



دانشگاه گیلان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان:

کاربرد ادوات FACTS در افزایش پایداری سیستم‌های قدرت

استاد راهنما:

دکتر جلیل زاده

نگارش:

تقی نوری

پاییز ۹۴

مقدمه	۱
فصل اول : انتقال توان در سیستم‌های قدرت	۴
۱.۱. انتقال نیروی به هم پیوسته	۵
۱.۱.۱. چرا به شبکه های انتقال به هم پیوسته نیاز داریم	۵
۱.۱.۲. فرصت های فرا روی FACTS	۷
۱.۲. سیلان توان در یک سیستم AC	۹
۱.۲.۱. عبور توان در مسیرهای موازی	۱۰
۱.۲.۲. عبور توان در یک سیستم شبکه‌ای	۱۱
فصل دوم : مفهوم FACTS و ملاحظات کلی در سیستم	۱۵
۲.۱. تاریخچه FACTS	۱۶
۲.۲. اهداف FACTS	۱۶
۲.۳. محدودیت‌های بارپذیری سیستم	۱۷
۲.۴. انواع اصلی کنترل کننده‌های FACTS	۱۹
۲.۴.۱. کنترل کننده‌های سری	۲۰
۲.۴.۲. کنترل کننده‌های موازی	۲۰
۲.۴.۳. کنترل کننده‌های ترکیبی سری-سری	۲۲
۲.۴.۴. کنترل کننده‌های ترکیبی سری و موازی	۲۲
۲.۵. شرح مختصر و تعاریف کنترل کننده‌ها FACTS	۲۲
۲.۵.۱. کنترل کننده‌های موازی	۲۶
۲.۵.۲. کنترل کننده‌های متصل شده به صورت سری	۳۱
۲.۵.۳. کنترل کننده‌های ترکیبی موازی و سری	۳۴
۲.۵.۴. کنترل کننده‌های دیگر	۳۶
فصل سوم : کنترل کننده یکپارچه سیلان توان UPFC	۳۹
۳.۱. معرفی	۴۰
۳.۲. کنترل کننده یکپارچه سیلان توان	۴۳
۳.۲.۱. اصول اساسی عملکرد	۴۳
۳.۲.۲. قابلیت‌های کنترل انتقال متداول	۴۶

به طور کلی اگر یک سیستم تحویل انرژی الکتریکی از خطوط شعاعی تشکیل شده باشد که از مولدهای منفرد شعاعی منشعب شده باشند، بدون اینکه بخشی از یک شبکه بهم پیوسته باشند، منابع تولید بسیار بیشتری لازم خواهد بود که باری را با همان قابلیت اطمینان تولید نماید، بدین ترتیب هزینه برق به مراتب بالا خواهد رفت. با چنین دیدگاهی، خط انتقال نیرو همیشه جایگزینی برای یک منبع تولید جدید خواهد بود. قابلیت انتقال کمتر به معنای آن است که به منابع تولید بیشتر نیاز خواهد بود، صرفنظر از اینکه سیستم از نیروگاههای کوچک یا بزرگ تشکیل شده باشد. در واقع،

مولدهای کوچک پراکنده هنگامی از نظر اقتصادی به صرفه خواهد بود که از یک شبکه انتقال مستحکم برخوردار باشند. کسی نمیتواند به درستی بهینه بودن تعادل میان تولید و انتقال را دریابد مگر طراحان سیستم که از روشهای پیشرفته تحلیلی استفاده میکنند و در این روشها، برنامه‌ریزی شبکه انتقال را با یک برنامه اقتصادی یکپارچه تولید و انتقال انجام میدهند. هزینه خطوط انتقال نیرو و تلفات، همچنین مشکلات فراروی احداث خطوط جدید اغلب محدود کننده ظرفیت شبکه انتقال

است. به نظر می‌رسد موارد زیادی وجود داشته باشد که در آنها تامین انرژی اقتصادی یا مشارکت در منابع ذخیره با محدودیت ظرفیت انتقال مواجه باشد و چشم اندازی برای بهبود وضعیت وجود نداشته باشد. در محیط تغییر ساختار یافته (خصوصی شده) برای ارائه خدمات برق، شبکه برق کار آمد از اهمیت حیاتی برای رقابتی کردن فضا در تامین این خدمات برخوردار است.

آنچه که برای برنامه ریزان انتقال جالب است، آن است که فناوری FACTS، فرصتهای جدیدی را برای کنترل توان و افزایش ظرفیت قابل بهره برداری خطوط موجود و همچنین خطوط جدید و ارتقا یافته، فراهم می‌کند. امکان کنترل جریان در داخل یک خط انتقال، افزایش ظرفیت خطوط موجود را به شکل خطوط با هادیهای بزرگتر، و استفاده از یکی از ادوات کنترل کننده FACTS سیلان توان را

در درون چنین خطوطی تحت شرایط عادی و پیش بینی نشده ممکن می‌سازد. [۱]

استفاده از حداکثر ظرفیت سیستمهای قدرت به همراه حفظ قابلیت اعتماد و امنیت آن یکی از

مهمترین اهداف طراحان و بهره برداران این سیستمها می باشد. در دهه اخیر در دنیا جهت نزدیک

کردن دو هدف متفاوت حداکثر بهره برداری و حفظ امنیت و اعتماد سیستم، ادوات FACTS

پیشنهاد شده، و در بسیاری از شبکه های قدرت جهان نصب شده است. در این راستا و نظر به اهمیت

و شناخت این ادوات در جامعه صنعت برق ایران، مباحثی مطرح گردیده و اعتقاد بر این است که

جامعه علمی و صنعتی به تکنیکها و علم روز و همچنین نو و تازه بودن این موضوع دسترسی پیدا کند

و در این زمینه تحقیقات لازم در دانشگاه و مراکز آموزش عالی انجام شود. پیشرفت سریع تکنولوژی

الکترونیک قدرت امکانات شگفت انگیزی برای توسعه تجهیزات جدید به منظور بهره برداری بهتر از

سیستمهای موجود فراهم آورده است. در خلال دهه گذشته، تجهیزات کنترلی متعددی تحت عنوان

تکنولوژی سیستمهای انتقال انعطاف پذیر (FACTS) AC طراحی و تکمیل شده اند. تجهیزات

FACTS را می توان بطور موثری برای کنترل عبور توان، کنترل توان گردشی، تقسیم سیستم بین

کریدورهای موازی، تنظیم ولتاژ، افزایش پایداری گذرا و تعدیل نوسانات سیستم به کاربرد. [۳]

در این پایان نامه ابتدا مروری بر وضعیت شبکه های قدرت انجام خواهد شد و سپس به بررسی تجهیزات

FACTS برای کمک به پایداری شبکه تحت شرایط خطا پرداخته خواهد شد. روی یک شبکه نمونه

این بررسی شبیه سازی می گردد. در این پایان نامه ادوات FACTS مورد شبیه سازی شده UPFC

خواهد بود.

پایان نامه کارشناسی

فصل اول

انتقال توان در سیستم‌های قدرت

۱-۱ انتقال نیروی به هم پیوسته

اغلب سیستم های تامین نیروی برق در جهان به صورت گسترده ای به هم پیوسته اند. این به هم

پیوستگی شامل ارتباطات داخلی قلمرو شرکت های برق بوده که در حد اتصالات بین شبکه ای گسترده

شده و در نهایت به شبکه های فرا منطقه ای و بین المللی توسعه یافته است. این کار به دلایل اقتصادی

انجام می شود تا هزینه برق کاهش یافته و قابلیت اعتماد آن افزایش یابد.

۱-۱-۱ چرا به شبکه های انتقال به هم پیوسته نیاز داریم

دلیل نیاز ما به این اتصالات، جدا از فراهم نمودن امکان تحویل برق به مصرف کننده، ایجاد تمرکز

در مراکز تولید و مصرف برق است تا ظرفیت تولید و هزینه آن به حداقل کاهش یابد. شبکه انتقال

نیروی به هم پیوسته قادر است که با بهره گیری از پراکندگی بارها، در دسترس بودن منابع، و قیمت

سوخت، انرژی الکتریکی را با حداقل قیمت و قابلیت اعتماد مورد نیاز به مصرف کننده برساند. به طور

کلی اگر یک سیستم تحویل انرژی الکتریکی از خطوط شعاعی ای تشکیل شده باشد که از مولدهای

منفرد محلی منشعب شده باشند، بدون این که بخشی از یک شبکه به هم پیوسته باشند، منابع تولید

بسیار بیشتری لازم خواهد بود که باری را با همان قابلیت اطمینان تامین نماید؛ و بدین ترتیب هزینه

برق به مراتب بالاتر خواهد رفت. با چنین دیدگاهی، خط انتقال نیرو همیشه جایگزینی برای یک منبع

تولید جدید خواهد بود. قابلیت انتقال کمتر به معنای آن است که به منابع تولیدی بیشتری نیاز خواهد

بود، صرف نظر از اینکه سیستم از نیروگاههای کوچک یا بزرگ تشکیل شده باشد. در واقع، مولدهای

کوچک پراکنده هنگامی از نظر اقتصادی به صرفه خواهند بود که از یک شبکه انتقال مستحکم

برخوردار باشند. کسی نمی تواند به درستی بهینه بودن تعادل میان تولید و انتقال را دریابد مگر طراحان

سیستم که از روشهای پیشرفته تحلیلی استفاده می کنند و در این روش ها، برنامه ریزی شبکه انتقال

را با یک برنامه اقتصادی یکپارچه تولید و انتقال انجام می دهند. هزینه خطوط انتقال نیرو و تلفات، هم

چنین مشکلات فرا روی احداث خطوط جدید اغلب محدود کننده ظرفیت شبکه انتقال است. به نظر

می رسد موارد زیادی وجود داشته باشد که در آنها تامین انرژی اقتصادی یا مشارکت در منابع ذخیره با

محدودیت ظرفیت انتقال مواجه باشد و چشم اندازی برای بهبود وضعیت وجود نداشته باشد.

از طرف دیگر، با رشد میزان انتقال توان سیستم قدرت به صورت فزاینده ای از نظر بهره برداری

پیچیده تر شده و برای گذر از وضعیت قطعی های عمده از ایمنی کمتری برخوردار میگردد. این امر

ممکن است به سیلان مقادیر زیاد توان، بدون کنترل مناسب، منجر شود؛ توان رآکتیو اضافی در بخش

های مختلف سیستم ایجاد نماید؛ نوسانات دینامیکی بزرگی بین بخش های مختلف سیستم و گلوگاه ها ایجاد کند؛ به صورتی که از همه ظرفیت ها و قابلیت های شبکه انتقال بهره برداری به عمل نیاید.

به طور کلی، سیستم های قدرت، امروزه به صورت مکانیکی کنترل می شوند. هر چند در شبکه

انتقال امروزی استفاده گسترده ای از میکرو الکترونیک، کامپیوترها و مخابرات سریع برای کنترل و

حفاظت به عمل می آید، لیکن، هنگامی که سیگنال های عملیاتی به مدارها ارسال می شوند، یعنی

همان جایی که آخرین عمل کنترلی انجام می شود، تجهیزات کلید زنی به صورت مکانیکی هستند و

کنترل سریع در این مرحله وجود ندارد. مشکل دیگر دستگاه های مکانیکی آن است که کنترل با این

تجهیزات نمی تواند مکررا انجام شود؛ زیرا این ادوات مکانیکی در مقایسه با تجهیزات استاتیکی در

معرض فرسودگی سریع قرار دارند. در نتیجه: هم از دیدگاه حالت گذرا و هم از دیدگاه بهره برداری در

حالت پایدار، سیستم در واقع کنترل نشده است. طراحان سیستم های قدرت، بهره برداران و مهندسين،

آموخته اند که، با بهره گیری از مجموعه متنوعی از روش های ابتکاری، با این محدودیت ها زندگی

کنند تا بتوانند- البته به قیمت صرف حواشی و اضافات بیشتر - سیستم را به طور مؤثرتری به کار

وادارند. این همان سرمایه ایست که می توان با کاربرد عاقلانه فناوری FACTS بر یک بنیان مشخص

و بر اساس نیازمندی، به کار انداخت.

درسالهای اخیر، بار تحمیلی به شبکه های انتقال افزایش یافته است و این افزایش هم چنان به

دلیل ازدیاد تعداد مولدهای منفرد و جدا از شرکت های برق و همچنین افزایش رقابت میان خود

شرکت ها، ادامه خواهد یافت. به این امر باید این مسئله را نیز افزود که به دست آوردن حریم های

جدید برای عبور خطوط انتقال نیرو بسیار مشکل شده است. افزایش بار انتقالی، نبود طراحی بلند مدت،

و نیاز به دسترسی آزادانه شرکت ها و مشترکین به مؤسسات تولید کننده، همه با هم موجب پدیدار

شدن تمایلاتی در جهت ایمنی کمتر و کیفیت پایین تر تولید و تأمین نیرو شده اند. فن آوری

FACTS، با قادر کردن شرکت ها به بهره گیری حداکثر از امکانات انتقال خود و با افزایش قابلیت

اطمینان شبکه، از عوامل اساسی در بر طرف نمودن پاره ای از - نه تمامی - این مشکلات می باشد.

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

۱-۱-۲ فرصت های فراروی FACTS

آن چه که برای برنامه ریزان انتقال جالب است، آن است که فن آوری FACTS، فرصت های جدیدی را برای کنترل توان و افزایش ظرفیت قابل بهره برداری خطوط موجود و همچنین خطوط

جدید و ارتقا یافته، فراهم می کند. امکان کنترل جریان در داخل یک خط انتقال با هزینه ای منطقی، افزایش ظرفیت خطوط موجود را به شکل خطوطی با هادی های بزرگتر، و استفاده از یکی از ادوات کنترل کننده FACTS سیلان توان را در درون چنین خطوطی تحت شرایط عادی و پیش بینی نشده ممکن می سازد.

این فرصت ها از قابلیت کنترل کننده های FACTS در کنترل پارامترهایی ناشی می شود که در ارتباط با یکدیگر عملکرد سیستم انتقال را هدایت می کنند؛ پارامترهایی از قبیل امپدانس سری، امپدانس موازی، جریان، ولتاژ، زاویه فاز و میرا شدن نوسانات در فرکانس های مختلف زیر فرکانس نامی سیستم. غلبه بر این محدودیت ها، ضمن حفظ قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از عوامل

مکانیکی، بدون کاستن از ظرفیت قابل بهره برداری انتقال مقدر نیست. کنترل کننده های FACTS می توانند با تأمین انعطاف پذیری اضافی، یک خط انتقال را قادر به منتقل نمودن توان تا نزدیکی حد حرارتی آن بنمایند. کلید زنی مکانیکی نیازمند آن است که با پاسخ گویی سریع الکترونیک قدرت تکمیل شود. بایستی تأکید نمود که FACTS یک فن آوری توانمند سازانه است نه یک جایگزین متناظر برای کلید های مکانیکی.

فن آوری FACTS یک کنترل کننده منفرد و پرتوان نیست، بلکه مجموعه ای از کنترل کننده هاست، که هر یک می تواند به تنهایی یا با هماهنگی دیگر کنترل کننده ها یک یا چند پارامتر ذکر شده را در سیستم کنترل نماید. یک کنترل کننده FACTS که به طرز مناسبی انتخاب شده باشد، می تواند محدودیت های خاص یک خط مشخص یا یک کریدور را برطرف نماید. از آنجا که کنترل کننده

های FACTS کاربردهایی از یک فن آوری پایه را عرضه می کنند، تولید آن ها در نهایت می تواند از مزیت فن آوری های مبنا بهره ببرد. همان گونه که ترانزیستور جزء پایه برای طیف وسیعی از تراشه های میکرو الکترونیکی و مدارات است، تریستور یا ترانزیستور قدرت بالا نیز جزء اصلی برای مجموعه ای از کنترل کننده های الکترونیکی قدرت بالا است.

فن آوری FACTS هم چنین قابلیت آن را دارد که بتوان با استفاده از آن حد انتقال قابل بهره برداری را به صورت گام به گام و با سرمایه گذاری های مرحله ای در مواقع ممکن و لازم انجام داد. طراح سیستم می تواند پیش بینی خود را بر اساس یک سناریوی گسترش یابنده متشکل از ادوات کلید زنی مکانیکی و کنترل کننده های FACTS بنا نهد، به گونه ای که خطوط انتقال نیروی درگیر با ترکیبی از کنترل کننده های مکانیکی و FACTS، اهداف مورد نظر را در یک برنامه سرمایه گذاری مرحله ای و مناسب، کسب نمایند.

برخی از کنترل کننده های الکترونیک قدرت، که اینک در زمره مفاهیم FACTS در آمده اند مربوط به زمانی هستند که مفهوم FACTS توسط آقای هینگورانی به جامعه صنعتی معرفی شد. شاخص ترین آنها جبران کننده استاتیکی توان راکتیو در حالت اتصال موازی (SVC) می باشد. که برای کنترل ولتاژ اولین بار در نبراسکا به نمایش درآمد و به وسیله کمپانی GE در ۱۹۷۴ و به وسیله

کمپانی وستینگهاوس در میته سوتا در ۱۹۷۵ به صورت تجاری عرضه شد. اولین کنترل کننده سری ، NGH-SSR با حالت میرا کننده توسط آقای 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 وجود داشتند و نیز برق گیرهای قدرتمند اکسید فلزی فاقد فاصله هوایی نیز برای محدود کردن اضافه ولتاژهای گذرا به کار می رفتند. تحقیقاتی هم بر روی تپ چنجرهای الکترونیکی و جابجا کننده های فاز انجام شده است. با همه این ها، ویژگی منحصر به فرد فن آوری FACTS آنو با است که

مفاهیم این چتر گسترده، موقعیت فراوان بالقوه ای را برای فن آوری الکترونیک قدرت به وجود آورده، به طوری که ارزش سیستم های قدرت افزایش یافته، و با استفاده از آن انبوهی از نظرات پیشرفته و

جدید ارائه و به واقعیت تبدیل شده است. آقای گایوگی پیشگام چنین نظریات پیشرفته ای بوده است.

هم چنین فن آوری FACTS، باعث ایجاد تحرک و هیجان در مهندسان نسل جوان تر شده است،

چون با تفکر دوباره شبکه های قدرت را در همه ی جهان بازسازی خواهند کرد.

مناسب است اشاره شود که در اجرای فن آوری FACTS، ما با یک فن آوری پایه سرو کار داریم

که کارایی آن از طریق HVDC و موتورهای صنعتی توان زیاد به اثبات رسیده است. به این ترتیب، با

تداوم اصلاح در ادوات نیمه هادی قدرت، به خصوص دستگاههایی که قابلیت " قطع کردن " داشته

باشند، و با تداوم پیشرفت در مفاهیم کنترل کننده های FACTS، قیمت این کنترل کننده ها دائما

کاهش می یابد.

۱-۲ سیلان توان در یک سیستم AC

در حال حاضر بسیاری از امکانات انتقال علاوه بر آن که قادر به هدایت توان در جهت دلخواه

نیستند، با یک یا چند پارامتر محدود کننده شبکه مواجه هستند.

در سیستم های قدرت ac، اگر ذخیره تولید قابل توجهی وجود نداشته باشد، تولید و مصرف برق

بایستی در تمام مدت دارای تعادل باشند. تا حدودی، سیستم های الکتریکی حالت " خود- تنظیم "

دارند. اگر تولید کمتر از بار مصرفی باشد، ولتاژ و فرکانس کاهش می یابند، و در نتیجه بار تا حد برابر

شدن با تولید، منهای تلفات انتقال، کاسته می شود. با این وجود، برای چنین " خود- تنظیم " کنندگی

فقط درصد مختصری حاشیه تغییرات وجود دارد. اگر ولتاژ با حمایت توان راکتیو پابرجا بماند، مقدار بار

افزایش خواهد یافت و در نتیجه فرکانس به کاهش خود ادامه خواهد داد و نهایتا سیستم ساقط خواهد

شد. بر همین منوال اگر بار راکتیو نامناسب باشد، سیستم دچار فروپاشی ولتاژ خواهد شد.

اگر مقدار تولید متناسب باشد، مقداری توان آکتیو از مناطقی که مازاد تولید دارند به مناطقی که

کمبود دارند جریان می یابد، و این جریان از همه مسیر های موازی و در دسترس شامل خطوطی در

همه سطوح ولتاژ از متوسط تا زیاد است، عبور می نماید. اغلب خطوط طولانی در مسیر خود از نیروگاه

ها و مناطق بار متعددی گذر میکنند.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

منابع

[۱] نارین جی هینگورانی ، لازلو گایوگی ، احمد فریدون درافشان ، آشنایی با FACTS – مفاهیم و

فن آوری شبکه های انتقال نیروی انعطاف پذیر، چاپ اول ، تهران ، مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۸۴

[۲] تی جی ای میلر ، رضا قاضی ، کنترل توان رکتیو در سیستم های الکتریکی ، چاپ اول ، مشهد ،

انتشارات جهاد دانشگاهی ، زمستان ۷۱

[۳] یونگ هوا سونگ ، آلن تی جانز ، محمودرضا حقی فام ، مهدی رسول زاده حقی ، سیستم های

انتقال انعطاف پذیر AC (FACTS) ، چاپ اول ، بندرعباس ، دانشگاه هرمزگان - کمیته تحقیقات

شرکت سهامی برق منطقه ای هرمزگان ، خرداد ۱۳۸۲