



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی برق

## پروژه کارشناسی

### کاربرد ادوات FACTS در پایداری سیستم های قدرت

9

### شبیه سازی یکی از انواع آن ها در یک سیستم قدرت تک ماشینه

دانشجو: ناهید اسدی

استاد راهنما: دکتر جلیل زاده

سال ۸۹





# پایان نامه کارشناسی

۸۵	STATCOM و پایدار ساز
۸۷	مدل خطی شده سیستم قدرت
۹۳	فرمول بندی مسئله
۹۳	ساختار پایدار ساز
۹۴	تابع هدف
۹۵	الگوریتم PSO
۹۸	نتایج
۹۸	بدست آوردن تابع Fitness
۹۸	پاسخ سیستم بدون کنترل کننده ها
۱۰۰	کنترل کننده های AC و DC ی STATCOM به همراه PSS و پایدار ساز مبتنی بر C
۱۰۰	مقادیر بهینه برای پارامترهای کنترل کننده حاصل از الگوریتم P SO
۱۰۰	پاسخ سیستم به ازای پارامترهای بهینه کنترل کننده
۱۰۲	کنترل کننده های PI ولتاژ داخلی AC و DC ی STATCOM به همراه PSS و پایدار ساز مبتنی بر $\phi$
۱۰۲	مقادیر بهینه برای پارامترهای کنترل کننده حاصل از الگوریتم
۱۰۲	پاسخ سیستم به ازای پارامترهای بهینه کنترل کننده ها
۱۰۴	مقایسه پاسخ سیستم به ازای کنترل کننده های PI ولتاژ داخلی AC و DC ی STATCOM به همراه PSS و پایدار ساز مبتنی بر $\phi$ و مبتنی بر C
۱۰۷	منابع



## مقدمه

سیستم های انتقال AC انعطاف پذیر که به **FACTS (Flexible AC Transmission system)** معروف می باشند، مفهوم و ایده جدیدی است که برای تقویت کنترل پذیری و توسعه ظرفیت

انتقال شبکه ها با بکارگیری و استفاده از کنترل کننده ها و ادوات الکترونیک قدرت را توصیه و تشویق می نمایند. در واقع سیستم های **FACTS** قادر هستند که پارامترها و مشخصه های خطوط انتقال مانند امپدانس سری، امپدانس شانت، زاویه فاز که بعنوان محدودیت اصلی بر سر راه افزایش ظرفیت شبکه عمل می نمایند، کنترل کنند.

ایده اساسی که پشت مفهوم **FACTS** وجود دارد توانا نمودن سیستم انتقال از طریق فعال نمودن عناصر و اجزاء آن می باشد. در واقع **FACTS** دارای نقش اساسی در افزایش انعطاف پذیری انتقال توان و امنیت پایداری دینامیک سیستم های قدرت می باشد.

درحقیقت مشکل از آنجایی شروع می شود که رشد میانگین بار حدود **10 %** است و رشد توسعه در بخش تولید حدود **8 %** تا **10 %** می باشد. ولی توسعه خطوط انتقال بین **2 %** تا **3 %** است.

رشد کم توسعه خطوط انتقال در کشورهای غربی که مسائل حقوقی حریم خط که نیاز به خرید مسیر و حریم خط دارند و در جاهایی که قوانین خصوصی سازی خیلی سخت و سخت تر است بیشتر نمودار می شود. حال با رشد مصرف بالا و توسعه محدود خطوط انتقال چه راه حل های درپیش رو داریم ؟

به سه دلیل زیر از ظرفیت بهینه خطوط نمی توانیم بهره برداری کامل نماییم:

درخطوط کوتاه بدلیل محدودیت ماکزیمم تحمل حرارتی خط نمی توان از ظرفیت کامل خط استفاده نماییم.

درخطوط با طول بیش از **80** تا **100** کیلومتر هم عامل فوق برای ما محدودیت ایجاد می کند و عامل

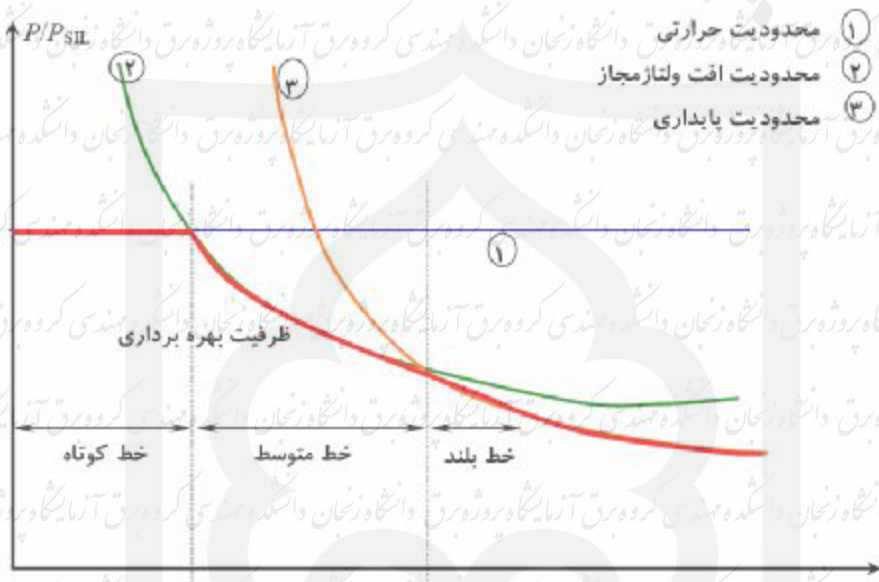
دیگری نیز باعث محدودیت درانتقال توان می شود. بدلیل افزایش امپدانس خط افت ولتاژ خواهیم داشت. بنابراین

که ناچاریم برای کاهش افت ولتاژ جریان را کاهش دهیم.

در خطوط بالاتر از 250 تا 300 کیلومتر تغییر عوامل فوق الذکر عامل سومی به وجود می آید تحت عنوان زاویه فاز که زاویه بین ابتدا و انتهای خط می باشد . به دلیل افزایش امپدانس خط زاویه فاز ابتدا و انتهای

خط افزایش می یابد و در این حالت مسئله پایداری شبکه مطرح می شود . اینجا دیگر راهکار افت ولتاژ کارساز نیست اگر برای پایداری 30% حاشیه امنیت شبکه داشته باشیم این یعنی زاویه پایداری معادل است با 44 درجه یعنی زاویه بین ابتدا و انتهای خط نباید از 44 درجه بیشتر شود . بنابراین اگر ما این مشخصه را هم وارد کنیم ظرفیت انتقال خط ما از ظرفیت حرارتی خط پایین تر می آید . یعنی در

خطوط طویل خیلی کمتر از ظرفیت حرارتی خط بهره برداری می کنیم



مطالب فوق به ما می گوید که ما خطی داریم با ظرفیت 100 درصد که بدلیل شرایط بهره برداری در حدود 50 ویا کمتر از آن استفاده می نماییم . درحالی که برای انتقال توان درحال حاضر مشکل جدی

داریم و می بایستی یک خط جدید احداث نماییم . ولی بدون اینکه خط جدیدی نیاز باشد میتوان با خط گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

کنترل کننده های FACTS با بکارگیری کنترل کننده های پر سرعت الکترونیک قدرت امکانات و قابلیت های زیر را برای سیستم قدرت ایجاد می نمایند.

• کنترل فلوئی توان اکتیو بقسمی که بتواند انتقال و مقدار آن را در مسیرهای دلخواهی کنترل نماید.

انسان‌های دانشگاه صنعتی کرمانشاه و انجمن علمی دانشجویی دانشگاه صنعتی کرمانشاه  
• کنترل بارگیری خطوط انتقال تا نزدیکی های ظرفیت حرارتی آنها بقسمی که در عین اینکه از حداکثر ظرفیت خطوط استفاده میگردد اما مانع از اضافه بار آنها میشود. این امر باعث میشود که بواسطه افزایش توانائی انتقال توان بین نواحی، بتوان حاشیه رزرو تولید در سیستم را کاهش داد. دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• میرائی نوسانات توان که در صورت عدم میرائی میتواند باعث صدمه دیدن تجهیزات و محدود نمودن ظرفیت انتقال خطوط گردند. (بهبود پایداری گذرا) دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• جلوگیری از توسعه و گسترش حوادث و خروج پی در پی تجهیزات از طریق محدود نمودن اثر برق خطاها و معیوب شدن تجهیزات دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• افزایش بار طبیعی خط دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• کاهش تلفات خط دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• کاهش افت ولتاژ دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• ایجاد نمایه ی ولتاژ بهتر در طول خط دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• بهبود پایداری ولتاژ دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• بهبود پایداری دینامیکی دانشگاه صنعتی کرمانشاه

تحت مدیریت و هدایت موسسه RPRI کاربرد FACTS در دست مطالعه می باشد و تعداد زیادی از کنترل کننده های FACTS هم اکنون ارزیابی و آزمایش شده اند در حالیکه تعداد دیگری از نظر مفهومی

بررسی و مطالعه گردیده ولیکن هنوز طراحی و ساخته نشده اند. دانشگاه صنعتی کرمانشاه

کنترل کننده های FACTS که هم اکنون ساخته شده و بکار گرفته شده اند، موارد کاربرد آنها بشرح زیر

میشوند: دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• دانشگاه صنعتی کرمانشاه

• دانشگاه صنعتی کرمانشاه



## کنترل امپدانس خطوط با جبران سازی سری آنها

### (thyristor controller series capacitor) **TCSC&ASC**

## کنترل توان عبوری خطوط

### میراثی نوسانات توان و پدیده **SSR**

### (static var compensator) **SVC & ASVC**

## کنترل راکتور و یا خازنهای شانت با استفاده از جبران سازی شانت

## کنترل ولتاژ

## بهبود پایداری دینامیکی

## سایر کنترل کننده های **FACTS** بهمراه موارد کاربرد آنها بشرح زیر می باشند

### (static synchronous compensator) **STATCOM**

## جبران سازهی جدید توان راکتیو براساس کاربرد تریستورهای **GTO**

## جبران سازی شانت

## کنترل ولتاژ

## بهبود پایداری دینامیکی

## قرار است در سیستم قدرت **TVA** و در پست **Sullivan** نصب گردد.



ASI

جبران سازی سری

بهبود پایداری دینامیکی

از دیگر ادوات FACTS میتوان به موارد زیر نیز اشاره کرد:

SSSC, TCSR, TSSR, IPFC, TCPAR, MSSC, IPC, OUPFC, APLC,

CSI\_STATCOM

FACTS

ای از کنترل کننده ها است که میتوانند بصورت تکی و یا مجتمع با یکدیگر برای کنترل پارامترهای سیستم قدرت استفاده شوند. چون کنترل کننده های FACTS همگی دارای یک فناوری ساخت مشابه می باشند

# فصل اول

## پایان نامه کارشناسی

### بررسی ادوات FACTS

### در سیستم های انتقال

## مشکلات و نیازهای سیستم انتقال: ظهور ادوات (Flexible AC) facts (Transmission system)

مشکلات موجود در سیستم های انتقال رایج (فاصله، پایداری و کنترل پذیری عبور توان) که موجب بهره برداری نامناسب می گردد به همراه تاثیر قابل ملاحظه ی جبرانگرهای کنترل شده، منجر به ظهور جبرانگرهای کنترل شده بوسیله تجهیزات الکترونیک قدرت در اواخر دهه ی ۷۰ میلادی گردید. در سالهای

اخیر گسترش قابل ملاحظه ای در این زمینه حاصل شده است. در مؤسسه ی تحقیقات صنعت برق (EPRI) در ایلات متحده، مطالعاتی تحت عنوان سیستم انتقال قابل درمونسسه ی تحقیقات صنعت برق (EPRI) در ایلات متحده، مطالعاتی تحت عنوان سیستم انتقال قابل

انعطاف FACTS با هدف کنترل بلادرنگ سیستم های انتقال بوسیله ی تجهیزات الکترونیک قدرت در دست انجام است. صرف نظر از این واقعیت که ادوات FACTS برای رفع نیاز شرکت های آمریکایی بوجود آمده است، ساختار سیستم قدرت این کشور از دیدگاه جبران توان راکتیو دارای اهمیت ویژه ای است زیرا اولاً باید یک جامعه ی بسیار پیشرفته صنعتی را تأمین کند. ثانیاً بدلیل اندازه و ترکیب جغرافیایی ان کشور، دارای همان مسایل و مشکلاتی است که در کشور های بزرگ دیگر وجود دارد.

### مسائل و پیشرفت های اخیر

پیشرفت بی سابقه ی فن اوری پس از جنگ جهانی دوم و رشد سریع صنعت به افزایش شدید تقاضا برای برق منجر شد و ظرفیت صنایع از ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ ده برابر گردید. به این تقاضای عظیم با افزایش تولید و انتقال و بهم پیوستن سیستم های قدرت مستقل پاسخ داده شد.

در ابتدای سالهای ۱۹۷۰ مشکلات زیادی پدید آمد: قطع صدور نفت در اواسط دهه ی ۱۹۷۰، مخالفت عمومی با نیروگاه های اتمی و توجه به محیط زیست موجب دخالت بیشتر دولت و افزایش هزینه ها گردید و قوانین محدود کننده ای وضع شد. در این سالها استفاده از انرژی های جایگزین مانند انرژی خورشیدی و زمین گرمایی مطرح شد. در کارخانه ها و صنایع امریکا نیز تغییرات عمده ای روی داد: کارخانه های متمرکز و بزرگ جای خود را به کارخانه های کوچک در نقاط مختلف جغرافیایی دادند. این امر به همراه تغییرات دموگرافیکی (مردم از مناطق سرد به گرمتر نقل مکان کردند) باعث تغییر جغرافیایی قابل ملاحظه ای در تقاضای برق گردید.

در نتیجه می بایست خطوط انتقال و نیروگاه های جدیدی برای تأمین برق مورد نیاز احداث شوند اما شرکت ها بخاطر مسائل اقتصادی قادر به هماهنگ سازی نبودند. در واقع توجه عمومی به محیط زیست و سلامتی و قوانین متعدد در مورد " حریم " ها موجب تأخیر زیادی در ساخت نیروگاه و احداث خطوط انتقال گردیده است.

مشکلات اجتماعی جدید موجب بهم پیوستگی بیشتر سیستم های مجاور و تشکیل یک شبکه ی ملی گردید. از علل این یکپارچگی میتوان لزوم بهره برداری از بارهای پراکنده، تغییر پیک به دلیل شرایط آب و هوایی و زمانی مختلف و امکان استفاده از ظرفیت رزرو مناطق دیگر، تغییر سوخت و تغییرات قوانین را نام برد.

با این همه، سیستم قدرت ایالات متحده فاقد انعطاف لازم برای مقابله با تغییرات تقاضای ناشی از تغییرات محیطی و اقتصادی بود. در سیستم های بهم پیوسته، توان فروخته شده باید از نقطه ی تولید دور دست ارسال شده و از طریق سیستم های انتقال چندین شرکت عبور کرده تا به نقطه ی مورد نظر برسد. این امر موجب عبور توان گردشی (زیرا مقداری از جریان ارسالی متناسب با ادمیتانس مسیرهای موازی در آنها جاری میشود) و در نتیجه اضافه بار خطوط و ایجاد تغییرات ولتاژ و مسائل حرارتی می گردید. نقطه ای که توان ارسالی به آن میرسید نیز، بدلیل احتمال بالای وقوع خطا و از دست رفتن توان و در نتیجه بار دهی سنگین در معرض خطر فروپاشی ولتاژ قرار میگرفت. این مسائل و مشکلات موجب افزایش استفاده از جبرانگرای خازنی گردید. در سیستم های بهم پیوسته رو به رشد، بدست آوردن حاشیه ی پایداری مناسب بدون تقویت انتقال تقریباً ناممکن بود.

لزوم تقویت ولتاژ و پایداری گذرا در شبکه های بهم پیوسته ی رو به رشد و محدودیت های احداث خطوط جدید و تنگناهای مالی موجب بکارگیری فزاینده ی جبرانگرای قابل کنترل از اواخر دهه ی ۷۰ میلادی شده است. در حال حاضر ۲۰۰۰۰ جبرانگر Mvars قابل کنترل در ایالات متحده، مکزیک و کانادا و حدود ۷۰۰۰۰ جبرانگر Mvars در سراسر دنیا نصب شده و مورد بهره برداری قرار گرفته اند.

## چالشهای سیستم قدرت با دسترسی باز

تازه ترین چالشی که صنعت برق امریکا با آن روبروست مسأله سیستم های با ساختار نوین رقابتی میباشد. در سالهای ۱۹۹۵، کمیته فدرال قانونگذاری انرژی (FERC) قانون جدید خود را در مورد تشویق رقابت بیشتر در صنعت برق اعلام کرد. هدف اصلی قوانین جدید، آسان کردن رقابت در صنعت برق با فراهم آوردن

امکان دسترسی مصرف کننده و تولید کننده به یکدیگر از طریق سیستم با ساختار نوین رقابتی میباشد. در سیستم با ساختار نوین رقابتی تولید و انتقال مستقل میباشند. چگونگی انجام این قانون هنوز مشخص نیست. ممکن است کنترل شبکه ی انتقال به یک شرکت مستقل داده شود یا سیستم انتقال به یک یا چند شرکت فروخته شود و آنها مسئول عملکرد و بهره برداری از شبکه ی انتقال باشند. (مورد اخر شبیه کاری است که قبلاً در انگلستان با تشکیل شرکت ملی شبکه انجام گردید). در تمامی ایالتها قوانین مربوط به فروش برق در دست تهیه است. شرکت های عام کالیفرنیا در سال ۲۰۰۲ به این هدف دست خواهند یافت. عملی کردن سیستم های با ساختار نوین رقابتی بزرگترین چالش را در صنعت برق امریکا بوجود خواهد آورد. تاثیر اصلی سیستم های با ساختار نوین رقابتی، کاهش هزینه ی برق یعنی حداقل کردن هزینه تولید برق از طریق ایجاد رقابت ازاد میباشد. این مسأله موجب افزایش تولید کننده های مستقل خواهد شد. بدون تردید در اثر این اعمال، تمایل به مناطق کم هزینه تر و تغییر سطح تولید محلی متناسب با هزینه ی نسبی سوخته های متفاوت و عوامل دیگر موثر بر هزینه تولید (مثلا حفاظت محیطی) بوجود خواهد آمد. علاوه بر این قراردادهای انتقال توان از نقاط دوردست (ارزان ترین توان) به مکان های مورد نظر افزایش یافته و در نتیجه مسائل عبور توان گردشی تشدید شده و مشکلات غیر قابل پیش بینی در بار دهی خط، پایداری گذرا و تغییرات ولتاژ ایجاد خواهد شد. در سیستم های با ساختار نوین رقابتی استقلال استقلال واحدهای تولید از انتقال، موجب تشدید این مشکلات بدلیل حذف قابلیت ژنراتور در کنترل و جذب توان راکتیو (سیستم تحریک سریع، پایدار ساز سیستم قدرت و...) به منظور تقویت انتقال توان خواهد شد. کاهش توانایی ژنراتور در جذب و تولید توان راکتیو موجب تشدید مشکلات پایداری گذرا و دینامیکی و تغییرات ولتاژ در سیستم انتقال خواهد شد. اثر این موارد بر قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم بسار مخرب است.

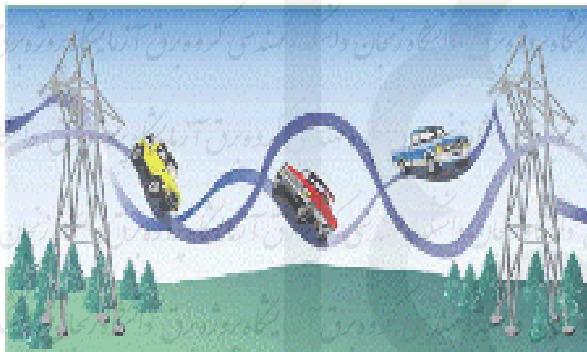
راه حل سنتی این مشکلات تقویت خط انتقال از طریق احداث خطوط جدید است. اما این کار بنا به دلایل زیست محیطی و اقتصادی عملی نیست. بنابر این تنها راه عملی استفاده از تکنولوژی های پیشرفته مثل ادوات **FACTS** میباشد. در این سیستمها، جبرانگر کنترل ها بوسیله ی تجهیزات الکترونیک قدرت و کامپیوترها کنترل شده و امکان بهره برداری از سیستم های انتقال فراهم میگردد.

## اهداف FACTS

هدف اصلی از سیستم های قدرت با دسترسی باز این است که بتوان خریداری شده از هر فروشنده را به هر خریدار رساند. به دلیل هزینه، حریم و مسائل زیست محیطی، شبکه باید بر پایه ی ساختار کنونی

خطوط انتقال بنا نهاده شود. موسسه EPRI پس از سالها تحقیق و مطالعه ی تجهیزات الکترونیک قدرت فشار قوی برای استفاده در خطوط انتقال HVDC و جبرانگرهای خطوط AC، در اواخر دهه ی ۸۰ میلادی سیستم های FACTS را به دنیا معرفی کرد. عبارات FACTS عبارت است از بکارگیری کنترل کننده هایی بر مبنای تجهیزات الکترونیک قدرت در سیستم های انتقال AC به منظور افزایش کنترل پذیری سیستم و افزایش قابلیت انتقال توان میباشد. برای غلبه بر محدودیت ها موجود در ساختار خطوط انتقال و برای سهولت تبادل توان بین شرکتهای مختلف، ادوات FACTS در اواخر دهه ی ۸۰ ابداع گردید و دو هدف اصلی زیر را دنبال میکند.

- افزایش قابلیت انتقال توان سیستم های انتقال
- عبور دادن توان از مسیرهای مورد نظر



Without FACT



With FACT



هدف اصلی به این معنی است که اگر پایداری سیستم در هنگام وقوع خطا و پس از آن با اعمال کنترل بلادرنگ توان حفظ شود میتوان توان انتقالی را تا رسیدن به حد حرارتی افزایش داد در صورتیکه با اعمال کنترل کننده های بلادرنگ پایداری حفظ گردد. البته این هدف بدان معنا نیست که خطوط همیشه در حد

حرارتی خود کار کنند (زیرا تلفات انتقال زیاد و غیر قابل قبول خواهد بود) اما این امر در شرایط اضطراری ممکن است بکار گرفته شود. با استفاده از کنترل کننده های **FACTS** بجای در نظر گرفتن حاشیه ی پایداری بزرگ، انتقال توان در وضعیت عادی به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش خواهد یافت (طبق مطالعات انجام شده در حدود ۵۰٪).

هدف دوم بیان میدارد که در صورت قابل کنترل بودن جریان خط (مثلاً تغییر امپدانس مؤثر خط) میتوان عبور توان را از طریق کریدورهای انتقال دلخواه (قراردادی) عبور داده و عبور گردشی توان را محدود کرد. همچنین این هدف بصورت ضمنی بیان میدارد که تغییر سریع مسیر عبور توان در صورت وقوع حادثه ای باید امکان پذیر باشد تا عبور توان در کل سیستم انتقال به شکل دلخواه باشد.

واضح است که انجام این دو هدف، بطور قابل ملاحظه ای بر بهره برداری از سیستم های انتقال موجود (و آینده) اثر گذشته و نقش مهمی در تسهیل تحقق سیستم هخای با ساختار نوین رقابتی خواهد داشت.

انجام این دو هدف مذکور مستلزم بهبود گسترش کنترل کننده ها و جبرانگرهای توان بالا می باشد. تکنولوژی مورد نیاز برای این مساله در تجهیزات الکترونیکی فشار قوی (چند صد MVAR) و کنترل بلادرنگ آنها

نهفته است. هنگامیکه تعداد مناسبی از این کنترل کننده ها و جبرانگرهای سریع در کل سیستم قرار داده شد، کنترل کلی سیستم برای دستیابی به حداکثر مزایای ممکن و جلوگیری از بروز عکس العمل های نامناسب بین آرایش های مختلف سیستم و اهداف مورد نظر، مساله تکنولوژیک مهمی بوجود خواهد آورد. در

این میان دستیابی به استراتژی کنترل بهینه سیستم و پروتکل های امنیتی و ارتباطات مخابراتی اهمیت دارد. میتوان تحقق کنترل بهینه ی چنین سیستمی را سومین هدف **FACTS** بشمار آورد.

دانشجویان محترم:

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

[۱] M.Abido, " Design of PSS and STATCOM-Based Damping Stabilizers Using Genetic Algorithm" , IEEE, ۲۰۰۶

[۲] D.Z.Fang, S.Q. Yuan, Y..J.Wang and T.S.Chung , "Coordinated Parameter Design of STATCOM Stabilizer and PSS Using MSSA algorithm", IET, Gener. Distrib, ۲۰۰۷, ۱, (۴), pp.۶۷۰-۶۷۸.

[۳] A.H.M.A. Rahim, M.F. Kandlawala, " Robust STATCOM Voltage Controller Design USING Lopp-Shaping Technique", Electric Power System Research ۶۸, ۲۰۰۴, ۶۱-۷۴.

[۴] M.Abido, " Optimal Design Of Power System Stabilizers Using Particle Swarm Otimization", ۰۸۸۵-۸۹۶۹/۰۲□۱۷.۰۰, ۲۰۰۲, IEEE.

[۵] Sidhartha Panda, Narayanda PrasadPadhy, " Optimal Location and controller design of STATCOM for power system stability using PSO ", Journal of the Franklin Institute ۳۴۵, ۲۰۰۸, ۱۶۶-۱۸۱.

[۶] N.C.Sahoo, B.K.Panigrahi, P.K.Dash, G.Panda, "Application of a multivariable feedback linearization scheme for STATCOM controller, ", Elsevier, ۲۰۰۲.

[۷] Fawzi AL-Jowder, "Improvement of synchronizing power and damping power by means of SSSC and STATCOM A comparative study", .Elsevier, ۲۰۰۶.

[۸] Kundor, P. Powe System Stability and Control, Mc.Graw Hill, New York, ۱۹۹۴.

[۹] H.F.Wang, " Interactions and multivariable design of STATCOM AC and dc vltage control", Elsevier, ۲۰۰۳.

[۱۰] Anderson , P.M and A.A , Fouad , Power System Control and Stability, The Iowa State University Press , ۱۹۹۷.

[۱۱]- کبراری، مهدی، دینامیک و کنترل سیستم‌های قدرت، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مرکز نشر،