

دانشگاه زنجان

پایان نامه کارشناسی

بررسی تاثیر کنترل کننده استاتیکی توان راکتیو در بهبود

بهره برداری شبکه های قدرت

دانشجو:

سحر طاهر خانی (۹۰۴۴۵۱۰۱)

فریما عزیزی

استاد:

دکتر منصور او جاقی

تأسیسات ۱۳۹۴

چکیده

رشد مصرف در سیستم قدرت، به تدریج سبب پیچیدگی عملکرد شبکه و کاستن از امنیت آن می گردد. به

علاوه مسئله امنیت شبکه در سیستم های قدرت به واسطه رقابت میان تولید کنندگان و مبادله مستقیم

آنها با مصرف کنندگان به یک مسئله مهم تبدیل شده است. اگر این مبادلات به نحو مناسبی کنترل نشود

منجر به متراکم شدن برخی خطوط در شبکه می گردد. از آنجا که بسیاری از خطوط موجود در شبکه نمی

توانند از عهده افزایش در توان مصرفی برآیند، ارزیابی بهره برداری شبکه قدرت، حائز اهمیت است. لذا

کنترل پخش توان به منظور داشتن شبکه قابل اطمینان و ایمن مورد توجه مهندسين قدرت قرار گرفته

است. سیستم های انتقال AC انعطاف پذیر (ادوات FACTS¹) که قادر به کنترل پارامترهای پخش توان از

قبیل امپدانس سری، دامنه و زاویه ولتاژ شین هستند، با مشخصه کنترلی سریع و قابلیت جبران سازی

پیوسته خود می توانند توان عبوری از خطوط متراکم را کاهش داده و با کنترل توان راکتیو شبکه، ولتاژ باس

ها را در محدوده مورد نظر قرار دهند و در نتیجه سبب بهبود وضعیت بهره برداری شبکه قدرت گردند.

ادوات FACTS سیستمی متشکل از تجهیزات استاتیک استفاده شده برای کنترل وضعیت انتقال انرژی

الکتریکی است که هدف آن بهبود کنترل پذیری و افزایش توانایی انتقال قدرت شبکه است. این سیستم

عموماً شامل ابزاری مبتنی بر ادوات الکترونیک قدرت است.

سیستم انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر، توسط انجمن مهندسان برق و الکترونیک (IEEE) به این صورت

تعریف شده است: سیستم بر اساس ادوات الکترونیک قدرت و دیگر تجهیزات استاتیکی که کنترل یک یا

چندین پارامتر سیستم انتقال انرژی جریان متناوب را برای بهبود کنترل پذیری و افزایش توانایی انتقال

قدرت الکتریکی محقق می سازد.

¹ Flexible AC Transmission System

فهرست مطالب

فصل اول: اصول جبران سازی و جبران سازهای متعارف..... ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- محدودیت‌های انتقال توان در سیستم‌های قدرت ۳

۱-۲-۱- عبور توان در مسیرهای ناخواسته ۴

۱-۲-۲- عدم بهره‌برداری از ظرفیت واقعی خط انتقال ۵

۱-۳- راه حل‌های معمول افزایش ظرفیت توان انتقالی در سیستم‌های قدرت ۷

۱-۳-۱- احداث خطوط انتقال جدید ۸

۱-۳-۲- بهبود وضعیت بهره‌برداری از خطوط موجود ۸

۱-۴- کاربرد ادوات متعارف برای افزایش ظرفیت انتقال ۹

۱-۴-۱- خازن‌های سری کنترل شده با کلیدهای مکانیکی ۹

۱-۴-۲- بانک‌های خازنی - راکتوری موازی کنترل شونده با کلیدهای مکانیکی ۱۱

۱-۴-۳- جابه‌جا کننده فاز کنترل شده با استفاده از کلیدهای مکانیکی ۱۳

۱-۴-۴- مشخصه‌های توان - زاویه خط انتقال در حالات مختلف ۱۴

۱-۵- سیستم قدرت به هم پیوسته ۱۵

۱-۶- چرا به شبکه‌های انتقال به هم پیوسته نیاز داریم ۱۵

۱-۷- فرصت‌های فراروی FACTS ۱۸

فصل دوم: معرفی ادوات FACTS ۲۱

۱-۲- مشکلات و نیازهای سیستم انتقال: ظهور ادوات FACTS ۲۲

۲-۲- زمینه تاریخی ۲۲

| | |
|----|--|
| ۲۳ | ۳-۲- مسائل و پیشرفت‌های اخیر |
| ۲۵ | ۴-۲- چالش‌های سیستم قدرت با دسترسی باز |
| ۲۶ | ۵-۲- اهداف FACTS |
| ۲۸ | ۶-۲- کنترل‌کننده‌های FACTS |
| ۲۹ | ۶-۲-۱- کنترل‌کننده‌های FACTS که به وسیله تایریستور کنترل می‌شوند |
| ۳۲ | ۶-۲-۲- جبرانگر استاتیکی توان راکتیو |
| ۳۲ | ۷-۲- بیان مفهوم مکانیکی ادوات FACTS |
| ۳۴ | ۸-۲- تئوری FACTS |
| ۳۶ | ۹-۲- جبران سازهای سری |
| ۳۷ | ۱۰-۲- جبران سازهای موازی |
| ۳۹ | فصل سوم: شبیه سازی سیستم قدرت نمونه با در نظر گرفتن ادوات FACTS |
| ۴۰ | ۳-۱- مقدمه |
| ۴۲ | ۳-۲- شبیه سازی توسط نرمافزار DiGSILENT |
| ۴۲ | ۳-۱-۲- مرحله اول |
| ۴۸ | ۳-۲-۲- مرحله دوم |
| ۵۲ | ۳-۲-۳- مرحله سوم |
| ۵۶ | فصل چهارم: نتیجه‌گیری |
| ۶۰ | مراجع |

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ عبور توان در مسیرهای ناخواسته ۴

شکل ۱-۲ (الف) سیستم دو ماشینه، (ب) منحنی توان - زاویه آن ۵

شکل ۱-۳ نمونه مداری بانک خازنی سری ۱۰

شکل ۱-۴ نمونه مداری ترکیب بانک خازنی و راکتوری موازی ۱۲

شکل ۱-۵ ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز با کلیدهای مکانیکی ۱۳

شکل ۱-۶ مشخصه توان - زاویه یک خط انتقال در حالات مختلف جبران‌سازی ۱۵

شکل ۲-۱ کنترل کننده های تریستوری ۳۰

شکل ۳-۱ روندنمای انتخاب طرح جبران‌سازی بهینه ۴۱

شکل ۳-۲ دیاگرام تک خطی شبکه در حالت اول - PEAK با جبران‌سازی ۴۳

شکل ۳-۳ نمودار میله ای ولتاژ شین ها، (الف) پیش از جبران‌سازی (ب) پس از جبران‌سازی ۴۴

شکل ۳-۴ دیاگرام تک خطی شبکه در مرحله اول - LIGHT با جبران‌سازی ۴۶

شکل ۳-۵ نمودار میله ای ولتاژ شین ها، (الف) پیش از جبران‌سازی (ب) پس از جبران‌سازی ۴۷

شکل ۳-۶ دیاگرام تک خطی شبکه در مرحله دوم - PEAK با جبران‌سازی ۴۹

شکل ۳-۷ نمودار میله ای ولتاژ شینها، (الف) پیش از جبران‌سازی (ب) پس از جبران‌سازی ۵۰

شکل ۳-۸ نمودار میله ای ولتاژ شین ها، (الف) پیش از جبران‌سازی (ب) پس از جبران‌سازی ۵۲

شکل ۳-۹ دیاگرام تک خطی شبکه در مرحله سوم - PEAK و LIGHT با جبران‌سازی ۵۴

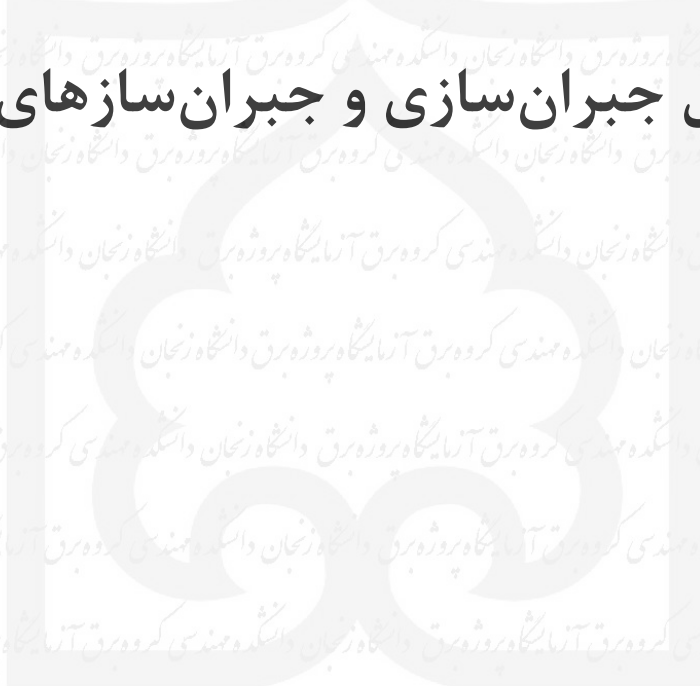
شکل ۳-۱۰ نمودار میله ای ولتاژ شین ها، پس از جبران‌سازی (حالت PEAK) ۵۵

شکل ۳-۱۱ نمودار میله ای ولتاژ شین ها، پس از جبران‌سازی (حالت LIGHT) ۵۵

پایان نامه کارشناسی

فصل اول

اصول جبران سازی و جبران سازهای متعارف



۱-۱- مقدمه

با رشد روز افزون مصرف در سیستم‌های قدرت، سیستم‌های انتقال انرژی با بحران محدودیت انتقال توان مواجه هستند. این محدودیت عملاً به خاطر حفظ پایداری گذرا در خطوط طولی و نیز تأمین سطح مجاز ولتاژ در خطوط با طول متوسط به وجود می‌آید. بنابراین ظرفیت بهره‌برداری عملی خطوط انتقال بسیار کمتر از ظرفیت واقعی خطوط که همان حد حرارتی آنهاست می‌باشد. این امر موجب عدم بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های انتقال انرژی می‌شود. در این راستا یکی از راه‌حل‌های افزایش ظرفیت انتقال توان، احداث خطوط جدید است که این امر با مشکلات اقتصادی و قانونی همراه می‌باشد. منظور از مشکلات اقتصادی ضرورت سرمایه‌گذاری‌های کلان جهت تملک مسیر خط و احداث آن است. اما مشکلات قانونی در رابطه با قوانین تملک زمین و رعایت قوانین محیط زیست پیش می‌آیند. با پیشرفت روزافزون صنعت نیمه هادی‌ها و استفاده از آنها در سیستم‌های قدرت، مفهوم سیستم‌های انتقال AC انعطاف پذیر یا به اختصار FACTS^۱ مطرح گردید. هدف اولیه این سیستم‌ها این است که بدون احداث خطوط جدید بتوان از ظرفیت واقعی و موجود سیستم‌های انتقال استفاده کرد.

پیشرفت‌های اخیر صنعت الکترونیک قدرت در طراحی کلیدهای نیمه هادی با قابلیت خاموش شدن و استفاده از آنها در مبدل‌های منبع ولتاژ در سطح توان و ولتاژ سیستم قدرت علاوه بر معرفی ادوات پیشرفته‌تر، تحولی در مفهوم FACTS بوجود آورده و سیستم‌های انتقال را بسیار کارآمدتر و موثرتر از قبل کرده است. برای درک بهتر و شناساندن مشخصات برجسته این ادوات لازم است ابتدا مشکلات موجود در سیستم‌های انتقال انرژی شناسایی شده و راه‌حل‌های متعارف برای رفع آنها بیان شوند.

^۱ - Flexible AC Transmission Systems

۱-۲- محدودیت‌های انتقال توان در سیستم‌های قدرت

یک سیستم قدرت الکتریکی از سه بخش عمدهٔ مراکز تولید، شبکهٔ انتقال و مراکز مصرف تشکیل شده است.

هدف مهندس بهره‌بردار سیستم قدرت این است که توان مورد تقاضای مصرف کننده را تحت ولتاژ و فرکانس

مطلوب تامین نماید. از لحاظ کنترلی نمی‌توان بر روی مصرف کننده محدودیت زیادی اعمال نمود، زیرا او

خریدار برق است و خواسته‌هایش خصوصاً در بازار خصوصی‌سازی شدهٔ برق باید تأمین شود. در نتیجه کنترل

ممکن بر روی بخش‌های تولید و انتقال می‌باشد. در سیستم‌های قدرت معمول، کنترل بر روی میزان توان

تولیدی (و همچنین ولتاژ و فرکانس) در نیروگاه‌ها اعمال می‌شود و حالت مطلوب در سیستم قدرت این است

که تعادل بین تولید و مصرف برقرار شده و بخش انتقال نیز به‌طور موثری توان را منتقل نماید. معمولاً در

طراحی اولیهٔ سیستم، این خواسته‌ها در نظر گرفته می‌شود. ولی به‌مرور زمان، با گسترش سیستم قدرت و

ایجاد تغییراتی در آن از قبیل رشد مصرف، اتصال شبکه‌های دیگر به شبکهٔ قبلی، تأسیس نیروگاه‌ها و خطوط

جدید و غیره، این تعادل بر هم خورده و محدودیت‌هایی در بهره‌برداری از سیستم قدرت به‌وجود می‌آید.

در سیستم‌های قدرت بهم پیوستهٔ غربالی، عبور توان در مسیرهای ناخواسته، باعث افزایش بار غیر مجاز

برخی از خطوط و کاهش بار در خطوط دیگر می‌شود. به‌عبارت دیگر این امر، باعث عدم بهره‌برداری بهینه از

سیستم قدرت خواهد شد. از طرفی در سیستم‌های انتقال که انرژی را در فواصل طولانی با خطوط بلند

انتقال می‌دهند، مسألهٔ پایداری گذرا در خطوط طویل و افت ولتاژ غیر مجاز در خطوطی با طول‌های متوسط

مسأله‌ساز است. به‌این معنی که برای حفظ پایداری شبکه و تثبیت سطح ولتاژ مجاز، توان عبوری در سیستم

انتقال باید محدود شود. این محدودیت‌ها باعث می‌شوند که توان عبوری از خطوط در حدی بسیار پایین‌تر از

حد حرارتی خطوط قرار گیرند. بر این اساس می‌توان حالت ایده‌آل سیستم انتقال انرژی الکتریکی را تحت

شرایط زیر دانست:

الف- کنترل توان در مسیرهای مورد نظر صورت پذیرد.

ب- ظرفیت بهره‌برداری عملی از خطوط در حد ظرفیت حرارتی آنها قرار داشته باشد.

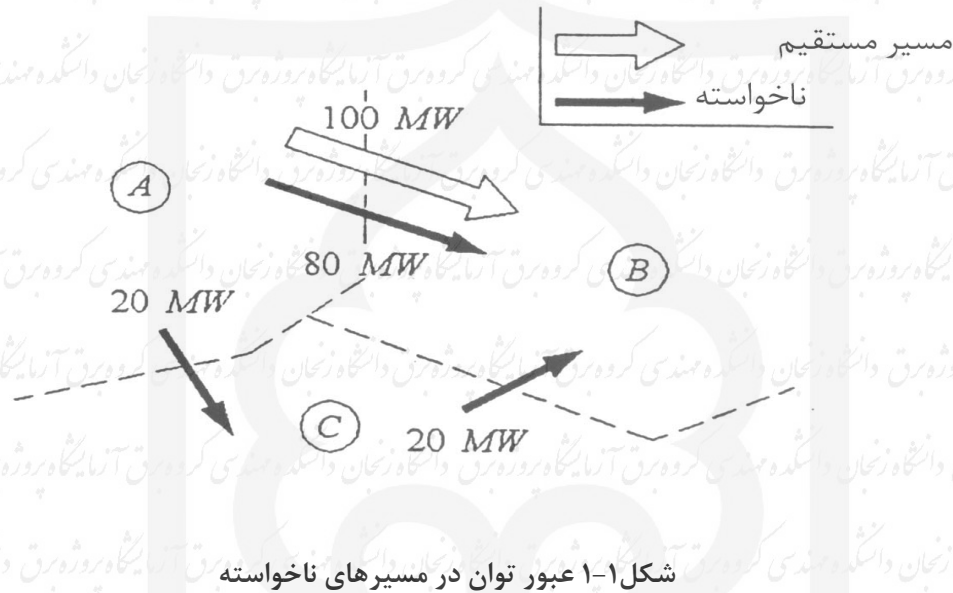
بنابراین عبور توان در مسیرهای ناخواسته و عدم بهره‌برداری از ظرفیت سیستم‌های انتقال در حد ظرفیت

حرارتی آنها مشکلات عمده‌ای هستند که در بهره‌برداری از سیستم قدرت وجود دارد.

۱-۲-۱- عبور توان در مسیرهای ناخواسته

برای بررسی مسأله عبور توان در مسیرهای ناخواسته، سیستم قدرت سه ناحیه‌ای نشان داده شده در شکل

(۱-۱) را در نظر بگیرید.



شکل ۱-۱ عبور توان در مسیرهای ناخواسته

فرض کنید توان مصرفی در ناحیه B به اندازه ۱۰۰ MW افزایش یابد و بخواهیم این افزایش مصرف را از

طریق ژنراتورهای ناحیه A تامین نماییم. در چنین شرایطی قوانین اساسی مدار (و به عبارتی محاسبات پخش

بار در سیستم قدرت) باعث تقسیم توان در مسیرهای ممکن از جمله A-B و A-C-B می‌شوند و همان‌طوری

که ملاحظه می‌شود در این مثال ۸۰ MW از طریق مسیر A-B و ۲۰ MW از طریق مسیر ارتباطی A-C-B

منتقل می‌شود. صرف نظر از تلفات، این امر می‌تواند باعث اضافه بار خطوط در ناحیه C شود که نقشی در

دانشجویان محترم:

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

پایان نامه کارشناسی

فصل چهارم

نتیجه گیری

ظرفیت بهره‌برداری عملی خطوط انتقال بسیار کمتر از ظرفیت واقعی خطوط، که همان حد حرارتی آن‌هاست می‌باشد. این امر موجب عدم بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های انتقال انرژی می‌شود. یکی از راه‌های افزایش ظرفیت انتقال توان احداث خطوط جدید است که این امر به‌خاطر هزینه بالا و مشکلات قانونی و زیست محیطی به راحتی قابل اجرا نمی‌باشد. راه حل دوم استفاده از جبران‌سازها می‌باشد.

حالت ایده‌آل بهره‌برداری از سیستم انتقال انرژی الکتریکی زمانی است که اولاً کنترل توان در مسیرهای مورد نظر صورت گرفته و ثانیاً ظرفیت بهره‌برداری عملی از خطوط در حد ظرفیت حرارتی آن‌ها قرار گرفته باشد. عبور توان در مسیرهای ناخواسته و عدم بهره‌برداری از سیستم‌های انتقال در حد ظرفیت حرارتی عمده‌ترین مشکلاتی هستند که در بهره‌برداری سیستم قدرت وجود دارند.

با توجه به رابطه توان قابل انتقال در خطوط انتقال انرژی از سه روش کاهش راکتانس خطوط انتقال، کاهش طول موثر خط انتقال و افزایش زاویه انتقال توان برای افزایش ظرفیت انتقال توان استفاده می‌شود.

خازن، راکتور و ترانسفورماتور جابه‌جا کننده فاز مجهز به کلیدهای مکانیکی که به‌عنوان جبران‌سازهای متعارف سیستم‌های قدرت شناخته می‌شوند از راه‌های افزایش توان انتقالی در خطوط انتقال می‌باشند که هر کدام با کنترل یکی از پارامترهای خط انتقال (راکتانس خط انتقال، طول موثر خط و یا زاویه انتقال توان) مقدار ظرفیت خط انتقال را افزایش می‌دهند. مهم‌ترین عیب این جبران‌سازها هزینه بالای نگهداری و سرعت و انعطاف پایین آن‌ها می‌باشند.

در دو دهه اخیر با پیشرفت سریع نیمه هادی‌ها در سطح ولتاژ و توان و نیز پیشرفت سیستم‌های کنترلی، جبران‌سازهایی با انعطاف پذیری و دامنه عملکرد بالا طراحی و ساخته شده و در سیستم‌های قدرت نصب گردیدند. این جبران‌سازها که تحت عنوان "سیستم‌های انتقال AC انعطاف

پذیر (FACTS) "شناخته می‌شوند در دو دسته کلی طبقه‌بندی می‌شوند: ادوات FACTS کنترل شده با تریستور و ادوات FACTS بر پایه‌ی مبدل منبع ولتاژ (ادوات نوین FACTS).

ادوات FACTS بر اساس نیمه هادی‌های الکترونیک قدرت ساخته می‌شوند که عنصر پایه‌ای آن‌ها نیمه هادی چهار لایه‌ای است که تریستور (SCR) نامیده می‌شود. تریستور، کلید یا دیودی است که با

استفاده از پایه سومی به نام گیت می‌توان لحظه روشن شدن آن را کنترل نمود اما هیچ‌گونه کنترلی روی لحظه خاموشی آن وجود ندارد.

ادوات FACTS کنترل شده با تریستور، مانند جبران‌سازهای متعارف، در ساختار مداری خود از خازن، راکتور و ترانسفورماتور استفاده می‌کنند اما به جای کلیدهای مکانیکی از نیمه‌هادی‌های تریستوری برای کنترل آن‌ها بهره می‌برند. انواع متداول این نوع جبران‌سازها، جبران کننده وار استاتیک (SVC)، خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC) و جابه‌جا کننده فاز کنترل شده با تریستور (TCPS)

می‌باشند. مهمترین ویژگی این جبران‌سازها، سرعت بالای آن‌ها نسبت به جبران‌سازهای متعارف می‌باشد.

جبران‌ساز SVC را می‌توان اولین جبران‌ساز از نسل جبران‌سازهای پیشرفته دانست که در تثبیت و تنظیم ولتاژ، بهبود پایداری سیستم قدرت، اصلاح ضریب توان و تصحیح عدم تقارن فازها کاربرد عمده‌ای دارد. دو نوع اصلی این جبران‌ساز، راکتور کنترل شده با تریستور (TCR) و خازن سویچ شونده با تریستور (TSC) می‌باشد که البته جبران‌سازهای ترکیبی از این دو نوع نیز کاربرد فراوانی دارد.

جبران‌ساز TCSC به صورت سری با خط انتقال قرار می‌گیرد و شامل یک خازن ثابت موازی با یک TCR می‌باشد. TCSC امپدانس کل خط انتقال را به صورت پیوسته در محدوده ظرفیت جبران‌سازی کنترل می‌کند.

جبران ساز TCPS یک جابه‌جاکننده فاز کنترل شده با تریستور است که در ساختار آن از مجموعه‌ای از ترانسفورماتورها و یک مبدل تریستوری استفاده می‌شود. این جبران ساز با کنترل زاویه انتقال توان، توان راکتیو و اکتیو را در خط انتقال کنترل می‌کند.

پایان نامه کارشناسی

مراجع

1] ► Hingorani, Narain G. and Gyugyi, Laszlo, “Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission System”, 2000

۲] ► Location of FACTS Devices for Enhancing Power Systems’ Security S.N. Singh
EPSC, Energy Program
Asian Institute of Technology P.O. Box.4, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand

۳] ► Optimal Location of FACTS Devices to Enhance Power System Security S .
Gerbox, R. Cherkaoui, and A. J. Germond, Member, IEEE

۴] ► Optimal Placement of UPFC in Power Systems Using Genetic Algorithm

D. Arabkhaburi, A. Kazemi, M.Yari, J. Aghaei

Center of Excellence for Power System Automation and Operation, Department of
Electrical Engineering Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran

۵] ► Enhancement of Power System Security through Optimal Placement of TCSC and
UPFC

J.G. Singh, Student Member, IEEE, S.N. Singh, Senior Member, IEEE and

S.C. Srivastava, Senior Member, IEEE

۶] ► Power System Security Improvement Using the Unified Power Flow Controller
(UPFC)

A. Kazemi, H. A. Shayanfar, A. Rabiee, and J. Aghaie

Center of Excellence for Power System Automation and Operation, Department of
Electrical Engineering Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran

۷] ► FACTS Operation Scheme for Enhancement of Power System Security

Sung-Hwan Song, Jung-Uk Lim, Member, IEEE and Seung-II Moon, Member, IEEE

۸] ► Optimal Placement of FACTS Controller in Power System by a Genetic-based

Algorithm H C Leung T S Chung

Department of Electrical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University Hung

Horn, Kowloon, Hong Kong

۹]► Optimal Placement of FACTS Controller in Power System by a Genetic-based

Algorithm H C Leung T S Chung Department of Electrical Engineering, The Hong

Kong Polytechnic University Hung Horn,