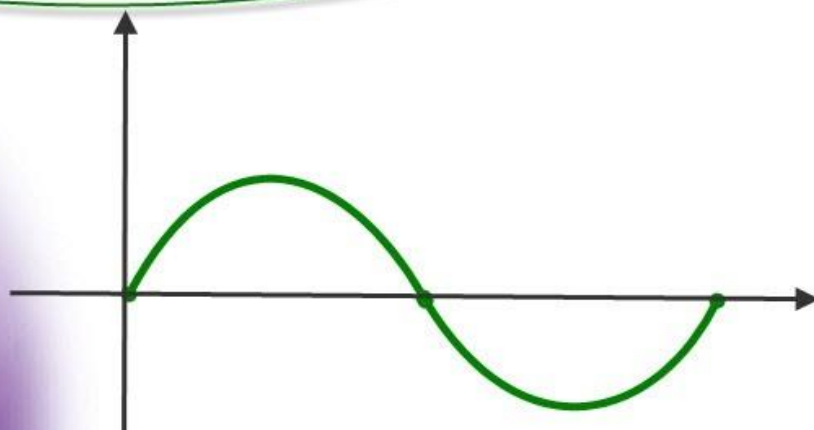


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## موضوع پروژه:

# میرا سازی نوسانات فرکانس پایین با تجهیزات ادوات FACTS



برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

( شماره پروژه = ۳۰۸ )

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

### 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 جایی مناسب در سیستم قدرت، میرایی نوسانات سیستم را افزایش دهد. در این تحقیق ابتدا روشهای مختلف جایی 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) جایی -  
کنترل پذیری و رویت پذیری

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فهرست مطالب

فصل ۱ مقدمه

1-1 پایداری ونوسانات سیستم قدرت.....۲

2-1 امکان میرا سازی نوسانات.....۲

2-1-1 پایدار ساز سیستم قدرت

2.....۲

2-2-1 انواع مختلف PSS

.....۵

3-2-1 اثر UPFC روی پایداری دینامیک سیستم قدرت .....۶

2-2-2 مفهوم اساسی UPFC

.....۲۱

3-2-3 ساختمان UPFC.....۱۴

4-2-3 مدل UPFC.....۱۶

3-2-3 جایابی UPFC به منظور کاهش هزینه

.....۲۰

3-2-3-1 مدل در نظر گرفته شده برای UPFC

.....۲۰

3-2-3-2 هزینه

تولید.....۲۱

3-2-3-3 هزینه UPFC.....۲۱

3-2-3-4 تابع هدف

.....۲۱

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

3-2-5 الگوریتم ژنتیک

۲۲.....

3-3 جایابی UPFC به منظور افزایش ظرفیت

بار..(Loadability).....۱.....۲۲.....

3-3-1 مدل در نظر گرفته شده برای UPFC

.....۱.....۲۲.....

3-3-2 ضریب بار پذیری .....۲۳.....

3-3-3 تابع هدف.....۲۴.....

3-3-4 نتایج شبیه سازی بر روی سیستم ۰۳ شینه

.....۲۵.....

جایابی UPFC به منظور مدیریت تراکم (Congestion Management)

.....۱.....۲۶.....

3-4-1 مدل.....UPFC.....۲۶.....

3-4-2 تلفات سیستم

.....۲۶.....

3-4-3 ضرایب حساسیت تلفات سیستم.....۲۷.....

3-4-4 نتایج شبیه سازی

.....۲۷.....

3-5 جایابی UPFC با در نظر گرفتن معیار دینامیکی.....۲۹.....

5-3 نوسانات سیستم

.....۲۹..... قدرت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

3-1-5- نوسانات زیر

..... سنکرون  
۲۹

3-2-5- نوسانات محلی ..... ۳۰

3-3-5- نوسانات بین ناحیه ای ..... ۳۰

3-6- جایابی UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت به کمک شاخص کنترل

پذیری ..... ۳۱

3-1-6- مقادیر ویژه ..... ۳۱

..... ۳۱

3-2-6- بردارهای ویژه ..... ۳۲

..... ۳۲

3-3-6- کنترل پذیری ..... ۳۲

..... ۳۲

3-4-6- شاخص کنترل پذیری برای UPFC

..... ۳۳

3-5-6- معیار دینامیکی جایابی UPFC به کمک شاخص کنترل پذیری

..... ۳۶

3-6-6- نتایج شبیه سازی

..... ۳۶

3-7-6- بررسی مزایا و معایب روش ذکر شده ..... ۴۰

3-7- جایابی UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم با استفاده از ضریب

مانده ..... ۴۲

3-1-7- رویت پذیری، کنترل پذیری و ضریب

مانده ..... ۴۲

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

7-2-3 مکان مناسب UPFC با استفاده از ضریب

مانده..... ۴۴

7-3-3 نتایج شبیه سازی

..... ۴۴

7-4-7 بررسی مزایا و معایب روش ذکر شده..... ۴۸

فصل ۴ جایابی UPFC در سیستم تک ماشینه و چند ماشینه

4-1-4 مقدمه..... ۵۰

2-4 مدل دینامیکی UPFC

..... ۵۱

2-1-4 مدل خطی سیستم قدرت به همراه UPFC

..... ۵۱

2-2-4 مدل ژنراتور و سیستم تحریک

..... ۵۱

4-2-3 مدل UPFC..... ۵۳

4-3 طراحی کنترل کننده میراساز..... ۵۷

3-1-4 تابع هدف (معیار)..... ۵۸

4-4 بررسی کنترل پذیری..... ۵۸

5-4 الگوریتم PSO

..... ۶۰

6-4 نمایش سیستم چند ماشینه..... ۶۴

6-1-4 مدل دو محوری ماشین سنکرون..... ۵۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

6-2-4 معادلات دیفرانسیلی

۶۶.....

6-3-4 معادله جبری استاتور..... ۶۶.....

6-4-4 معادلات شبکه..... ۶۶.....

4-7-4 مدل UPFC..... ۶۷.....

4-7-1 شاخص کنترل پذیری برای مکان

UPFC..... ۶۹.....

8-4 معرفی رویت پذیری..... ۷۱.....

8-1-4 کنترل کننده تکمیلی..... ۷۲.....

4-9 نتیجه گیری..... ۷۲.....

فصل ۵ نتایج شبیه سازی

2-5 سیستم تک ماشینه متصل به شین بی نهایت

..... ۷۴.....

3-5 سیستم سه ماشینه نه شینه..... ۷۹.....

3-1-5 رویت پذیری برای انتخاب سیگنال ورودی کنترل کننده تکمیلی

UPFC... ۸۰.....

3-2-5 نتایج شبیه سازی..... ۸۳.....

3-3-5 خطای نوع..... ۸۴.....

3-4-5 خطای

نوع..... ۸۴.....

5-4-4 نتیجه گیری..... ۸۹.....



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل ۶ نتیجه گیری و پیشنهادات

2- 6 سیستم تک ماشینه..... ۹۲.....

3- 6 سیستم چند ماشینه

۹۲.....

4- 6 پیشنهادات..... ۹۳.....

پیوست الف

.....  
۹۴

الف . 1- معادلات دیفرانسیلی ..... ۹۴.....

الف . 2- معادلات جبری استاتور



..... ۹۵.....

الف . 3- معادلات شبکه

..... ۹۶.....

پیوست ب ب-۱ . داده های سیستم سه ماشینه نه شینه

..... ۹۹.....

ب-۲ . ماتریس ادمیتانس شبکه

..... ۱۰۰.....

ب-۳ . نتایج مربوط به پخش بار

..... ۱۰۰.....

فهرست اشکال

شکل . 1- 1 نمودار بلوکی تحریک با PSS و AVR

..... ۱..... ۳.....

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل 1-2. سیستم قدرت با شین بی نهایت با UPFC

۷.....

شکل 3- 1 تاثیر UPFC روی مشخصه

توان..... ۸.....

شکل 1- 2 مفهوم اساسی

UPFC..... ۱۳.....

شکل 2-2. ساختمان UPFC با استفاده از دو کانورتر پشت به

پشت..... ۱۵.....

شکل 3-2 قابلیت های

UPFC..... ۱۵.....

شکل 2-4. مدل UPFC برای مطالعات

گذرا..... ۱۶.....

شکل 5-2. مدل کلاسیک ژنراتور همراه با UPFC برای مطالعات

دینامیکی..... ۱۸.....

شکل 1- 3 مدل UPFC

..... ۲۱.....

شکل ۳-۲، فلوجارت حل مسئله به کمک الگوریتم

ژنتیک..... ۲۳.....

شکل ۳-۳. مدار معادل UPFC ..... 24.....

شکل ۳-۴. ساختار کرموزم..... ۲۵.....

شکل ۳-۵. مدار معادل UPFC..... ۲۶.....

شکل ۳-۶. مدل تزریقی UPFC..... 27.....

شکل ۳-۷. سیستم ۵ شینه..... ۲۸.....

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۳-۸. سیستم ۹۳ شینه نیو

انگلند..... ۳۸

شکل ۳-۹. تغییرات سرعت (pu) ژنراتور ۲ G با وبدون ادوات FACTS در سیستم

شینه ۳۹..... ۳۹

شکل ۳-۱۰. تغییرات سرعت ۲ (G) pu با قرار گرفتن کانورتر سری UPFC در خط ۳۶-۳۷

و کانورتر شنت در یکی از شینه های ۳۶ و ۳۷ (سیستم ۹۳

شینه)..... ۴۰

شکل ۳-۱۱. تغییرات سرعت (pu) ژنراتور ۱۵ با G TCSC ، UPFC 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 ۱ G برای سیستم ۱۱

شینه..... ۴۶

شکل ۳-۱۵. سیستم نیو انگلند ۹۳ شینه ...

..... ۴۶

شکل ۳-۱۶. تغییرات سرعت ۱ G برای سیستم ۹۳ شینه

..... ۴۷

شکل ۴-۱. سیستم تحریک IEEE نوع STI با PSS

..... ۵۲

شکل ۲-4. سیستم قدرت تک ماشینه به همراه UPFC

..... ۵۳

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

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 5-4. فلو چارت الگوریتم PSO  
۶۲.....

شکل 6-4. نمایش سیستم چند ماشینه .....  
۶۴.....

شکل 7-4. سیستم تحریک IEEE  
۶۵.....

شکل 8-4. دیاگرام شماتیکی UPFC  
۶۸.....

شکل 9-4. بلوک دیاگرام کنترلی UPFC  
۶۸.....

شکل 10-4. مدار معادل UPFC  
۶۹.....

شکل 11-4. بلوک دیاگرام کنترل کننده تکمیلی UPFC  
۷۲.....

شکل 1-5. تغییرات سرعت ژنراتور بدون کنترل کننده UPFC  
۷۵.....

شکل 2-5. حداقل مقدار استثنایی برای چهار سیگنال کنترلی UPFC.....  
۷۷.....

شکل 3-5. پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده  
۷۷.....

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

4- 5 پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده

۷۷.....

شکل 5- 5 پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده

۷۸.....

شکل 6- 5 پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل

کننده..... ۷۸.....

شکل 7- 5 شکل مد مربوط به مد ..... 1.17HZ..... ۸۲.....

شکل 8- 5 شکل مد مربوط به مد ۱,۹۹ HZ

..... ۸۳.....

شکل 9- 5 سیستم سه ماشینه نه شینه

..... ۸۳.....

شکل 10- 5 توان اکتیو خط ۸- ۷ در حالت نوسانات فرکانس پایین

..... ۸۴.....

شکل ۵- ۱۱. پاسخ دینامیکی ژنراتور ۱ G 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- ۲۱. پاسخ دینامیکی ژنراتور ۲ G 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 ۳ G در اغتشاش با و بدون UPFC (الف) توان خروجی ب) سرعت

پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC )

..... ۸۷.....

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

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.....ا).....

شکل 15-5 ولتاژ شین ها ، توان اکتیو و راکتیو خطوط با حضور UPFC  
۸۹.....ا).....

فهرست جداول

جدول ۳-۱. نتایج و شرایط عملکرد (۳۰ شینه ..... IEEE) ..... ۲۵

جدول ۳-۲. حساسیت های سیستم ۵

شینه ..... ۲۸

جدول ۳-۳. شاخص کنترل پذیری مد بین ناحیه ای برای UPFC ، SVC و TCSC

(سیستم ۳۹ شینه)..... ۳۸

جدول ۳-۴. مقادیر ویژه مد بین ناحیه ای با وبدون ادوات FACTA در سیستم

شینه ۳۹..... ۳۹

جدول ۳-۵. شاخص کنترل پذیری مد بین ناحیه ای نوسانی برای UPFC ، TCSC ، SVC

(سیستم 86 شینه)..... ۴۱

جدول ۳-۶. ضریب مانده مد نوسانی بین ناحیه ای برای UPFC ، TCSC و SVC سیستم

۱۱ شینه)..... ۴۵

جدول ۳-۷. ضریب مانده ادوات FACTS برای سیستم ۹۳

شینه..... ۴۷

جدول 1-5 مقادیر ویژه سیستم تک ماشینه

..... ۷۵

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

جدول ۲-۵. مقادیر ویژه سیستم برای چهار سیگنال کنترلی  $\delta SE$  ،  $mSE$  ،  $\delta SH$  و  $mSE$   
۷۵.....۱.....

جدول ۳-۵. مدهای نوسانی

۷۹.....۱.....

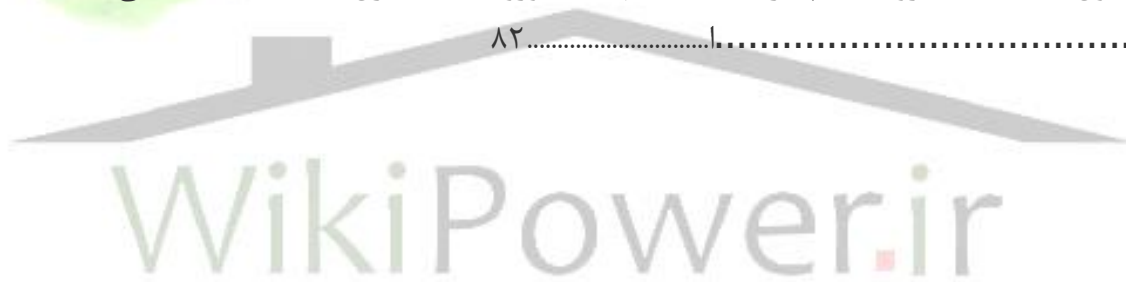
جدول ۴-۵. ضرایب مشارکت

۸۱.....۱.....

جدول ۵-۵. شاخص کنترل پذیری در مد نوسانی HZ1.17 برای مکان UPFC  
۸۱.....۱.....

جدول ۶-۵. شاخص کنترل پذیری در مد نوسانی HZ1.99 برای مکان UPFC  
۸۲.....۱.....

جدول ۷-۵. رویت پذیری سیگنالهای ورودی کنترل کننده تکمیلی UPFC  
۸۲.....۱.....



## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

فصل ۱: مقدمه ای بر نوسانات سیستم قدرت و میرا کردن آنها

### 1-1- 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 و فرکانس 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 و بهره 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 از هم 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.

### 2-1- 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 ۰۳ 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.

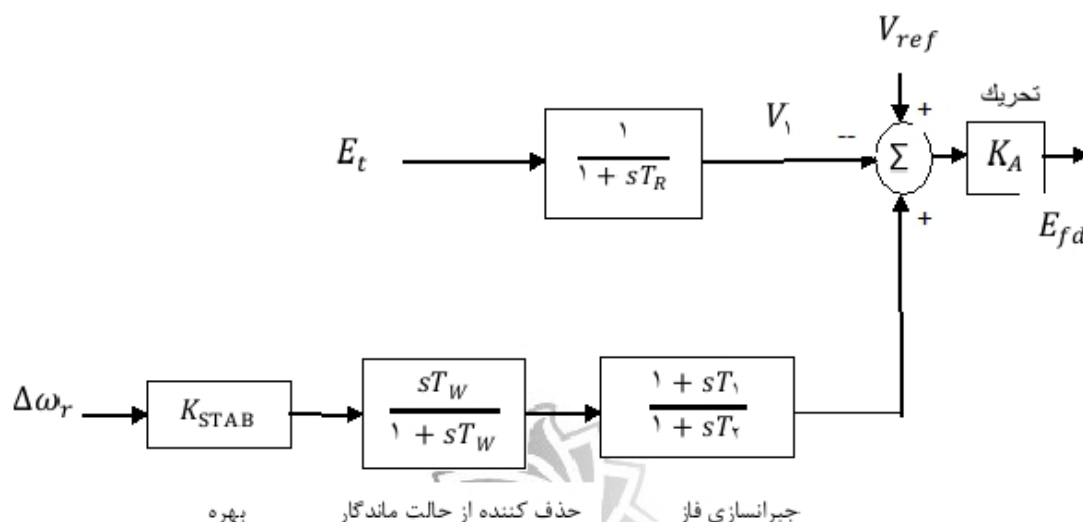
### 1-2-1- پایدار ساز سیستم قدرت

مرسوم ترین وسیله بهبود میرایی که با استفاده از تنظیم کننده ولتاژ، گشتاور الکتریکی اضافی اعمال می نماید، به اسم پایدار ساز سیستم قدرت (PSS) معرفی شده است. نقش اصلی یک پایدار ساز سیستم قدرت (PSS)، افزودن میرایی به نوسانهای روتور ژنراتور به وسیله کنترل تحریک آن با استفاده از سیگنالهای پایدار ساز کمکی است. برای فراهم آوردن میرایی، باید پایدار ساز یک مولفه گشتاور الکتریکی



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

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 (1-1) 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 جبران سازی 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 به اندازه کافی بزرگ عمل می کند و اجازه می دهد تا سیگنالهای متناظر بانوسانهای، بدون تغییر عبور کنند. بدون آن، تغییرات ماندگار در سرعت، ولتاژ پایانه را تغییر می دهد. این بلوک اجازه می دهد تا PSS فقط با تغییرات سرعت پاسخ دهد.

بلوک بهره پایدار ساز مقدار میرایی ایجاد شده از PSS را تعیین می کند. به طور ایده آل، باید بهره در مقادیر 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:

- خراب نمودن یا بدتر نمودن پایداری گذرا

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- -مختل کردن میرایی نوسانات در حالت کم باری
- -نامیرا نمودن نوساناتی که فرکانس آنها خارج از محدوده فرکانس نوسانات شبکه قرار دارند.
- -تاثیر گذاری نامطلوب بر روی میرایی تحت شرایط بهره برداری مختلف.
- -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

$\Delta P$  = تغییر در ورودی توان مکانیکی

$\Delta P$  = تغییر در خروجی توان الکتریکی

$\Delta\omega$  = انحراف سرعت معادل

هدف بدست آوردن سیگنال سرعت معادل  $\Delta\omega$  است که مدهای پیچشی را شامل نشود. مولفه های پیچشی در انتگرال سیگنال  $\Delta P$  خود به خود تضعیف می شوند.

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

(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 و 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 میتواند برای بدست آوردن بهترین عملکرد ممکن تحت شرایط سیستم انتقال جریان متناوب ضعیف، کهدر آن بیشتر نیاز به پایدار ساز است، تنظیم کرد.

سیگنال فرکانس، بهمدانوسان 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 میافزاید، 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 میرا سازی 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 دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

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 از ادوات FACTS از جمله UPFC, SSSC ، 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.

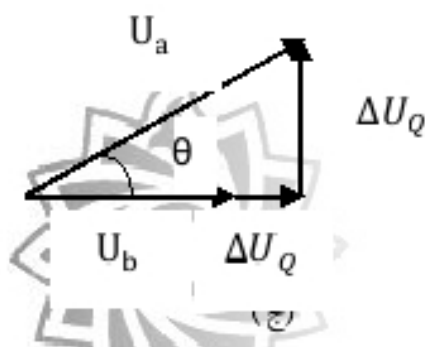
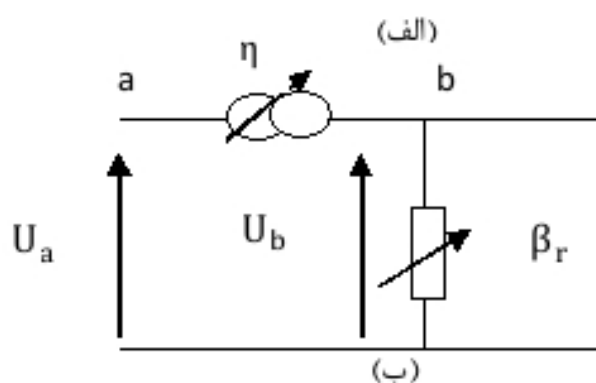
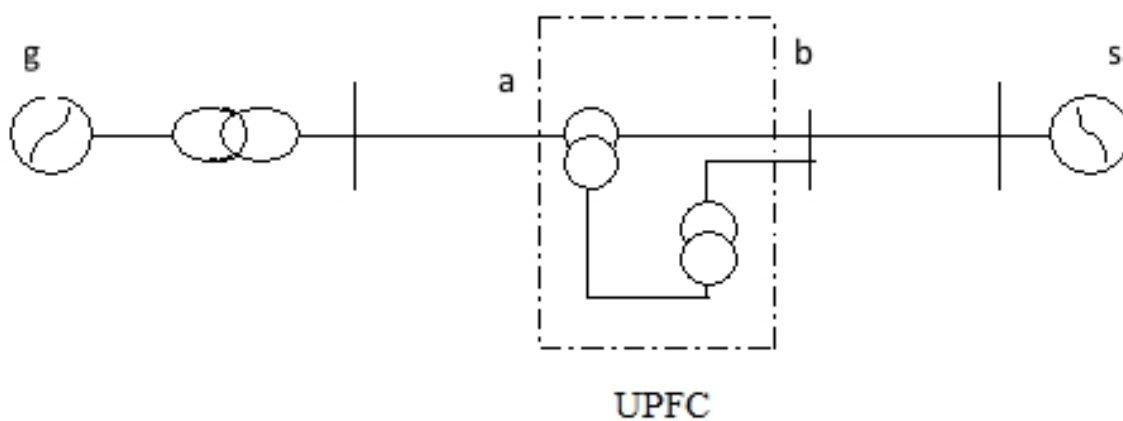
### 3 - 2 - 1 اثر UPFC روی پایداری دینامیک سیستم قدرت

کار اصلی UPFC در سیستم های قدرت ، کنترل توان های اکتیو و راکتیو در حالت ماندگار سیستم قدرت است تا سراسر عبال و انعطاف پذیر یا نوسیلها اجازه میدهد که از آن در حالت دینامیک یکسری یعنی بتوانیم استفاده کنیم. نمایمداری و مدل به همراه دیاگرام برداری از استعمال UPFC به شینه بی نهایت در شکل (1-2) نشان داده است. از نقطه نظر تاثیر حالت ماندگار و حالت گذرا، کنترل کننده تریستوری 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<sup>۱</sup> مدل شود و بخش شنت UPFC نیز می توان به صورت یک عنصر سو سپتانس شنت کنترل شده + مدل شود. [۲]

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

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



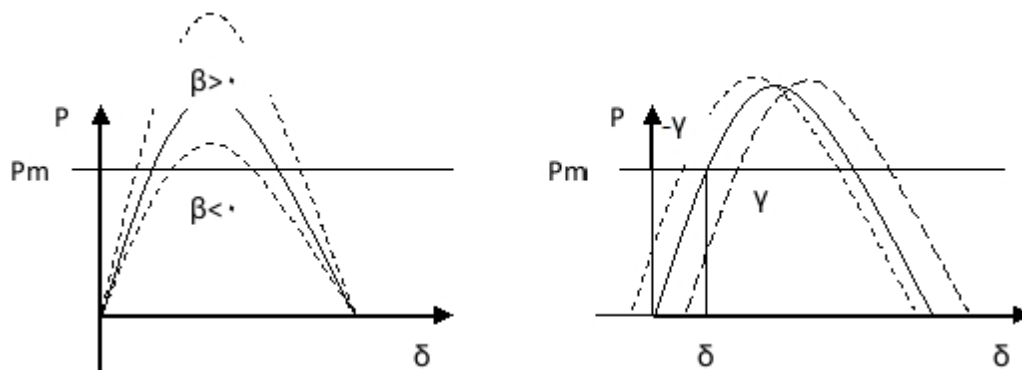
شکل ۱-۲ سیستم قدرت باشین بی نهایت با UPFC

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

$$\eta = (\beta + 1) + jy \quad (۲-۱)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با استفاده از مدل ارائه شده در شکل (۱-۲) تاثیر مولفه های مختلف ولتاژ UPFC روی مشخصه توان در شکل ۱ (-۳) نشان داده شده است. تنظیم مولفه / باتوجه 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 کوچک تغییرات زاویه بار میشود. بنابراین UPFC می تواند روی پایداری سیستم قدرت و بهبود میرا سازی نوسانات موثر باشد.



شکل ۱-۳ تاثیر UPFC روی مشخصه توان

نکته اساسی برای کاربرد UPFC جهت بهبود میرایی، جایابی بهینه آن است. اینکه در شبکه، شینه ها و خطوطی وجود دارند که تغییر توان اکتیو و راکتیو توسط UPFC اساساً 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>1</sup> و روش تجزیه حداقل مقادیر استثنایی SVD<sup>2</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 مدل های 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

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

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 سیستم قدرت بیان شده است. در فصل پنجم و ششم به ترتیب نتایج شبیه سازی، نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه شده است.

فصل ۲ مروری بر کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC)

### 2-1- مقدمه

کنترل کننده یکپارچه توان UPFC وسیله الکترونیک قدرت برای کاربردهایی از FACTS می باشد. این کنترل کننده شامل ترکیبی از دو مبدل استاتیک با ارتباط مشترک DC است. خروجی AC یکی از مبدل ها به صورت سری و از طریق یک ترانسفورمر مجزا کننده به سیستم متصل شده است. ورودی مبدل موازی (شنت) به باس اصلی متصل می باشد.

اگر مفهوم FACTS در یک مقوله کلی تحت عنوان وسایل و تجهیزاتی در نظر بگیریم که در پخش بار سیستم قدرت تاثیر گذارند، آنگاه علاوه بر وسایل الکترونیک قدرت ادوات الکترومکانیکی از قبیل ترانسفورمرهای دارای تپ چنجر و تنظیم کننده های زاویه ی فاز نیز در کلاس کنترل کننده های FACTS قرار می گیرند. با این حال باید توجه داشت که ادوات الکترومکانیکی ضمن دارا بودن ثابت زمانی بالا در پاسخ گذرا، تنها قابلیت تنظیم و کار در حالت دائمی پخش بار را دارا می باشند. مطابق تعریف ارائه شده توسط IEEE، عبارت FACTS به تعریف زیر اشاره دارد:

سیستم های انتقال توان AC ای که به منظور افزایش قابلیت کنترل و رشد توانایی انتقال توان از وسایل الکترونیک قدرت و کنترلرهای استاتیک بهره می گیرند. حال با در نظر گرفتن این تعریف عمومی از FACTS لازم است که تعریف روشنی از وظایف اینگونه وسایل الکترونیک قدرت و کنترل کننده های استاتیک تحت عنوان کنترل کننده های FACTS داشته باشیم. کنترل کننده های FACTS وظیفه کنترل یک پارامتر سیستم انتقال (یا بیشتر) را بعهده دارند.

بکارگیری کنترل کننده های FACTS در جهت کنترل دینامیک پخش بار، میرا کردن نوسانات زیر سنکرون، تنظیم ولتاژ سیستم و افزایش پایداری دینامیک و گذرا با حضور ترستورهای توان بالا امکان پذیر گردیده است. جبران کننده های استاتیکی (SVC)، که ترکیبی از راکتورهای کنترل شده با ترستور (TCR) می باشد. به طور گسترده ای در سیستم های قدرت بکاررفته اند. بعلاوه، خازن های سری عمل کننده با ترستور (TCSC) نیز جهت افزایش توان عبوری از خطوط طویل و پایداری حلت دائمی و گذاری آنها بکار رفته است. کنترل یکپارچه توان (UPFC) امکان کنترل ولتاژ، امپداس و زاویه ی فاز را بطور



## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

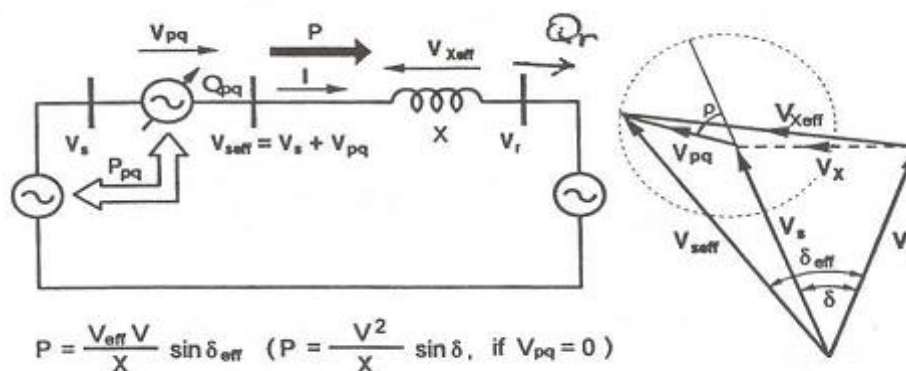
همزمان فراهم می آورد. این کنترل کننده ها می توانند در پخش بار از طریق خطوط انتقال تعیین کننده باشند.

### ۲-۲- مفهوم اساسی UPFC

جبران سری سنکرون استاتیکی (SSSC)، قادر است ولتاژ دوسر خط انتقال را تغییر دهد ولی نمیتواند امپدانس انتقال را تغییر دهد. کنترل کننده یکنواخت پخش بار (UPFC) که از دو منبع ولتاژ سنکرون (SVC) پشت به پشت استفاده میکند، قادر است همزمان یا بطور انتخابی همه پارامترهای تاثیر گذار بر پخش بار در خط را کنترل کند (ولتاژ، امپدانس و زاویه فاز) به عبارت دیگر قابلیت کنترل همزمان هر دو توان اکتیو و راکتیو در خط را دارد. شکل ۱-۲ مفهوم اساسی UPFC را نشان میدهد. با توجه به این شکل  $V_{pq}$  ولتاژ دوسر کانورتور است که در خط سری تزریق میشود. اندازه این ولتاژ قابل کنترل است همچنین زاویه آن نیز از صفر تا  $180^\circ$  درجه قابل کنترل میباشد. در این آرایش چون هر دو مقدار اندازه و زاویه ولتاژ قابل کنترل است، لذا منبع ولتاژ  $V_{pq}$  قادر به تبادل توان های اکتیو با خط است. SVC چون فقط میتواند توان راکتیو تولید نماید لذا توان اکتیو باید توسط یک منبع توان مناسب تولید یا جذب نماید. این منبع همان منبع ولتاژ ابتدای خط است. محدود قابل کنترل اندازه و زاویه ولتاژ به صورت زیر قابل تعیین است:

$$V_{pq\ min} \ll V_{pq} \ll V_{pqr} \quad (1-2)$$

$$0 \leq P \leq 2\pi \quad (2-2)$$



### شکل ۱-۲ مفهوم اساسی UPFC

جهت تحلیل موضوع شکل ۱-۲ را که در آن یک UPFC وجود دارد را در نظر میگیریم.

در سمت گیرنده داریم:



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$P - jQ = V_r \left( \frac{V_s + V_{pq} - V_r}{jx} \right)^* = V_r \left( \frac{V_s - V_r}{jx} \right) + \frac{V_s V_{pq}^*}{-jx} \quad (3-2)$$

بافرض:

$$V_s = V < \frac{\delta}{2} = V \left( \cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} \right) \quad (4-2)$$

$$V_r = V < -\frac{\delta}{2} = V \left( \cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} \right) \quad (5-2)$$

همچنین بافرض اینکه ولتاژ تزریقی دارای دامنه  $V_{pq}$  و فاز  $\rho$  باشد:

$$C_{pq} < \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) = V_{pq} \left( \cos \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) + j \sin \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) \right) \quad (6-2)$$

باجایگزینی این سه بردار در رابطه ۳-۲ داریم:

$$P = P_0(\delta) + P_{pq}(\rho) = \frac{V^2}{x} \sin \delta - \frac{V V_{pq}}{x} \sin \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) \quad (7-2)$$

$$Q = Q_{or}(\delta) + Q_{pq}(\rho) = \frac{V^2}{x} (1 - \cos \delta) - \frac{V V_{pq}}{x} \cos \left( \frac{\delta}{2} + \rho \right) \quad (8-2)$$

چون  $\rho$  بین صفر تا  $2\pi$  قابل کنترل است بنابراین UPFC میتواند به ازای  $\delta$  های گوناگون و به طور مستقل از هم، توان اکتیو و راکتیو را کنترل نماید.

### ۳-۲- ساختمان UPFC

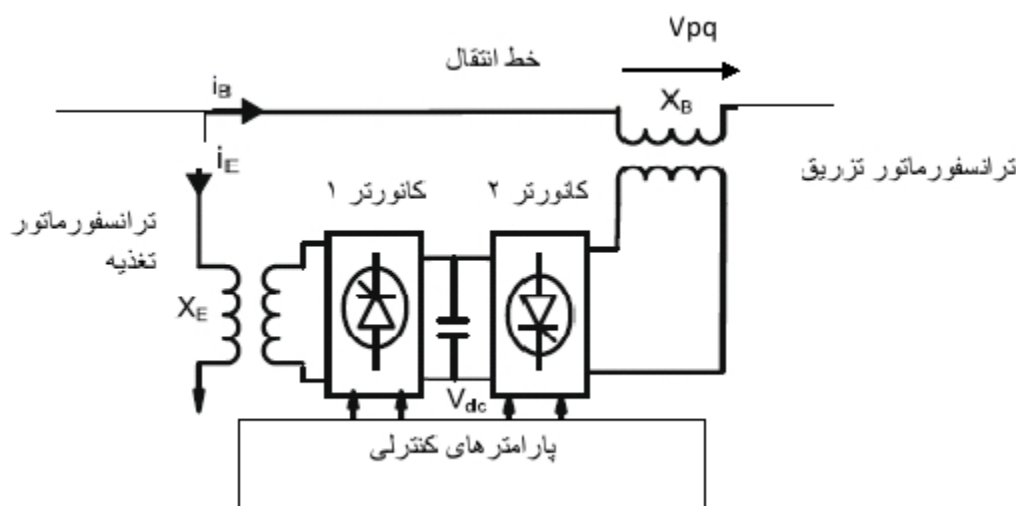
کنترل کننده پخش توان یکپارچه (UPFC)، از دو کانورتر منبع ولتاژ تشکیل شده است که به یک لینک dc مشترک متصل هستند و این لینک از یک خازن ذخیره dc استفاده میکند. هر وظیفه تزریق ولتاژ (با اندازه و زاویه قابل کنترل) به صورت سری در خط را برعهده دارد. جریان متناسب با جریان خط از این کانورتر عبور نموده و منجر به تبادل توان اکتیو و راکتیو بین آن و سیستم AC میشود. شکل ۲-۲ ساختمان UPFC را نشان میدهد. تبادل توان راکتیو در هر ترمینال (یعنی ترمینال های سری) توسط کانورتر تولید میشود (جبران سازی سری). تبادل توان اکتیو در ترمینال AC با تولید یا جذب توان در لینک dc انجام میشود. وظیفه کانورتر ۱ (موازی) تولید یا جذب توان اکتیو مورد نیاز کانورتر ۲ است. کانورتر ۱ همچنین میتواند در صورت لزوم توان راکتیو قابل کنترل جذب یا تولید کرده و بنابراین یک جبران سازی موازی راکتیو برای خط ایجاد کند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

UPFC وظیفه کنترل توان ها را با اضافه کردن  $V_{pq}$  با دامنه  $V_{pq}$  مناسب و زاویه  $p$  با فازور ولتاژ  $V_s$  انجام میدهد. با انتخاب مناسب  $V_{pq}$  سه نوع کنترل مورد نظر قبلی انجام میشود. (کنترل سری، کنترل موازی، کنترل زاویه فاز). شکل ۳-۳ قابلیت های UPFC را نشان میدهد ولتاژ خط متصل به UPFC ترمینال مشابه یک ولتاژ خروجی ترانسفورماتور دارای تپ چنجر ولی با تعداد پله های بی نهایت زیاد و هر پله بسیار کوچک مطابق شکل ۳-۲ (الف) میتواند تغییر کند. شکل ۳-۲ (ب). جبران سازی (راکتیو) سری را نشان میدهد که در آن  $V_c$  عمود بر جریان خطا به ولتاژ خط ( $V$ ) اضافه یا از آن کم میشود و لذا درست مانند آن است که خازنی با خط سری شده باشد. در شکل ۳-۲ (ج). تنظیم زاویه انتقال انجام میشود که در آن  $\pm V_\sigma$  عمود بر  $V$  به ولتاژ خط اضافه شده و بدون تغییر دامنه ولتاژ، زاویه آن را به اندازه  $\sigma - \sigma$  یا تغییر میدهد.

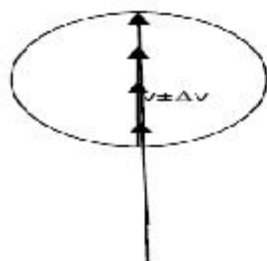
در شکل ۳-۲ (د). کنترل چند هدفه پخش بار انجام میشود که در آن:

$$V_{pq} = \Delta V + V_c + V_\sigma \quad (3-2)$$

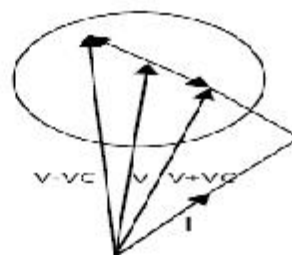


شکل ۳-۲ ساختمان UPFC با استفاده از دو کانورتر پشت به پشت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

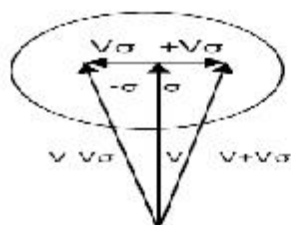


(الف)

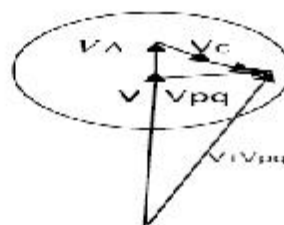


(ب)

انگواریت و مریخمد جانی



(ج)



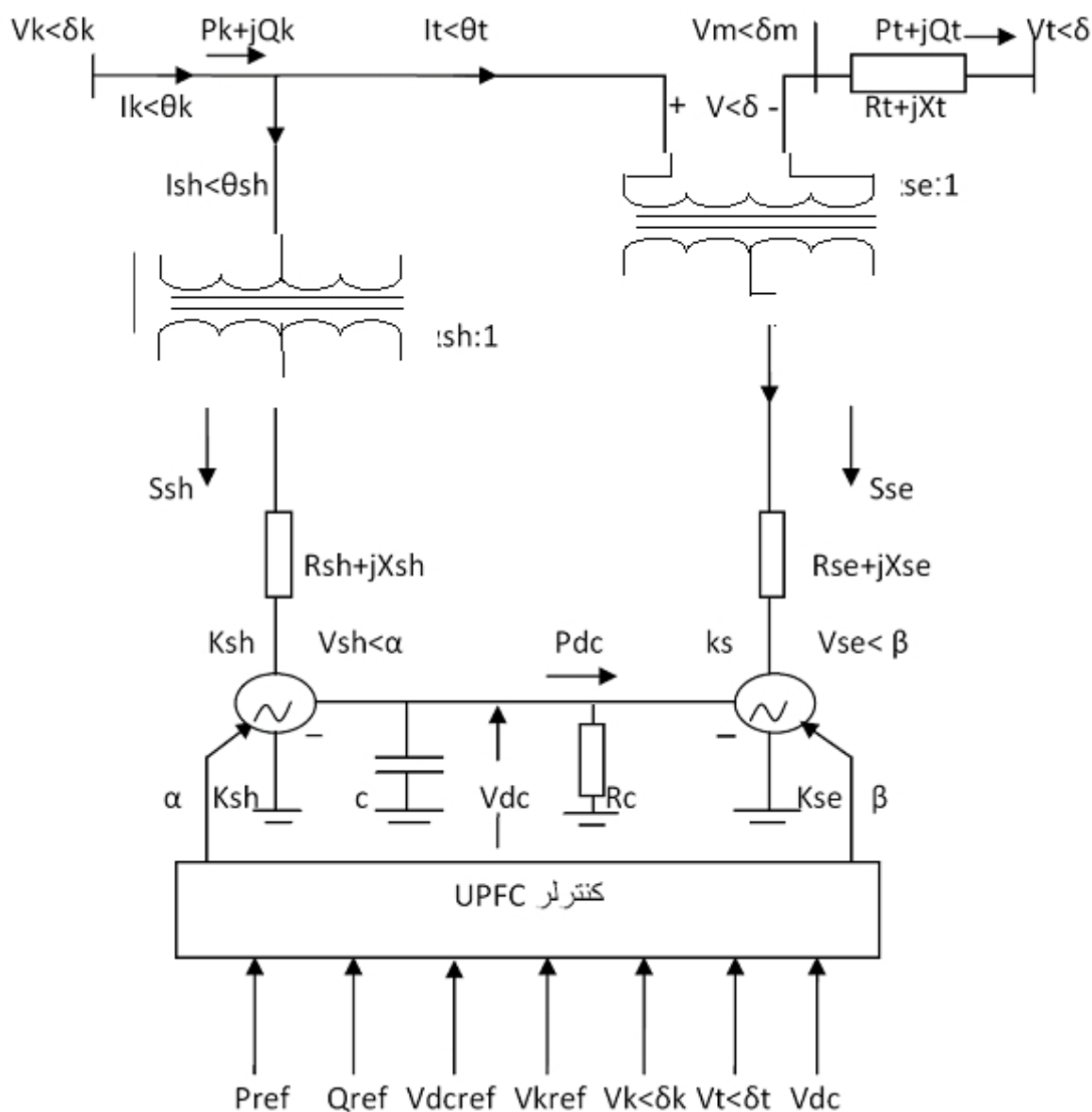
(د)

شکل ۲-۳ قابلیت های UPFC

۲-۴ مدل UPFC برای مطالعات گذرا

همانطور که در شکل ۲-۴ دیده میشود UPFC مشابه یک STATCOM و یک SSSC مدل میشود که دارای شین dc مشترک هستند. در این مدل اندازه وزاویه ولتاژ شین ها، ولتاژ DC و توان اکتیو و راکتیو به عنوان سیگنال های کنترلی UPFC به کار میروند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۲-۴ مدل UPFC برای مطالعات گذرا

در این شکل پارامترها به صورت زیر تعریف میشوند:

$R_{sh}, R_{se}, X_{sh}, X_{se}$  به ترتیب مقاومت ها و راکتانس های ترانسفورماتور سری و شنت می باشند

$V_{sh}, V_{se}$  و  $\alpha, \beta$  به ترتیب اندازه ولتاژ کانورتر سری و شنت هستند.

$C$  و  $V_{dc}$  به ترتیب ظرفیت خازن و ولتاژ آن می باشند.

$R_c$  مربوط به مقاومت معادل تلفات لینک dc است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

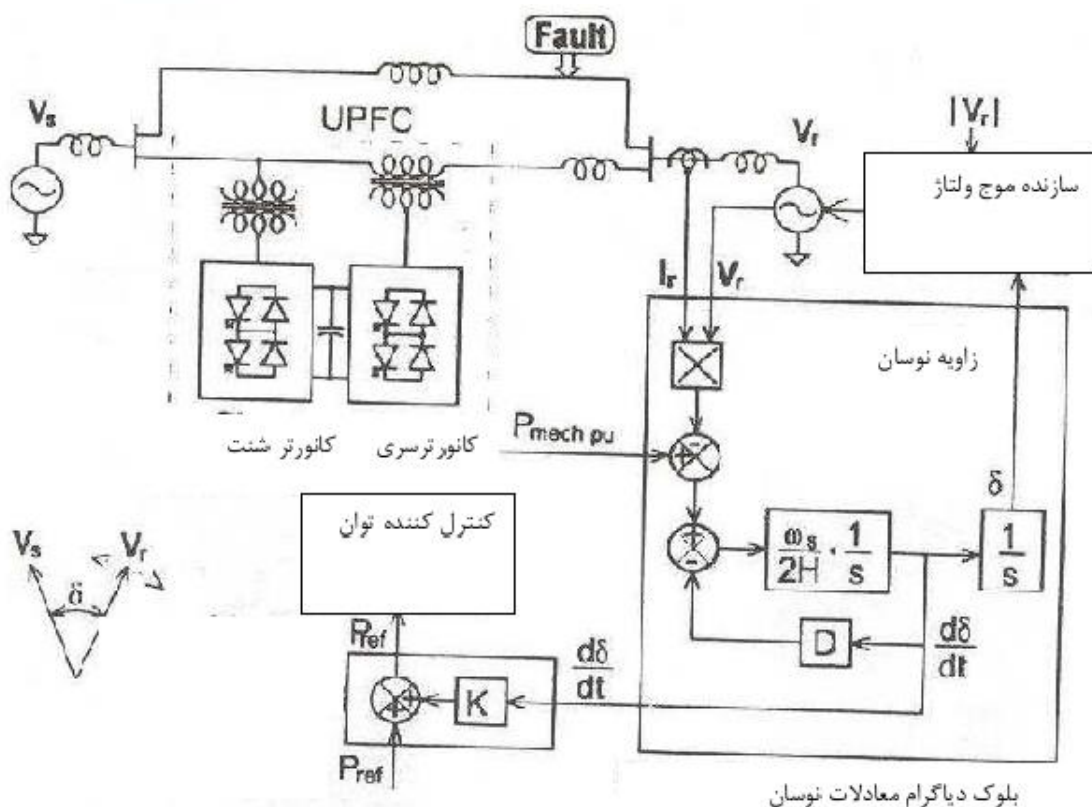
Ksh و Kse به ترتیب مربوط به درجه جبران سری و موازی هستند

Ash و ase به ترتیب نسبت تبدیل ترانسفور ماتورهای شنت و سری می باشند

$\delta$  و  $\theta$  با پسوندهای مختلف مربوط به ترتیب زاویه ولتاژ شین های مختلف جریان های خطوط هستند

P و Q به ترتیب توان اکتیو و راکتیو هستند.

مدل کلاسیک ژنراتور و سیستم باحضور UPFC در شکل ۲-۵ نشان داده شده است که در آن بلوک دیاگرام معادله نوسان جهت میراسازی نیز در نظر گرفته شده است. در واقع قسمت مربوط به کانورترها مشابه شکل ۲-۴ بوده و در سمت راست شکل ۲-۵ بلوک دیاگرام معادله نوسان مشخص شده است. خطائی در نقطه شان داده شده (یک فاز به زمین از طریق امپدانس زیاد خطا) شرایط دینامیکی ایجاد میکند. این خطا پس از چند سیکل برطرف میشود.



شکل ۲-۵ مدل کلاسیک ژنراتور همراه با UPFC

در شکل ۲-۵ برای شرایط عادی  $0/75pu$  شارش توان از خط دارای UPFC عبور میکند و  $0/25pu$  باقی مانده از خط موازی آن انتقال می یابد. پس از خطا UPFC طوری عمل میکند که کل  $1pu$  توان از خط متعلق

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

به آن عبور کند و از خط خطا دارد دیگر توانی عبور نکند. با توجه به شکل ۲-۵ معادلات دینامیکی ژنراتور (مدل کلاسیک) و UPFC باهم ترکیب میشوند. با گرفتن نمونه ولتاژ و جریان از شینی که ژنراتور به آن وصل است توان الکتریکی قابل محاسبه است. اختلاف این توان با توان مکانیکی  $P_{mec}$ ، تعیین کننده شتاب رتور ژنراتور و نوسان می باشد. این نوسان توسط توان الکتریکی قابل کنترل هستند. از آنجا که UPFC میتواند توان اکتیو خط رباترزیق ولتاژ قابل تنظیم کنترل نماید. بنابراین میتواند در کنترل نوسانات نیز سهیم باشد. پس برای مدل دینامیکی UPFC، باید معادلات دینامیکی ماشین سنکرون و UPFC باهم ترکیب شوند که این معادلات در بخش ۴-۲-۳ به طور کامل بیان شده است و از ترکیب این معادلات مدل هفرون فیلیپس همراه با UPFC بدست می آید.

فصل ۳ جایابی UPFC با در نظر گرفتن معیارهای استاتیکی و دینامیکی

### 1-3- مقدمه

منظور از معیارهای استاتیکی معیارهایی می باشد که در حالت ماندگار سیستم در نظر گرفته می شود که از جمله این معیارها می توان کاهش هزینه، کاهش تلفات، افزایش ظرفیت بار، مدیریت تراکم و ... را نام برد. ادوات FACTS می توانند بر روی هر کدام از این معیارها تاثیر گذار باشند. کنترل کننده پخش توان یکپارچه (UPFC) با کنترل توان اکتیو و راکتیو در خط می تواند نقش مثبتی بر روی هر کدام از این معیارها داشته باشد. نکته قابل توجه آن است که مکان مناسب UPFC برای بیشتر موثر بودن آن در سیستم خیلی مهم است. در این فصل روش هایی بیان شده است که برای مشخص شدن مکان UPFC تا کنون بکار رفته اند. از آنجا که سیستم در حالت استاتیکی فرض شده، بنابراین برای تمام این روش ها مدل استاتیکی UPFC استفاده شده است. به علت غیر خطی بودن جایابی، استفاده از الگوریتم های بهینه سازی قوی از جمله الگوریتم ژنتیک در این روشها مرسوم می باشد. در هر کدام از روش های جایابی یک تابع هدف معرفی شده و با توجه به مسئله، بهینه سازی صورت گرفته و مکان و پارامترهای مناسب UPFC مشخص شده اند.

۳-۲- جایابی UPFC به منظور کاهش هزینه

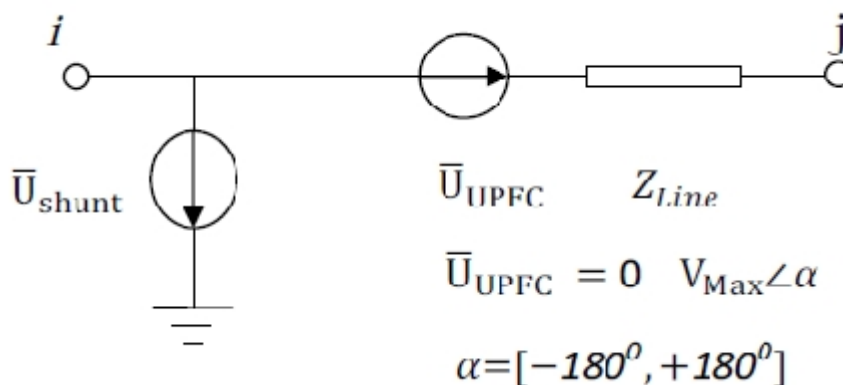
۳-۲-۱- مدل در نظر گرفته شده برای UPFC

در این روش، مکان مناسب و پارامترهای UPFC با در نظر گرفتن مینیمم شدن هزینه کامل سیستم بدست می آید. مدلی که برای UPFC در نظر گرفته میشود به صورت شکل ۳-۱ است. همانطور که مشخص است UPFC دارای دوشاخه سری و موازی است که در شاخه ی سری ولتاژ بادامنه و زاویه قابل کنترل و در شاخه موازی جریان راکتیو قابل تزریق میکند. از آنجا که سه کمیت ولتاژ، امپدانس خط و زاویه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ولتاژ توسط UPFC کنترل میشود و توان انتقالی بین دوشین تابعی از این سه کمیت می باشد. بنابراین UPFC با تغییر این پارامترها میتواند توان انتقالی را کنترل کند که توان انتقالی به صورت زیر است:

$$P_{ij} = \frac{V_i V_j}{X_{ij}} (\delta_i - \delta_j) \quad (1-3)$$



شکل ۱-۳ مدل UPFC

۳-۲-۲- هزینه تولید

در سیستم های قدرت هزینه تولید براساس توان اکتیو تولیدی ژنراتورها بیان میشود که به صورت تابع درجه دوم از توان اکتیو ژنراتور نوشته میشود:

$$G_2(P_G) = a_1 + a_1 P_G + a_2 P_G^2 \quad (2-3)$$

که  $P_G$  توان تولیدی ژنراتور برحسب (MW) می باشد و  $a_0, a_1, a_2$  ضرایب ثابت هستند.

۳-۲-۳- هزینه UPFC

برای ادوات FACTS یک تابع هزینه برحسب مگاوات آمپر تولیدی آنها تعریف میشود که برای UPFC به صورت زیر می باشد:

$$C_{1UPFC} = 0.0003S^2 - 0.2691S + 188.22 \quad (3-3)$$

که S محدود عملکرد UPFC برحسب Mvar است.

۳-۲-۴- تابع هدف



## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از آنجا که هدف جایابی، کاهش هزینه کل سیستم است. بنابراین مجموع هزینه تولید و UPFC باید مینیمم شود پس تابع هدف به صورت زیر تعریف میشود:

$$C_{Total} = C_1(f) + (F)(4-3)$$

$$E(f, g) = 0$$

$$B_1(f) < b_1, B_2(g) < b_2$$

که  $C_1(f)$  و  $(f)$  به ترتیب تابع هزینه تولید ژنراتور و تابع هزینه UPFC می باشند.  $E(f, g)$  قید مساوی مربوط به معادلات پخش توان است.  $B_1(f)$  و  $B_2(g)$  به ترتیب محدودیت های UPFC و ژنراتور (قیود نامساوی) هستند. برای حل این مسئله غیرخطی (مینیمم شدن تابع هدف و مشخص شدن مکان و پارامترهای UPFC) باید از الگوریتم های بهینه سازی قوی استفاده کرد.

۳-۲-۵- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجوی قوی است که پاسخ های ممکن مختلف را بررسی و بهترین آنها را انتخاب میکند. الگوریتم ژنتیک بایک جمعیت اولیه به صورت تصادفی شروع میکند و با عملگرهای تقاطع و جهش آنقدر تکرار میشود تا بهترین پاسخ را پیدا کند. این الگوریتم روشی قوی برای حل مسائل غیرخطی پیچیده است و به راحتی در تحلیل سیستم های قدرت به کار میرود. در روشی که در زیر بیان میشود با استفاده از این الگوریتم مکان مناسب UPFC و پارامترهای آن مشخص شده است. شکل ۳-۲ فلوجارت الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن مکان مناسب ادوات FACTS را نشان میدهد.

۳-۳- جایابی UPFC به منظور کاهش تلفات

۳-۳-۱- مدل در نظر گرفته شده برای UPFC به ترتیب مولفه جریان راکتیو و اکتیو می باشند. واضح است که زمانی UPFC در سیستم بین دوشین قرار گیرد پارامترهای قابل کنترل آن (ولتاژ، زاویه و جریان) در معادلات پخش توان ظاهر میشوند.

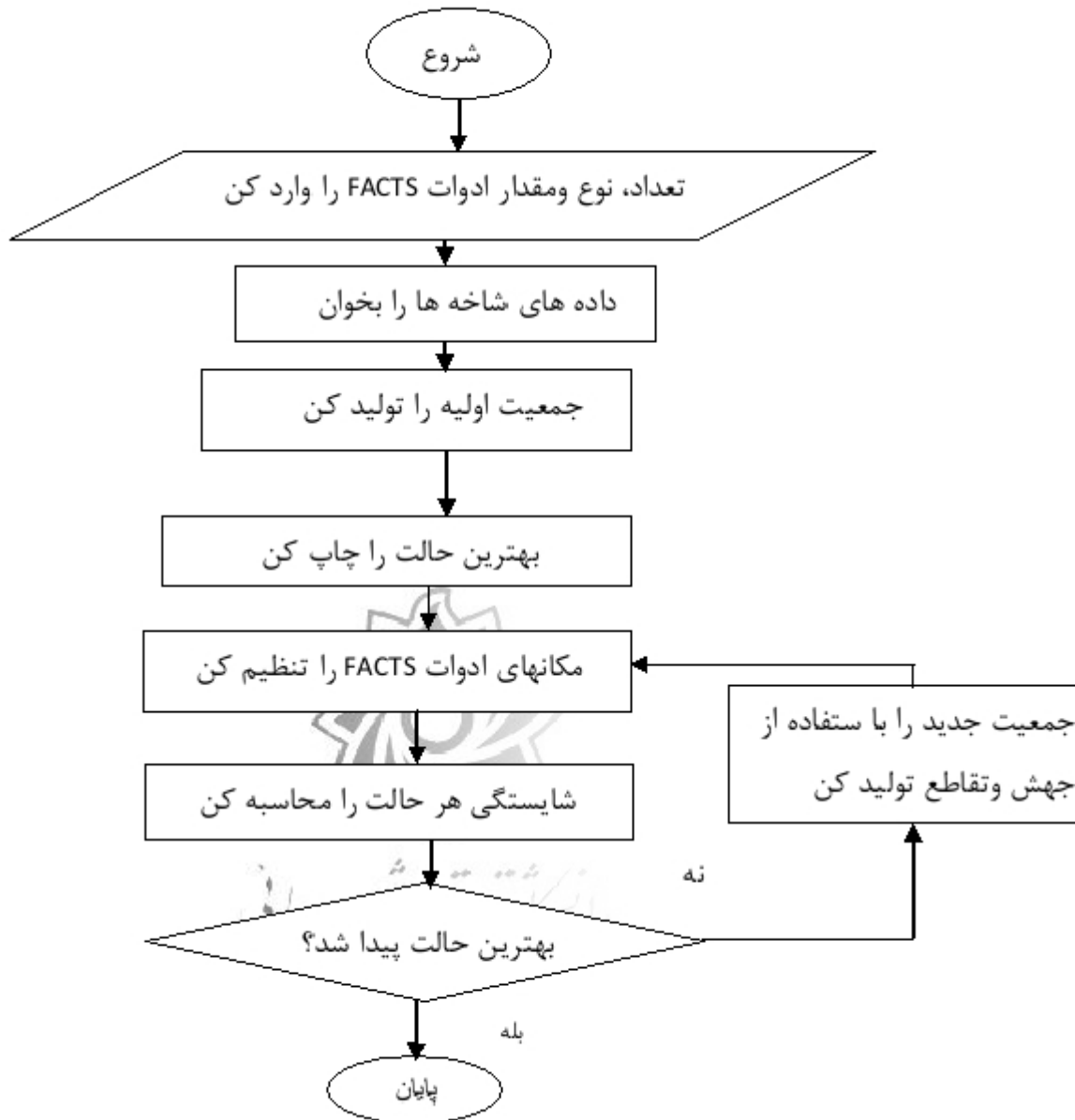
۳-۳-۲- ضریب بارپذیری

از آنجا که در این روش هدف جایابی UPFC برای افزایش ظرفیت بارپذیری سیستم می باشد در واقع باید UPFC در مکانی قرار گیرد که بیشترین تاثیر در کاهش تلفات را داشته باشد. بنابراین ضریب بارپذیری  $\mu$  به صورت زیر تعریف میشود:



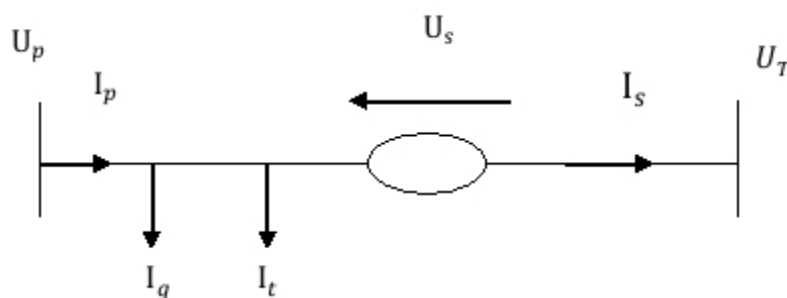
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\mu \in \left[ 1, \frac{TG - P_{Loos}}{TL} \right] \quad (5-3)$$



شکل ۳-۲ فلوجارت حل مسئله به کمک الگوریتم ژنتیک

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۳-۳ مدار معادل UPFC

TG توان اکتیو تولیدی کل، TL توان مورد نیاز کل بار و PLOSS تلفات کل شبکه می باشند تولید خروجی سیستم باید زیاد باشد پس ضریب بارپذیری باید ماکزیمم شود.

۳-۳-۳- تابع هدف

برای اینکه UPFC در مکان مناسب قرارگیرد و پارامترهای آن مشخص شود تابع هدف همان افزایش ضریب بارپذیری به ورت زیر تعریف میشود:

$$\text{Maximise } \mu \in \left[ 1, \frac{TG - P_{LOSS}}{TL} \right] \quad (۶-۳)$$

$$P_{Gkmin} \leq P_{GK} \leq P_{GKmax} \quad k = 1, 2, \dots, N_G$$

$$Q_{Gkmin} \leq Q_{GK} \leq Q_{GKmax} \quad k = 1, 2, \dots, N_G$$

$$U_{lmin} \leq U_l \leq U_{Gmax} \quad k = 1, 2, \dots, N_G$$

محدودیت های پارامترهای UPFC به صورت زیر می باشد:

$$U_{Tn min} \leq U_{Tn} \leq U_{Tn max} \quad (۷-۳)$$

$$0 \leq \phi_{Tn} \leq 2\pi$$

$$I_{qn max} \leq I_{qn} \leq I_{qn min}$$

$$n = 1, 2, \dots, N_U$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

که  $P_{m \max}$  محدودیت های ظرفیت خطوط انتقال،  $N_G$  تعداد کل ژنراتورهای سیستم قدرت،  $N$  تعداد کل شین های سیستم قدرت،  $M$  تعداد کل خطوط انتقال و  $N_U$  تعداد کل UPFC هایی است که باید نصب شوند. برای بهینه سازی این مسئله وبدست آوردن مکان و پارامترهای مناسب UPFC از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که ساختار کرموزم آن به صورت شکل ۳-۴ می باشد. جزئیات کامل این روش در مرجع آمده است.

$\rho$	$L_1$	...	$L_{NU}$	$U_{T1}$	...	$U_{TNU}$	$\emptyset_{T1}$	...	$\emptyset_{TNU}$	$I_{q1}$	...	$I_{qNU}$
--------	-------	-----	----------	----------	-----	-----------	------------------	-----	-------------------	----------	-----	-----------

شکل ۳-۴ ساختار کرموزم

۳-۳-۴- نتایج شبیه سازی بر روی سیستم ۳۰ شینه استاندارد

برای نشان دادن تاثیر این روش، شبیه سازی بر روی سیستم استاندارد ۳۰ شینه IEEE انجام شده است. پارامترها و اطلاعات عددی سیستم، همچنین محدوده پارامترهای UPFC در مرجع آورده شده است. جدول ۳-۱ نتایج بدست آمده از این روش را در چند حالت مختلف نشان میدهد. با توجه به جدول ۳-۱ رابطه بین ضریب بارپذیری سیستم و تعداد UPFC ها مشاهده میشود. با قرار گرفتن UPFC در خطوط ضریب بارپذیری افزایش پیدا میکند. به عنوان مثال برای حالت ۳ که تعداد UPFC ها برابر دو است ضریب بارپذیری ۱,۳۸۱۴ بدست آمده و مکان مناسب UPFC ها در خطوط ۲۱-۲۲ و ۱۹-۲۰ و محدوده پارامترهای هر کدام از آنها مشخص شده است.

case	The given number of UPFCs	Loading factor	Branches embedded with UPFCs	$U_T$ (p.u)	$\emptyset_T$ (deg)	$I_q$	$U_{imax}$ (p.u)	$U_{imin}$ (p.u)
1	N/A	1	-	-	-	-	9-1.058	30-1.00
2	1	1.3814	10-17	0.0227	309.79	0.080	9-1.048	30-0.97
			9-10	0.0219	47.389	0.015		
3	2	1.3814	21-22	0.0147	173.43	-0.11	12-1.04	30-0.96
			19-20	0.1045	143.525	0.10		
4	3	1.3814	10-22	0.0752	85.671	0.06	19-1.09	30-0.97
			23-24	0.0373	230.314	0.02		
			2-6	0.0901	0.4421	-0.04		

جدول ۳-۱ نتایج و شرایط عملکرد (۳۰ شینه IEEE)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

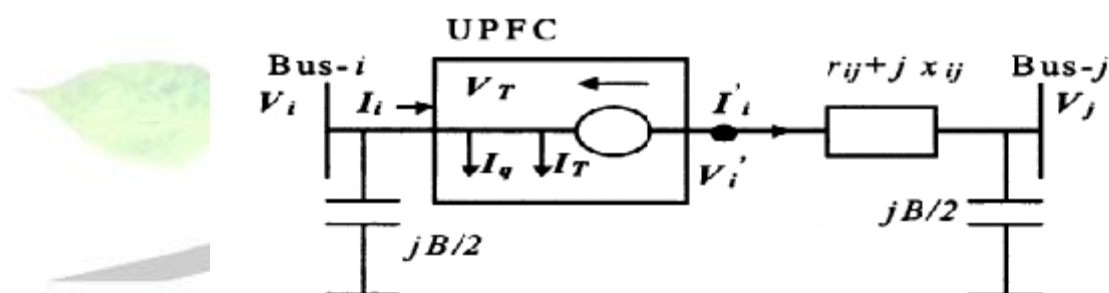
۴-۳- جایابی UPFC به منظور مدیریت تراکم

۴-۳-۱- مدل UPFC

مدار معادل UPFC که در بین دوشین  $i, j$  قرار گرفته در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. UPFC سه پارامتر قابل کنترل به نام دامنه وزاویه ولتاژ تزریقی ( $V_T$  و  $\phi_T$ ) و دامنه جریان ( $I_q$ ) دارد. واضح است که این پارامترها در پخش توان اکتیو و راکتیو موثرند. اگر معادلات پخش توان به صورت زیر نوشته شود این پارامترها در معادلات ظاهر میشوند.

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i \left( \frac{jV_i B}{2} + I_T + I_q + I'_i \right)^* \quad (۸-۳)$$

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i I_{ij}^* = V_i \left( \frac{iV_i B}{2} - I'_j \right)^* \quad (۹-۳)$$



شکل ۳-۵ مدار معادل UPFC

۴-۳-۲- تلفات سیستم

فرمول کامل تلفات سیستم  $N$  شینه از رابطه زیر بدست می آید:

$$P'_{LT} = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N [a_{jk}(P_j P_k + Q_j Q_k) + \beta_{jk}(Q_j P_k - P_j Q_k)] \quad (۱۰-۳)$$

مشاهده میشود  $P_j$  و  $Q_j$  به ترتیب توان اکتیو و راکتیو مربوط به شین  $j$  هستند.  $a_{jk}$  و  $\beta_{jk}$  ضرایب تلفات هستند که به صورت زیر تعریف میشوند:

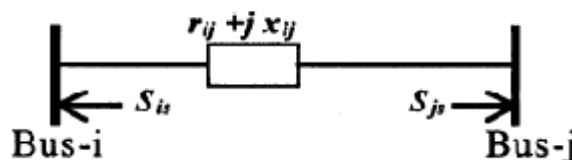
$$a_{jk} = \frac{r_{jk}}{V_j V_k} \cos(\delta_j - \delta_k), \beta_{jk} = \frac{r_{jk}}{V_j V_k} \sin(\delta_j - \delta_k) \quad (۱۱-۳)$$

که  $r_{jk}$  قسمت حقیقی عنصر  $k-j$  ام ماتریس  $[Z_{bus}]$  میب اشد. اگر UPFC در یکی از خطوط قرار گیرد تلفات توان حقیقی کل (PLT) با وجود UPFC به صورت زیر نوشته میشود:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$P_{LT} = P'_{LT} - (P_{is} + P_{js}) \quad (۱۲-۳)$$

مشاهده میشود که UPFC با تزریق توان در شین  $r$  از تلفات سیستم می کاهد. مدل تزریقی UPFC در شکل ۳-۶ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶ مدل تزریقی UPFC

۳-۴-۳- ضرایب حساسیت تلفات سیستم

همانگونه که در قسمت قبل دیدیم که UPFC با تزریق توان از تلفات سیستم میکاهد اما مکان UPFC در تاثیر بیشتر آن در کاهش تلفات نقش مهمی دارد. براین اساس برای جایی مناسب UPFC، از روش ضرایب حساسیت تلفات استفاده شده است. ضرایب حساسیت تلفات حقیقی کل سیستم نسبت به پارامترهای کنترلی UPFC، هرگاه UPFC در خط  $k$  قرار گیرد، به صورت زیر تعریف میشوند:

$$b_1^k = \left. \frac{\partial P_{LT}}{\partial V_r} \right|_{V_T=0} \quad \text{حساسیت تلفات کل نسبت به } V_T$$

$$b_2^k = \left. \frac{\partial P_{LT}}{V_T \partial \theta_T} \right|_{\theta_T=0} \quad \text{حساسیت تلفات کل نسبت به } \theta_T$$

$$b_3^k = \left. \frac{\partial P_{LT}}{\partial I_q} \right|_{I_q=0} \quad \text{حساسیت تلفات کل نسبت به } I_q$$

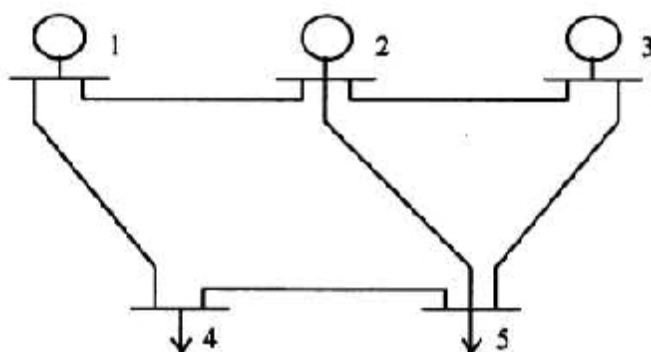
واضح است که بیشترین حساسیت تلفات نسبت به پارامترهای UPFC (بیشترین مقدار ضرایب حساسیت) نشان دهنده بهترین مکان UPFC است که این ضرایب بعد از حل پخش بار بدست می آیند. جزئیات کاملتر این روش در مرجع آمده است.

۳-۴-۴- نتایج شبیه سازی

بروی سیستم ۵ شینه شکل ۳-۷ شبیه سازی انجام گرفته است. نتایج شبیه سازی در جدول ۳-۲ آمده است. حساسیت ها برای پارامترهای کنترلی UPFC نصب شده در هر خط محاسبه شده است. حساسیت های بزرگ  $b_1^k, b_2^k, b_3^k$  در جدول که پررنگ مشخص شده اند. نشان دهنده مکان مناسب UPFC هستند. به

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

عنوان مثال در خط ۴،  $b_1^k$  بیشترین مقدار را دارد یعنی برای کنترل دامنه ولتاژ  $V_T$  توسط UPFC و کاهش تلفات، خط ۴ مناسب ترین مکان نسبت به خطوط دیگر است.



شکل ۳-۷ سیستم ۵ شینه

NO	i-j	$b_1^k$	$b_2^k$	$b_3^k$
1	2-1	0.0016	0.2947	-0.6824
2	2-5	0.0498	<b>0.5114</b>	-0.6824
3	3-5	0.1073	0.3183	<b>-0.6890</b>
4	5-4	<b>-0.1526</b>	0.4987	-0.6670
5	1-4	-0.1220	0.4223	-0.6693
6	3-2	-0.1100	-0.0167	<b>-0.6890</b>

جدول ۳-۲ حساسیت های سیستم ۵ شینه

۳-۵- جایابی UPFC بادر نظر گرفتن معیار دینامیکی

۳-۵-۱- نوسانات سیستم قدرت

کاهش گشتاور میرایی در شبکه های قدرت مسئله سازترین نوع ناپایداری شده است. با کاهش میرایی، نوسانات الکترومکانیکی به وجود آمده که پس اختلا بین روتورهای دوار ژنراتورها، سریع میراننده و میتوانند حتی

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در دامنه بزرگ شوند. در این حالت های گذرا باعث ایجاد نوسانات توان و فرکانس شده که آنها نیز بالطبع میرایی ضعیف یا کاملا نامیرا هستند. این نوسانات به طور کلی به عنوان نوسانات با فرکانس کم شبکه مشخص میشوند. نوسان های 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 و بهره برداری از شبکه قطع گشته که این به نوبه خود باعث تحریک بیشتر نوسانات شبکه میشود. امکان این وجود دارد که بخش های بزرگ (ناحیه) شبکه از هم جدا شوند. بدنبال آن امکان قطع یا خاموشی مصرف کننده ها به تبعیت از افت فرکانس شبکه وجود دارد.

### ۳-۵-۲- نوسانات زر سنکرون

در تحلیل عملکرد دینامیکی سیستم قدرت تاکنون فرض شده است که روتور توربین-ژنراتور از یک جرم واحد تشکیل شده است. چنین نمایشی، نوسان کل روتور توربین-ژنراتور را نسبت به سایر ژنراتور ها در نظر میگیرند. فرکانس این مدل نوسانی معمولاً در گستره ۰/۲ تا ۲ هرتز است.

در واقع، روتور توربین-ژنراتور بخار، ساختار بسیار پیچیده مکانیکی شامل چندین جرم غالب (از قبیل روتورهای قسمت های توربین، روتور ژنراتور، تزویج ها و روتور تحریک کننده)، که با محورهای با سختی مدود به هم وصل شده اند، می باشند. بنابراین هنگامی که ژنراتور دچار انحراف میشود، نوسان های پیچشی بین ناحیه های مختلف روتور توربین-ژنراتور پدید می آید. در حالت خاص ممکن است نوسان های پیچشی در گستره زیر سنکرون، با سیستم الکتریکی بشدت تداخل کنند، مسائل ویژه این نوع نوسان، شامل موارد زیر است:

#### الف) تداخل پیچشی با کنترل های قدرت

ب) تشدید زیر سنکرون با خطوط انتقالی که به صورت سری با خازن جبران شده اند

تحمل خستگی پیچشی ناشی از کلید زنی

### ۳-۵-۳- نوسانات محلی

در سیستم های قدرت بزرگ، ممکن است از نظر ماهوی مسائل پایداری سیگنال کوچک محلی یا جامع باشند. مسائل محلی قسمت کوچکی از سیستم را شامل میشود که ممکن است مربوط به نوسان های زاویه روتور یک ژنراتور منفر و یا یک دستگاه منفر در مقابل بقیه سیستم قدرت باشد.

چنین نوسان هایی، نوسان های مد محلی واحد نامیده میشود. مسائل پایداری چنین نوسان هایی مشابه مسائل سیستمی تک ماشینه متصل به شین بینهایت است. همچنین ممکن است مسائل محلی، مربوط به



## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نوسان های بین روتورهای چند ژنراتور نزدیک به هم باشند. چنین نوسان های رانوسان های مد بین ماشینی یابین واحدی می نامند. معمولاً، نوسان های مدمحلی واحد و بین واحدی فرکانسی در بازه ۰/۷ تا ۲/۰ هرتز دارند.

تحلیل مسائل پایداری سیگنال کوچک محلی مستلزم نمایش مشروح قسمتی کوچکی از سیستم به هم پیوسته قدرت است. نمایش سایر قسمت ها رامیتوان به طور مناسبی وبااستفاده ازمدل های ساده ومعادل های سیستمی ساده کرد ومعمولاً میتوان سیستم کامل رابه طور کافی به وسیله مدلی دارای حداکثر چند صد حالت نمایش داد.

### ۳-۵-۴- نوسانات بین ناحیه ای

مسائل پایداری سیگنال کوچک جامع ناشی از اثر متقابل بین گروه های بزرگی از ژنراتورهاست که دارای عواقب گسترده ای می باشد وشامل نوسان های گروهی از ژنراتورهای یک ناحیه است که بر خلاف گروه دیگری از ژنراتورها نوسان میکنند. چنین نوسان های مد بین ناحیه ای می نامند.

سیستم های به هم پیوسته بزرگ معمولاً دارای دونوع متمایز از نوسان های بین ناحیه ای هستند:

(الف) مدفرکانسی بسیار پائین که دربرگیرنده کلیه ژنراتورها در سیستم است. سیستم اساساً به دو قسمت تقسیم شده است، که ژنراتورها دریک قسمت باپیچش برخلاف ماشین ها درقسمت دیگر عمل میکند. فرکانس این مدنوسانی در حدود ۰/۱ تا ۰/۳ هرتز است.

(ب) مدهای فرکانسی بالاتر که دربرگیرنده زیرگروه های پیچشی برخلاف یکدیگر است. فرکانس این نوسان ها معمولاً در بازه ۰/۴ تا ۰/۷ هرتز قرار دارد. که در این پایان نامه این نوع نوسانات جهت میرایی در نظر گرفته شده اند.

### ۳-۶-۳- جایابی UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت به کمک شاخص کنترل پذیری

#### ۳-۶-۱- مقادیر ویژه

یکی از روش هایی که تاکنون برای جایابی ادوات FACTS به منظور میرایی به کاررفته است. تحلیل مقادیر ویژه، بردارهای ویژه، کنترل پذیری ورویت پذیری می باشد. مقادیر ویژه ماتریس مقادیری از پارمتراسکالر  $\lambda$  است که به ازای آنها برای معادله زیر پاسخ های غیر جزئی (به عبارتی، غیر از  $\varphi = 0$ ) وجود داشته باشد:

$$A\varphi = \varphi\lambda \quad (12-3)$$



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که در آن:

$A$  ماتریس مربع  $n \times n$  (که برای سیستم های فیزیکی مانند سیستم قدرت، حقیقی است) و  $\varphi$  بردار  $1 \times n$  است.

$$(A - \lambda)I_{\varphi} = 0 \quad (13-3)$$

و برای داشتن پاسخ غیر جزئی باید داشته باشیم:

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (14-3)$$

بسط دترمینان فوق، معادله مشخصه رامیدهد و  $n$  پاسخ  $\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ ، مقادیر ویژه  $A$  هستند. مقادیر ویژه ممکن است حقیقی یا مختلط باشند. اگر  $A$  حقیقی باشد، مقادیر ویژه مختلط همواره به صورت جفت های مزدوج رخ خواهند داد. مشخصه وابستگی زمان هر مد متناظر با مقدار ویژه  $\lambda_1$  به صورت  $e^{\lambda t}$  داده میشود. بنابراین میتوان پایداری سیستم را به کمک مقادیر ویژه به صورت زیر تعیین کرد:

الف) مقدار ویژه حقیقی متناظر با مد غیر نوسانی است. مقدار ویژه حقیقی، منفی نشان دهنده مد کاهشی است که هرچه اندازه آن بزرگتر باشد، کاهش سریعتر خواهد بود. مقدار ویژه حقیقی مثبت، نشان دهنده ناپایداری غیر نوسانی است.

ب) مقادیر ویژه مختلط، به صورت جفت های مزدوج رخ میدهند و هر جفت متناظر با یک مد نوسانی است. مولفه حقیقی مقادیر ویژه، میرایی، و مولفه مختلط آن، فرکانس نوسان رامیدهد. قسمت حقیقی منفی نشان دهنده نوسان میراشده و قسمت حقیقی مثبت نشان دهنده نوسان با دامنه افزایشی می باشد. برای یک جفت مختلط مقادیر ویژه:

$$\lambda = \sigma \pm j\omega \quad (15-3)$$

فرکانس نوسان بر حسب هرتز (HZ) به صورت زیر داده میشود:

$$f = \omega / 2\pi \quad (16-4)$$

نسبت میرایی به صورت زیر داده میشود:

$$\xi = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}} \quad (17-3)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نسبت میرایی تعیین کننده نرخ کاهش دامنه نوسان است. ثابت زمانی کاهش دامنه  $\frac{1}{|\sigma|}$  می باشد. به عبارت دیگر، دامنه به اندازه  $1/e$  یا ۳۷٪ مقدار دامنه اولیه در  $\frac{1}{|\sigma|}$  ثانیه کاهش پیدا میکند.

۳-۶-۲- بردارهای ویژه

برای هر مقدار ویژه  $\lambda_i$  بردار  $\phi_i$  استونی  $\phi_i$  را که معادله (۳-۱۲) را برآورده سازد، بردار ویژه راست  $A$  متناظر با مقدار ویژه  $\lambda_i$  می نامند.

به طور مشابه بردار  $\phi_i$  ردیفی  $\phi_i$  را که معادله زیر را برآورد سازد، بردار ویژه چپ متناظر با مقدار ویژه  $\lambda_i$  نامیده میشود.

$$\phi_i A = \lambda_i \phi_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3-18)$$

بردارهای ویژه چپ و راست متناظر با مقادیر ویژه مختلف، متعامد هستند.

۳-۶-۳- کنترل پذیری

پاسخ سیستم در حضور ورودی با معادلات زیر بیان میشود:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{X} &= A \Delta X + B \Delta u \\ \Delta y &= C \Delta X + D \Delta u \end{aligned} \quad (3-19)$$

که میتوان آنها را بر حسب متغیرهای تبدیل شده  $Z$  به شکل زیر نوشت:

$$\phi \dot{Z} = A \phi Z + B \Delta u \quad (3-20)$$

$$\Delta y = C \phi Z + D \Delta u$$

بنابراین معادلات حالت را میتوان به صورت نرمال به شکل زیر نوشت:

$$\dot{Z} = \Delta z + B' \Delta u \quad (3-21)$$

$$\Delta y = C' Z + D \Delta u$$

که در آن:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$B' = \emptyset^{-1}B \quad (22-3)$$

$$C' = C\emptyset \quad (23-3)$$

اگر  $\lambda$  امین ردیف ماتریس  $B'$  صفر باشد، ورودی ها هیچ تاثیری بر امین مدندارند. در این چنین حالتی، امین مدراکنترل ناپذیر میگویند و مشاهده میکنیم که امین ستون ماتریس  $C'$  تعیین میکند که آیا متغیر  $Z$  سهمی در تشکیل خروجی ها دارد یا خیر. اگر ستون صفر باشد، مدمتناظر رویت ناپذیر می باشد. این نکته توضیح میدهد که چرا در بعضی اوقات، مدهای بامیرایی کم به کمک مشاهده پاسخ گذرای چند کمیت اندازه گیری شده، آشکار نمیشوند.

ماتریس  $B' = \emptyset^{-1}B (n \times r)$  ماتریس کنترل پذیری مد، و ماتریس  $c' = c\Phi (m \times n)$  ماتریس رویت پذیری مد نامیده میشوند.

### ۳-۶-۴- شاخص کنترل پذیری برای UPFC

الف) شاخه سری

بافرض اینکه UPFC در خط  $i$ ، بین دوشین  $i$  قرار گیرد، ولتژ سری که توسط UPFC در خط سری تزریق میشود به صورت زیر است:

$$\bar{V}_{se} = V_{seq} + jV_{sep} \quad (24-3)$$

که در آن  $V_{sep}$  تاثیر بیشتری روی توان اکتیو خط  $i$  و  $V_{seq}$  بر روی توان راکتیو تاثیر دارد. بنابراین  $V_{sep}$  میتواند میرایی نوسانات بین ناحیه ای را بهبود بخشد. پس با وجود  $V_{sep}$  به عنوان متغیر کنترلی UPFC، توان انتقالی در خط به صورت زیر نوشته میشود:

$$P_{ij} = V_i V_j b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) + V_{sep} V_i b_{ij} \quad (25-3)$$

توان حقیقی در خط بدون UPFC، برابر است با:

$$P'_{ij} = V_i V_j b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) \quad (26-3)$$

بنابراین توان تزریقی اضافی توسط UPFC ( $P_{ij-upfc}$ ) برابر است با:

$$P_{ij-upfc} = V_{sep} V_i b_{ij} \quad (27-3)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

که با خطی کردن معادله ۳-۲۷ و با فرض مقدار اولیه صفر برای  $V_{sep}$ :

$$\Delta P_{ij-upfc} = \Delta V_{sep} V_i b_{ij} \quad (28-3)$$

که اگر معادله ۳-۲۸ در معادلات حالت سیستم ترکیب شود:

$$C\Delta X + D\Delta U + G\Delta V_{sep} = 0 \quad (29-3)$$

که ماتریس  $G$  تغییرات قسمتی از معادلات توازن توان در تمام شین ها نسبت به ولتاژ تزریقی UPFC است. در ابتدا فرض میشود که UPFC در تمام خطوط قرار گرفته است. مرتبه ماتریس  $G$ ،  $(2m + 2n) \times$  است. که  $m$  و  $n$  به ترتیب تعداد ژنراتورها و تعداد شین ها می باشند و  $n$  تعداد خطوط است. که با ترکیب معادله ۴-۲۷ با معادله ۴-۱۸ میتوان نوشت:

$$\Delta \dot{X} = (A - BD^{-1}C)\Delta X + (-BD^{-1}G)\Delta V_{sep} \quad (30-3)$$

که این معادله را میتوان به صورت زیر ساده تر نوشت:

$$\Delta \dot{X} = A'\Delta X + G'\Delta V_{sep} \quad (31-3)$$

که شاخص کنترل پذیری UPFC برای شاخه سری که در خط  $A$  قرار گرفته است، نسبت به مد  $k$  ام به صورت زیر تعریف میشود:

$$GI_I^{series} = V_K^T G'_I \quad (32-3)$$

که  $V$  بردار ویژه چپ ماتریس  $A'$  نسبت به مد  $k$  ام می باشد.

ب) شاخه موازی

از آنجا که UPFC یک وسیله سری-موازی است، انتخاب شینی که مبدل شنت UPFC باید به آن وصل شود نیز مهم است. اگر شاخه موازی UPFC جریان راکتیو  $I_{qi}$  در شین  $A$  تزریق کند، توان راکتیو تزریقی به شین  $A$  به صورت زیر نوشته میشود:

$$Q_i = I_{qi} V_i \quad (33-3)$$

با فرض شرایط اولیه صفر برای و خطی سازی (۳-۳۳):

$$\Delta Q_i = V_i \Delta I_{qi} \quad (34-3)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

و ترکیب با معادله حالت میتوان نوشت:

$$G\Delta X + D\Delta U + H\Delta I_q = 0 \quad (35-3)$$

که  $H$  ماتریس تغییرات قسمت هایی از معادلات توازن توان نسبت به جریان راکتیو تزریقی شاخه موازی UPFC در تمام شین ها می باشد. که مرتبه ماتریس  $H$ ،  $(n) \times (2m \times 2n)$  است. با ترکیب معادله (۳۵-۳) در معادله (۳-۱۹).

$$\Delta \dot{X} = (A - BD^{-1}C)\Delta x + (-BD^{-1}G)\Delta I_q \quad (36-3)$$

و میتوان معادله (۳۶-۳) را به صورت زیر ساده تر نوشت:

$$\Delta \dot{X} = A'\Delta x + H'\Delta I_q \quad (37-3)$$

در نهایت شاخص کنترل پذیری برای شاخه موازی UPFC که به شین  $i$  ام وصل شده است، نسبت به مد  $K$  ام، میتواند به صورت زیر تعریف شود:

$$CI_i = V_K^T H'_i \quad (38-3)$$

که  $V$  بردار ویژه چپ ماتریس  $A'$  نسبت به مد  $K$  ام می باشد.

۳-۶-۵- معیار دینامیکی جایابی UPFC به کمک شاخص کنترل پذیری

کنترل‌های FACTS باید بر اساس بیشترین مقدار شاخص کنترل پذیری نسبت به مد بحرانی جایابی شوند. در این روش فقط نوسانات بین ناحیه ای در نظر گرفته شده اند. مثلاً SVC در شینی باید قرار گیرد که بیشترین مقدار شاخص کنترل پذیری راداشته باشد. برای مکان UPFC، ابتدا کانورتر سری باید در خطی قرار گیرد که بیشترین مقدار شاخص کنترل پذیری راداشته باشد. زیرا کنترل توان اکتیو در خط بیشتر در میرا کردن نوسانات بی ناحیه ای موثر است. بنابراین مکان کانورتر شنت ابتدا یا انتهای خط می باشد. که برای مشخص کردن آن باید ماکزیمم شاخص کنترل پذیری را لحاظ نمود. بنابراین شاخص کنترل پذیری برای تمامی شین  $i$  و خط ها محاسبه میشود و با توجه به بیشترین مقدار آن مکان ادوات FACTS مشخص میشود.

۳-۶-۶- نتایج شبیه سازی

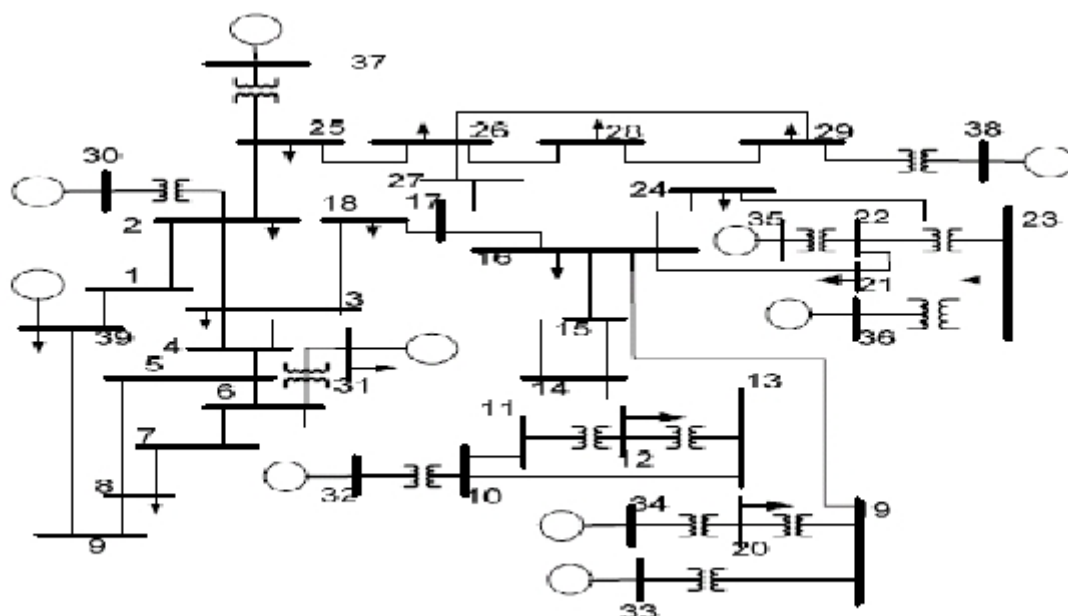
تاثیر این روش بر روی سیستم نیوانگلند (۱۰ ماشین-۳۹ شینه) و سیستم ۱۶ ماشین-۶۸ شینه امتحان شده است و نتایج به صورت زیر آمده است.

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

الف) سیستم نیوانگلند

این سیستم تشکیل شده است از ۱۰ ژنراتور که ژنراتور ۱ به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. دیاگرام تک خطی این سیستم در شکل ۳-۳ آمده است. آنالیز مدال نشان میدهد که دریک مورد، مدبهرانی یک مدببین ناحیه ای است که دارای مقدار ویژه  $0/723 \pm 2/4491$  - و نسبت میرایی  $0/0299$  می باشد که نسبتا پایین است. تحلیل زاویه فاز بردار ویژه راست نشان میدهد که در این مد بین ناحیه ای، ژنراتور G2 در مقابل ژنراتورهای G4, G5 و G6 نوسان داشته است.

شاخص کنترل پذیری مطابق با مدببین ناحیه ای، برای TCSC, SVC و UPFC محاسبه شده و در جدول ۳-۱ آمده است. این شاخص ها نرمالیزه شده اند.



شکل ۳-۸ سیستم ۳۹ شینه نیوانگلند

از جدول ۳-۱ مشاهده میشود که خط بین شینها ۳۶-۳۷، خط بین شینها ۲۱-۲۲ و شین شماره ۲۷ دارای بیشترین شاخص کنترل پذیری به ترتیب برای مکان UPFC, TCSC, SVC هستند. با توجه به جدول ۳-۱ مشاهده میشود، خط ۳۶-۳۷ که بیشترین مقدار شاخص کنترل پذیری برای شاخه سری UPFC را دارد، به عنوان بهترین مکان برای شاخه سری UPFC به حساب می آید. برای مشخص شدن شین ۳۶ یا ۳۷، به عنوان نسبی که کانورتر شنت UPFC به آن وصل شود، شاخص کنترل پذیری برای این دوشین محاسبه شده و این شاخص برای شین ۳۶ و ۳۷ به ترتیب  $0/17$  و  $0/28$  بدست آمده است. بنابراین کانورتر شنت UPFC باید به شین ۳۶ وصل شود. برای نشان دادن تاثیر UPFC, TCSC, SVC روی مدببین ناحیه ای، یک ورودی پله  $1pu$  به ولتاژ مرجع تحریک ژنراتور G2 داده شده است. شکل ۳-۴ نمودار تغییرات سرعت ژنراتور G2 را برای

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ورودی پله، بدون ادوات FACTS و با TCSC, SVC و UPFC نصب شده در مکان مناسب، نشان میدهد. از روی شکل ۳-۴ مشاهده میشود که، پاسخ سیستم برای ورودی پله بدون ادوات FACTS، نوساناتی است. با قرار گرفتن SVC در شین ۲۷، نوسانات بعد از ۱۶ ثانیه میرا میشوند. با جایابی TCSC در خط ۲۱-۲۲، نوسانات بعد از ۱۲ ثانیه میرا میشوند. که پیک اول هر کدام از افزایش پیدا کرده است و فرکانس مد بین ناحیه ای نوسان در حدود ۰,۴ هرتز است. همچنین از روی شکل ۳-۴ مشاهده میشود که، نوسانات با قرار گرفتن UPFC در مکان مناسب مشخص شده، بعد از ۶ ثانیه میرا میشوند، که در مقایسه با SVC و TCSC، بهتر است. اما پیک نوسانات آن، در مقایسه با آنها بیشتر است. مقادیر ویژه بحرانی (در اینجا مد بین ناحیه ای) با وجود ادوات FACTS در جدول ۳-۲ آمده است. از جدول ۳-۲ بهبود میرایی توسط ادوات FACTS قرار گرفته در سیستم، به خوبی مشاهده میشود. بدون ادوات FACTS، قسمت حقیقی مقادیر ویژه، بسیار به محور موهومی نزدیک است.

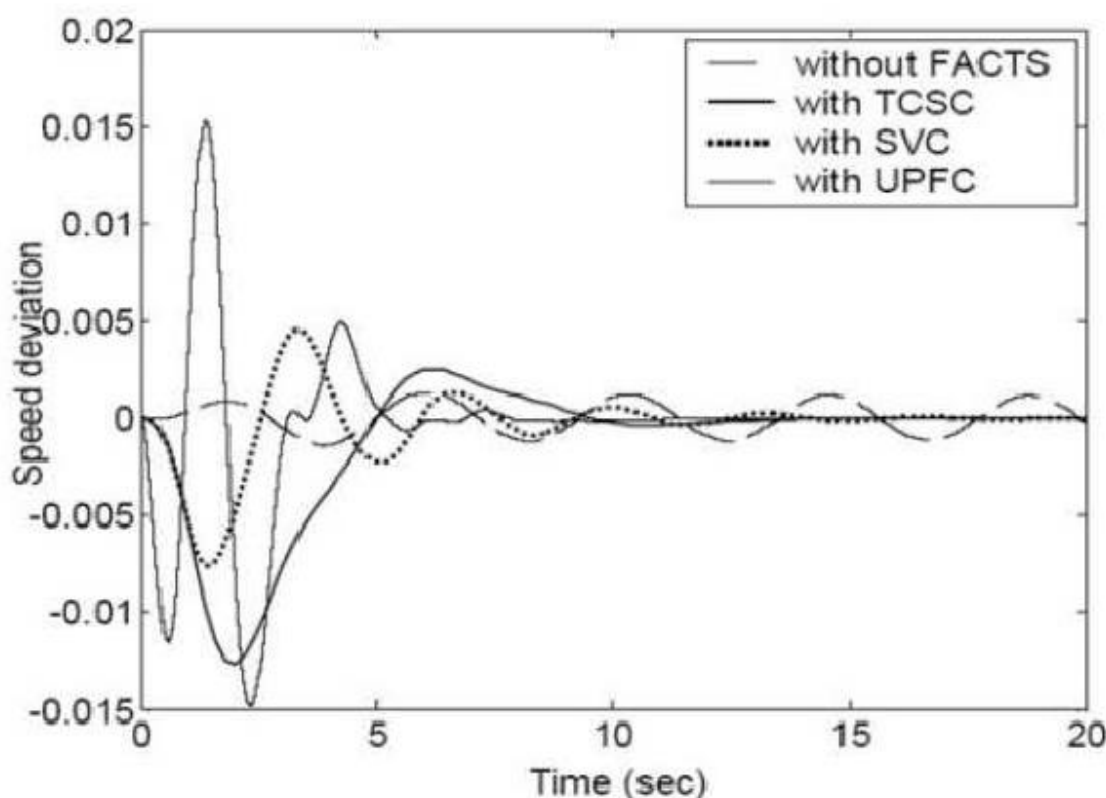
Svc		TCSC		UPFC	
Bus	Index	Line	Index	Line	Index
35	0.130	26-27	0.176	25-26	0.434
24	0.175	23-24	0.190	12-13	0.564
30	0.187	13-14	0.202	12-25	0.578
36	0.188	36-37	0.253	36-39	0.675
13	0.211	26-29	0.342	26-28	0.732
38	0.226	12-13	0.380	26-29	0.786
37	0.251	28-29	0.478	37-27	0.848
28	0.409	26-28	0.545	26-27	0.954
26	0.578	36-39	0.743	28-29	0.957
<b>27</b>	<b>1.000</b>	<b>21-22</b>	<b>1.000</b>	<b>36-37</b>	<b>1.000</b>

جدول ۳-۳ شاخص کنترل پذیری مد بین ناحیه ای برای UPFC, SVC و TCSC (سیستم ۳۹ شینه)

همچنین شکل ۳-۵ تغییرات سرعت ژنراتور G2 راهنگامی که کانورتر سری UPFC، در خط ۳۶-۳۷ قرار گیرد و کانورتر شنت آن در شین های ۳۶ یا ۳۷ قرار گیرد. از روی شکل مشخص است که قرار گرفتن UPFC در شین ۳۶، در میرایی موثرتر است، همان گونه که شاخص کنترل پذیری این واقعیت را نشان میدهد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۳-۹ تغییرات سرعت (pu) ژنراتور G2 با و بدون ادوات FACTS در سیستم ۳۹ شینه

	Eigen value	Damping ratio	Frequency(Hz)
39-Bus system			
Without FACTS	-0.0723+j2.4491	0.0299	0.3899
With SVC	-0.153+j2.011	0.0759	0.3214
With TCSC	-0.200+j1.89	0.105	0.3029
With UPFC	-0.389+j2.10	0.182	0.3405

جدول ۳-۴ مقادیر ویژه مدبین ناحیه ای با و بدون ادوات FACTS در سیستم ۳۹ شینه

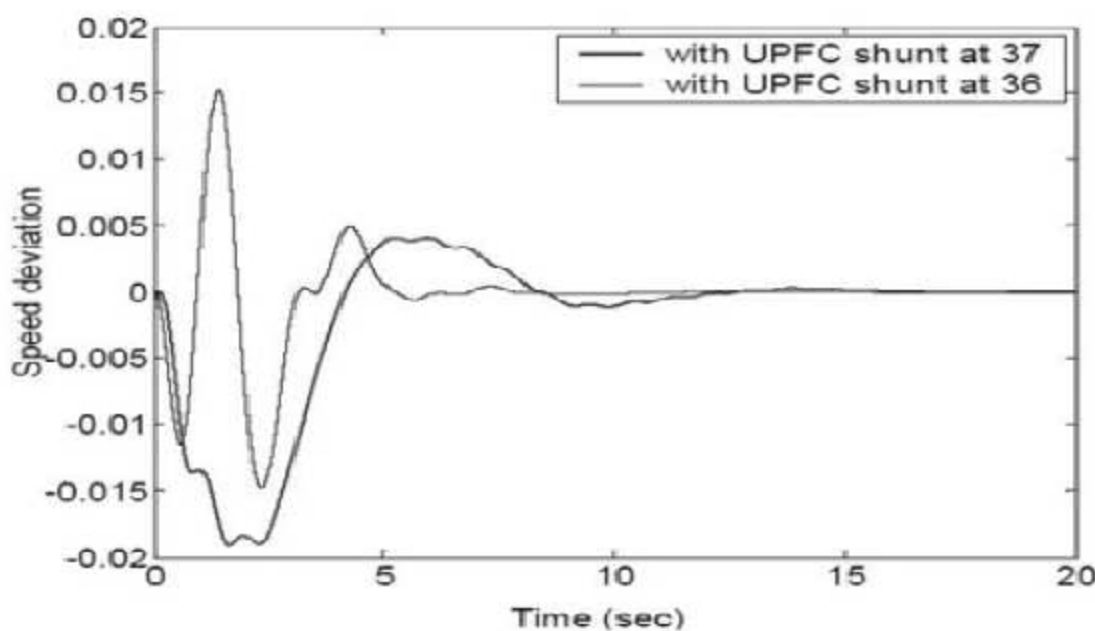
ب) سیستم ۶۸ شینه

بر روی سیستم ۶۸ شینه با ۱۶ ژنراتور نیز این روش آزمایش شده است. تحلیل مدال نشان میدهد که، در یک مورد یک مد بین ناحیه ای بانسبت میرایی که (۰/۰۳۷۸) و مقدار ویژه 0/09942.63 وجود دارد. آنالیز زاویه فاز بردارهای ویژه راست، نشان میدهد که، این مدبین ناحیه ای، مربوط به نوسان ژنراتور G15، در مقابل



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

ژنراتورهای G6، G13 و G9 است. برای مد بحرانی، شاخص کنترل پذیری سه نوع کنترل کننده FACTS محاسبه شده و در جدول ۳-۳ آمده است. از این جدول مشاهده میشود که خطوط بین شین های ۵۰-۵۲ و ۲۱-۲۲، به ترتیب مکان بهینه برای TCSC و UPFC می باشد. همچنین شین ۲۴، مکان مناسب برای SVC است. برای نشان دادن تاثیر این روش، شکل ۳-۶، تغییرات سرعت ژنراتور G15 را با وبدون ادوات FACTS نشان میدهد. نوسانات تغییر سرعت باقرار گرفتن ادوات FACTS در مکان مناسب مشخص شده، بعد از ۹ ثانیه با UPFC و بعد از ۱۳ ثانیه با TCSC و SVC، میرامی شوند.



شکل ۳-۱۰ تغییرات سرعت G2 (pu) باقرار گرفتن کانورتر سری UPFC در خط ۳۶-۳۷ و کانورتر شنت دریکی از شین های ۳۶ و ۳۷ ( سیستم ۳۹ شینه)

۳-۶-۷- بررسی معایب و مزایای روش ذکر شده

مزایای این روش عبارتند از:

- ۱- از آنجا که میرایی نوسانات سیستم قدرت به دینامیک سیستم مربوط میشود. بنابراین مفید ترین روش برای بررسی سیگنال کوچک سیستم قدرت تحلیل مقادیر ویژه سیستم می باشد. که در این روش استفاده شده است. که میتوان بردارهای ویژه، مدهای نوسانی و نوع آنها را پیدا کرد و تاثیر متغیرهای حالت سیستم را در ایجاد مدنوسانی مشخص نمود.
- ۲- شاخص کنترل پذیری که در این روش به کار رفته است در واقع حساسیت خط ها و شین های مختلف سیستم باوجود ادوات FACTS را نسبت به مد بحرانی سیستم نشان میدهد و مشخص میسکند که

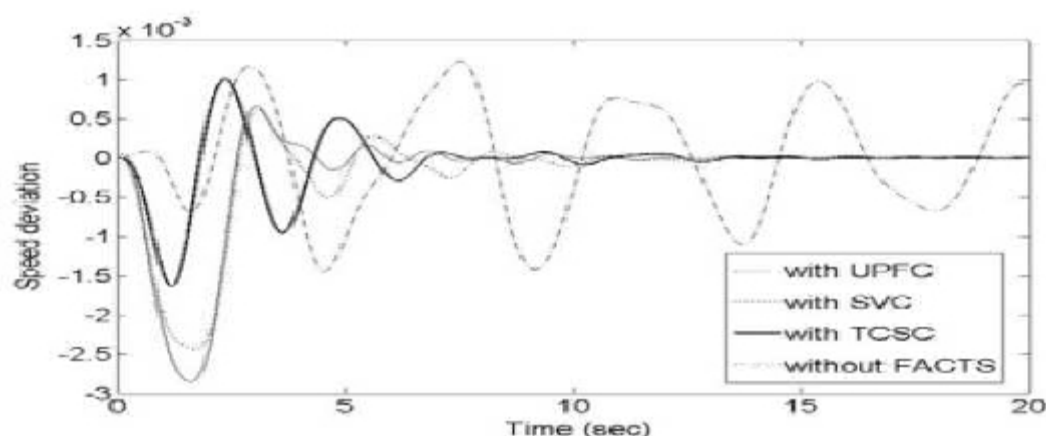
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

مدنوسانی چقدر از کنترل کننده FACTS تاثیر میپذیرد و میرا میشود. بنابراین خط ها و شین های مناسب برای نصب ادوات FACTS، مشخص میشوند. و با این روش بهترین پاسخ ممکن بدست می آید.

Svc		TCSC		UPFC		
Bus	Index	Line	Index	Line	Index	
Base case	21	0.962	50-51	0.428	5-6	0.617
	57	0.965	16-19	0.618	16-21	0.638
	28	0.982	15-16	0.744	16-19	0.779
	20	0.988	21-22	0.858	36-37	0.992
	24	1.000	50-52	1.000	21-22	1.000
Line 52-42 outage	28	0.912	46-38	0.811	15-16	0.817
	57	0.915	16-19	0.818	16-21	0.838
	27	0.913	15-16	0.933	50-51	0.979
	20	0.962	21-22	0.952	36-37	0.989
	24	1.000	50-52	1.000	21-22	1.000

-۳

جدول ۳-۵ شاخص کنترل پذیری مدبین ناحیه ای نوسانی برای SVC, TCSC, UPFC و (سیستم ۶۸ شینه)



شکل ۳-۱۱ تغییرات سرعت (pu) ژنراتور G15 با UPFC, TCSC, SVC و بدون ادوات FACTS در سیستم ۶۸ شینه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

اما این روش بامزایای خوبی که دارد، معایبی هم دارد که عبارتند از:

- ۱- این روش مستلزم آن است که برای تمامی خط ها و شین های ممکن برای نصب ادوات FACTS، باقرار دادن ادوات FACTS در سیستم، شاخص کنترل پذیری محاسبه شود. که این علاوه بیچیدگی تحلیل، بسیار وقت گیر می باشد.
- ۲- در این روش فقط مکان ادوات FACTS، مورد بررسی قرار گرفته است و در مورد سیگنال مناسب ورودی ادوات FACTS، که بسیار در این بحث مهم میباشد، اشاره ای نشده است.
- ۳- در این روش فقط مدای نوسانی بین ناحیه ای در نظر گرفته شده است و در مورد مدهای محلی بحثی نشده است.

۳-۷- جایابی UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت به کمک ضریب مانده

۳-۷-۱- کنترل پذیری، رویت پذیری و ضریب مانده

مدل ریاضی یک سیستم دینامیکی بیان شده بر حسب معادلات دیفرانسیلی غیرخطی به صورت زیر است:

$$\dot{x} = F(x, t) \quad (3-39)$$

اگر معادلات دیفرانسیلی غیرخطی حول نقطه کار  $x=0$  خطی شوند به صورت زیر:

$$\Delta \dot{X} = A \Delta x(t) \quad (3-40)$$

بافرض اینکه  $\Delta u(t)$  یک ورودی و  $\Delta y(t)$  یک خروجی سیستم دینامیکی خطی باشد معادلات (۳-۳۹) به صورت زیر تعریف میشوند:

$$\Delta \dot{X}(t) = A \Delta x(t) + B \Delta u(t) \quad (3-41)$$

$$\Delta y(t) = Cx(t)$$

با در نظر گرفتن معادله بایک ورودی و یک خروجی و با فرض  $D=0$ ، تابع تبدیل حلقه باز سیستم میتواند به صورت زیر نوشته شود:

$$G(s) = \frac{\Delta y(t)}{\Delta u(t)} = C(SI - A)^{-1}B \quad (3-42)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تابع تبدیل  $G(s)$  میتواند به فرم تبدیل لاپلاس  $Y$  بر حسب ماتریس های  $B$  و  $C$  و بردارهای ویژه راست و چپ نوشت شود:

$$\sum_{i=1}^N \frac{C_j V_i W_i B_k}{(s-\lambda_i)} = \sum_{i=1}^N \frac{R_{ijk}}{(s-\lambda_i)} \quad (40-4)$$

که  $R_{ijk}$  ضریب مانده مدام برای خروجی  $k$ ام و ورودی  $k$ ام است. که  $R_{ijk}$  رامیتوان به صورت زیر بیان کرد:

$$R_{ijk} = C_j V_i W_i B_k \quad (41-3)$$

که  $W_i$  و  $V_i$  به ترتیب بردارهای ویژه راست و چپ مقدار ویژه  $\lambda_i$  هستند. میتوان ضریب مانده را بر حسب کنترل پذیری و رویت پذیری مدبیا ن نمود. کنترل پذیری مدا از ورودی  $k$  ام از رابطه زیر بدست می آید:

$$Cl_{ik} = |W_i B_k| \quad (42-3)$$

و اندازه رویت پذیری مدا از خروجی  $k$  ام از رابطه زیر بدست می آید:

$$obsv_{ij} = |C_j V_i| \quad (43-3)$$

واضح است که:

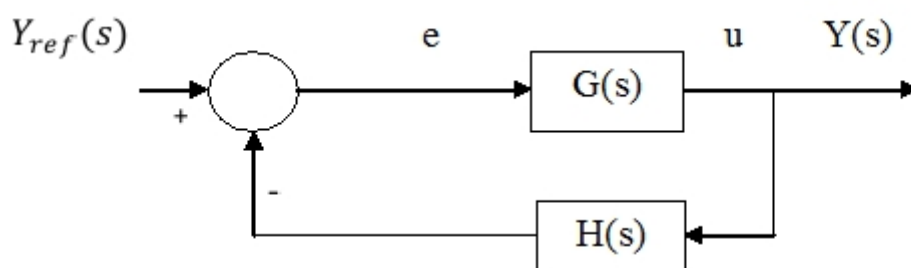
$$|R_{ijk}| = |C_j V_i W_i B_k| = obsv_{ij} * cont_{ik} \quad (44-3)$$

ضریب  $R_{ijk}$  مدخاص، معیاری از حساسیت مدبه فیدبک بین خروجی  $Y$  و ورودی  $U$  است. که حاصل ضرب کنترل پذیری در رویت پذیری مد می باشد. شکل ۳-۷ یک سیستم  $G(s)$  دارای فیدبک کنترلی  $H(s)$  را نشان میدهد. با به کار بردن کنترل فیدبک مقادیر ویژه اولیه سیستم  $G(s)$  تغییر می یابند. هنگامی که کنترل فیدبک به کار برده شود، شیفیت مقادیر ویژه به صورت زیر حساسیت میشود:

$$\Delta \lambda_i = R_i H(\lambda_i) \quad (45-4)$$

باتوجه به معادله ۴-۴۵ مشاهده میشود که تغییر (جابجایی) مقادیر ویژه توسط کنترل کننده متناسب با اندازه ضریب مانده است. برای یک مد معین نمونه های فیدبک کنترلی  $H(s)$  بدون در نظر گرفتن پارامترها و ساختمان آن میتواند برای مکان های مختلف امتحان شود. برای مدمورد نظر ضریب مانده تمام مکان ها باید محاسبه شود. بیشترین ضریب مانده شان دهنده موثرترین مکان برای بکار بردن فیدبک کنترلی است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

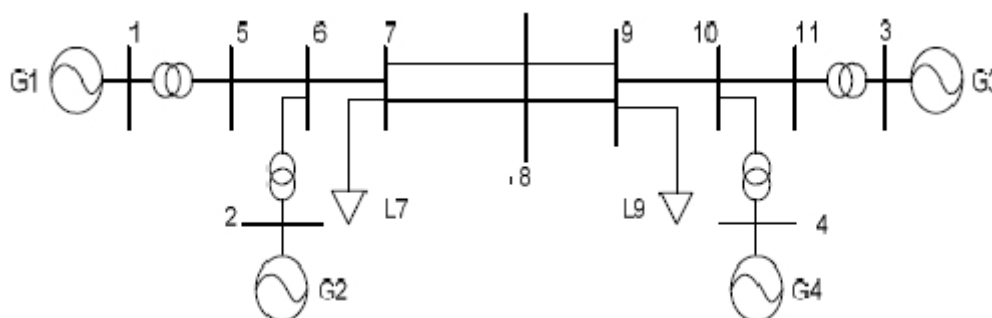


شکل ۳-۱۲ سیستم حلقه بسته با کنترل کننده POD

کنترل کننده های FACTS باید در مکانی نصب شوند که ماکزیمم مقدار ضریب مانده برای مدبهرانی داشته باشد. در این روش فقط مدهای نوسانی بین ناحیه ای در نظر گرفته شده است. یک TCSC در خطی قرار میگیرد که بیشترین مقدار ضریب مانده را داشته باشد در حالیکه SVC باید در شینی قرار بگیرد که آن شین بیشترین مقدار ضریب مانده را داشته باشد. برای مکان UPFC، ابتدا مکان کانورتر سری در خطی که بیشترین مقدار ضریب مانده را داشته باشد، در نظر گرفته میشود. بر اساس تزریق ولتاژ در خط توسط کانورتر سری و کنترل توان اکتیو، تاثیر بیشتری در میرا کردن مدهای بین ناحیه ای دارد. بنابراین شینی که کانورتر شنت به آن وصل میشود ابتدا یا انتهای خطی است که UPFC در آن باتوجه به معیار ضریب مانده برای کانورتر سری نصب شده است. برای مشخص شدن ابتدا یا انتهاب ضریب مانده آنها در نظر گرفته میشود.

۳-۷-۳- نتایج شبیه سازی

تاثیر این روش بر روی سیستم دومکانه ۱۱ شینه ۴ ماشینه و سیستم ۳۹ شینه ۱۰ ماشینه (انگلستان) امتحان شده است. شکل ۳-۸ یک سیستم دومکانه با چهار ماشینه را نشان میدهد. این سیستم دارای دوناحیه است که با خط میانی به هم وصل شده اند. داده های ژنراتور و شبکه در مرجع آمده است. ژنراتورها با سیستم تحریک استاتیکی در نظر گرفته شده اند.



شکل ۳-۱۳ سیستم آزمایشی دومکانه چهار ماشینه

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

آنالیز مدال نشان میدهد که کد مدبهرانی دریک مورد یک مد بین ناحیه ای است که مقدار ویژه آن  $\frac{j6}{223} + \frac{0}{07934}$  - و نسبت میرایی آن ۰/۱۲۷ است که پایین است. آنالیز زاویه فاز بردارهای ویژه راست نشان میدهد که ژنراتورهای G1, G2 برخلاف G3, G4 نوسان دارند. ضریب مانده مدبین ناحیه ای برای UPFC, TCSC و SVC محاسبه شده و در جدول ۳-۴ آمده است. با توجه به جدول ۳-۴ مشاهده میشود که خط بین شین ۷-۸، خط بین شین ۱۰-۱۱ و شین ۸ دارای بیشترین مقدار ضریب مانده به ترتیب برای UPFC, TCSC و SVC هستند.

جدول (۳-۶). ضریب مانده مدنوسانی بین ناحیه ای برای UPFC, TCSC و SVC (سیستم ۱۱ شینه) [۱۳]

UPFC		TCSC		SVC	
Line	Residue	Line	Residue	Bus	Residue
7-8	0.21	7-8	1.000	6	0.89
6-7	0.51	6-7	0.001	7	0.43
5-6	0.25	5-6	0.735	8	1.00
9-8	0.39	9-8	0.181	9	0.48
10-11	1.00	10-11	0.788	10	0.08

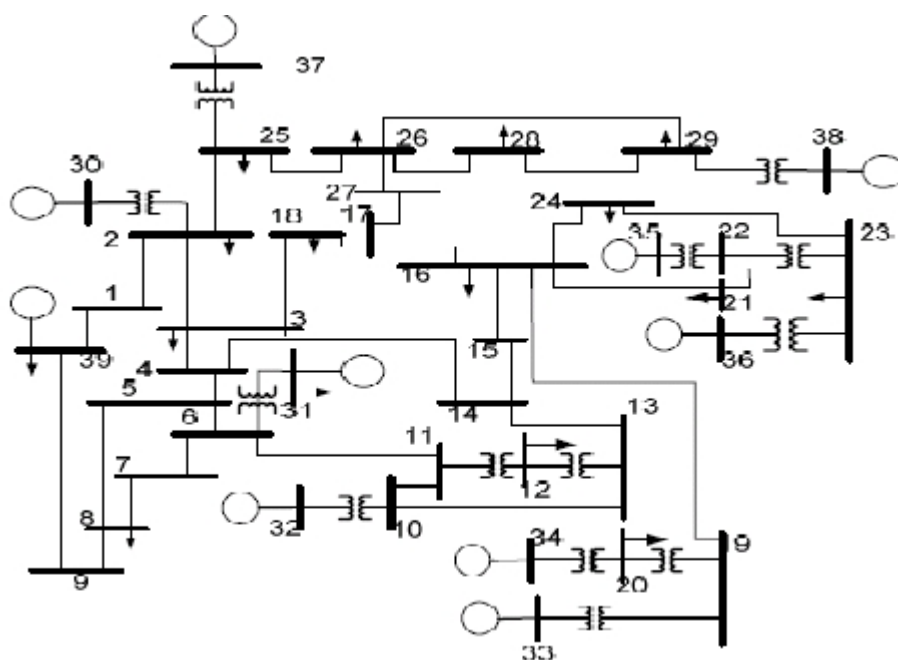
جدول ۳-۶ ضریب مانده مدنوسانی بین ناحیه ای برای UPFC, TCSC و SVC (سیستم ۱۱ شینه)

دامنه جریان خط ۷-۸ از شین ۷ به عنوان فیدبک برای کنترل کننده UPFC در نظر گرفته میشود و برای SVC و TCSC به ترتیب از ولتاژ شین ۱۰ و توان اکتیو خط ۷-۸ به عنوان فیدبک استفاده میشود. تاثیر میرایی مدبین ناحیه ای با بودن ادوات FACTS (تغییرات سرعت G1) در شکل ۳-۹ نشان داده شده است.

شکل ۳-۱۴ تغییرات سرعت G1 برای سیستم ۱۱ شینه

همچنین تاثیر این روش بر روی سیستم نیوانگلند ۳۹ شینه نشان داده شده است. این سیستم که از ۱۰ ژنراتور تشکیل شده است و ژنراتور ۲ به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است، در شکل ۳-۱۰ دیاگرام تک خطی آن نشان داده شده است. آنالیز مدال نشان میدهد که دریک مورد مدبهرانی، یک مدبین ناحیه ای با مقدار ویژه  $\frac{j6}{223} \pm \frac{0}{07934}$  - و نسبت میرایی ۰/۱۲۷۰ است. که این مد مربوط به نوسان های ژنراتور G31 در مقابل G32, G33 و G34 است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۳-۱۵ سیستم نیوانگلند ۳۹ شینه

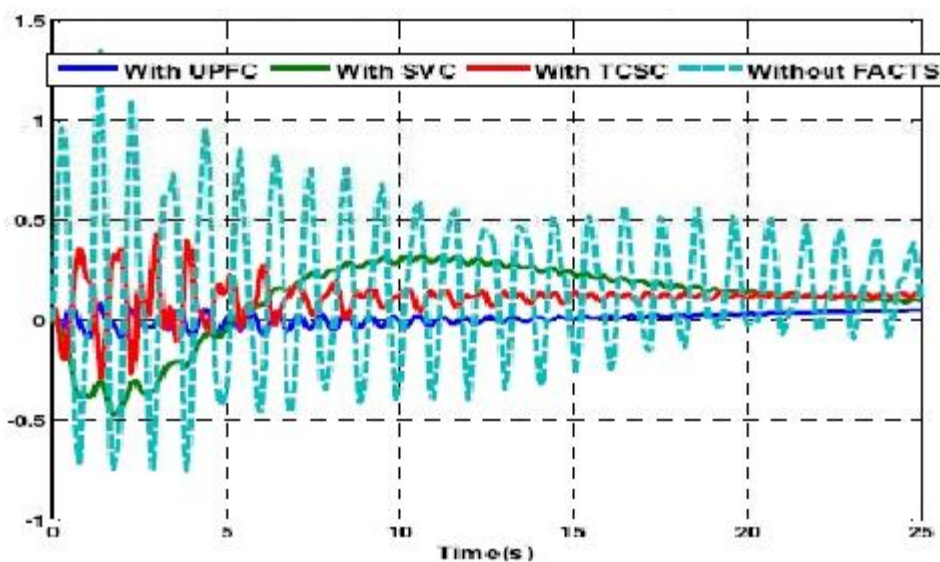
ضریب مانده مد بین ناحیه ای برای UPFC، TCSC، SVC محاسبه شده و در جدول ۴-۵ آمده است. از جدول ۳-۵ مشاهده میشود که خط بین شین های ۱۶-۲۱، خط بین شین های ۳-۴ و شین ۱۶ بیشترین مقدار ضریب مانده رابه ترتیب برای UPFC، TCSC و SVC دارند. همچنین تاثیر این ادوات بر میرایی با توجه هب مکان نصب آنها در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

TCSC		UPFC		SVC
Line	Normalized residue	Normalized residue	Bus	Normalized residue
9-39	0.34	0.240	28	0.561
17-27	0.59	0.129	24	0.363
15-16	0.28	0.158	27	0.913
<b>16-21</b>	<b>1.00</b>	0.138	21	0.080
14-15	0.26	0.394	18	0.191
21-22	0.58	0.188	17	0.494
16-17	0.41	0.097	<b>16</b>	<b>1.000</b>
2-3	0.53	0.190	15	0.053
<b>3-4</b>	0.13	<b>1.000</b>	14	0.215
2-25	0.68	0.305	9	0.660
7-8	0.28	0.192	8	0.863
25-26	0.32	0.075	7	0.624
26-28	0.22	0.079	6	0.220
28-29	0.22	0.253	5	0.316
17-18	0.45	0.262	4	0.268

جدول ۳-۷ ضریب مانده ادوات FACTS برای سیستم ۳۹ شینه



شکل ۳-۱۶ تغییرات سرعت G13 برای سیستم ۳۹ شینه

۳-۷-۴- بررسی مزایا و معایب روش ذکر شده



## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

این روش (جایابی به کمک ضریب مانده)، در واقع همان روش قبلی می باشد، با این تفاوت که علاوه بر شاخص کنترل پذیری، از شاخص رویت پذیری نیز استفاده شده است. با کمک شاخص رویت پذیری عیب روش قبلی که در مورد سیگنال مناسب ادوات FACTS بحثی نشده بود، برطرف شده است. رویت پذیری یک مدبهرانی در یک سیگنال بحث مهمی در انتخاب سیگنال فیدبک می باشد. ضریب مانده که در این روش به کار رفته است، وابسته به هر دو معیار کنترل پذیری و رویت پذیری می باشد. بنابراین این روش نسبت به روش قبلی بهتر است. اما معایب دیگری که روش قبلی داشت، از جمله پیچیدگی تحلیل، وقت گیر بودن و در نظر نگرفتن مدهای محلی، این روش نیز دارا می باشد.

### فصل چهارم: جایابی UPFC در سیستم تک ماشینه و چند ماشینه

#### ۴-۱- مقدمه

در این بخش ابتدا به بررسی مدل دینامیکی مورد استفاده UPFC پرداخته شده است و با استفاده از آن معادلات دینامیکی مرتبط نوشته شده و سپس ترکیب این معادلات با معادلات ماشین سنکرون و سیستم تحریک صورت پذیرفته و بر اساس آن مدل خطی سیستم تک ماشینه همراه با UPFC استخراج می شود. از آنجا که سیستم تک ماشینه است لذا بحث جایابی UPFC به انتخاب بهترین سیگنال کنترلی ورودی UPFC و انتخاب بهینه پارامترهای کنترل کننده تکمیلی UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت مربوط می شود. در این پایان نامه از روش کنترل پذیری برای انتخاب بهترین سیگنال کنترلی ورودی UPFC و از الگوریتم بهینه سازی PSO جهت انتخاب بهینه پارامترهای کنترل کننده تکمیلی UPFC استفاده شده است.

در این فصل همچنین مدل سیگنال کوچک سیستم های قدرت چند ماشینه معرفی شده است. مدل غیر خطی ماشین های سنکرون به صورت دو محوری نمایش داده شده اند (یک سیم پیچ دمپر روی محور  $q$  و یک سیم پیچ میدان روی محور  $d$ ). سیستم تحریک IEEE نوع I در نظر گرفته شده است. بعد از نوشتن معادلات سیستم قدرت، مدل منسبی برای کنترل کننده یکپارچه پخش توان (UPFC) معرفی شده است. با نوشتن معادلات خروجی UPFC و ترکیب آنها با معادلات سیستم قدرت، مدل نهایی سیستم همراه با UPFC برای بررسی نوسانات سیستم قدرت و مشخص کردن مکان مناسب UPFC با بکار بردن معیار کنترل پذیری و رویت پذیری استخراج شده است. از آنجا که در این پایان نامه سیستم نمونه یک سیستم ۳ ماشینه ۹ شینه می باشد که یک سیستم کوچک است بنابراین ابتدا تعداد UPFC ها برای تحلیل دقیق تر و نتایج بهتر جایابی را یک انتخاب کرده ایم.

#### ۴-۲- مدل خطی سیستم قدرت به همراه UPFC

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در این قسمت مدل خطی شبکه قدرت شامل UPFC استخراج شده و از آن برای تحلیل سیگنال کوچک و طراحی کنترل کننده برای میرایی سیستم قدرت استفاده شده است.

#### ۴-۲-۱- اثر دینامیکی خازن UPFC

برای بررسی حالت دینامیکی، اثر دینامیک خازن ارتباط DC نیز باید مورد توجه قرار گرفته و در محاسبات مدنظر قرار گیرد. در حالت دینامیکی خازن ارتباط DC با سیستم تبادل انرژی دارد و بنابراین نمیتوان ولتاژ آن را ثابت در نظر گرفت. مدل دینامیکی را با استفاده از رابطه زیر میتوان تعریف کرد:

$$CV_{DC} \frac{dv_{DC}}{dt} = (P_{SH} - P_{SE})S_B \quad (۱-۴)$$

در رابطه بالا مقادیر بر حسب پریونیت بیان شده اند و  $S_B$  توان مبنای سیستم است.

#### ۴-۲-۲- مدل ژنراتور و سیستم تحریک

ژنراتور به صورت مد مرتبه سوم شامل معادله نوسان و معادله ولتاژ داخلی ژنراتور نمایش داده شده است. معادله نوسان را میتوان به صورت زیر نوشت:

$$\dot{\delta} = \omega_b (\omega - 1) \quad (۲-۴)$$

$$\dot{\omega} = (P_m - P_e - D(\omega - 1)) / M \quad (۳-۴)$$

که در این روابط  $P_m$  توان مکانیکی ورودی،  $P_e$  توان الکتریکی خروجی،  $M$  ثابت اینرسی،  $\omega_b$  سرعت سنکرون،  $\delta$  زاویه روتور و  $\omega$  سرعت روتور می باشند.

ولتژ داخلی ژنراتور یعنی  $E'_q$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$\dot{E}'_q = (E_{fd} - (X_d - X'_d)i_d - E'_q) / T'_{do} \quad (۴-۴)$$

توان خروجی ژنراتور برابر خواهد بود با:

$$P_e = V_{td}i_{td} + t_q V_{tq}i_{tq} \quad (۵-۴)$$

سیستم تحریک ژنراتور را با استفاده از سیستم نوع STI-IEEE که در شکل ۴-۱ نمایش داده شده است میتوان به صورت زیر بیان کرد:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

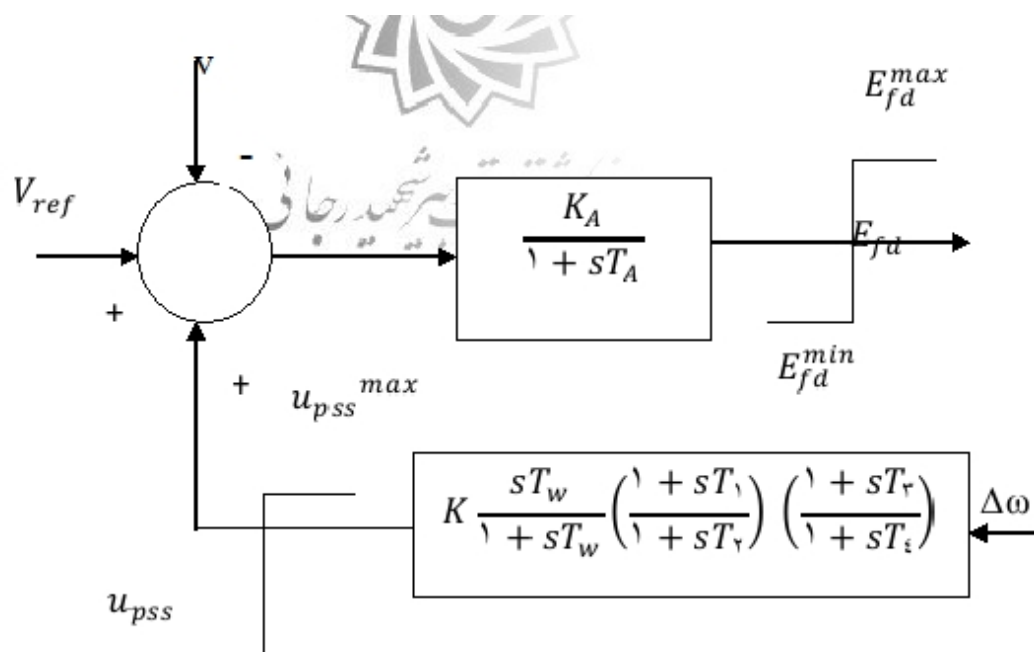
$$\dot{E}_{fd} = (k_A(V_{ref} - V + u_{pss}) - E_{fd})/T_A \quad (6-4)$$

$$V_t = (V_{td}^2 + V_{tq}^2)^{1/2} \quad (7-4)$$

$$V_{td} = X_q i_{td} \quad (8-4)$$

$$V_{tq} = E'_q - X'_d i_{td} \quad (9-4)$$

در این سیستم تحریک از یک PSS با ساختار کنترل کننده Lead-Lag برای تولید سیگنال پایدار ساز در حلقه فیدبک استفاده شده و تغییرات سرعت ماشین به عنوان ورودی به کار برده شده است.

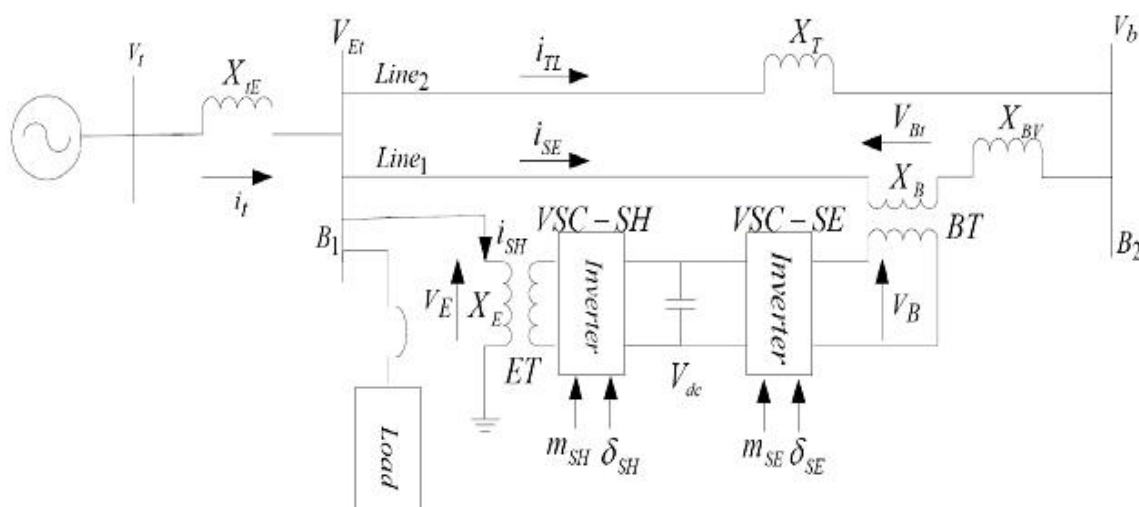


شکل ۴-۱ سیستم تحریک نوع STI IEEE با PSS

۴-۲-۳ مدل UPFC

برای طراحی کنترل کننده جهت میرایی مدهای الکترومکانیکی، لازم است مدل خطی سیستم قدرت تک ماشینه بادوخط موازی به همراه UPFC (شکل ۴-۲) در نقطه کار استخراج شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۲-۴ سیستم قدرت تک ماشینه به همراه UPFC

همانطوری که در شکل مشخص میباشد UPFC شامل یک ترانسفورماتور موازی (ET)، یک ترانسفورماتور سری (BT)، دو اینورتر منبع ولتاژ سه فاز مبتنی بر GTO و یک خازن ارتباط DC می باشد. اینورترهای منبع ولتاژ، ولتاژی بادامنه وزاویه فاز قابل کنترل تولید میکنند. برای UPFC چهار سیگنال کنترلی  $m_{SH}$  (شاخص مدولاسیون دامنه برای اینورتر موازی)،  $\delta_{SE}$  (زاویه فاز اینورتر سری) موجود است. با استفاده از شکل ۲-۴ روابط دینامیک UPFC را میتوان به صورت زیر تعریف کرد:

$$V_{SH} = \frac{m_{SH} v_{dc}}{2} (\sin \delta_{SH} + j \cos \delta_{SH}) \quad (10-4)$$

$$V_{SE} = \frac{m_{SE} V_{dc}}{2} (\sin \delta_{SE} + j \cos \delta_{SE})$$

$$\frac{dv_{dc}}{dt} = \frac{3m_{SH}}{4C_{dc}} (\sin \delta_{SH} i_{SHd} + j \cos \delta_{SH} i_{SHq}) + \frac{3m_{SE}}{4C_{dc}} (\sin \delta_{SE} i_{SEd} + j \cos \delta_{SE} i_{SEq})$$

با استفاده از شکل ۲-۴ خواهیم داشت:

$$(11-4)$$

$$\bar{i}_t = \bar{i}_{SE} + \bar{i}_{SH} + \bar{i}_{TL}$$

$$\bar{V}_t = jX_{tE} \bar{i}_t + \bar{V}_{Et}$$

$$\bar{V}_{Et} = jX_{tE} \bar{i}_{SH} + \bar{V}_{SH}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\bar{V}_{Et} = \bar{V}_{BT} + jX_{BV}\bar{i}_{SE} + \bar{V}_b$$

$$\bar{V}_{Et} = jX_T\bar{i}_{TL} + \bar{V}_b$$

$$\bar{V}_{Bt} = jX_{BV}\bar{i}_{SH} + \bar{V}_{SE}$$

که در این روابط  $\bar{i}_{t}$  جریان ارمیچر،  $V_b$  ولتاژ شینه بینهایت،  $V_{Et}$  ولتاژ ترانسفورماتور موازی،  $V_{Bt}$  ولتاژ ترانسفورماتور سری و  $\bar{i}_{TL}$  جریان شاخه موازی می باشند. از رابطه ۴-۱۰ خواهیم داشت:

$$V_{Etd} + jV_{Etq} = jX_T(i_{TLd} + ji_{TLq}) + V_b \sin\delta + jV_b \cos\delta \quad (4-12)$$

$$V_{td} + jV_{tq} = jX_{tE}(i_{td} + ji_{tq}) + V_{Etq} + jV_{Etq}$$

$$v_{Etd} + jv_{Etq} = V_{Btd} + jv_{Btq} + jX_{BV}i_{SED} - X_{BV}i_{SEq} + v_b \sin\delta + jv_b \cos\delta$$

$$V_{Etd} + jv_{Etq} = jX_E(i_{SHd} + ji_{SHq}) + V_{SHd} + jV_{SHq}$$

$$V_{Btd} + jv_{Btq} = jX_B(i_{SED} + ji_{SEq}) + V_{SED} + jv_{SEq}$$

با استفاده از روابط (۴-۱۰)، (۴-۱۱) و (۴-۱۲) خواهیم داشت:

(۱۳-۴)

$$i_{TLd} = \frac{1}{X_T} \left( X_E i_{SHd} + \frac{m_{SH} \sin\delta_{SH} V_{dc}}{2} - v_b \cos\delta \right)$$

$$i_{TLq} = \frac{1}{X_T} \left( X_E i_{SHq} + \frac{m_{SH} \sin\delta_{SH} V_{dc}}{2} - v_b \cos\delta \right)$$

$$i_{SHd} = \frac{X_{BB}}{X_{d2}} E'_q X_E i_{SHq} + X_{dv} \frac{m_{SE} \sin\delta_{SE} v_{dc}}{2} + X_{d5} v_b \sin\delta + X_{d6} \frac{m_{SE} \sin\delta_{SE} v_{dc}}{2}$$

$$i_{SEd} = \frac{X_E}{X_{d2}} E'_q - \frac{X_{d1}}{X_{d2}} \frac{m_{SE} \sin\delta_{SE} v_{dc}}{2} + X_{d3} v_b \sin\delta + X_{d4} \frac{m_{SE} \sin\delta_{SH} v_{dc}}{2}$$

$$i_{SEq} = X_{q7} \frac{m_{SE} \cos\delta_{SE} v_{dc}}{2} + X_{d5} v_b \sin\delta + X_{d6} \frac{m_{SH} \cos\delta_{SH} v_{dc}}{2}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$i_{SEq} = \frac{X_{q1} m_{SE} \cos \delta_{SE} v_{dc}}{X_{q2} \cdot 2} + X_{d3} v_b \sin \delta + X_{d4} \frac{m_{SH} \cos \delta_{SH} v_{dc}}{2}$$

معادلات غیرخطی بدست آمده را با استفاده از بسط تیلور حول یک نقطه کار مشخص، میتوان خطی سازی کرد و مدل خطی زیر را بدست آورد:

$$\dot{\Delta \delta} = \omega_b \Delta \omega \quad (14-4)$$

$$\dot{\Delta \omega} = \frac{(\Delta P_m - \Delta P_e - D \Delta \omega)}{M}$$

$$\Delta \dot{E}'_q = (\Delta E_{fd} - (X_d - X'_d) \Delta i_d - \Delta E'_q) / T'_{do}$$

$$\Delta \dot{E}_{fd} = (k_A (\Delta V_{ref} - \Delta V_t + \Delta u_{pss}) - \Delta E_{fd}) / T_A$$

$$\Delta \dot{v}_{dc} = k_7 \Delta \delta + k_8 \Delta E'_q - k_9 \Delta v_{dc} + k_{cSH} \Delta m_{SH} + k_{c\delta SH} \Delta \delta_{SH} + k_{cSH} \Delta m_{SE} + k_{c\delta SE} \Delta \delta_{SE}$$

$$\Delta P_e = k_1 \Delta \delta + k_2 \Delta E'_q - k_{pd} \Delta v_{dc} + k_{pSH} \Delta m_{SH} + k_{p\delta SH} \Delta \delta_{SH} + k_{pSH} \Delta m_{SE} + k_{p\delta SE} \Delta \delta_{SE}$$

$$\Delta E'_q = k_4 \Delta \delta + k_3 \Delta E'_q - k_{pd} \Delta v_{dc} + k_{qSH} \Delta m_{SH} + k_{q\delta SH} \Delta \delta_{SH} + k_{qSH} \Delta m_{SE} + k_{q\delta SE} \Delta \delta_{SE}$$

$$\Delta V_t = k_5 \Delta \delta + k_6 \Delta E'_q - k_{pd} \Delta v_{dc} + k_{vSH} \Delta m_{SH} + k_{v\delta SH} \Delta \delta_{SH} + k_{vSH} \Delta m_{SE} + k_{v\delta SE} \Delta \delta_{SE}$$

(۱۵-۴)

که در این روابط  $k_{vu}, k_{cu}, k_{qu}, k_{pu}$  و  $k_1 - k_9$  ثابت های خطی سازی می باشند که به فرم پارامتری میتوان آنها را نوشت. روابط مربوط به این پارامترها در ضمیمه آمده است. در ضمن مقادیر عددی این پارامترها برای نقاط کارمختلف در فصل نتایج شبیه سازی محاسبه شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بنابراین سیستم قدرت رامیتوان درمدل فضای حالت به صورت زیرنمایش داد:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (۱۶-۴)$$

$$X = [\Delta\delta \ \Delta\omega \ \Delta E'_q \ \Delta E'_f \ d \ \Delta V_{dc}]^t$$

$$U = [\Delta u_{pss} \ \Delta m_{SH} \ \Delta \delta_{SH} \ \Delta m_{SE} \ \Delta \delta_{SE}]^t$$

که بردار حالت X و بردار ورودی U و ماتریس های A و B عبارتند از:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \omega_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k_1}{M} & -\frac{D}{M} & -\frac{k_2}{M} & 0 & -\frac{k_{pd}}{M} \\ \frac{k_4}{T'do} & 0 & -\frac{K_3}{T'do} & \frac{1}{T'do} & -\frac{k_{pd}}{T'do} \\ -\frac{k_A k_5}{T_A} & 0 & -\frac{k_A k_6}{T_A} & \frac{1}{T_A} & -\frac{k_A k_{vd}}{T_A} \\ k_7 & 0 & k_8 & 0 & -k_9 \end{bmatrix}$$

(۱۷-۴)

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{k_{pSH}}{M} & -\frac{k_{p\delta SH}}{M} & -\frac{k_{pSE}}{M} & -\frac{k_{p\delta SE}}{M} \\ 0 & -\frac{k_{qSH}}{T'do} & -\frac{k_{q\delta SH}}{T'do} & -\frac{k_{qSE}}{T'do} & -\frac{k_{q\delta SE}}{T'do} \\ -\frac{k_A}{T_A} & -\frac{k_A k_{VSH}}{T_A} & -\frac{k_A k_{v\delta SH}}{T_A} & -\frac{k_A k_{vSE}}{T_A} & -\frac{k_A k_{v\delta SE}}{T_A} \\ 0 & k_{cSH} & k_{c\delta SH} & k_{cSE} & k_{c\delta SE} \end{bmatrix}$$

(۱۸-۴)

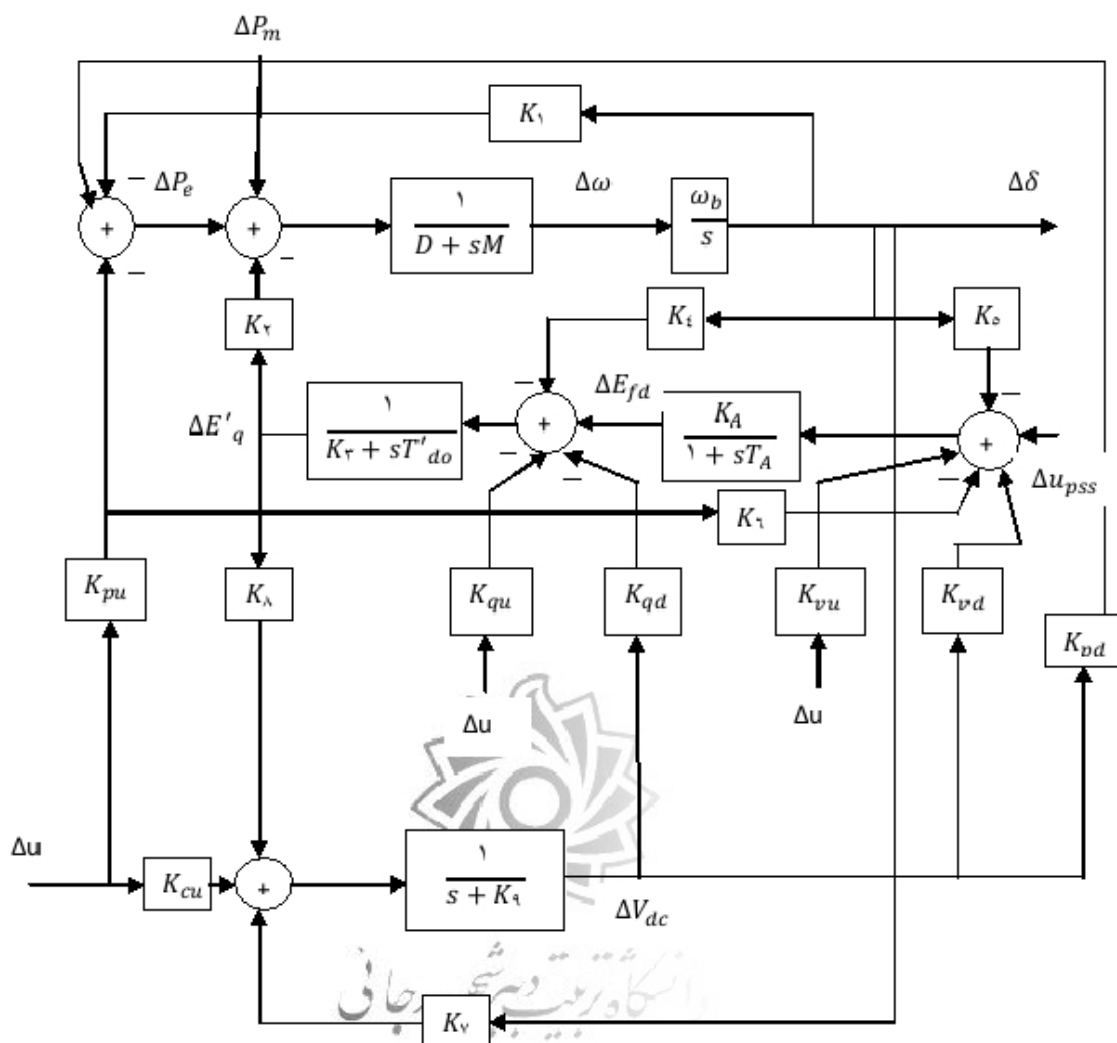
مدل دینامیکی خطی شده به صورت نمایش فضای حالت در شکل ۳-۴ نمایش داده شده است که در آن ورودی پایدار ساز سیستم قدرت (U<sub>pss</sub>) و فقط یک ورودی کنترلی UPFC نمای شداده شده است. باید به این نکته توجه شود که ثابت های  $k_{vu}$  و  $k_{cu}$ ,  $k_{qu}$ ,  $k_{pu}$  که در شکل نمایش داده شده اند به صورت بردارها سطری هستند که به صورت زیر میتوان آنها را تعریف کرد:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فونت های لازم

$$K_{pu} = [K_{pSH} K_{p\delta SH} K_{pSE} K_{p\delta SE}]$$

$$K_{qv} = [K_{vSH} K_{v\delta SH} K_{vSE} K_{v\delta SE}]$$

$$K_{cu} = [K_{cSH} K_{c\delta SH} K_{cSE} K_{c\delta SE}]$$



شکل ۳-۴ مدل خطی شده Heffron-Phillips سیستم قدرت به همراه UPFC

۳-۴- طراحی کنترل کننده میراساز



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۴-۴ مدل خطی سیستم قدرت به همراه UPFC و کنترل کننده پایداساز رابه صورت مدل Heffron-Phillips نمایش میدهد. برای طراحی پارامترهای کنترل کننده تکمیلی  $(k, T_1, T_2, T_3, T_4)$  با استفاده از الگوریتم های تکاملی یک تابع هدف متناسب بامساله تعریف شده و در یک فرایند تکراری، پارامترها توسط الگوریتم طوری تغییر پیدا میکنند که منجر به افزایش یا کاهش تابع هدف شوند. انتخاب افزایش یا کاهش تابع هدف در طی فرآیند طراحی بستگی به تعریف تابع هدف دارد.

۴-۳-۱- تابع هدف (معیار)

برای انتخاب بهینه پارامترهای پایدار ساز و درجهت تبدیل مساله به صورت مساله ی بهینه سازی، تابع معیار براساس مقادیر ویژه به نحوی انتخاب میشود که برای افزایش ضریب میرایی یا نرخ میرایی مدهای مربوط به مقادیر ویژه الکترومکانیکی بتواند تنظیمات صورت پذیرد. تابع هدف را میتوان به صورت زیر تعریف کرد:

$$j = \min\{\xi\}$$

$$\xi = \frac{|Reat(EM)|}{\sqrt{Real(EM)^2 + Imag(EM)^2}} \quad (19-4)$$

که  $\xi$  نرخ میرایی مد مربوط به مقادیر ویژه الکترومکانیکی (EM) می باشد. واضح است که تابع هدف حداقل مقدار نرخ میرایی مدهای الکترومکانیکی رادر همه نقاط کارمورد بررسی قرار داده و شناسایی مینماید. بنابراین میتوان با حداکثر کردن تابع هدف، نرخ میرایی مدهای الکترومکانیکی زیاد شده و به تبع آن میرایی سیستم افزایش پیدا می نماید. بدین ترتیب یک مساله ی بهینه سازی باقیود زیر خواهیم داشت:

$$k_{si}^{min} \leq k_{si} \leq k_{si}^{max} \quad T_{2i}^{min} \leq T_{2i} \leq T_{2i}^{max} \quad T_{4i}^{min} \leq T_{4i} \leq T_{4i}^{max} \quad T_{1i}^{min} \leq T_{1i} \\ \leq T_{1i}^{max} \quad T_{3i}^{min} \leq T_{3i} \leq T_{3i}^{max}$$

(۲۰-۴)

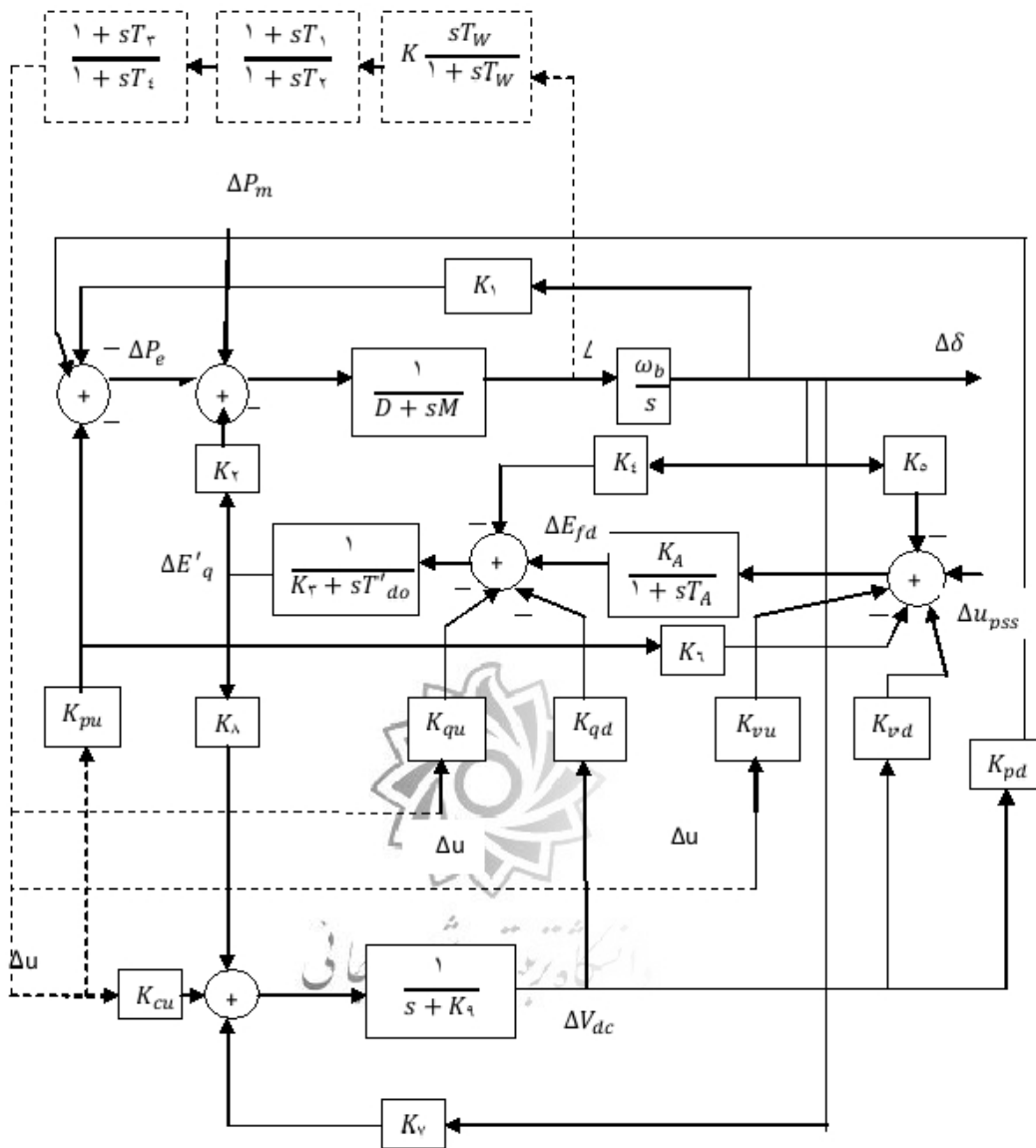
که در این تحقیق برای حل این مساله بهینه سازی از الگوریتم PSO استفاده شده است.

۴-۴ بررسی کنترل پذیری

شکل ۴-۴ مدل سیستم قدرت به همراه کنترل کننده ی پایدار ساز رانمایش میدهد. کنترل کننده پایدار ساز باهدف افزایش ضریب میرایی مدهای الکترومکانیکی طراحی شده است. باتوجه به این شکل میتوان ملاحظه نمود که خروجی کنترل کننده پایدارساز میتواند به ورودی های مختلف UPFC یعنی  $m_{SH}, \delta_{SH}, m_{SE}, \delta_{SE}$  اعمال میشود. برای انتخاب ورودی که بیشترین تاثیر دارد در کنترل مدهای الکترومکانیکی در شرایط کاری مختلف داشته باشد، میتوان از روش تجزیه مقادیر استثنایی (SVD) استفاده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

کرد. از نظر ریاضی اگر  $G$  یک ماتریس مختلط از مرتبه  $n \times m$  باشد، ماتریس های  $W$  و  $V$  با ابعاد  $n \times m$  و  $m \times m$  به صورتی وجود دارند که رابطه زیر برقرار باشد.



شکل ۴-۴ مدل خطی شده Heffron-Phillips سیستم قدرت به همراه کنترل کننده تکمیلی UPFC

$$G = w \sum V^H \quad (۲۱-۴)$$

$$\sum_1 = \begin{bmatrix} \sum_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\Sigma^0 = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \sigma_r \end{bmatrix}$$

$$R = \min\{m, n\} \quad (۲۲-۴)$$

که  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r$  مقادیر استثنایی ماتریس  $G$  بوده و به صورت نزولی ( $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r$ ) در ماتریس قطری  $\Sigma^1$  قرار گرفته اند. در رابطه ۴-۱۸ ماتریس  $B$  رامیتوان به صورت ماتریس  $B = [B_1, B_2, B_3, B_4]$  نوشت که در آن هر یک از  $B_i$  ها معرف یک ستون از ماتریس  $B$  و متناسب با ورودی  $\lambda$  می باشند. حداقل مقدار استثنایی ( $\sigma_{min}$ ) ماتریس  $[\lambda I - A B_i]$  قابلیت ورودی  $\lambda$  در کنترل مدمربوط به مقدار ویژه  $\lambda$  را همیشه میدهد. بنابراین مقادیر بالاتر  $\sigma_{min}$  نشان دهنده کنترل پذیری مدمربوط به  $\lambda$  برای ورودی مورد نظر است. با استفاده از این روش میتوان کنترل پذیری مدهای الکترومکانیکی را توسط همه ورودی ها بررسی و ورودی را که دارای بیشترین تاثیر بر روی این مدها می باشد را تعیین نمود. در فصل نتایج شبیه سازی این پایان نامه کنترل پذیری ورودی های مختل UPFC و نمودارهای کنترل پذیری برای مقایسه نشان داده شده اند.

#### ۴-۵- الگوریتم PSO

الگوریتم PSO برای اولین بار در سال ۱۹۵۵ به عنوان یک روش اکتشافی جدید توسط Kennedy و Eberhart معرفی شد. اساسا الگوریتم PSO از رفتارهای اجتماعی مرتبط با گله هایی از قبیل دسته پرندگان و گروه ماهی ها الهام گرفته شده است. اشخاص در جمعیت به عنوان ذره نامیده میشوند. هر ذره یک پاسخ بالقوه برای مساله بهینه سازی است و سعی میکند بهترین موقعیت را به واسطه پرواز در یک فضای چند بعدی جستجو کند. رفتار اجتماعی که در سیستم PSO مدل شده است برای تعلیم گله به نحوی که نواحی نوید بخش فضای جستجوی  $D$ - بعدی تعیین میشود، در این روش بردار موقعیت  $X_i = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iD}]$  و بردار سرعت  $V_i = [V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{iD}]$  است. هر ذره در گله، جستجوی خود را به واسطه سرعت کنونی خود، تجربه ی قبل و تجربه ی ذرات همسایه تصحیح میکند. بهترین موقعیت ذره  $A$ ، که تاکنون یافت شده است، بهترین شخصی نامیده میشود و با  $P_g = [P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gD}]$  نمایش داده می شود. در ابتدا سرعت ذره ی  $\lambda$  در بعد  $d$ ام با استفاده از معادله ۴-۲۳ بروز میشود، و سپس معادله ۴-۲۴ برای اصلاح موقعیت آن ذره بکار گرفته میشود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$v_{id}(t+1) = w * v_{id}(t) + C_1 * rand_1 * (P_{id} - x_{if}(t)) + C_2 * rand_2 * (P_{gd} - x_{id}(t)) \quad (23-4)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (24-4)$$

که  $C_1$  و  $C_2$  به ترتیب پارامترهای خودشناسی و اجتماعی هستند. در این معادلات  $rand_1$  و  $rand_2$  مقادیر تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه  $(0,1)$  می باشند. در رابطه  $(4,23)$   $W$  به عنوان یک ضریب همگرایی که به صورت رابطه  $4-24$  قابل تعرف است در نظر گرفته میشود.

$$W = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (25-4)$$

که در آن  $w_{max}$  مساوی  $0,9$  و  $w_{min}$  مساوی  $0,4$  انتخاب میشوند و  $iter_{max}$  ماکزیمم تعداد تکرار و  $iter$  شماره تکرار را نشان میدهند.

دو دستیابی معمول برای تعریف همسایگی و تعیین  $P_g$  مشهور به نسخه بهینه سراسری ( $g_{best}$ ) و بهینه محلی ( $l_{best}$ ) الگوریتم PSO هستند. در نسخه ( $g_{best}$ ) هر ذره اجازه حرکت به سمت شایسته ترین ذره در همسایگی خود را دارد. نسخه  $l_{best}$  الگوریتم PSO با تنظیم سایز همسایگی به سایز جمعیت معادل با نسخه  $g_{best}$  می باشد. شکل  $4-5$  فلوچارت الگوریتم PSO را نشان میدهد. مراحل این الگوریتم را میتوان به صورت زیر بیان کرد:

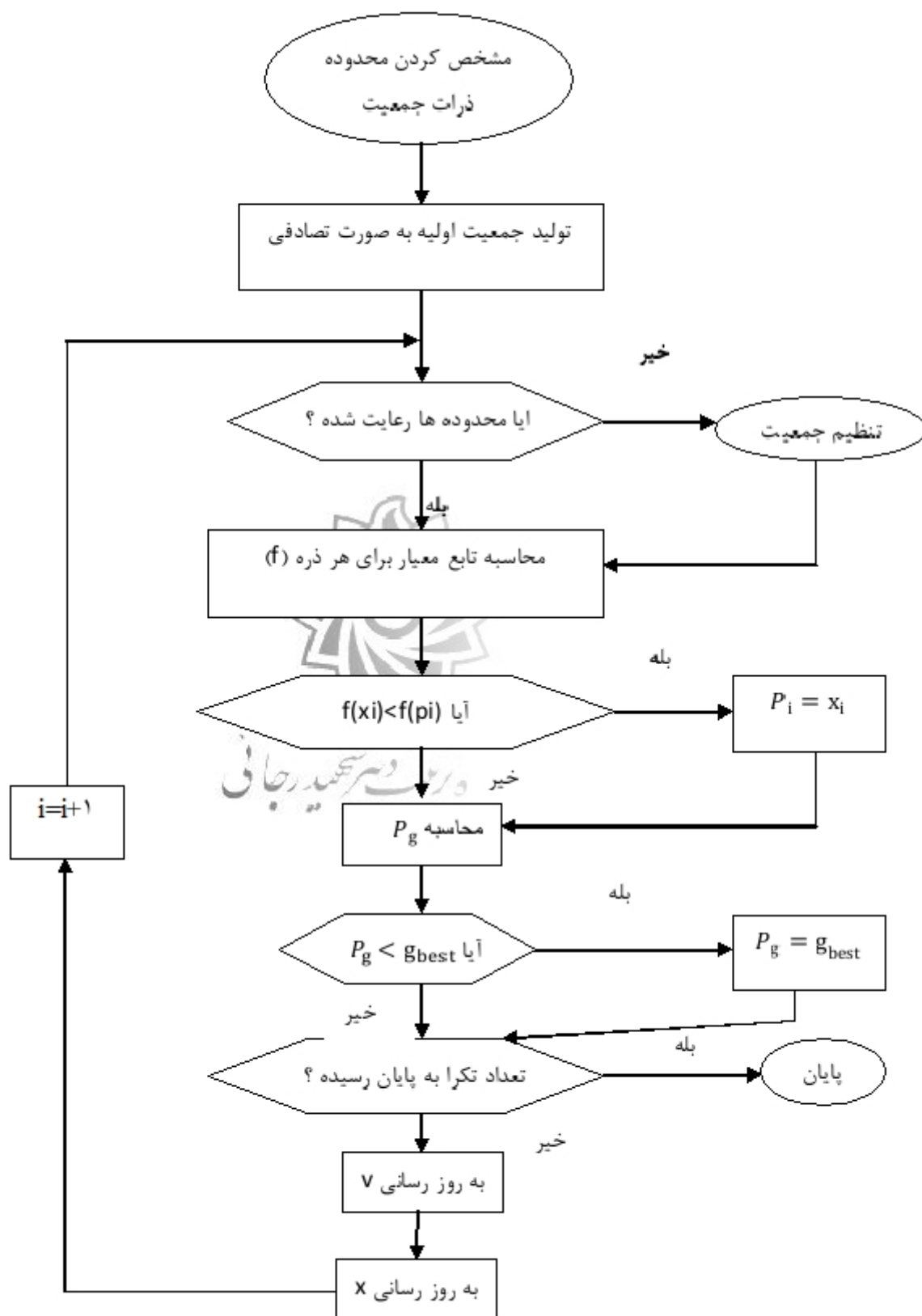
مرحله ۱: تعیین حدود برای موقعیت  $[X_{min}, X_{max}]$  و سرعت  $[-V_{min}, V_{max}]$  پارامترهای کنترل کننده تکمیلی ( $k, T_1, T_2, T_3, T_4$ ) و همچنین تعیین تعداد اعضای جمعیت ( $m$ ) و حداکثر تعداد تکرار الگوریتم

مرحله ۲: اختصاص مقادیر تصادفی برای  $X_i = [T_{i1}, T_{i2}, T_{i3}, T_{i4}, k_{i1}]$  و  $V_i = [V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}, V_{i4}, V_{i5}]$  به ازای  $i=1,2,3,\dots,m$

مرحله ۳: اگر مقادیر اختصاص یافته در حدود تعیین شده در مرحله ۱ باشند به عنوان پاسخ اولیه سیستم پذیرفته میشوند، در غیر این صورت بازگشت به مرحله ۲.

مرحله ۴: تعیین شایستگی ( $F_i$ ) برای هر کدام از اعضای جمعیت توسط تابع معیار. (محاسبه ماتریس  $A$  و تعیین میرایی برای قطب های الکترو مکانیکی و انتخاب کوچکترین مقدار آنها)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۴-۵ فلوجارت الگوریتم PSO

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مرحله ۵: با فرض اینکه بهترین موقعیتی که تاکنون توسط ذره آم کسب شده،  $X_i$  باشد خواهیم داشت:  $P_i = X_i$  و  $F_{best_i} = F_i$ .

مرحله ۶: انتخاب بزرگترین مقدار  $F_{best_1}$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) به عنوان  $P_g$

مرحله ۷: به روز رسانی موقعیت و سرعت ذرات مطابق با روابط ۴-۲۳ و ۴-۲۴ و بررسی قرار گرفتن آنها در حدود تعیین شده و تعیین شایستگی توسط تابع هزینه

مرحله ۸: برای ذره آم ( $i=1,2,\dots,m$ ) اگر  $F_i > F_{best_1}$  آنگاه  $P_i = X_i$  و  $F_i = F_{best_i}$ .

مرحله ۹: برای ذره  $ihl$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) اگر  $F_i > P_g$  آنگاه  $P_g = F_i$

مرحله ۱۰: اگر تعداد تکرار به پایان رسیده باشد، برنامه پایان می یابد در غیر این صورت بازگشت به مرحله ۶.

۴-۶- مدل سیستم قدرت چند ماشینه

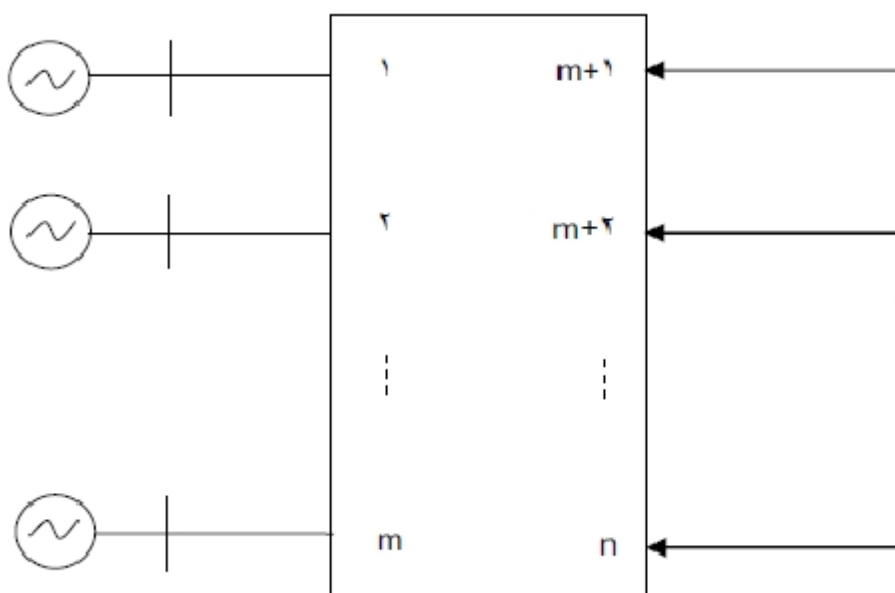
معادلات غیرخطی ماشین سنکرون به صورت جبری و دیفرانسیلی نوشته شده و با معادلات شبکه (پخش توان) ترکیب میشوند. در حالت کلی برای یک سیستم  $n$  شینه که  $m$  تا ژنراتور به آن وصل است، مطابق شکل ۴-۶ معادلات دینامیکی الکتریکی و مکانیکی برای مدل دو محوری به صورت زیر نوشته میشوند:

$$X = f(x, y, u) \quad (۴-۲۶)$$

$$0 = g(x, y) \quad (۴-۲۷)$$

که بردار  $Y$  نشان دهنده بردار ولتاژها و جریان ها میباشد. معادله ۴-۲۶ شامل معادلات ماشین سنکرون و سیستم تحریک است و معادله ۴-۲۷ از معادلات جبری استاتور و معادلات شبکه در حالت پخش توان تشکیل شده است. پس بعد رابطه ۴-۲۶  $7 \times m$  و بعد رابطه ۴-۲۷  $2 \times (n + m)$  می باشد که  $m$  تعداد ژنراتور ها و  $n$  تعداد شین ها است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۴-۶ نمایش سیستم چندماشینه

بنابراین بردار  $y$  به صورت زیر است:

$$y = [I_{a-q}^t \theta_1 v_1 \dots v_m | \theta_2 \dots \theta_n v_{m+1} \dots v_n]^t = [y_a^t | y_b^t]^t \quad (28-4)$$

که بردار  $y$ ، نشان دهنده متغیرهای پخش بار و بردار  $y_a$ ، نشان دهنده دیگر متغیرهای حالت است. شین ۱ به عنوان شین مبنا و شین های ۲، ۳، ...،  $m$  شین های PV و شین های  $m+1$  تا  $n$  به عنوان شین های بار PQ می باشند. باخطی سازی معادلات (۴-۲۶) و (۴-۲۷) حول یک نقطه کار داریم:

$$\begin{bmatrix} -\Delta x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 & B \\ C & D_{11} & D_{12} \\ C & D_{21} & D_{LF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y_a \\ \Delta y_b \end{bmatrix} + E \Delta u \quad (29-4)$$

که:

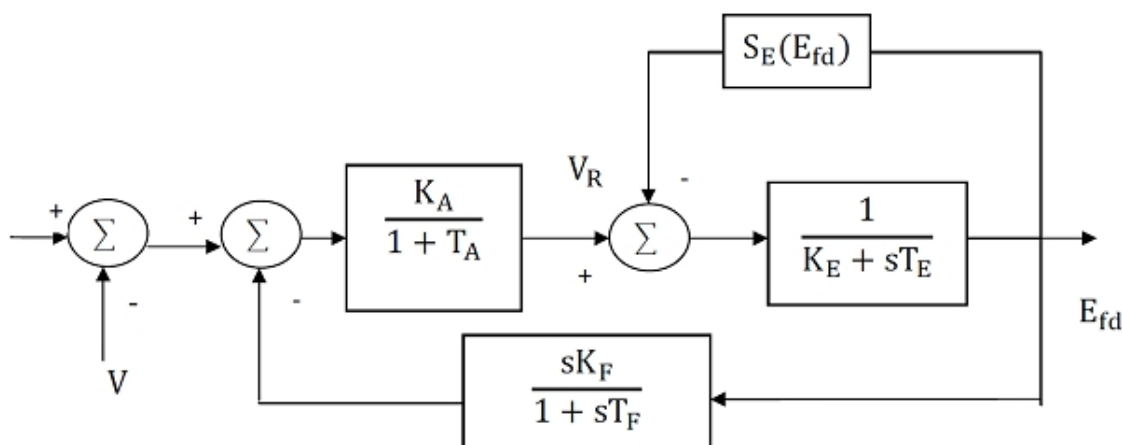
$$J_{AE} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{LF} \end{bmatrix} \quad (30-4)$$

با حذف  $\Delta y_a$  و  $\Delta y_b$ ، معادله  $\Delta \dot{X} = A_{sys} \Delta X$  بدست می آید که  $A_{sys} = (A - B J_{AE}^{-1} C)$  و  $J_{LF}$  ماتریس ژاکوبین پخش بار است. مدل نشان داده شده به فرم ۴-۲۹، برای تحلیل پایداری سیگنال کوچک و پایداری ولتاژ بسیار مفید است. در این پایان نامه فرمولهای فوق را برای یک سیستم چندماشینه بامدل دومحوری ماشین سنکرون و تحریک IEEE نوع I به کار میبریم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-۶-۱-مدل دو محوری ماشین سنکرون

معادلات دیفرانسیلی تحریک و ماشین سنکرون به صورت شکل زیر نشان داده میشود.



شکل ۴-۷ سیستم تحریک IEEE

۴-۶-۲- معادلات دیفرانسیلی

معادلات دیفرانسیلی خطی شده تحریک و ماشین سنکرون به صورت زیر نوشته میشوند:

(ضمیمه الف. معادلات (الف-۱) تا (الف-۱۰))

$$\Delta \dot{X} = A_1 \Delta x + B_1 \Delta I_g + B_1 \Delta v_g + E_1 \Delta u \quad (۳۱-۴)$$

که  $E_1$  و  $C_2, B_1, A_1$  ماتریس های قطری بلوکی هستند.

۴-۶-۳- معادلات جبری استاتور

فرم خطی معادلات جبری استاتور به صورت زیر بدست می آید: (ضمیمه الف. معادلات (الف-۱۱) تا (الف-۱۵))

$$0 = C_1 \Delta x + D_1 \Delta I_g + D_2 \Delta v_g \quad (۳۲-۴)$$

که  $C_1$ ،  $D_1$  و  $D_2$  ماتریس های قطری بلوکی هستند.

۴-۶-۴- معادلات شبکه



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

این معادلات شامل معادلات پخش توان اکتیو و راکتیو برای تمام شین ها می باشند. (ضمیمه الف. معادلات (الف-۱۶) تا (الف-۲۳))

برای شینهای متصل به ژنراتور به صورت زیر نوشته میشوند:

$$0 = C_2 \Delta x + D_3 v I_g + D_4 \Delta v_g + D_5 \Delta v_l \quad (۳۳-۴)$$

که  $C_2$  و  $D_3$  ماتریس های قطری بلوکی هستند ولی  $D_4$  و  $D_5$  ماتریس های قطری بلوکی نیستند و برای شین هایی که به ژنراتور متصل نیستند:

$$0 = D_6 \Delta v_g + D_7 \Delta v_1 \quad (۳۴-۴)$$

که ماتریس های  $D_6$  و  $D_7$  کامل هستند و به صورت قطری بلوکی نیستند.

بانوشتن معادلات ۳۱-۴، ۳۲-۴، ۳۳-۴ و ۳۴-۴ باهم مدل خطی کلی سیستم چندماشینه به صورت زیر بدست می آید:

$$\Delta X = A_1 \Delta x + B_1 I_g + B_2 \Delta V_g + E_1 \Delta u \quad (۳۵-۴)$$

$$c_1 \Delta x + D_1 \Delta I_g + D_2 \Delta V_g = 0 \quad (۳۶-۴)$$

$$0 = C_2 \Delta x + D_3 \Delta I_g + D_4 \Delta V_g + D_5 \Delta V_1 \quad (۳۷-۴)$$

$$0 = D_1 \Delta v_6 + D_1 \Delta v_1 \quad (۳۸-۴)$$

که:

$$X_i = [\delta_i \omega_i E'_{qi} E'_{di} E'_{fdi} V_{Ri} R_{Fi}]^t$$

$$I_g = [I_{d1} I_{q1} \dots I_{dm} I_{qm}]^t$$

$$v_g = [\theta_1 V_1 \dots \theta_m V_m]^t$$

$$V_1 = [\theta_{m+1} v_{m+1} \dots \theta_n V_n]^t, \quad u_i = [T_{Mi} V_{refi}]^t$$

در مدل فوق با حذف  $\Delta V_1$  و  $\Delta V_g, \Delta I_g$  میتوان مدل رابه صورت زیر خلاصه کرد:

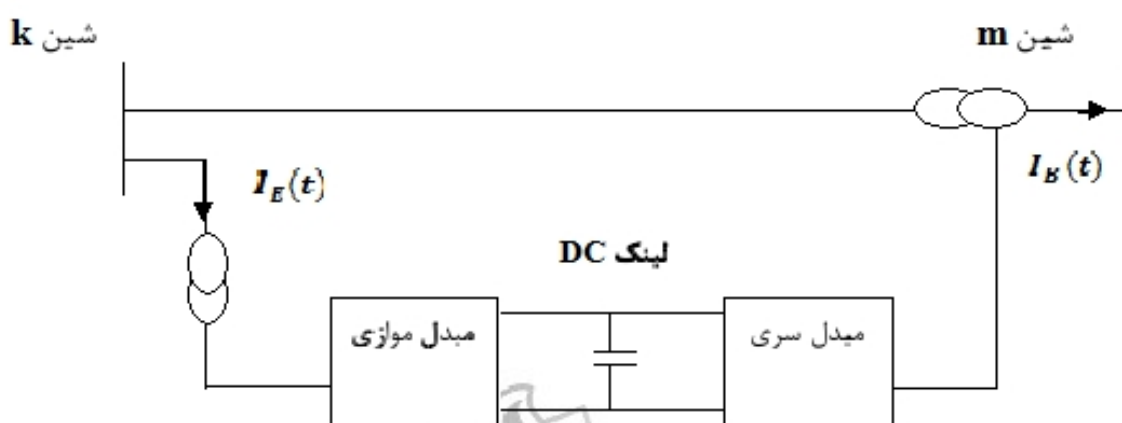
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\Delta \dot{X} = A_{sys} \Delta x + E \Delta u \quad (۳۹-۴)$$

که  $A_{sys}$  ماتریس حالت سیستم است. با توجه به این ماتریس میتوان مقادیر ویژه سیستم را بدست آورد و با استفاده از آنها پایداری و نوسانات سیستم قدرت را بررسی کرد. در بخش بعد مدل مناسب UPFC را در نظر گرفته و با فرض قرار گرفتن UPFC در بین دوشین سیستم، با نوشتن معادلات خروجی آن و ترکیب با معادلات سیستم میتوان ماتریس سیستم همراه با UPFC را بدست آورد و از روی مقادیر ویژه و روش کنترل پذیری و رویت پذیری که در این پایان نامه به کار رفته است، مکان مناسب UPFC را جهت بهبود میرایی نوسانات سیستم قدرت و پایداری آن مشخص کرد.

#### ۷-۴-مدل UPFC

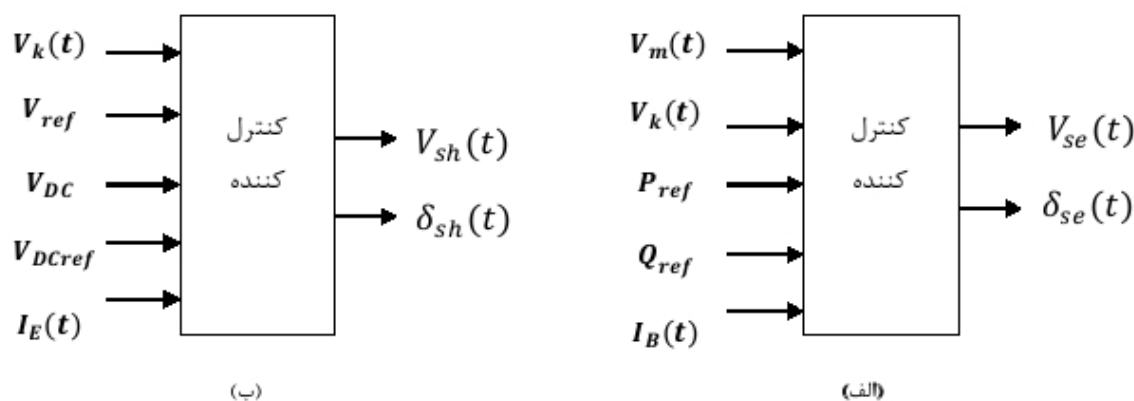
UPFC به صورت ترکیبی از دو کانورتر منبع ولتاژ VSC است که دارای خازنی مشترک در طرف DC می باشد. در شکل ۴-۸ کانورتر موازی VSC و یک کانورتر سری VSC آورده شده اند. بلوک دیاگرام کنترلی مبدل موازی و سری در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. خروجی مبدل شنت میتواند به عنوان یک منبع ولتاژ در سیستم قدرت به شین  $k$ ، با دامنه و فاز قابل تنظیم آن ( $\delta_{sh}$  و  $V_{sh}$ ) توسط کنترل کننده برای کنترل دامنه ولتاژ شین  $k$ ، در یک مقدار مشخص به کار رود و ولتاژ DC را ثابت نگه دارد. مبدل سری نیز یک ولتاژ با دامنه و زاویه قابل تنظیم ( $\delta_{se}$  و  $V_{se}$ ) توسط کنترل کننده، به خط انتقال تزریق میکند تا توان اکتیو و راکتیو خط را کنترل نماید.  $V_k(t)$  و  $V_{ref}$ : فازور ولتاژ شین  $k$  و مرجع آن،  $V_{DC}$  و  $V_{DCref}$ : ولتاژ DC و مرجع آن،  $V_m(t)$  فازور ولتاژ شین  $m$  و  $I_g(t)$  و  $I_E(t)$  به ترتیب فازور جریان مبدل سری و موازی و  $P_{ref}$  و  $Q_{ref}$  به ترتیب توان راکتیو و اکتیو مرجع هستند.



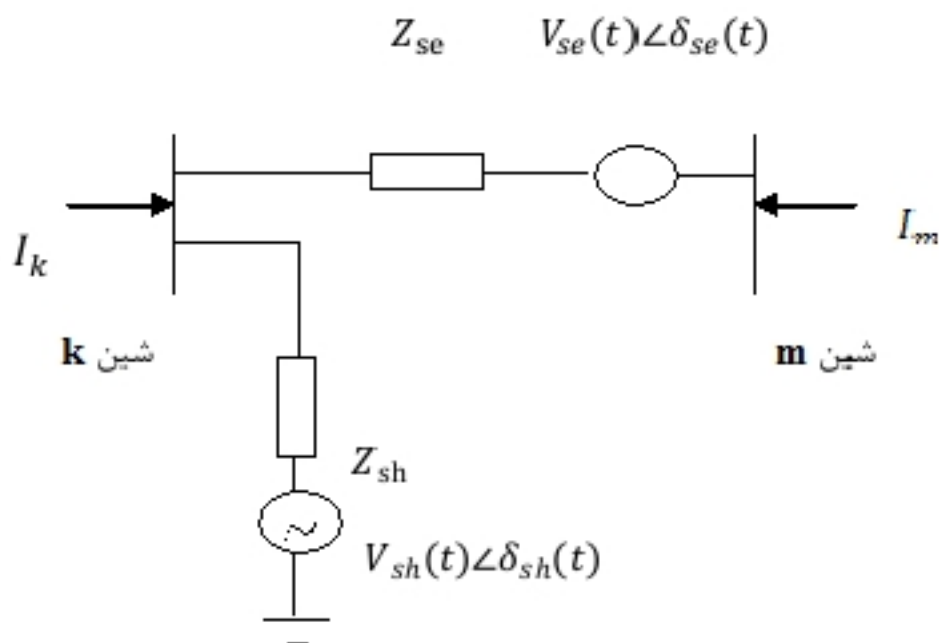
شکل ۴-۸ دیاگرام شماتیکی UPFC

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

چهار سیگنال خروجی کنترلی UPFC ( $V_{sh}(t)$ ,  $\delta_{sh}(t)$ ,  $V_{se}(t)$ ,  $\delta_{se}(t)$ ) که به ترتیب دامنه و فاز منبع ولتاژ مبدل سری و موازی هستند میتوانند به عنوان سیگنالهای ورودی کنترلی سیستم قدرت باشند. بنابراین میتوان مدل دینامیکی UPFC را به صورت شکل ۴-۱۰ در نظر گرفت.  $Z_{sh}$  و  $Z_{se}$  به ترتیب امپدانس ترانسفورماتورهای مبدل سری و شنت هستند.



شکل ۴-۹ بلوک دیاگرام کنترلی UPFC (الف) مبدل سری (ب) مبدل موازی



شکل ۴-۱۰ مدار معادل UPFC

۴-۷-۱- شاخص کنترل پذیری برای مکان UPFC

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بافرض اینکه UPFC مطابق شکل ۴-۱۰، در خط  $l$  بین دوشین  $k$  و  $m$  قرار گیرد، معادلات توان اکتیو و رکتیو دوشین به صورت زیر می باشند:

توان اکتیو درشین  $k$ :

$$P_k = v_k^2 G_{kk} + V_k V_m [G_{km} \cos(\theta_k - \theta_m) + B_{km} \sin(\theta_k - \theta_m)] \\ + v_k v_{se} [G_{km} \cos(\theta_k - \delta_{se}) + B_{km} \sin(\theta_k - \delta_{se})] \\ + v_k v_{sh} [G_{sh} \cos(\theta_k - \delta_{sh}) + B_{sh} \sin(\theta_k - \delta_{sh})] \quad (۴۰-۴)$$

توان اکتیو درشین  $k$ :

$$Q_k = v_k^2 B_{kk} + V_k V_m [G_{km} \sin(\theta_k - \theta_m) - B_{km} \cos(\theta_k - \theta_m)] \\ + v_k v_{se} [G_{km} \sin(\theta_k - \delta_{se}) - B_{km} \cos(\theta_k - \delta_{se})] \\ + v_k v_{sh} [G_{sh} \sin(\theta_k - \delta_{sh}) - B_{sh} \cos(\theta_k - \delta_{sh})] \quad (۴۱-۴)$$

توان راکتیو درشین  $m$ :

$$P_m = v_m^2 G_{mm} + V_m V_k [G_{km} \cos(\theta_m - \theta_{mk}) + B_{mk} \sin(\theta_m - \theta_k)] \\ + v_m v_{se} [G_{mm} \cos(\theta_m - \theta_k) + B_{mm} \sin(\theta_m - \theta_k)]$$

توان راکتیو درشین  $m$ :

$$Q_m = -v_m^2 G_{mm} + V_m V_k [G_{km} \sin(\theta_m - \theta_{mk}) - B_{mk} \cos(\theta_m - \theta_k)] \\ + v_m v_{se} [G_{mm} \sin(\theta_m - \theta_k) - B_{mm} \cos(\theta_m - \theta_k)] \quad (۴۳-۴)$$

در معادلات فوق، ادمیتانس بین دوشین  $k$  و  $m$  به صورت  $Y_{km} = G_{km} + jB_{km}$  نمایش داده شده است.

معادلات دینامیکی برای سیستم  $n$  شینه با  $m$  ژنراتور و معادلات جبری شبکه بدون UPFC حول یک نقطه تعادل ۴-۳۱ تا ۴-۳۴، میتواند به صورت خلاصه به فرم فضای حالت زیر نشان داده شود:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\Delta \dot{X} = A\Delta X + B\Delta U \quad (44-4)$$

$$0 = C\Delta X + D\Delta U \quad (45-4)$$

که  $\Delta X = [\Delta \delta_i \Delta \omega_i \Delta E'_{qi} \Delta E'_{di} \Delta E'_{fdi} \Delta V_{Ri} \Delta R_{Fi}]^t$  برار متغیرهای حالت سیستم برای  $\Delta U = [\Delta I_{di} \Delta I_{qi} \Delta \theta_i \Delta \theta_k \Delta V_i \Delta V_k]$  و  $i=1,2,\dots,m$  بردار ورودی های سیستم است.  $(k=m+1,\dots,n)$  عناصر ماتریس های  $A$  و  $B$ ، متناظر با معادلات دینامیکی دیفرانسیلی جزئی ژنراتور و تحریک ها نسبت به  $X$  و  $U$  هستند. عناصر ماتریس های  $D$  و  $C$ ، متناظر با معادلات دیفرانسیلی جبری جزئی نسبت به  $X$  و  $U$  هستند. با خطی سازی معادلات ۴۰-۴ تا ۴۳-۴ و ترکیب آنها در معادلات کل سیستم، معادلات دیفرانسیلی جبری شبکه ۴-۴۵ به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$0 = C\Delta X + D'\Delta U + F\Delta U_{upfc} \quad (46-4)$$

که  $\Delta U_{upfc} = [\Delta \delta_{se} \Delta V_{se} \Delta \delta_{sh} \Delta V_{sh}]$  عناصر ماتریس  $F$  متناظر با معادلات دیفرانسیلی جبری جزئی نسبت به  $\Delta U_{upfc}$  و  $D'$  در معادله فوق، همان ماتریس  $D$  تغییر یافته به علت قرار گرفتن UPFC در سیستم قدرت است. با حل معادله ۴۴-۴ و ۴۶-۴:

$$\Delta X = (A - BD'^{-1})\Delta X + (-BD'^{-1})\Delta U_{upfc} \quad (47-4)$$

که معادله ۴۷-۴ را میتوان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta \dot{X} = A'\Delta X + F'\Delta U_{upfc} \quad (48-4)$$

بفرض اینکه  $V$ ، بردار ویژه چپ ماتریس  $A'$  باشد، کنترل پذیری UPFC در خط  $l$  برای ورودی های  $\Delta U_{upfc}$  نسبت به مد  $k$  ام به صورت زیر تعریف میشود:

$$b_{kl} = v_K^T F'_l \quad (49-4)$$

$B_{kl}$  یک بردار  $(1 \times 4)$  می باشد که اندازه هر کدام از عناصر آن بیان کننده کنترل پذیری ورودی های  $\Delta U_{upfc}$  در خط  $l$  نسبت به مد  $k$  ام است. ماتریس  $F'$  که ترکیبی از ماتریس بردار ویژه چپ و ماتریس ورودی می باشد، به عنوان ماتریس کنترل پذیری مد تعریف میشود. ورودی  $i$  که بیشترین مقدار  $v_K^T F'_i$  را داشته باشد، به عنوان مطلوب ترین پارامتر برای کنترل مقدار ویژه  $k$  ام در نظر گرفته میشود. برای کنترل فعالیت مدن  $k$  ام، سیگنال های ورودی انتخاب شده و یادمانه  $b'_{ki}$ ، با همدیگر مقایسه میشوند. این بردار برای تمام خطوط سیستم (به جز خطوط شامل ترانسفورماتور) محاسبه میشود و با توجه به بزرگ بودن عناصر این بردار، خطی که برای نصب UPFC مناسب تر است مشخص میشود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۴-۸-معفی رویت پذیری

اگر در معادلات سیستم قدرت خروجی  $y$  یکی از سیگنالهای سیستم قدرت باشد، آنگاه:

$$\Delta \dot{X} = A\Delta X + B\Delta U \quad (۵۰-۴)$$

$$\Delta y = C\Delta X \quad (۵۱-۴)$$

و به منظور حذف تزویج متقابل بین متغیرهای حالت، متغیر حالت جدید  $\Delta Z$  را به صورت  $\Delta X = u \Delta Z$  در معادله ۴-۵۰ و ۴-۵۱ قرارداد و این رابطه به فرم زیر درمی آید:

$$\Delta \dot{Z} = \Delta z + B'\Delta U \quad (۵۲-۴)$$

$$\Delta y = C'z \quad (۵۳-۴)$$

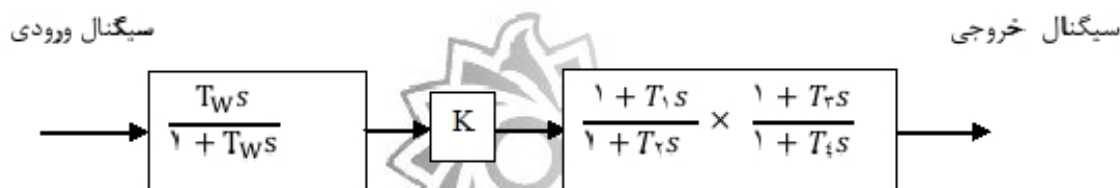
که  $A = u^{-1}Au$  ماتری قطری از مقادیر ویژه ماتریس  $A$ ، بردار ویژه راست ماتریس  $A$  و ماتریس  $C' = Cu$ ، ماتریس رویت پذیر مدست و شاخص رویت پذیری سیگنال خروجی  $y_k$  نسبت به مد  $A$  برابر است با:

$$C_{ki} = C_k u_i \quad (۵۴-۴)$$

بزرگ بودن دامنه  $C_{ki}$ ، بیان کننده فعالیت مد  $A$  در خروجی  $y_k$  است و از این راه میتوان مناسب ترین سیگنال خروجی را برای فیدبک انتخاب کرد.

۴-۸-۱-کنترل کننده تکمیلی

تابع کنترل کننده تکمیلی درجت افزایش میرایی موثر، با بهتر ساختن راهبرد کنترل UPFC، به آن کمک میکند. بلوک دیاگرام کنترل کننده تکمیلی در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. در این بلوک دیاگرام،  $T_w$  ثابت زمانی پاکساز،  $T_1$  و  $T_2$  ثابت زمانی پیش فاز،  $T_3$  و  $T_4$  ثابت زمانی پس از فاز و  $k$  بهره کنترل کننده هستند. سیگنال ورودی استفاده شده برای کنترل تکمیلی UPFC، بایستی به مدهای نوسانی که باید میرا شوند حساس باشد. در این پایان نامه، برای انتخاب سیگنال ورودی مناسب از شاخص رویت پذیری سیگنال استفاده شده است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

#### شکل ۴-۱۱ بلوک دیاگرام کنترل کننده تکمیلی UPFC

۴-۹- نتیجه گیری

در این بخش ابتدا به بررسی مدل دینامیکی مورد استفاده UPFC پرداخته شد و با استفاده از آن، معادلات دینامیکی مرتبط نوشته شد و سپس ترکیب این معادلات با معادلات ماشین سنکرون و سیستم تحریک صورت پذیرفت و براساس آن مدل خطی سیستم تک ماشینه همراه با UPFC استخراج شد. در این تحقیق از روش کنترل پذیری و SVD برای انتخاب بهترین سیگنال کنترلی ورودی UPFC و از الگوریتم بهینه سازی PSO جهت انتخاب بهینه پارامترهای کنترل کننده تکمیلی UPFC استفاده شد. در این فصل روش کنترل پذیری و رویت پذیری برای مشخص کردن مکان مناسب UPFC در سیستم چند ماشینه مورد بررسی قرار گرفت. در این روش ابتدا مدل سیگنال کوچک سیستم های قدرت چند ماشینه معرفی و معادلات دینامیکی سیستم قدرت نوشته شد. سپس با در نظر گرفتن مدل مناسبی برای کنترل یکپارچه پخش توان (UPFC)، نوشتن معادلات خروجی UPFC و ترکیب آنها با معادلات سیستم قدرت، مدل نهایی سیستم همراه با UPFC برای بررسی نوسانات سیستم قدرت استخراج شد و در نهایت شاخص کنترل پذیری و رویت پذیری جهت انتخاب مکان مناسب UPFC تعریف شد.

فصل پنجم: نتایج و شبیه سازی

#### 5-1 مقدمه

در این فصل ابتدا در یک سیستم تک ماشینه متصل به شین بی نهایت همراه با UPFC، سیگنال های کنترلی ورودی UPFC با استفاده از روش کنترل پذیری با همدیگر مقایسه شده اند و مناسب ترین آنها انتخاب شده است و همچنین به کمک روش بهینه سازی PSO، پارامترهای کنترل کننده تکمیلی جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت انتخاب شده اند و این سیستم به کمک نرم افزار مطلب شبیه سازی شده است. همچنین در یک سیستم سه ماشینه ۹ شینه، مکان مناسب UPFC با استفاده از روش کنترل پذیری مشخص شده و با استفاده از نرم افزار مطلب شبیه سازی شده است.

#### ۵-۲- سیستم تک ماشینه متصل به شین بینهایت

سیستم شکل ۱-۳ را در نظر میگیریم، اطلاعات مربوط به این سیستم در ضمیمه آمده است. مقادیر ویژه این سیستم بدون UPFC و PSS در جدول ۵-۱ آمده است. با توجه به این جدول مشخص است که سیستم دارای یک مدنوسانی ناپایدار است.

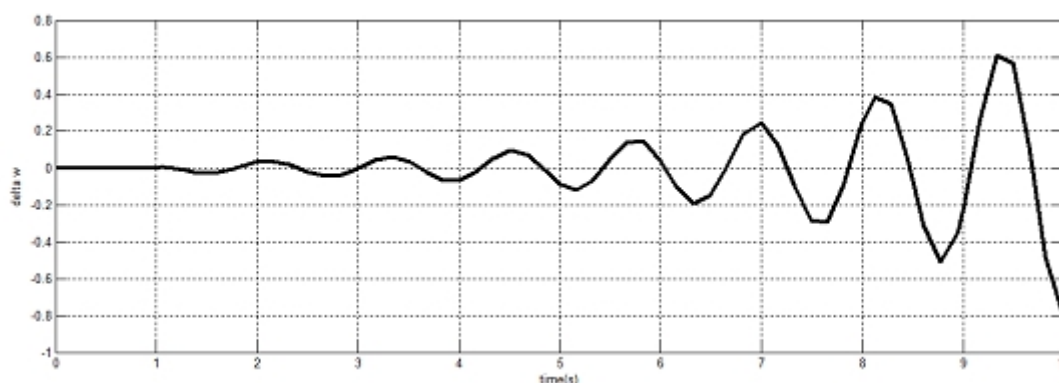


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقادیر ویژه سیستم بدون UPFC و PSS
$-10.5753+4.6451i$
$-10.5753-4.6451i$
$0.3922+5.1717i$
$0.3922-5.1717i$
$-0.0110$

جدول ۱-۵ مقادیر ویژه سیستم تک ماشینه

بافزایش توان مکانیکی ورودی در لحظه  $t=1s$ ، سیستم به سمت ناپایداری می رود. شکل ۱-۵ تغییرات سرعت ژنراتور رانشان میدهد



شکل ۱-۵ تغییرات سرعت ژنراتور بدون کنترل کننده UPFC و PSS

در شکل ۱-۵ حداقل مقدار استثنایی (SVD) برای چهار سیگنال کنترلی UPFC نشان داده شده است. با توجه به این شکل  $\delta_{SH}$  و  $m_{SE}$  بالاترین SVD را دارا هستند. بنابراین دارای بیشترین کنترل پذیری برای میرا کردن مدهای الکترومکانیکی سیستم قدرت هستند. با توجه به شکل نکات زیر مشخص میشود:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

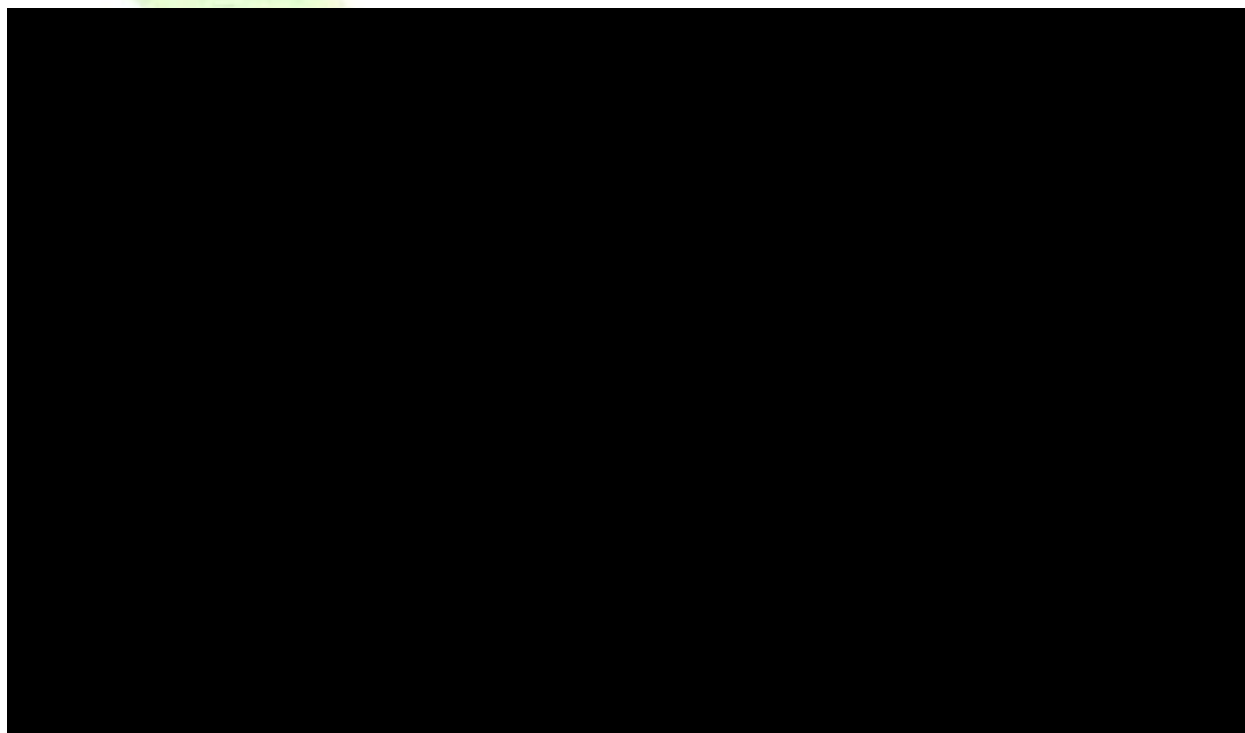
۱- کنترل پذیری سیگنال  $\delta_{SH}$  از همه بالاتر است

۲- با افزایش بار، کنترل پذیری هر چهار سیگنال کنترلی افزایش می یابد.

جدول ۲-۵ مقادیر ویژه سیستم رابدون UPFC و با چهار سیگنال کنترلی UPFC نشان میدهد. که از روی این جدول واضح است که که  $\delta_{SH}$  به عنوان بهترین سیگنال کنترلی ورودی UPFC، بالاترین نسبت میرایی در مدنوسانی ایجاد میکند.

سیستم بدون UPFC	$\delta_{SH}$	$m_{SE}$	$m_{SH}$	$\delta_{SE}$
$0.3922 \pm 5.1717i$	$-6.8810 \pm 10.885i$	$-4.1261 \pm 9.1034i$	$-3.6628 \pm 12.7166i$	$-0.0789 \pm 11.4880i$
-0.076	0.54	0.41	0.27	0.007

جدول ۲-۵ مقادیر ویژه سیستم رابرای چهار سیگنال کنترلی  $\delta_{SH}$ ,  $m_{SE}$ ,  $\delta_{SE}$  و  $m_{SH}$

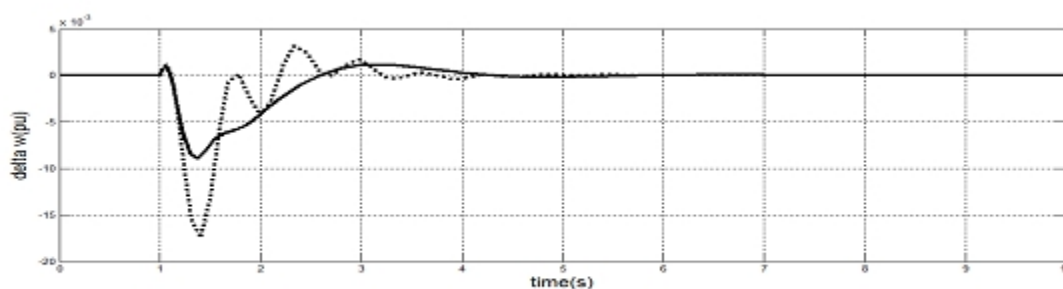


شکل ۲-۵ حداقل مقدار استثنایی برای چهار سیگنال کنترلی UPFC

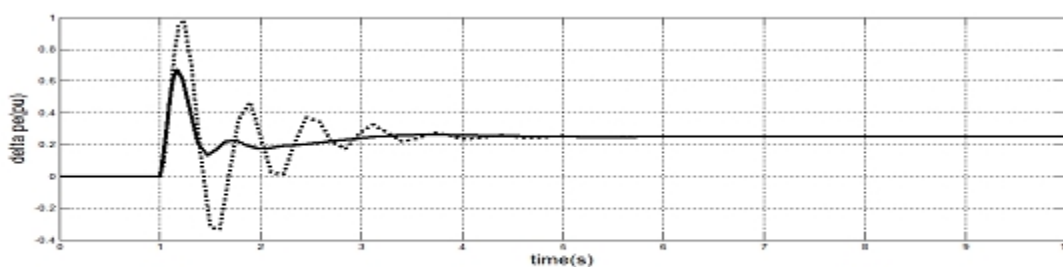
با ایجاد یک اغتشاش در لحظه  $t=1s$  نوساناتی در سیستم قدرت به وجود می آید که تاثیر چهار سیگنال کنترلی UPFC در میرا کردن نوسانات سیستم قدرت باهمدیگر مقایسه شده است. شکل های ۳-۵ تا ۶-۵ به

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

ترتیب پاسخ سیستم (تغییرات سرعت و توان خروجی ژنراتور) در این اغتشاش را با سیگنالهای کنترلی  $\delta_{SE}$ ,  $m_{SE}$ ,  $\delta_{SH}$  و  $m_{SH}$  نشان میدهند. مشاهده میشود که سیگنال کنترلی  $\delta_{SH}$  نسبت به سیگنالهای دیگر بیشترین تاثیر در میرا کردن نوسانات سیستم قدرت دارد که این نتیجه بانجای کنترل پذیری در این مقاله (کل ۵-۲) مطابقت دارد. با توجه به شکل ۵-۶ مشاهده میشود که سیگنال کنترلی  $\delta_{SE}$  کمترین تاثیر در میرا کردن نوسانات سیستم قدرت را دارد و با توجه به شکل ۵-۲ این سیگنال کمترین کنترل پذیری در میرا کردن نوسانات الکترومکانیکی را دارا است.



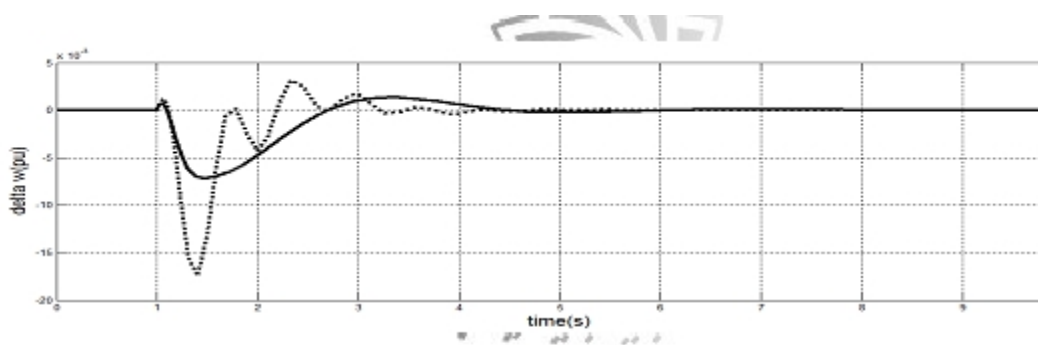
الف - تغییرات سرعت ژنراتور (pu)



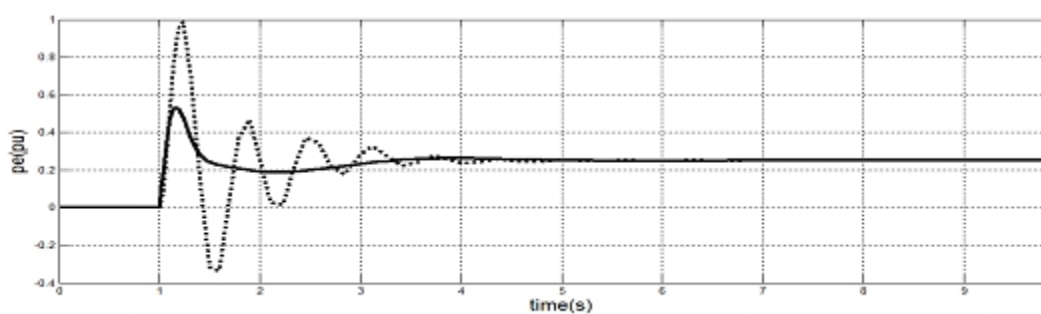
ب - توان اکتیو خروجی ژنراتور (pu)

شکل ۵-۳ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده  $m_{SE}$

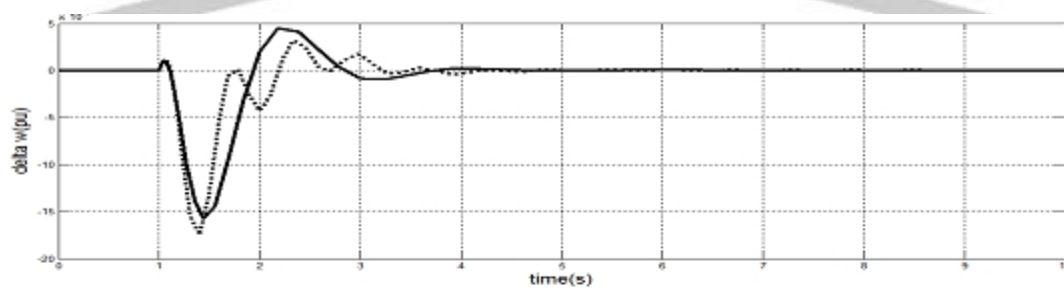
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



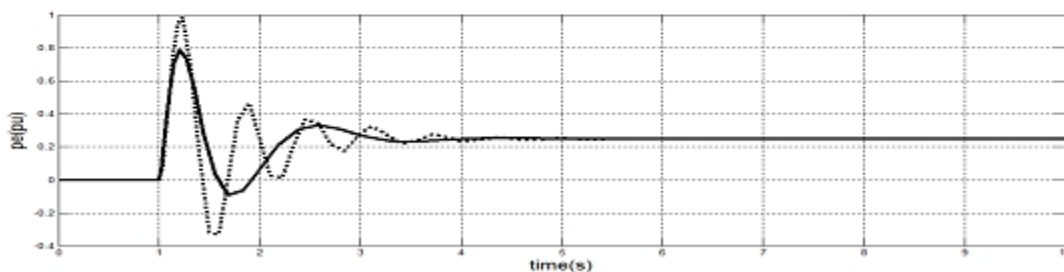
الف - تغییرات سرعت ژنراتور (pu)



شکل ۴-۵ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده  $\delta_{SH}$



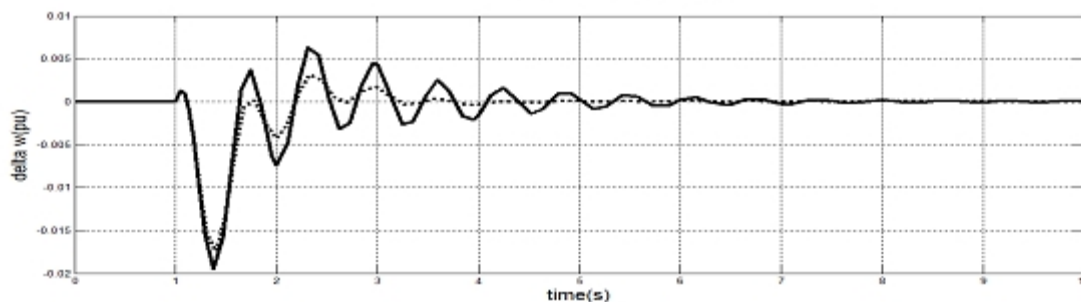
الف - تغییرات سرعت ژنراتور (pu)



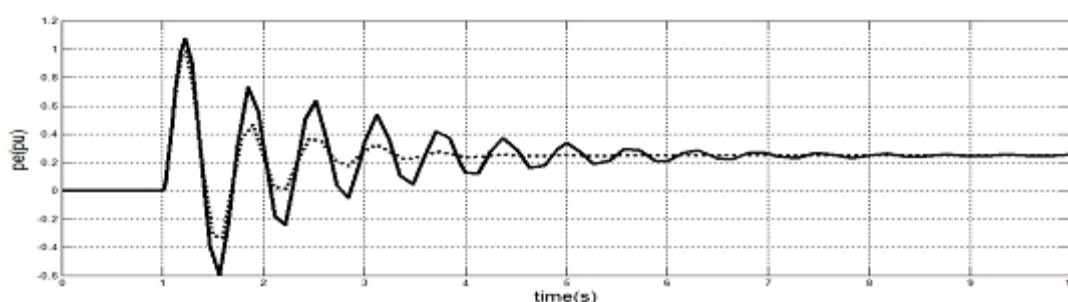
ب- توان اکتیو خروجی ژنراتور (pu)

شکل ۵-۵ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده  $m_{SH}$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



الف - تغییرات سرعت ژنراتور (pu)



ب - توان اکتیو خروجی ژنراتور (pu)

#### شکل ۵-۶ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده $\delta_{SE}$

۵-۳- سیستم سه ماشینه نه شینه

برای بررسی شاخص های عنوان شده از، سیستم معروف نه شینه، سه ماشینه استفاده شده است شکل ۵-۷. فرکانس سیستم ۶۰ هرتز و ماولت آمپر پایه ۱۰۰ است. اطلاعات ژنراتور ها در ضمیمه آمده است. تحلیل سیگنال کوچک اطلاعات مهمی در مورد مدهای نوسانی و میرایی میدهد. سیستم فوق دارای ۳ ژنراتور است که هر کدام مجهز به سیستم تحریک هستند. هر ژنراتور با تحریک ۷ تا متغیر حالت دارد. بنابراین مرتبه ماتریس حالت سیستم A، ۲۱ است. با توجه به تحلیل سیگنال کوچک و مدال برای این سیستم، مدهای نوسانی با میرایی ضعیف مشخص شده است. جدول ۵-۳، مقادیر ویژه متناظر با مدهای نوسانی الکترومکانیکی سیستم برای یک نقطه کار مشخص رانشان میدهد. اطلاعات بیشتر درباره مدهای نوسانی به کمک ضرایب مشارکت و شکل مد بدست می آید. ضرایب مشارکت نشان دهنده فعالیت متغیر حالت در مد داده شده است. جدول ۵-۴، ضرایب مشارکت برای مد داده شده رانشان میدهد. ضریب مشارکت متغیر حالت k نام نسبت به مد نام، به صورت زیر تعریف میشود:

$$p_{ki} = \frac{v_{ki} u_{ki}}{v_i^t u_i} (1 - \delta)$$

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

که  $U_{ki}$  و  $V_{ki}$  به ترتیب بردار ویژه راست و چپ نسبت به مدآم هستند.

از بین مدهای نوسانی، دومد  $1/99\text{HZ}$  و  $1/17\text{HZ}$  میرایی بسیار ضعیف دارند ولذا این دومد بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. جدول ۴-۵، ضرایب مشارکت متغیرهای حالت رانست به این دومد ناشن میدهد. با توجه به این جدول، مشاهده میشود که متغیرهای حالت سیستم تحریک در مدهای نوسانی الکترومکانیکی سهم زیادی ندارند. بنابراین میتوان این متغیرها را در نظر نگرفت.

نسبت میرایی	فرکانس (HZ)	مقادیر ویژه $\lambda = \sigma \pm j\omega$
0.057	1.99	$0.7194 \pm j12.5502$
0.038	1.17	$-0.2872 \pm j7.3645$
0.57	1.25	$-5.4605 \pm j7.8669$
0.56	1.25	$-5.3775 \pm j7.8930$
0.55	1.24	$-5.2370 \pm j7.8390$

### جدول ۴-۵ مدهای نوسانی

به همین دلیل در بیشتر مطالعات از مدل مرتبه ۴ ژنراتور استفاده شده است. بزرگ بودن ضرایب مشارکت  $\delta_{G2}$  و  $\omega_{G2}(0/3701)$ ، فعالیت ژنراتور  $G2$  را در مد  $1/17\text{HZ}$  نشان میدهد. بزرگ بودن ضرایب مشارکت  $\delta_{G2}$  و  $\omega_{G2}(0/3701)$ ، فعالیت ژنراتور  $G3$  را در مد  $1/9\text{HZ}$  نشان میدهد. با مشاهده دامنه و اندازه بردار ویژه راست (شکل مد) متناظر با متغیر حالت  $\delta_{G2}$  و  $\delta_{G3}$  مشخص میشود که دومد نوسانی فوق متناظر با پیچش ژنراتور  $G2$  برخلاف ژنراتور  $G3$  می باشد. شکل مد مربوط به دومد نوسانی در شکل ۵-۷ و ۵-۸ نشان داده شده است. شاخص کنترل پذیری متناظر با دومد نوسانی با میرایی ضعیف، برای هر کدام از ورودی های کنترلی UPFC ( $\Delta\delta_{se}\Delta V_{se}\Delta\delta_{sh}\Delta V_{sh}$ )، در خطوط مختلف سیستم (به جز خطوط شامل ترانسفورماتور)، محاسبه شده و در جدول ۵-۵ و ۵-۶ آمده است. جدول ۵-۵، شاخص های کنترل پذیری خطوط مختلف برای مکان UPFC متناظر با مد  $1/17\text{HZ}$  را نشان میدهد. این شاخص ها به شکل نرمالیزه شده بیان شده اند. لازم به ذکر است که در خط  $i-j$ ، مبدل سری UPFC به شین  $j$  و مبدل موازی UPFC به شین  $i$  وصل شده است. از جدول ۵-۵، مشاهده میشود که خط بین دو شین ۷-۸، بیشترین مقدار شاخص کنترل پذیری برای مکان UPFC، رانست به سیگنال کنترلی ورودی  $\Delta V_{se}$  دارد. بنابراین مناسب ترین مکان برای نصب UPFC، خط بین دو شین ۷-۸ و بهترین سیگنال برای کنترل،  $\Delta V_{se}$  است. شاخص کنترل پذیری متناظر با مد نوسانی  $1/99\text{HZ}$ ، برای مکان UPFC نیز محاسبه شده و در جدول ۵-۶ به شکل نرمالیزه شده است. از جدول ۵-۶ مشاهده میشود که خط بین دو ماشین ۸-۹ و خط بین دو شین ۷-۸ بیشترین مقدار شاخص کنترل پذیر را دارا هستند ولذا مناسب ترین مکان برای نصب UPFC هستند. بنابراین خط بین دو شین ۷-۸ که برای هر دومد نوسانی شاخص کنترل پذیری خوبی دارد به عنوان مناسب ترین مکان

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای UPFC انتخاب میشود. مناسب ترین سیگنال برای کنترل نیز  $\Delta V_{se}$  میباشد. با توجه به آنکه دومد نوسانی بیشتر مربوط به ژنراتورهای  $G_2$  و  $G_3$  هستند؛ از جدول ۵-۵ و ۶-۵ نیز مشاهده میشود که شین های ۹ و ۷ که نزدیک ترین شین ها به ژنراتور هستند؛ دارای بیشترین شاخص کنترل پذیری برای مکان UPFC هستند.

### ۵-۳-۱- روییت پذیری برای انتخاب سیگنال ورودی کنترل کننده تکمیلی UPFC

کنترل کننده تکمیلی در جهت افزایش میرایی موثر، به UPFC کمک می کند که باید سیگنال ورودی مناسب مورد استفاده برای کنترل کننده و پارامترهای آن، انتخاب شود. سیگنال ورودی کنترل کننده (شکل ۵-۹) بایستی به مدهای نوسانی که میرا شوند باید حساس باشد. این موضوع به کمک روییت پذیری برای سیگنالهای ورودی مختلف تعیین شده است. در جدول ۵-۷، روییت پذیری سیگنالهای مختلف نسبت به دومد نوسانی، حالتی که UPFC در خط بین دوشین ۷ و ۸ قرار دارد، محاسبه شده است. از جدول ۵-۷ مشاهده میشود که سیگنال تغییر سرعت از ژنراتور  $G_3$ ، بیشترین مقدار روییت پذیری را دارد و سیگنال خوبی برای ورودی کنترل کننده تکمیلی UPFC می باشد.



متغیر حالت	مد ۱/۹۹HZ	مد ۱/۱۷HZ
$\delta_{G2}$	0.1317	0.3701
$\omega_{G2}$	0.1317	0.3701
$E'_{qG2}$	0.0070	0.0164
$E'_{dG2}$	0.0080	0.0265
$E'_{fdG2}$	0.0001	0.0120
$V_{RG2}$	0.0001	0.0114
$R_{FG2}$	0.0000	0.0003
$\delta_{G3}$	0.3801	0.1290
$\omega_{G3}$	0.3801	0.1290
$E'_{qG3}$	0.0112	0.0077
$E'_{dG3}$	0.0314	0.0106
$E'_{fdG3}$	0.0008	0.0052
$V_{RG3}$	0.0007	0.0047
$R_{FG3}$	0.0000	0.0016

جدول ۵-۴ ضرایب مشارکت



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

خط	$\Delta\delta_{se}$	$\Delta V_{se}$	$\Delta\delta_{sh}$	$\Delta V_{sh}$
4-5	0.013	0.463	0.162	0.047
5-4	0.002	0.344	0.120	0.041
4-6	0.001	0.203	0.134	0.007
6-4	0.001	0.403	0.128	0.030
5-7	0.428	0.037	0.059	0.093
7-5	0.003	0.093	0.159	0.288
7-8	0.019	0.185	0.123	0.318
8-7	0.005	1.000	0.272	0.298
6-9	0.004	0.816	0.059	0.072
9-6	0.002	0.139	0.165	0.106
8-9	0.006	0.600	0.249	0.216
9-8	0.003	0.213	0.167	0.142

جدول ۵-۵ شاخص کنترل پذیری درمدنوسانی 1/17Hz برای مکان UPFC

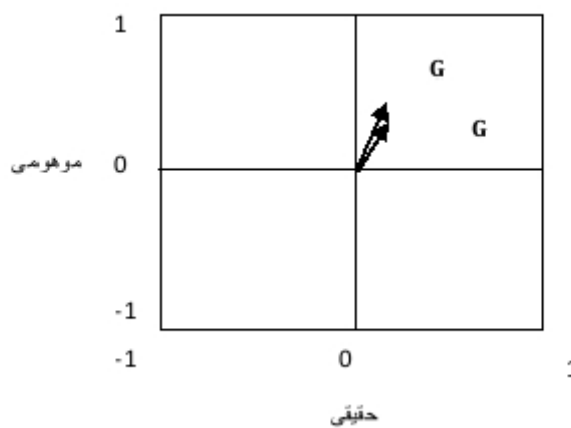
خط	$\Delta\delta_{se}$	$\Delta V_{se}$	$\Delta\delta_{sh}$	$\Delta V_{sh}$
4-5	0.010	0.128	0.085	0.055
5-4	0.005	0.303	0.038	0.073
4-6	0.002	0.223	0.091	0.035
6-4	0.002	0.123	0.105	0.045
5-7	0.100	0.015	0.030	0.083
7-5	0.005	0.118	0.036	0.233
7-8	0.002	0.386	0.030	0.033
8-7	0.028	0.997	0.327	0.876
6-9	0.005	0.972	0.088	0.100
9-6	0.005	0.058	0.195	0.200
8-9	0.008	1.000	0.128	0.106
9-8	0.005	0.086	0.186	0.200

جدول ۶-۵ شاخص کنترل پذیری درمدنوسانی 1/99HZ برای مکان UPFC

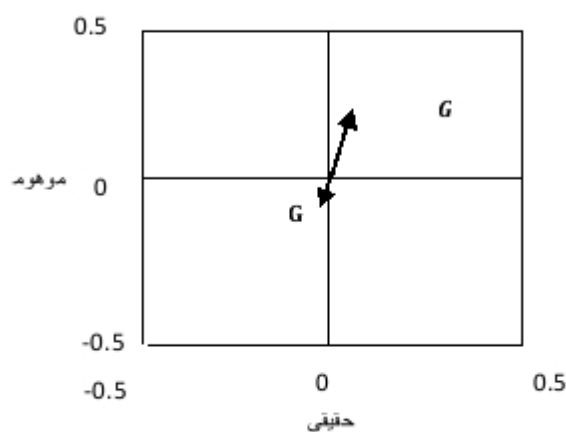
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

سیگنال	رویت پذیری برای مد ۱.۱۷HZ	رویت پذیری برای مد ۱.۹۹HZ
$\Delta \omega$ از $G_1$	0.1047	0.0280
$\Delta \omega$ از $G_2$	0.7555	0.2540
$\Delta \omega$ از $G_3$	1.3144	0.7443
$\Delta P$ از خط ۸-۹	0.0981	0.1575
$\Delta P$ از خط ۸-۷	0.1288	0.0800
$\Delta P$ از خط ۶-۹	0.0727	0.0648

جدول ۵-۷ رویت پذیری سیگنالهای ورودی کنترل کننده تکمیلی UPFC



شکل ۵-۷ شکل مدمربوط به مد 1/17HZ



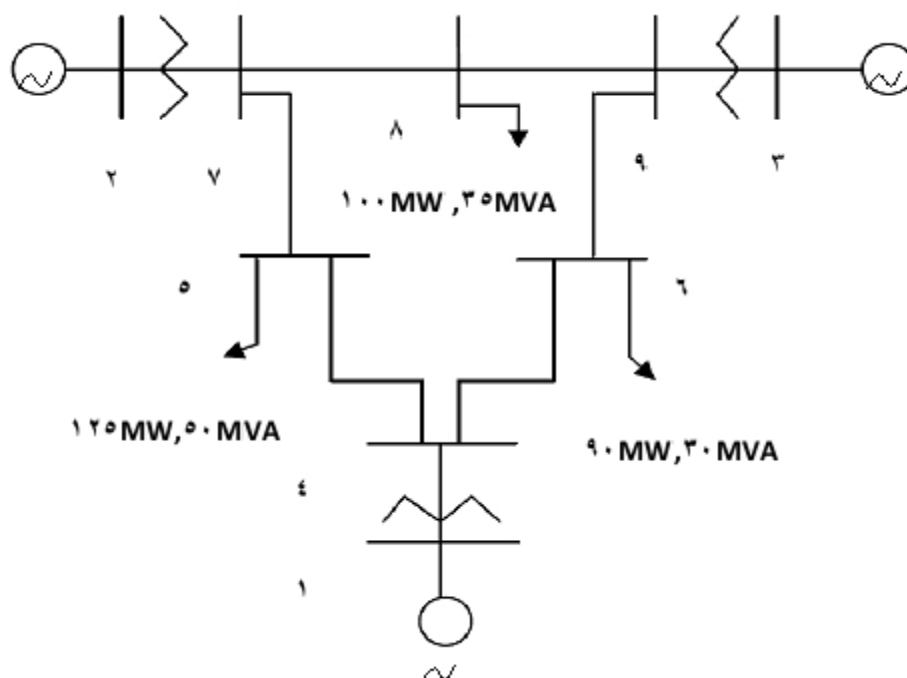
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل ۵-۸ شکل مد مربوط به مد 1/99HZ

۵-۳-۲-نتایج شبیه سازی

برای بررسی صحت نتایج، سیستم ۹ شینه ۳ ماشینه به کمک نرم افزار MATLAB/SIMULIN شبیه سازی شده است. و دو نوع خطای اتصال کوتاه بررسی میشود:

۱. بعد از خطا سیستم به حالت اولیه برگردد.
۲. سیستم بعد از خطا به حالت اولیه برنگردد.



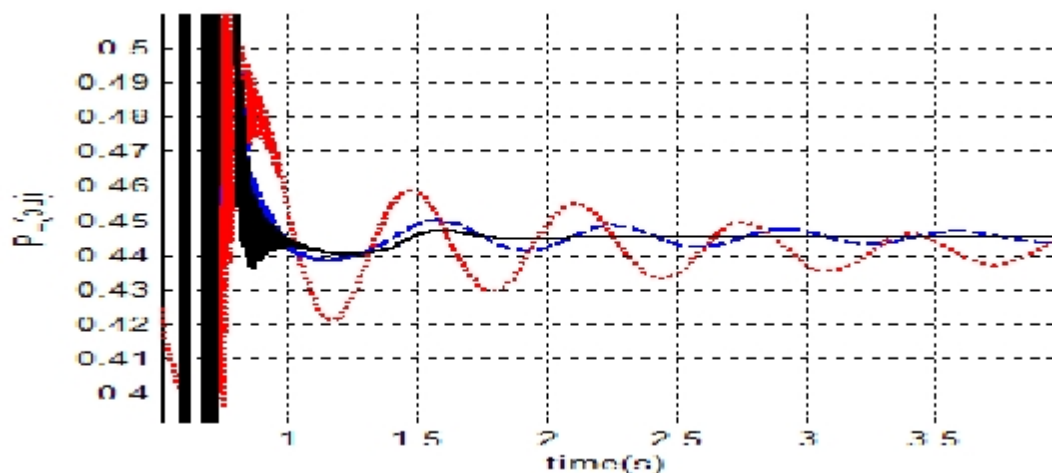
شکل ۵-۹ سیستم سه ماشینه نه شینه

۵-۳-۳-خطای نوع ۱

در لحظه  $t=0/6s$  یک خطای سه فاز در شین ۶ به مدت  $0/8$  ثانیه رخ میدهد. سه حالت (سیستم بدون UPFC، سیستم با UPFC و سیستم با UPFC و PSS) در شکل (۵-۱۰)، با همدیگر مقایسه شده اند. نتایج شبیه سازی نشان میدهد که نوسانات فرکانس پایین که به دلیل خطای اتصال کوتاه به وجود می آیند. در حالتی که UPFC در سیستم قرار نگرفته است بیشتر از ۸ ثانیه طول میکشد که به حالت ماندگار برسند و دامنه آنها بسیار بزرگ است. با قرار گرفتن UPFC در خط ۷-۸ سیستم، این نوسانات بعد از ۴ ثانیه میراشده و دامنه آنها کوچکتر میشود. و در حالتی که UPFC همراه با PSS در سیستم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

قرار می‌گیرند نوسانات بعد از یک سیکل کاملا میرا میشوند. با توجه به شکل ۵-۱۱، در حالتی که UPFC در سیستم قرار نگرفته، بر اثر اغتشاش به وجود آمده، سرعت ژنراتورها افزایش می‌یابد. UPFC با قرار گرفتن در خط ۷-۸ سیستم می‌تواند به خوبی این تغییرات را کنترل نماید.

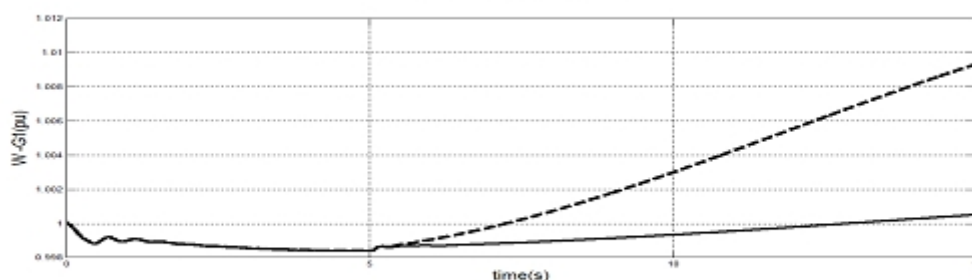
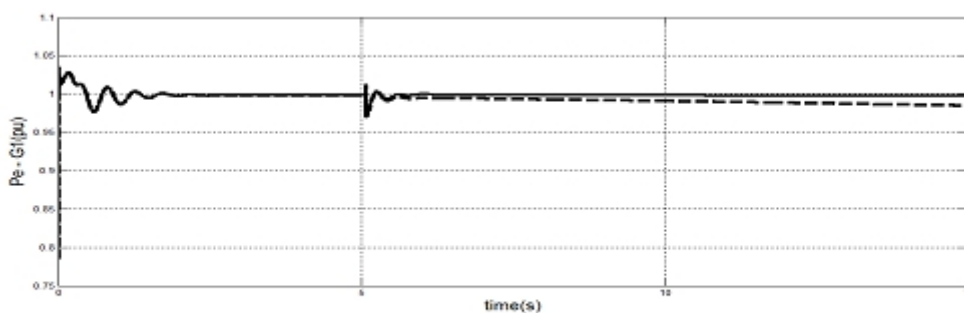


شکل ۵-۱۰ توان اکتیو خط ۸-۷ در حالت نوسانات فرکانس پایین

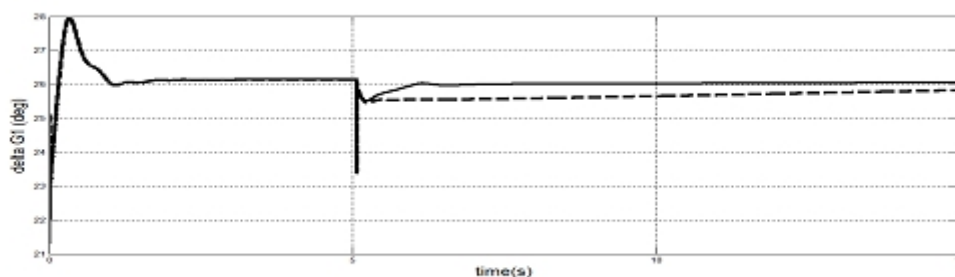
۵-۳-۴- خطای نوع

در این حالت با فرض موازی کردن خط ۷-۸ سیستم به دو خط جدا از هم، در لحظه  $t=5s$  یک خطای اتصال کوتاه سه فاز در خط موازی با خط شامل UPFC رخ میدهد بعد از چند سیکل، خط توسط مدار شکن ها از مدار خارج میشود. بنابراین توپولوژی سیستم به هم خورده و سرعت ژنراتور افزایش و توان خروجی آنها کاهش می‌یابد. شکل های ۵-۱۱ تا ۵-۱۳ نشان میدهند. با توجه به شکل ۵-۱۱-الف)، با ایجاد خطا در لحظه  $t=5s$ ، توان خروجی ژنراتور  $G_1$  کاهش پیدا میکند که با قرار گرفتن UPFC در سیستم، این افت توان به خوبی جبران میشود. با توجه به شکل ۵-۱۱-ب)، در لحظه به وجود آمدن اغتشاش در سیستم، به علت کاهش توان خروجی ژنراتور، سرعت آن افزایش پیدا میکند که کنترل کننده UPFC با قرار گرفتن در خط ۷-۸ سیستم، نوسان سرت ژنراتور رامیگیرد. همچنین شکل ۵-۱۱-پ) نشان میدهد که زاویه رتور ژنراتور با UPFC در حالت قبلی خود ثابت می‌ماند. شکل های ۵-۱۲ و ۵-۱۳ نیز پاسخ دینامیکی ژنراتورهای  $G_2$  و  $G_3$  در برابر اغتشاش، با و بدون UPFC نشان میدهند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



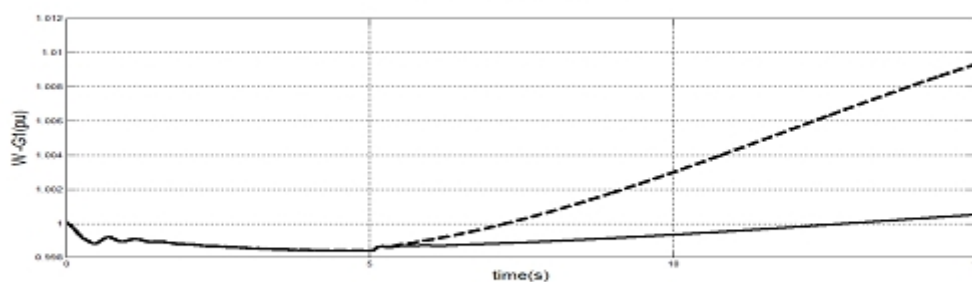
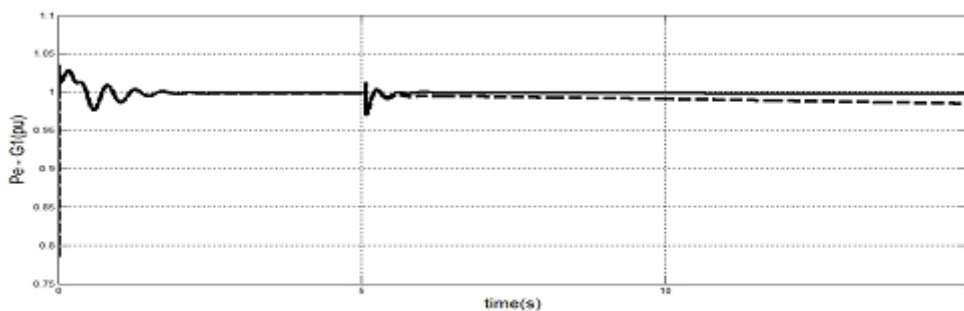
(ب)



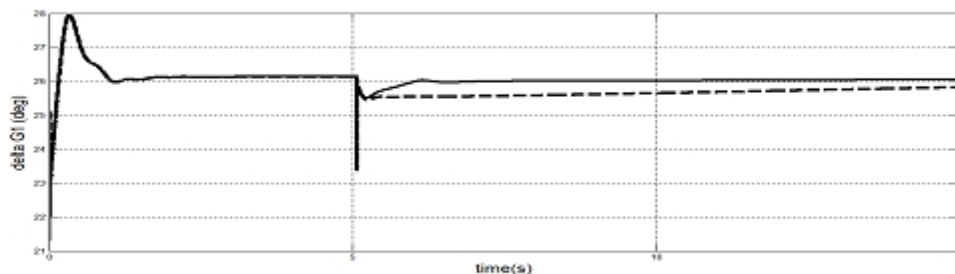
(ب)

شکل ۵-۱۱ پاسخ دینامیکی ژنراتور  $G_1$  در اغتشاش با وبدون UPFC (الف) توان خروجی (ب) سرعت (پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



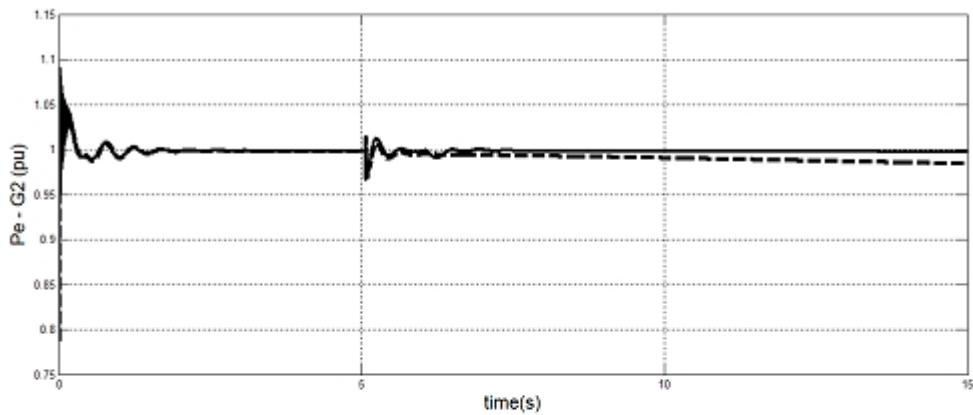
(ب)



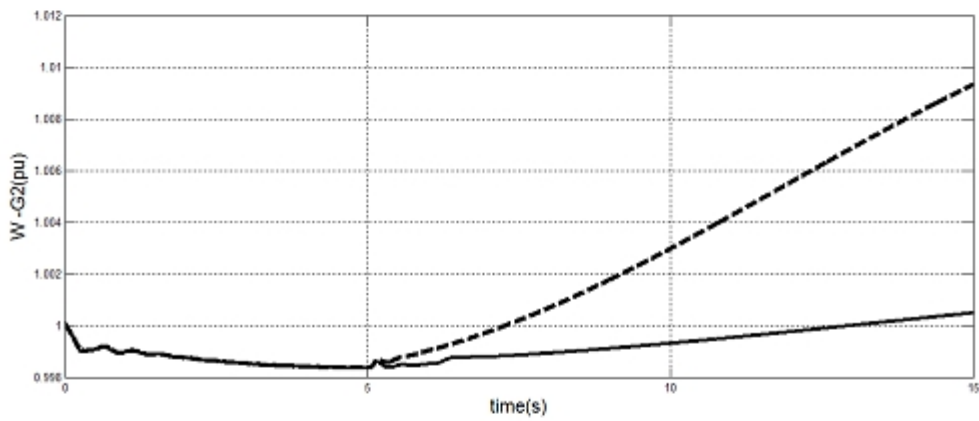
(ب)

شکل ۵-۱۱ پاسخ دینامیکی ژنراتور G2 در اغتشاش با وبدون UPFC (الف) توان خروجی (ب) سرعت (پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC)

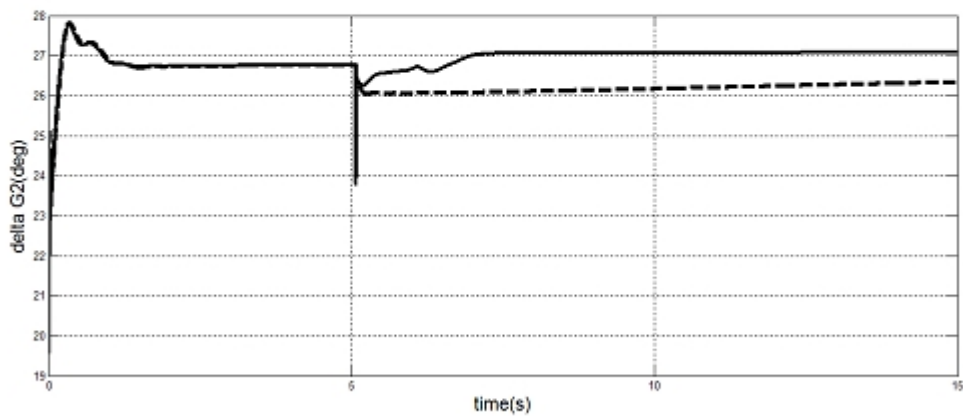
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(الف)



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
پروژه ۳۰۸  
دانشجویان: ...  
استاد: ...

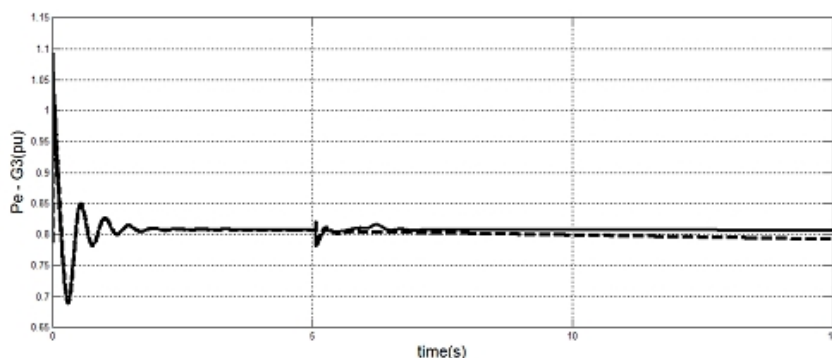


(ب)

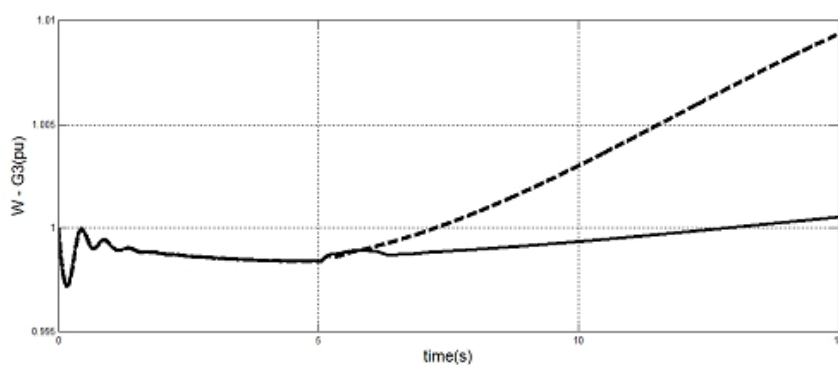


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

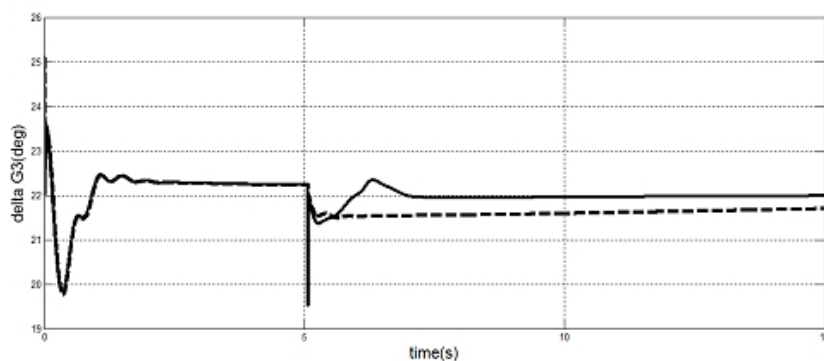
شکل ۵-۱۲ پاسخ دینامیکی ژنراتور G2 در اغتشاش با وبدون UPFC (الف) توان خروجی (ب) سرعت (پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC)



(الف)



(ب)

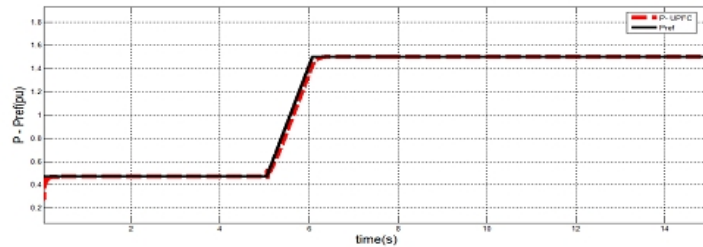


(ب)

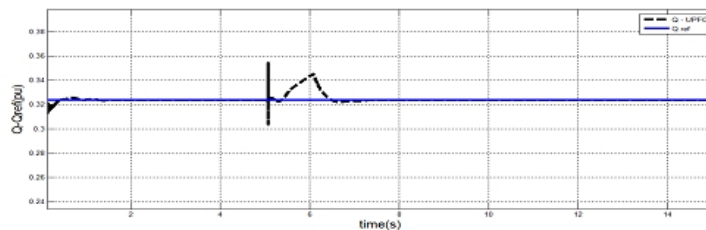
شکل ۵-۱۳ پاسخ دینامیکی ژنراتور G3 در اغتشاش با وبدون UPFC (الف) توان خروجی (ب) سرعت (پ) زاویه روتور (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

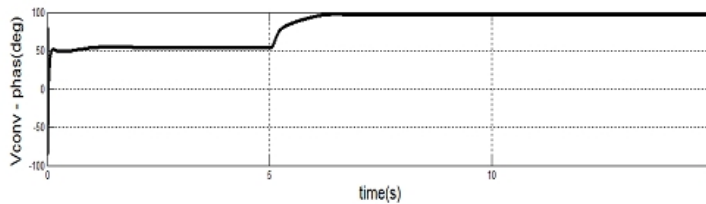
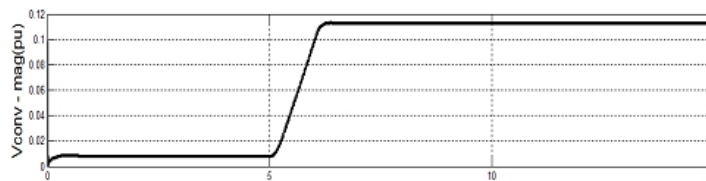
شکل ۵-۱۴ نشان میدهد که کنترل کننده UPFC، در لحظه  $t=5s$  با تزریق ولتاژ بادامنه وزاویه قابل کنترل توان اکتیو وراکتیو مرجع رابه خوبی دنبال میکند.



(الف)



(ب)

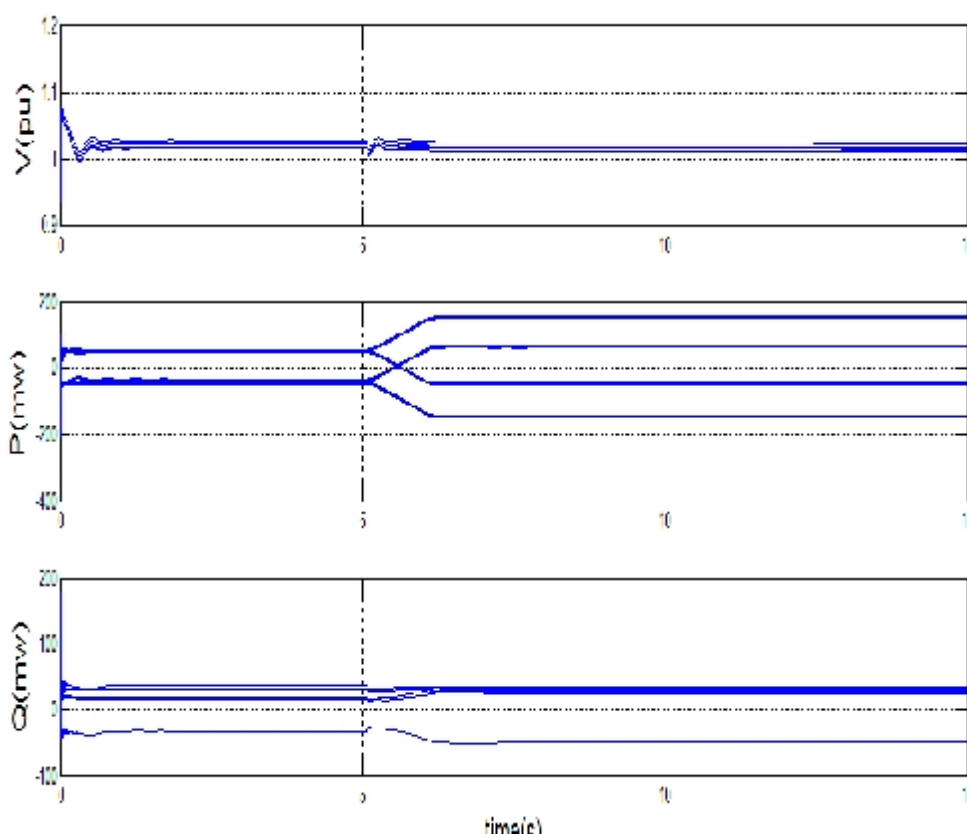


(ب)

شکل ۵-۱۴ عملکرد کنترل کننده UPFC در اغتشاش (الف) توان اکتیو نسبت به مرجع (ب) توان راکتیو نسبت به مرجع (پ) دامنه و فاز ولتاژ تزریقی (خط ممتد با UPFC و خط چین بدون UPFC)

شکل ۵-۱۵ ولتاژ شین ها، توان اکتیو و راکتیو خطوط با وجود UPFC در سیستم نشان میدهد. با توجه به شکل واضح است که UPFC با کنترل پخش توان خطوط، پایداری دینامیکی سیستم را حفظ میکند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۵-۱۵ ولتاژ شین ها، توان اکتیو و راکتیو خطوط با حضور UPFC در لحظه اغتشاش

۵-۴- نتیجه گیری

در این فصل به کمک نرم افزار MATLAB شبیه سازی بر روی سیستم تک ماشینه متصل به شین بی نهایت و سیستم سه ماشینه نه شینه انجام گرفت. در سیستم تک ماشینه پارامترهای بهینه کنترل کننده تکمیلی UPFC توسط الگوریتم PSO جهت افزایش میرایی نوسانات سیستم قدرت انتخاب شدند و با استفاده از روش کنترل پذیری و حداقل مقادیر استثنایی (SVD)، مناسب ترین سیگنال کنترلی ورودی UPFC که تاثیر بیشتری در بهبود پایداری دینامیکی سیستم قدرت دارد، مشخص شد. همچنین روش کنترل پذیری و رویت پذیری برای انتخاب مناسب ترین مکان UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت در سیستم سه ماشینه نه شینه به کار رفت. نتایج حاصل از تحلیل و شبیه سازی نشان داده که قرار گرفتن UPFC بین دوشن ۷ و ۸ بیشترین تاثیر در بهبود پایداری دینامیکی سیستم دارد.

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

6-1 مقدمه

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در این پایان نامه جایابی کنترل کننده UPFC جهت میرا کردن نوسانات سیستم قدرت در سیستم تک ماشینه و چند ماشینه مورد بررسی قرار گرفته است. در سیستم تک ماشینه که مکان UPFC مورد بحث نیست، انتخاب پارامترهای کنترل کننده تکمیلی و انتخاب بهترین سیگنال کنترلی UPFC با استفاده الگوریتم بهینه سازی PSO و روش تجزیه حداقل مقادیر استثنایی (SVD) انجام گرفته است. در سیستم چند ماشینه انتخاب بهترین مکان کنترل کننده UPFC با استفاده از تحلیل مقادیر ویژه، بردارهای ویژه، شاخص کنترل پذیری و شاخص رؤیت پذیری صورت گرفته است. جهت بررسی صحت نتایج بدست آمده، شبیه سازی بر روی سیستم تک ماشینه و سیستم 3 ماشینه انجام شده است

### ۶-۲- سیستم تک ماشینه

در سیستم تک ماشینه با توجه به آنکه دیگر مکان مورد بحث نیست، انتخاب بهترین سیگنال کنترلی و پارامترهای کنترل کننده تکمیلی UPFC مورد بررسی قرار گرفته است. در این پایان نامه با در نظر گرفتن یک سیستم تک ماشینه متصل به شین بی نهایت به همراه UPFC معادلات آن بدست آورده شده و با خطی سازی حول یک نقطه کار، مدل خطی سیستم مدل فضای حالت استخراج شده است. برای طراحی پارامترهای کنترل کننده تکمیلی، یک تابع معیار بر اساس مقادیر ویژه در نظر گرفته شده و با استفاده از الگوریتم بهینه سازی PSO پارامترهای بهینه انتخاب شده اند. همچنین با استفاده از روش تجزیه حداقل مقادیر استثنایی (SVD)، بهترین سیگنال کنترلی UPFC جهت تاثیر بیشتر بر میرایی نوسانات الکترومکانیکی سیستم انتخاب شده است. نتایج بدست آمده نشان میدهد که از بین سیگنالهای کنترلی UPFC، زاویه فاز اینورتر موازی که دارای بیشترین مقدار SVD است و به عنوان بهترین سیگنال ورودی UPFC برای کنترل میرایی نوسانات سیستم قدرت می باشد. صحت این نتایج با شبیه سازی بر روی سیستم تک ماشینه متصل به شین بینهایت نشان داده شده است.

### ۶-۳- سیستم چند ماشینه

در سیستم چند ماشینه ابتدا با نوشتن معادلات دینامیکی غیر خطی مربوط به اجزای سیستم، ژنراتور، سیستم تحریک، معادلات شبکه و خطی سازی آنها حول یک نقطه کار (نتایج پخش بار) معادلات دینامیکی کل سیستم به فرم فضای حالت بدست می آید که با توجه به معادلات فضای حالت و مقادیر ویژه سیستم، مدهای نوسانی ناپایدار شناسایی میشوند. سپس با در نظر گرفتن مدل مناسب برای کنترل کننده UPFC، معادلات خروجی آن بر اساس چهار پارامتر قابل تغییر توسط UPFC (دامنه و فاز ولتاژ مبدل سری و موازی) نوشته شده است و این معادلات با معادلات سیستم ترکیب شده و در نهایت معادلات کل سیستم به همراه UPFC به فرم فضای حالت بدست می آید. با معرفی شاخص کنترل پذیری، معیار کنترل پذیری برای مکان نصب UPFC تعریف میشود. بر اساس این معیار، خطی که بیشترین شاخص کنترل پذیری را داشته باشد به عنوان بهترین مکان برای نصب UPFC شناخته میشود. کنترل کننده تکمیلی UPFC در افزایش میرایی

## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

و بهبود آن به UPFC کمک میکند. سیگنال فیدبک که به عنوان ورودی کنترل کننده استفاده میشود باید به گونه ای انتخاب شود که به مدهای نوسانی ناپایدار حساس باشد در این پایان نامه برای انتخاب سیگنال فیدبک کنترل کننده تکمیلی از شاخص رویت پذیری استفاده شده است. برای بررسی صحت نتایج بدست آمده، سیستم ۹ شینه ۳ ماشینه به کمک نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده است.

۴-۶- پیشنهادها

در ادامه این پایان نامه در آینده کارهای دیگری میتوان انجام داد که در زیر به آنها اشاره میکنیم:

- ۱- بحث جایابی UPFC به منظور میرا کردن نوسانات سیستم قدرت به مدل مناسب UPFC و سیستم قدرت وابسته است. بنابراین با در نظر گرفتن مدل دینامیکی مناسب برای کنترل کننده UPFC و اجزای سیستم قدرت از جمله ژنراتورها، سیستم تحریک، گاورنر، بارها و خطوط انتقال میتوان نتایج کاملتر و دقیقتری بدست آورد.
- ۲- در این پایان نامه فقط یک UPFC جهت جایابی در نظر گرفته شده است، میتوان تعداد UPFC های بیشتری در نظر گرفت و شاید نتایج بهتری بدست آید.
- ۳- روشی که در این پایان نامه برای جایابی UPFC به کار رفته است، در سیستم ۹ شینه امتحان شده است. میتوان این روش را برای سیستم های بزرگتر نیز به کار برد.
- ۴- از آنجا که در سیستم های خیلی بزرگ مکان های بیشتری برای UPFC وجود دارد و معادلات غیر خطی نیز زیاد هستند بنابراین استفاده از روش های بهینه سازی ترکیب با روشی که در این پایان نامه به کار رفته است، میتواند جزو کارهای بعدی در ادامه ای پایان نامه باشد.
- ۵- میتوان این روش جایابی را برای دیگر ادوات FACTS به کار برد.

پوست الف

الف-۱. معادلات دیفرانسیلی

معادلات دیفرانسیلی تحریک و ماشین سنکرون به صورت زیر نوشته میشوند:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = \omega_i - \omega_s \quad \text{الف-۱}$$

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{T_{Mi}}{M_i} - \frac{[E'_{qi} - X'_{di} I_{di}] I_{qi}}{M_i} - \frac{[E'_{di} + X'_{di} I_{qi}] I_{di}}{M_i} - \frac{D_i(\omega_i - \omega_s)}{M_i} \quad \text{الف-۲}$$

$$\frac{dE'_{qi}}{dt} = \frac{E'_{qi}}{T'_{doi}} - \frac{(x_{di} - x'_{qi}) I_{di}}{T'_{doi}} + \frac{E_{fdi}}{T'_{doi}} \quad \text{الف-۳}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\frac{dE'_{di}}{dt} = -\frac{E'_{di}}{T'_{doi}} + \frac{I_{qi}}{T'_{qoi}}(X_{qi} - X'_{qi}) \quad \text{الف-۴}$$

$$\frac{dE_{fdi}}{dt} = -\frac{k_{Ei} + S_E(E_{fdi})}{T_{Ei}} E_{fdi} + \frac{V_{Ri}}{T_{Ei}} \quad \text{الف-۵}$$

$$\frac{dv_{Ri}}{dt} = -\frac{V_{Ri}}{T_{Ai}} + \frac{k_{Ai}}{T_{Ai}} R_{fi} - \frac{k_{Ai} k_{fi}}{T_{Ai} T_{Fi}} E_{fdi} + \frac{K_{Ai}}{T_{Ai}} (v_{erfi} - v_i) \quad \text{الف-۶}$$

$$\frac{dR_{Fi}}{dt} = -\frac{R_{Fi}}{T_{Fi}} + \frac{k_{Fi}}{(T_{Fi})^2} E_{fdi} \quad \text{الف-۷}$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

باختی سازی معادلات (الف-۱) تا (الف-۷) و نوشتن فرم ماتریسی آنها داریم:

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{\delta}_i \\ \Delta \dot{\omega}_i \\ \Delta \dot{E}'_{qi} \\ \Delta \dot{E}'_{di} \\ \Delta \dot{E}'_{fdi} \\ \Delta \dot{V}_{Ri} \\ \Delta \dot{R}_{Fi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{D_i}{M_i} & -\frac{I_{qio}}{M_i} & -\frac{I_{dio}}{M_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T'_{doi}} & 0 & \frac{1}{T'_{doi}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T'_{doi}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_{Bi}} f_{si}(E_{fdio}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{k_{Ai} k_{Fi}}{T_{Ai} T_{Fi}} & -\frac{1}{T_{Ai}} \frac{k_{Ai}}{T_{Ai}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{k_{Fi}}{(T_{Fi})^2} & 0 & -\frac{1}{T_{Fi}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta \omega_i \\ \Delta E'_{qi} \\ \Delta E'_{di} \\ \Delta E'_{fdi} \\ \Delta V_{Ri} \\ \Delta R_{Fi} \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{I_{qio}(x'_{di} - x'_{qi}) - E'_{dio}}{M_i} & \frac{I_{qio}(x'_{di} - x'_{qi}) - E'_{dio}}{M_i} \\ -\frac{(x_{di} - x'_{di})}{T'_{doi}} & 0 \\ 0 & \frac{(x_{qi} - x'_{qi})}{T'_{doi}} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta I_{di} \\ \Delta I_{qi} \end{bmatrix}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$+ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\frac{k_{Ai}}{T_{Ai}} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{M_i} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{k_{Ai}}{T_{Ai}} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta T_{Mi} \\ \Delta V_{refi} \end{bmatrix}$$

$$i = 1, \dots, m$$

که با در نظر گرفتن  $\begin{bmatrix} \Delta I_{di} \\ \Delta I_{qi} \end{bmatrix} = \Delta I_{gi}$ ,  $\begin{bmatrix} \Delta\theta_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix} = \Delta V_{gi}$ , و  $\begin{bmatrix} \Delta T_{Mi} \\ \Delta V_{refi} \end{bmatrix} = \Delta u_i$  معادله (الف-۸) به صورت زیر نوشته میشود:

$$\Delta \dot{X} = A_{1i} \Delta X_i + B_{1i} \Delta I_{gi} + B_{2i} \Delta V_g + E_i \Delta u_i \quad i = 1, \dots, m \quad (\text{الف-۹})$$

برای سیستم  $m$  ماشینه معادله (الف-۹) میتواند به فرم ماتریسی زیر بیان شود:

$$\Delta \dot{X} = A_1 \Delta X + B_1 \Delta I_g + B_{2i} \Delta V_g + E_1 \Delta u \quad (\text{الف-۱۰})$$

که  $A_1, B_1, B_{2i}, E_1$  ماتریس های قطری بلوکی هستند.

الف-۲. معادلات جبری استاتور

$$E'_{di} - v_i \sin(\delta_i - \delta_i) - R_{si} I_{di} + x'_{qi} I_{qi} = 0 \quad (\text{الف-۱۱})$$

$$E'_{qi} - v_i \cos(\theta_i - \theta_i) - R_{si} I_{qi} + x'_{di} I_{di} = 0 \quad (\text{الف-۱۲})$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad \text{برای}$$

باخطی سازی معادلات جبری استاتور (الف-۱۱) و (الف-۱۲) معادلات ماتریسی به فرم زیر بدست می آید:



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\begin{bmatrix} -v_{io} \cos(\delta_{io} - \theta_{io}) & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ v_{io} \cos(\delta_{io} - \theta_{io}) & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_i \\ \Delta\omega_i \\ \Delta E'_{qi} \\ \Delta E'_{di} \\ \Delta E'_{fdi} \\ \Delta V_{Ri} \\ \Delta R_{Fi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R_{si} & x'_{qi} \\ -v_{di} & -R_{si} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta I_{di} \\ \Delta I_{qi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{io} \cos(\delta_{io} - \theta_{io}) & -v_{io} \sin(\delta_{io} - \theta_{io}) \\ -v_{io} \sin(\delta_{io} - \theta_{io}) & -v_{io} \cos(\delta_{io} - \theta_{io}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_i \\ \Delta v_i \end{bmatrix} = 0$$

که معادله (الف-۱۳) را میتوان به صورت زیر نوشت:

$$0 = C_i \Delta X_i + D_{1i} \Delta I_{gi} + D_{2i} \Delta v_{gi} \quad i = 1, \dots, m \quad (\text{الف-۱۴})$$

و در حالت کلی میتوان معادله (الف-۱۴) را به صورت زیر نوشت:

$$0 = C_1 \Delta X + D_1 \Delta I_g + D_2 \Delta V_g \quad (\text{الف-۱۵})$$

که  $C_1, D_1, D_2$  ماتریس های قطری بلوکی هستند.

الف-۳. معادلات شبکه

این معادلات شامل معادلات پخش توان اکتیو و راکتیو برای تمام شین ها می باشند. برای شین های متصل به ژنراتور به صورت زیر نوشته میشوند: ( $i=1, \dots, m$ )

(الف-۱۶)

$$I_{di} V_i \sin(\delta_i - \theta_i) + I_{qi} V_i \cos(\delta_i - \theta_i) + P_{Li}(V_i) - \sum_{k=1}^n V_i V_k Y_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k - \alpha_{ik}) = 0$$

(الف-۱۷)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$I_{di}V_i \cos(\delta_i - \theta_i) - I_{qi}V_i \sin(\delta_i - \theta_i) + Q_{Li}(V_i) - \sum_{k=1}^n V_i V_k Y_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k - a_{ik}) = 0$$

برای شین هایی که متصل به ژنراتور نیستند این معادلات به فرم زیر نوشته میشوند:

$$P_{Li}(V_i) - \sum_{k=1}^n V_i V_k Y_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k - a_{ik}) = 0 \quad (\text{الف-۱۸})$$

$$Q_{Li}(V_i) - \sum_{k=1}^n V_i V_k Y_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k - a_{ik}) = 0 \quad (\text{الف-۱۹})$$

$$(i = m + 1, \dots, n)$$

باختی سازی معادلات شبکه (الف-۱۶) و (الف-۱۷)، (شین هایی که به ژنراتور وصل هستند) معادله ماتریسی زیر بدست می آید:

(الف-۲۰)

$$0 = \begin{bmatrix} C_{21} \\ \vdots \\ C_{2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_1 \\ \vdots \\ \Delta X_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{13} \\ \vdots \\ 3m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta I_{g1} \\ \vdots \\ \Delta I_{g2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{41,1} & \cdots & D_{41,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{4m,1} & \cdots & D_{4m1m1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_{g1} \\ \vdots \\ \Delta V_{g2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{51,m+1} & \cdots & D_{51+n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{5m,m+1} & \cdots & D_{5m,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_{lm+1} \\ \vdots \\ \Delta v_{ln} \end{bmatrix}$$

معادله (الف-۲۰) را میتوان به صورت زیر ساده تر نوشت:

$$0 = C_2 \Delta X + D_3 \Delta I_g + D_4 \Delta V_g + D_5 \Delta V_v \quad (\text{الف-۲۱})$$

که برای شین های بدون ژنراتور  $\Delta V_{li} = \begin{bmatrix} \Delta \theta_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix}$  است.  $(i=m+1, \dots, n)$  و توجه شود که  $C_2$  و  $D_3$  ماتریس های قطری بلوکی هستند ولی  $D_4$  و  $D_5$  ماتریس های قطری بلوکی نیستند. باختی سازی معادلاتی شبکه (الف-۱۸) و (الف-۱۹)، (شین هایی که به ژنراتور وصل نیستند) معادله ماتریسی زیر بدست می آید:

$$0 = \begin{bmatrix} D_{6m+1,1} & \cdots & D_{6m-1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{6n,1} & \cdots & D_{6n,m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_{g1} \\ \vdots \\ \Delta V_{gm} \end{bmatrix} \quad (\text{الف-۲۲})$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

معادله (الف-۲۲) رامیتوان به صورت زیر ساده تر نوشت:

$$0 = D_6 \Delta V_g + D_7 \Delta V_l \quad (\text{الف-۲۳})$$

که ماتریس های  $D_6$  و  $D_7$  کامل هستند و به صورت قطری بلوکی نیستند.

پیوست ب

ب-۱. داده های سیستم سه ماشینه نه شینه:

داده های ژنراتورها:

پارامترها	ژنراتور ۱	ژنراتور ۲	ژنراتور ۳
H(secs)	23.64	6.4	3.01
$X_d$ (pu)	0.146	0.8958	1.3125
$X'_d$ (pu)	0.0608	0.1198	0.1813
$X_q$ (pu)	0.0969	0.8645	1.2578
$X'_q$ (pu)	0.0969	0.1969	0.25
$T'_{do}$ (sec)	8.98	6.0	5.89
$T'_{qo}$ (sec)	0.31	0.535	0.6

داده های سیستم تحریک:

پارامترها	تحریک ۱	تحریک ۲	تحریک ۳
$K_A$	20	20	20
$T_A$ (sec)	0.2	0.2	0.2
$K_E$	1.0	1.0	1.0
$T_E$ (sec)	0.314	0.314	0.314
$K_F$	0.063	0.063	0.063
$T_F$ (sec)	0.35	0.35	0.35

$$S_{Ei}(E_{fdi}) = 0.0039e^{1.555E_{fdi}} \quad i = 1,2,3$$

ب-۲.  $Y_{bus}$  سیستم:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

$$\begin{pmatrix} -j17.3 & 0 & 0 & j17.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -j16 & 0 & 0 & 0 & 0 & j16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -j17.06 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j17.07 \\ j17.4 & 0 & 0 & 3.3 - j39.3 & -1.4 + j11.7 & -1.9 + j10.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.4 + j11.6 & 2.56 - j17.4 & 0 & -1.18 + j5.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.9 + j10.5 & 0 & 3.2 - j15.8 & 0 & 0 & -1.3 + j5.6 \\ 0 & j16 & 0 & 0 & -1.2 + j5.9 & 0 & 2.8 - j35.4 & -1.6 + j13.7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.6 + j13.7 & 2.8 - j23.3 & -1.1 + j9.7 \\ 0 & 0 & j17.06 & 0 & 0 & -1.3 + j5.6 & 0 & -1.1 + j9.7 & 2.4 - j32.1 \end{pmatrix}$$

ب-۳. نتایج مربوط به پخش بار سیستم سه ماشینه نه شینه:

	شین	ولتاژ (pu)	$P_G$ (pu)	$Q_G$ (pu)	$-P_L$ (pu)	$-Q_L$ (pu)
۱	مرجع	۱.۰۴	۰.۷۱۶	۰.۲۷	-	-
۲	(P-V)	$۱.۰۲۵ \angle ۹.۳^\circ$	۱.۶۳	۰.۰۶۷	-	-
۳	(P-V)	$۱.۰۲۵ \angle ۴.۷^\circ$	۱.۸۵	۰.۱۰۹	-	-
۴	(P-Q)	$۱.۰۲۶ \angle ۳.۲^\circ$	-	-	-	-
۵	( $^c$ )	$۰.۹۹۶ \angle -۴.۰^\circ$	-	-	۱.۲۵	۰.۵
۶	( $^c$ )	$۱.۰۱۳ \angle -۳.۷^\circ$	-	-	۰.۹	۰.۳
۷	( $^c$ )	$۱.۰۲۶ \angle ۳.۷^\circ$	-	-	-	-
۸	( $^c$ )	$۱.۰۱۶ \angle ۰.۷^\circ$	-	-	۱.۰۰	۰.۳۵
۹	( $^c$ )	$۱.۰۳۲ \angle ۲.۰^\circ$	-	-	-	-

فهرست مقالات نوشته و چاپ شده

[۱] علی اکبر مطیع بیرجندی و مسلم صالحی، جایابی UPFC جهت میران کردن نوسانات سیستم قدرت، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق (PSC) صفحات ۹۱ تا ۹۳، ۱۳۸۹

[۲] علی اکبر مطیع بیرجندی و مسلم صالحی، تاثیر کنترل کننده UPFC برای میرا کردن نوسانات سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم PSO و روش تجزیه حداقل مقدار استثنایی (SVD)، کنفرانس برق دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ۱۳۹۰

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

مراجع

[1] Kundur.P1994.,Power System Stability and Control,McGraw Hill,.

[۲] جورابیان، محمود، قرپتیان گئورک و میرعباسی داور. ۱۳۸۶. سیستم های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS) «مفاهیم و کاربردها». اهواز. دانشگاه شهید چمران.

[ 3 ] Gerbex.S., Cherkaoui R.,and Geimond A.J., ( 2001) "optimal location of multitype FACTS devices a power system by means of genetic algorithms" . IEEE Trans.power system .vol.16 ,pp.. 537-544.

[4 ] Habur.K,andOleary. I. FACTS — flexible AC transmission systems For cost effective and reliable transmission of electrical energy.ht4)://www.siemensdcom/TransSys/pdf/CostEffectiveReliabTrans.

[5 ] Hao. J, Shi .LB. and Ch.chen(2004 ) . optimising location of unified power flow controllers by means of improved evolutionary programming . LEE Proc.Gener.Transm.Distrib.,vol 151,,No. 60.

[6 ] Fang , W.,and Ngan,H.W (2000 ) Arobust load flow technique for use in power systems with unified power flow controllers . Electr .power SystRES. 53,pp. 181-186.

[7 ] Verma. K.S, Sing S.N. Gupta H.O( 2001) Location of unified power flow controller gestion management . Electric power systems researchem 58.89-96.

[8 ] Elgerd .LO (1971 ) . Electric Energy Theory — An Introduction . McGraw — Hill . New York..

[9 ] Singh .S.N, David A.K(2000 ) Congestion management by optimising FACTS device allocaton . in: Proceeding of the International Conference on Electric Utility Deregulation & Restructuring and Power Technologies .City University , London; 4-7,pp. . 23-28.

[10] Kalyan B. Kumar,SN.Sing and Srivastava S.C(2007 ) . placement of FACTS controllers using modal controllability indices to damp out power system oscillations . IET Gener Transm.Distrib.,vol.10 , pp:209-217

[11 ] Peter,W.S., and Pai , M.A. ( 1998) Power system dynamics and stability.(Prentice Hall,New Jersey,USA).

[ 12 ] Rogers,G. (2000) . Powerrzysfem oscillation .(Kluwer , Norwell , MA).

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- [13] Magaji .N. and.MustafiligY(2008), optimal Location of FACTS devices for damping oscillatitmrtetig Residue Factor . JEFF Internatinal Conference on power and Energy(PECon 08 ),Johor Baharu,Malaysia
- [ 14] Sadikovi R.O .(2006) Use Of Facts Devices for Power Flow Control and Damping of Oscillations in Power Systems .PhD Zurich : Swiss Fedral Institute of Technology.pp.139'
- [15 ] Tambey. N. and Kothari.M . L. (2003 ') . Damping of Power Oscillations With unified power flow controller (UPFC). IEE proc-Gener.Transm.Distrib , Vol.150 ,No. 2,pp.. 129-140
- [16] Shayeghi.H. Shayanfar A.,Jalilzadeh.,S, Safari A.(2009 ), A PSO based unified power flow controller for damping of power system oscillations . Energy Cowers Manage ,50 vol. , pp. 2583-2592.
- [17 ] Wang. H . F ( 1999) . Damping function of Unified Power Flow Controller , " TEE Pros . C .Genr .Transco .Distrib .vol. 146, PP81-87.
- [18 ] DeMello FP ,Concordia( 1969),Concept of synchronous machine stability as affected by excitation control . IEEE Trans PAS. pp. 316-29,0.
- [ 19] Yu YN(1983 ) . Electric power system dynamics . Academic Press ;
- [ 20] Pandey .R. K., Singh. N. K(2009 ). UPFC control parameter identification for effective power oscillation damping, Electrical Power and Energy System vol.31 , pp. 269-276.
- [21] Jain .T, Sing. S. N. Sirvastava S. C.(2009 ) Dynamic Atc enhancement through optimal placement of FACTS controllers. Electrical Power System Research.,vol. ' .79, pp. 1437-1482.
- [22] Heffron WG , Phillips RA (1952). Effect of modem amplidyne voltage regulator on under excited opratiow, of large turbine generator . AWE Trans. pp. 692-7,.
1. Steady — state and dynamic ۱۹۹۶)[23 ] Nabavi — Niaki A , Irvarci MR. ( models of unified power flow controller (UPFC) for power system studies . IEEE Trans PWRS, vol. , pp. p
- [ 24]Hamdan AMA.(1999 ) itai...inVetgation of the significance of singular value decomposition in power system dynamics . int J Electr Power Energy Syst vol. 21, pp. 417-24.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- [25] Bonabeau , E ,M Dorigo , and G , Theraulaz( 1999),Swann Intelligence : From Natural to Artifical systems , New York : Oxford University prss ,Santa Fe Institute Studies in the Science of Complexity , .
- [26 ] Bonabeau. E , and Theraulaz. G(2000 ) , "Swarm Smarts" ,Scintific Amrica ,No , 3,,pp . 71-79.
- [ 27] Eberhart R, C, J .Kennedy and Y Shi(2001 ) Swann Intelligenc Morgan Kaufman Publishers San Francisco
- [ 28] Lin. Y . J , He. X .X(2005 ) . " Modeling Identification of power plant thermal process Based of PSO Algorithm " American Control Conference June 8-10,, pp . , 4484-4489
- [ 29] Sauer. P. W. and Pai. M. A(1997), Power System Dynamics and Stability, Prentice Hall, Upper Saddle River, NY,.
- [30 ] Junta .D. A., Jr(1989 ),,'linearized analysis of single and multimachine power systems,"M.S.thesis, University of Illinois, Urbana Champaign,.
- [31 ] Pai.M. A., Sen Gupta. D. P, and Padiyar K. R(2007 ) , Small Signal Analysis of Power Systems, Narosa Publishing House Pvt. Ltd,.
- [32] I Anderson.P.M. and Fouad.A.A( ) , Power System Control and Stability.Ames,IA:Iowa State T Tniv.Bress,.
- [33 ] Padiyar .K.R(2002 ).POWER Sy stem Dynamics - Stability and Control. lid ed Hyderabad,IndiaB.S.Publications,.
- [ 34] Kulkami. A. M. and Padiyar'-K. R( ) , 'Damping of power swing using series facts controllers," Int. J. Elect. Power Energy Syst., vol. ' , no. 7, pp. 475-495' Oct. v -
- [35 ] Gyugyi L(1991 ) , "Unified Power Flow Control Concept for Flexible AC Transmission System,"IEE Proceeding , vol.139 , no.4 , pp. 323-331.
- [36 ] Gyugyi L and Rietman T.T( 1995),"The Unified power Flow Controller:A New Approach to power Transmission Control,"IEEE Trans. On Power Delivery ,vol 10. , no.2 , pp1085-1093.
- [37 ] Guoi.,Crow,M.L.,and Sarangapani,J(2009 ).,"An Improved UPFC Control for Oscillation Damping."IEEE Trans . Power System, vol.24 .no.1 ,PA228-296.
- [38 ] Zarghami, M. ,Crow, M. L.(2007 ) , "The Existence of Multiple Equilibria in the UPFC Power Injection Model,"IEEE Trans .Power System, vol.22 , no. 4, pp. . 2280-2282,.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- [39] Mhaskar U. P. and Kulkarmi A. M. (2006 ), Power Oscillation Damping Using FACTS Devices: Modal Controllability, Observability in Local Signals, and Location of Transfer Function Zeros, IEEE Transaction on Power Systems, vol.21 , no.,1,.
- [40 ] Wang. H F ( 1988 ) "Damping Function of Unified Flow Controller" IEE Proceedings-C, vol 146, no 1, p 81.
- [41 ] Nguyen T. T. and Gianto. R. (2007 ), Optimisation-based control coordination of PSSs and FACTS devices for optimal oscillations damping in multi-machin power system, IET Gener. Transm. Distrib.,Vol1. , No.4 , .
- [ 42] Sarvana llango. G., Nag mani .C., Sai A. V. S. SR., Aravindan D(2009 ), Control algoritms iontrol of real and reactive power flows and power oscillation damping using UPFC, Electric Power Systems Research .,Vol79.' Pp.595-605.
- [ 43]Ande S, and Koththi ha7L( 2007), Optimization of Unified Power Flow Controller (UPFC) using GEA, International Power Engineering Conference (IPEC), pp.53-58.  
Abstract

Low Frequency Oscillation is an important issue in power system. If not well damped, these oscillations may keep growing in magnitude until loss of synchronism results. Flexible ac transmission systems (FACTS) controllers are being used to damp out the power system oscillations. The unified power flow controller (UPFC) is regarded as one of the most versatile devices in the FACTS-device family which can enhance damping of power oscillation with suitable placement. In this research ,several methods for the placement of UPFC considered dynamic and static criterion like cost, loss minimization , increasing loadability and congestion management are explained. then PSO algoritm and singular value decomposition (SVD) have been employed to search for the optimal controller parameter settings and to control signal of UPFC for damping power system oscillations in single machine infinite bus system. In this research, with controllability index, input control parameter and UPFC proper location and by means of observability index, a proper feedback signal was determined for UPFC supplementary controller input in multi-machine system

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

Key words: unified power flow controller (UPFC) , placement , observability , controllability , Power System Oscillations(PSO) , Flexible ac transmission system (FACTS).,

