



دانشگاه مهندسی برق

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مباحث ویژه در سیستم های قدرت 1 (ادوات FACTS) انواع

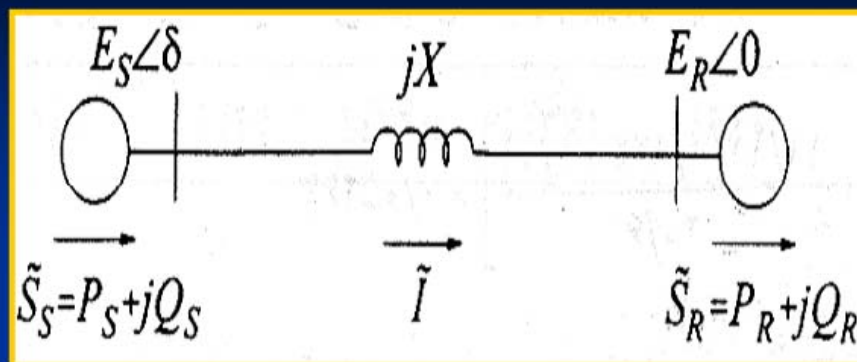


دانشکده مهندسی برق

(CONTENTS)

- 1- تئوری جبران سازی (ادامه)
- 2- آشنایی با انواع ادوات و تجهیزات FACTS
- 3- اهمیت نسبی انواع مختلف کنترل کننده

انتقال توان بین منابع فعال



$$P_S = \frac{E_S E_R}{X} \sin \delta$$

$$Q_S = \frac{E_S^2 - E_S E_R \cos \delta}{X}$$

$$S_R = P_R + jQ_R = E_R I^* = E_R \left[\frac{E_S - E_R}{jX} \right]^*$$

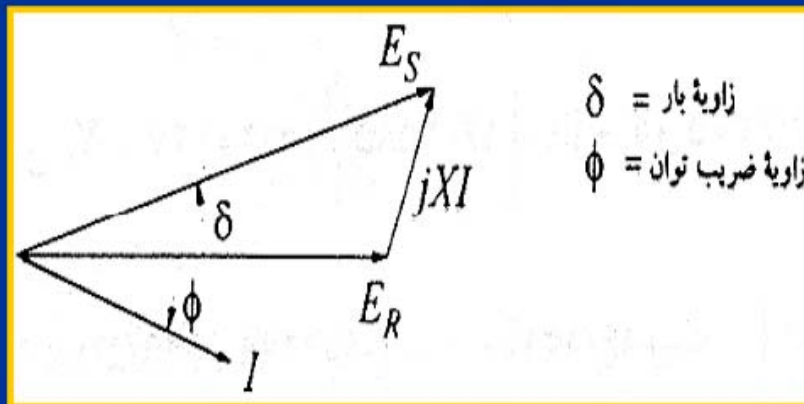
$$= E_R \left[\frac{E_S \cos \delta + j E_S \sin \delta - E_R}{jX} \right]^*$$

تئوری جبران سازی (ادامه) :

انتقال توان بین منابع فعال

$$P_R = \frac{E_S E_R}{X} \sin \delta$$

$$Q_R = \frac{E_S E_R \cos \delta - E_R^2}{X}$$



دانشگاه مهندسی برق



تئوری جبران سازی (ادامه) :

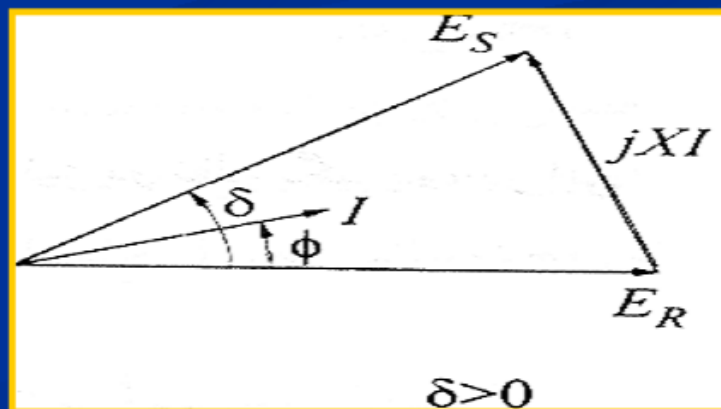
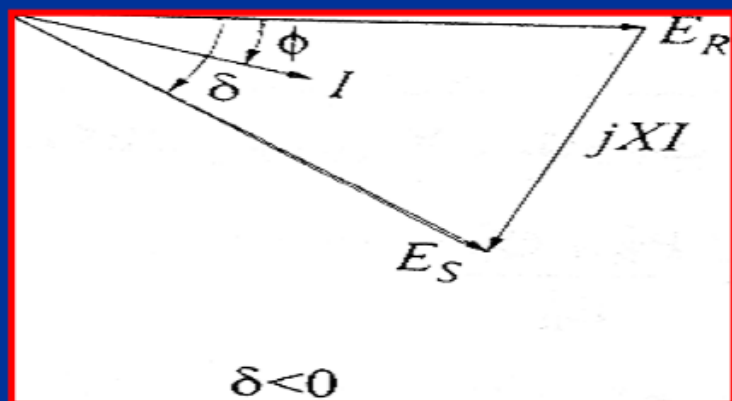
ب: $E_S = E_R$ و δ مخالف صفر

توان راکتیو منتقل نمی شود

$\delta > 0$ توان حقیقی از طرف فرستنده به
طرف گیرنده منتقل می شود

$\delta < 0$ توان حقیقی از طرف گیرنده به طرف
فرستنده منتقل می شود .

$$P_R = P_S = \frac{E^r}{X} \sin \delta$$
$$Q_S = -Q_R = \frac{E^r}{X} (1 - \cos \delta)$$
$$= \frac{1}{2} X I^2$$





تئوری جبران سازی (ادامه) :

ج: δ ، E_S ، E_R می توانند هر مقداری داشته باشند .

$$I = \frac{E_S \cos \delta + j E_S \sin \delta - E_R}{jX}$$
$$Q_S - Q_R = \frac{E_S^2 + E_R^2 - 2 E_S E_R \cos \delta}{X}$$
$$= \frac{(XI)^2}{X} = XI^2$$

$$Q_{\text{loss}} = XI^2 = X \frac{P_R^2 + Q_R^2}{E_R^2}$$

$$P_{\text{loss}} = RI^2 = R \frac{P_R^2 + Q_R^2}{E_R^2}$$

اگر علاوه بر راکتانس سری X ، مقاومت سری R را در نظر بگیریم معادلات سمت راست بدست می آیند و معادلات فوق نشان می دهند:

هر گونه افزایش در انتقال توان راکتیو، تلفات توان های حقیقی و راکتیو را افزایش می دهد این موضوع بر میزان بازده انتقال و تنظیم ولتاژ تاثیر می گذارد.



از بررسی های فوق می توان به نتایج زیر رسید

• انتقال توان راکتیو به مقادیر ولتاژ بستگی داشته و از طرفی که دامنه ولتاژ آن بیشتر است به طرف دیگر انتقال می یابد (بخش الف)

• انتقال توان حقیقی مستلزم وجود اختلاف زاویه فاز بین ولتاژ ابتدا و انتهای خط انتقال می باشد. انتقال در جهتی است که ولتاژ طرف فرستنده نسبت به گیرنده پیش فاز باشد. (بخش ب)

• توان راکتیو را نمی توان در مسیرهای طولانی منتقل کرد زیرا ولتاژ شدید افت می کند. (بخش ج)

• هر گونه افزایش در انتقال توان راکتیو ، تلفات توان های حقیقی و راکتیو را افزایش می دهد. (بخش ج)



کنترل بخش های انتقال

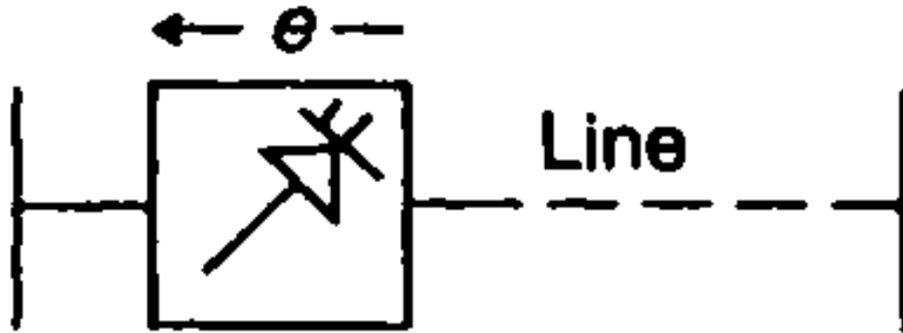
□ شامل ابزاری برای کنترل توان و ولتاژ می باشند و دارای انواع زیر است :

- جبران کننده های استاتیکی توان
- جبران کننده های خازن سری
- کندانسورهای سنکرون
- خازن ها و راکتورهای قابل کلید زنی
- ترانسفورمرهای با تپ قابل تنظیم
- کنترل کننده های خطوط فشار قوی جریان مستقیم



انواع ادوات FACTS:

- ❑ کنترل کننده های سری
- ❑ کنترل کننده های موازی
- ❑ کنترل کننده های سری - سری
- ❑ کنترل کننده های سری - موازی



□ همه ولتاژ را به صورت سری به خط تزریق می کنند (یک امپدانس متغیر ضرب در جریان عبوری از آن نمایند باعث ولتاژ سری می شود).

□ می تواند یک امپدانس متغیر باشد (خازن ، راکتور و ...)

□ یک منبع متغیر با فرکانس اصلی

□ ترکیبی از موارد فوق



انستیتوت ملی مهندسی برق

انواع ادوات FACTS - نوع سری:

□ در اصل همه کنترل کننده های سری ولتاژ رابه صورت سری به خط تزریق می کنند :

❖ حتی یک امپدانس متغیر ضرب در جریان داخل آن، نماینده یک ولتاژ سری است که در خط تزریق شده است.

❖ تا زمانی که ولتاژ بر جریان خط عمود است، کنترل کننده سری فقط مقادیر توان راکتیو تامین یا مصرف می کند. هر اختلاف فازی، جابجایی توان واقعی را نیز درگیر می کند

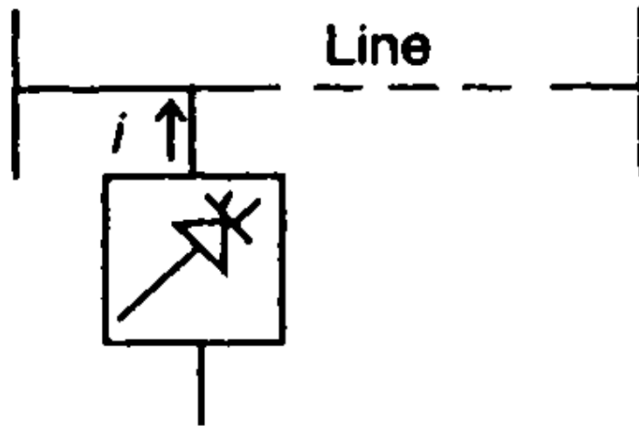
➤ توجه :

➤ اگر منظور از به کار بردن کنترل سری، کنترل شارش توان و میرا کردن نوسانات باشد، کنترل کننده سری برای یک اندازه معین مگا ولت آمپر، چندین مرتبه قدرتمندتر از کنترل کننده موازی است.

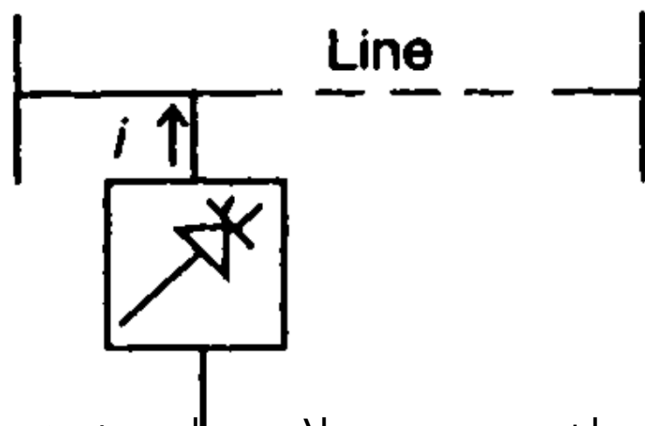
➤ اندازه کنترل کننده سری در مقایسه با موازی کوچک است.

➤ کنترل کننده های سری برای گذر از حالات اضطراری و اضافه بارهای دینامیک و گذرا و میان بر زدن جریان اتصالی کوتاه طراحی می شوند.

انواع ادوات FACTS - نوع موازی:



- ❖ مانند کنترل کننده‌های سری ، کنترل کننده های موازی می تواند امپدانس متغیر، منبع متغیر یا ترکیبی از آن ها می باشد.
- ❖ همه ی کنترل کننده های موازی در نقطه اتصال خود جریان به سیستم تزریق می کنند



انواع ادوات FACTS - نوع موازی:

❖ یک امپدانس متغیر که به ولتاژ خط متصل شده باشد موجب سیلان جریان متغیری شده و لذا نماینده تزریق جریان به داخل خط است .

❖ تا زمانی که جریان تزریقی به ولتاژ خط عمود باشد کنترل کننده موازی فقط مقادیر توان راکتیو تامین یا مصرف می کند. هر اختلاف فاز دیگری، جا به جایی توان اکتیو را نیز درگیر خواهد کرد.

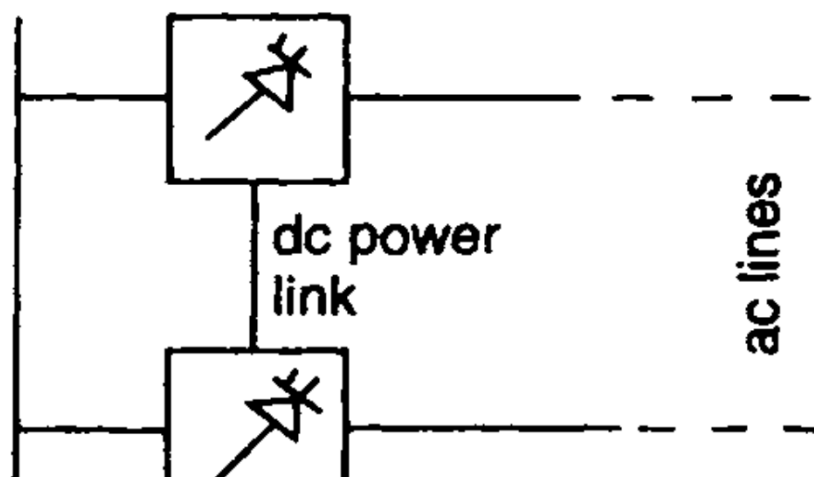
➤ توجه :

➤ با توجه به تزریق یا دریافت جریان (شبیه به منبع جریان بودن) بکارگیری این کنترل کننده، راه مناسبی است برای کنترل ولتاژ در نقطه اتصال و حول و حوش آن، فارغ از خطوطی که به شینه متصل اند، مستقیم به گره شینه وصل شده و عمل نماید.

➤ کنترل کننده موازی ، کنترلی بر روی شارش توان در خطوط اعمال نمی کند.

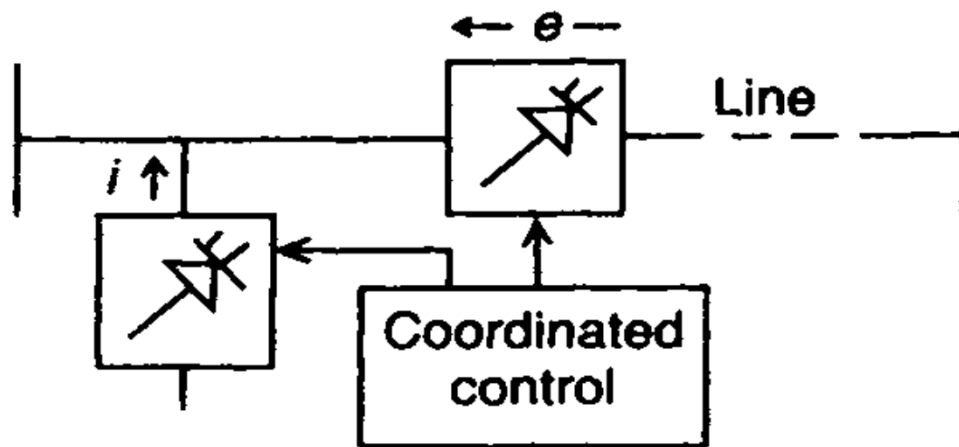
انواع ادوات FACTS - نوع سری - سری :

- ❖ ترکیبی از کنترل کننده های سری جداگانه یا کنترل کننده یکپارچه (ترمینال های DC آنها در کنورترهای همه کنترل کننده ها به هم متصل شده اند).
- ❖ تعادل شارش توان اکتیو و راکتیو را از طریق بین خطوط رابط (DC) ، در خطوط اصلی ممکن می سازد.



انواع ادوات FACTS - نوع سری - موازی :

❖ ترکیبی از کنترل های سری و موازی جداگانه یا یک کنترل کننده ترکیب شده سری و موازی (جریان بخش موازی - ولتاژ بخش سری)



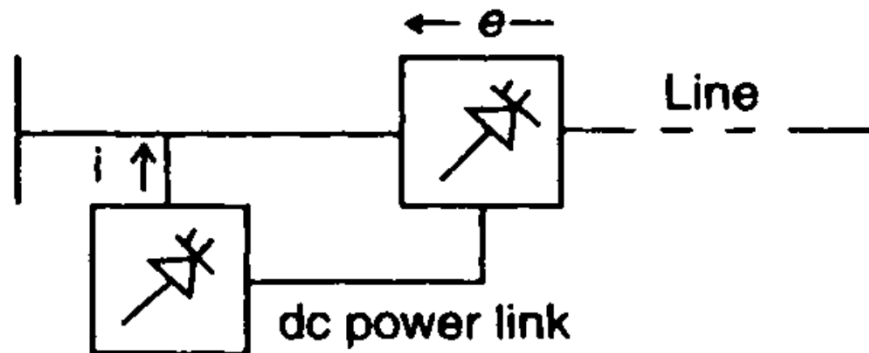
➤ توجه :

➤ در کنترل کننده ترکیبی سری - موازی ، کنترل موازی واحد منفرد با هماهنگی هریک از کنترل کننده های سری کار کند.

➤ چنین ترکیبی می تواند مزیت بیشتری تامین کند هرگاه از کنترل کننده های یکپارچه شده استفاده نماید.

انواع ادوات FACTS - نوع سری - موازی :

❖ در یکپارچه تبادل توان واقعی می تواند بین کنترل کننده سری و موازی از طریق خط رابط DC انجام شود.



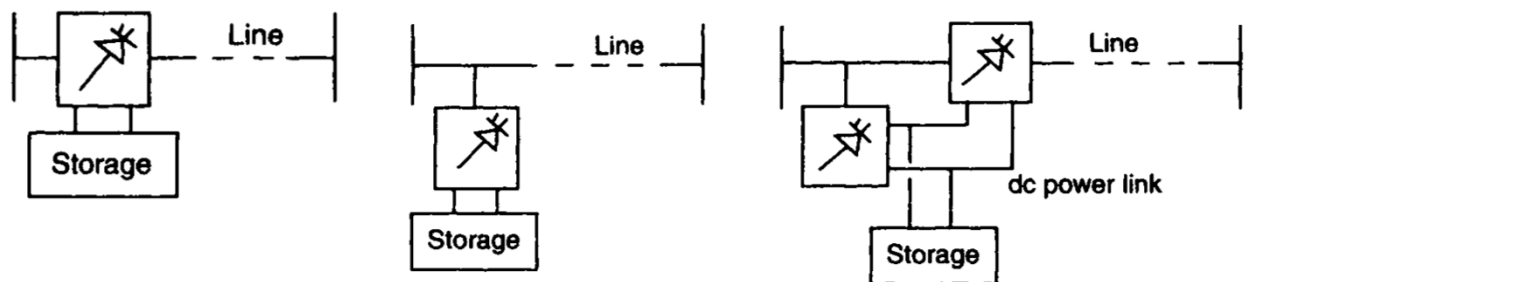
➤ توجه :

➤ کنترل کننده ترکیبی سری - موازی یا نوع یکپارچه آن می تواند از هر دو کنترل کننده به تنهایی بهتر باشد. یعنی یک کنترل موثر هم برای شارش توان و هم برای تنظیم ولتاژ خط



انواع ادوات FACTS - با ذخیره ساز:

- ❖ کنترل کننده با ذخیره ساز در **کنترل دینامیک سیستم** بسیار موثرتر از کنترل کننده بدون ذخیره ساز است (**پمپ کردن توان حقیقی**).
- ❖ میتوان در سطح کنورتر- برای تامین نیازهای کوتاه مدت (یک یا چند دهم سیکل اصلی) از باتری یا خازن و یا مغناطیس های ابر رسانا توسط واسط الکترونیکی استفاده نمود. لذا هر کدام از کنترل کننده ها می تواند با ذخیره ساز باشند.
- ❖ در صورتی که در کنترل کننده های فاقد فقط بر **انتقال توان اکتیو در داخل سیستم** تاثیر می گذارند.



➤ **توجه :**

➤ فاز بین جریان اعمالی و ولتاژ خط از 90 بیشتر شود، اندازه ذخیره ساز فراتر از حداقل لازم برای کار بعنوان منبع راکتیو، در نظر گرفته می شود.

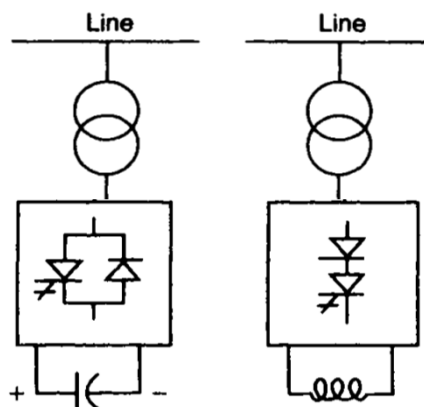
انواع ادوات FACTS - تقسیم بندی بر اساس نوع کنورتر

کنترل کننده ها بر پایه کنورتر دونوع هستند: 1- کنورتر منبع ولتاژی 2- کنورتر منبع جریانی

✓ **کنورتر منبع ولتاژی** : ولتاژ DC از طریق کلید زنی در خروجی AC قرار می گیرد. با تعیین مکان صحیح کنورتر می توان ولتاژ خروجی AC را از نظر مقدار و نیز زاویه فازی با ولتاژ سیستم، تغییر داد.

✓ **کنورتر منبع جریانی** : جریان DC از طریق کلیدزنی بعنوان جریان AC قابل تغییر در دامنه و نیز در هر اختلاف فازی نسبت به ولتاژ سیستم، به طرف AC ارایه می شود.

✓ از لحاظ هزینه کلی به نظر می رسد که کنورترهای منبع ولتاژی برتری دارند.



➤ **توجه :**

➤ واقعیت این است که کسانی که با FACTS سروکار پیدا می کنند بایستی تعداد انبوهی از نام ها مخفف عادت کنند.

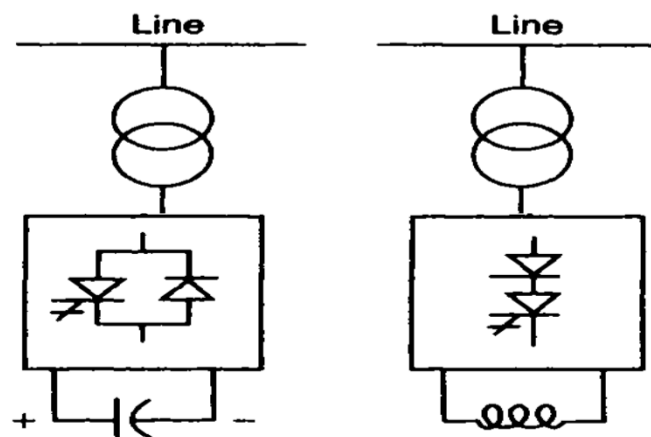
➤ گروه کاری FACTS در کمیته کاری جامعه مهندسين قدرت (PES) وابسته به انجمن مهندسين برق و الکترونیک آمریکا (IEEE) اصطلاحات و تعاریف و انواع کنترل کننده های FACTS را تعریف نموده است.

Shunt Connected Controllers

انواع کنترل کننده های موازی

1) *Static Synchronous Compensator (STATCOM):*

- ❖ جبران کننده سنکرون استاتیکی (STATCOM): مولد سنکرون استاتیکی که بعنوان جبران گر توان راکتیو موازی کار می کند و جریان خازنی یا القایی خروجی آن را می توان مستقل از ولتاژ AC سیستم کنترل کرد.
- ❖ مبنای آن می تواند کنورتر منبع جریانی یا منبع ولتاژی باشد.
- ❖ در منبع ولتاژی – ولتاژ AC خروجی مورد نیاز طوری کنترل می شود که درست بر جاری شدن جریان راکتیو مورد نیاز کفایت کند .
- ❖ میتواند بعنوان فیلتر فعال جریان هارمونیک سیستم را نیز جذب نماید.
- ❖ STATCOM به صورتی که توسط IEEE تعریف شده ، یک زیر مجموعه از گستره کنترل کننده های موازی است که قابلیت در اختیار داشتن یک منبع توان اکتیو را در طرف DC به صورتی که جریان تزریق شده بتواند شامل توان اکتیو باشد را دارا است.





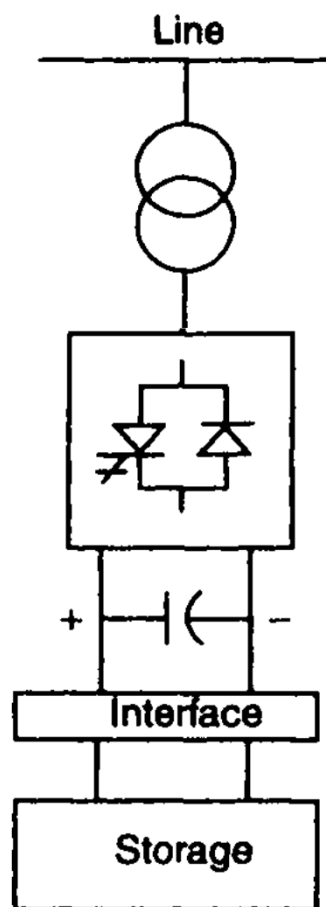
Shunt Connected Controllers

انواع کنترل کننده های موازی

Static Synchronous Compensator (STATCOM):

Static Synchronous Generator (SSG):

تعریف : مولد سنکرون استاتیکی SSG- یک کنورتر استاتیکی خود - تغییر برای کلید زنی توان از منبع مناسب انرژی الکتریکی تغذیه می شود که تبادل توان حقیقی و راکتیو را ممکن می سازد.
SSG نامی عمومی و ترکیبی از STATCOM و منبع انرژی برای تامین یا جذب توان حقیقی است (باتری - چرخ طیار- ذخیره ساز انرژی مغناطیس ابر رسانا SMES (Super conducting Magnetic Energy Storage)



در محدوده تعریف SSG ، سیستم ذخیره انرژی باتری هم وجود دارد که:
- BESS - سیستم ذخیره انرژی باتری (Battery Energy Storage System)-
سیستم ذخیره انرژی با پایه شیمیایی با استفاده از کنورترهای منبع ولتاژ موازی شده که قدرت تنظیم سریع مقدار توان جذب یا تامین شده برای سیستم AC را دارد (چند ده مگا وات ساعت 10Mwh)

- SMES - دستگاه ذخیره انرژی الکترومغناطیسی به صورت ابر رسانا که شامل کنورترهای الکترونیکی است . جریان DC در مغناطیس به سرعت تغییر نمی کند، توان ورودی یا خروجی مغناطیس ، با کنترل ولتاژ در طول مغناطیس با استفاده از واسط الکترونیکی مناسب جهت اتصال به STATCOM ، تغییر می کند..

Shunt Connected Controllers

انواع کنترل کننده های موازی

2) Static Var Compensator (SVC):

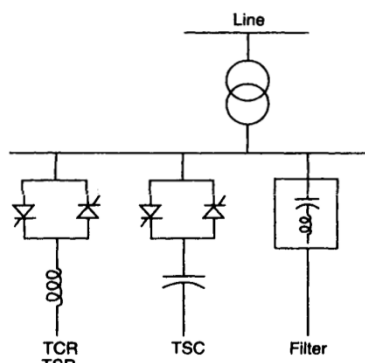
✓ جبران ساز توان راکتیو استاتیکی (SVC): مولد یا جذب کننده استاتیکی توان راکتیو که به صورت موازی متصل شده و خروجی آن برای مبادله جریان خازنی یا القایی تنظیم می شود. بطوریکه پارامتر مشخصی (نوعاً ولتاژ شینه) را حفظ یا کنترل نماید.

✓ این عبارت SVC، اصطلاح عمومی برای راکتور قابل کلید زنی با تریستور (یا قابل کنترل با تریستور) یا خازن (ترکیب خازن و راکتور) قابل کلید زنی با تریستور است.

شامل تجهیزات برای تقدم یا تاخیر توان راکتیو است:

❑ راکتور با قابلیت کلید زنی (یا کنترل تریستوری) برای جذب راکتیو

❑ خازن با قابلیت کلید زنی تریستوری برای تامین بار راکتیو



2) Static Var Compensator (SVC):

a) Thyristor Controlled Reactor (TCR):

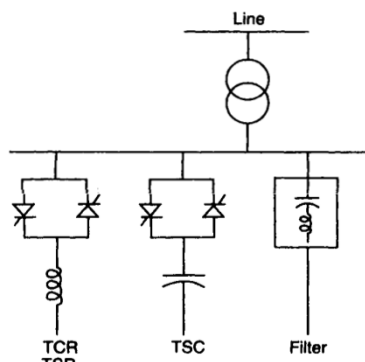
الف - راکتور قابل کنترل (TCR) : القاگر قابل کنترل با تریستور موازی شده و راکتانس موثر آن با هدایت تریستور بطور پیوسته تغییر می کند.

b) Thyristor Switched Reactor (TSR):

ب - راکتور قابل کلید زنی (TSR): القاگر قابل کلیدزنی با تریستور که موازی بسته شده و مقدار موثر راکتانس آن در حالت هدایت صفر یا کامل به صورت پله ای تغییر می کند.

c) Thyristor Switched Capacitor (TSC):

ج - خازن قابل کلید زنی (TSC): خازن قابل کلیدزنی که با SCR به صورت موازی شده و راکتانس موثر آن در حالت هدایت صفر یا کامل به صورت پله ای تغییر می کند. (بدون کنترل زاویه آتش برای وارد یا خارج کردن واحدهای خازن موازی)





2) *Static Var Compensator (SVC):*

d) *Static Var Generator or Absorber (SVG):*

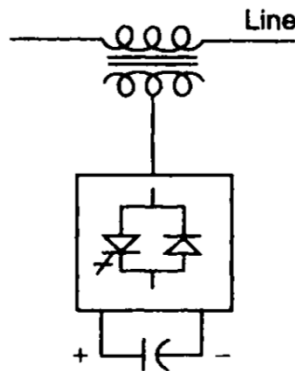
د) : **SVG** مولد یا جذب کننده توان راکتیو - متشکل از SVC و STATCOM است. قادر به کشیدن جریان القایی و یا خازنی کنترل شده از سیستم قدرت الکتریکی است.

e) *Static Var System (SVS):*

ه) **SVS** سیستم توان راکتیو (Var) استاتیکی - ترکیبی از جبران سازهای توان راکتیو با کلیدزنی های مختلف استاتیکی و مکانیکی که خروجی های آن ها با یکدیگر هماهنگ شده اند.

a) *Static Synchronous Series Compensator (SSSC):*

الف) : جبران ساز سنکرون استاتیکی سری (SSSC):
مولد سنکرون استاتیکی بدون منبع انرژی الکتریکی خارجی که ولتاژ خروجی آن دارای زاویه 90 درجه با جریان خط است و هم قابل کنترل به طور مستقل از جریان خط است. مشابه STATCOM است اما به صورت سری در خط قرار می گیرد ولتاژ اعمالی به صورت سری در مقایسه با ولتاژ خط بسیار کوچک است.

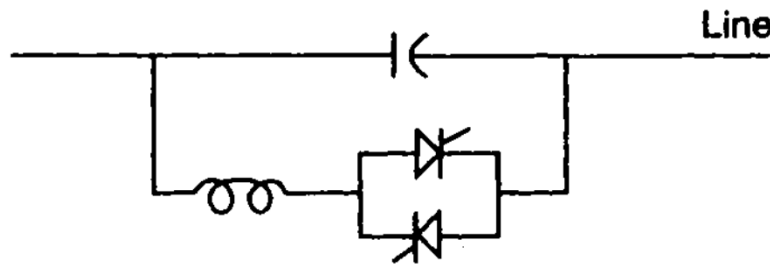


b) *Interline Power Flow Controller (IPFC):*

ب) کنترل کننده توان جاری میان خط (IPFC):
ترکیبی از دو یا چند جبران ساز سنکرون استاتیکی سری با واسطه رابط DC با هم جفت شده اند.

c) *Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC):*

ج) خازن سری با کنترل تریستوری (*TCSC*): جبران ساز راکتانس خازنی، شامل بانک خازن سری و راکتور کنترل شونده با تریستور موازی شده تا **راکتانس خازن سری با تغییرات یکنواخت** فراهم آید.

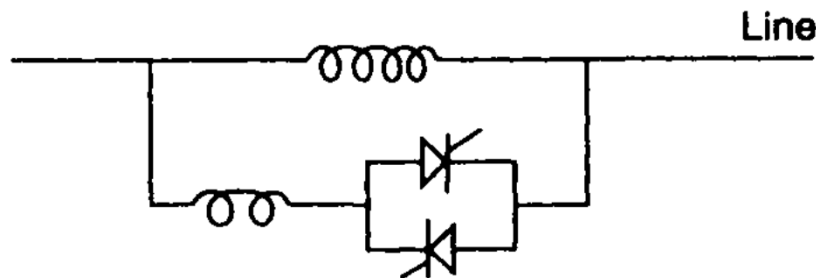


d) *Thyristor-Switched Series Capacitor (TSSC):*

د) خازن سری قابل کلید زنی با تریستور (*TSSC*): جبران ساز راکتانس خازنی که شامل یک بانک خازن سری است و با یک راکتور قابل کلیدزنی با تریستور موازی شده تا **کنترل مرحله ای برای راکتانس خازن سری** فراهم آید.

e) *Thyristor-Controlled Series Reactor (TCSR):*

د) راکتور با کنترل تریستوری (TCSR):
جبران ساز راکتانس القایی، شامل راکتور سری است و با راکتور کنترل شونده با تریستور موازی شده تا **راکتانس القایی سری با تغییرات یکنواخت** فراهم آید.



f) *Thyristor-Switched Series Reactor (TSSR):*

ه) راکتور سری قابل کلیدزنی با تریستور (TSSR):

جبران ساز راکتانس القایی که از موازی شدن یک راکتور سری با یک راکتور قابل کنترل و کلیدزنی با تریستور موازی شده تشکیل شده تا **کنترل مرحله ای برای راکتانس القایی سری** فراهم آید.

Combined Shunt and Series Connected Controllers

Unified Power Flow Controller (UPFC):

کنترل کننده ترکیبی (UPFC) : ترکیبی از جبران ساز سنکرون استاتیکی STATCOM و جبران ساز سنکرون استاتیکی سری SSSC می باشد که از طریق رابط DC با هم جفت شده اند.

