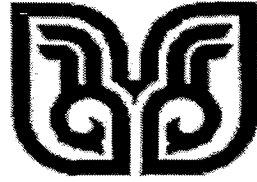


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق-کنترل

طراحی هماهنگ و بهینه PSS و ادوات FACTS جهت حذف نوسانات فرکانس پایین در

سیستم های قدرت چند ناحیه ای با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی بهبود یافته

استاد راهنما:

دکتر احمد حکیمی

مولف:

بهمن محمدی برنج آباد

شهریور ماه ۱۳۸۷

۱۰۸۷۸۹

۸۷/۱/۱۰۹۸۲۵
۸۷/۱/۱۴

دانشگاه شهید باهنر کرمان
گروه مهندسی برق

۱۳۸۷ / ۸/۱۲ / ۷



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی برق
دانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: بهمن محمدی برنج آباد

استاد راهنما: دکتر احمد حکیمی

داور ۱: دکتر مسعود رشیدی نژاد

داور ۲: دکتر محمود سموات

داور ۳:

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: دکتر سعید سریزدی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.



تقدیم به

همسرم

که در لحظه لحظه نفسم حضور دارد

و بدون صبر و شکیبائی او این مهم امکان پذیر نبود.

تقدیر و تشکر

بر خود لازم میدانم از کلیه دوستان، همکاران و عزیزانی که مرا در رسیدن به این هدف یاری نموده اند صمیمانه قدردانی و تشکر نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر حکیمی و جناب آقای دکتر قره ویسی که تقبل زحمت نموده و با کمک های فکری و ایده های جدید اینجانب را راهنمایی و زمینه ها و افق جدیدی از تحقیق پیش روی اینجانب گشودند، سپاسگزاری نموده و تشکر بی پایان دارم.

بهمن محمدی برنج آباد

شهریور ماه ۱۳۸۷

Mohammady.b@STPC.ir

Bahman_Mohamady_ba@yahoo.com

DeltaNet_2002@yahoo.com

تلفن همراه: ۰۹۱۴۱۴۸۳۷۴۷

چکیده

در سیستم های قدرت بسیار بزرگ استفاده از PSS جهت حذف نوسانات بین ناحیه ای ناکافی بوده و معمولاً از ادوات FACTS از جمله SVC که جزء مهمترین این ادوات می باشد توام با PSS و بصورت هماهنگ استفاده می شود. در این پایان نامه پارامترهای پایدار ساز سیستم قدرت (PSS) و جبران ساز استاتیکی توان راکتیو (SVC)، با استفاده از دو الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) و جستجوی محلی (LS) و ترکیب این دو که با عنوان جدید الگوریتم DELSA (Memetic DE) معرفی می گردد که جهت مقایسه، بصورت مجزا و همچنین بصورت هماهنگ طراحی و با تعداد تکرار بسیار کم به جواب بهینه همگرا شده اند و بنحوی تنظیم گردیده که کلیه نوسانات فرکانس پایین از جمله نوسانات مدهای محلی، مدهای بین ناحیه ای، مدهای کنترل کننده های دیگر و مدهای سیستم تحریک ژنراتورها در سیستم قدرت نمونه مورد مطالعه حذف گردد. فرض شده است که الگوریتم DE جستجو را در حوزه وسیعی انجام می دهد درحالیکه جستجوی محلی متمرکز بر گودی ناحیه جذب که در آن امید به وجود پارامتر بهینه است انجام می شود.

در این پایان نامه دو سیستم قدرت متفاوت جهت اثبات صحت نتایج بدست آمده از عملکرد الگوریتم ها مورد مطالعه قرار گرفته است. هر دو سیستم سه ناحیه ای بوده و در نرم افزار MATLAB بصورت غیر خطی در حوزه زمان شبیه سازی شده اند. نتایج شبیه سازی نشان می دهند که بدون استفاده از پایدارساز و ادوات FACTS و در هنگام وقوع خطا، گشتاور میرا کننده و سنکرون کننده کاهش، سیستم از حالت پایدار خارج شده، نوسانات فرکانس پایین بوجود آمده و دیده می شود که با حضور PSS بهینه این نوسانات حذف می گردد. هماهنگ سازی بین PSS ها توسط الگوریتم DE در یکی از سیستم های قدرت انجام شده و نشان داده شده است که بدون هماهنگ سازی PSS ها پایداری سیستم کاهش و حتی سیستم به ناپایدار می رسد و با استفاده از PSS های هماهنگ شده توسط الگوریتم DE، پایداری بیشتر شده و توانایی این الگوریتم بار دیگر اثبات می گردد.

با اضافه شدن SVC حاشیه پایداری افزایش مییابد و با بدست آوردن پارامترهای کنترولی PSS و SVC بصورت هماهنگ و بهینه توسط الگوریتم های DE و DELSA، تمامی نوسانات الکترومکانیکی در مودهای مختلف در کمتر از چند ثانیه حذف شده و پایداری سیستم تضمین میگردد و سیستم در برابر این نوسانات بصورت مقاوم عمل می کند.

مقایسه بین نتایج بدست آمده از این دو الگوریتم انجام شده و در پایان ارائه شده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ اهداف پایان نامه	۱۱
۳-۱ مروری مختصر بر ساختار پایان نامه	۱۲
فصل دوم: پایداری دینامیک و نوسانات فرکانس پایین	۱۴
۱-۲ مقدمه	۱۵
۲-۲ پویایی ناحیه های همساز	۱۵
۳-۲ پایداری	۱۷
۴-۲ انواع پایداری در سیستم های قدرت	۱۸
۵-۲ پایداری سیگنال - کوچک	۱۸
۶-۲ پایداری سیستم دینامیکی از دید کنترلی	۱۹
۷-۲ تحلیل پایداری	۲۰
۸-۲ نحوه بررسی پایداری دینامیکی در سیستم های قدرت	۲۱
۹-۲ معادله نوسان	۲۱
۱۰-۲ معرفی گشتاورهای میراکننده و سنکرون کننده	۲۲
۱۱-۲ اثر AVR بر نوسانات فرکانس پایین	۲۳
۱۲-۲ تاثیر تغییر شاردرور تحریک بر پایداری سیستم	۲۵
۱۳-۲ نوسانات بین ناحیه ای (Inter-Area Oscillation)	۲۵

- ۲۷-۱۴-۲- دسته بندی نوسانات الکترومکانیکی سیستم قدرت
- ۲۸-۱۵-۲- مسائل پایداری سیگنال کوچک جامع
- ۲۹-۱-۱۵-۲- روشهای خاص در تحلیل سیستمهای بسیار بزرگ
- ۳۰-۲-۱۵-۲- عوامل تاثیرگذار بر مدهای نوسانی بین ناحیه ای
- ۳۲-۱۶-۲- تقویت پایداری سیگنال کوچک
- ۳۳- فصل سوم: پایدارساز سیستم قدرت (PSS).....
- ۳۴-۱-۳- مقدمه
- ۳۴-۲-۳- توصیف بلوک ها و پارامترهای پایدارساز سیستم قدرت
- ۳۷-۳-۳- تنظیم پارامترهای پایدارسازهای سیستم قدرت
- ۳۹-۴-۳- انواع مختلف PSS
- ۴۱-۵-۳- اهداف طراحی
- ۴۱-۶-۳- کنترل کننده های تکمیلی جهت میراسازی LFO
- ۴۲-۷-۳- طراحی کلاسیک پایدار ساز سیستم قدرت
- ۴۲-۱-۷-۳- مراحل طراحی کلاسیک PSS
- ۴۳-۸-۳- روش های پیشرفته طراحی پایدار ساز سیستم های قدرت (PSS)
- ۴۵- فصل چهارم: ادوات FACTS
- ۴۶-۱-۴- مقدمه
- ۴۶-۱-۱-۴- میرایی نوسان توان
- ۴۶-۲-۱-۴- پیدایش ادوات FACTS و روشهای تحقق آنها
- ۴۹-۲-۴- تعریف FACTS
- ۵۰-۳-۴- کنترل کننده های FACTS

- ۴-۳-۱- کنترل کننده های FACTS با پایه کنترل سوئیچینگ تایریستوری ۵۰
- ۴-۳-۲- انواع کنترل کننده های FACTS بر پایه سوئیچینگ مبدل ۵۶
- ۴-۴- رتبه بندی و مقایسه معایب و مزایای ادوات FACTS ۶۵
- ۴-۵- کنترل کننده تکمیلی خطوط انتقال HVDC ۶۷
- ۴-۶- کنترل ناحیه ای با ادوات FACTS و هماهنگی بین آنها ۶۷
- فصل پنجم: الگوریتم تکامل تفاضلی (Differential Evolution) و DE بهبود یافته (DELSA) ۷۰**
- ۵-۱- مقدمه ۷۱
- ۵-۲- هوش گروهی (SI) ۷۲
- ۵-۳- سیستم های نمونه ۷۲
- ۵-۳-۱- ACO ۷۲
- ۵-۳-۲- بهینه سازی اجتماع پرندگان (گروه ذرات) ۷۲
- ۵-۳-۳- جستجوی پخشی احتمالی (SDS) ۷۴
- ۵-۳-۴- برنامه نویسی تکاملی (EP) ۷۵
- ۵-۳-۵- برنامه نویسی ژنتیک (GP) ۷۵
- ۵-۳-۶- الگوریتم ژنتیک ۷۶
- ۵-۳-۶-۱- عملگرهای یک الگوریتم ژنتیک ۷۷
- ۵-۳-۷- الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی AI ۷۸
- ۵-۴- الگوریتم تکامل تفاضلی (Differential Evolution) DE ۷۸
- ۵-۴-۱- بکارگیری الگوریتم DE با استراتژیهای مختلف ۷۹

۸۰	۲-۴-۵- بکارگیری الگوریتم DE همراه با فاکتور SCALE متغیر یا الگوریتم VSHDE
۸۴	۵-۵- الگوریتم DE بهبود یافته (DELSA)
۸۴	۱-۵-۵- مقدمه
۸۴	۲-۵-۵- الگوریتم های ممتیک
۸۵	۳-۵-۵- دلایل استفاده از الگوریتم ممتیک
۸۶	۴-۵-۵- چگونگی ترکیب در الگوریتم ممتیک
۸۷	۵-۵-۵- جستجوی محلی
۸۸	۶-۵-۵- مراحل ترکیب الگوریتم DE با الگوریتم LS جهت ایجاد الگوریتم DELSA
۸۹	فصل ششم: مدل سیستم قدرت
۹۰	۱-۶- مقدمه
۹۰	۲-۶- روش طراحی پایدارساز سیستم قدرت
۹۳	۳-۶- سیستم های قدرت مورد مطالعه
۹۵	۴-۶- جبران ساز استاتیکی توان راکتیو (SVC)
۹۸	۵-۶- کنترل تکمیلی جبرانسازهای توان راکتیو
۹۸	۶-۶- تقویت پایداری با SVC
۹۹	۱-۶-۶- کنترل تکمیلی برای بهبود میرایی
۱۰۰	۷-۶- هماهنگی میان پایدارسازها و ادوات FACTS
۱۰۱	فصل هفتم: نتایج و شبیه سازی
۱۰۲	۱-۷- مقدمه
۱۰۳	۲-۷- شبیه سازی سیستم قدرت سه ناحیه ای سه ماشینه نمونه ال داماتی
۱۰۳	۱-۲-۷- شبیه سازی سیستم قدرت سه ناحیه ای سه ماشینه بدون استفاده از PSS و SVC

- ۲-۲-۷- طراحی هماهنگ و بهینه پارامترهای PSS توسط الگوریتم DE جهت حذف نوسانات بین ناحیه ای ۱۰۶
- ۱-۲-۲-۷- تابع شایستگی ۱۰۶
- ۲-۲-۲-۷- تعداد تکرار الگوریتم و مشخصه های همگرایی میانگین ۱۰۷
- ۳-۲-۷- طراحی هماهنگ و بهینه پارامترهای PSS توسط الگوریتم DELSA جهت حذف نوسانات بین ناحیه ای ۱۱۲
- ۴-۲-۷- طراحی بهینه پارامترهای SVC توسط الگوریتم های DE و DELSA جهت حذف نوسانات LFO ۱۱۶
- ۵-۲-۷- تنظیم نا هماهنگ پارامترهای PSS و SVC توسط الگوریتم DE و DELSA ۱۲۲
- ۶-۲-۷- طراحی همزمان و هماهنگ پارامترهای PSS و SVC توسط دو الگوریتم DE و DELSA ۱۲۳
- ۳-۷- شبیه سازی سیستم قدرت سه ناحیه ای شش ماشینه (تعمیم یافته سیستم قدرت چهار ماشینه دو ناحیه ای نمونه کندور) ۱۳۱
- ۱-۳-۷- مقدمه ۱۳۱
- ۲-۳-۷- ارزیابی میرایی شبکه قدرت دو ناحیه ای کندور بدون PSS ۱۳۲
- ۳-۳-۷- شبیه سازی سیستم قدرت سه ناحیه ای شش ماشینه (تعمیم یافته سیستم قدرت دو ناحیه ای نمونه کندور) بدون استفاده از PSS و SVC ۱۳۴
- ۴-۳-۷- طراحی پارامترهای PSS توسط الگوریتم DE برای سیستم قدرت سه ناحیه ای شش ماشینه (تعمیم یافته سیستم قدرت دو ناحیه ای چهار ماشینه نمونه کندور) با هدف حذف نوسانات بین ناحیه ای ۱۳۷

۵-۳-۷- طراحی پارامترهای PSS توسط الگوریتم DELSA برای سیستم قدرت سه ناحیه ای	
شش ماشینه (تعمیم یافته سیستم قدرت دو ناحیه ای چهار ماشینه نمونه کندور) با هدف حذف	
نوسانات بین ناحیه ای	۱۴۲
۴-۷- ارزیابی و مقایسه الگوریتم های طراحی PSS	۱۴۷
۱-۴-۷- مقایسه عملکرد پایدارساز سیستم قدرت طراحی شده	۱۴۸
۲-۴-۷- بررسی مقاوم بودن پایدارسازهای سیستم قدرت طراحی شده	۱۵۱
۱-۲-۴-۷- تغییر ناگهانی ولتاژ مرجع یکی از ژنراتورها	۱۵۲
۲-۲-۴-۷- تغییر ناگهانی توان مکانیکی مرجع یکی از ژنراتورها	۱۵۴
۳-۲-۴-۷- خطای فاز به زمین بر روی Tie-Line	۱۵۷
۴-۲-۴-۷- خطای فاز به فاز دو Tie-Line	۱۵۹
فصل هشتم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات	۱۶۳
۱-۸- نتیجه گیری	۱۶۴
۲-۸- پیشنهادات	۱۶۶
ضمیمه الف- بلوک های سیستم قدرت سه ناحیه ای سه ماشینه ال داماتی	۱۶۷
ضمیمه ب - مشخصات و مدل دینامیکی المانهای سیستم قدرت چند ماشینه کندور و تعمیم	
یافته آن	۱۷۱
ضمیمه ج- مدل هفرون - فیلیپس سیستم تک ماشینه با باس بینهایت و معادلات K	۱۷۴
ضمیمه د - آنالیز حساسیت در سیستم های قدرت و معادلات مربوطه	۱۷۶
ضمیمه ه- چگونگی اعمال الگوریتم DE به مسئله و Coding در نرم افزار Matlab	۱۷۸
ضمیمه و- مراحل و Coding الگوریتم DE بهبود یافته (DELSA)	۱۸۵

منابع و ماخذ ۱۸۷

مقالات گرفته شده از پایان نامه ۱۹۲

فهرست شکل ها

شکل	صفحه
شکل ۱-۲- پایداری در سیستم های چند ماشینه	۱۶
شکل ۲-۲- حالت های عمل سیستم های قدرت	۱۸
شکل ۳-۲- بلوک دیاگرام AVR	۲۵
شکل ۴-۲- سیستم قدرت دو ناحیه ای	۲۶
شکل ۵-۲- ساختار سیستم قدرت چند ناحیه ای	۲۶
شکل ۶-۲- نوسانات بین ناحیه ای نمونه در شبکه برق اروپا	۲۸
شکل ۷-۲- تقسیم جغرافیایی توسط واسطه های مربوط به چهار مد بین ناحیه ای بحران	۳۰
شکل ۸-۲- نوسانات بین ناحیه ای در اروپا (UCTE)	۳۱
شکل ۱-۳- دیاگرام مولفه های کنترلی ژنراتور سنکرون	۳۴
شکل ۲-۳- ساختار کلی پایدارساز سیستم قدرت همراه با بلوک تحریک نوع IEEE ST1A	۳۵
شکل ۳-۳- سیستم قدرت دو ناحیه ای چهار باس	۳۸
شکل ۴-۳- منحنی تغییرات سرعت روتور برای دو حالت وجود PSS با پارامترهای نامناسب و عدم وجود آن	۳۸
شکل ۵-۳- استفاده از کنترل تکمیلی HVDC جهت حذف LFO	۴۱
شکل ۱-۴- استفاده از الکترونیک قدرت در انتقال توان و پایداری (معادله (۱-۴))	۵۰
شکل ۲-۴- مشخصه V-I جبرانگر استاتیکی توان راکتیو (SVC)	۵۲
شکل ۳-۴- کنترل کننده های FACTS متداول بر پایه ترستور	۵۲
شکل ۴-۴- کنترل کننده های FACTS جهت کنترل توان عبوری	۵۳

- شکل ۴-۵- راکتور کنترل شده بوسیله سوئیچینگ تایریستور ۵۳
- شکل ۴-۶- جبرانگر استاتیکی توان راکتیو (SVC) دارای خازن و سلف کنترل شونده بوسیله تایریستور ۵۴
- شکل ۴-۷- خازن سری کنترل شده بوسیله سوئیچینگ تایریستور ۵۴
- شکل ۴-۸- ترانسفورماتور شیفت دهنده فاز کنترل شونده توسط تایریستور برای کنترل زاویه انتقال ۵۵
- شکل ۴-۹- جبرانگر سنکرون استاتیکی موازی (STATCOM) ۵۷
- شکل ۴-۱۰- مشخصه V-I جبرانگر های سنکرون استاتیکی موازی (STATCOM) ۵۸
- شکل ۴-۱۱- جبرانگر سنکرون استاتیکی سری (SSSC) ۵۹
- شکل ۴-۱۲- ساختار کلی کنترل کننده یک پارچه عبور توان (UPFC) ۶۰
- شکل ۴-۱۳- کنترل کننده PI ساختار متمرکز ساده شده UPFC ۶۱
- شکل ۴-۱۴- قسمت سری سیستم کنترل UPFC ۶۱
- شکل ۴-۱۵- کنترل کننده عبور توان بین خطی (IPFC) ۶۲
- شکل ۴-۱۶- ساختار GUPFC ۶۳
- شکل ۴-۱۷- مدل سه منبع ولتاژی GUPFC ۶۴
- شکل ۴-۱۸- ترکیب کلی از ادوات FACTS ۶۴
- شکل ۴-۱۹- مثالی از نوسانات توان در شبکه برق چین (a) بدون کنترل HVDC (b) با کنترل HVDC ۶۶
- شکل ۵-۱- فلوچارت الگوریتم بهینه سازی PSO ۷۳
- شکل ۵-۲- فلوچارت الگوریتم ژنتیک ۷۷
- شکل ۵-۳- فلوچارت الگوریتم تکامل تفاضلی ۸۰

- شکل ۵-۴- تولید بردار جهش یافته vi در الگوریتم DE برای مسئله دو بعدی و خطوط کانتور ... ۸۱
- شکل ۵-۵- فلوجارت تکمیلی الگوریتم تکامل تفاضلی ۸۳
- شکل ۵-۶- مدل کلی الگوریتم های Memetic ۸۷
- شکل ۶-۱- کنترل کننده PSS با ورودی تغییرات سرعت ۹۲
- شکل ۶-۲- سیستم قدرت سه ناحیه ای ابعاد وسیع مورد مطالعه ۹۳
- شکل ۶-۳- تعمیم یافته سیستم قدرت دو ناحیه ای چهار ماشینه نمونه Kundur به سیستم قدرت سه ناحیه ای شش ماشینه حلقوی دو مداره مورد مطالعه ۹۴
- شکل ۶-۴- ساختار کلی SVC ۹۶
- شکل ۶-۵- بلوک دیاگرام کلی کنترل کننده SVC ۹۶
- شکل ۶-۶- ساختار کلی سیستم SMIB با وجود SVC ۹۷
- شکل ۶-۷- محل قرار گرفتن کنترل کننده تکمیلی SVC ۹۹
- شکل ۶-۸- بلوک دیاگرام کنترل کننده تکمیلی SVC با ورودی توان خط ۹۹
- شکل ۶-۹- تقویت پایداری سیستم انتقال قدرت UK با استفاده از SVC (a) بدون SVC (b) با SVC بعنوان کنترل ولتاژ (c) با SVC بعنوان کنترل میراثی نوسانات توان (POD) ۱۰۰
- شکل ۷-۱- سیستم قدرت سه ناحیه ای مورد مطالعه شبیه سازی شده در Simulink ۱۰۳
- شکل ۷-۲- تغییرات سرعت نسبی ماشین ها ۱۰۴
- شکل ۷-۳- تغییرات توان انتقالی بین شین ۱ و شین ۴ ۱۰۵
- شکل ۷-۴- تغییرات ولتاژ در شین ۴ ۱۰۵
- شکل ۷-۵- مشخصه های همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DE در ۱۵ تکرار ۱۰۸

- شکل ۶-۷- مشخصه های همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DE در ۶۰ تکرار
 ۱۰۸.....
- شکل ۷-۷- میرایی اختلاف تغییرات سرعت نسبی ماشین ها نسبت به ماشین ناحیه یک ۱۰۹.....
- شکل ۸-۷- تغییرات توان انتقالی بین شین ۱ و شین ۴..... ۱۱۰.....
- شکل ۹-۷- تغییرات Pm-Pe در ناحیه ۱ ۱۱۰.....
- شکل ۱۰-۷- تغییرات ولتاژ در شین ۴ ۱۱۱.....
- شکل ۱۱-۷- مشخصه همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DELSA در ۷ تکرار
 ۱۱۲.....
- شکل ۱۲-۷- مشخصه همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DELSA در ۱۵ تکرار
 ۱۱۳.....
- شکل ۱۳-۷- تغییرات اختلاف سرعت نسبی ماشین ها ۱۱۴.....
- شکل ۱۴-۷- تغییرات توان انتقالی بین شین ۱ و شین ۴..... ۱۱۴.....
- شکل ۱۵-۷- تغییرات Pm-Pe ناحیه ۱ ۱۱۵.....
- شکل ۱۶-۷- تغییرات ولتاژ در شین ۴..... ۱۱۵.....
- شکل ۱۷-۷- مشخصه همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DE در ۲۰ تکرار ۱۱۸.....
- شکل ۱۸-۷- مشخصه همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DELSA در ۲۰ تکرار
 ۱۱۸.....
- شکل ۱۹-۷- تغییرات سرعت نسبی ماشین ها ۱۱۹.....
- شکل ۲۰-۷- تغییرات توان انتقالی بین شین ۱ و شین ۴..... ۱۲۰.....
- شکل ۲۱-۷- تغییرات Pm-Pe در ناحیه ۱ ۱۲۰.....

- شکل ۷-۲۲- تغییرات ولتاژ در شین ۴ ۱۲۱
- شکل ۷-۲۳- تغییرات سوسپتانس تزریقی SVC برحسب (pu/100Mva) در شین ۴ ۱۲۱
- شکل ۷-۲۴- تغییرات سرعت نسبی ماشین ها ۱۲۲
- شکل ۷-۲۵- تغییرات توان انتقالی بین شین ۱ و شین ۴ ۱۲۳
- شکل ۷-۲۶- مشخصه همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DE در ۱۵ تکرار ۱۲۵
- شکل ۷-۲۷- مشخصه همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DE در ۱۰۰ تکرار ۱۲۶
- شکل ۷-۲۸- مشخصه همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DELSA در ۱۵ تکرار ۱۲۶
- شکل ۷-۲۹- مشخصه همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DELSA در ۳۰ تکرار ۱۲۷
- شکل ۷-۳۰- تغییرات سرعت نسبی ماشین ها ۱۲۸
- شکل ۷-۳۱- تغییرات توان انتقالی شین ۱ و شین ۴ ۱۲۸
- شکل ۷-۳۲- تغییرات Pm-Pe در ناحیه ۱ ۱۲۹
- شکل ۷-۳۳- تغییرات ولتاژ در شین ۴ ۱۲۹
- شکل ۷-۳۴- تغییرات سوسپتانس تزریقی SVC برحسب (pu/100Mva) در شین ۴ ۱۳۰
- شکل ۷-۳۵- سیستم دو ناحیه ای چهار ماشینه تست پایداری کندور ۱۳۲
- شکل ۷-۳۶- پاسخ حلقه باز سیستم به تغییر ناگهانی ولتاژ مرجع یکی از ژنراتورها ۱۳۳
- شکل ۷-۳۷- پاسخ حلقه باز سیستم به خطای اتصال کوتاه تکفاز به زمین بر روی Tie-Line ۱۳۴
- شکل ۷-۳۸- تغییرات سرعت ماشین ها ۱۳۵
- شکل ۷-۳۹- تغییرات توان انتقالی بین شین ۱ و شین ۴ ۱۳۶
- شکل ۷-۴۰- تغییرات ولتاژ در شین ۳ ۱۳۶

- شکل ۷-۴۱- مشخصه های همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DE در ۱۵ تکرار
 ۱۳۸.....
- شکل ۷-۴۲- مشخصه های همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DE در ۳۰ تکرار
 ۱۳۸.....
- شکل ۷-۴۳- تغییرات سرعت نسبی ماشین ها نسبت به ماشین ۱ ۱۴۰.....
- شکل ۷-۴۴- تغییرات توان انتقالی بین شین ها ۱۴۰.....
- شکل ۷-۴۵- اختلاف تغییرات Pm-Pe در هر ماشین ۱۴۱.....
- شکل ۷-۴۶- تغییرات ولتاژ در هر شین ۱۴۱.....
- شکل ۷-۴۷- تغییرات سیگنال خروجی PSS ها ۱۴۲.....
- شکل ۷-۴۸- مشخصه های همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DELSA در ۱۰
 تکرار ۱۴۳.....
- شکل ۷-۴۹- مشخصه های همگرایی میانگین بهترین مقدار تابع هدف الگوریتم DELSA در ۱۵
 تکرار ۱۴۴.....
- شکل ۷-۵۰- تغییرات اختلاف سرعت نسبی ماشین ها ۱۴۴.....
- شکل ۷-۵۱- تغییرات توان انتقالی بین شین ها ۱۴۵.....
- شکل ۷-۵۲- تغییرات Pm-Pe ناحیه ۱ ۱۴۵.....
- شکل ۷-۵۳- تغییرات ولتاژ در شین ها ۱۴۶.....
- شکل ۷-۵۴- تغییرات سیگنال خروجی PSS ها ۱۴۶.....
- شکل ۷-۵۵- تغییرات اختلاف سرعت ژنراتورها نسبت به ژنراتور G_1 با بکارگیری PSS چند بانده
 استاندارد IEEE type PSS4b (MB-PSS) ۱۴۸.....
- شکل ۷-۵۶- تغییرات اختلاف سرعت ژنراتورها نسبت به ژنراتور G_1 با بکارگیری PSS با ورودی