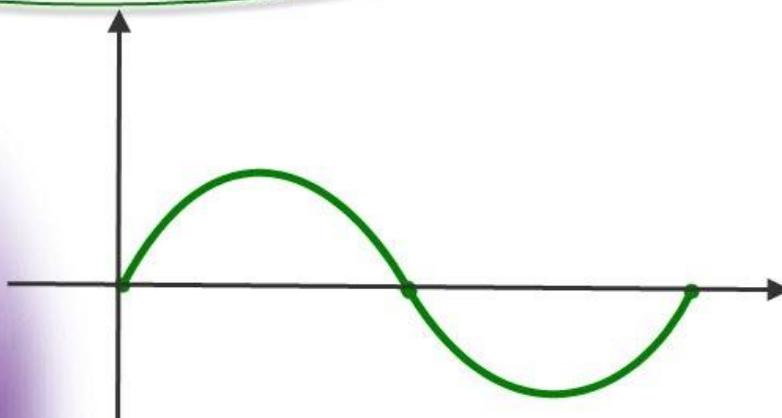
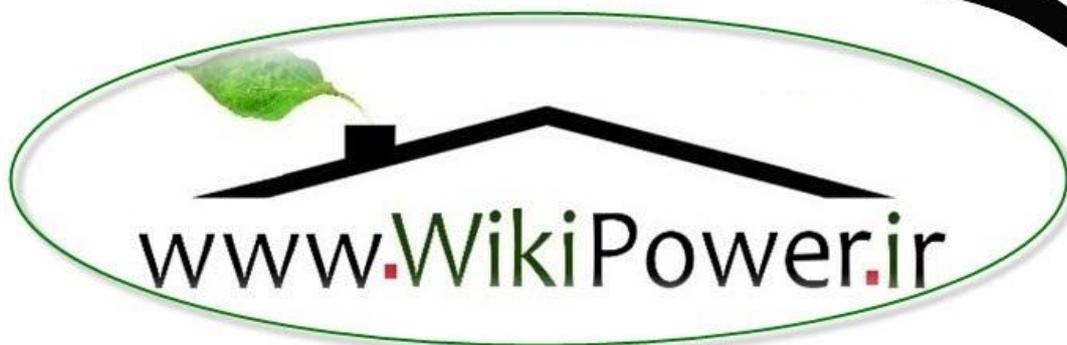


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



موضوع پروژه:

جبران سازی توان رکتیو با ادوات



FACTS

فرستنده : محمد علی سرلک

www.wikiPower.ir

برای خرید فایل **word** این پروژه [اینجا کلیک](#) کنید.

(شماره پروژه = ۸۴)

شماره جهت ارسال پیام : ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

۰۹۳۵۴۶۳۴۶۵۰



فهرست مطالب

- فصل ۱- فن آوری FACTS ۷
- ۱-۱- مقدمه: ۷
- ۱-۲- انواع اصلی کنترل کننده‌های FACTS ۹
- ۱-۲-۱- کنترل کننده‌های سری: ۹
- ۱-۲-۲- کنترل کننده‌های موازی: ۱۰
- ۱-۲-۳- کنترل کننده ترکیبی سری - سری: ۱۰
- ۱-۲-۴- کنترل کننده ترکیبی سری - موازی: ۱۱
- ۱-۳- سیستم انعطاف پذیر انتقال (FACTS) AC: ۱۵
- ۱-۴- کنترل کننده FACTS ۱۵
- ۱-۵- کنترل کننده‌های موازی: ۱۵
- ۱-۵-۱- جبران کننده سنکرون استاتیکی (STATCOM): ۱۵
- ۱-۵-۲- مولد سنکرون استاتیکی (SSG): ۱۶
- ۱-۶- سیستم ذخیره انرژی باطری (BESS): ۱۷
- ۱-۷- راکتور قابل کنترل با تریستور (TCR): ۱۸
- ۱-۸- راکتور قابل کلید زنی با تریستور (TSR): ۱۹
- ۱-۹- خازن قابل کلید زنی با تریستور (TSC): ۱۹
- ۱-۱۰- مولد با جذب کننده توان راکتیو (SVG): ۲۰
- ۱-۱۱- سیستم توان راکتیو (var) استاتیکی (SVC): ۲۰
- ۱-۱۲- ترمز مقاومتی با کنترل تریستوری (TCBR): ۲۰
- ۱-۱۳- کنترل کننده‌های متصل شده به صورت سری ۲۱
- ۱-۱۳-۱- جبران ساز سنکرون استاتیکی به صورت سری (SSSC): ۲۱
- ۱-۱۳-۲- کنترل کننده سیلان توان میان خط (IPFC): ۲۲
- ۱-۱۴- خازن سری با کنترل تریستوری (TCSC): ۲۴
- ۱-۱۵- خازن سری قابل کلید زنی با تریستور (TSSC): ۲۴



- ۱۶-۱- راکتور با کنترل تریستوری (TCSR): ۲۵
- ۱۷-۱- راکتور سری قابل کلید زنی با تریستور (TSSR): ۲۵
- ۱۸-۱- کنترل کننده‌های ترکیبی موازی و سری ۲۶
- ۱۹-۱- ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز با کنترل تریستوری (TCPST): ۲۷
- ۲۰-۱- کنترل کننده میان فاز توان (IPC): ۲۸
- ۲۱-۱- کنترل کننده‌های دیگر ۲۸
- ۲۲-۱- لیست منافع محتمل از فن‌آوری FACTS ۲۹

فصل ۲- جبران‌سازی با ادوات FACTS: ۳۳

- ۱-۲- جبران سازی موازی ۳۳
- ۲-۲- تنظیم ولتاژ در نقطه میانی برای تقطیع خط ۳۴
- ۳-۲- پشتیبانی ولتاژ در انتهای خط برای جلوگیری از ناپایداری ولتاژ ۳۸
- ۴-۲- اصلاح پایداری حالت گذرا ۴۰
- ۵-۲- خلاصه الزامات جبران ساز ۴۳
- ۶-۲- روش‌های تولید توان راکتیو قابل کنترل ۴۴
- ۷-۲- مولدهای استاتیکی توان راکتیو با امیدانس متغیر ۴۶
- ۷-۲-۱- راکتور کنترل شده با تریستور و سوئیچ شده با تریستور (TSR, TCR) ۴۶
- ۷-۲-۲- مولد توان راکتیو از نوع خازن ثابت و راکتور کنترل شده با تریستور: ۴۹
- ۸-۲- مولدهای توان راکتیو نوع کنورتور سوئیچ شونده ۵۳
- ۹-۲- مولدهای توان راکتیو مختلط: کلید زنی کنورتور با TCR و TSC ۵۶
- ۱۰-۲- جبران سازهای استاتیکی توان راکتیو: SVC و STATCOM ۵۸
- ۱۱-۲- انواع متعارف ادوات FACTS: ۶۰
- ۱۲-۲- استفاده از ادوات FACTS در صنعت برق کشور: ۶۲
- ۱۳-۲- « نمونه‌ای از کاربرد ادوات FACTS در جهان » ۶۳
- ۱۴-۲- اثبات کارائی سیستم نصب شده: ۶۴
- ۱۵-۲- حداکثر سازی ظرفیت شبکه موجود ۶۵



www.WikiPower.ir

چکیده

افزایش بار تحمیلی به شبکه‌های انتقال و افزایش مصرف، لزوم تولید بیشتر انرژی الکتریکی را ایجاب می‌کند، ولی بدست آوردن حریم‌های جدید برای خطوط انتقال بسیار مشکل می‌باشد. و این مسائل باعث می‌شود که شرکت‌های تولید و انتقال کننده برق سعی کنند که از حداکثر ظرفیت خطوط انتقال خود استفاده کنند، فن‌آوری جدید FACTS این قابلیت را برای شرکت‌ها ایجاد و علاوه بر آن قابلیت اطمینان شبکه‌ها را نیز بالا می‌برد، در این مقاله ابتدا به شناسایی ت ادوات و تجهیزات FACTS پرداخته شده و سپس جبران‌سازی توان راکتیو برای افزایش بهینه ظرفیت خطوط انتقال مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مولدهای توان راکتیو و مثالهایی از کاربرد ادوات FACTS در جهان و ایران از بخشهای دیگر این مقاله می‌باشند.

فصل ۱- فن آوری FACTS

۱-۱- مقدمه:

در سالهای اخیر، بار تحمیلی به شبکه‌های انتقال افزایش یافته است و این افزایش هم چنان به دلیل ازدیاد تعداد مولدهای منفرد و جدا از شرکت‌های برق و همچنین افزایش رقابت میان خود شرکت‌ها، ادامه خواهد یافت. به این امر باید این مسئله را نیز افزود که به دست آوردن حریم‌های جدید برای عبور خطوط انتقال نیرو بسیار مشکل شده است. افزایش بار انتقالی، نبود طراحی بلند مدت، و نیاز به دسترسی آزادانه شرکت‌ها و مشترکین به موسسات تولید کننده، همه با هم موجب پدیدار شدن تمایلاتی در جهت ایمنی کمتر و کیفیت پایین‌تر تولید و تأمین نیرو شده اند. فن آوری FACTS، با قادر کردن شرکت‌ها به بهره‌گیری حداکثر از امکانات انتقال خود و با افزایش قابلیت اطمینان شبکه، از عوامل اساسی در برطرف نمودن پاره‌ای از - نه تمامی - این مشکلات می‌باشد.

هر چند، باید تاکید کرد که در بسیاری از ضرورت‌های افزایش ظرفیت شبکه، احداث خطوط جدید، با افزایش ظرفیت جریان و ولتاژ خطوط موجود در یک کریدور، ضرورت دارد.

فن آوری FACTS یک کنترل کننده منفرد و پرتوان نیست، بلکه مجموعه‌ای از کنترل کننده‌هاست، که هر یک می‌تواند به تنهایی یا با هماهنگی دیگر کنترل کننده‌ها یک یا چند پارامتر ذکر شده را در سیستم کنترل نماید. یک کنترل کننده FACTS که به طرز مناسبی انتخاب شده باشد، می‌تواند محدودیت‌های خاصی یک خط مشخص یا یک کریدور را برطرف نماید. از آن جا که کنترل کننده‌های FACTS کاربردهایی از یک فن آوری پایه را عرضه می‌کنند، تولید آن‌ها در نهایت می‌تواند از مزیت فن آوریهای مبنا بهره‌بردارد. همان گونه که ترانزیستور جزء پایه برای طیف وسیعی از تراشه‌های میکروالکترونیکی و مدارات

است، تریستور یا ترانزیستور قدرت بالا نیز جزء اصلی برای مجموعه‌ای از کنترل کننده‌های الکترونیکی قدرت بالا است.

برخی از کنترل کننده‌های الکترونیک قدرت، که اینک در زمره مفاهیم FACTS در آمده‌اند مربوط به زمانی هستند که مفهوم FACTS توسط آقای هینگورانی^۱ - به جامعه صنعتی معرفی شد. شاخص‌ترین آنها جبران کننده استاتیکی توان راکتیو در حالت اتصال موازی (SVC) می‌باشد، که برای کنترل ولتاژ اولین بار در نبراسکا به نمایش درآمد و به وسیله کمپانی GE در ۱۹۷۴ و به وسیله کمپانی وستینگهاوس در مینه سوتا در ۱۹۷۵ به صورت تجاری عرضه شد. اولین کنترل کننده سری، NGH-SSR با حالت میراکننده توسط هینگورانی، ساخته شد. این کنترل کننده عبارت از ابزار کنترل امپدانس به صورت خازن سری کم توان بود و در سال ۱۹۸۴ توسط زیمنس در کالیفرنیا به نمایش درآمد. این وسیله نشان داد که با یک کنترل کننده فعال هیچ حدی برای جبران سازی توسط خازن سری وجود ندارد. حتی قبل از SVC ها، دو نوع راکتور قابل اشباع استاتیک برای محدود کردن اضافه ولتاژها جود داشتند و نیز برق گیرهای قدرتمند اکسید فلزی فاقد فاصله هوایی نیز برای محدود کردن اضافه ولتاژهای گذرا به کار می‌رفتند. تحقیقاتی هم بر روی تپ چنجرهای الکترونیکی و جابه‌جا کننده‌های فاز انجام شده است. با همه این‌ها، ویژگی منحصر به فرد فن‌آوری FACTS آن است که مفاهیم این چتر گسترده، موقعیت‌های فراوان بالقوه‌ای را برای فن‌آوری الکترونیک قدرت به وجود آورده، به طوری که ارزش سیستم‌های قدرت افزایش یافته، و با استفاده از آن انبوهی از نظریات پیشرفته و جدید ارائه و به واقعیت تبدیل شده است.

¹ Hingorani

۲-۱- انواع اصلی کنترل کننده‌های FACTS

به طور کلی، کنترل کننده‌های FACTS را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد:

کنترل کننده‌های سری

کنترل کننده‌های موازی (شنت)

کنترل کننده‌های ترکیبی سری - سری

کنترل کننده‌های ترکیبی سری - موازی

شکل ۱- الف نماد عمومی برای یک کنترل کننده FACTS را نشان می‌دهد که به صورت یک پیکان،

تریستور در داخل یک جعبه است.

۱-۲-۱- کنترل کننده‌های سری:

[شکل ۱-ب] کنترل کننده سری می‌تواند یک امپدانس متغیر باشد، مثل خازن، راکتور، و غیره ...، یا یک منبع متغیر فرکانس اصلی یا زیر سنکرون و فرکانس‌های هارمونیکی مبنی بر الکترونیک قدرت باشد، (یا ترکیبی از آن‌ها) که نیاز مورد نظر را برآورده نماید. در اصل همه کنترل کننده‌های سری ولتاژ را به صورت سری به خط تزریق می‌کنند. 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 مقادیری توان راکتیو تأمین یا مصرف می‌کند. هر اختلاف فاز دیگری، جابه‌جایی توان واقعی را نیز درگیر خواهد نمود.

۱-۲-۲- کنترل کننده‌های موازی:

[شکل ۱- ج] مثل حالت کنترل کننده های سری، کنترل کننده موازی می‌تواند امپدانس متغیر، منبع متغیر یا ترکیبی از آنها باشد. در اصل همه کنترل کننده‌های موازی در نقطه اتصال خود جریان به سیستم تزریق می‌کنند. حتی 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 تزریق شده و ولتاژ خط عمود باشند، کنترل کننده موازی فقط مقادیری توان راکتیو تأمین یا مصرف می‌کند. هر اختلاف فاز دیگری، جابه‌جایی توان واقعی را نیز درگیر خواهد کرد.

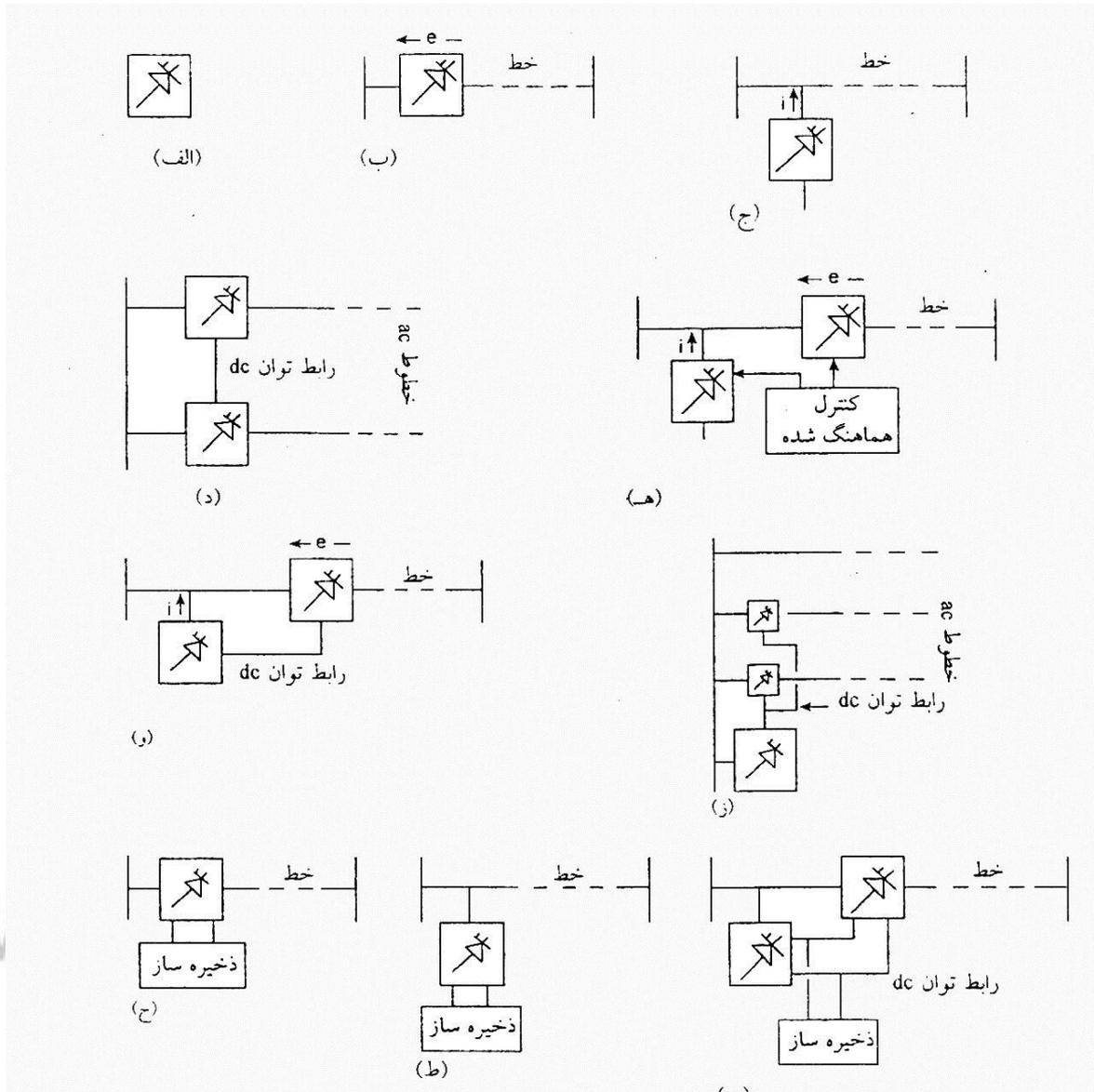
۱-۲-۳- کنترل کننده ترکیبی سری - سری:

[شکل ۱- د] این وسیله می‌تواند ترکیبی از کنترل کننده‌های سری جداگانه باشد که در چند خط انتقال یک سیستم نصب شده و به صورت هماهنگ شده کنترل می‌شوند. یا می‌تواند یک کنترل کننده یکپارچه شده باشد (شکل ۱-۴ د) که در آن، کنترل کننده‌های سری، جبران سازی راکتیو سری را به طور مستقل برای هر خط انجام می‌دهند، اما توان واقعی را نیز از طریق رابط توان بین خطوط منتقل می‌نمایند. قابلیت انتقال توان در کنترل کننده یکپارچه سری - سری که به آن کنترل کننده سیلان توان بین خطی می‌گویند، تعادل سیلان انتقال را به حداکثر می‌رساند. توجه نمایید که اصطلاح « یکپارچه شده» در این جا به این معنی است که ترمینال‌های dc در کنورتورهای همه کنترل کننده‌ها، همه به یکدیگر متصل شده‌اند تا توان واقعی را منتقل نمایند.

۱-۲-۴ - کنترل کننده ترکیبی سری - موازی:

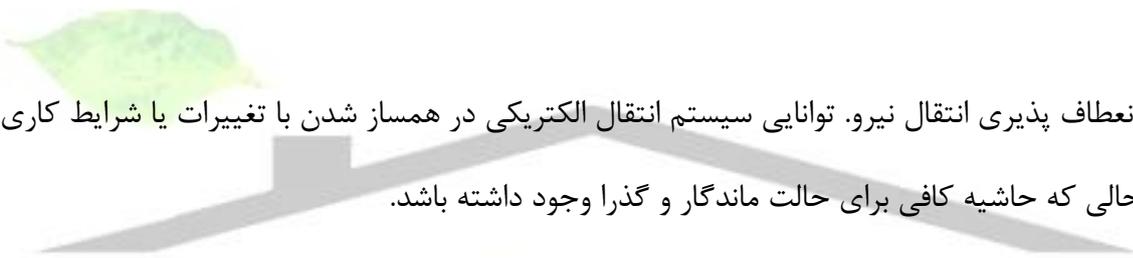
[شکل ۱ - ه و ۱- و] این وسیله می‌تواند ترکیبی از کنترل کننده‌های سری و موازی جداگانه باشد که به صورت هماهنگ شده کنترل می‌شوند، یا یک کنترل کننده یکپارچه شده سیلان توان با اجزاء سری و موازی. در اصل کنترل کننده‌های ترکیب شده سری و موازی، جریان را با بخش موازی کنترل کننده و ولتاژ سری شده با خط را در بخش سری و موازی، جریان را با بخش سری کنترل کننده، به سیستم تزریق می‌کنند. هر گاه کنترل کننده‌های سری و موازی یکپارچه شوند، تبادل توان واقعی می‌تواند بین کنترل کننده‌های سری و موازی از طریق خط رابط توان انجام شود.



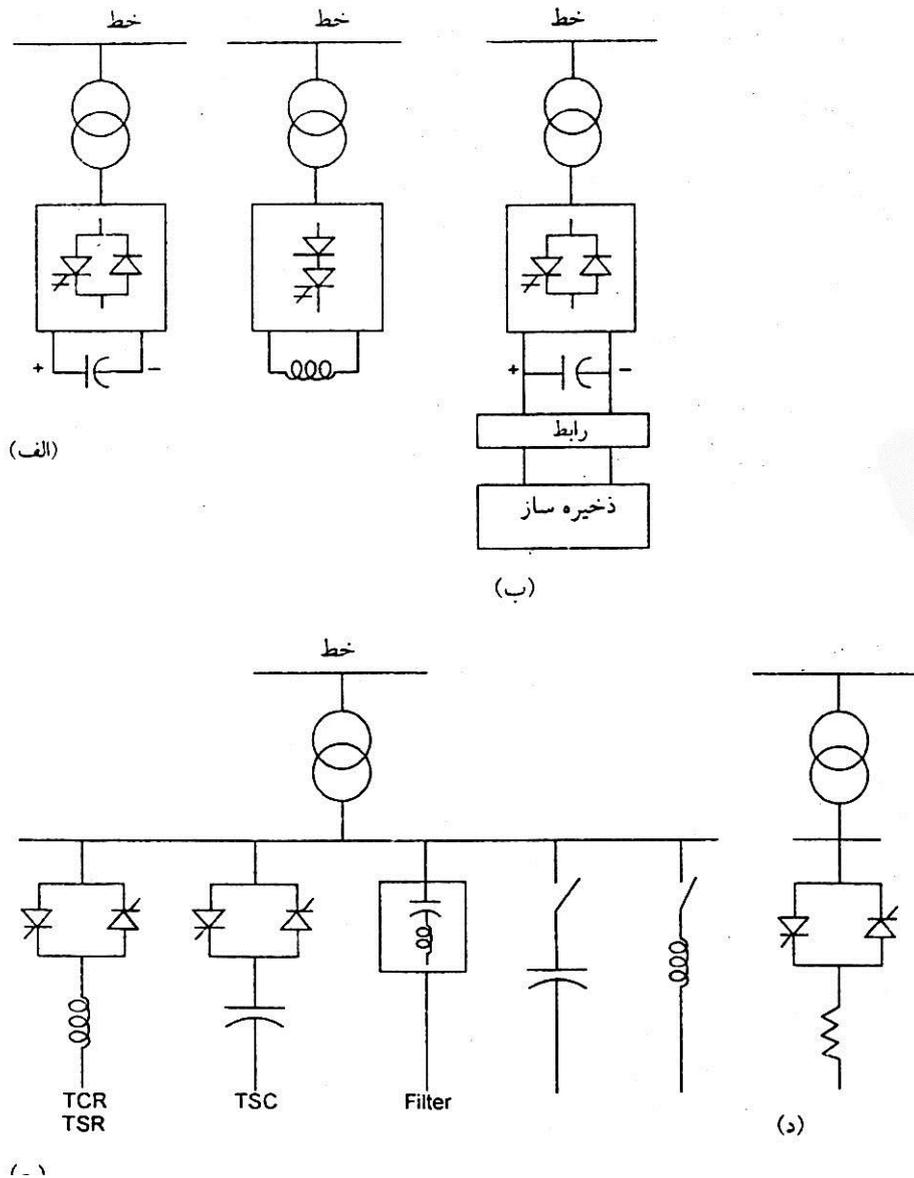


شکل ۱: انواع اصلی کنترل کننده‌های FACTS (الف) نماد عمومی برای کنترل کننده FACTS ، (ب) کنترل کننده سری، (ج) کنترل کننده موازی، (د) کنترل کننده یکپارچه سری (ه) کنترل کننده هماهنگ شده سری و موازی، (و) کنترل کننده یکپارچه سری و موازی، (ز) کنترل کننده یکپارچه برای خطوط متعدد (ح) کنترل کننده سری با ذخیره ساز، (ط) کنترل کننده موازی با ذخیره ساز، (ی) یکپارچه سری و موازی با ذخیره ساز.

واقعیت این است که کسانی که با FACTS سر و کار پیدا می‌کنند، بایستی به تعداد انبوهی از نام‌های مخفف عادت کنند. نام‌های مخفف بسیاری در حال حاضر وجود دارند و در آینده نیز توسط تولید کنندگان برای محصول خاص‌شان، و نیز توسط مؤلفین مقالات برای کنترل کننده‌های جدید یا مدل تغییر یافته‌ای از یک کنترل کننده موجود ساخته خواهد شد. گروه کاری FACTS در کمیته کاری جامعه مهندسين قدرت (PES)، وابسته به انجمن مهندسين برق و الکترونیک (آمریکا) IEEE، اصطلاحات و تعاریف مربوط به FACTS و کنترل کننده‌های FACTS را تعریف نموده است. در کنار شرح مختصری از کنترل کننده‌های FACTS، اصطلاحات و تعاریف مناسب IEEE نیز به صورت حروف خوابیده، به عنوان مرجع، در این مقاله ارائه شده است. به طور کلی این مقاله اصطلاحات و تعاریف IEEE را مورد استفاده قرار خواهد داد.



انعطاف پذیری انتقال نیرو. توانایی سیستم انتقال الکتریکی در همساز شدن با تغییرات یا شرایط کاری در حالی که حاشیه کافی برای حالت ماندگار و گذرا وجود داشته باشد.



شکل ۲ - کنترل کننده‌های موازی بسته شده: (الف) جبران کننده سنکرون استاتیکی (STATCOM)

مبتنی بر کنورتورهای منبع ولتاژی و منبع جریان؛ (ب) STATCOM با ذخیره ساز، یعنی سیستم ذخیره

انرژی باطری (BESS)، ذخیره سازی انرژی مغناطیس ابر رسانا و خازن dc بزرگ؛ (ج) جبران کننده توان

راکتیو استاتیکی (SVC)، مولد توان راکتیو استاتیکی (SVG)، سیستم توان راکتیو استاتیکی (SVS) راکتور

قابل کنترل با تریستور (TCR)، خازن قابل کلید زنی با تریستور (TSC)، وراکتور قابل کلید زنی با

تریستور (TSR)؛ (د) ترمز مقاومتی با کنترل تریستوری.

۱-۳- سیستم انعطاف پذیر انتقال AC (FACTS):

سیستم‌های انتقال نیروی جریان متناوب، با ترکیب کنترل کننده‌های مبتنی بر الکترونیک قدرت و کنترل کننده‌های استاتیکی دیگر برای افزایش قابلیت کنترل و افزایش قابلیت انتقال توان.

۱-۴- کنترل کننده FACTS.

یک سیستم مبتنی بر الکترونیک قدرت و دیگر تجهیزات استاتیکی که کنترل یک یا چند پارامتر سیستم انتقال ac را میسر می‌سازد.

۱-۵- کنترل کننده‌های موازی:

۱-۵-۱- جبران کننده سنکرون استاتیکی (STATCOM):

یک مولد سنکرون استاتیکی که به عنوان جبران ساز توان راکتیو موازی، کار می‌کند و جریان خازنی یا القایی خروجی آن را می‌توان مستقل از ولتاژ ac سیستم کنترل کرد.

STATCOM یکی از کنترل کننده‌های کلیدی FACTS است. مبنای آن می‌تواند بر کنورتور منبع ولتاژی جریانی باشد. شکل ۲ الف یک دیاگرام تک خطی STATCOM را بر اساس کنورتور منبع ولتاژی و نیز کنورتورهای منبع ولتاژی و نیز کنورتور منبع جریانی نشان می‌دهد. همان طور که قبلاً اشاره شد، از لحاظ هزینه کلی، به نظر می‌رسد که کنورتورهای منبع ولتاژی برتری داشته و در آینده مبنای عرضه اغلب کنترل کننده‌های FACTS مبتنی بر کنورتور خواهند بود.

در کنورتورهای منبع ولتاژی، ولتاژ ac خروجی، طوری کنترل می‌شود که درست برای سیلان جریان راکتیو مورد نیاز کفایت نماید. برای هر ولتاژ شنیه ac، ولتاژ خازن dc به صورت خودکار به اندازه مورد

نیاز، جهت عمل کردن به عنوان منبع ولتاژ کنورتور، تنظیم می‌شود. می‌توان STATCOM را به صورتی طراحی کرد که به عنوان یک فیلتر فعال، هارمونیک‌های سیستم را نیز جذب نماید.

STATCOM به صورتی که توسط IEEE در بالا تعریف شده، یک زیر مجموعه از گستره کنترل کننده‌های موازی است که قابلیت در اختیار داشتن یک منبع توان اکتیو یا ذخیره را در طرف ds، به صورتی که جریان تزریق شده بتواند شامل آکتیو باشد، دارا است. چنین کنترل کننده‌ای به صورت زیر تعریف می‌شود.

۱-۵-۲- مولد سنکرون استاتیکی (SSG):

یک کنورتور استاتیکی خود تغییر برای کلید زنی توان، که از یک منبع مناسب انرژی الکتریکی تغذیه می‌شود و برای تولید مجموعه‌ای از ولتاژهای خروجی قابل تنظیم به کار می‌رود و می‌تواند برای تبادل توان‌های حقیقی و راکتیوی که مستقلاً قابل کنترل هستند، با یک سیستم قدرت ac جفت شود.

روشن است که SSG (مولد سنکرون استاتیکی) ترکیبی از STATCOM و هر منبع انرژی، برای تأمین یا جذب توان است. اصطلاح SSG، نامی عمومی برای در بر گرفتن هر منبع انرژی از جمله باتری، چرخ پیار، مغناطیس ابر رسانا، خازن ذخیره dc بزرگ، یک متناوب ساز^۱ / یکسو ساز دیگر و غیره، می‌باشد. معمولاً یک واسطه الکترونیکی که به عنوان برش‌گر^۲ شناخته می‌شود، بین منبع انرژی و کنورتور مورد نیاز است. در کنورتور نوع منبع ولتاژی، منبع انرژی در خدمت تأمین متناسب بار خازن از طریق واسطه الکترونیکی است و ولتاژ مورد نیاز خازن را حفظ می‌کند.

در محدوده تعریف SSG، سیستم ذخیره انرژی باتری هم وجود دارد که تعریف آن توسط IEEE به شرح زیر است:

^۱ inverter

^۲ chopper

۱-۶- سیستم ذخیره انرژی باطری (BESS):

یک سیستم ذخیره انرژی با پایه شیمیایی، با استفاده از کنورتورهای منبع ولتاژی موازی شده، که قادر به تنظیم سریع مقدار توان جذب شده یا تأمین شده برای یک سیستم ac را دارد.

شکل ۲- ب یک دیاگرام تک خطی ساده را نشان می‌دهد که در آن وسائط ذخیره سازی به STATCOM متصل شده است. برای کاربردهای انتقال، واحد ذخیره سازی نوع BESS تمایل به کوچک‌تر شدن دارد (در حدود چند ده مگاوات ساعت)، و اگر توان کوتاه مدت کنورتور به اندازه کافی بزرگ باشد، می‌تواند مگاوات‌هایی با نسبت mw/mwh (مگاوات بر مگاوات ساعت) بالاتری برای حالت پایداری گذرا تأمین نماید. در ضمن، کنورتور می‌تواند به طور همزمان، توان راکتیوی در محدوده ظرفیت مگاوات آمپری خود را تحویل یا جذب نماید. زمانی که کنورتور به تأمین توان اکتیو برای سیستم مشغول نیست، به منظور شارژ باطری با یک سرعت مشغول نیست، به منظور شارژ باطری با یک ساعت قابل قبول، به کار می‌رود.

زیر مجموعه دیگری از SSG که برای کاربردهای انتقال مناسب است، ذخیره سازی انرژی مغناطیسی ابر رسانا (SMES) می‌باشد که تعریف آن توسط IEEE به شرح زیر است:

ذخیره ساز انرژی مغناطیسی ابر رسانا (SMES): یک دستگاه ذخیره انرژی الکترومغناطیسی به صورت ابر رسانا که شامل کنورتورهای الکترونیکی است و توان حقیقی و/یا جذب می‌کند یا سیلان توان را در سیستم ac به صورت دینامیکی کنترل می‌کند.

از آنجا که جریان dc در مغناطیس، به سرعت تغییر نمی‌کند، توان ورودی یا خروجی مغناطیس، با کنترل ولتاژ در طول مغناطیس، با استفاده از واسطه الکترونیکی مناسبی جهت اتصال به STATCOM، تغییر می‌کند.

جبران ساز توان راکتیو استاتیکی (SVC): یک مولد با جذب کننده استاتیکی توان راکتیو که به صورت موازی متصل شده و خروجی آن برای مبادله جریان خازنی یا القایی تنظیم می‌شود، به طوری که پارامترهای مشخصی در سیستم قدرت (نوعاً ولتاژ شینه) را حفظ یا کنترل نماید.

این عبارت اصطلاحی عمومی برای یک راکتور قابل کلید زنی با تریستور یا قابل کنترل با تریستور، و/یا خازن (یا ترکیب خازن و راکتور) قابل کلید زنی با تریستور است (شکل ۲-ج) عملکرد SVC بر مبنای تریستورهای فاقد قابلیت قطع دریچه است، و شامل تجهیزات جداگانه ای برای تقدم و تأخر فاز توان راکتیو است. این تجهیزات عبارتند از راکتور: با قابلیت کلید زنی یا کنترل تریستوری برای جذب توان راکتیو، و خازن: با قابلیت تریستوری برای تأمین بار راکتیو. برخی SVC را گزینه ارزان قیمت‌تر STATCOM می‌دانند، هر چند اگر ملاک مقایسه بر اساس عملکرد مورد نیاز باشد، و نه فقط مقدار MVA، وضعیت به این صورت نخواهد بود.

۱-۲- راکتور قابل کنترل با تریستور (TCR):

یک القاگر قابل کنترل با تریستور که به صورت موازی بسته شده راکتانس مؤثر آن، با کنترل هدایت جزئی دریچه تریستور، به صورت پیوسته تغییر می‌کند.

TCR زیر مجموعه ای از SVC است که در آن زمان هدایت و به این ترتیب جریان در یک راکتور موازی

با یک کلید ac مبتنی بر تریستور که زاویه آتش آن قابل کنترل است، کنترل می‌شود (شکل ۲-ج)

۸-۱- راکتور قابل کلید زنی با تریستور (TSR) :

یک القاگر قابل کلید زنی با تریستور که به صورت موازی بسته شده و مقدار راکتانس مؤثر آن، با عملکرد دریچه تریستور در حالت‌های هدایت صفر یا کامل، به صورت پله‌ای تغییر می‌کند.

TSR (شکل ۲-ج) یک زیر مجموعه دیگر از SVC است. TSR از چندین القاگر تشکیل شده است که به صورت موازی بسته شده‌اند، و با کلیدهای تریستوری فاقد کنترل زاویه آتش به مدار وارد یا از آن خارج می‌شوند تا پله‌های تغییرات مورد نیاز در توان راکتیو اخذ شده از سیستم به دست آید. استفاده از کلیدهای تریستوری فاقد کنترل زاویه آتش منجر به هزینه تلفات کمتر می‌شود، اما کنترل به صورت پیوسته نمی‌باشد.

۹-۱- خازن قابل کلید زنی با تریستور (TSC) :

یک خازن قابل کلید زنی با تریستور که به صورت موازی بسته شده و راکتانس مؤثر آن با عملکرد دریچه تریستور در حالت‌های هدایت صفر یا کامل، به صورت پله‌ای تغییر می‌کند.

TSC (شکل ۲-ج) هم یک زیر مجموعه SVC است، که در آن کلیدهای ac مبتنی بر تریستور (بدون کنترل زاویه آتش) برای وارد کردن و خارج کردن واحدهای خازن موازی به کار می‌روند تا پله‌های تغییرات مورد نیاز در توان راکتیو تحویل شده به سیستم به دست آید. بر خلاف راکتورهای موازی، خازن‌های موازی را نمی‌توان با کنترل زاویه آتش متغیر، به صورت پیوسته کلید زنی کرد.

۱-۱۰- مولد با جذب کننده توان راکتیو (SVG):

یک دستگاه یا سیستم الکتریکی - استاتیکی که قادر به کشیدن جریان القایی و/ یا خازنی کنترل شده از سیستم قدرت الکتریکی است و به این ترتیب توان راکتیو تولید یا جذب می‌کند. این دستگاه عموماً متشکل از راکتورهای قابل کنترل با تریستور و/ یا خازن‌های قابل کلید زنی با تریستور که به صورت موازی متصل شده‌اند، می‌باشد.

SVG، با همه گستردگی تعریف IEEE، به سادگی یک منبع راکتیو (var) است که با کنترل‌های مناسب می‌تواند به هر نوع جبران ساز موازی توان راکتیو مشخص یا چند منظوره، تبدیل شود. لذا هم SVC و هم STATCOM مولدهای استاتیکی توان راکتیو محسوب می‌شوند که مجهز به حلقه‌های کنترل برای تغییر var خروجی هستند، تا اهداف مشخص جبران سازی تأمین گردد.

۱-۱۱- سیستم توان راکتیو (var) استاتیکی (SVS):

ترکیبی از جبران سازهای توان راکتیو با کلید زنی‌های مختلف استاتیکی و مکانیکی، که خروجی آن‌ها با یکدیگر هماهنگ شده است.

۱-۱۲- ترمز مقاومتی با کنترل تریستوری (TCBR):

یک مقاومت کلید زنی با تریستور که به صورت موازی بسته شده، و به منظور کمک به متعادل کردن یک سیستم قدرت یا حداقل کردن شتاب گیری توان ژنراتور در زمان اخلاص، کنترل می‌شود. TCBR عبارت است از کلید زنی سیکل به سیکل یک مقاومت (معمولاً یک مقاومت خطی) به وسیله یک کلید ac مبتنی بر تریستور که دارای کنترل زاویه آتش است (شکل ۲-۵). برای هزینه کمتر، TCBR

را می‌توان با تریستور کلید زنی کرد؛ یعنی بدون کنترل زاویه آتش. به هر حال با کنترلش که می‌تواند به صورت نیم سیکل به نیم سیکل باشد، می‌توان به صورت انتخابی نوسانات کم فرکانس را میرا نمود.

۱-۱۳- کنترل کننده‌های متصل شده به صورت سری

۱-۱۳-۱- جبران ساز سنکرون استاتیکی به صورت سری (SSSC):

یک مولد سنکرون استاتیکی که بدون منبع انرژی الکتریکی خارجی، به عنوان جبران ساز سری کار می‌کند و ولتاژ خروجی آن هم دارای ۹۰ درجه اختلاف فاز با جریان خط بوده و هم قابل کنترل به طور مستقل از جریان خط است و به منظور افزایش یا کاهش کل افت ولتاژ راکتیو در طول خط و در نتیجه کنترل توان الکتریکی انتقال یافته، به کار می‌رود. SSSC می‌تواند شامل ذخیره انرژی در حد مقدار گذرا یا وسایل جذب کننده انرژی باشد تا عملکرد دینامیکی سیستم قدرت را با جبران سازی توان حقیقی اضافی به صورت موقت افزایش دهد و کل افت ولتاژ حقیقی (افت ولتاژ مقاومتی) را در طول خط به صورت لحظه‌ای افزایش یا کاهش دهد.

SSSC یکی از مهمترین کنترل کننده‌های FACTS است. مشابه STATCOM است؛ با این تفاوت که

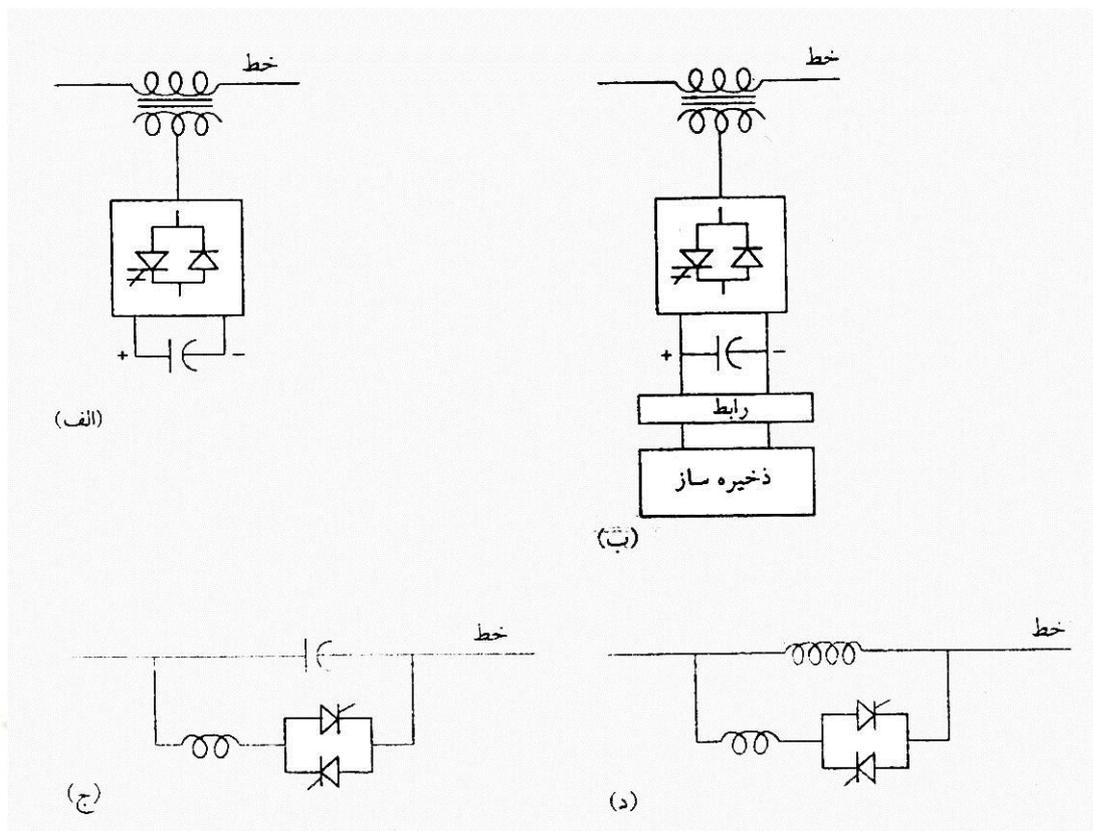
ولتاژ ac خروجی به صورت سری با خط است. می‌تواند بر پایه کنوتور منبع ولتاژی (شکل ۳ - الف) یا کنورتور منبع جریانی باشد. معمولاً ولتاژ تزریق شده به صورت سری، در مقایسه با ولتاژ خط بسیار کوچک است، و عایق بندی فاز به زمین کاملاً زیاد است. با عایق بندی مناسب بین اولیه و ثانویه ترانسفورماتور، تجهیزات کنورتور در پتانسیل زمین قرار می‌گیرند، مگر این که کل تجهیزات کنورتور بر روی سکویی که کاملاً از زمین عایق شده باشد، قرار گیرد. نسبت سیم پیچ ترانسفورماتور، متناسب با اقتصادی ترین طراحی کنورتور، انتخاب می‌شود. بدون منبع انرژی اضافی، SSSC فقط می‌تواند ولتاژ متغیری را که ۹۰ درجه با جریان تقدم و تأخر فاز دارد، به خط تزریق کند. اولیه ترانسفورماتور و لذا

ثانویه آن به همراه کنورتور بایستی جریان کامل خط را به همراه جریان خط عبور دهند، مگر این که کنورتور در جریان خطهای سنگین خط به طور موقت میان بر زده شود.

۱-۱۳-۲- کنترل کننده سیلان توان میان خط(IPFC):

IPFC کنترل کننده جدیدی است که در همین اواخر معرفی شده است، لذا IEEE هنوز تعریفی برای آن ارائه نکرده است. یک تعریف احتمالی عبارت خواهد بود از: ترکیبی از دو یا چند جبران ساز سنکرون استاتیکی سری که با واسطه یک رابط dc با هم جفت شده‌اند تا سیلان یکسویه توان حقیقی را بین ترمینالهای SSSCها تسهیل کنند؛ و کنترل آنها به منظور جبران سازی مستقل توان راکتیو است تا سیلان توان حقیقی در هر خط، تنظیم شده و توزیع مطلوب





شکل ۳ - (الف) جبران کننده سنکرون سری استاتیکی (SSSC)؛ (ب) SSSC با ذخیره ساز، (ج) خازن سری قابل کنترل با تریستور (TCSC) و خازن سری قابل کلید زنی با تریستور (TSSC)؛ (د) راکتور سری قابل کنترل با تریستور (TCSR) و راکتور قابل کلید زنی با تریستور (TSSR).

سیلان توان راکتیو در میان خطوط حفظ شود. ساختار IPFC هم می تواند شامل یک STATCOM باشد که با رابط dc مشترک IPFCها جفت شده. تا جبران سازی توان راکتیو موازی را انجام دهد و کمبود کل توان حقیقی مجموعه SSSCها را تأمین یا جذب نماید.

۱-۱۴- خازن سری با کنترل تریستوری (TCSC):

یک جبران ساز راکتانس خازنی، که شامل یک بانک خازن سری است و با یک راکتور کنترل شونده با تریستور موازی شده تا راکتانس خازنی سری با تغییرات یکنواخت فراهم آید.

TCSC (شکل ۳-ج)، بر مبنای تریستورهایی بدون قابلیت قطع دریچه است. و به عنوان جایگزینی برای SSSC قبلی محسوب می‌شود و مثل یک SSSC از ادوات مهم کنترل کننده FACTS است. یک راکتور متغیر مثل یک راکتور قابل کنترل با تریستور (TCR) به دو طرف یک خازن سری متصل می‌شود. زمانی که زاویه آتش TCR، ۱۸۰ درجه است، راکتور غیر هادی می‌شود و خازن سری امپدانس عادی خود را دارد. با شروع کاهش زاویه آتش از ۱۸۰ درجه به کمتر از ۱۸۰ درجه، امپدانس خازنی افزایش می‌یابد. در طرف دیگر، هنگامی که زاویه آتش TCR ۹۰ درجه است، راکتور به طور کامل هادی می‌شود و امپدانس کلی حالت القایی پیدا می‌کند؛ زیرا امپدانس راکتور طوری طراحی شده است که بسیار کمتر از امپدانس خازن سری باشد. در زاویه آتش ۹۰ درجه TCSC به محدود ساختن جریان خطا کمک می‌کند. TSCS می‌تواند یک واحد منفرد بزرگ باشد، و یا از چندین خازن کوچکتر هم اندازه یا متفاوت جهت رسیدن به عملکرد بهتر تشکیل شده باشد.

۱-۱۵- خازن سری قابل کلید زنی با تریستور (TSSC):

یک جبران ساز راکتانس خازنی که شامل یک بانک خازن سری است و با یک راکتور قابل کلید زنی با تریستور موازی شده تا کنترل مرحله‌ای برای راکتانس خازن سری فراهم آید.

به جای کنترل مداوم امپدانس خازنی، روش کلید زنی القاگرها در زوایای آتش ۹۰ یا ۱۸۰ درجه اما بدون کنترل زاویه آتش، میتواند هزینه و تلفات کنترل کننده را (شکل ۳-ج) کاهش دهد و تخصیص

یکی از واحدها به کنترل تریستوری، در حالی که سایر واحدها با تریستور کلید زنی می‌شوند روش معقولی خواهد بود.

۱-۱۶- راکتور با کنترل تریستوری (TCSR):

یک جبران ساز راکتانس القایی که شامل یک راکتور سری است و با یک راکتور کنترل شونده با تریستور موازی شده تا راکتانس القایی سری با تغییرات یکنواخت فراهم آید.

هنگامی که زاویه آتش در راکتور با کنترل تریستوری، ۱۸۰ درجه است قابلیت هدایت آن متوقف می‌شود، و راکتور کنترل نشده به عنوان محدود کننده جریان خطا عمل کند (۳-۵). با کاهش زاویه به کمتر از ۱۸۰ درجه، مقدار خالص ظرفیت القایی (اندوکتانس) کاهش می‌یابد تا زاویه آتش به ۹۰ درجه برسد، جایی که مقدار خالص ظرفیت القایی حاصل ترکیب موازی دو راکتور است همانند TCSC, TCSR نیز می‌تواند یک واحد منفرد بزرگ و یا چندین واحد کوچکتر سری باشد.

۱-۱۷- راکتور سری قابل کلید زنی با تریستور (TSSR):

یک جبران ساز راکتانس القایی که از موازی شدن یک راکتور سری با راکتور قابل کنترل و کلید زنی با تریستور تشکیل شده، تا کنترل مرحله‌ای راکتانس القایی سری فراهم آید. این وسیله مکمل TCSR است، اما با کلیدهای تریستوری به طور کامل باز یا بسته‌ای (بدون کنترل زاویه آتش) که جهت دست بافتن به ترکیبی مرحله‌ای از اندوکتانس سری به کار می‌روند (شکل ۳-۵).

۱-۱۸- کنترل کننده‌های ترکیبی موازی و سری

کنترل کننده یکپارچه سیلان توان (UPFC): ترکیبی از جبران ساز سنکرون استاتیکی (STATCOM) و جبران ساز سری استاتیکی (SSSC) که از طریق یک رابط dc به هم جفت شده‌اند، تا اجازه سیلان دو سویه توان حقیقی را بین ترمینالهای خروجی سری SSSC و ترمینالهای خروجی موازی STATCOM بدهند؛ و کنترل آن‌ها به منظور جبران سازی سری هم زمان توان حقیقی و راکتیو خط، بدون منبع خارجی انرژی الکتریکی، صورت می‌گیرد. UPFC، با تزریق ولتاژ سری بدون محدودیت زاویه، قادر به کنترل هم زمان یا انتخابی ولتاژ خط انتقال، امپدانس، زاویه، و یا به طور جایگزین کنترل سیلان توان حقیقی و راکتیو در خط می‌باشد. هم چنین UPFC می‌تواند جبران سازی توان راکتیو را به صورت موازی با قابلیت کنترل مستقل فراهم نماید.

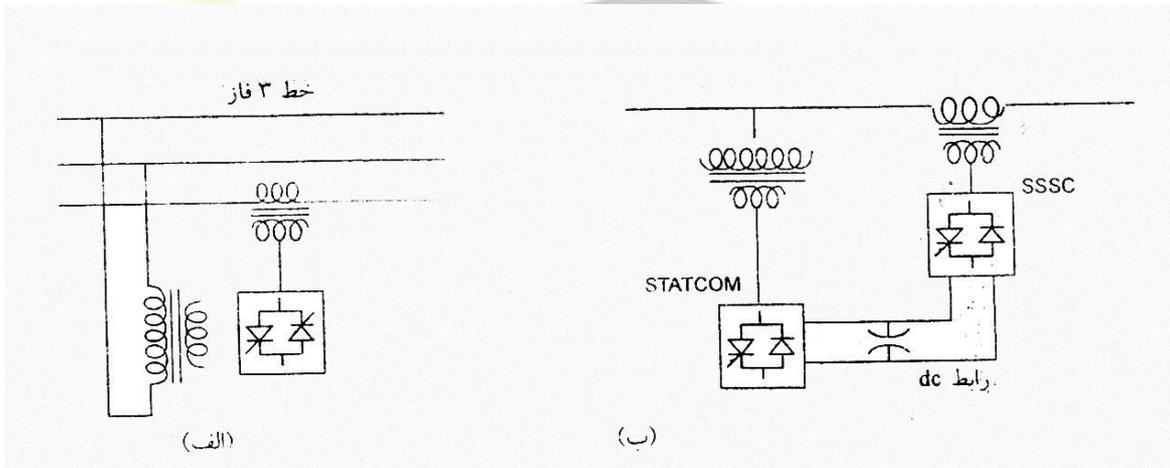
در UPFC (شکل ۴-ب)، که ترکیبی از STATCOM و یک SSSC است، توان آکتیو برای واحد سری (SSSC) از طریق STATCOM موازی کسب می‌شود؛ واحد اخیر با کنترل توان راکتیو خط، برای کنترل ولتاژ خط نیز به کار می‌رود. این یک کنترل کننده کامل برای کنترل توان آکتیو و راکتیو در خط و نیز کنترل ولتاژ خط است.

ذخیره اضافی مثل مغناطیس ابر رسانا که از طریق یک واسطه الکترونیکی به رابط dc متصل می‌شود، باعث فراهم شدن امکان توسعه بیشتر کارایی UPFC خواهد شد. همانطور که قبلاً اشاره شد، تبادل کنترل شده توان حقیقی با یک منبع خارجی، مثل یک منبع ذخیره، به مراتب در کنترل دینامیک سیستم مؤثرتر از تغییر و تنظیم انتقال توان در داخل سیستم است.

۱-۱۹- ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز با کنترل تریستوری (TCPST):

یک ترانسفورماتور جابه‌جا کننده فاز که با کلیدهای تریستوری تنظیم می‌شود تا امکان سریع تغییر زاویه فاز را فراهم کند.

به طور کلی، تغییر فاز با افزودن یک بردار عمودی ولتاژ، به صورت سری با یک فاز به دست می‌آید. این بردار بوسیله ترانسفورماتورهای موازی بسته شده از دو فاز دیگر حاصل می‌شود (شکل ۴- الف) ولتاژ سری عمودی با ترکیب بندهای مختلف الکترونیک قدرت، به صورت متغیر در می‌آید. تصویری از یک مدار که بتواند ولتاژ را معکوس نماید، می‌تواند تغییر فاز را در هر جهتی انجام دهد. این کنترل کننده را به نام تنظیم کننده زاویه فاز قابل کنترل با تریستور (TCPAR) هم می‌نامند.



شکل ۴ (الف) ترانسفورماتور جابه‌جا کننده فاز قابل کنترل با تریستور (TCPST) با تنظیم کننده زاویه

فاز قابل کنترل با تریستور (TCPAR)؛ (ب) کنترل کننده یکپارچه سیلان توان (UPFC).

۱-۲۰- کنترل کننده میان فاز توان (IPC):

یک کنترل کننده توان آکتیو و راکتیو که به صورت سری متصل شده و در هر فاز شامل شاخه‌های القایی و خازنی است که هر کدام در معرض ولتاژهایی قرار دارند که به صورت جداگانه تغییر فاز داده شده‌اند. با استفاده از کلیدهای مکانیکی یا الکترونیکی، توان آکتیو و راکتیو را می‌توان به صورت مستقل و با تنظیم جابه‌جایی فاز و / یا امپدانس شاخه، تنظیم کرد در حالت خاص که امپدانس خازنی و القایی یک جفت توأم را تشکیل می‌دهند، هر ترمینال IPC یک منبع جریان تأثیر پذیر است که بستگی به ولتاژ ترمینال دیگر دارد.

این یک مفهوم گسترده از کنترل کننده‌های سری است، که می‌تواند برای کنترل روی توان آکتیو و راکتیو طراحی شود.

۱-۲۱- کنترل کننده‌های دیگر

محدود کننده ولتاژ با کنترل تریستوری (TCVL): یک واریستور اکسید فلزی (MOV) که به منظور محدود سازی ولتاژ روی ترمینالهای آن در زمان شرایط گذرا استفاده می‌شود.

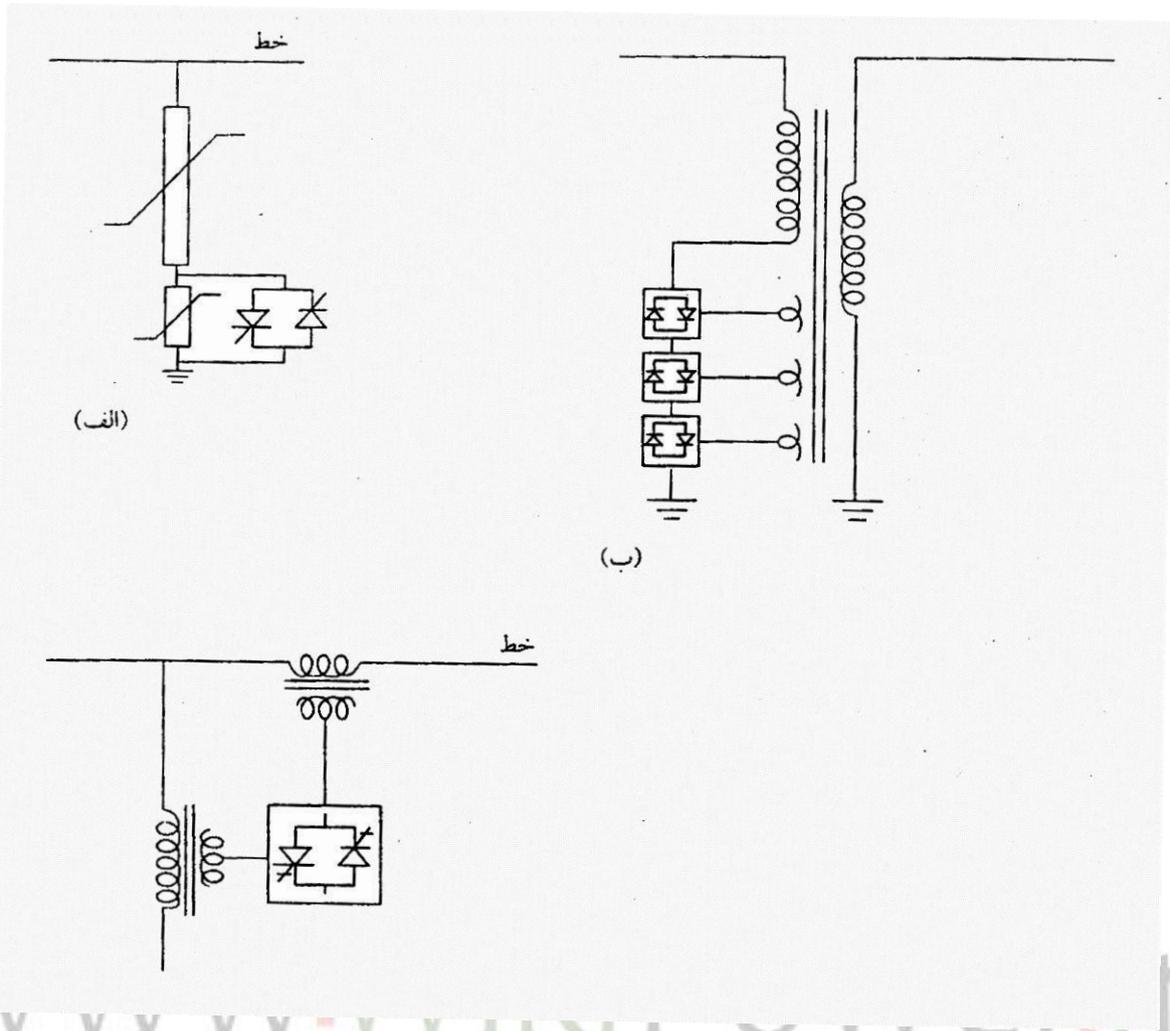
کلید تریستوری را می‌توان به صورت سری با یک برق‌گیر بدون رخنه قرار داد؛ یا (همان طور که در شکل ۵- الف نشان داده شده) بخشی از (حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد) برق‌گیر بدون رخنه را می‌توان با کلید تریستوری میان بر کرد تا سطح محدود کنندگی ولتاژ، به صورت دینامیکی کاهش یابد. به طور کلی، MOV بایستی به طرز چشمگیری قدرتمندتر از برق‌گیر بدون رخنه باشد، تا TCVL بتواند اضافه ولتاژهای دینامیکی را که در صورت سرکوب نشدن می‌توانند تا چند ده سیکل طول بکشند، موقوف کند.

تنظیم کننده ولتاژ با کنترل تریستوری (TCVR): یک ترانسفورماتور قابل کنترل با تریستور که می‌تواند ولتاژ هم فاز متغیر، با کنترل مداوم را تأمین نماید.

بنابر دلایل علمی، این وسیله می تواند یک ترانسفورماتور معمولی با تپ چنجر قابل کنترل با تریستور (شکل ۵-ب) باشد، یا ترانسفورماتوری معمولی با یک کنورتور ولتاژ ac به ac که قابل کنترل با تریستور است و برای تزریق ولتاژ ac از هم فاز به صورت سری به همان خط استفاده می شود (شکل ۵-ج). چنین کنترل کننده نسبتاً کم قیمتی می تواند برای کنترل سیلان توان راکتیو بین دو سیستم ac بسیار مؤثر باشد.

۱-۲۲- لیست منافع محتمل از فن آوری FACTS

این کنترل کننده ها، مالکین شبکه های انتقال را قادر می کنند تا بر حسب مورد، یک یا چند مزیت از مزایای زیر را به دست آورند:



شکل ۵ انواع کنترل کننده‌های دیگر: (الف) محدود کننده ولتاژ قابل کنترل با تریستور (TCVL)؛ (ب) تنظیم کننده ولتاژ قابل کنترل با تریستور (TCVR) مبتنی بر تغییر تپ؛ (ج) تنظیم کننده ولتاژ قابل کنترل با تریستور (TCVR) مبتنی بر تزریق ولتاژ.

۱- کنترل سیلان توان بر حسب سفارش

استفاده از کنترل سیلان توان می‌تواند ناشی از تعهد قراردادی، برآورده کردن نیاز خود شرکت برق، حصول اطمینان از سیلدن مقدار بهینه توان، راهبری سیستم در شرایط اضطراری یا ترکیبی از این‌ها باشد.

۲- افزایش قابلیت بارگیری خطوط تا حد حرارتی آن‌ها، شامل حد کوتاه مدت و فصلی.

این امر می‌تواند با غلبه بر محدودیت‌های دیگر به انجام رسد و تقسیم توان در میان خطوط بر اساس قابلیت‌های آن‌ها صورت گیرد. توجه به این نکته اهمیت دارد که قابلیت حرارتی یک خط بسته به شرایط محیطی و تاریخچه بارگیری خط حاشیه تغییرات گسترده‌ای دارد.

۳- افزایش ایمنی سیستم از طریق افزایش حد پایداری گذرا، محدود کردن جریان اتصال کوتاه و اضافه بارها، مدیریت کردن خاموشی‌های مکرر و میرا کردن نوسانات الکترومکانیکی در سیستم قدرت و ماشین‌ها.

۴- تأمین خطوط ارتباط امن با شرکت‌ها و مناطق هم‌جوار و از این طریق کاهش ظرفیت رزرو تولید برای هر دو طرف.

۵- ایجاد انعطاف بیشتر در جایابی نیروگاه‌های جدید.

۶- ارتقاء ظرفیت خطوط

۷- کاهش سیلان توان راکتیو و فراهم کردن امکان برای انتقال بیشتر توان اکتیو توسط خطوط

۸- کاهش سیلان‌ات حلقوی

۹- افزایش بهره‌گیری از کمترین هزینه تولید. یکی از اساسی‌ترین دلایل برای انتقال به هم پیوسته، بهره‌گیری از کمترین هزینه تولید است. هنگامی که چنین امری محقق نشود، به معنای آن است که ظرفیت انتقال نیروی مقرون به صرفه به اندازه کافی وجود ندارد. لذا افزایش ظرفیت مقرون به صرفه اقتصادی، اجازه استفاده بیشتر از تولید با کمترین هزینه را خواهد داد.



فصل ۲- جبران سازی با ادوات FACTS:

۲-۱- جبران سازی موازی

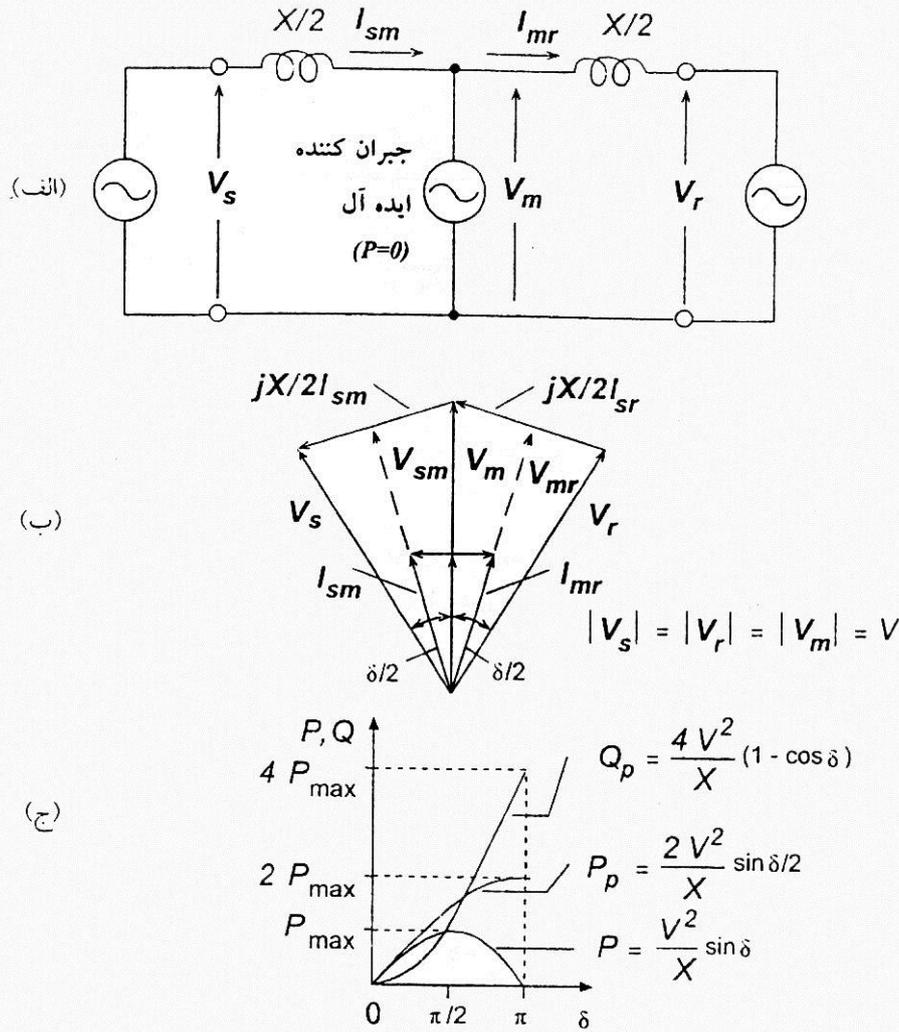
همواره بدیهی بوده که با جبران سازی موازی مناسب توان راکتیو، توان قابل انتقال در حالت ماندگار می‌تواند افزایش یافته و پروفیل ولتاژ در طول خط کنترل شود. منظور از این جبران سازی توان راکتیو تغییر مشخصه‌های الکتریکی طبیعی خط انتقال است، تا انطباق بیشتری با تقاضای غالب بار پیدا کند. به این ترتیب، راکتورهای ثابت یا با سوئیچ‌های مکانیکی، به صورت موازی به کار می‌روند تا اضافه ولتاژهای را تحت شرایط «بار سبک» به حداقل برسانند و خازن های ثابت یا با سوئیچ‌های مکانیکی را به صورت موازی به کار می‌روند تا تحت شرایط «بار سنگین»، سطح ولتاژ را حفظ نمایند.

در این بخش، ملاحظات اساسی برای افزایش توان قابل انتقال، با بهره‌گیری از جبران ساز موازی راکتوری ایده‌آل مرور خواهد شد، تا شالوده‌ای برای جبران سازی مبتنی بر الکترونیک قدرت، و روش‌های کنترل برای دستیابی به اهداف مشخص جبران سازی، به دست آید. هدف نهایی از کاربرد جبران سازی موازی توان راکتیو در یک سیستم انتقال، افزایش توان انتقالی است. ممکن است که بهبود مشخصه‌های انتقال در حالت ماندگار به همراه پایداری سیستم مورد نظر باشد. به این ترتیب جبران سازی توان راکتیو برای تنظیم ولتاژ در نقطه وسط (یا برخی نقاط میانی) مورد استفاده قرار می‌گیرد تا خط انتقال تقطیع شود و در انتهای خط (شعاعی) از ناپایداری ولتاژ جلوگیری به عمل آید؛ به علاوه، جبران سازی توان راکتیو برای کنترل دینامیکی ولتاژ، افزایش پایداری در حالت گذرا و میرایی نوسانات توان را در پی خواهد داشت.

۲-۲- تنظیم ولتاژ در نقطه میانی برای تقطیع خط

یک مدل ساده انتقال دو ماشین (دوشینه) را که در آن یک جبران ساز توان راکتیو ایده‌آل به صورت موازی در نقطه وسط خط متصل شده، مطابق شکل شکل ۱- الف در نظر بگیرید. به منظور سادگی، خط با اندوکتانس سری خط نمایش داده شده است. جبران ساز با یک منبع ولتاژ سینوسی (با فرکانس مؤلفه اصلی) نشان داده شده که با ولتاژ نقطه میانی V_m هم فاز بوده و دامنه ولتاژ آن مشابه ولتاژهای طرف تولید کننده و مصرف کننده است ($V_m = V_s = V_r = V$). جبران ساز نقطه میانی، در واقع خط انتقال را به دو قطعه مستقل تقسیم می کند: قطعه اول با امپدانس $\frac{X}{4}$ توان را از طرف تولید کننده به نقطه میانی انتقال می دهد. و قطعه دوم باز هم با امپدانس $\frac{X}{4}$ توان را از نقطه میانی به طرف مصرف کننده می برد.

رابطه بین ولتاژهای V_m, V_r, V_s و (نیز V_{rm}, V_{sm})، و جریان قطعات I_{sm}, I_{mr} به صورت دیاگرام



شکل ۱ سیستم دو ماشینه با یک جبران ساز راکتیو نقطه میانی (الف) دیاگرام فازوری مربوطه (ب)، و مشخصه انتقال توان در برابر زاویه که تغییرات توان حقیقی P_p و توان راکتیو خروجی جبران ساز Q_p را با زاویه δ نشان می دهد (ج).

فازوری در شکل ۱ نشان داده شده است. توجه کنید که جبران ساز توان راکتیو نقطه میانی، در این فرآیند تنها به مبادله توان راکتیو با خط انتقال می‌پردازد.

در سیستم فاقد تلفاتی که فرض شده است، توان اکتیو در هر یک از پایانه‌های خط (طرف تولید کننده، نقطه میانی، و طرف مصرف کننده)، برابر است و به سادگی از دیاگرام فازوری شکل ۱ با روابط زیر استنتاج می‌شود:

$$V_{sm} = V_{mr} = v \cos \frac{\delta}{\xi} \cdot I_{sm} = I_{mr} = I = \frac{\xi V}{X} \sin \frac{\delta}{\xi}$$

توان انتقالی عبارت است از:

$$p = V_{sm} I_{sm} = V_m I_{sm} \cos \frac{\delta}{\xi} = VI \cos \frac{\delta}{\xi}$$

یا

$$p = \frac{V^2}{X} \sin \frac{\delta}{2}$$

و به همین شکل:

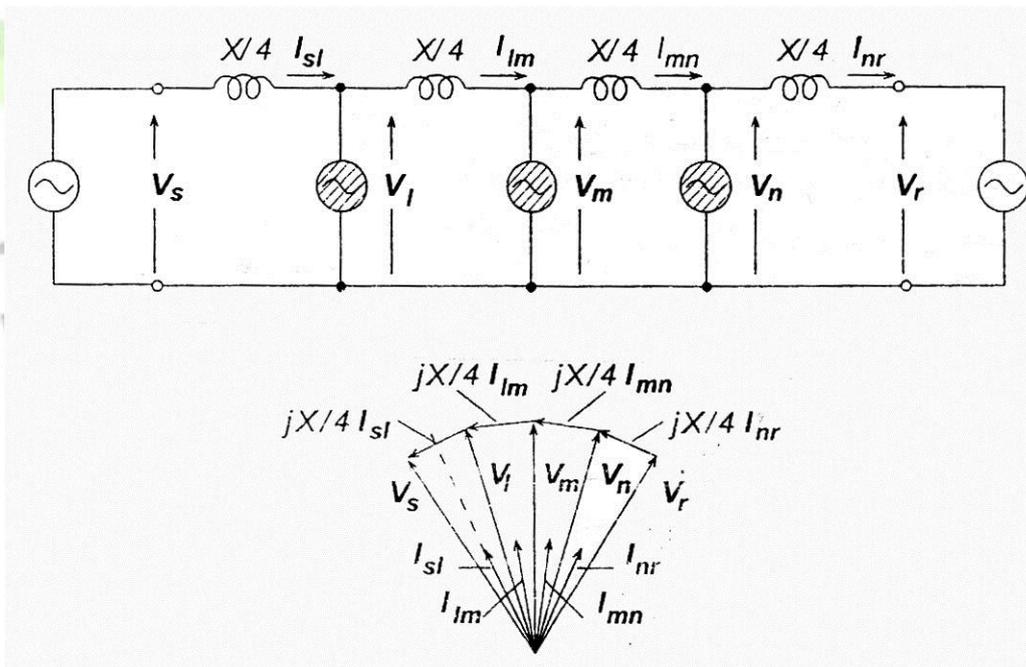
$$Q = VI \sin \frac{\delta}{\xi} = \frac{\xi v^2}{x} \left(1 - \cos \frac{\delta}{2} \right)$$

رابطه بین توان حقیقی p ، توان راکتیو Q ، و زاویه S ، در حالت جبران سازی موازی ایده‌آل در شکل ۱-۱ ج ترسیم شده است. می‌توان مشاهده کرد که جبران سازی موازی در نقطه میانی، می‌تواند به میزان قابل توجهی توان انتقالی را افزایش دهد (مقدار حداکثر را دو برابر کند) به بها این که تقاضای توان راکتیو را از جبران ساز نقطه میانی (و همچنین در مولدهای طرفین انتهایی) به سرعت اضافه نماید.

هم چنین آشکار است که در سیستم تک خطی شکل ۱ نقطه میانی خط انتقال بهترین مکان برای جبران ساز است. علت آن است که کاهش ولتاژ در طول جبران سازی نشده خط، در نقطه میانی بیشترین مقدار را دارد. هم چنین، جبران سازی در نقطه میانی، خط انتقالی را به دو بخش مساوی

تقسیم می‌کند که برای هر یک از آن‌ها حداکثر توان قابل انتقالی برابر است. در قطعات نامساوی، به وضوح توان قابل انتقال قطعه طولانی‌تر، تعیین کننده کل توان قابل انتقالی است.

مفهوم چند قطعه کردن خط می‌تواند به استفاده از چندین جبران ساز، که در فواصل قطعات مساوی خط انتقال قرار گرفته‌اند، مانند چهار قطعه‌ای که در شکل ۲ نشان داده شده‌اند، توسعه یابد. از نظر تئوری، توان قابل انتقال با هر بار دو برابر کردن قطعات در یک خط انتقال، دو برابر می‌شود. به علاوه، با افزایش تعداد قطعات، تغییر ولتاژ در طول خط به سرعت کاهش یافته و به حالت ایده‌آل پروفیل ولتاژ ثابت نزدیک می‌شود.



شکل ۲-۵ سیستم دو ماشین با جبران سازهای راکتیو ایده‌آل که از طریق تقطیع خط پروفیل ولتاژ خط را به صورت ثابت حفظ می‌کنند، و دیاگرام فازوری مربوطه.

بایستی توجه کرد که چنین جبران سازی توزیع شده‌ای به پاسخ لحظه‌ای و قابلیت تولید و جذب توان راکتیو نامحدود در جبران سازه‌های موازی مورد استفاده بستگی دارد؛ به طوری که این جبران سازه‌ها می‌بایست با فاز غالب ولتاژ قطعات، سنکرون بوده و دامنه از پیش تعریف شده ولتاژ انتقال را مستقل از تغییرات بار حفظ نمایند.

چنین سیستمی، به هر حال پیچیدگی و هزینه‌ای بیشتر از آن دارد که عملی باشد؛ به خصوص اگر الزامات پایداری و قابلیت اعتماد تحت شرایط اضطراری نیز مد نظر قرار گیرند. در هر صورت، علمی بودن تقطیع محدود خط، با استفاده از جبران سازی‌های استاتیکی توان راکتیو با کنترل ترستوری، توسط خط اصلی ۷۳۵ کیلو ولتی به طول ۶۰۰ کیلومتر در شبکه قدرت هیدروکبک^۱ - که به منظور انتقال توان تا ۱۲۰۰۰ مگاوات از مجتمع برق آب جیمزبی^۲ به شهر مونترال و شرکت‌های هم جوار در آمریکا، ساخته شده - نشان داده شده است. مهم‌تر از آن، مزیت‌های پشتیبانی ولتاژ در سیستم انتقال، با استفاده از جبران سازی موازی کنترل شده در نقاط استراتژیک سیستم انتقال با وجود تاسیسات متعددی در جهان به نمایش درآمده است.

۲-۳- پشتیبانی ولتاژ در انتهای خط برای جلوگیری از ناپایداری ولتاژ

پشتیبانی ولتاژ در نقطه میانی در یک سیستم انتقال قدرت دو ماشینه که در بالا شرح داده شد، به راحتی می‌تواند به مورد خاص خط انتقال شعاعی نیز توسعه یابد. در واقع، اگر یک بار غیر فعال که توان P را در ولتاژ V مصرف می‌کند، به نقطه میانی در طرف مصرف کننده (که شامل ژنراتور سمت مصرف کننده، و خط رابط $\frac{X}{۲}$ است) متصل شود، ژنراتور طرف تولید کننده با امپدانس $\frac{X}{۲}$ و بار، مجموعاً نمایش دهنده

^۱ - Hydro-Q uebec

^۲ - james bay

یک سیستم ساده شعاعی خواهد بود. روشن است که بدون جبران سازی، ولتاژ در نقطه میانی (که حال طرف مصرف کننده است) با مقدار بار (و ضریب قدرت بالا) تغییر خواهد کرد.

یک سیستم شعاعی ساده، بار راکتانس خط تغذیه کننده X و امپدانس بار Z ، به همراه نمودار V_r (ولتاژ نرمال شده) در برابر p (توان) که در ضریب قدرت‌های متفاوت از $0/8$ تا $0/9$ متقدم، ترسیم شده - در شکل ۳- الف نشان داده شده است. نقطه دماغه هر منحنی که در هر یک از ضریب قدرت‌ها نشان داده شده، نمایان گر ناپایداری ولتاژ سیستم در شرایط سیستم مربوطه است. باید توجه شود که حد ناپایداری ولتاژ با بارهای القایی کاهش یافته و با بارهای خازنی افزایش می‌یابد.

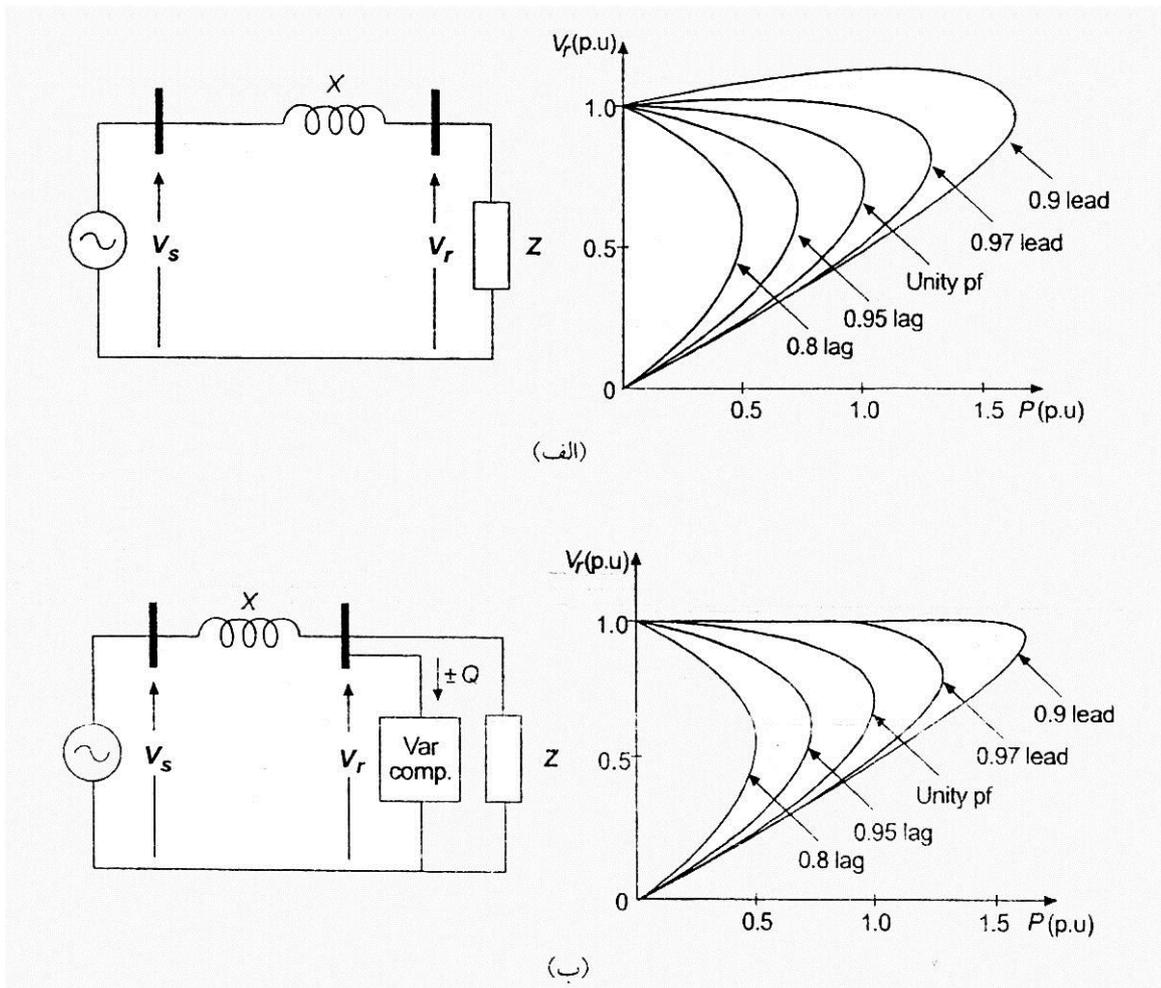
مشخصه‌های ذاتی مدار در ساختار ساده شعاعی و منحنی‌های V_r در مقابل p ، که در شکل نشان داده شده‌اند، به روشنی گویای آن است که جبران سازی راکتیو موازی می‌تواند به صورتی مؤثر حد پایداری ولتاژ را با تأمین بار راکتیو و تنظیم ولتاژ انتهایی ($v - v_r = 0$)، افزایش دهد. این مطلب در شکل ۳- ب نشان داده شده است. واضح است که برای یک خط شعاعی، انتهای خط، که بیشترین تغییرات ولتاژ در آن جا اتفاق می‌افتد، بهترین محل برای جبران ساز است (به یادآورید که در مقابل، نقطه میانی مؤثرترین مکان برای خطی است که شینه‌های دو سیستم ac را به هم متصل می‌کند).

جبران سازی موازی توان راکتیو اغلب در کاربردهای علمی برای تنظیم ولتاژ در یک شینه مورد نظر مقابل تغییرات بار به کار می‌رود، یا برای پشتیبانی ولتاژ بار در هنگامی که، به دلیل مسائل تولید یا خروجی خط، ظرفیت سیستم طرف تولید کننده دچار اختلاف شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثالی که اغلب پیش می‌آید، هنگامی است که یک منطقه بزرگ بار توسط خطوط مستقل از دو یا چند نیروگاه تغذیه می‌شود. (این وضع اغلب زمانی به وجود می‌آید که تولید توان محلی کفایت رشد بار منطقه را نمی‌کند و توان اضافی از طریق یک خط انتقال مجزا به منطقه وارد می‌شود.) از دست رفتن یکی از منابع توان می‌تواند نیاز بار را در بقیه سیستم به سرعت افزایش دهد و باعث کاهش جدی ولتاژ گردد که نهایتاً می‌تواند به سقوط ولتاژ منجر شود.

۲-۴- اصلاح پایداری حالت گذرا

جبران سازی موازی توان راکتیو می تواند به میزان قابل ملاحظه ای حداکثر توان انتقالی را افزایش دهد. به این ترتیب، منطقی است که انتظار داشته باشیم با کنترل کننده های مناسب و سریع، جبران سازی موازی قادر به تغییر سیلان توان در سیستم، هم زمان و پس از اعوجاج های دینامیکی باشد، به گونه ای که حد پایداری گذرا افزایش یافته و میرا سازی نوسان توان به صورت مؤثری فراهم شود.

مؤثر بودن بالقوه جبران سازی موازی (و نیز سایر تکنیک های کنترل سیلان و جبران سازی) بر بهبود پایداری گذرا، به طور متدوال با «معیارهای سطح معادل» قابل ارزیابی است. منحنی «معیار سطح معادل» با کمک سیستم ساده دو ماشینه (طرف مصرف کننده یک شینه بی نهایت است)، و دو خط که در شکل ۴- الف نشان داده شده و منحنی های مربوط به p در مقابل δ که در شکل ۴- ب نشان داده شده اند، توضیح داده می شود. فرض کنید که سیستم کامل، با منحنی های p در برابر δ ی «a» مشخص شده، و با زاویه δ_1 در حال انتقال توان p_1 در زمانی است که خطایی در قسمت «۱» خط بروز می کند. در مدت خطا مشخصه سیستم با منحنی «b» نمایش داده می شود، و به این ترتیب در طول این مدت،

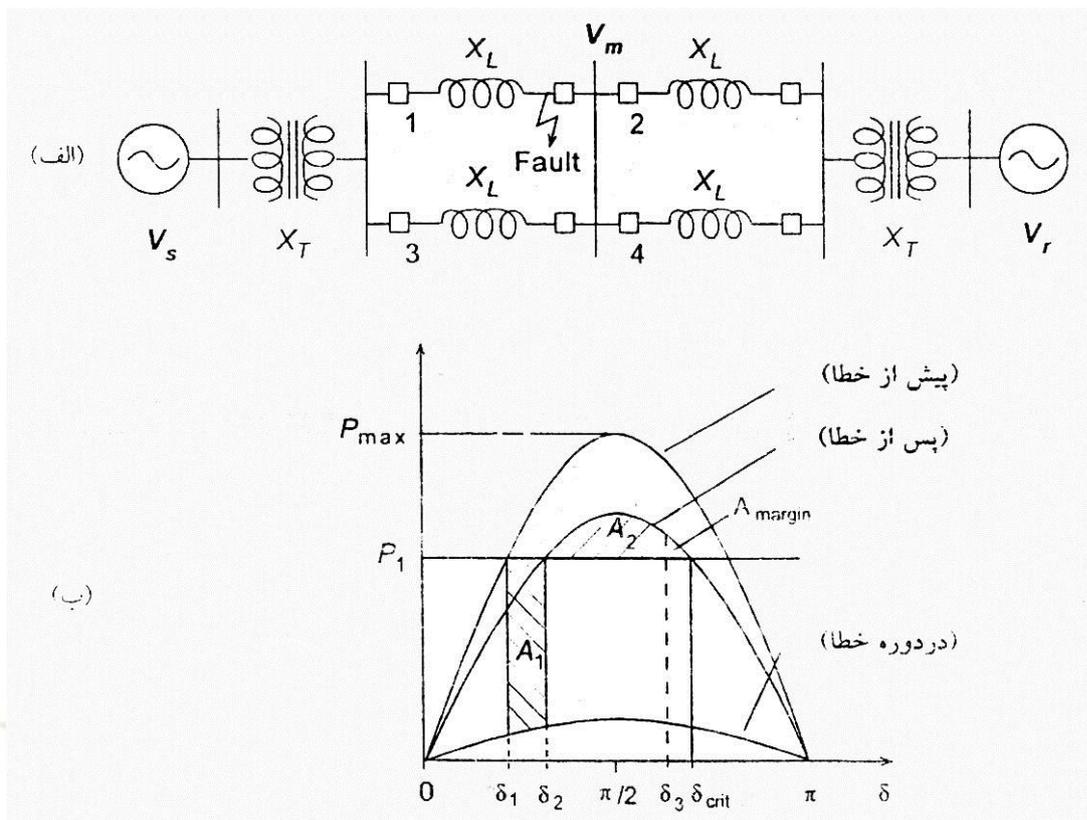


شکل ۳-۵ تغییرات حد پایداری ولتاژ در یک خط شعاعی با بار و ضریب بار (الف)، و گسترش این حد توسط جبران ساز راکتیو موازی (ب).

مقدار توان انتقال یافته به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد؛ در صورتی که توان مکانیکی ورودی به ژنراتور طرف تولید کننده، عملاً در مقدار P_1 ثابت می‌ماند. در نتیجه ژنراتور شتاب می‌گیرد و زاویه انتقال از δ_1 به δ_2 افزایش می‌یابد که در این جا کلیدهای حفاظت کننده، قطعه «۱» خط را که دچار خطا شده قطع می‌کنند و ژنراتور طرف تولید کننده، انرژی شتاب دهنده را که با سطح « A_2 » نمایش داده شده، جذب می‌کند. پس از بر طرف شدن خطا، در حالی که قطعه «۱» خطا در مدار نیست، سیستم کاهش

یافته، با منحنی «C» توان انتقال یافته از توان مکانیکی ورودی P_1 تجاوز می‌کند و ژنراتور طرف تولید کننده شروع به کاهش شتاب می‌کند؛ در این حال زاویه δ به دلیل انرژی جنبشی ذخیره شده در ماشین افزایش بیشتری می‌یابد. با رسیدن به حداکثر زاویه δ ، انرژی کاهنده شتاب که با سطح « A_1 » نشان داده شده با انرژی شتاب دهنده که با سطح « A_1 » نمایش داده شده برابر می‌شود. حد پایداری حالت گذرا در $\delta_p = \delta_{CRU}$ فرا می‌رسد، که پس از آن انرژی کاهنده شتاب با انرژی شتاب دهنده برابر نخواهد کرد و حالت هم زمانی (سنکرون) بین طرف تولید کننده و طرف مصرف کننده قابل بازگشت نخواهد بود. سطحی که با « A_{margin} » نشان داده شده و بین زاویای δ_p و δ قرار گرفته، نشان دهنده حاشیه پایداری گذاری سیستم است.

از بحث کلی بالا معلوم می‌شود که پایداری گذرا، در یک سیستم انتقال تعریف شده که دارای زمان بر طرف کردن خطای معین است، با مشخصه P در برابر δ سیستم در حالت پس از بروز خطا تعیین می‌شود. از آن جا که جبران سازی موازی با کنترل مناسب، می‌تواند پیش‌تیبانی ولتاژ مناسبی ایجاد کند، قادر است تا قابلیت انتقال سیستم را بعد از وقوع خطا افزایش داده و به این ترتیب پایداری گذرا را بیشتر کند.



شکل ۵-۴ نمایش معیار سطح معادل برای پایداری گذرا در یک سیستم قدرت دو ماشینه و دو خطه.

۲-۵- خلاصه الزامات جبران ساز

الزامات کارکردی جبران ساز موازی توان راکتیو را که برای افزایش انتقال توان، اصلاح ولتاژ، و

پایداری حالت گذرا، و میرایی نوسانات توان به کار می‌رود، می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

جبران ساز بایستی تحت همه شرایط کارکردی، شامل اختلالات اساسی، در حال عملکرد هم زمان

(سنکرون) با سیستم ac در شینه جبران سازی شده، باقی بماند.

جبران ساز بایستی قادر به تنظیم ولتاژ شینه به منظور پشتیبانی ولتاژ و بهبود پایداری حالت گذرا

باشد، یا آن را به عنوان یک اولویت پایه‌ای بر اساس نیاز سیستم در هنگامی میرایی نوسان توان و

افزایش پایداری حالت گذرا، کنترل نماید.

در یک خط انتقال که دو سیستم را به هم متصل می کند، بهترین مکان برای جبران ساز توان راکتیو در نقطه وسط است، در حالی که برای یک تغذیه کننده شعاعی بار، بهترین مکان در انتهای طرف بار است.

۲-۶- روش های تولید توان راکتیو قابل کنترل

بر حسب تعریف، خازن ها تولید کننده و راکتورها (القاگراها) جذب کننده توان راکتیو هستند، هر گاه که به یک منبع توان ac متصل شوند. آن ها را با کلیدهای مکانیکی برای کنترل (کلان) تولید و جذب توان راکتیو، از روزهای آغازین انتقال توان ac، به کار گرفته اند. تولید یا جذب توان راکتیو به صورت مداوم برای جبران سازی دینامیکی سیستم، ابتدا توسط ماشین های گردان سنکرون زیر تحریک یا فوق تحریک، و بعدها توسط راکتورهای اشباع شونده به همراه خازن های ثابت انجام می شد.

از اوایل دهه ۱۹۷۰، ترستورهای خط - جابه جایی پر قدرت به همراه خازن ها و راکتورها در پیکربندی های مختلف مدار به کار گرفته شدند تا خروجی راکتیو متغیر را تولید نمایند. این ادوات در واقع امپدانس موازی متغیری را با کلید زنی هم زمان خازن های موازی و/ یا راکتورها به شبکه یا به بیرون شبکه، ایجاد می نمایند. با استفاده مناسب از کنترل کلید زنی ها، خروجی توان راکتیو می تواند به صورت مستمر، از خروجی حداکثر خازنی تا حداکثر القایی در یک ولتاژ معین شینه، کنترل شود. در این اواخر ترستورهای دارای قطع دریچه و دیگر نیمه هادی های قدرت برای تولید و جذب توان راکتیو، بدون استفاده از خازن های ac یا راکتورها، مورد استفاده قرار گرفته اند. این ادوات به صورت جبران سازهای (خازن های) هم زمان عمل می کنند، که در آن ها مقدار ولتاژ تولید شده در داخل مدار برای کنترل توان راکتیو خروجی، کنترل می شود. همه مدارهای مختلف نیمه هادی قدرت، که کنترل داخلی آن ها را قادر به تولید توان راکتیو خروجی متناسب با یک ورودی مرجع می کند، جملگی در تعریف مشترک IEEE و CIGRE، مولد استاتیکی توان راکتیو (SVG) نامیده می شوند. به این ترتیب یک جبران ساز استاتیکی توان راکتیو (SVG)، در تعریف مشترک IEEE- CIGRE، یک مولد استاتیکی توان راکتیو (SVG) است که

خروجی آن به گونه‌ای تغییر می‌کند که پارامترهای مشخصی از سیستم قدرت الکتریکی (مثل ولتاژ، فرکانس) را حفظ کرده یا کنترل کند. اگر به صورت یک «جعبه سیاه» به موضوع نگاه کنیم، مولد استاتیکی توان راکتیویک دستگاه عمل کننده خودکفا است که جریان راکتیو قابل کنترل را از یک منبع توان متناوب می‌کشد. ورودی کنترل کننده به مولد توان راکتیو می‌تواند به دلخواه (و در محدوده عملکرد دستگاه) جریان راکتیو، امپدانس یا سیگنال‌های مرجع توانی باشد که مولد توان راکتیو (SVG) باید در خروجی خود ایجاد نماید. به این ترتیب، مولد توان راکتیو را می‌توان به عنوان یک تقویت کننده توان دید که عیناً سیگنال مرجع در سطح توان مطلوب، باز تولید می‌نماید. استفاده کارآمد از مولد توان راکتیو به روشنی با سیگنال مرجعی که در اختیار آن قرار می‌گیرد تعریف می‌شود. در نتیجه، بر اساس تعریف IEEE-CIGRE، یک مولد استاتیکی توان راکتیو، هنگامی که مجهز به کنترل‌های خارجی (با سیستمی) ای باشد که مرجع مورد نیاز برای ورودی آن را از متقضیات کارکردی و متغیرهای غالب سیستم قدرت استخراج می‌نمایند، تبدیل به یک جبران ساز توان راکتیو می‌شود تا جبران سازی مورد نظر در خط انتقال به انجام رسد.

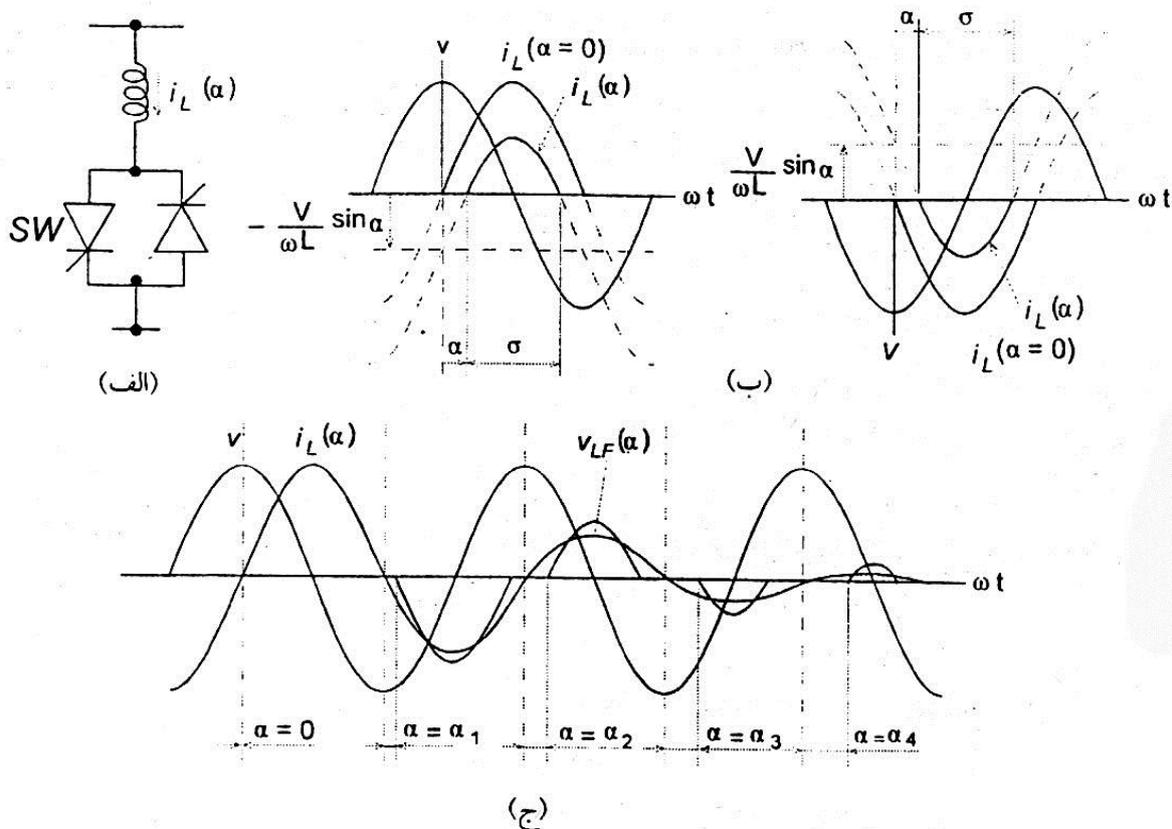
مولدهای مدرن استاتیکی توان راکتیو بر مدارهای کلید زنی نیمه هادی توان زیاد، مبتنی هستند. این مدارهای کلید زنی ذاتاً برخی از مشخصه‌های کارکردی مهم، مثل ولتاژ اعمال شده در برابر توان راکتیو خروجی قابل حصول، تولید هارمونیک، تلفات در برابر توان راکتیو خروجی، و زمان پاسخ قابل دسترسی را به عنوان محدودیت‌های عملکرد قابل وصول مولد توان راکتیو، تعیین می‌کنند، و مستقل از کنترل‌های خارجی مورد استفاده در نهایت همان‌ها را در جبران ساز استاتیکی توان راکتیو هم تعیین می‌نمایند.

۲-۷- مولدهای استاتیکی توان راکتیو با امیدانس متغیر

نحوه کار و مشخصه‌های عملکرد مولدهای توان راکتیو نوع امیدانسی توسط اجزاء متشکله اصلی آن‌ها که با تریستور کنترل می‌شوند، تعیین می‌شوند؛ مثل راکتور کنترل شده با تریستور و خازن سوئیچ شونده با تریستور

۲-۷-۱- راکتور کنترل شده با تریستور و سوئیچ شده با تریستور (TSR, TCR)

یک راکتور ابتدایی تک فاز که با تریستور کنترل شده (TCR) در شکل ۵ - الف نشان داده شده است. این دستگاه شامل یک راکتور ثابت (معمولاً با هسته هوایی) با اندوکتانس L و یک والو تریستور دو طرفه (یا کلید) SW است. تریستورهای بزرگی که در حال حاضر در دسترس هستند، می‌توانند ولتاژهای ۴۰۰۰ تا ۹۰۰۰ ولت را مسدود سازند و جریان‌های ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ آمپر را هدایت نمایند. بنابراین، در یک والو کارآمد، تریستورهای زیادی (نوعاً ۱۰ تا ۲۰ دستگاه) به صورت سری متصل می‌شوند تا در یک توان معین تأمین کننده سطح ولتاژ مورد نیاز برای مسدود سازی باشند. یک والو تریستوری می‌تواند با اعمال هم زمان یک پالس دریچه به همه تریستورهایی که هم پلاریته هستند، به وضعیت هدایت برود. والو بلافاصله بعد از اینکه جریان ac به صفر می‌رسد به صورت خودکار مسدود می‌شود، حتی اگر سیگنال دریچه مجدداً اعمال شود.



شکل ۵ راکتور ابتدایی کنترل شده با تریستور (الف)، کنترل تأخیر زاویه آتش (ب)، و شکل موج‌های

عملکرد (ج)

جریان در راکتور می‌تواند از حداکثر (والو تریستوری بسته) تا صفر (والو تریستوری باز) با روش

کنترل تأخیر در زاویه آتش، کنترل شود و بدین معنی که بسته شده والو تریستوری نسبت به پیک ولتاژ

اعمال شده در هر نیم سیکل، تأخیر داشته، و به این ترتیب طول دوره‌های هدایت جریان کنترل

می‌شوند. این روش کنترل جریان، به صورت مجزا برای نیم سیکل‌های مثبت و منفی جریان در شکل ۵-

ب نشان داده شده است، که در آن ولتاژ اعمال شده v و جریان راکتور $i_L(\alpha)$ در زاویه تأخیر صفر (کلید

کاملاً بسته) و در یک زاویه تأخیر اختیاری α ، نشان داده شده‌اند. هنگامی که $\alpha = 0$ والو sw در قله ولتاژ

اعمال شده بسته می‌شود و روشن است که جریان حاصله در راکتور همان جریانی خواهد بود که در

حالت ماندگار و با یک کلید همیشه بسته، حاصل می‌شود. هنگامی که در پیچه‌ای شدن والو به اندازه زاویه

α ($0 \leq \alpha \leq \pi/2$) نسبت به قله ولتاژ به تأخیر انداخته شود، جریان داخل رآکتور می‌تواند با

به صورت زیر بیان شود: $v(t) = V \cos wt$

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{\alpha}^{wt} v(t) dt = \frac{V}{\omega L} (\sin wt - \sin \alpha) \quad (A)$$

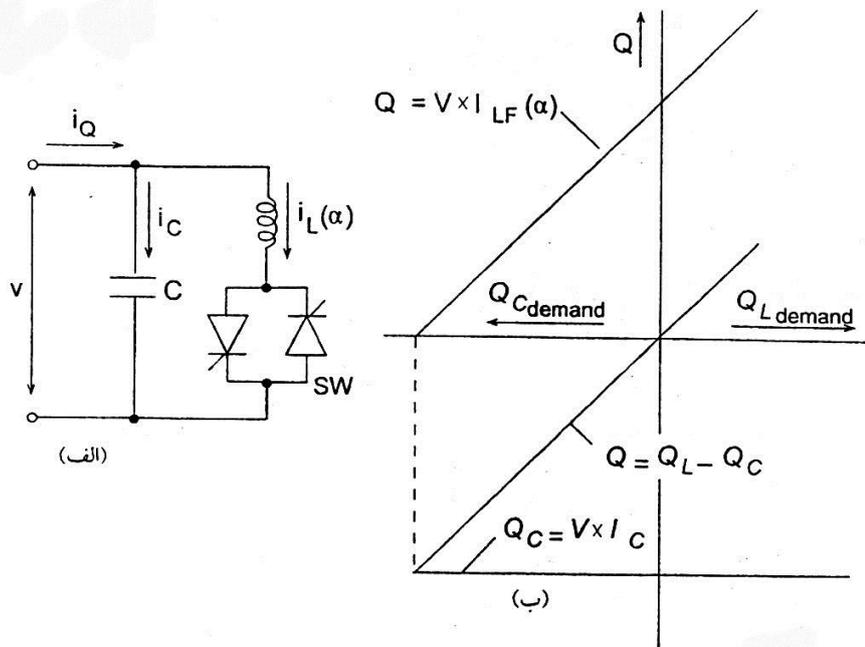
از آن جا که والو تریستوری بر حسب تعریف، با رسیدن جریان به صفر باز می‌شود، رابطه (a) برای دوره زمانی $\alpha \leq wt \leq \pi - \alpha$ صحیح است. روشن است که برای دوره‌های زمانی نیم سیکل مثبت بعدی، همان رابطه معتبر است. برای دوره‌های نیم سیکل منفی بعدی، علامت جمله‌های رابطه (a) مثبت می‌شوند.

در رابطه (a) جمله $(v/\omega L) \sin \alpha$ به سادگی یک ثابت وابسته به α است که به ازاء آن جریان سینوسی حاصله، همان گونه که در شکل ۵- ب نشان داده شده، در $\alpha = 0$ یک جریان متعادل، در مقدار مثبت آن دارای انتقال به سمت پایین، و در مقدار منفی دارای انتقال به سمت بالا است. از آن جا که در لحظه صفر شدن جریان (که در رآکتور فاقد تلفات، بر روی محور زمانی، قرینه لحظه وصل نسبت به پیک جریان است) والو به صورت خودکار قطع می‌شود، در واقع این فرآیند دوره هدایت (با زاویه) والو تریستوری را کنترل می‌کند. یعنی این که، زاویه تأخیر α زاویه هدایت غالب σ ($\sigma = \pi - 2\alpha$) را تعریف می‌کند. به این ترتیب، هم چنان که زاویه تأخیر α افزایش می‌یابد، افزایش پیامد ناشی از آن منجر به کاهش زاویه هدایت σ والو و کاهش بعدی جریان رآکتور می‌شود. در حداکثر تأخیر $\alpha = \pi/2$ ، تفاوت نیز به حداکثر خود $v/\omega L$ می‌رسد، که در آن هم زاویه هدایت و هم جریان رآکتور صفر می‌شوند.

آشکار است که مقدار جریان در رآکتور می‌تواند به صورت پیوسته، با استفاده از روش کنترل زاویه تأخیر از حداکثر ($\alpha = 0$) تا صفر ($\alpha = \pi/2$) تغییر داده شود؛ همان گونه که در شکل ۵- ج نشان داده شده، و در آن، جریان رآکتور $i_L(\alpha)$ به همراه مؤلفه اصلی آن $i_{LF}(\alpha)$ در زاویه‌های تأخیر α مختلفی نشان داده شده است.

¹ - offset

۲-۷-۲- مولد توان راکتیو از نوع خازن ثابت و راکتور کنترل شده با تریستور:



شکل ۶ مولد استاتیکی توان راکتیو از نوع ابتدایی FC-TCR و مشخصه تقاضای توان راکتیو آن در برابر توان راکتیو خروجی

یکی از آرایش‌های اصلی مولد توان راکتیو با استفاده از یک خازن ثابت (دائم متصل) و یک راکتور کنترل شده با تریستور (FC-TCR) به صورت کارکردی در شکل ۶-الف نشان داده شده است. جریان در راکتور با روشی که قبلاً به عنوان کنترل تأخیر زاویه آتش مورد بحث قرار گرفت تغییر می‌کند. خازن ثابت در عمل معمولاً به صورت کامل یا به صورت محدود، با یک مدار فیلتر که امپدانس خازنی مورد نیاز را در فرکانس مؤلفه اصلی دارا می‌باشد، جایگزین می‌شود، تا توان راکتیو مورد نیاز را تولید کند؛ اما این

فیلتر در فرکانس‌های انتخاب شده امیدانس کم ایجاد می‌کند تا هارمونیک‌های عمده تولید شده توسط TCR را شنت نماید.

مولد توان راکتیو از نوع خازن ثابت و راکتیور کنترل شده با تریستور را می‌توان به طور اصولی شامل یک راکتور متغیر (کنترل شده با زاویه تأخیر α) و یک خازن ثابت در نظر گرفت، که دارای مشخصه کلی تقاضای توان راکتیو در برابر خروجی توان راکتیو مطابق شکل ۶ - ب می‌باشد. همانطور که دیده می‌شود، تولید توان راکتیو خازنی ثابت (QC) مربوط به خازن ثابت، در مقابله با توان راکتیو جذب شده متغیر (Q_L) مربوط به راکتور کنترل شده با تریستور، قرار می‌گیرد، تا منجر به توان راکتیو خروجی کلی (Q) شود. در حداکثر توان راکتیو خازنی خروجی، راکتور کنترل شده با تریستور، قرار می‌گیرد، تا منجر به توان راکتیو خروجی کلی (Q) شود. در حداکثر توان راکتیو خازنی خروجی، راکتور کنترل شده با تریستور قطع است ($\alpha = 90^\circ$). برای کاهش خروجی خازنی، جریان راکتور با کاهش زاویه تأخیر α افزایش می‌یابد. در توان راکتیو خروجی صفر، جریان‌های خازنی و القایی برابر شده و به این ترتیب توان‌های راکتیو خازنی و القایی حذف می‌شوند. با کاهش بیشتر در زاویه α (با فرض اینکه اندازه نامی راکتور بزرگتر از خازن است)، جریان القایی بزرگتر از جریان خازنی می‌شود، و نتیجه یک خروجی خالص القایی توان راکتیو است. در زاویه تأخیر صفر، راکتور کنترل شده با تریستور جریان را در دوره ۱۸۰ درجه کامل هدایت می‌کند، و منجر به حداکثر توان راکتیو خروجی القایی می‌شود که برابر است با اختلاف میان توان‌های راکتیو تولید شده توسط خازن و جذب شده توسط راکتور دارای هدایت کامل.

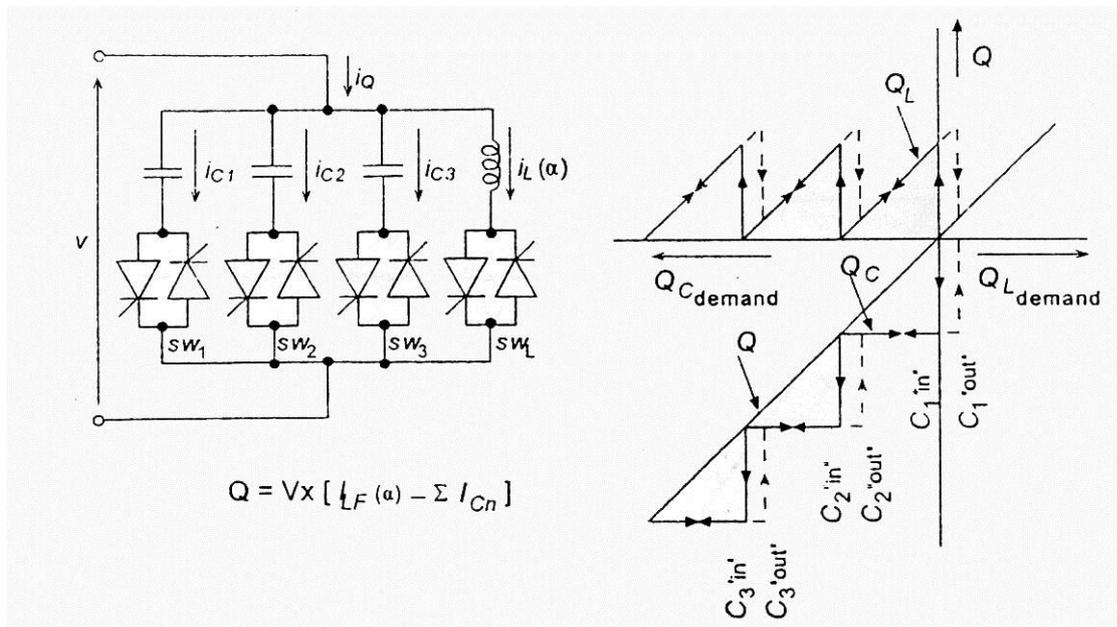
ج - مولد توان راکتیو کنترل شده با تریستور، خازن سوئیچ شده با تریستور. جبران ساز نوع خازن سوئیچ شده با تریستور، راکتور کنترل شده با تریستور (tsc-tcr)، در ابتدا برای جبران سازی دینامیکی سیستم‌های انتقال قدرت با قصد به حداقل رساندن تلفات حالت «آماده به کار» و تأمین انعطاف‌پذیری عملیاتی بیشتر، ساخته شد.

یک آرایش ابتدایی TSC-TCR تک فاز در شکل ۷ - الف نشان داده شده است. برای یک محدوده خروجی خازنی داده شده، این آرایش شامل n شاخه TSC و یک TCR است. تعداد شاخه‌ها (n) با ملاحظات عملی که شامل: سطوح ولتاژ عملیاتی، حداکثر توان راکتیو خروجی، جریان نامی والوهای تریستوری، شکل شینه بندی و هزینه‌های نصب، و غیره است، تعیین می‌شود. البته محدوده القایی هم می‌تواند تا هر مقدار نامی حداکثر، با استفاده از شاخه‌های tcr اضافی، توسعه یابد.

عملکرد مولد توان راکتیو TSC-TCR نشان داده شده در شکل ۷ - الف را می‌توان به صورت زیر شرح

داد:

کل محدوده خروجی خازنی به n دوره تقسیم شده است. در اولین دوره، خروجی مولد توان راکتیو در محدوده صفر تا Q_{Cmax}/n قابل کنترل است، که Q_{Cmax} عبارت است از کل توان نامی که به وسیله همه شاخه‌های tsc ایجاد می‌شود. در این فاصله، یک بانک خازنی به داخل مدار سوئیچ می‌شود (مثلاً با آتش کردن والو تریستوری SW_1) و به طور همزمان جریان داخل tcr با تأخیر زاویه آتش متناسب تنظیم می‌شود، به صورتی که جمع خروجی توان راکتیو TSC (منفی) و TCR (مثبت) برابر خروجی خازنی مورد نیاز شود.



$$Q = Vx [I_F (\alpha) - \sum I_{Cn}]$$

شکل ۷- مولد استاتیکی توان راکتیو از نوع TSC-TCR ابتدایی و مشخصه تقاضای توان راکتیو آن در

برابر توان راکتیو خروجی.

در دومین، سومین، و ... و n امین فاصله، توان خروجی در محدوده‌های Q_{Cmax}/n تا $2Q_{Cmax}/n$ ، Q_{Cmax}/n تا $3Q_{Cmax}/n$ ، ... و $(n-1)Q_{Cmax}/n$ تا Q_{Cmax} می‌تواند با سوئیچ کردن دومین، سومین، ...، و n امین بانک خازنی به داخل مدار و استفاده از TCR برای جذب توان راکتیو خازنی اضافی، کنترل شود.

با داشتن توانایی کلید زنی بانک‌های خازنی به داخل و خارج مدار ظرف یک سیکل ولتاژ ac، حداکثر توان راکتیو خازنی اضافی در کل محدوده خروجی می‌تواند به توان تولید شده توسط یک بانک خازنی محدود شود، و به این ترتیب از نظر تئوری، tcr بایستی دارای همان توان راکتیو نامی tsc باشد. اما، برای حصول اطمینان از این که شرایط کلید زنی در نقاط انتهایی فاصله‌ها مبهم نباشد، توان راکتیو نامی tcr در عمل بایستی مقدار بزرگتر از tsc باشد تا هم پوشانی (هیستریزیس) کافی بین سطوح توان راکتیو در «کلید زنی به داخل» و «کلید زنی به خارج مدار»، وجود داشته باشد.

مشخصه توان راکتیو مورد نیاز در مقابل توان راکتیو خروجی، برای مولد توان راکتیو نوع TSC-TCR در شکل ۷-ب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، توان راکتیو خروجی خازنی Q_C ، به صورتی پله‌ای توسط TSC ها تغییر داده شده تا توان راکتیو مورد نیاز، با یک مقدار خالص توان راکتیو خازنی اضافی تقریب زده شود، و خروجی نسبتاً کوچک توان راکتیو القایی TCR یعنی Q_L استفاده شده تا توان‌های راکتیو خازنی اضافی حذف گردند.

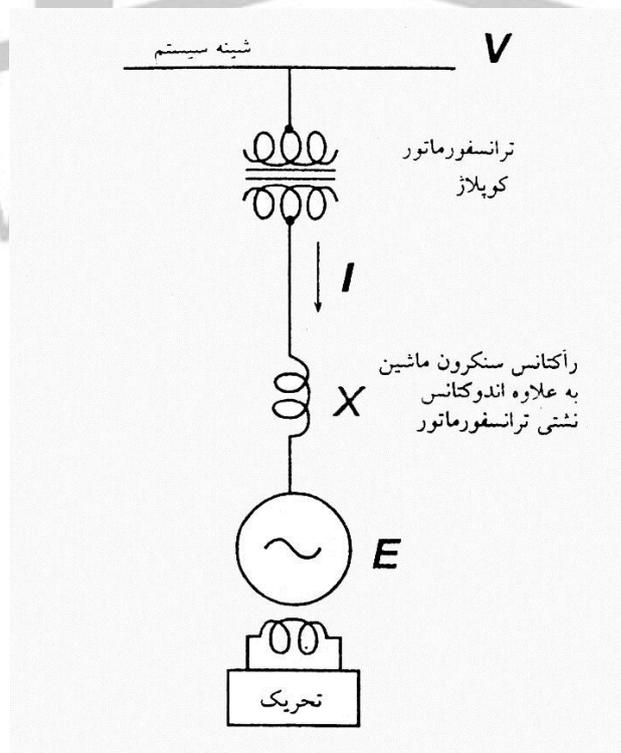
۲-۸- مولدهای توان راکتیو نوع کنورتور سوئیچ شونده

مولدهای استاتیکی توان راکتیو که در بخش قبل مورد بحث قرار گرفتند، توان راکتیو کنترل را با کلید زدن هماهنگ بانک‌های خازنی و راکتور به داخل یا خارج مدار تولید یا جذب می‌کنند. هدف از این رویکرد تولید یک امپدانس موازی راکتیو متغییر است که می‌تواند، به منظور بر آورده کردن شرایط جبران سازی شبکه انتقال، (به صورت پیوسته یا پله‌ای) تنظیم شود. امکان تولید توان راکتیو قابل کنترل به صورت مستقیم، بدون استفاده از خازن‌های ac یا راکتور، و با کلید زنی متعدد کنوتورهای قدرت را آقای «گایوگی» در سال ۱۹۷۶ آشکار نمود. این کنوتورهای (dc به ac یا ac به ac) به عنوان منابع ولتاژ و جریان عمل می‌کنند و اساساً توان راکتیو را بدون اجزاء ذخیره ساز انرژی راکتیو و با چرخاندن جریان متناوب در میان فازهای سیستم ac، تولید می‌کنند. از لحاظ عملکردی، و از نقطه نظر تولید توان راکتیو، عملکرد آن‌ها مشابه یک ماشین سنکرون ایده‌آل است که توان راکتیو خروجی آن با کنترل تحریک تغییر می‌کند. آن‌ها مانند ماشینی که با توان حقیقی نیز با سیستم ac مبادله کنند. به دلیل این تشابهات با یک مولد گردان سنکرون، آن‌ها را اصلاً مولدهای استاتیک سنکرون (SSG) می‌نامند. هنگامی که یک SSG بدون منبع انرژی، و با کنترل‌های مناسب برای عمل کردن به عنوان یک جبران ساز راکتیو موازی بسته شده، کار می‌کند، مانند مشابه آنالوگ‌اش که جبران ساز سنکرون گردان (کندوانسور) نام دارد، اصلاً به آن جبران ساز سنکرون استاتیکی (کندانسور) یا STATCON (STATCOM) می‌گویند.

توان راکتیو قابل کنترل می‌تواند به وسیله تمام انواع کنوتورهای سوئیچ شونده dc به ac یا ac به ac تولید شود. نوع اول عموماً کنوتور dc به ac یا فقط کنوتور نامیده می‌شود، در حالی که نوع دوم را «تغییر دهنده فرکانس» یا «سیکلوکنورتور» می‌نامند. عملکرد عادی کنوتورها تغییر توان dc به ac است و کار تغییر دهنده‌های فرکانس، تغییر توان ac از یک فرکانس به توان ac با فرکانس دیگر است. یک کنوتور قدرت از هر یک از این دو نوع، شامل آرایه‌ای از کلیدهای حالت جامد است که ترمینال‌های ورودی را به ترمینال‌های خروجی متصل می‌کند. در نتیجه یک کنورتور قدرت سوئیچ شونده، هیچ نوع ذخیره انرژی داخلی ندارد و به این ترتیب توان ورودی - لحظه‌ای باید برابر توان خروجی لحظه‌ای باشد. هم‌چنین، پایانه‌های ورودی و خروجی باید مکمل یکدیگر باشند، یعنی این که، اگر ورودی منتهی به یک منبع ولتاژ است (که می‌تواند یک منبع ولتاژ فعال مثل یک باتری، یا غیر فعال مثل یک خازن باشد) آن گاه خروجی بایستی منتهی به یک منبع جریان باشد (که در عمل همیشه به معنی یک منبع ولتاژ با یک منبع امپدانس القایی با یک امپدانس القایی غیر فعال است) و بر عکس. در حالت کنوتورهای dc به ac، پایانه‌های dc معمولاً به عنوان «ورودی» در نظر گرفته می‌شوند و بنابراین کنوتورهای منبع ولتاژی یا منبع جریانی بر حسب این که با یک منبع ولتاژ (خازن) یا با یک منبع جریان (القارگر) موازی شده باشند از یکدیگر تمیز داده می‌شوند.

کنوتورهایی که در حال حاضر در کنترل کننده‌های FACTS به کار می‌روند، نوع منبع ولتاژی هستند، اما ممکن است که نوع منبع جریانی نیز در آینده مورد استفاده قرار گیرد. دلایل عمده برای ترجیح کنوتورهای منبع ولتاژی عبارت‌اند از: (۱) کنوتورهای منبع جریانی نیاز به نیمه هادی‌های قدرت با قابلیت مسدود سازی دو جانبه ولتاژ، دارند. نیمه هادی‌های توان زیاد در دسترس که دارای قابلیت قطع دریچه هستند (GTOها و IGBTها) یا اصلاً نمی‌توانند ولتاژ معکوس را مسدود کنند یا می‌توانند این کار را فقط با تأثیر مخرب بر پارامترهای مهم دیگر (مثل افزایش تلفات هدایت) انجام دهند. (۲) در عمل منتهی کردن ترمینال‌های dc کنوتور به یک منبع جریان تراز نوع راکتور شارژ شده با جریان، بسیار پر

تلفات تر از اتصال انتهایی توسط منبع ولتاژ از نوع خازن شارژ شده با ولتاژ است. (۳) کنورتور منبع جریانی نیاز به پایانه‌ای از نوع منبع ولتاژ در ترمینال‌های ac دارد، که معمولاً به صورت یک فیلتر خازنی است. کنورتور منبع ولتاژی نیاز به پایانه‌ای از نوع منبع جریان در ترمینال‌های ac دارد، که به صورت طبیعی با اندوکتانس نشتی ترانسفورماتور کوپل کننده تعیین می‌شود. (۴) اتصال و انتهایی با منبع ولتاژ (یعنی یک خازن dc بزرگ) قابلیت ایجاد یک حفاظت خودکار برای نیمه هادی‌های قدرت، در برابر وضعیت‌های گذرای خط انتقال را دارد. کنورتورهای منبع جریانی ممکن است نیاز به حفاظت‌های اضافی، در برابر اضافه ولتاژها یا مقادیر ولتاژ نامی بالاتر، برای نیمه هادی‌ها داشته باشند. به هر حال، کنورتورهای منبع جریانی یک مزیت عمده بر همتای منبع ولتاژی خود دارند و آن ایمنی تقریباً کامل آن‌ها در برابر اتصال کوتاه ترمینال‌ها است، که به دلیل محدودیت ذاتی جریان خروجی آن‌ها - که توسط منبع جریان تأمین می‌شود - می‌باشد.



شکل ۸ - تولید توان راکتیو به وسیله یک جبران ساز سنکرون گردان (کندانسور)

اصول اولیه عملکرد. اصل اولیه تولید توان راکتیو توسط یک کنورتور منبع ولتاژی، مشابه یک ماشین سنکرون گردان از نوع متداول است که به صورت شماتیک در شکل ۸ نشان داده شده است. برای سیلان توان راکتیو به صورت خالص، نیروهای برق رانی^۱ القا شده سه فاز (EMFها) ، e_c, e_b, e_a در ماشین گردان سنکرون با ولتاژهای V_c, V_b, V_a هم فاز هستند. جریان راکتیو I که به وسیله جبران ساز سنکرون کشیده می شود، با مقدار ولتاژ V ، ولتاژ داخلی E ، و کل راکتانس مدار X (راکتانس ماشین سنکرون، به علاوه راکتانس نشستی ترانسفورماتور به علاوه راکتانس اتصال کوتاه سیستم) تعیین می شود:

$$I = \frac{V - E}{X} \quad (5-12)$$

توان راکتیو متناظر Q که مبادله می شود با رابطه زیر بیان شود:

$$Q = \frac{I - \frac{E}{V}}{X} V^2 \quad (5-13)$$

با کنترل کردن تحریک ماشین، و به این ترتیب کنترل دامنه ولتاژ داخلی آن E که متناسب با دامنه ولتاژ سیستم V است، سیلان توان راکتیو می تواند کنترل شود. افزایش E به مقدارای بیش از V (یعنی عملکرد فوق تحریک) منجر به جریانی دارای تقدم فاز می شود؛ یعنی اینکه، ماشین به عنوان یک خازن توسط سیستم ac «دیده» می شود. کاهش e به مقداری کمتر از V (یعنی عملکرد زیر تحریک) جریانی با تأخیر فاز ایجاد می کند؛ بدین معنی که، ماشین به عنوان یک راکتور (القاگر) توسط سیستم ac «دیده» می شود. البته، تحت هر یک از دو شرایط عملکرد، مقدار کمی از توان حقیقی از سیستم ac به ماشین سیلان می یابد تا تلفات مکانیکی و الکتریکی آن را تأمین کند.

۹-۲- مولدهای توان راکتیو مختلط: کلید زنی کنورتور با TSC و TCR

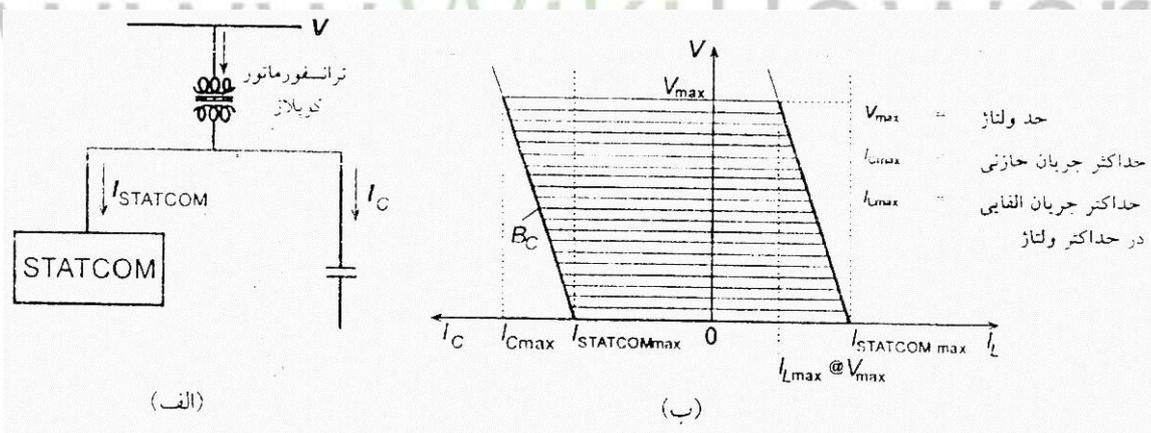
مولد توان راکتیو مبتنی بر کنورتور می تواند به یک مقدار حداکثر توان راکتیو جذب یا تولید کند؛ به عبارت دیگر این مولد دارای محدوده مشابه کنترل، برای خروجی توان راکتیو خازنی و القایی است. به

¹ - Electromotive

هر حال در کاربردهای زیادی ممکن است محدوده متفاوت تولید و جذب توان راکتیو خواسته شود. این امر به سادگی به وسیله ترکیب کنورتور با خازن‌های ثابت و/ یا سوئیچ شونده با تریستور، و/ یا راکتورها قابل حصول است.

ترکیب یک مولد توان راکتیو مبتنی بر کنورتور با یک خازن ثابت در شکل ۹- الف نشان داده شده است. این آرایش می‌تواند با جابه‌جایی محدوده عملکرد به منطقه خازنی، همانگونه که با مشخصه V-1 مربوطه در شکل ۹- ب نشان داده شده، بیش از مقدار نامی کنورتور توان راکتیو تولید کند.

در حالی که، خازن‌های ثابت یا راکتورها محدوده عملیاتی مولد توان راکتیو را بیشتر به طرف منطقه خازنی یا القایی جابه‌جا می‌کنند، بدون آنکه تغییری در مقدار مگاوار قابل کنترل پدید آورند، خازن‌ها و راکتورهای سوئیچ شونده با تریستور در واقع کل محدوده کنترلی خروجی توان راکتیو را افزایش می‌دهند. توان راکتیو مبتنی بر کنورتور که با یک TSC و یک TCR ترکیب شده، به همراه مشخصه V-1 مربوطه در شکل ۱۰- الف و ب نشان داده شده است.



شکل ۹- مولد توان راکتیو نوع ترکیبی، خازن ثابت و مبتنی بر کنورتور(الف)، و محدوده V-1

عملکرد(ب)

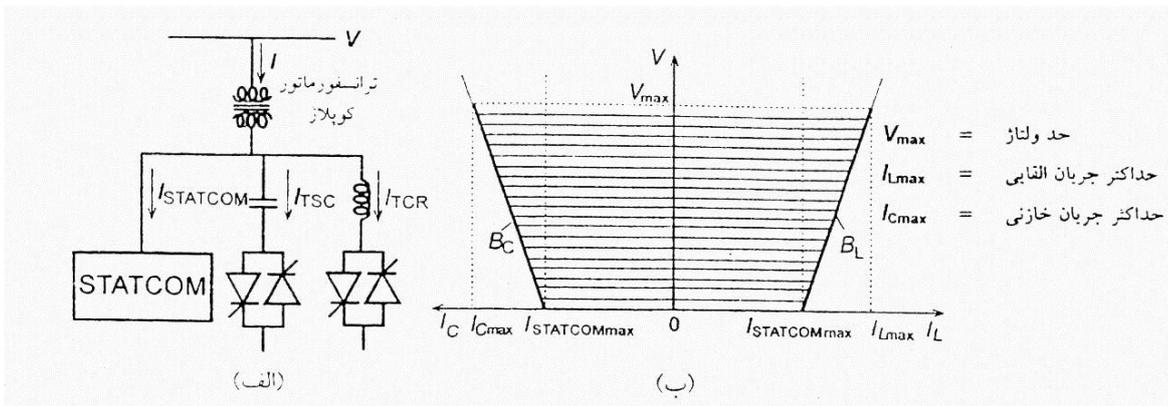
توجه کنید که افزودن ادمیتانس‌های راکتیو ثابت یا سوئیچ شونده به مولد توان راکتیو مبتنی بر کنورتور به طرز نامطلوبی مشخصه V-1 را تغییر می‌دهد؛ چون جریان خروجی تابعی از ولتاژ اعمال شده می‌شود. تغییر در مشخصه V-1 به روشنی بستگی به مقدار نامی مگاوات آمپر کنورتور متناسب با کل محدوده کنترل شده مگاوار، دارد.

جدا از جابه‌جایی با گسترش محدوده توان راکتیو کنترل شده، آرایش مولد توان راکتیو مختلط که از یک کنورتور به همراه خازن ثابت و/یا کنترل شده با تریستور و بانک‌های راکتور استفاده می‌کند - می‌تواند به منظور تأمین یک مشخصه بهینه تلفات در مقابل راکتیو خروجی، برای کاربرد خاصی به کار رود.

طرح عمومی مولد توان راکتیو مختلط، با استفاده از یک کنورتور سوئیچ شونده با TCRها یا TSCها، و احتمالاً خازن‌های ثابت یا با سوئیچ مکانیکی، امکان مفیدی را برای طراح به وجود می‌آورد تا جبران ساز را از نظر محدوده تعریف شده توان راکتیو، مشخصه تلفات در برابر راکتیو خروجی، نحوه عملکرد و هزینه، بهینه کند.

۲-۱۰- جبران سازهای استاتیکی توان راکتیو: SVC و STATCOM

جبران ساز استاتیکی توان راکتیو (SVC) و جبران ساز استاتیکی سنکرون (STATCOM) مولدهای استاتیکی توان راکتیو هستند، که در آن‌ها خروجی به صورتی تغییر کرده است که پارامترهای مشخصی در سیستم‌های قدرت الکتریکی، حفظ یا کنترل گردد. در بخش‌های قبلی بحث شد که یک مولد استاتیکی توان راکتیو ممکن است از نوع امپدانس راکتیو کنترل شده - با بهره‌گیری از راکتورها و خازن‌های کنترل و سوئیچ شده با تریستور - یا از نوع منبع ولتاژی - با استفاده از کنورتور قدرت قابل سوئیچ شدن - یا از نوع مختلط - که ترکیبی از این اجزاء را استفاده می‌کند - باشد. اگر چه اصول عملکرد این مولدهای توان راکتیو بسیار متفاوت هستند و مشخصه



شکل ۱۰- مولد توان راکتیو ترکیبی TCS-TCR و مبتنی بر کنورتور (الف). و محدوده V-1 عملکرد (ب).

V-1 و تلفات در برابر توان راکتیو خروجی آنها و هم چنین سرعت پاسخ و عرض باند فرکانس قابل حصول آنها کاملاً اختلاف دارند، همه آنها می‌توانند به طور کلی جبران سازی راکتیو شنت قابل کنترل را، با قابلیت‌های عملیاتی مشابه، در محدوده کاری خطی خود به نمایش گذارند. معنی این امر آن است که ساختار اساسی کنترل بیرونی که کارکرد عملیاتی جبران ساز را تعریف می‌کند، و در نتیجه ورودی‌های مرجع را برای مولد توان راکتیو به دست می‌دهد، اساساً مستقل از نوع مولد توان راکتیو مورد استفاده، یکسان است. (توجه کنید که مولد توان راکتیو مبتنی بر کنورتور می‌تواند به ذخیره ساز انرژی مناسب مجهز شود تا جبران سازی اکتیو و راکتیو را ایجاد نماید؛ که در این صورت کنترل جبران ساز بایستی با حلقه‌های اضافی کنترل، جهت مدیریت تبادل توان حقیقی بین سیستم AC و کنورتور، تکمیل شود).

۱۱-۲- انواع متعارف ادوات FACTS:

جدول (۱) مهمترین تجهیزات FACTS مورد استفاده در سیستمهای انتقال را نشان می‌دهد. طبق این جدول تجهیزات FACTS به سه گروه Conventional، Electronically Commutate، Advanced تقسیم بندی شده‌اند.

در گروه اول از عناصر الکترونیک قدرت استفاده نشده است، آلمانهای بکار رفته در تجهیزات این گروه عبارتند از: مقاومت، رآکتور، خازن، برقگیر، ترانسفورمرهای تنظیم جابجا گر فاز، در این گروه، کنترل توان تنها به کمک سیستم مکانیکی صورت می‌گیرد. به عبارتی می‌توان این ادوات را نسل قدیم سنتی نامگذاری کرد.

در گروه دوم ادوات FACTS از کلیدهای تریستوری به عنوان کلید نیمه هادی استفاده می‌شود که یکی از معایب اینگونه کلیدها این است که خاموش شدن آنها را نمی‌توان کنترل کرد. در مدارت AC تریستورها به طریق کموتاسیون طبیعی خاموش می‌شوند و در نتیجه در یک سیکل بیش از یکبار نمی‌توان آنها را کلید زنی کرد. تعدادی از تجهیزات این گروه، رفتاری همانند عناصر گروه اول دارند. فقط در آنها به جای کلیدهای مکانیکی، از کلیدهای الکترونیک قدرت استفاده شده است.



| مخفف | نام کامل | نام گروه |
|----------|---|--|
| MSBR | Mechanically Switch Breaking Resistance | ادوات گروه اول (Conventional) |
| MSR | Mechanically Switch Reactor | |
| MSC | Mechanically Switched Capacitor | |
| MSSR | Mechanically Switch Series Reactor | |
| PST | Phase Shifting Transformer | |
| VRPST | Voltage Regulating Phase Shifting Transformer | |
| TCBR | Thyristor Controlled Breaking Resistance | ادوات گروه دوم (Electronically Commutate) |
| SRD | Subsynchronous Resonance Damper | |
| TCVL | Thyristor Controlled Voltage Limiter | |
| TCR | Thyristor Controlled reactane | |
| TSC | Thyristor switched Capacitor | |
| TSR | Thyristor switched reactor | |
| SVC | Static Var Compensator | |
| TCSR | Thyristor Controlled Series reactor | |
| TCSC | Thyristor Controlled Series Capacitor | |
| SCCL | Short Circuit Current Level | |
| LTC | Load Tap Changer | |
| TCPST | Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer | |
| IPC | Interphase Power Controller | |
| SMES | Supperconducting Magnetic Energy Storage | |
| BESS | Battery Energy Srorage System | |
| HVDC | High Voltage Direct Current | |
| STAT COM | Synchronous Static Compensator | ادوات گروه سوم (Advanced) |
| SSSC | Synchronous Static Series Compensator | |
| UPFC | Universal Power Flow Controller | |

جدول 1

با پیشرفت در زمینه الکترونیک قدرت و پیدایش کلیدهای پر قدرت با قابلیت قطع و وصل مانند GTO، IGCT، IGBT، GCT نسل جدیدی از ادوات FACTS، معرفی شدند. با بکارگیری قطعات نیمه هادی با قابلیت خاموش شدن کنترل پذیر در ادوات FACTS، برجستگی‌های عمده‌ای در رفتار آنها ایجاد شد. بطوری که این گروه تحت نام Advanced نامگذاری شدند.

با توجه به مطالب بیان شده فوق می‌توان ادوات گروه اول و دوم را نسل قدیم تجهیزات FACTS نامگذاری کرد و عناصر گروه سوم را نسل جدید این تجهیزات نامید.

۲-۱۲- استفاده از ادوات FACTS در صنعت برق کشور:

در صنعت برق ایران نیز تحقیقاتی در زمینه استفاده از این ادوات در خطوط انتقال به منظور افزایش ظرفیت انتقال توان انجام گرفته و نتایج مثبتی نیز بدست آمده است. از جمله آن می‌توان به استفاده از این ادوات در شبکه برق خراسان اشاره کرد. شبکه قدرت ایران شامل دو بخش شبکه قدرت خراسان و شبکه قدرت سایر استانهای کشور می‌باشد که این دو بخش تا چند سال پیش از یکدیگر جدا بودند؛ ولی بدلیل اقتصادی و فنی بهم متصل شدند. یکی از مشکلات این شبکه این بود که، با اینکه خط متصل کننده شبکه ایران و خراسان توان نامی حدود ۱۵۰۰ مگاوات دارد، ولی حداکثر توان انتقالی ۳۰۰ مگاوات بود. همچنین هزینه‌های فراوان توسعه شبکه یکی دیگر از مشکلات موجود بود. متخصصان کشورمان با کمک ادوات FACTS مشکل نوسان توان و توسعه بهینه شبکه انتقال را رفع نمودند.

همچنین دیگر تحقیقات انجام گرفته در این زمینه توسط دانشگاه مازندران و دانشگاه تورنتوری کانادا به منظور افزایش ظرفیت حرارتی خط و استفاده بهینه و بیشتر از ظرفیت خالی خط انتقال پست 230KV نکا به پست 230KV قائم شهر می‌باشد.

۲-۱۳- « نمونه‌ای از کاربرد ادوات FACTS در جهان »

در شبکه‌ی قدرت شهر نیویورک جهت کنترل توان عبوری از بخشی از شبکه، از یک سیستم الکترونیک قدرت با سرعت عملکرد زیاد استفاده شده است. سیستم مذکور که در آن از جدیدترین فن‌آوری موجود در زمینه‌ی ادوات FACTS (سیستم‌های انتقال AC انعطاف پذیر Transmission) systems Flexible AC استفاده شده است در پست Power Authoritys Marcy واقع در نیویورک نصب گردیده است. این سیستم این توانایی را ایجاد می‌کند که توان بیشتری از خطوط انتقالی که بخشهای شمالی ایالت نیویورک را به شهر نیویورک متصل می‌کنند عبور کند. این امر سبب بالا رفتن قابلیت اطمینان و بهره‌وری شبکه‌ی برق رسانی نیویورک شده و نیاز به احداث خطوط انتقال جدید را کاهش می‌دهد.

Mary Donohue ، مدیر شرکت برق نیویورک در سخنرانی خود در بین جمعی از مدیران صنعت برق، از بهره‌برداری از جبران‌ساز استاتیک تبدیل (CSC) شرکت NYPA که پیشرفته‌ترین سیستم کنترل توان انتقالی دنیا محسوب می‌شود، خبر داد طبق اظهارات وی، این بهره‌برداری از ۲۱ ژوئن ۲۰۰۱ شروع شده است. بنا به گفته‌ی Donohue ، تصمیم استفاده‌ی این سیستم در راستای پاسخگویی به بار رو به رشد شهر نیویورک اتخاذ شده است. او همچنین استفاده از این سیستم در پست Marcy باعظ بالا رفتن قابلیت اطمینان سیستم انتقال ایالت و کاهش قیمت برق ارایه شده است .

توان الکتریکی ترانسفورماتورهای واقع در پست Marcy از خطوط KV ۳۶۵ که از کانادا می‌آیند تأمین شده و از این پست از طریق دو خط KV ۳۴۵ به نیویورک منتقل می‌گردد. یکی از این خطوط از منطقه‌ی Albany می‌گذرد و بیشتر اوقات بارگزاری آن به مقدار ماکزیمم مجاز نزدیک است در حالی که خط دوم از کوه‌های Catskil می‌گذرد بار کمتری بر می‌دارد.

CSC مورد استفاده در پست Marcy با صرف هزینه‌ای معادل ۴۸ میلیون دلار و با تلاش مشترک شرکت‌های EPRI , Siemens , NYPA و ۳۲ شرکت T&D انتقال در ایالات متحده و کانادا و نیوزلند و توسط شرکت Siemens power T&D ساخته شده است.

سیستم CSC مزبور از دو اینوتر ترستوری با ترستورهای GTO تشکیل می‌شود. هر یک از این اینوترهای STATIK (static synchronous compensators) قابلیت اتصال سری یا موازی به یکی از خطوط KV ۳۴۵ را دارا می‌باشند. STATCOM های مذکور توانایی کنترل MVAR ۲۰۰-۱۰۰ را دارا هستند.

Joseph L.Seymor ، سخنگو و مدیر اجرایی شرکت NYPA می‌گوید: « بهره‌گیری از الکترونیک سریع نیمه هادیها بجای کنترل‌های الکترومکانیکی قدیمی در CSC و دیگر ادوات FACTS، کارآئی این تجهیزات را به جایی رسانده است که انتظار می‌رود روزی ادوات FACTS چگونگی انتقال انرژی الکتریکی به محل مشترکین را با انقلابی مواجه کند. «وی می‌افزاید: «این فن آوری توانائی ما را در دریافت انرژی در محل مورد نیازمان از محل تولید آن به شدت افزایش داده است».

www.WikiPower.ir

۲-۱۴- اثبات کارآئی سیستم نصب شده:

شرکت NYPA اعلام کرده است که نصب اولین فاز CSC، پایداری ولتاژ را تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش داده و قابلیت انتقال توان پر بار بین Utica و Albany را ۶۰ مگاوات و توان قابل استفاده در کل ایالت را ۱۱۴ مگاوات افزایش داده است. مسلماً با بهره‌برداری کامل از سیستم مذکور، اثر افزایش نیز خواهد یافت. تا پایان تابستان آینده برخی استراتژی‌های کنترلی به CSC نصب شده، افزوده خواهد شد. طبق اظهارات Abdel-Aty-Edris ، مدیر فن آوری FACTS مؤسسه EPRI، سیستم CSC نصب شده می‌تواند روی دو یا چند خط همانند یک سیستم UPFC مشابه ترانس‌های Phase Shifiling جهت تقسیم بازبین

چند خط عمل کند. پس از تکمیل طرح CSC مزبور، انتظار می‌رود توان قابل انتقال خط Albany-Utica به مقدار 120 MW و کل توان قابل انتقال در سرتاسر ایالت 240MW افزایش یابد.

Robert B.schinker مدیر بخش خطوط انتقال و پستهای EPRI در مراسم تقدیر از NYPA گفته

است:

«NYPA هم اکنون بینانگذار یکی از فن آوری‌های ادوات FACTS در دنیا شده است. با حصول توانائی

جابجائی توان انتقالی از خطی به خط دیگر در مدت زمان چنا میلی ثانیه به سادگی می‌توان بار خطوط

کم بارتر جابجا کرد.»

۲-۱۵- حداکثر سازی ظرفیت شبکه موجود

قاعده زدائی در بازار فروش انرژی الکتریکی سبب شده است که تمایل به سرمایه‌گذاری برای افزایش

ظرفیت شبکه انتقال، از بین برود. زبق برآوردهای انجام شده، افزایش ظرفیت انتقال سیستم قدرت ایالات

متحده در دهه آتی اندکی بیش از ۴٪ خواهد بود در صورتیکه این افزایش در ظرفیت تولید نصب شده به

۲۰٪ خواهد رسید. در بسیاری از مناطق، به علت مخالفت عموم، احداث شبکه انتقال مشکل‌تر از نصب

تجهیزات تولید است. در نتیجه استفاده از ادوات FACTS مانند CSC ها می‌توان ظرفیت مفید سیستم های

انتقال موجود را افزایش داده و به این ترتیب بر قابلیت‌های شبکه افزود. این امر می‌تواند در برقراری

تعادل میان رشد تقاضا و ظرفیت شبکه انتقال موجود بسیار تأثیر گذار باشد.

منبع: مجله EPRI

آدرس: <http://www.epri.com>

منابع:

- static VAR compensator

from wikipedia

- Active and Reactive power in FACTS by D.R.Kai strunz
- Power flow controller (UPFC)

By mark ndubuka NWOHU, federal university.

- مفاهیم FACTS و شبکه‌های انتقال نیروی انعطاف پذیر - شرکت توزیع برق تهران بزرگ.



برای خرید فایل **word** این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

(شماره پروژه = ۸۴)

شماره جهت ارسال پیام : ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

۰۹۳۵۴۶۳۴۶۵۰