

## طراحی پایدارساز سیستم قدرت برای نیروگاه بیستون کرمانشاه

مصطفی پرنیانی  
دانشگاه صنعتی شریف

غلامحسن ظفرآبادی  
دانشگاه صنعتی شریف و پژوهشگاه نیرو

واژه های کلیدی: پایدارساز سیستم قدرت، نیروگاه بیستون، پایداری دینامیکی

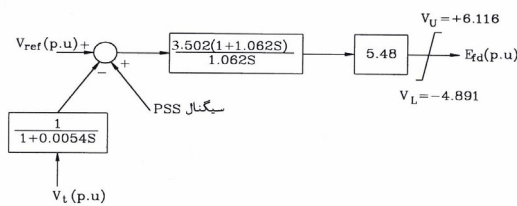
### چکیده

هدف از این مقاله طراحی پایدارساز سیستم قدرت برای نیروگاه بیستون کرمانشاه، متصل به شبکه سراسری ایران و ارزیابی تأثیر آن بر روی نوسانات الکترومکانیکی مودهای محلی، داخلی و بین ناحیه ای بر اساس مناسبترین روشهای موجود، می باشد. روش طراحی منتخب در این مقاله بر اساس روش جبران فاز تابع تبدیل ورودی اکسایتر-گشتاور الکتریکی و تحلیل مکان ریشه ها در یک محدوده فرکانسی، استوار است. با توجه به اینکه PSS بیستون، یک پایدارساز با دو ورودی توان\_فرکانس و ساختاری ویژه است، عملکرد آن در مقایسه با پایدارساز با ورودی توان\_سرعت نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### ۱- مقدمه

از جمله مسائل مهم در شبکه قدرت، پایداری دینامیکی سیستم می باشد؛ چرا که در صورت داشتن یک سیستم با حاشیه پایداری و میرایی کافی، می توان از حداکثر ظرفیت شبکه استفاده کرد. پایدارساز سیستم قدرت یکی از کنترل کننده های کمکی است که با نصب بر روی سیستم تحریک نیروگاهها، با بهبود میرایی نوسانات الکترو مکانیکی به این امر کمک می کند. از طرفی بعد از نصب PSS بر روی یک نیروگاه و گذشت چند سال، با توجه به تغییرات ساختار شبکه و نیز تغییر پارامترهای نیروگاه، برای بهره برداری بهینه، پایدارساز نیاز به تنظیم مجدد دارد.

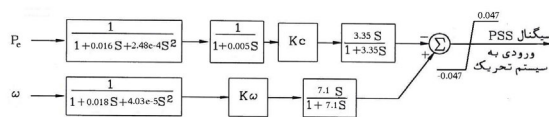
نیروگاه بیستون دارای دو واحد هر یک با توان نامی  $400\text{MVA}$  و ضریب قدرت  $0.8$  می باشد که در غرب کشور واقع است. این نیروگاه از طریق  $5$  خط  $230\text{kV}$  به شبکه سراسری متصل است. در این مقاله،



شکل ۱- نمودار بلوکی سیستم تحریک بیستون  
برای بررسی پایداری

## ۲-۳- مدل پایدارساز سیستم قدرت (PSS)

پایدارساز سیستم قدرت نیروگاه بیستون دارای دو ورودی توان حقیقی و فرکانس است. در مسیر هرکدام از ورودیها، یک فیلتر مرتبه دو، یک بلوک شوینده (washout) و یک ضریب بهره قابل تنظیم وجود دارد. یک تابع مرتبه اول نیز در مسیر ورودی توان موجود بوده و خروجی های دو مسیر از هم کم می گردد. نمودار بلوکی این پایدارساز که از اسناد و نقشه کارتهای سیستم تحریک بدست آمده، در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار بلوکی PSS بیستون

خروجی PSS زمانی به سیستم تحریک اعمال می شود که توان بیشتر از ۰/۲۵ pu باشد. مقادیر بهره هر یک از دو مسیر یعنی  $k_c$  و  $k_\omega$  قابل تنظیم بوده و نحوه محاسبه آنها در ادامه ارائه خواهد شد.

## ۲-۴- مدل سازی شبکه قدرت ایران

برای مدل سازی شبکه سراسری ایران تمامی خطوط، ترانسفورمرها و جبران سازهای شبکه انتقال بدون ساده

بر اساس کاملترین اطلاعات موجود برای نیروگاه بیستون که از اسناد و شناسایی ژنراتور بدست آمده است و آخرین روشهای تحلیل و طراحی با مدل های چند ماشینه، پایدارساز این نیروگاه طراحی شده و عملکرد دینامیک نیروگاه و تأثیر آن بر مودهای مختلف نوسان الکترومکانیکی سیستم در حضور پایدارساز و بدون آن ارزیابی شده است. همچنین با توجه به اینکه پایدارساز مذکور دارای طرحی ویژه و با ورودیهای توان و فرکانس است، تأثیر جایگزینی ورودی فرکانس با سرعت توربو ژنراتور که معمولتر می باشد مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲-۲- مدل سازی نیروگاه بیستون و شبکه قدرت

### ۲-۱-۱- مدل سازی ژنراتور

پارامترهای مورد استفاده برای مدل سازی ژنراتور بیستون، پارامترهایی هستند که از آزمایشهای شناسایی بدست آمده است. روش شناسایی مورد استفاده برای نیروگاه بیستون، استفاده از آزمایش افول جریان مستقیم در آرمیچر ماشین سنکرون در حالت ایستا می باشد که در استاندارد IEC34-4 مطرح شده است [۱]. مدل مناسب ژنراتور جهت مطالعات دینامیکی، مدل دو محوری (dqo) استاندارد IEEE می باشد. مقادیر عددی این پارامترها در مرجع [۱] آمده است.

### ۲-۲-۲- مدل سازی سیستم تحریک

شکل (۱) مدل ساده سیستم تحریک نیروگاه بیستون را نشان می دهد که در آن کنترلها و حفاظتهای جانبی به علت فعال نشدن در آنالیز پایداری سیگنال کوچک، حذف گردیده اند. همانگونه که مشاهده می شود، AVR یک کنترل کننده PI می باشد. آخرین پارامترهای بدست آمده برای سیستم تحریک بر اساس شناسایی تحلیلی استخراج شده اند [۲].

### ۳-۱- طراحی پارامترهای پایدارساز

برای تنظیم پارامترها، لازم است که تأخیر فاز  $GEP(s)$  (تابع تبدیل از خروجی پایدارساز تا گشتاور الکتریکی، با در نظر گرفتن مقدار بینهایت برای ثابت اینرسی ماشین مربوطه) در یک بازه فرکانسی که مود محلی و داخلی نیروگاه و نیز تمامی مودهای بین ناحیه ای (که نیروگاه بیستون بر آنها تأثیر گذار است) را دربر می گیرد، محاسبه گردد. سپس سعی شود که با انتخاب مقادیر مناسب پارامترهای PSS این تأخیر فاز جبران گردد [۴ و ۶]. روش کار بدین صورت است که ابتدا هر دو واحد بیستون را با هم ادغام کرده و به صورت یک واحد منفرد در نظر گرفته و ثابت اینرسی آن مقدار بزرگی قرار داده می شود. سپس برای جلوگیری از تأثیر دینامیک دیگر نیروگاهها بر روی این تابع تبدیل، نیروگاههای اطراف بیستون به صورت بار منفی و بقیه به صورت شین بینهایت مدل می شوند [۶].

چنانچه پایدارساز بتواند چنین مشخصه فاز ایده آلی را به طور کامل جبران نماید، حداکثر میرایی را به ازای بهره معین در یک نقطه کار خاص خواهیم داشت، بدون آنکه تأثیری بر گشتاور سنکرون کننده و فرکانس نوسانات داشته باشد. اما به خاطر محدودیتهای تابع تبدیل پایدارساز - از جمله شرط سره (*proper*) بودن- و نیز تغییر تابع تبدیل سیستم با شرایط کار، جبران کامل امکان پذیر نبوده و بنابراین منحنی فاز حاصل از PSS بایستی تاحد امکان به فاز  $GEP(s)$  نزدیک شود.

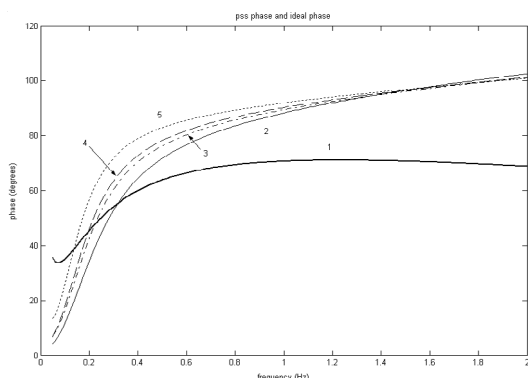
نکته قابل توجه در طراحی پارامترهای پایدارساز این است که جبران فاز PSS در فرکانس مود محلی نباید از جبران فاز ایده آل بیشتر شود؛ چراکه در این صورت یک گشتاور سنکرون کننده منفی بوجود خواهد آمد که چندان مطلوب نیست. بنابراین اگر جبران فاز مقداری کمتر از جبران فاز ایده آل باشد،

سازی مدل شد. برای مدلسازی ژنراتورهای شبکه با توجه به اهمیت آنها در تحلیل ها، سه نوع مدلسازی در نظر گرفته شد. ابتدا در هر نیروگاه واحدهای مشابه با هم ادغام شده و یک واحد معادل برای آن قرار داده شد. با توجه به اینکه این تحلیلها برای نیروگاه بیستون می باشد، لذا مدل کامل زیر گذرا (مدل دو محوری با سیم پیچی های میرا کننده) برای آن در نظر گرفته شد. برای نیروگاههای مجاور بیستون که از نظر اهمیت در مرتبه بعدی قرار دارند مدل گذرا گذاشته شد و واحدهای گازی و بخاری نیروگاههای سیکل ترکیبی اطراف بیستون نیز به صورت جداگانه مدل شدند. مدل در نظر گرفته شده برای نیروگاههای دوردست، مدل کلاسیک می باشد. برای مقادیر پارامترهای این نیروگاهها از مرجع [۳] استفاده شد. با توجه به این نحوه مدلسازی ژنراتور، در شبکه ایران ۴۸ ژنراتور بدست آمد. همچنین سیستم تحریک نیروگاه بیستون دقیقاً مدل شد و مدل سیستم تحریک نیروگاههای اطراف بیستون به صورت نمونه ای گذاشته شد. شبیه سازیها در یک نقطه کار پایه با بارگذاری حداکثر نیروگاه بیستون انجام شد.

### ۳- طراحی پایدارساز سیستم قدرت

برای طراحی پایدارساز سیستم قدرت بایستی بدترین شرایط را که در آن کمترین میرایی در نوسانات الکترومکانیکی داریم، در نظر گرفته شود. این شرایط که به شرایط عملکرد معروف است [۴ و ۵]، در حالت بار کامل و بیشترین امپدانس خروجی نیروگاه صورت می گیرد. شرایط عملکردی در نظر گرفته شده برای نیروگاه بیستون، در بار نامی  $320 \text{ MW}$  برای هر واحد بوده و بیشترین امپدانس، در زمان خارج از مدار بودن دو خط انتقال بین شینههای بیستون و شرق کرمانشاه بدست می آید.

شود. منحنی شماره ۳، فاز تابع تبدیل  $GEP(s)$  در بار کامل و شرایط عادی می باشد. منحنی شماره ۴ فاز  $GEP(s)$  در بار کامل و در زمانی است که تنها یک واحد در مدار بوده و امپدانس خروجی بیشترین مقدار را دارد. منحنی شماره ۵ فاز  $GEP(s)$  در بار کامل و در زمانی است که تنها یک واحد در مدار بوده



شکل ۴- مشخصه جبران فاز ایده آل و واقعی PSS

و امپدانس خروجی نیز کمترین مقدار را دارد (شرایط عادی). مشاهده می گردد که از منحنی ۲ تا ۵ به تدریج تفاوت فاز ایده آل و تولیدی توسط PSS بیشتر می شود. با این وجود چون این فاصله از ۴۵ درجه کمتر است، قابل قبول می باشد. با توجه به اینکه تغییر بهره یک تابع تبدیل تأثیری بر فاز آن ندارد، بنابراین برای

جبران فاز مورد نظر فقط نسبت  $\frac{k_c}{k_\omega}$  محاسبه شد:

$$\frac{k_c}{k_\omega} = \frac{0.76}{7.5} \quad (3)$$

مقدار دقیق  $k_c$  و  $k_\omega$  به شرح زیر از روش مکان ریشه ها بدست می آید.

### ۳-۲- تعیین بهره PSS

بهره پایدار ساز تأثیر مستقیمی بر نوسانات الکترومکانیکی دارد و هر چه بهره افزایش پیدا کند، میرایی بیشتر خواهد شد. با توجه به ثابت بودن نسبت

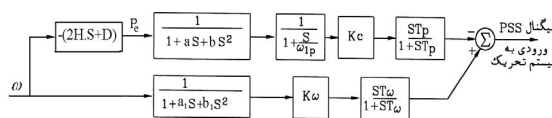
هرچند از حداکثر میرایی مقداری کم می کند، اما تأثیر مثبتی بر گشتاور سنکرون کننده و بهبود پایداری گذرا خواهد داشت. این مقدار زیر جبران، در فرکانس نوسانات الکترومکانیکی مود محلی باید بین صفر تا ۴۵ درجه باشد [۵] و در نوسانات بین ناحیه ای نیز سعی بر این است که فاز PSS، تأخیر فاز  $GEP(s)$  را تا حد امکان جبران کند. بدین ترتیب، پایدارساز علاوه بر میرایی مود محلی، گشتاور میرا کننده مثبتی در فرکانسهای نوسان بین ناحیه ای ایجاد می کند. فرکانس نوسانات الکترومکانیکی که نیروگاه بیستون در آن مشارکت دارد، بین ۰/۴۳ تا ۱/۵ هرتز می باشد.

برای بدست آوردن مشخصه فاز PSS، با توجه به معادله نوسان (معادله ۱) و در نظر گرفتن  $\Delta T_m = 0$  توان الکتریکی به طور تقریبی از سرعت به دست می آید:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{2H}(\Delta T_m - \Delta T_e - D\Delta\omega) \quad (1)$$

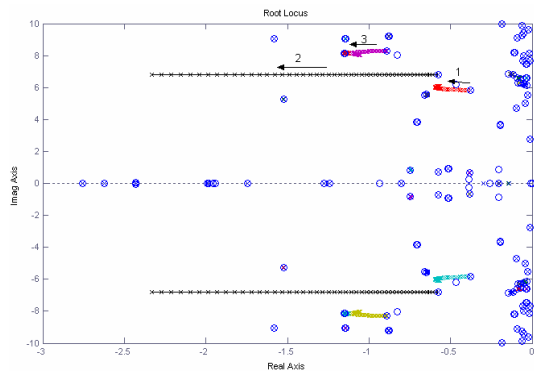
$$\Delta P_e = \Delta T_e = -(2H.s.\Delta\omega + D) \quad (2)$$

بنابراین با توجه به تناسب فرکانس خروجی و سرعت ژنراتور، بلوک دیاگرام PSS به صورت شکل (۳) در می آید، که فاز تابع تبدیل PSS  $(\frac{\Delta V_s}{\Delta\omega})$  را می توان از آن محاسبه کرد.

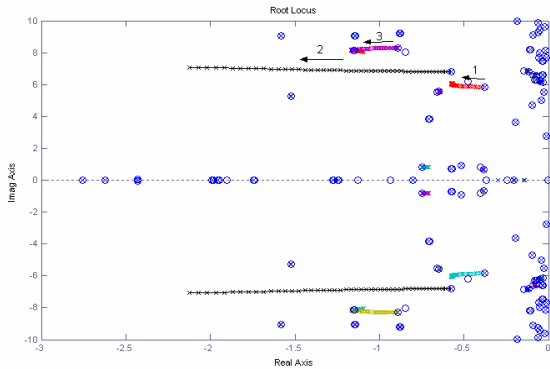


شکل ۳- بلوک دیاگرام تقریبی برای محاسبه جبران فاز PSS

شکل (۴) مشخصه های جبران فاز ایده آل در شرایط مختلف شبکه و جبران فاز بدست آمده برای PSS را نشان می دهد. منحنی شماره ۱ جبران فازی است که PSS در بازه ۰/۱ تا ۲ هرتز تولید می نماید. منحنی شماره ۲ فاز تابع تبدیل  $GEP(s)$  در شرایط عملکرد است. مشاهده می گردد که سعی شده تا فاز PSS تا آنجا که ممکن است به این منحنی نزدیک



شکل (۶-الف): منحنی مکان ریشه ها در زمان در مدار بودن یک واحد با بار کامل و بیشترین امپدانس (PSS) با ورودی توان- فرکانس)

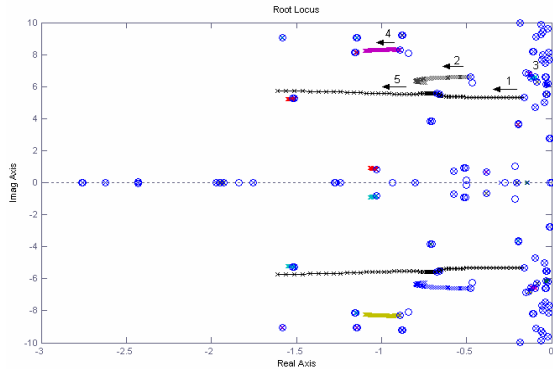


شکل (۶-ب): منحنی مکان ریشه ها در زمان در مدار بودن یک واحد با بار کامل و بیشترین امپدانس (PSS) با ورودی توان-سرعت)

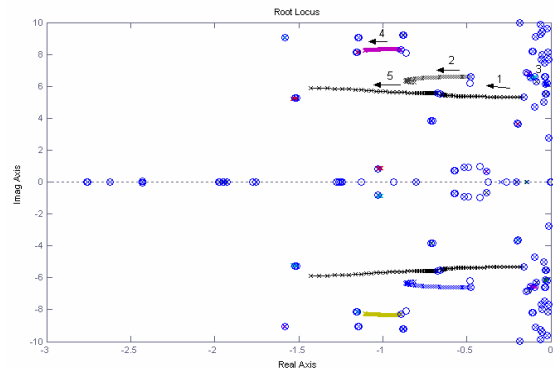
#### ۴- بررسی و تحلیل نتایج حاصل از شبیه سازی

در این تحلیلها، سه نوع نوسان مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر پایدارساز سیستم قدرت بر آنها نشان داده می شود. یکی نوسانات مود محلی، که نیروگاه در مقابل شبکه انجام می دهد. دیگری در صورت وجود دو واحد در مدار، نوسانات داخلی واحدهای نیروگاه در مقابل یکدیگر است و دیگری نوسانات بین ناحیه ای است که در این نوسانات تعداد زیادی از نیروگاهها مشارکت دارد. برای شناسایی این نوسانات از شکل مودها و نیز ضرایب مشارکت متغیرهای زاویه و سرعت ماشینها در مودهای نوسانی استفاده شده است [۷]. برای سهولت تحلیلها، نیروگاههای شبکه ایران از ۱ تا ۴۸

$\frac{k_c}{k_\omega}$ ، مقادیر بهره ها از صفر افزایش داده شده و مکان ریشه ها یکبار با در نظر گرفتن ورودی توان و فرکانس و بار دیگر توان و سرعت روتور برای PSS ترسیم شد. شکلهای (۵) و (۶) منحنی مکان ریشه ها را به ترتیب برای بدترین حالت (شرایط عملکرد) و برای یک واحد در مدار با بار کامل و بیشترین امپدانس نشان می دهد. در هر شکل قسمت (الف) مربوط به ورودی توان-سرعت و (ب) مربوط به توان-فرکانس است. در این شکلهای، فلشها جهت حرکت تعدادی از این مودها را با افزایش بهره نشان می دهند. با توجه به رسیدن  $k_c$  به حداکثر مقدار خود، در نهایت مقادیر  $k_\omega = 8.625$  و  $k_c = 0.874$  برای بهره ها مطلوب به نظر رسید.

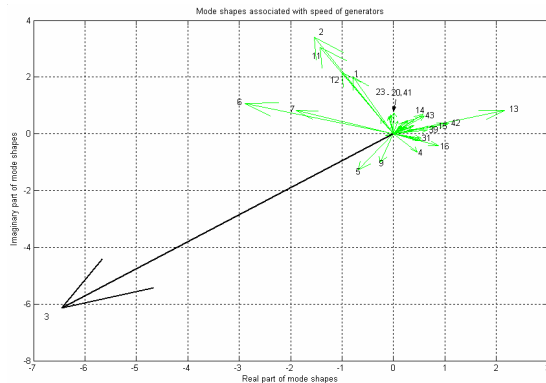


شکل (۵-الف): منحنی مکان ریشه ها در زمان در مدار بودن دو واحد با بار کامل و بیشترین امپدانس (PSS) با ورودی توان-فرکانس)



شکل (۵-ب): منحنی مکان ریشه ها در زمان در مدار بودن دو واحد با بار کامل و بیشترین امپدانس (PSS) با ورودی توان-سرعت)

با وارد کردن PSS در مدار (با تنظیماتی که در بخش قبل بدست آمد) و بررسی ضرایب مشارکت، مودهایی که سرعت بیستون در آنها مشارکت بیشتری دارد به مودهای شماره ۲، ۴، ۵ و ۶ تغییر می کند. با توجه به ماتریس مشارکت برای این مودها، متغیر حالت سرعت بیستون بیشترین مشارکت را در مود شماره ۵ و سپس شماره ۲ دارد و مشارکتش در ۶ و ۴ ناچیز است. مشابه حالت بدون PSS، شکل مودها نیز این موضوع را تأیید می کند. شکل (۸)، مولفه های شکل مود مربوط به سرعت تمام ماشینها را برای مود شماره ۵ نشان می دهد. با توجه به شکل، می توان این مود را به عنوان مود محلی نیروگاه تعبیر کرد. مشاهده می گردد میزان تأثیر و مشارکت یک واحد نیروگاهی بر مودهای نوسانی، به بهره پایدارساز نیز بستگی دارد.



شکل ۸- مولفه های شکل مود مربوط به سرعت ماشینها برای مود شماره ۵ با پایدارساز بیستون

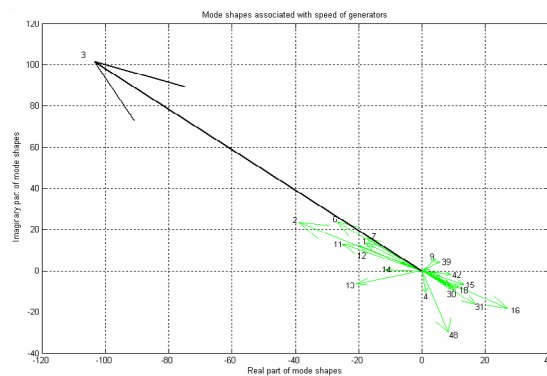
این نتیجه در شرایط کار دیگر نیز تأیید می شود (نتایج آورده نشده است). در شرایط کار فوق البته باید توجه کرد که مودهای ۱ و ۵ دارای فرکانسی نزدیک به هم هستند.

حال بررسی ها را برای زمان وجود یک واحد با بار کامل در مدار و بیشترین امپدانس خروجی در نظر می گیریم. در حالت در مدار نبودن PSS، با توجه به شکل (۶)، سرعت روتور بیستون در مودهای ۱ و ۲ و ۳ بیشترین مشارکت را دارد. با توجه به ضرایب مشارکت

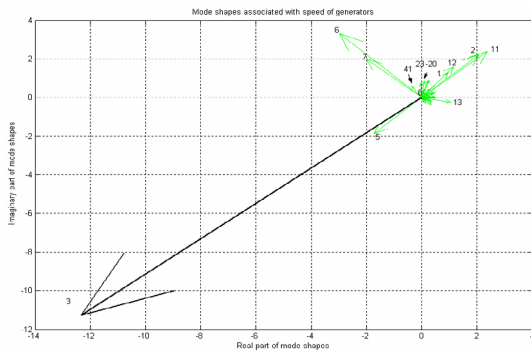
شماره گذاری شده که شماره نیروگاه بیستون ۳ است. همچنین از شماره ۱ تا ۱۴ نیروگاههای مجاور بیستون می باشند.

#### ۴-۱- تأثیر PSS میرایی نوسانات مود محلی

در صورتی که برای یک مود نوسانی، بردار مربوط به مولفه شکل مود سرعت آن نیروگاه در صفحه مختصات مختلط، مقابل شکل مود سرعت دیگر نیروگاهها و دارای اندازه ای بسیار بزرگتر از آنها باشد، می توان اینگونه نتیجه گرفت که آن نیروگاه با فرکانس مذکور، در مقابل بقیه شبکه در حال نوسان است. در شرایط عملکرد، بدون در نظر گرفتن PSS، ۱۱۲ مقدار ویژه مختلط بدست آمد. با بررسی آنها و به کمک ماتریس مشارکت، مودهای مختلطی که متغیر حالت سرعت نیروگاه بیستون در آنها تأثیر گذار است، چهار مود به شماره های ۱، ۲، ۳ و ۴ می باشد که در شکل (۵) نشان داده شده اند. سرعت ژنراتور بیستون، بیشترین مشارکت را در مود شماره ۱ و سپس شماره ۲ دارد. شکل (۷)، شکل مودهای متغیر حالت سرعت تمامی ماشینها را برای مود شماره ۱ نشان می دهد.



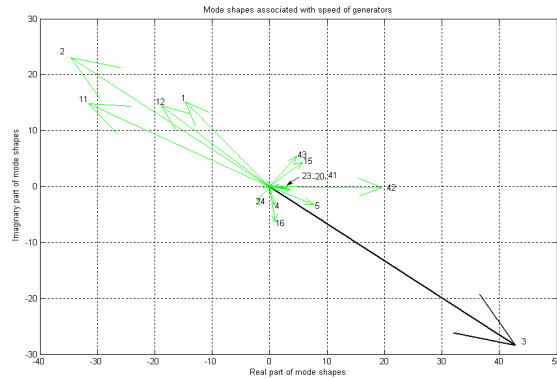
شکل ۷- مولفه های شکل مود مربوط به سرعت ماشینها برای مود شماره ۱ بدون پایدارساز بیستون



شکل ۱۰- مولفه های شکل مود مربوط به سرعت ماشینها برای مود شماره ۲ با پایدارساز بیستون

این نتیجه با به مدار آمدن PSS نیز پابرجاست (شکل ۱۰). جدول (I) تأثیر PSS با ورودی توان فرکانس و نیز PSS با ورودی توان\_سرعت را بر افزایش میرایی نوسانات محلی در حالت های مختلف نشان می دهد.

و نیز شکل (۹) سرعت روتور بیستون در مودهای ۱ و ۲ بیشترین مشارکت را داشته و مود ۲ همان مود محلی بیستون است.



کل ۹- مولفه های شکل مود مربوط به سرعت ماشینها برای مود شماره ۲ بدون پایدارساز بیستون

جدول (I): تأثیر نوع ورودی PSS بر افزایش میرایی نوسانات مود محلی

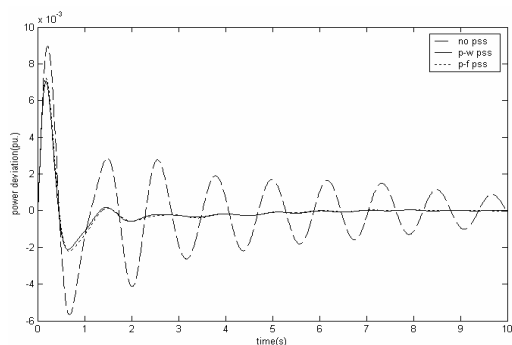
تعداد واحد در مدار	مقدار امپدانس	سیستم تحریک بدون PSS			سیستم تحریک با PSS با ورودی توان_سرعت			سیستم تحریک با PSS با ورودی توان_فرکانس		
		مقدار ویژه مود محلی	فرکانس (Hz)	میرایی	مقدار ویژه مود محلی	فرکانس (Hz)	میرایی	مقدار ویژه مود محلی	فرکانس (Hz)	میرایی
یک واحد با بار کامل در مدار	بیشترین مقدار	$-0.572 \pm i6.789$	1/0.80	0/0.84	$-2/181 \pm i7.076$	1/126	0/295	$-2/388 \pm i6.826$	1/475	0/323
	کمترین مقدار	$-0.709 \pm i7.173$	1/142	0/0.98	$-2/116 \pm i8.077$	1/286	0/319	$-2/918 \pm i7.755$	1/316	0/345
دو واحد با بار کامل در مدار	بیشترین مقدار	$-0.159 \pm i5.321$	0/847	0/0.30	$-1/499 \pm i5.884$	0/937	0/247	$-1/612 \pm i5.708$	0/943	0/272
	کمترین مقدار	$-0.639 \pm i6.951$	1/1.06	0/0.92	$-1/508 \pm i7.442$	1/184	0/199	$-1/780 \pm i7.371$	1/206	0/235

در پاسخ به یک تغییر پله دو درصدی در ولتاژ مرجع نشان می دهد. در هر شکل، سه منحنی با هم مقایسه شده اند: یکی منحنی تغییرات در زمان نبود PSS، دومی منحنی تغییرات در زمان اعمال PSS با ورودی توان\_سرعت و سومی هم منحنی تغییرات در زمان اعمال PSS با ورودی توان\_فرکانس می باشد. در

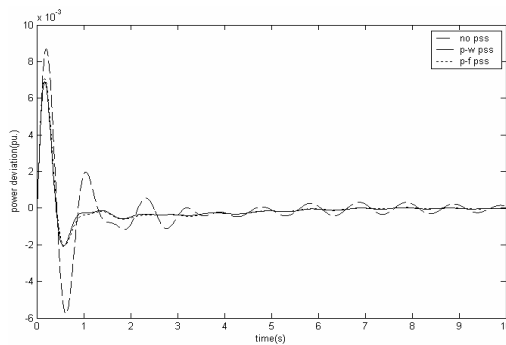
همانگونه که از جدول پیداست، میرایی با افزایش امپدانس و نیز افزایش تولید نیروگاه نسبت عکس دارد. نکته دیگر اینکه میرایی نوسانات با افزودن PSS با ورودی توان\_فرکانس، باعث بهبود میرایی نسبتاً بهتری در مقایسه با ورودی توان\_سرعت می شود. شکلهای (۱۱) تا (۱۴)، تغییرات توان و سرعت را

شد، تأثیر PSS با ورودی توان\_فرکانس در مقابل توان\_سرعت بهتر بوده ولی چندان زیاد نیست.

تمامی شکلها، شکل (الف) برای کمترین امیدانس و شکل (ب) برای بیشترین امیدانس رسم شده است. مشاهده می گردد که در تمامی حالتها، اعمال PSS تأثیر مثبتی داشته است و همانگونه که قبلا" هم اشاره



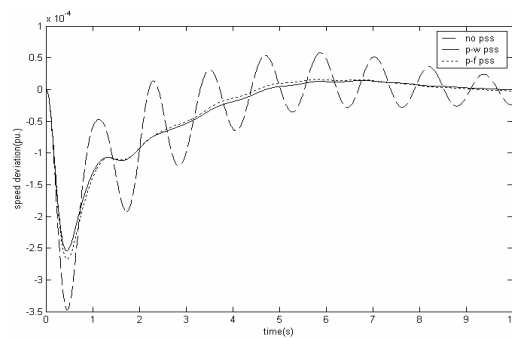
شکل ۱۱-ب: کمترین امیدانس



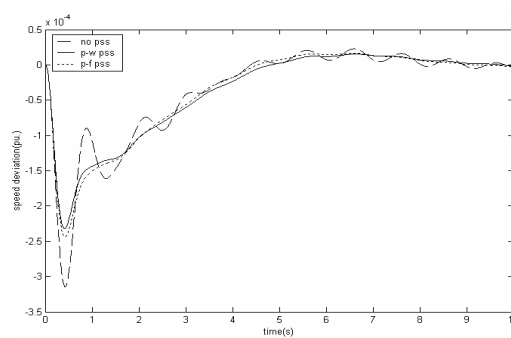
شکل ۱۱-الف: بیشترین امیدانس

شکل ۱۱- تغییرات توان خروجی یک واحد نیروگاه، در زمان در

مدار بودن دو واحد با بار کامل، به ازای تغییرات پله دو درصدی در ولتاژ مرجع همان واحد



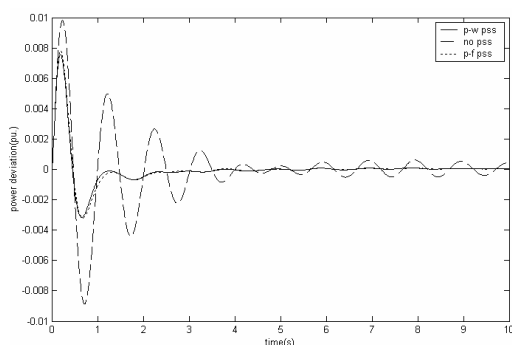
شکل ۱۲-ب: کمترین امیدانس



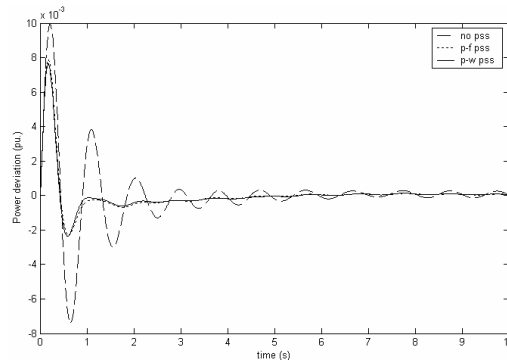
شکل ۱۲-الف: بیشترین امیدانس

شکل ۱۲- تغییرات سرعت روتور یک واحد نیروگاه، در زمان در

مدار بودن دو واحد با بار کامل، به ازای تغییرات پله دو درصدی در ولتاژ مرجع همان واحد



شکل ۱۳-ب: کمترین امیدانس

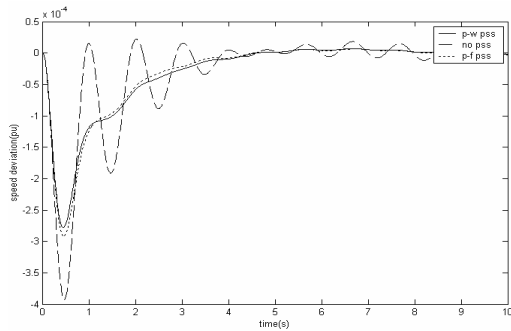


شکل ۱۳-الف: بیشترین امیدانس

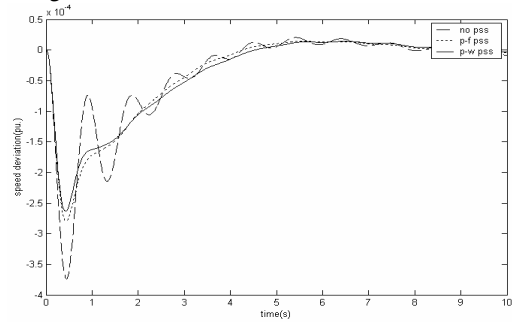
شکل ۱۳- تغییرات توان خروجی نیروگاه، در زمان در



مدار بودن یک واحد با بار کامل ، به ازای تغییرات پله دو درصدی در ولتاژ مرجع



شکل ۱۴-ب: کمترین امپدانس



شکل ۱۴-الف: بیشترین امپدانس

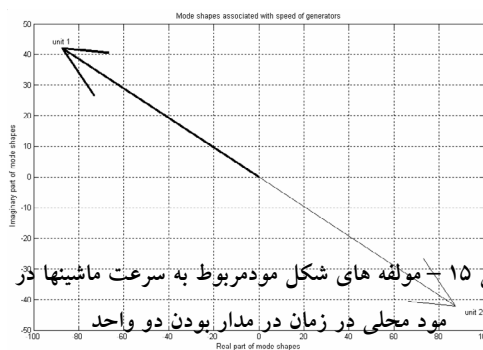
شکل ۱۴- تغییرات سرعت روتور نیروگاه، در زمان در

مدار بودن یک واحد با بار کامل، به ازای تغییرات پله دو درصدی در ولتاژ مرجع

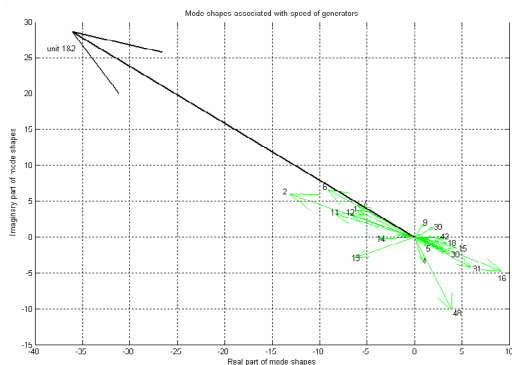
ندارند. جدول (II) تأثیر PSS بر افزایش میرایی نوسانات داخلی نیروگاه را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. نکاتی که از این جدول مشاهده می‌شود، این است که مشابه نوسانات مود محلی، PSS میرایی نوسانات مود داخلی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد و PSS با ورودی توان\_فرکانس، نسبت به PSS با ورودی توان\_سرعت، تأثیر بهتری در میرایی داشته است. همچنین مشاهده می‌شود که امپدانس خروجی نیروگاه یا به عبارت دیگر ساختار شبکه تأثیر ناچیزی بر میرایی مود داخلی دارد.

#### ۲-۴- تأثیر PSS بر میرایی نوسانات مود داخلی نیروگاه

مولفه‌های شکل مود مربوط به سرعت روتور دو واحد بیستون، در مود داخلی بر خلاف هم و در مود محلی، هم جهت می‌باشند. شکل‌های (۱۵) و (۱۶)، مولفه‌های شکل مود سرعت روتور ماشین‌های شبکه را به ترتیب در مود محلی و داخلی نیروگاه نشان می‌دهد. این دو شکل مربوط به زمانی است که بیشترین امپدانس خروجی را داریم و PSS نیز در مدار نیست. مشاهده می‌شود که در مود داخلی، فقط واحدهای بیستون دخالت دارند و دیگر ماشینها هیچ تأثیری



شکل ۱۵- مولفه‌های شکل مود مربوط به سرعت ماشینها در مود محلی در زمان در مدار بودن دو واحد

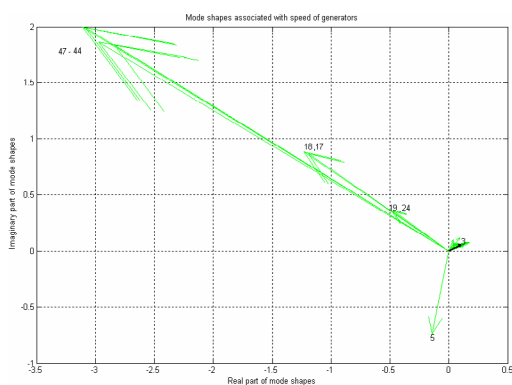


شکل ۱۶- مولفه های شکل مودمربوط به سرعت ماشینها در مود داخلی در زمان در مداربودن دو واحد

جدول (II): تأثیر PSS بر افزایش میرایی نوسانات داخلی نیروگاه

مقدار امپدانس	سیستم تحریک بدون PSS			سیستم تحریک با PSS با ورودی توان_سرعت			سیستم تحریک با PSS با ورودی توان_فرکانس		
	مقدار ویژه مود داخلی	فرکانس (Hz)	میرایی	مقدار ویژه مود داخلی	فرکانس (Hz)	میرایی	مقدار ویژه مود داخلی	فرکانس (Hz)	میرایی
بیشترین مقدار	$-1/171 \pm$ $i1/362$	1/331	0/139	$-3/532 \pm$ $i1/877$	1/413	0/37	$-3/681 \pm$ $i1/574$	1/365	0/384
کمترین مقدار	$-1/169 \pm$ $i1/370$	1/332	0/138	$-3/468 \pm$ $i1/876$	1/413	0/364	$-3/621 \pm$ $i1/581$	1/366	0/378

می‌دهد. با توجه به جدول، مشاهده می شود که مودهای ۱ و ۲، با اعمال PSS، با پارامترهای طراحی شده در بخش قبل، کمی میرایشان بهتر می شود و مود شماره ۳ نیز بدون تغییر می ماند که شکلهای (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) را تایید می کند. با توجه به اینکه نوع ورودی PSS چندان تفاوتی نداشت، در شبیه سازیهای این قسمت تنها PSS با ورودی توان\_سرعت در نظر گرفته شد. نتیجه قابل توجهی که از این قسمت بدست می آید آنست که بر خلاف مودهای داخلی و محلی، پایدارساز یک نیروگاه تأثیر محدودتری بر میرایی نوسانهای بین ناحیه ای دارد. بعلاوه میزان این تأثیر در مودهای مختلف بین ناحیه ای متفاوت بوده و بستگی به موقعیت و مشخصات نیروگاه دارد.



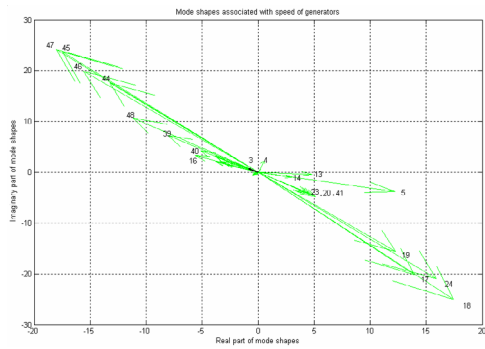
#### ۳-۴- تأثیر PSS بر میرایی نوسانات بین ناحیه ای

در نوسانات بین ناحیه ای، هر نیروگاه بسته به موقعیتش در شبکه و نیز توان نامی و اینرسی ماشین، شرکت می کند. فرکانس این نوسانات، نسبت به نوسانات مود محلی کمتر است. در تحلیلهایی که بر روی شبکه ایران انجام شد، سه مود نوسانی مشاهده شد که با توجه به ماتریس مشارکت، مود بین ناحیه ای تشخیص داده شدند. برای سهولت در اینجا مودهای مذکور را ۱ و ۲ و ۳ می نامیم. فرکانس این نوسانات عبارت بودند از: مود یک 0/436، مود دو 0/583 و مود سه 0/746 هرتز، برای بررسی تأثیر نیروگاهها بر روی میرایی این نوسانات می توان از شکل مودها کمک گرفت. شکلهای (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) مولفه های شکل مود مربوط به سرعت نیروگاهها را برای این سه مود نشان می دهد. این شکل مودها برای شرایط عملکرد، رسم گردیده اند. با توجه به شکلها و شکل مودها، مشاهده می شود که در مودهای بین ناحیه ای ۱ و ۲، نیروگاه بیستون تأثیر کمی دارد اما در مود شماره ۳ تقریباً هیچ تأثیری ندارد.

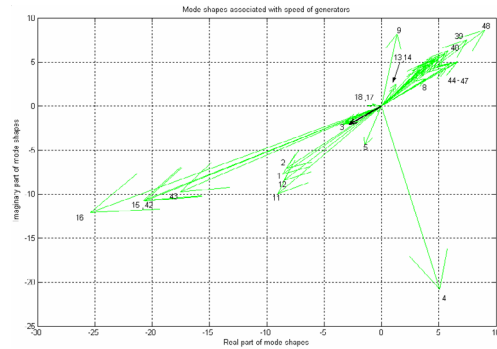
جدول III تأثیر نیروگاه بیستون را بر میرایی نوسانات بین ناحیه ای در حالتها مختلف نشان

شکل ۱۷- مولفه های شکل مودمربوط به سرعت ماشینها در

مود بین ناحیه ای ۱



شکل ۱۹- مولفه های شکل مود مربوط به سرعت ماشینها در مود بین ناحیه ای ۳



شکل ۱۸- مولفه های شکل مود مربوط به سرعت ماشینها در مود بین ناحیه ای ۲

جدول III: تأثیر نیروگاه بیستون بر میرایی نوسانات بین ناحیه ای در حالت های مختلف

تعداد واحد در مدار	مقدار امپدانس	شماره مود بین ناحیه ای	سیستم تحریک بدون PSS		سیستم تحریک با PSS	
			مقدار ویژه مود بین ناحیه ای	فرکانس (Hz)	مقدار ویژه مود بین ناحیه ای	فرکانس (Hz)
یک واحد با بار کامل در مدار	بیشترین مقدار	۱	$-0.135 \pm i2/741$	0.436	$-0.143 \pm i2/742$	0.436
		۲	$-0.1942 \pm i3/653$	0.581	$-0.199 \pm i3/654$	0.582
		۳	$-0.096 \pm i4/687$	0.746	$-0.096 \pm i4/687$	0.746
	کمترین مقدار	۱	$-0.133 \pm i2/741$	0.436	$-0.139 \pm i2/742$	0.436
		۲	$-0.1950 \pm i3/661$	0.583	$-0.1965 \pm i3/661$	0.583
		۳	$-0.096 \pm i4/687$	0.746	$-0.096 \pm i4/687$	0.746
دو واحد با بار کامل در مدار	بیشترین مقدار	۱	$-0.131 \pm i2/742$	0.436	$-0.134 \pm i2/742$	0.436
		۲	$-0.1940 \pm i3/652$	0.581	$-0.196 \pm i3/653$	0.581
		۳	$-0.096 \pm i4/687$	0.746	$-0.096 \pm i4/687$	0.746
	کمترین مقدار	۱	$-0.120 \pm i2/742$	0.436	$-0.123 \pm i2/742$	0.436
		۲	$-0.0971 \pm i3/643$	0.580	$-0.0974 \pm i3/643$	0.580
		۳	$-0.108 \pm i4/684$	0.745	$-0.108 \pm i4/684$	0.745

## ۵- نتیجه گیری

سپس با استفاده از روش جبران فاز و مکان ریشه ها پارامترهای پایدارساز طراحی گردید. با استفاده از ضرایب مشارکت و شکل مودها، مشاهده شد که با در مدار بودن PSS، به طور قابل قبولی میرایی مودهای محلی و داخلی افزایش پیدا کرد. همچنین پایدارساز با ورودی توان فرکانس با همان پارامترها، تأثیر بیشتری

هدف از این مقاله، طراحی پایدارساز سیستم قدرت نیروگاه بیستون و بررسی تأثیر آن بر نوسانات الکترومکانیکی (محلی، داخلی و بین ناحیه ای) میباشد. در ابتدا نحوه مدلسازی نیروگاه و شبکه آورده شده،

## ۶- مراجع:

- [۱] گروه بهره برداری شبکه، «ارائه مدل مناسب برای ژنراتورهای نیروگاه بیستون و پیشنهاد روش مناسب تعیین پارامترهای آن» پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، تیر ماه ۱۳۸۱.
- [۲] گروه بهره برداری شبکه، «مدلسازی تحلیلی سیستم تحریک نیروگاه بیستون»، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، اسفند ماه ۱۳۸۱.
- [۳] مصطفی پرنیانی، «اطلاعات شبکه سراسری ایران در سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸»، گزارش اول قرارداد شماره ۱۰/۳-۷۶-۲۷۵ توانیر، دانشگاه صنعتی شریف.
- [۴] گروه بهره برداری شبکه، «بررسی اصول طراحی و کاربرد پایدارسازهای کلاسیک سیستم قدرت»، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، بهمن ماه ۱۳۸۱.
- [5] E.V.Larsen, D.A.Swan, "Applying Power System Stabilizers, part I, II, III", IEEE Trans. Vol. PAS-100, June 1981, pp. 3017-3046
- [6] P.Kundur, M.Klein, G.J.rogers, M.S.zywno "Application of Power System Stabilizers For Enhancement of Overall Sysem Stability", IEEE Trans. Vol.4, No.2, May 1989, pp. 614-626.
- [7] P.Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, 1994.

بر میرایی نوسانات محلی و داخلی در مقایسه با PSS با ورودی توان\_سرعت داشت. علاوه بر این مشخص شد که با توجه به شرایط کار سیستم، ممکن است در بهره های پایین PSS یک مود و در بهره های بالا یک مود دیگر، مود محلی باشد. همچنین تأثیر پایدارساز یک واحد بر مودهای بین ناحیه ای کمتر بوده و بستگی به موقعیت و مشخصات واحد دارد. در شبکه ایران سه مود بین ناحیه ای بدست آمد که بیستون فقط در دو تا از آنها تأثیر مثبت کمی داشت و بر سومی تقریباً بی تأثیر بود.

## قدردانی:

ین پروژه طی قراردادی تحقیقاتی، به کارفرمایی شرکت برق منطقه ای غرب توسط پژوهشگاه نیرو انجام شده است. در ادامه پروژه، تنظیم عملی و آزمونهای حین کار پایدار ساز انجام خواهد شد.