\delta}) \quad (1)$$

$$Q_{12} = \frac{|V_1|}{X} \cdot \left(|V_1| - |V_2| \cos(\delta_1 - \delta_2)\right) \quad (2)$$

$R \simeq 0 \rightarrow$ ↑

نکته: مقاومت خطوط انتقال در قدرتهای قدرت در مقایسه با راکتانس آن ها کوچک است یعنی نسبت $\frac{R}{X}$ کم است.

از رابطه (۱) نشان می دهد تغییرات کوچک δ_1 و δ_2 اثر قابل توجهی در پخش توان حقیقی (P) دارد. در حالیکه تغییرات کوچک در دامنه ولتاژها اثر محسوسی در پخش توان حقیقی ندارد. ← P در یک خط انتقال بوسیله اختلاف فاز ولتاژ پایانه ها یعنی $(\delta_1 - \delta_2)$ کنترل می شود.

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۴– پخش توان مختلط:

$$P \propto (\delta_1 - \delta_2) \text{ or } \delta$$
$$Q \propto (|V_1| - |V_2|) \text{ or } (|V| - |E|)$$

چگونگی شارش P ←
- اگر زاویه بزرگتر از صفر باشد یعنی $\delta_1 > \delta_2$ پس δ مثبت است و جهت شارش P از منبع یکم به منبع (2) می باشد.
- اگر زاویه کوچکتر از صفر باشد یعنی $\delta_1 < \delta_2$ پس δ منفی است و جهت شارش P از منبع (2) به منبع (1) می باشد.

$$\text{if } R=0 \xrightarrow{P_{max} \to \delta = 90^\circ} P_{max} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X}$$

- با بسته (2) نشان می دهد پخش Q بوسیله اختلاف اندازه ولتاژها تعیین می گردد یعنی $Q \propto |V_1| - |V_2|$

سؤال ۱) روابط ① و ② با توجه به تابعیت توان مختلط بدست آورید.

سؤال ۲) با توجه به تابعیت (2) بیان بهبود سطح ولتاژ در sys قدرت چه اقداماتی باید صورت گیرد؟

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

تمرین تحویلی ۲: چه رابطه‌ای بین توان راکتیو و توان مختلط برقرار است؟

تمرین تحویلی ۳: توان راکتیو در سیستم قدرت وجود دارد و مقدار متوسط آن صفر است. حضور توان راکتیو در یک سیستم قدرت چه معایب و فوایدی دارد؟ (موارد را با ذکر دلیل بیان کنید.)

تمرین تحویلی ۴: فرق توان اکتیو و راکتیو چیست؟

تمرین تحویلی ۵: منظور از اصلاح ضریب قدرت چیست؟ و نتیجه‌ی این اصلاح را بیان کنید؟

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۵– مدارهای سه فاز متعادل:

تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی بوسیله ی مدارهای سه فاز انجام می شود.

در نیروگاه ها سه ولتاژ سینوسی با دامنه یکسان اما با اختلاف زاویه ۱۲۰ درجه تولید می شوند که منابع متعادل نامیده می شوند.

$$\begin{cases} V_{an} = |V_p| \angle 0^\circ \\ V_{bn} = |V_p| \angle -120^\circ \\ V_{cn} = |V_p| \angle -240^\circ \end{cases}$$

توالی ABC را توالی فاز مثبت می گویند.

توالی ACB را توالی فاز منفی می گویند.

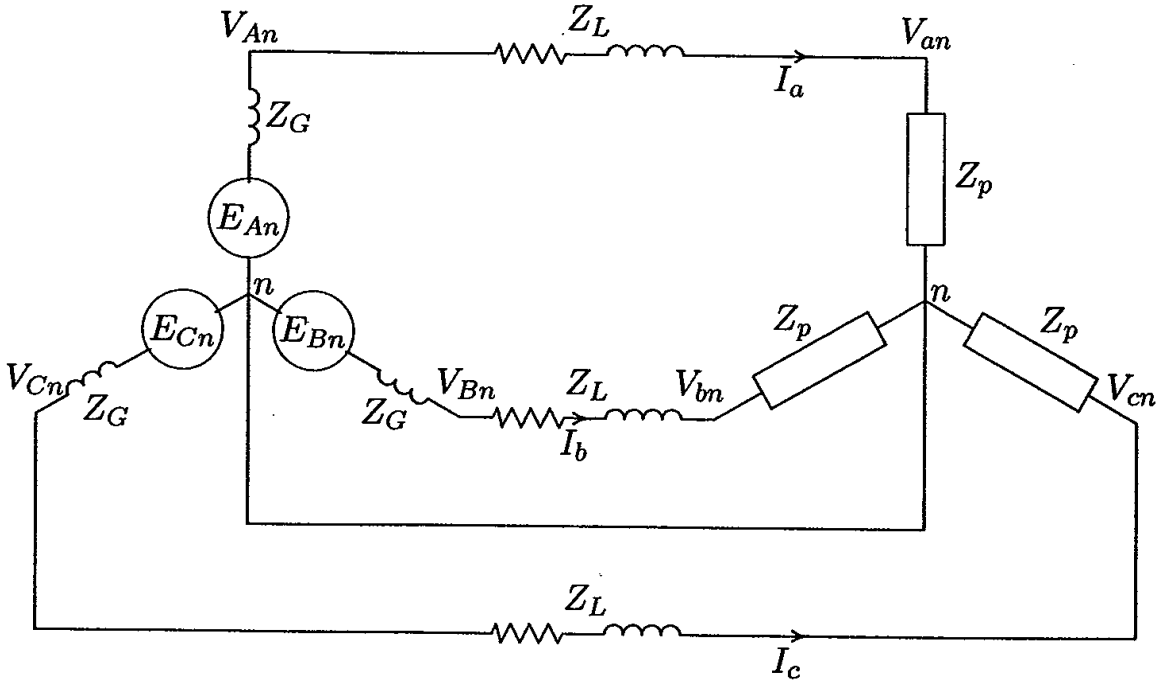
۵-۱- مقایسه ی سیستم قدرت سه فاز با تکفاز:

همانطور که قبلا اشاره شد توان لحظه ای تحویل داده شده به بارها در مدارهای تکفاز ضربانی است. اما در سیستم قدرت سه فاز ثابت است . هم چنین، موتورهای سه فاز دارای گشتاور ثابت هستند و راه اندازی و کار کرد آنها بهتر از موتور های یکفاز است. این ویژگی توان سه فاز همراه با بازده‌ی ذاتی بهتر انتقال آنها، در مقایسه با مدارهای یکفاز (کابل کمتر در توان تحویلی یکسان) دلیل عمومی کاربرد آن است.

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۵-۲- ساختار سیستم سه فاز :

در یک سیستم قدرت سه فاز ارایش ژنراتور ها و بارها بصورت دو آرایش و مثلث هستند. اتصال ژنراتور ها بصورت ستاره است و به ندرت دارای اتصال مثلث هستند. زیرا اگر ولتاژها کاملاً متعادل نباشند جمع برداری ولتاژها صفر نخواهد بود و جریان گردش در داخل مثلث بوجود خواهد آمد. همچنین ولتاژ در حالت ستاره کمتر از مثلث است. پس در حالت ستاره عایق بندی کمتر مورد نیاز است.



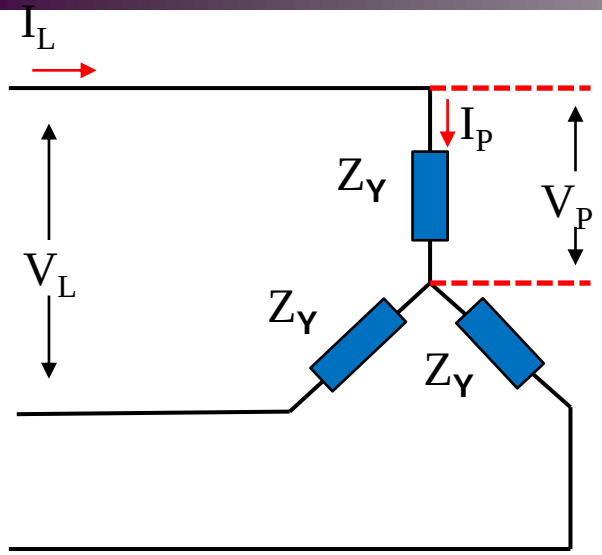
نمایش یک ژنراتور با اتصال ستاره که یک بار ستاره را تغذیه می کند:

$$|V_p| = |V_L|/\sqrt{3}$$

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۵-۲- ساختار سیستم سه فاز :

۵-۲-۱- اتصال ستاره:



$$\begin{cases} V_{an} = |V_p|\angle 0° \\ V_{bn} = |V_p|\angle -120° \\ V_{cn} = |V_p|\angle -240° \end{cases}$$

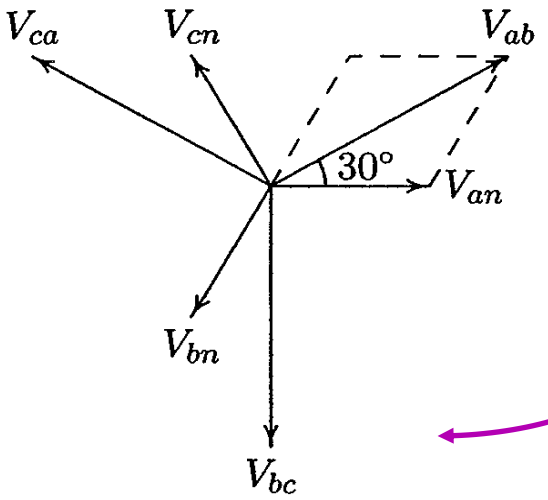
$$I_L = I_p$$

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = |V_p|(1\angle 0° - 1\angle -120°) = \sqrt{3}|V_p|\angle 30°$$
$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = |V_p|(1\angle -120° - 1\angle -240°) = \sqrt{3}|V_p|\angle -90°$$
$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = |V_p|(1\angle -240° - 1\angle 0°) = \sqrt{3}|V_p|\angle 150°$$

$$V_L = \sqrt{3}\,|V_p|\angle 30°$$

ولتاژ خط ← ولتاژ خط به خط (VL) ، Vab، Vbc و Vca

ولتاژ فاز ← ولتاژ خط به خنثی (Vp) ، Van، Vbn و Vcn

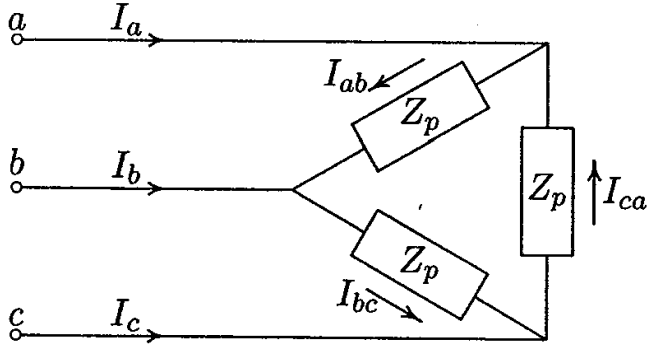


دیاگرام برداری ولتاژ خط و فاز در آرایش ستاره

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۵-۲- ساختار سیستم سه فاز :

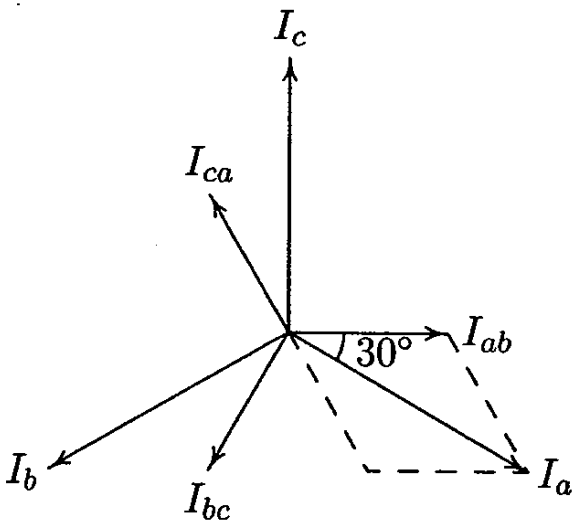
۵-۲-۱- اتصال مثلث:



جریان فاز ← Ip ، Iab، Ibc و Ica

جریان خط ← IL ، Ia، Ib و Ic

$$I_a = I_{ab} - I_{ca} = |I_p|(1\angle 0° - 1\angle -240°) = \sqrt{3}|I_p|\angle -30°$$
$$I_b = I_{bc} - I_{ab} = |I_p|(1\angle -120° - 1\angle 0°) = \sqrt{3}|I_p|\angle -150°$$
$$I_c = I_{ca} - I_{bc} = |I_p|(1\angle -240° - 1\angle -120°) = \sqrt{3}|I_p|\angle 90°$$



$$I_{ab} = |I_p|\angle 0°$$
$$I_{bc} = |I_p|\angle -120°$$
$$I_{ca} = |I_p|\angle -240°$$

$$I_L = \sqrt{3}|I_p|\angle -30°$$

$$V_L = V_p$$

دیاگرام برداری جریان خط و فاز در آرایش مثلث

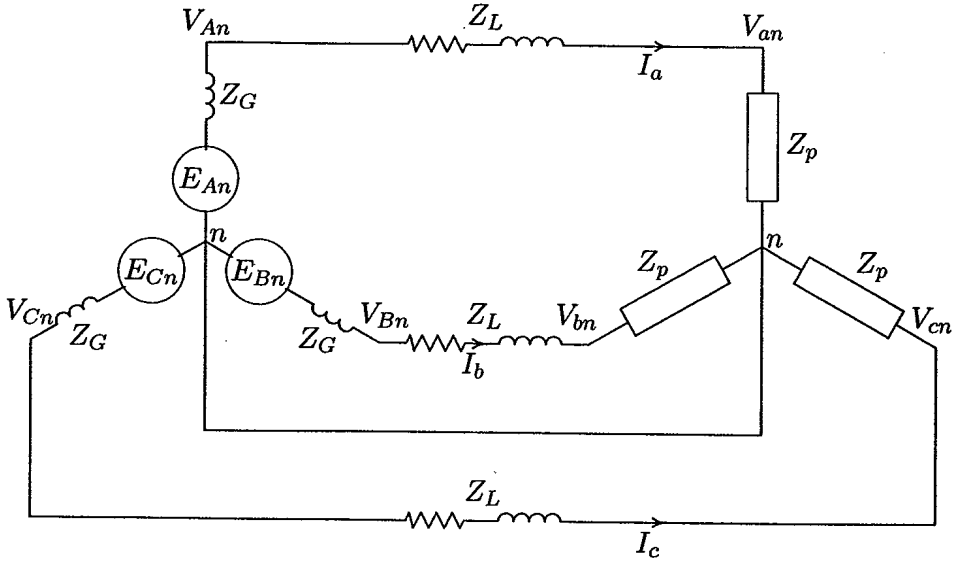
فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

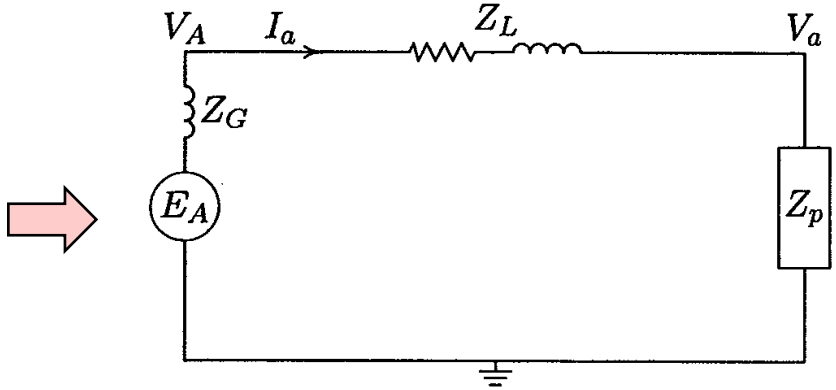
۵-۲- ساختار سیستم سه فاز :

- رابطه بین امپدانس اتصال ستاره و مثلث در حالت متعادل:

$$Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3}$$

نکته: درتجزیه و تحلیل سه فاز، منبع و بار را به ستاره تبدیل می کنیم و تجزیه تحلیل را براساس هر فاز انجام می دهیم که به صورت زیراست:





فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۵-۳- توان در مدارهای سه فاز متعادل:

- وقتی توان ها بر حسب خط بیان می شوند دیگر فرقی بین Y و Δ نیست.

$$\begin{cases} P_{3\phi} = 3|V_p||I_p|\cos\theta \\ Q_{3\phi} = 3|V_p||I_p|\sin\theta \end{cases} \qquad \begin{cases} P_{3\phi} = \sqrt{3}|V_L||I_L|\cos\theta \\ Q_{3\phi} = \sqrt{3}|V_L||I_L|\sin\theta \end{cases}$$

$$S_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3}\phi$$

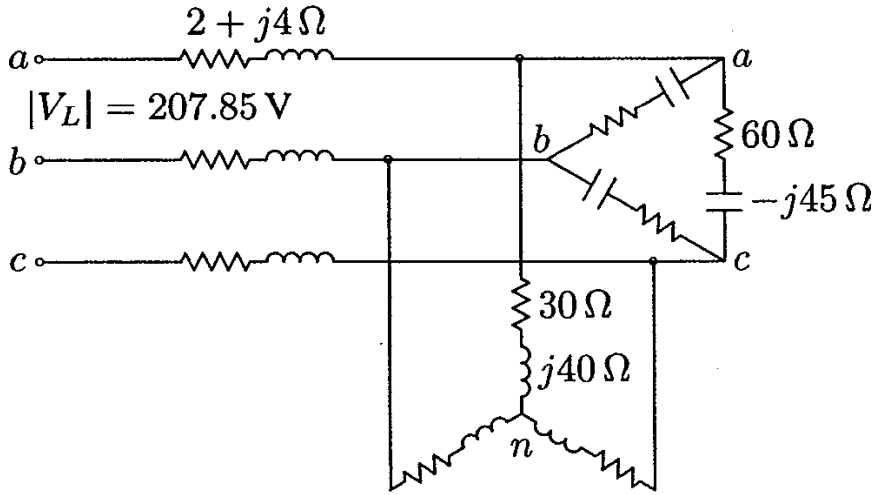
$$S_{3\phi} = 3V_p I_p^*$$

نکته: با وجود ضربانی بودن هر فاز، توان لحظه ای سه فاز ثابت بوده و با سه برابر توان حقیقی هر فاز برابر است. در حقیقت، این توان ثابت مزیت اصلی سیستم سه فاز بر سیستم تکفاز است.

فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

۵-۳- توان در مدارهای سه فاز متعادل:

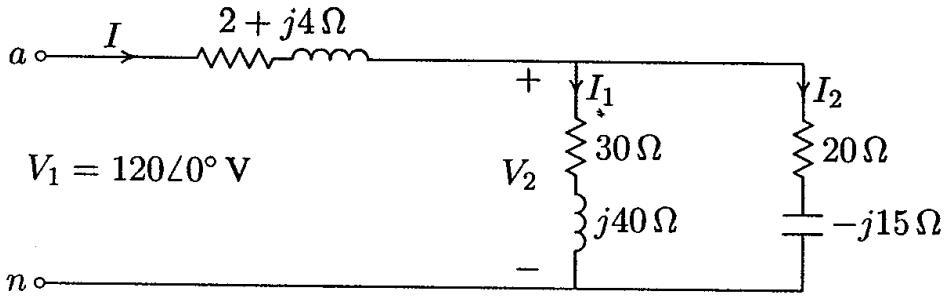
مثال: مدار معدل یکفاز سیستم سه فاز زیر را رسم نمایید.



حل:

$$Z_2 = \frac{60 - j45}{3} = 20 - j15 \ \Omega$$

$$V_1 = \frac{207.85}{\sqrt{3}} = 120 \text{ V}$$



The total impedance is

$$Z = 2 + j4 + \frac{(30 + j40)(20 - j15)}{(30 + j40) + (20 - j15)}$$

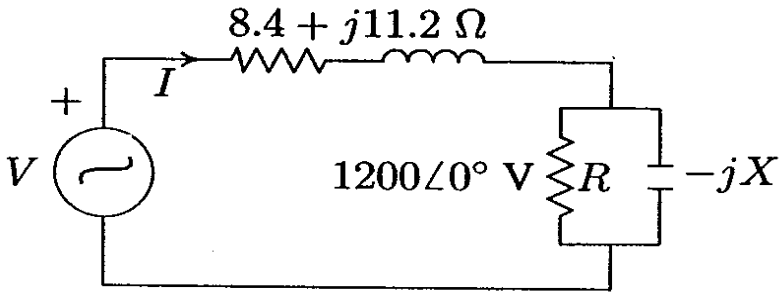
$$= 2 + j4 + 22 - j4 = 24 \ \Omega$$

$$I = \frac{V_1}{Z} = \frac{120\angle 0^\circ}{24} = 5 \text{ A}$$

تمرین تحویلی ۶: توان سه فاز داده شده به بار ها را در مثال فوق را محاسبه کنید.

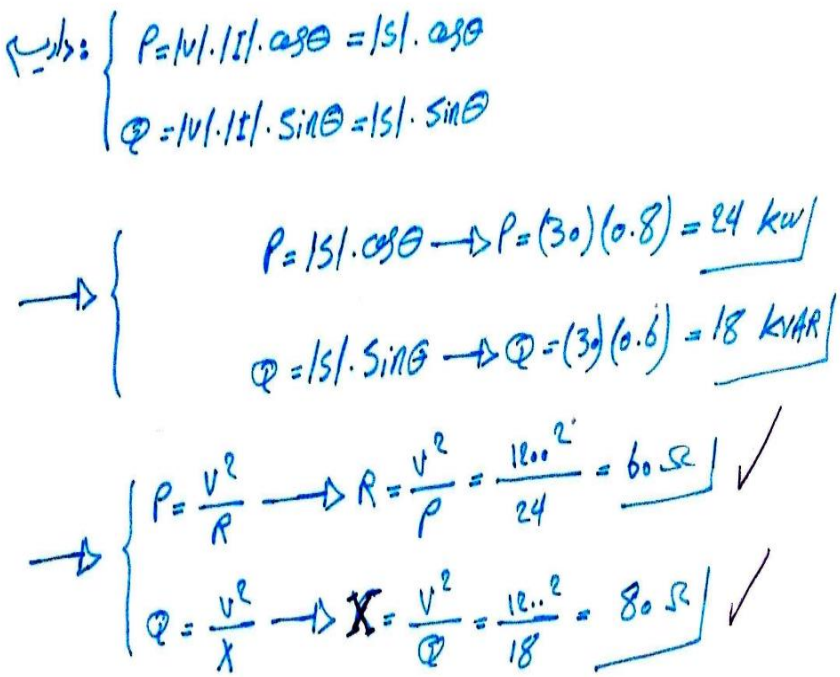
فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

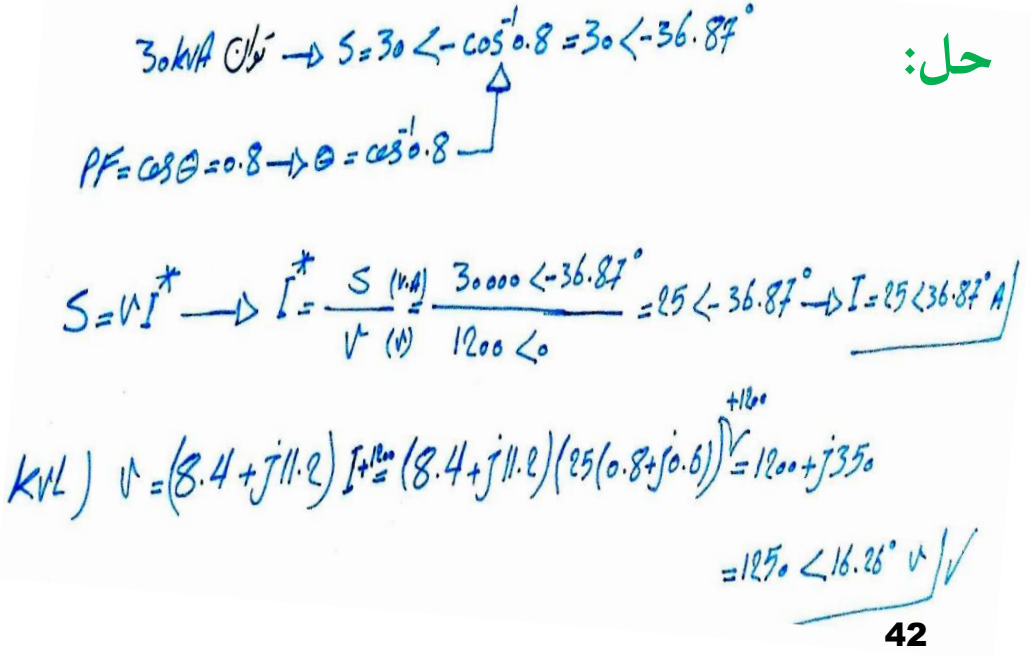
۵-۳- توان در مدارهای سه فاز متعادل:



تمرین حل شده: بار نشان داده شده در شکل مقابل شامل مقاومت R است که با خازنی با راکتانس X موازی است. این بار توسط یک منبع تکفاز از طریق خطی با امپدانس 8.4+j11.2 اهم تغذیه می شود. ولتاژ مؤثر در پایانه بار 1200∠0° است. توان بار 30KVA در ضریب قدرت 0.8 پیشفاز است. مطلوب است محاسبه‌ی R، X و ولتاژ تغذیه (V).

حل:





فصل دوم: تئوری توان در سیستم های قدرت

جلسه پنجم

۵-۳- توان در مدارهای سه فاز متعادل:

تمرین تحویلی ۷: برتری‌های سیستم سه فاز بر تکفاز را بیان کنید؟

تمرین حل شده: سه بار به صورت شکل زیر باهم موازی شده اند. ولتاژ منبع تغذیه تکفاز ۱۴۰۰ ولت با فرکانس ۶۰ هرتز است.

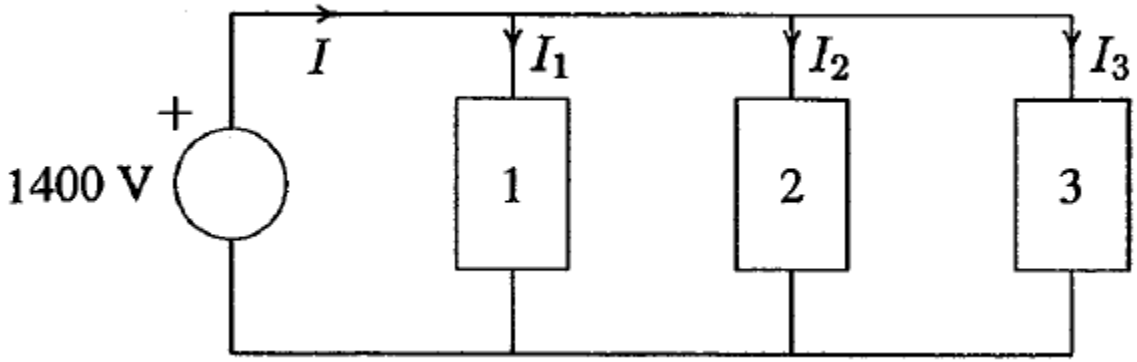
مشخصات بارها عبارتند از:

بار ۱: بار سلفی با توان 125KVA در ضریب قدرت 0.28

بار ۲: بار خازنی با توانهای 10 Kw و 40 kVar

بار ۳: بار مقاومتی با توان 15kw

مطلوب است محاسبه الف) KW کل ب)Kvar کل و ج) ضریب قدرت منبع.



حل تمرین:

حل تمرین ۱:

$$\theta_1 = \cos^{-1}(0.28) = 73.74^\circ \text{ lagging}$$

توان مختلط هر یک از بارها:

$$S_1 = 125\angle 73.74 \text{ kVA} = 35 \text{ kW} + j120 \text{ kvar}$$
$$S_2 = 10 \text{ kW} - j40 \text{ kvar}$$
$$S_3 = 15 \text{ kW} + j0 \text{ kvar}$$

توان کل:

$$\begin{aligned} S = P + jQ &= S_1 + S_2 + S_3 \\ &= (35 + j120) + (10 - j40) + (15 + j0) \\ &= 60 \text{ kW} + j80 \text{ kvar} = 100\angle 53.13 \text{ kVA} \end{aligned}$$

جریان کل:

$$I = \frac{S^*}{V^*} = \frac{100,000\angle -53.13^\circ}{1400\angle 0^\circ} = 71.43\angle -53.13^\circ \text{ A}$$

ضریب قدرت منبع:

$$PF = \cos(53.13) = 0.6 \text{ lagging}$$

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

مقدمه:

- ✓ قبل از اینکه بتوان شبکه سیستم های قدرت را حل کرد باید آن را مدل سازی کرد.
- ✓ سیستم سه فاز متقارن بر اساس یک فاز نمایش و تحلیل می شود.
- ✓ سیستم سه فاز نامتقارن به وسیله ی مؤلفه های متقارن تحلیل می شود.

توجه: این فصل، مدل‌های ساده ژنراتورها و ترانسفورماتور را برای عملکرد حالت ماندگار متقارن ارائه می‌نماید.

ژنراتورهای سنکرون:

- ✓ در مقیاس‌های بالا، قدرت توسط ژنراتورهای سنکرون سه فاز تولید می‌گردد.
- ✓ سیم پیچ های آرمیچر آن روی استاتور و سیم پیچ تحریک آن روی روتور قرار دارد.
- ✓ سیم پیچ تحریک آن توسط یک منبع جریان مستقیم تغذیه می شود. سیستم تحریک ژنراتور، ولتاژ ژنراتور را در حد معینی نگهداشته و توان راکتیو آن را کنترل می‌نماید.

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

ژنراتورهای سنکرون:

- ✓ در سیستم‌های پیشرفته، معمولاً تحریک از ژنراتورهای ac با یکسوکننده‌های گردان (که سیستم‌های تحریک بدون جاروبک نامیده می‌شوند) فراهم می‌شود.
- ✓ روتور ماشین‌های سنکرون معمولاً دارای ساختار استوانه‌ای و قطب برجسته می‌باشند.

دارای محور طولی نسبتاً بلند با قطر کم است.

دارای طول محوری کوتاه و قطر زیاد است.

برای سرعت‌های بالا بکار می رود.

توربین بخار

برای سرعت‌های پایین بکار می‌رود.

توربین آبی

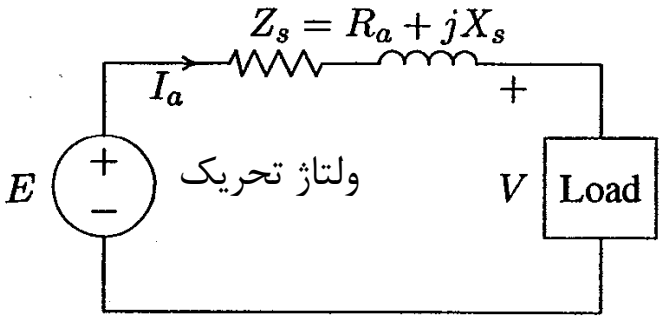
تمرین تحویلی ۸: چرا در سیستم قدرت برای تولید برق از زنراتور سنکرون استفاده می‌شود و از ژنراتور القایی استفاده نمی‌شود؟ آیا کاربردی برای ژنراتور آسنکرون (القایی) می‌شناسید؟

تمرین تحویلی ۹: چرا در نیروگاههای آبی از زنراتور سنکرون قطب برجسته استفاده می‌شود؟

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

ژنراتورهای سنکرون:

– مدار معادل ژنراتور سنکرون (مدار یکفاز):



$$E = V + jX_s I_a$$

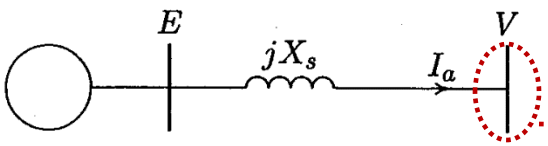
راکتانس پراکندگی

$X_s = (X_\ell + X_{ar})$: راکتانس سنکرون

راکتانس عکس العمل آرمیچرسنکرون

تعریف شین بینهایت: بیشتر ماشین های سنکرون به شبکه های بزرگ بهم پیوسته الکتریکی وصل شده‌اند. این شبکه ها دارای این مشخصه مهم هستند که ولتاژ سیستم در نقطه اتصال از نظر اندازه، زاویه فاز و فرکانس ثابت می باشد. چنین نقطه‌ای در سیستم قدرت شین بینهایت نامیده می شود. یعنی ولتاژ در شین ژنراتور با تعییرات شرایط کار ژنراتور تغییر نخواهد کرد.

مدار معادل در هر فاز ژنراتور سنکرون وصل شده به شین بینهایت

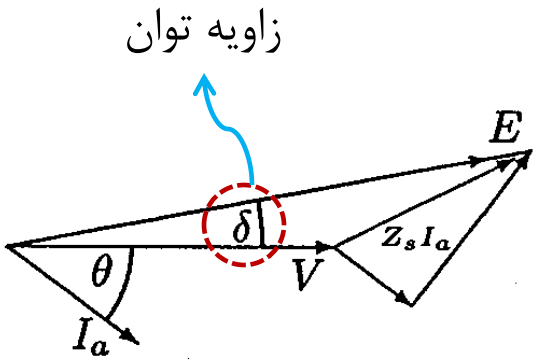


گره- باس- شین

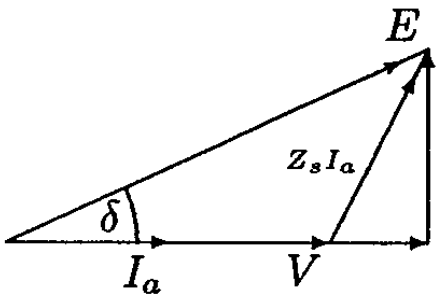
فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

ژنراتورهای سنکرون:

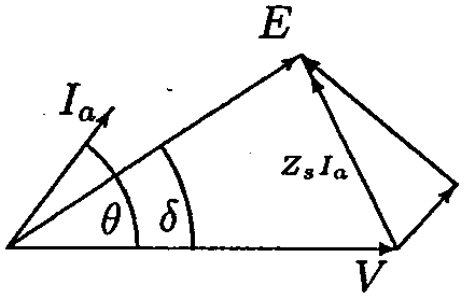
– نمایش فازوری ژنراتور سنکرون با در نظرگرفتن ولتاژ پایانه آن بعنوان مرجع:



(a) Lagging pf load



(b) Upf load



(c) Leading pf load

✓ توانایی تغییر تحریک روتور یک ویژگی مهم ماشین سنکرون می باشد.

جلسه ششم

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

ژنراتورهای سنکرون:

– درصد تنظیم ولتاژ:

ولتاژ بی باری ولتاژ بار نامی

$$\text{VR} = \frac{|V_{nl}| - |V_{rated}|}{|V_{rated}|} \times 100 = \frac{|E| - |V_{rated}|}{|V_{rated}|} \times 100$$

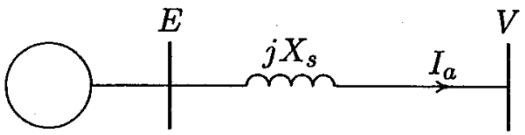
- ✓ تنظیم ولتاژ ژنراتور معیار مناسبی برای مقایسه ماشین ها است و بر حسب درصد تغییر ولتاژ پایانه از حالت بی باری تا بار نامی تعریف می شود.
- ✓ تنظیم ولتاژ نشان دهنده‌ی تغییر جریان تحریک مورد نیاز برای حفظ ولتاژ سیستم از حالت بی باری تا بارنامی در یک ضریب قدرت مشخص می باشد.

تمرین تحویلی ۱۰: رابطه‌ی روبرو را به فرم قطبی بنویسید. $x = \frac{100}{20-10j} = |?|\angle ?$

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

ژنراتورهای سنکرون:

– مشخصات زاویه توان در حالت ماندگار – روتور استوانه‌ای



$$P_{3\phi} = 3\frac{|E||V|}{X_s}\sin\delta$$

$$Q_{3\phi} = 3\frac{|V|}{X_s}(|E|\cos\delta - |V|)$$

ظرفیت انتقال استاتیک

the theoretical maximum power occurs when $\delta = 90°$ ⟹ $P_{max(3\phi)} = 3\frac{|E||V|}{X_s}$

نکته مهم: افزایش زاویه بیش از ۹۰ درجه (از طریق افزایش گشتاور ورودی ژنراتور)، توان الکتریکی خروجی را از مقدار Pmax کاهش خواهد داد. این افزایش گشتاور وروی باعث شتاب گیری ماشین می شود و ماشین همگامی یا سنکرونیزاسیون خود را از دست می دهد. لذا، Pmax حد پایداری ماندگار یا حد پایداری استاتیک (ایستا) نامیده می شود.

for small δ, $\cos\delta$ is nearly unity ⟹ $Q_{3\phi} \simeq 3\frac{|V|}{X_s}(|E| - |V|)$

فوق تحریک

when $|E| > |V|$ the generator delivers reactive power to the bus ⟹ generator is said to be overexcited.

If $|E| < |V|$, the reactive power delivered to the bus is negative ⟹ یعنی ژنراتور توان راکتیو از شین می کشد.

سوال: ژنراتورها معمولاً در حالت فوق تحریک کار می کنند. چرا؟

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

Example :

تمرین تحویلی ۱۱: در نیروگاه‌ها توان اکتیو ژنراتور سنکرون (آلترناتور) چگونه و بر اساس چه پارامتری کنترل می‌شود؟

– ژنراتور سنکرون (مشخصات زاویه توان در حالت ماندگار – روتور استوانه‌ای)

ژنراتور سنکرون سه فاز، ۵۰ MVA ، ۳۰ kV و ۶۰ Hz دارای راکتانس سنکرون ۹Ω در هر فاز می‌باشد. مقاومت اهمی قابل چشم‌پوشی است. این ژنراتور قدرت نامی را در ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز در ولتاژ نامی پایانه خود به شبکه بی‌نهایت تحویل می‌دهد.

(الف) ولتاژ تحریک در هر فاز (E) و زاویه توان (δ) را تعیین کنید.

(ب) با ثابت نگهداشتن تحریک در مقدار تعیین شده در قسمت (الف)، گشتاور ورودی آن قدر کاهش یافته است که ژنراتور توان ۲۵ MW را تحویل دهد. جریان آرمیچر و ضریب قدرت را محاسبه نمائید.

(پ) اگر ژنراتور در ولتاژ تحریک قسمت (الف) کار کند، حداکثر توان حالت ماندگار که ماشین می‌تواند قبل از خروج از همگامی تحویل دهد، چقدر است؟ همچنین، جریان آرمیچر این توان حداکثر را پیدا کنید.

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

Example :

– ژنراتور سنکرون (مشخصات زاویه توان در حالت ماندگار – روتور استوانه‌ای)

A 50-MVA, 30-kV, three-phase, 60-Hz synchronous generator has a synchronous reactance of 9 Ω per phase and a negligible resistance. The generator is delivering rated power at a 0.8 power factor lagging at the rated terminal voltage to an infinite bus.

(a) Determine the excitation voltage per phase E and the power angle δ.

(b) With the excitation held constant at the value found in (a), the driving torque is reduced until the generator is delivering 25 MW. Determine the armature current and the power factor.

(c) If the generator is operating at the excitation voltage of part (a), what is the steady-state maximum power the machine can deliver before losing synchronism? Also, find the armature current corresponding to this maximum power.

(a) The three-phase apparent power is

$$S_{3\phi} = 50\angle\cos^{-1}0.8 = 50\angle 36.87^\circ \text{ MVA}$$
$$= 40 \text{ MW} + j30 \text{ Mvar}$$

The rated voltage per phase is

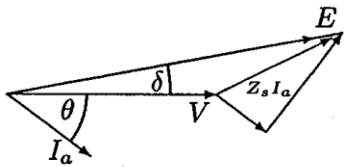
$$V = \frac{30}{\sqrt{3}} = 17.32\angle 0^\circ \text{ kV}$$

The rated current is

$$I_a = \frac{S_{3\phi}^*}{3V^*} = \frac{(50\angle -36.87)10^3}{3(17.32\angle 0^\circ)} = 962.25\angle -36.87^\circ \text{ A}$$

The excitation voltage per phase ⟹ is $E = V + jX_sI_a$

$$E = 17320.5 + (j9)(962.25\angle -36.87) = 23558\angle 17.1^\circ \text{ V}$$



(a) Lagging pf load

The excitation voltage per phase (line to neutral) is 23.56 kV and the power angle is 17.1°.

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

Example :

– ژنراتور سنکرون (مشخصات زاویه توان در حالت ماندگار – روتور استوانه‌ای)

A 50-MVA, 30-kV, three-phase, 60-Hz synchronous generator has a synchronous reactance of 9 Ω per phase and a negligible resistance. The generator is delivering rated power at a 0.8 power factor lagging at the rated terminal voltage to an infinite bus.

(a) Determine the excitation voltage per phase E and the power angle δ.

(b) With the excitation held constant at the value found in (a), the driving torque is reduced until the generator is delivering 25 MW. Determine the armature current and the power factor.

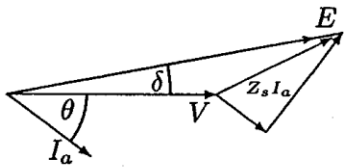
(c) If the generator is operating at the excitation voltage of part (a), what is the steady-state maximum power the machine can deliver before losing synchronism? Also, find the armature current corresponding to this maximum power.

(b) When the generator is delivering 25 MW from $P_{3\phi} = 3\dfrac{|E||V|}{X_s}\sin\delta$

the power angle is $\delta = \sin^{-1}\left[\dfrac{(25)(9)}{(3)(23.56)(17.32)}\right] = 10.591°$

The armature current is ⇨ $E = V + jX_sI_a$

$$I_a = \frac{(23,558\angle 10.591° - 17,320\angle 0°)}{j9} = 807.485\angle -53.43° \quad \text{A}$$



(a) Lagging pf load

The power factor is given by $\cos(53.43) = 0.596$ lagging.

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

Example :

– ژنراتور سنکرون (مشخصات زاویه توان در حالت ماندگار – روتور استوانه‌ای)

A 50-MVA, 30-kV, three-phase, 60-Hz synchronous generator has a synchronous reactance of 9 Ω per phase and a negligible resistance. The generator is delivering rated power at a 0.8 power factor lagging at the rated terminal voltage to an infinite bus.

(a) Determine the excitation voltage per phase E and the power angle δ.

(b) With the excitation held constant at the value found in (a), the driving torque is reduced until the generator is delivering 25 MW. Determine the armature current and the power factor.

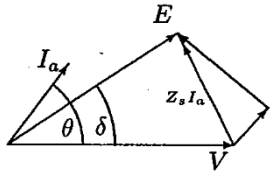
(c) If the generator is operating at the excitation voltage of part (a), what is the steady-state maximum power the machine can deliver before losing synchronism? Also, find the armature current corresponding to this maximum power.

(c) The maximum power occurs at $\delta = 90°$

$$P_{max(3\phi)} = 3\frac{|E||V|}{X_s} = 3\frac{(23.56)(17.32)}{9} = 136 \quad \text{MW}$$

The armature current is

$$E = V + jX_s I_a \Rightarrow I_a = \frac{(23,558\angle 90° - 17,320\angle 0°)}{j9} = 3248.85\angle 36.32° \quad \text{A}$$



(c) Leading pf load

The power factor is given by $\cos(36.32) = 0.8057$ leading.

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

Example :

ژنراتور سنکرون سه فاز، ۵۰ MVA، ۳۰ kV و ۶۰ Hz دارای راکتانس سنکرون ۹Ω در هر فاز می‌باشد. مقاومت اهمی قابل چشم‌پوشی است. این ژنراتور قدرت نامی را در ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز در ولتاژ نامی پایانه خود به شبکه بی‌نهایت تحویل می‌دهد.

(الف) ولتاژ تحریک در هر فاز (E) و زاویه توان (δ) را تعیین کنید.

(ب) با ثابت نگهداشتن تحریک در مقدار تعیین شده در قسمت (الف)، گشتاور ورودی آن قدر کاهش یافته است که ژنراتور توان ۲۵ MW را تحویل دهد. جریان آرمیچر و ضریب قدرت را محاسبه نمائید.

(پ) اگر ژنراتور در ولتاژ تحریک قسمت (الف) کار کند، حداکثر توان حالت ماندگار که ماشین می‌تواند قبل از خروج از همگامی تحویل دهد، چقدر است؟ همچنین، جریان آرمیچر این توان حداکثر را پیدا کنید.

حل مجدد مساله با بیان جزئیات محاسبات ریاضی:

$$S_{3\Phi} = |S| < \theta = 50 < \cos^{-1} 0.8 = 50 < 36.87^\circ \ MVA$$

توان ظاهری

یادآوری: تبدیل قطبی به دکارتی

$$|r| < \theta = r.\cos\theta + j(r\sin\theta)$$

فرم قطبی

اندازه r

زاویه r

موهومی

MW Mvar

$$S_{3\Phi} = 50\cos 36.87^\circ + (50\sin 36.87^\circ)j = 50(0.8) + 50(0.6)j = 40 + 30j$$

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

Example :

ژنراتور سنکرون سه فاز، ۵۰ MVA ، ۳۰ kV و ۶۰ Hz دارای راکتانس سنکرون ۹Ω در هر فاز می‌باشد. مقاومت اهمی قابل چشم‌پوشی است. این ژنراتور قدرت نامی را در ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز در ولتاژ نامی پایانه خود به شبکه بی‌نهایت تحویل می‌دهد.

(الف) ولتاژ تحریک در هر فاز (E) و زاویه توان (δ) را تعیین کنید.

(ب) با ثابت نگهداشتن تحریک در مقدار تعیین شده در قسمت (الف)، گشتاور ورودی آن قدر کاهش یافته است که ژنراتور توان ۲۵ MW را تحویل دهد. جریان آرمیچر و ضریب قدرت را محاسبه نمائید.

(پ) اگر ژنراتور در ولتاژ تحریک قسمت (الف) کار کند، حداکثر توان حالت ماندگار که ماشین می‌تواند قبل از خروج از همگامی تحویل دهد، چقدر است؟ همچنین، جریان آرمیچر این توان حداکثر را پیدا کنید.

حل:

ولتاژ خط

ولتاژ فاز: $V = \frac{30}{\sqrt{3}} = 17.32\angle 0^\circ \quad kV$

$50MVA = 50 \times 10^3 \quad KVA$

قسمت موهومی را منفی می کند.

KVA

$$I_a = \frac{S_{3\phi}^*}{3V^*} = \frac{(50\angle -36.87)10^3}{3(17.32\angle 0^\circ)} = \frac{(50(\cos(-36.87^\circ)) + (50(\sin(-36.87^\circ)).j}{3\times 17.32} \times 10^3 = \frac{50(0.8)+50(-0.6)j}{51.96} \times 10^3$$

KV

$$= \frac{40-30j}{51.96} \times 10^3 = (\frac{40}{51.96} - \frac{30}{51.96})10^3.j = 769.823 - 577.267\,j$$

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

Example:

ژنراتور سنکرون سه فاز، ۵۰ MVA، ۳۰ kV و ۶۰ Hz دارای راکتانس سنکرون ۹Ω در هر فاز می‌باشد. مقاومت اهمی قابل چشم‌پوشی است. این ژنراتور قدرت نامی را در ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز در ولتاژ نامی پایانه خود به شبکه بی‌نهایت تحویل می‌دهد.

(الف) ولتاژ تحریک در هر فاز (E) و زاویه توان (δ) را تعیین کنید.

(ب) با ثابت نگهداشتن تحریک در مقدار تعیین شده در قسمت (الف)، گشتاور ورودی آن قدر کاهش یافته است که ژنراتور توان ۲۵ MW را تحویل دهد. جریان آرمیچر و ضریب قدرت را محاسبه نمائید.

(پ) اگر ژنراتور در ولتاژ تحریک قسمت (الف) کار کند، حداکثر توان حالت ماندگار که ماشین می‌تواند قبل از خروج از همگامی تحویل دهد، چقدر است؟ همچنین، جریان آرمیچر این توان حداکثر را پیدا کنید.

حل: یادآوری: تبدیل دکارتی به قطبی

$$x + y.j = \sqrt{x^2 + y^2} < \tan^{-1}\frac{y}{x}$$

$$= 769.823 - 577.267\,j = \sqrt{769.823^2 + (-577.267)^2} < \tan^{-1}\left(\frac{-577.267}{769.823}\right)$$

$$= \sqrt{592627.451 + 333237.189} < \tan^{-1}\left(\frac{-577.267}{769.823}\right) = \sqrt{925864.334} < \tan^{-1}(-0.7498) \simeq 962.25 < -36.87^\circ \text{ A}$$

فصل سوم: مدلهای ژنراتور و ترانسفورماتور، سیستم نسبت به واحد

Example:

ژنراتور سنکرون سه فاز، ۵۰ MVA، ۳۰ kV و ۶۰ Hz دارای راکتانس سنکرون ۹Ω در هر فاز می‌باشد. مقاومت اهمی قابل چشم‌پوشی است. این ژنراتور قدرت نامی را در ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز در ولتاژ نامی پایانه خود به شبکه بی‌نهایت تحویل می‌دهد.

(الف) ولتاژ تحریک در هر فاز (E) و زاویه توان (δ) را تعیین کنید.

(ب) با ثابت نگهداشتن تحریک در مقدار تعیین شده در قسمت (الف)، گشتاور ورودی آن قدر کاهش یافته است که ژنراتور توان ۲۵ MW را تحویل دهد. جریان آرمیچر و ضریب قدرت را محاسبه نمائید.

(پ) اگر ژنراتور در ولتاژ تحریک قسمت (الف) کار کند، حداکثر توان حالت ماندگار که ماشین می‌تواند قبل از خروج از همگامی تحویل دهد، چقدر است؟ همچنین، جریان آرمیچر این توان حداکثر را پیدا کنید.

حل:

$$E = V + jX_s I_a$$

$$E = 17320.5 + (j9)(962.25\angle -36.87) = 17320.5 + (0.8\times 8660.25 - 0.6\times 8660.25\, j)\, j$$

$$= 17320.5 + 0.8\times 8660.25\, j - j^2 0.6\times 8660.25 = (17320.5 - j^2 0.6\times 8660.25) + 0.8\times 8660.25\, j =$$

$$= (17320.5 - (-1)\times 0.6\times 8660.25) + 0.8\times 8660.25\, j = 22516.65 + 6928.2\, j$$

$$= \sqrt{22516.65^2 + (6928.2)^2} < \tan^{-1}\left(\frac{6928.2}{22516.65}\right) = 23558 < 17.1^\circ\ V$$