

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

تقدیم به:

پدرم که زیباترین گذشت و فداکاری را از او دیدم ولی اجل مهلت نداد تا

حاصل زحماتش را که در من تجلی پیدا کرد، به او تقدیم کنم

و

مادر مهربانم، بهترین فرشته آسمانی که خداوند به من هدیه داد

و، همسرم

به پاس عشق، مهربانی و همراهی اش

## سپاسگزاری:

خدایا تو را سپاس می گویم که سپاس و ستایش تنها تو را سزاست، سپاس که مرا در پناه خود پروردی و شهامتم دادی تا در گستره ی پهناور علم و دانش گام نهم و قدمی هر چند کوچک به سوی عظمت کبریای ات بردارم.

از استاد راهنمای بزرگووارم جناب آقای دکتر علی اکبر مطیع بیرجندی، معاونت آموزشی دانشگاه که همواره با راهنمایی، مهربانی و امید بخشی خویش، در به سرانجام رساندن این پایان نامه یاری گرم بود، بی نهایت سپاسگزارم. همچنین از استاد مشاور عزیز جناب آقای دکتر سعید افشارنیا، که پیشنهادات و راهنمایی های ارزنده ای به بنده نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم. امیدوارم که بتوانم دانش و اخلاق این بزرگواران را در تمام مراحل زندگی سرلوحه امور قرار دهم. در پایان از برادران عزیزم دکتر امین صالحی و مهندس علی صالحی به خاطر تشویق، همدلی و همکاری که در طول انجام پایان نامه نسبت به من داشتند، صمیمانه تشکر می کنم.

# چکیده

نوسانات فرکانس پایین یکی از بحث های مهم در سیستم قدرت می باشد. اگر این نوسانات میرا نشوند، ممکن است پایداری سیستم را به خطر بیندازند. ادوات FACTS از جمله وسایلی هستند که میتوانند در میرا کردن نوسانات نقش داشته باشند. کنترل کننده یکپارچه پخش توان (UPFC) از مهمترین این ادوات است که میتواند با جابجایی مناسب در سیستم قدرت، میرایی نوسانات سیستم را افزایش دهد. در این تحقیق ابتدا روشهای مختلف جابجایی UPFC با معیار استاتیکی (کاهش هزینه، افزایش ظرفیت بار، کاهش تلفات، پیش آمدهای احتمالی و ... ) و دینامیکی ذکر شده و سپس با استفاده از الگوریتم PSO و روش حداقل مقادیر استثنایی (SVD) پارامترهای بهینه و سیگنال کنترلی مناسب کنترل کننده تکمیلی UPFC در سیستم تک ماشینه متصل به شین بی نهایت مشخص شده اند. همچنین روشی جدید بر اساس کنترل پذیری و رویت پذیری برای انتخاب مکان مناسب UPFC در سیستم چند ماشینه به منظور افزایش سرعت میرایی نوسانات سیستم قدرت بکار رفته است.

واژه های کلیدی: کنترل کننده یکپارچه پخش توان (UPFC) - نوسانات سیستم قدرت - (Power System Oscillation) - سیستم های انتقال انعطاف پذیر (FACTS) - جابجایی - کنترل پذیری و رویت پذیری

صفحه	عنوان
	فصل ۱ مقدمه
۲-۱-۱	۱-۱. پایداری ونوسانات سیستم قدرت.....
۲-۱-۲	۲-۱. امکان میرا سازی نوسانات.....
۲-۱-۲	۱-۲-۱. پایدار ساز سیستم قدرت .....
۲-۲-۱	۲-۲-۱. انواع مختلف PSS .....
۲-۳-۱	۳-۲-۱. اثر UPFC روی پایداری دینامیک سیستم قدرت .....
	فصل ۲ مروری بر کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC)
۲-۱-۱	۱-۲. مقدمه.....
۲-۲-۱	۲-۲. مفهوم اساسی UPFC .....
۲-۳-۱	۳-۲. ساختمان UPFC.....
۲-۴-۱	۴-۲. مدل UPFC .....
	فصل ۳ جایابی UPFC با در نظر گرفتن معیارهای استاتیکی و دینامیکی
۳-۱-۱	۱-۳. مقدمه.....
۳-۲-۱	۲-۳. جایابی UPFC به منظور کاهش هزینه .....
۳-۲-۱	۱-۲-۳. مدل در نظر گرفته شده برای UPFC .....
۳-۲-۲	۲-۲-۳. هزینه تولید.....
۳-۲-۳	۳-۲-۳. هزینه UPFC.....
۳-۲-۴	۴-۲-۳. تابع هدف .....
۳-۲-۵	۵-۲-۳. الگوریتم ژنتیک .....
۳-۳-۱	۳-۳. جایابی UPFC به منظور افزایش ظرفیت بار (Loadability).....
۳-۳-۱	۱-۳-۳. مدل در نظر گرفته شده برای UPFC .....
۳-۳-۲	۲-۳-۳. ضریب بار پذیری .....
۳-۳-۳	۳-۳-۳. تابع هدف.....
۳-۳-۴	۴-۳-۳. نتایج شبیه سازی بر روی سیستم ۳۰ شینه .....

۲۶	۴-۳ جایابی UPFC به منظور مدیریت تراکم (Congestion Management).....
۲۶	۱-۴-۳ مدل UPFC.....
۲۶	۲-۴-۳ تلفات سیستم.....
۲۷	۳-۴-۳ ضرایب حساسیت تلفات سیستم.....
۲۷	۴-۴-۳ نتایج شبیه سازی.....
۲۹	۵-۳ جایابی UPFC با در نظر گرفتن معیار دینامیکی.....
۲۹	۵-۳ نوسانات سیستم قدرت.....
۲۹	۱-۵-۳ نوسانات زیر سنکرون.....
۳۰	۲-۵-۳ نوسانات محلی.....
۳۰	۳-۵-۳ نوسانات بین ناحیه ای.....
۳۱	۶-۳ جایابی UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت به کمک شاخص کنترل پذیری.....
۳۱	۱-۶-۳ مقادیر ویژه.....
۳۲	۲-۶-۳ بردارهای ویژه.....
۳۲	۳-۶-۳ کنترل پذیری.....
۳۳	۴-۶-۳ شاخص کنترل پذیری برای UPFC.....
۳۶	۵-۶-۳ معیار دینامیکی جایابی UPFC به کمک شاخص کنترل پذیری.....
۳۶	۶-۶-۳ نتایج شبیه سازی.....
۴۰	۷-۶-۳ بررسی مزایا و معایب روش ذکر شده.....
۴۲	۷-۳ جایابی UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم با استفاده از ضریب مانده.....
۴۲	۱-۷-۳ رویت پذیری، کنترل پذیری و ضریب مانده.....
۴۴	۲-۷-۳ مکان مناسب UPFC با استفاده از ضریب مانده.....
۴۴	۳-۷-۳ نتایج شبیه سازی.....
۴۸	۴-۷-۳ بررسی مزایا و معایب روش ذکر شده.....
	فصل ۴ جایابی UPFC در سیستم تک ماشینه و چند ماشینه
۵۰	۱-۴ مقدمه.....
۵۱	۲-۴ مدل دینامیکی UPFC.....
۵۱	۱-۲-۴ مدل خطی سیستم قدرت به همراه UPFC.....

۵۱	۲-۲-۴. مدل ژنراتور و سیستم تحریک
۵۳	۳-۲-۴.مدل UPFC
۵۷	۳-۴.طراحی کنترل کننده میراساز
۵۸	۱-۳-۴.تابع هدف (معیار)
۵۸	۴-۴. بررسی کنترل پذیری
۶۰	۵-۴. الگوریتم PSO
۶۴	۶-۴.نمایش سیستم چند ماشین
۶۵	۱-۶-۴.مدل دو محوری ماشین سنکرون
۶۶	۲-۶-۴.معادلات دیفرانسیلی
۶۶	۳-۶-۴. معادله جبری استاتور
۶۶	۴-۶-۴.معادلات شبکه
۶۷	۷-۴. مدل UPFC
۶۹	۱-۷-۴.شاخص کنترل پذیری برای مکان UPFC
۷۱	۸-۴.معرفی رویت پذیری
۷۲	۱-۸-۴.کنترل کننده تکمیلی
۷۲	۹-۴.نتیجه گیری

#### فصل ۵ نتایج شبیه سازی

۷۴	۱-۵.مقدمه
۷۴	۲-۵. سیستم تک ماشین متصل به شین بی نهایت
۷۹	۳-۵.سیستم سه ماشین نه شینه
۸۰	۱-۳-۵.رویت پذیری برای انتخاب سیگنال ورودی کنترل کننده تکمیلی UPFC
۸۳	۲-۳-۵.نتایج شبیه سازی
۸۴	۳-۳-۵.خطای نوع ۱
۸۴	۴-۳-۵.خطای نوع ۲
۸۹	۴-۵.نتیجه گیری

#### فصل ۶ نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۲.....	۱-۶ مقدمه.....
۹۲.....	۲-۶-سیستم تک ماشینه.....
۹۲.....	۳-۶-سیستم چند ماشینه.....
۹۳.....	۴-۶-پیشنهادات.....
۹۴.....	پیوست الف.....
۹۴.....	الف-۱. معادلات دیفرانسیلی.....
۹۵.....	الف-۲. معادلات جبری استاتور.....
۹۶.....	الف-۳. معادلات شبکه.....
۹۹.....	پیوست ب.....
۹۹.....	ب-۱. داده های سیستم سه ماشینه نه شینه.....
۱۰۰.....	ب-۲. ماتریس ادمیتانس شبکه.....
۱۰۰.....	ب-۳. نتایج مربوط به پخش بار.....



## فهرست اشکال

### عنوان

### صفحه

- شکل ۱-۱. نمودار بلوکی تحریک با PSS و AVR ..... ۳
- شکل ۱-۲. سیستم قدرت با شین بی نهایت با UPFC ..... ۷
- شکل ۱-۳. تاثیر UPFC روی مشخصه توان ..... ۸
- شکل ۱-۲. مفهوم اساسی UPFC ..... ۱۳
- شکل ۲-۲. ساختمان UPFC با استفاده از دو کانورتر پشت به پشت ..... ۱۵
- شکل ۲-۳. قابلیت های UPFC ..... ۱۵
- شکل ۲-۴. مدل UPFC برای مطالعات گذرا ..... ۱۶
- شکل ۲-۵. مدل کلاسیک ژنراتور همراه با UPFC برای مطالعات دینامیکی ..... ۱۸
- شکل ۳-۱. مدل UPFC ..... ۲۱
- شکل ۲-۳. فلوجارت حل مسئله به کمک الگوریتم ژنتیک ..... ۲۳
- شکل ۳-۳. مدار معادل UPFC ..... ۲۴
- شکل ۳-۴. ساختار کرموزم ..... ۲۵
- شکل ۳-۵. مدار معادل UPFC ..... ۲۶
- شکل ۳-۶. مدل تزریقی UPFC ..... ۲۷
- شکل ۳-۷. سیستم ۵ شینه ..... ۲۸
- شکل ۳-۸. سیستم ۳۹ شینه نیو انگلند ..... ۳۸
- شکل ۳-۹. تغییرات سرعت (pu) ژنراتور G۲ با وبدون ادوات FACTS در سیستم ۳۹ شینه ..... ۳۹
- شکل ۳-۱۰. تغییرات سرعت G۲ (pu) با قرار گرفتن کانورتر سری UPFC در خط ۳۶-۳۷ و کانورتر شنت در یکی از شینهای ۳۶ و ۳۷ (سیستم ۳۹ شینه) ..... ۴۰
- شکل ۳-۱۱. تغییرات سرعت (pu) ژنراتور G۱۵ با UPFC، TCSC و SVC و بدون ادوات FACTS در سیستم ۶۸ شینه ..... ۴۱
- شکل ۳-۱۲. سیستم حلقه بسته با کنترلر POD ..... ۴۴
- شکل ۳-۱۳. سیستم آزمایشی دو مکانه چهار ماشینه ..... ۴۵
- شکل ۳-۱۴. تغییرات سرعت G۱ برای سیستم ۱۱ شینه ..... ۴۶

- شکل ۳-۱۵. سیستم نیو انگلند ۳۹ شینه..... ۴۶
- شکل ۳-۱۶. تغییرات سرعت  $G_1$  برای سیستم ۳۹ شینه ..... ۴۷
- شکل ۴-۱. سیستم تحریک IEEE نوع STI با PSS ..... ۵۲
- شکل ۴-۲. سیستم قدرت تک ماشینه به همراه UPFC ..... ۵۳
- شکل ۴-۳. مدل خطی شده Heffron - Phillips سیستم قدرت به همراه UPFC ..... ۵۷
- شکل ۴-۴. مدل خطی شده Heffron - Phillips سیستم قدرت به همراه کنترل کننده تکمیلی UPFC ..... ۵۹
- شکل ۴-۵. فلو چارت الگوریتم PSO ..... ۶۲
- شکل ۴-۶. نمایش سیستم چند ماشینه ..... ۶۴
- شکل ۴-۷. سیستم تحریک IEEE ..... ۶۵
- شکل ۴-۸. دیاگرام شماتیکی UPFC ..... ۶۸
- شکل ۴-۹. بلوک دیاگرام کنترلی UPFC ..... ۶۸
- شکل ۴-۱۰. مدار معادل UPFC ..... ۶۹
- شکل ۴-۱۱. بلوک دیاگرام کنترل کننده تکمیلی UPFC ..... ۷۲
- شکل ۵-۱. تغییرات سرعت ژنراتور بدون کنترل کننده UPFC ..... ۷۵
- شکل ۵-۲. حداقل مقدار استثنایی برای چهار سیگنال کنترلی UPFC ..... ۷۷
- شکل ۵-۳. پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده  $m_{SE}$  ..... ۷۷
- شکل ۵-۴. پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده  $\delta_{SE}$  ..... ۷۷
- شکل ۵-۵. پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده  $m_{SH}$  ..... ۷۸
- شکل ۵-۶. پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده  $\delta_{SH}$  ..... ۷۸
- شکل ۵-۷. شکل مد مربوط به مد  $1.17\text{HZ}$  ..... ۸۲
- شکل ۵-۸. شکل مد مربوط به مد  $1.99\text{HZ}$  ..... ۸۳
- شکل ۵-۹. سیستم سه ماشینه نه شینه ..... ۸۳
- شکل ۵-۱۰. توان اکتیو خط ۷-۸ در حالت نوسانات فرکانس پایین ..... ۸۴
- شکل ۵-۱۱. پاسخ دینامیکی ژنراتور  $G_1$  در اغتشاش با و بدون UPFC (الف) توان خروجی (ب) سرعت (پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC) ..... ۸۵
- شکل ۵-۱۲. پاسخ دینامیکی ژنراتور  $G_2$  در اغتشاش با و بدون UPFC (الف) توان خروجی (ب) سرعت (پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC) ..... ۸۶

شکل ۵-۱۳. پاسخ دینامیکی ژنراتور  $G_3$  در اغتشاش با و بدون UPFC الف) توان خروجی ب) سرعت  
پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC) ..... ۸۷

شکل ۵-۱۴. عملکرد کنترل کننده UPFC در اغتشاش الف) توان اکتیو نسبت به مرجع ب) توان راکتیو  
نسبت به مرجع پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC) ..... ۸۸

شکل ۵-۱۵. ولتاژ شین ها ، توان اکتیو و راکتیو خطوط با حضور UPFC ..... ۸۹

صفحه	عنوان
۲۵.....	جدول ۳-۱. نتایج و شرایط عملکرد (۳۰ شینه IEEE)
۲۸.....	جدول ۳-۲. حساسیت های سیستم ۵ شینه
	جدول ۳-۳. شاخص کنترل پذیری مد بین ناحیه ای برای UPFC, SVC و TCSC
۳۸.....	(سیستم ۳۹ شینه).....
۳۹.....	جدول ۳-۴. مقادیر ویژه مد بین ناحیه ای با وبدون ادوات FACTA در سیستم ۳۹ شینه.....
	جدول ۳-۵. شاخص کنترل پذیری مد بین ناحیه ای نوسانی برای UPFC, SVC و TCSC
۴۱.....	و UPFC (سیستم ۶۸ شینه).....
	جدول ۳-۶. ضریب مانده مد نوسانی بین ناحیه ای برای UPFC, TCSC و SVC (سیستم ۱۱ شینه
۴۵.....	(.....
۴۷.....	جدول ۳-۷. ضریب مانده ادوات FACTS برای سیستم ۳۹ شینه.....
۷۵.....	جدول ۵-۱. مقادیر ویژه سیستم تک ماشینه.....
۷۵.....	جدول ۵-۲. مقادیر ویژه سیستم برای چهار سیگنال کنترلی $\delta_{SE}$ ، $m_{SE}$ ، $\delta_{SH}$ و $m_{SE}$ .....
۷۹.....	جدول ۵-۳. مدهای نوسانی.....
۸۱.....	جدول ۵-۴. ضرایب مشارکت.....
۸۱.....	جدول ۵-۵. شاخص کنترل پذیری در مد نوسانی ۱.۱۷HZ برای مکان UPFC.....
۸۲.....	جدول ۵-۶. شاخص کنترل پذیری در مد نوسانی ۱.۹۹HZ برای مکان UPFC.....
۸۲.....	جدول ۵-۷. رویت پذیری سیگنالهای ورودی کنترل کننده تکمیلی UPFC.....

## فصل ۱

مقدمه ای بر نوسانات سیستم قدرت و

میرا کردن آنها

## ۱-۱. پایداری ونوسانات سیستم قدرت

در ابتدای تاسیس شبکه های برق از دست دادن سنکرونیزاسیون بین ژنراتورها آشنا ترین نوع ناپایداری به شمار می رفت. اما در حال حاضر کاهش گشتاور میرایی در شبکه های فعلی مسئله سازترین نوع ناپایداری شده است. با کاهش میرایی، نوسانات الکترومکانیکی به وجود آمده پس از اختلال بین روتورهای دوار ژنراتورها، سریع میرا نشده و می توانند حتی در دامنه بزرگ شوند. این حالت های گذرا باعث ایجاد نوسانات توان وفرکانس شده که آنها نیز بالطبع دارای میرای ضعیف یا کاملاً نامیرا هستند. این نوسانات به طور کلی به عنوان نوسانات با فرکانس کم شبکه مشخص می شوند. نوسانهای شبکه عواقب منفی بدنبال دارند. آنها میتوانند حداکثر توان قابل انتقال توسط خطوط را محدود سازند یا حتی در موارد نامساعد باعث فعال شدن تجهیزات حفاظت شبکه شوند. به واسطه عمل نمودن رله های حفاظتی، بخشی از اجزاء وبهره برداری از شبکه قطع گشته که این به نوبه خود باعث تحریک بیشتر نوسانات شبکه می شود. امکان این وجود دارد که بخش های بزرگ (ناحیه) شبکه ازهم جدا شوند. بدنبال آن امکان قطع یا خاموشی مصرف کنندگان به تبعیت از افت فرکانس شبکه وجود دارد. بنابراین دلایل میرا نمودن سریع نوسانات شبکه برای بهره برداری بی عیب و مطمئن سیستم، لازم و ضروری است.

## ۱-۲. امکانات میرا سازی نوسانات

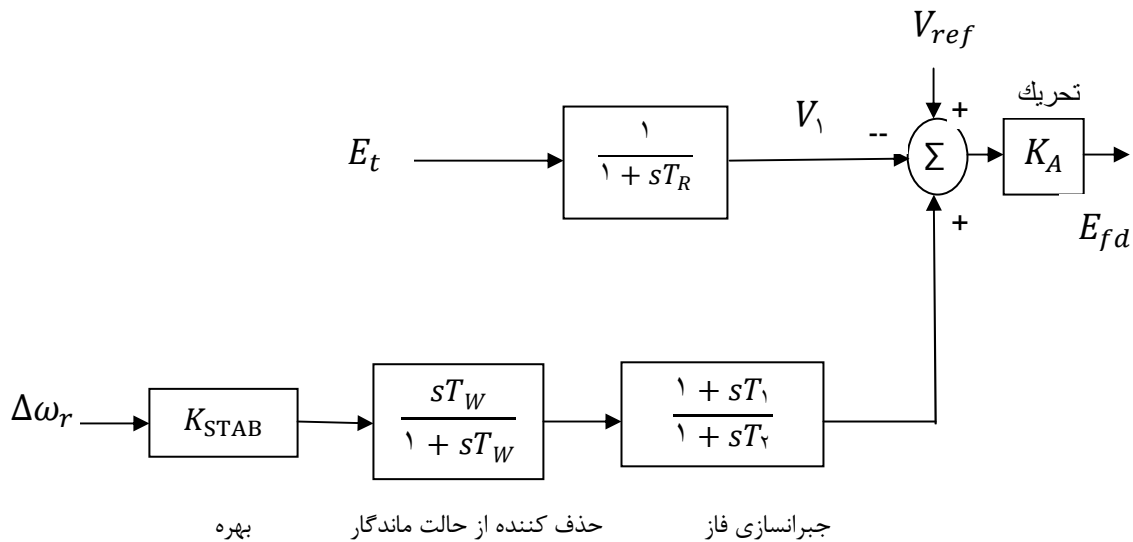
اساساً دو امکان جهت میرا سازی نوسانات وجود دارد ۱- حذف مسبب های کاهش میرایی ۲- ایجاد میرایی اضافی توسط کنترل عناصر اضافی. پارامترهای ماشین سنکرون نه تنها اثر تعیین کننده بر روی فرکانس نوسانات دارند بلکه روی میرایی نیز اثر می گذارند. در سالیان اخیر ابعاد ژنراتور رو به بزرگی نهاده، راکتانس گذرای آنها حتی تا حدود ۳۰ درصد افزایش یافته که این خود سهم ژنراتورها در تولید میرایی طبیعی را کاهش داده است. به منظور تضمین یک تنظیم ولتاژ سریع چه در حالت مانا و چه در حالت دینامیکی، استفاده هرچه بیشتر از تحریک کننده های مدرن و سریع با ضرایب تقویت بالای تنظیم کننده ولتاژ مرسوم شده است، که این خود به کاهش بیشتر گشتاور میرایی منجر می گردد.

## ۱-۲-۱ پایداری ساز سیستم قدرت

مرسوم ترین وسیله بهبود میرایی که با استفاده از تنظیم کننده ولتاژ، گشتاور الکتریکی اضافی اعمال می نماید، به اسم پایداری ساز سیستم قدرت (PSS)<sup>۱</sup> معرفی شده است. نقش اصلی یک پایداری ساز سیستم قدرت (PSS)، افزودن میرایی به نوسانهای روتور ژنراتور به وسیله کنترل تحریک آن با

<sup>۱</sup> Power System Stabiliser

استفاده از سیگنالهای پایدار ساز کمکی است. برای فراهم آوردن میرایی، باید پایدار ساز یک مولفه گشتاور الکتریکی را هم فاز با انحرافهای سرعت روتور ایجاد کند. شکل (۱-۱) نمودار بلوکی PSS را همراه با تحریک و AVR نشان می دهد. نمایش PSS در شکل (۱-۱) شامل سه بلوک است: بلوک جبران سازی فاز، بلوک حذف کننده اثر سیگنال حالت ماندگار و بلوک بهره [۱].



شکل (۱-۱). نمودار بلوکی تحریک همراه با PSS و AVR

بلوک جبران سازی فاز، مشخصه پیش فاز مناسب را برای جبر انسازی پس فاز بین ورودی تحریک کننده و گشتاور الکتریکی ژنراتور (فاصله هوایی) فراهم می آورد. این بلوک در شکل (۱-۱)، از مرتبه اول است. اما در عمل می تواند از دو یا چند بلوک مرتبه اول برای دستیابی به جبران سازی مطلوب فاز، استفاده شود. بلوک حذف کننده اثر حالت ماندگار به صورت فیلتری بالا گذر، با ثابت زمانی  $T_W$  به اندازه کافی بزرگ عمل می کند و اجازه می دهد تا سیگنالهای متناظر با نوسانهای  $\omega_r$ ، بدون تغییر عبور کنند. بدون آن، تغییرات ماندگار در سرعت، ولتاژ پایانه را تغییر می دهد. این بلوک اجازه می هد تا PSS فقط با تغییرات سرعت پاسخ دهد.

بلوک بهره پایدار ساز  $K_{STAB}$  مقدار میرایی ایجاد شده از PSS را تعیین می کند. به طور ایده آل، باید بهره در مقداری متناظر با حد اکثر میرایی تنظیم گردد؛ لیکن، معمولاً مقدار آن به واسطه ملا حظات دیگری محدود می شود.

از آنجا که PSS ها معمولاً " برای فرکانس نوسان مشخصی تنظیم می شوند، می توانند کاهش میرایی نوسانات شبکه در فرکانس های دیگر را باعث شوند. این مشکل تحت عنوان تداخل PSS ها شناخته می شود. معایب دیگر آنها عبارتند از :

- ۱- خراب نمودن یا بدتر نمودن پایداری گذرا
- ۲ - مختل کردن میرایی نوسانات در حالت کم باری
- ۳- نامیرا نمودن نوساناتی که فرکانس آنها خارج از محدوده فرکانس نوسانات شبکه قرار دارند.
- ۴- تاثیر گذاری نامطلوب بر روی میرایی تحت شرایط بهره برداری مختلف .
- ۵- PSS ها برای میرایی نوسانات بین ناحیه ای کافی نمی باشند.

### ۱-۲-۲ انواع مختلف PSS

(الف) پایدار ساز مبتنی بر سیگنال سرعت محور ( $\Delta\omega$ )

پایدارهای مبتنی بر سیگنال سرعت محور از اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی تا کنون به طور موفقیت آمیزی در واحدهای آبی مورد استفاده قرار گرفته اند. این پایدار سازها از سیگنال سرعت محور برای بدست آوردن سیگنال پایدار کننده استفاده می کنند. کاربرد پایدار سازهای مبتنی بر سرعت محور در واحدهای حرارتی به بررسی دقیقی از اثر آنها بر روی نوسانهای پیچشی نیازمند است. گرچه می تواند نوسانهای روتور را میرا کند، اما می تواند باعث ناپایداری مدهای پیچشی شود. لیکن این پایدار ساز دارای محدودیتهای بسیاری است.

(ب) پایدار ساز  $\Delta P, \omega$

اساس این پایدار سازها با معادله زیر نمایش داده می شود که نشان می دهد چگونه می توان سیگنالی متناسب با انحراف سرعت روتور را از توان شتاب دهنده بدست آورد :

$$\Delta\omega_{eq} = \frac{1}{M} \int (\Delta P_m - \Delta P_e) dt \quad (1-1)$$

که در آن :

$M$  = ثابت لختی

$\Delta P_m$  = تغییر در ورودی توان مکانیکی



$\Delta P_e =$  تغییر در خروجی توان الکتریکی

$\Delta \omega_{eq} =$  انحراف سرعت معادل

هدف بدست آوردن سیگنال سرعت معادل  $\Delta \omega_{eq}$  است که مدهای پیچشی را شامل نشود. مولفه های پیچشی در انتگرال سیگنال  $\Delta P_e$  خود به خود تضعیف می شوند.

ج) پایدارسازهای مبتنی بر فرکانس

در این شیوه، از فرکانس پایانه به عنوان سیگنال پایدار ساز برای چندین PSS استفاده می شود. به طور طبیعی، سیگنال فرکانس پایانه مستقیم به عنوان سیگنال ورودی پایدار سازی به کار گرفته می شود. در برخی موارد، برای تقویت سرعت روتور ماشین از ولتاژ و جریان پایانه برای بدست آوردن فرکانس ولتاژ متصل به راکتانس ماشین شبیه سازی شده استفاده می شود. حساسیت سیگنال فرکانس به نوسانهای روتور با ضعیفتر شدن سیستم انتقال خارجی، افزایش می یابد و موجب جبران کاهش بهره از خروجی پایدار تا گشتاور الکتریکی ناشی از یک سیستم انتقال ضعیفتر می شود. از این رو، بهره پایدار ساز مبتنی بر فرکانس را می توان برای بدست آوردن بهترین عملکرد ممکن تحت شرایط سیستم انتقال جریان متناوب ضعیف، که در آن بیشترین نیاز به پایدار ساز است، تنظیم کرد. سیگنال فرکانس، به مد های نوسان بین نواحی بزرگ نسبت به مد های که فقط واحد های منفرد را در بر می گیرد و نیز مد های بین واحدهای یک نیروگاه حساستر است. بنابراین به نظر می رسد می توان سهم میرایی بیشتری برای مد های بین ناحیه ای نسبت به سهم حاصل از سیگنال ورودی سرعت، به دست آورد. در سیستم های بزرگ، ممکن است انتخاب واحدهایی که باید برای میرا کردن نوسانهای بین ناحیه ای، روی آنها PSS نصب شود، چندان واضح نباشد. اگر چه اصول طراحی PSS، برای میرا کردن مد های محلی و بین ناحیه ای مشابه است، لیکن مکانیزم هایی که به وسیله آنها در میرایی دو نوع نوسان نقش دارد، متفاوت است. به طور عمده PSS با مدوله کردن بارهای سیستم به میرایی مد بین ناحیه ای می افزاید، در حالی که عملکرد PSS در خصوص مد محلی فقط به میزان اندکی تحت تاثیر مشخصه های بار قرار دارد. درک این مکانیزمها برای اعمال موثر PSS بسیار مهم است. ضرایب مشارکت متناظر با انحراف های سرعت نیروگاه ها، برای جدا کردن اولیه واحد های تولید به منظور نصب پایدارسازها بسیار سودمند است. لیکن، ضریب مشارکت زیاد، شرطی لازم ولی ناکافی برای PSS واحد است تا به طور موثری نوسانهای بین ناحیه ای را میرا کند و باید به دنبال

جدا کردن اولیه بر اساس ضرایب مشارکت ، با استفاده از مانده ها و پاسخهای فرکانسی ، ارزیابی دقیقتری انجام پذیرد تا مکانهای مناسب برای پایدار سازها تعیین شود.

با وجودی که PSS اصلی ترین و پر کاربرد ترین میرا ساز استفاده شده در سیستم های قدرت است اما این کنترل کننده تنها برای میراسازی مد های محلی سیستم مورد استفاده قرار می گیرد و منظور از مد محلی، نوسان های مربوط به واحدهای درون یک نیروگاه نسبت به بقیه سیستم قدرت است. علاوه بر مد محلی، در مطالعات پایداری، مد بین ناحیه ای نیز طرح می شود که مد بین ناحیه ای مربوط به نوسان های تعدادی ماشین سنکرون در یک بخش سیستم، نسبت به ماشین های سنکرون سایر بخش ها است. این مد ها زمانی اتفاق می افتند که دو یا چند بخش شامل تعدادی ماشین سنکرون نزدیک به هم به وسیله خطوط ارتباطی ضعیف به یک دیگر متصل شده باشند. برای میرا سازی این مد ها، پایدار ساز PSS به تنهایی قادر به پاسخ گویی نیست. پس از توسعه ادوات الکترونیک قدرت و پیدایش جبران سازی های مبتنی بر این ادوات و مبدل های منبع ولتاژ، در بسیاری از نقاط دنیا، برای میرا سازی نوسانات بین ناحیه ای از ادوات FACTS از جمله<sup>۱</sup> SSSC ،<sup>۲</sup> UPFC ،<sup>۳</sup> STATCOM ، با روش های کنترلی مختلفی استفاده شده است. ادوات FACTS نقش مهمی در میرا کردن نوسانات دارند. UPFC به عنوان یکی از مهمترین ادوات FACTS می تواند در افزایش میرایی نوسانات تاثیر بسیاری داشته باشد.

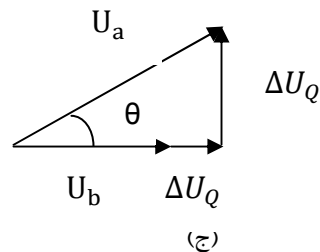
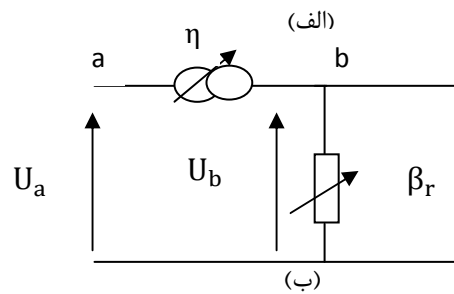
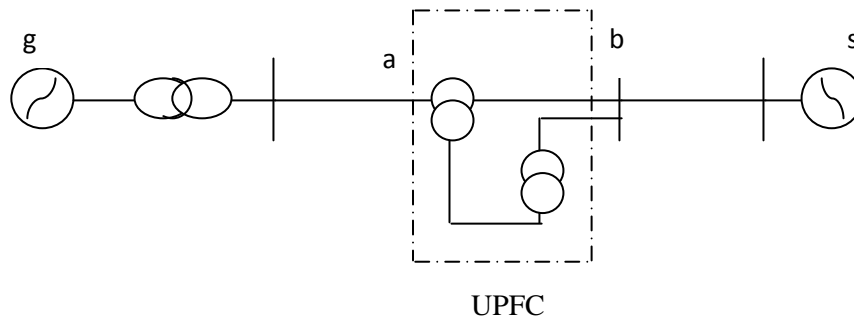
### ۱-۲-۳ اثر UPFC روی پایداری دینامیک سیستم قدرت

کار اصلی UPFC در سیستم های قدرت ، کنترل توان های اکتیو و راکتیو در حالت ماندگار سیستم قدرت است اما سرعت بالا و انعطاف پذیری این وسیله اجازه می دهد که از آن در حالت دینامیکی سریع نیز بتوانیم استفاده کنیم. نمای مداری و مدل به همراه دیاگرام برداری از استعمال UPFC به شینه بی نهایت در شکل (۱-۲) نشان داده است. از نقطه نظر تاثیر حالت ماندگار و حالت گذرا، کنترل کننده ترستوری UPFC می تواند به صورت یک عنصر با ثابت زمانی بسیار کوچک رفتار کند. بنابراین بخش سری UPFC می تواند با استفاده از نسبت تبدیل مختلط  $\eta$  مدل شود و بخش شنت UPFC نیز می توان به صورت یک عنصر سو سپتانس شنت کنترل شده  $\beta_r$  مدل شود. [۲]

<sup>۱</sup> Static Synchronous Compensator

<sup>۲</sup> Unified Power Flow Controller

<sup>۳</sup> Static Synchronous Compensator



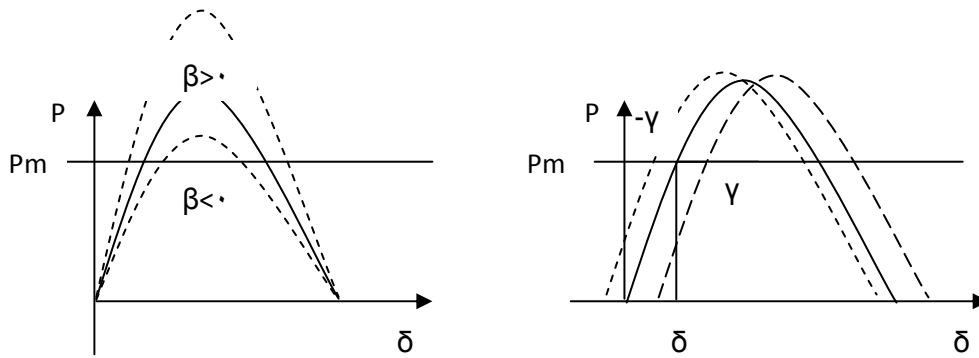
شکل (۲-۱) سیستم قدرت با شین بی نهایت با UPFC

الف) شمای مداری ب) مدل تکفاز ج) دیاگرام فازوری

می توان  $\eta$  را به صورت دو مولفه قائم در نظر گرفت: مولفه  $\beta$  روی محور  $d$  متناسب با افزایش ولتاژ  $\Delta U_Q$  و مولفه  $\gamma$  روی محور  $q$  متناسب با افزایش ولتاژ  $\Delta U_Q$ . با استفاده از مولفه های تعریف شده نسبت به  $\eta$  را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\eta = (\beta + 1) + j\gamma \quad (2-1)$$

با استفاده از مدل ارائه شده در شکل (۲-۱) تاثیر مولفه های مختلف ولتاژ UPFC روی مشخصه توان در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. تنظیم مولفه  $\gamma$  با توجه به علامت ولتاژ UPFC، مشخصه توان را به سمت چپ یا راست انتقال می دهد. مولفه  $\beta$  نیز باعث ایجاد تغییرات در دامنه مشخصه توان - زاویه در بازه کوچکی از تغییرات زاویه بار می شود. بنابراین UPFC می تواند روی پایداری سیستم قدرت و بهبود میراسازی نوسانات موثر باشد.



شکل (۳-۱) تاثیر UPFC روی مشخصه توان [۲]

نکته اساسی برای کاربرد UPFC جهت بهبود میرایی، جایابی بهینه آن است. اینکه در شبکه، شینها و خطوطی وجود دارند که تغییر توان اکتیو و راکتیو توسط UPFC اساساً<sup>۱</sup> و مستقل از ساختار و پارامترهای کنترل کننده اثر خیلی کمی بر روی میرایی نوسانات شبکه دارند. بنابراین لازم است با روشی صحیح مکان نصب UPFC را مشخص نمود که این همان، اهمیت و ضرورت موضوع تحقیق ما است. در این پایان نامه با معرفی UPFC به عنوان یکی از مهمترین ادوات FACTS، تاثیر و نقش آنرا در بهبود پایداری دینامیکی و میرا کردن نوسانات سیستم قدرت بیان کرده ایم. ابتدا در سیستم تک ماشینه متصل به شین بی نهایت، با استفاده از الگوریتم بهینه سازی PSO<sup>۱</sup> و روش تجزیه حداقل مقادیر استثنایی SVD<sup>۲</sup>، پارامترهای بهینه کنترل کننده تکمیلی و مناسب ترین سیگنال کنترلی UPFC را انتخاب کرده ایم. سپس روشی جدید را بر اساس کنترل پذیری و رویت پذیری برای انتخاب مکان و سیگنال کنترلی مناسب UPFC در سیستم چند ماشینه، جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت ارائه داده ایم. نتایج تحلیلی و شبیه سازی به کمک نرم افزار MATLAB، تاثیر این روش را به درستی نشان می دهد.

در فصل دوم این نوشته مروری بر UPFC و مدل‌های استاتیکی و دینامیکی آن شده است. در فصل سوم به بررسی روشهایی که تاکنون برای جایابی UPFC به منظور بهبود عملکرد استاتیکی و دینامیکی به کار رفته است نظیر کاهش هزینه، افزایش ظرفیت بار و مدیریت تراکم اشاره شده است. در فصل چهارم ابتدا جایابی UPFC در سیستم تک ماشینه با کمک الگوریتم بهینه سازی PSO و روش SVD بیان شده است، سپس روشی جدید بر اساس شاخص کنترل پذیری و رویت پذیری در سیستم چند ماشینه، برای انتخاب مکان UPFC به منظور میرا کردن نوسانات

<sup>۱</sup> Particle Swarm Optimization  
<sup>۲</sup> Singular Value Decomposition