

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

عنوان :

استفاده از پایدار کننده های سیستم قدرت (PSS)

جهت بهبود میرایی نوسانات با فرکانس کم سیستم

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

چکیده

فصل اول - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار ۴

۲-۱- رئوس مطالب ۷

۳-۱- تاریخچه ۹

فصل دوم : پایداری دینامیکی سیستم های قدرت

۱-۲- پایداری دینامیکی سیستم های قدرت ۱۶

۲-۲- نوسانات با فرکانس کم در سیستم های قدرت ۱۷

۳-۲- مدلسازی سیستمهای قدرت تک ماشینه ۱۸

۴-۲- طراحی پایدار کننده های سیستم قدرت (PSS) ۲۳

۵-۲- مدلسازی سیستم قدرت چند ماشینه ۲۷

فصل سوم: کنترل مقاوم

۱-۳- کنترل مقاوم ۳۰

۲-۳- مسئله کنترل مقاوم ۳۱

۳-۲-۱- مدل سیستم ۳۱

۳۲-۲-۲-۳ عدم قطعیت در مدلسازی

۳۷-۳-۳-۳ تاریخچه کنترل مقاوم

۳۷-۱-۳-۳ سیر پیشرفت تئوری

۳۹-۲-۳-۳ معرفی شاخه های کنترل مقاوم

۴۵-۴-۳-۳ طراحی کنترل کننده های مقاوم برای خانواده ای از توابع انتقال

۴۵-۱-۴-۳ بیان مسئله

۴۶-۲-۴-۳ تعاریف و مقدمات

۵۰-۴-۴-۳ تبدیل مسئله پایدارپذیری مقاوم به یک مسئله Nevanlinna-Pick

۵۳-۵-۴-۳ طراحی کنترل کننده

۵۵-۵-۳-۳ پایدار سازی مقاوم سیستم های بازه ای

۵۵-۱-۵-۳ مقدمه و تعاریف لازم

۵۹-۳-۵-۲ پایداری مقاوم سیستم های بازه ای

۶۴-۳-۵-۳ طراحی پایدار کننده های مقاوم مرتبه بالا

فصل چهارم : طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم های قدرت

۶۷-۱-۴-۳ طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم های قدرت

۶۹-۲-۴-۳ طراحی پایدار کننده های مقاوم به روش Nevanlinna - Pick

۶۹ برای سیستم های قدرت تک ماشینه

۶۹-۲-۴-۱ مدل سیستم.....

۷۱-۲-۴-۲ طرح یک مثال.....

۷۳-۲-۴-۳ طراحی پایدار کننده مقاوم به روش *Nevanlinna - Pick*.....

۷۷-۲-۴-۲ بررسی نتایج.....

۷۸-۲-۴-۵ نقدی بر مقاله.....

۸۳-۳-۴-۳ بررسی پایداری دینامیکی یک سیستم قدرت چند ماشینه.....

۸۳-۳-۴-۱ مدل فضای حالت سیستم های قدرت چند ماشینه.....

۸۶-۲-۳-۴ مشخصات یک سیستم چند ماشینه.....

۹۰-۳-۴-۳ طراحی پایدار کننده های سیستم قدرت.....

۹۳-۳-۴-۴ پاسخ سیستم به ورودی پله.....

۹۵-۴-۴ طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم های قدرت چند ماشینه.....

۹۵-۴-۴-۱ اثر تغییر پارامترهای بر پایداری دینامیکی.....

۱۰۱-۲-۴-۴ مدل سازی تغییر پارامترها به کمک سیستم های بازه ای.....

۱۰۵-۳-۴-۴ پایدار سازی مجموعه ای از توابع انتقال به کمک تکنیک های بهینه سازی.....

۱۰۶-۴-۴-۴ استفاده از روش *Kharitonov* در پایدار سازی مقاوم.....

۱۱۰-۴-۴-۵ استفاده از یک شرط کافی در پایدار سازی مقاوم.....

۱۱۰-۴-۵ طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم قدرت چند ماشینه (۲).....

۱۱۰-۴-۵-۱- جمع بندی مطالب.....

۱۱۱-۴-۵-۲- طراحی پایدار کننده های مقاوم بر اساس مجموعه ای از نقاط کار.....

۱۱۳-۴-۵-۳- مقایسه عملکرد *PSS* کلاسیک با کنترل کننده های جدید.....

۱۱۵-۴-۵-۴- نتیجه گیری.....

فصل پنجم : استفاده از ورش طراحی جدید در حل چند مسئله

۱۲۱-۴-۵-۱- استفاده از ورش طراحی جدید در حل چند مسئله.....

۱۲۲-۴-۵-۲- طراحی *PSS* های مقاوم به منظور هماهنگ سازی *PSS* ها.....

۱۲۲-۴-۵-۱-۲- تداخل *PSS* ها.....

۱۲۴-۴-۵-۲- بررسی مسئله تداخل *PSS* ها در یک سیستم قدرت سه ماشینه.....

۱۲۶-۴-۵-۳- استفاده از روش طراحی بر اساس چند نقطه کار در هماهنگ.....

۱۲۷-انتخاب مجموعه مدل های طراحی.....

۱۳۰-۴-۵-۲-۴- مقایسه عملکرد دو نوع پایدار کننده به کمک شبیه سازی کامپیوتری.....

۱۳۰-۴-۵-۳- طراحی کنترل کننده های بهینه (فیدبک حالت) قابل اطمینان برای

سیستم قدرت.....

۱۳۲-۴-۵-۳-۱- طراحی کننده فیدبک حالت بهینه.....

۱۳۳-تنظیم کننده های خطی.....

۱۳۴-۴-۵-۳-۲- کاربرد کنترل بهینه در پایدار سازی سیستم های قدرت چند ماشینه.....

۳-۳-۵- طراحی کنترل بهینه بر اساس مجموعه‌ای از مدل‌های سیستم ۱۳۶

۳-۳-۴- پاسخ سیستم به ورودی پله ۱۴۰

فصل ششم : بیان نتایج

۱-۶- بیان نتایج ۱۴۴

۲-۶- پیشنهاد برای تحقیقات بیشتر ۱۴۷

مراجع ۱۴۸

ضمیمه الف - معادلات دینامیکی ماشین سنکرون ۱۵۴

ضمیمه ب - ضرایب $K1$ تا $K6$ ۱۵۶

ضمیمه پ - برنامه ریزی غیر خطی ۱۵۸

چکیده:

توسعه شبکه های قدرت نوسانات خود به خودی با فرکانس کم را، در سیستم به همراه داشته است. بروز اغتشاش هایی نسبتاً کوچک و ناگهانی در شبکه باعث بوجود آمدن چنین نوساناتی در سیستم می شود. در حالت عادی این نوسانات بسرعت میرا شده و دامنه نوسانات از مقدار معینی فراتر نمی رود. اما بسته به شرایط نقطه کار و مقادیر پارامترهای سیستم ممکن است این نوسانات برای مدت طولانی ادامه یافته و در بدترین حالت دامنه آنها نیز افزایش یابد. امروزه جهت بهبود میرایی نوسانات با فرکانس کم سیستم، در اغلب شبکه های قدرت پایدار کننده های سیستم قدرت (PSS) به کار گرفته می شود.

این پایدار کننده ها بر اساس مدل تک ماشین - شین بینهایت سیستم در یک نقطه کار مشخص طراحی می شوند. بنابراین ممکن است با تغییر پارامترها و یا تغییر نقطه کار شبکه، پایداری سیستم در نقطه کار جدید تهدید شود.

موضوع این پایان نامه طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم های قدرت است، به قسمی که پایداری سیستم در محدوده وسیعی از تغییر پارامترها و تغییر شرایط نقطه کار تضمین شود. در این راستا ابتدا به مطالعه اثر تغییر پارامترهای بر پایداری سیستم های قدرت تک ماشین و چند ماشین پرداخته می شود. سپس دو روش طراحی کنترل کننده های مقاوم تشریح شده، و در مسئله مورد مطالعه به کار گرفته می شوند.

سرانجام ضمن نقد و بررسی این روش ها، یک روش جدید برای طراحی PSS ارائه می شود. در این روش مسئله طراحی پایدار کننده مقاوم به مسئله پایدار کردن مجموعه ای از مدل های سیستم در نقاط کار مختلف تبدیل می شود. این مسئله نیز به یک مسئله استاندارد بهینه سازی تبدیل شده و با استفاده از روش های برنامه ریزی غیر خطی حل می گردد. سرانجام کارایی روش فوق در طراحی پایدار کننده های مقاوم برای یک سیستم قدرت چند ماشینه در دو مسئله مختلف (اثر تغییر پارامترها بر پایداری دینامیکی و تداخل PSS ها) تحقیق شده و برتری آن بر روش کلاسیک به اثبات می رسد.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooch.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار:

افزایش روز افزون مصرف انرژی الکتریکی، توسعه سیستم های قدرت را دنبال داشته است بطوریکه امروزه برخی از سیستم های قدرت در جغرافیایی به وسعت یک قاره گسترده شده اند. به موازات این توسعه که با مزایای متعددی همراه است، در شاخه دینامیک سیستم های قدرت نیز مانند سایر شاخه ها مسائل جدیدی مطرح شده است. از جمله این مسائل می توان به پدیده نوسانات با فرکانس کم، تشدید زیر سنکرون (SSR)، و سقوط ولتاژ اشاره کرد.

پدیده نوسانات با فرکانس کم در این میان از اهمیت ویژه ای برخوردار است و در بحث پایداری دینامیکی سیستم های قدرت مورد توجه قرار می گیرد. بروز اغتشاش های مختلف در شبکه، انحراف سیستم از نقطه تعادل پایدار را به دنبال دارد، در چنین وضعیتی به شرط اینکه سنکرونیزم شبکه از دست نرود، سیستم با نوسانات فرکانس کم به نقطه تعادل جدید نزدیک می شود. هنگامی که یک ژنراتور به تنهایی کار می کند، نوسانات با فرکانس کم به دلیل میرایی ذاتی به شکل نسبتاً قابل قبولی میرا می شوند. اما کاربرد برخی از المان ها مانند تحریک کننده های سریع، با اثر دینامیک قسمت های مختلف شبکه ممکن است باعث تزریق میرایی منفی به شبکه شود، به طوریکه نوسانات فرکانس کم شبکه به شکل مطلوبی میرا نشده و یا حتی از میرایی منفی برخوردار شوند. بدیهی است افزایش میرایی مودهای الکترومکانیکی سیستم در

چنین وضعیتی می تواند به عنوان یک راه حل مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس پایدار کننده های سیستم قدرت (PSS) بر اساس مدل تک ماشین - شین بینهایت طراحی شده و در محدوده وسیعی به کار گرفته می شوند. از دید تئوری کنترل، پایدار کننده های فوق در واقع یک کنترل کننده کلاسیک با تقدیم فاز^۱ می باشد که بر اساس مدل خطی سیستم در یک نقطه کار مشخص طراحی می شوند.

همراه با پیشرفت های چشمگیری در تئوری سیستم ها و کنترل، روش های جدید برای طراحی پایدار کننده های سیستم قدرت ارائه شده است، که به عنوان نمونه می توان به کنترل کننده های طرح شده بر اساس تئوری های کنترل تطبیقی، کنترل مقاوم، شبکه های عصبی مصنوعی و کنترل فازی اشاره کرد [۵-۱]. در همه این روش ها سعی بر اینست که نقایص موجود در طراحی کلاسیک مرتفع شده به طوریکه کنترل کننده به شکل موثرتری بر پایداری سیستم و بهبود میرایی نوسانات اثر گذارد.

روش های کنترل مقاوم، که در این پایان نامه مورد توجه است به شکل جدی از اوایل دهه هشتاد (۱۹۸۰) مطرح شد و خود به شاخه های متعددی تقسیم می شود. قبل از هر توضیحی درباره کنترل مقاوم نخست به بیان مفهوم عدم قطعیت در مدل می پردازیم. در کنترل کلاسیک طراحی بر اساس مدل مشخصی از سیستم صورت می گیرد. مدل سیستم تنها یک تقریب از دینامیک های واقعی سیستم است. حذف دینامیک های سریع به منظور ساده سازی، تغییر مقادیر پارامترهای مدل به دلایل

1- Phase Lead

مختلف از منابع ایجاد عدم قطعیت در مدل سیستم ها می باشد. بنابراین بدلیل وجود چنین عدم قطعیت هایی در مدلسازی، اهداف مورد نظر طراح ممکن است توسط کنترل کننده های طرح شده بر اساس مدل تحقق نیابند.

به منظور رفع این مشکل در کنترل مقاوم بر اینستکه عدم قطعیت های حائز اهمیت موجود در مدل، در طراحی کنترل کننده لحاظ شوند. معمولاً مدلسازی عدم قطعیت در اکثر شاخه های کنترل مقاوم خانواده ای از سیستم ها را بوجود می آورد، حال کنترل کننده مقاوم بایستی چنان طرح شود که برای هر یک از اعضاء این خانواده اهداف مورد نظر در طراحی برآورده شود.

موضوع این پایان نامه طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم های قدرت است، به قسمی که پایداری سیستم در محدوده وسیعی از تغییر پارامترها و تغییر شرایط نقطه کار تضمین شود. در این راستا ابتدا به مطالعه اثر تغییر پارامترها بر پایداری سیستم های قدرت تک ماشینه و چند ماشینه پرداخته می شود. سپس دو روش طراحی کنترل کننده های مقاوم تشریح شده، و در مسئله مورد مطالعه به کار گرفته می شوند. سرانجام ضمن نقد و بررسی این روش ها، یک روش جدید برای طراحی PSS ارائه می شود. در این روش مسئله طراحی پایدار کننده مقاوم به مسئله پاردار کردن مجموعه ای از مدل های سیستم در نقاط کار مختلف تبدیل می شود. این مسئله نیز به یک مسئله استاندارد بهینه سازی تبدیل شده و با استفاده از روش های برنامه ریزی

غیر خطی حل می گردد. سرانجام کارایی روش فوق در طراحی پایدار کننده های مقاوم برای یک سیستم قدرت چند ماشینه در دو مسئله مختلف (اثر تغییر پارامترها بر پایداری دینامیکی و تداخل PSS ها) تحقیق شده و برتری آن بر روش کلاسیک به اثبات می رسد.

۱-۲- رئوس مطالب:

بخش بعدی این فصل به بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه طراحی پایدار کننده های مقاوم سیستم های قدرت اختصاص داده شده است.

در فصل دوم نخست به بیان مفاهیم اساسی در پایداری دینامیکی، و تشریح پدیده نوسانات با فرکانس کم در سیستم های قدرت پرداخته می شود. مدلسازی سیستم تک ماشینه به منظور مطالعه پدیده نوسانات با فرکانس کم، و روش طراحی PSS به کمک این مدل در قسمت های بعدی این فصل صورت می گیرد. در بخش آخر فصل نیز مدلسازی سیستم های قدرت چند ماشینه و نکات مربوط به آن مورد بررسی قرار می گیرد.

در فصل سوم ابتدا صورت مسئله کنترل مقاوم به طور کامل تشریح می شود. سپس به تاریخچه کنترل مقاوم و سیر پیشرفت برخی از شاخه ای آن پرداخته می شود. در پایان فصل طی دو بخش جداگانه به توضیح روش های Nevanlinna - Pick و Kharitonov که در ادامه مورد استفاده قرار می گیرند، می پردازیم.

طراحی کنترل کننده مقاوم با استفاده از روش Kharitonov - Pick برای سیستم قدرت تکماشینه و نقد و بررسی یک مقاله در این زمینه در ابتدای فصل چهارم (بخش (۲-۴)) صورت می گیرد. در بخش (۳-۴) پس از بدست آوردن معادلات فضای حالت برای سیستم های قدرت چند ماشینه، به بررسی پایداری دینامیکی یک سیستم سه ماشینه در نقاط کار مختلف و طراحی PSS در یک نقطه کار ناپایدار می پردازیم. در بخش (۴-۴) اثر تغییر پارامترها بر پایداری این سیستم مطالعه شده و روش Kharitonov جهت طراحی پایدار کننده های مقاوم مورد استفاده قرار می گیرد. در بخش (۵-۴) به ارائه یک روش جدید که با الهام از روش Kharitonov شکل گرفته است، می پردازیم. سپس این روش به منظور طراحی یک کنترل کننده مقاوم که در محدوده وسیعی از تغییر شرایط نقطه کار پایداری سیستم را تضمین می کند، به کار گرفته می شود.

در فصل پنجم ابتدا روش فوق در حل مسئله تداخل PSS ها مورد استفاده قرار می گیرد. سپس به طراحی کنترل کننده های فیدبک حالت بهینه بر اساس مجموعه ای از مدل های سیستم، و پاره ای نکات در این زمینه می پردازیم.

فصل ششم نیز به یک جمع بندی کلی از پایان نامه و بیان نتایج اختصاص داده شده است.

۱-۳- تاریخچه

بررسی همه کارهای انجام شده در جهت بهبود پایداری دینامیکی سیستم های قدرت حتی به صورت مختصر، به دلیل مطالعات و تحقیقات متعددی که در این زمینه صورت گرفته است، گزارش مفصلی را طلب می کند. در این زیر بخش ضمن اشاره مختصر به شاخه های مهم تحقیق، کارهای انجام شده بر اساس شاخه کنترل مقاوم را مرور خواهیم کرد.

با بروز نا پایداری دینامیکی در سیستم های قدرت تحقیقات گسترده ای در این زمینه آغاز شد. مفاهیم اساسی پایداری دینامیکی برای ژنراتور سنکرون متصل به شین بینهایت، اولین بار توسط Demello و Concordia به شیوه ای زیبا در سال ۱۹۶۹ بیان شد [۶]. در این مقاله با معرفی مفاهیم گشتاورهای سنکرون کننده و میرا کننده اثر پارامترهای مختلف سیستم و شرایط نقطه کار بر پایداری دینامیکی ماشین سنکرون تشریح شده، و بدنبال آن با استفاده از تئوری جبران فاز به طراحی PSS پرداخته شد. به دلیل اهمیت این مطالب در فصل دوم، به طور مفصل به بررسی پایداری دینامیکی سیستم های قدرت خواهیم پرداخت.

در مرجع [۷] اثر دینامیک ماشین های سنکرون یک سیستم قدرت چند ماشینه بر پایداری دینامیکی ماشین ۱ ام این شبکه بررسی شده است. حاصل این مطالعه چند

توصیه مفید در طراحی PSS برای ماشین های سنکرون در سیستم های چند ماشینه می باشد.

همچنین از آنجایی که پایدار کننده های سیستم قدرت بر اساس مدل تک ماشین - شین بینهایت طراحی می شود، هماهنگ سازی این پایدار کننده ها در سیستم های قدرت چند ماشینه اجتناب ناپذیر است. بدین منظور روش های مختلفی (مانند روش های طراحی ترتیبی و افزایش پهنای باند PSSها) در جهت هماهنگ سازی PSS ها ارائه شده است. [۸-۱۳].

از دیگر مسائل مورد مطالعه در زمینه پایداری دینامیکی سیستم های قدرت، تعیین بهترین محل برای نصب PSS در شبکه های بزرگ به منظور بهبود میرایی یک مود خاص شبکه می باشد. این موضوع که هم اکنون نیز در رأس تحقیقات قرار دارد در مراجع [۸ و ۱۴] مورد بررسی قرار گرفته است.

همگام با توسعه تئوری های کنترل روش های پایدار سازی سیستم های قدرت نیز بهبود یافت. از اوائل دهه ۱۹۷۰ کاربرد کنترل بهینه در بهبود پایداری دینامیکی به طور چشمگیری افزایش یافت. در مرجع [۱] روش طراحی پایدار کننده با استفاده از تئوری کنترل بهینه به سیستم های قدرت چند ماشینه می باشد.

اگر چه استفاده از روش های کنترل بهینه^۱ مورد استقبال فراوان محققان دانشگاهی قرار گرفت و مقالات متعددی در جهت توسعه این روشها در پایدار سازی سیستم های قدرت انتشار یافت، اما هرگز به شکل جدی در صنعت برق مطرح نشد. گذشته از مشکلات اجرایی استفاده از روش های کنترل بهینه در عمل، نقص اصلی این روش ها بی توجهی به مسئله عدم قطعیت های^۲ مختلف موجود در مدل سیستم می باشد [۱۸].

تغییر پارامترهای سیستم، صرفنظر از دینامیک های سریع و دینامیک های مدل نشده فرکانس بالا در مدلسازی، از مهمترین منابع ایجاد عدم قطعیت در مدل سیستم ها می باشد. چشم پوشی از عدم قطعیت های مختلف موجود در مدل ممکن است، نتایج گمراه کننده ای را به دنبال داشته باشد، به طوریکه اهداف مورد نظر در کنترل با به کارگیری کنترل کننده طرح شده بر اساس مدل سیستم، در سیستم واقعی تحقق نیابد.

در ادامه این زیر بخش کارهای انجام شده در جهت بهبود پایداری سیستم های قدرت که بر مبنای تئوری کنترل مقاوم شکل گرفته است را توضیح می دهیم.

بررسی استحکام پایداری^۳ با استفاده از مفاهیم مقادیر تکین^۴ ماتریس ها (که عمدتاً بر قضیه Nyquist تعمیم یافته استوارند) به منظور تحلیل پایداری دینامیکی سیستم های قدرت، اولین بار در سال ۱۹۸۴ به کار رفت [۱۹]. Chan و Athans در این مقاله ابتدا

1- LQ optimal Control

2- Uncertainty

۳- این شاخه از کنترل مقاوم با عنوان شاخه مقادیر تکین در فصل سوم بطور مختصر توضیح داده شده است.

4- Singular Values

با استفاده از گشتاورهای سنکروه کننده و میرا کننده یک مدل ماتریس تابع انتقال (S) برای سیستم قدرت ارائه کردند. سپس با مدلسازی عدم قطعیت های ناشی از دینامیک های مدل نشده مودهای پیچشی شافت ژنراتور، تغییر مقادیر گشتاورهای سنکرون کننده و میرا کننده بدلیل تغییر شرایط نقطه کار، و تغییر در دینامیک های تحریک کننده های^۱ سیستم به صورت عدم قطعیت های ضرب شوند به تحلیل پایداری سیستم پرداختند. این مقاله بیشتر جنبه تحلیل داشته و توصیه های مفیدی را در طراحی کنترل کننده های مقاوم به دنبال ندارد.

Ohtsuka و همکارانش در سال ۱۹۹۲ از تئوری کنترل H^∞ در طراحی کنترل فیدبک حالت برای یک توربوژنراتور استفاده کردند [۲۰]. آنها با استفاده از یک روند ماتریس گین فیدبک حالت را چنان طراحی کردند که نرم H^∞ تابع انتقال حلقه بسته سیستم می نیمم شود. مهمترین مزیت این روش بهبود پایداری و قابلیت بالا در دفع اغتشاش است. اشکال اصلی آن نیز افزایش مقادیر گین های فیدبک حالت نسبت به گین های بدست آمده از روش کنترل بهینه می باشد.

در مرجع [۳]، Chow و همکارانش روش طراحی کنترل کننده های مقاوم H^∞ را به منظور طراحی PSS مقاوم برای یک سیستم تک ماشینه بکار بردند. در این مقاله مقدار راکتانس خط انتقال بین ژنراتور سنکرون و شین بینهایت قطعی نبوده و عامل ایجاد عدم قطعیت در مدل سیستم می باشد. مهمترین مزیت این روش مقاوم بودن پایداری

1- Variations in Actuator Dynamic

در برابر تغییرات راکتانس خط انتقال است. عیب این روش، بالا بودن مرتبه PSS مقارم می باشد.

در مرجع [۲۱] تئوری Nevanlinna - Pick به منظور طراحی پایدار کننده مقاوم برای سیستم قدرت تک ماشین شین بینهایت به کار گرفته شده است. در ادامه بحث ضمن توضیح مفصل این تئوری به نقد و بررسی این مقاله نیز در انتهای بخش (۴-۲) خواهیم پرداخت.

طراحی کنترل کننده های فیدبک حالت غیر حساس نسبت به تغییر پارامترهای سیستم، در مرجع [۲۲] مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از تئوری Lyapunov و معادله ریکاتی کنترل فیدبک حالت برای سیستم تک ماشین - شین بینهایت چنان طراحی می شود که عملکرد سیستم در برابر تغییر پارامترهای ژنراتور سنکرون حساس نباشد. مزیت مهم این روش عدم نیاز به مقادیر واقعی پارامترهای ماشین است، تنها محدوده تغییر این پارامترها جهت طراحی مورد نیاز است.

در مرجع [۱۸] تئوری کنترل H^∞ به منظور طراحی یک کنترل کننده مقاوم برای سیستم توربو ژنراتور مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله سیگنال کنترل به طور همزمان به اکتساتیروگاورنر اعمال می شود. استفاده از روش فوق ضمن بهبود پایداری دینامیکی و گذرا در محدوده وسیعی از شرایط نقطه کار خطر تحریک مودهای پیچشی شفت را نیز به دنبال ندارند.

موضوع مرجع [۲۳] که بر پایه نتایج فصل چهارم این پایان نامه استوار است، طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم های قدرت چند ماشینه می باشد. در این مقاله ابتدا اثر تغییر پارامترها بر پایداری دینامیکی یک سیستم قدرت سه ماشینه مطالعه شده سپس یک روش جدید جهت طراحی PSS ارائه می شود. در این روش طراحی پاردار کننده مقاوم بر اساس مجموعه ای از مدل های سیستم در نقاط کار مختلف صورت می گیرد. مزیت اصلی این پایدار کننده ها که دارای ساختاری مشابه با PSS معمولی می باشند، بهبود پایداری سیستم در محدوده وسیعی از تغییر پارامترهای سیستم است.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoochn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل دوم

پایداری دینامیکی سیستم های قدرت

۱-۲- پایداری دینامیکی سیستم های قدرت^۱:

هر گاه سیستم قدرت بتواند پس از بروز اختلاف، به حالت دائمی باز گردد پایدار گفته می شود. بعبارت دیگر ساده تر حفظ سنکرونیسم یا همزمانی پس از اختلال را پایداری گویند. بر حسب عوامل مختلف ایجاد نا پایداری تعاریف گوناگونی از پایداری سیستم قدرت ارائه شده است. از جمله آنها می توان به پایداری مانا^۲، پایداری دینامیکی^۳ و پایداری گذرا^۴ اشاره کرد.

۱- پایداری مانا: عبارتست از پایداری سیستم قدرت در مقابل تغییرات کوچک و تدریجی بار.

۲- پایداری دینامیکی: هرگاه پایداری سیستم قدرت در مقابل اغتشاش ها کوچک و ناگهانی به خطر نیافتد سیستم را به طور دینامیکی پایداری گویند.

۳- پایداری گذرا: به پایداری سیستم قدرت در برابر تغییرات بزرگ و ناگهانی (تریپ ژنرانورها، قطع یا اتصال کوتاه در خطوط) گفته می شود.

برای مطالعه هر یک از اقسام پایداری بایستی مدل مناسبی از سیستم را بدست آورد. در مدلسازی بایستی پدیده های با اهمیت و مرتبط با پایداری مورد مطالعه، در مدل منعکس شده و از نظر گرفتن پدیده های کم اهمیت در آن صرف نظر گردد. بدین

۱- عمده مطالب این فصل بر اساس مرجع [۲۴] تدوین شده است.

۲- Steady State Stability

۳- Dynamic Stability

۴- Transient Stability

جهت مدل مناسبی از سیستم قدرت برای بررسی یک پایداری خاص، ممکن است برای نوع دیگری از پایداری غیر مناسب باشد. به عنوان مثال در بحث پایداری دینامیکی می توان رفتار سیستم را با مدلی خطی توصیف کرد، حال آنکه این مدل جهت مطالعه پایداری گذرا فاقد اعتبار است. در ادامه، بحث پایداری دینامیکی سیستم قدرت تعقیب می شود.

موضوع بخش های بعدی فصل نیز به قرار زیر است:

بخش دوم به معرفی پدیده نوسانات با فرکانس کم در سیستم قدرت اختصاص داده شده است. در بخش سوم به مدلسازی سیستم قدرت تک ماشینه جهت مطالعه این پدیده پرداخته می شود. طراحی پایدار کننده سیستم قدرت جهت میرا کردن نوسانات با فرکانس کم موضوع بخش چهارم می باشد. و بالاخره در بخش پنجم مدلسازی سیستم های قدرت چند ماشینه به اختصار توضیح داده می شود.

۲-۲- نوسانات با فرکانس کم در سیستم های قدرت

توسعه شبکه های قدرت نوساناتی خود بخودی با فرکانس کم را، در سیستم به همراه داشته است.

بروز اغتشاش هایی نسبتاً کوچک و ناگهانی در شبکه باعث به وجود آمدن نوساناتی طبیعی در سیستم می شود. در حالت عادی این نوسانات بسرعت میرا شده و دامنه

نوسانات از مقدار معینی فراتر نمی رود. اما ممکن است این نوسانات برای مدت

طولانی ادامه یافته و در بدترین حالت دامنه آنها نیز افزایش یابد.

وجود چنین نوساناتی در شبکه خطرات جدی را به همراه داشته بهره برداری از

سیستم را مشکل می سازد. تجربیات مختلف از سیستم های قدرت به هم پیوسته نشان

داد این نوسانات در اثر تحریک مودهای الکترونیکی ژنراتورهای سنکرون بوجود

می آیند. امروزه جهت بهبود این پایداری از پایدار کننده های سیستم قدرت استفاده

می شود.

۲-۳- مدلسازی سیستمهای قدرت تک ماشینه

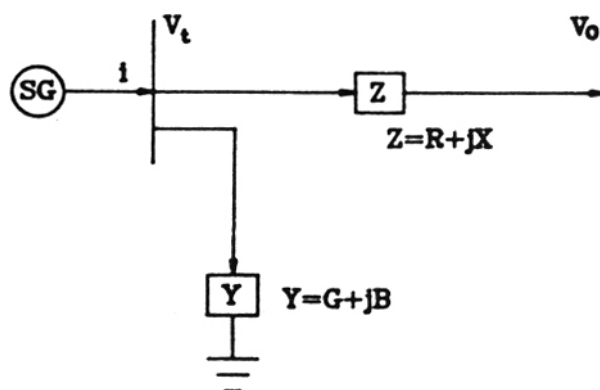
ساده ترین شبکه جهت مطالعه پایداری دینامیکی سیستم قدرت، سیستم تک ماشین -

شین بینهایت است. شکل (۱-۲) این شبکه ساده را نشان می دهد.

مدلسازی این شبکه از دو جهت حائز اهمیت است. نخست اینکه عملکرد ماشین

سنکرون متصل به یک شبکه قدرت به کمک آن قابل بررسی است. دوم روشن شدن

مفاهیم اصلی در این مدلسازی و تعمیم آن به سیستم های قدرت چند ماشینه می باشد.



شکل (۱-۲) سیستم تک ماشین شین بینهایت

به منظور مدلسازی شبکه شکل (۲-۱) بایایستی برای هر یک از اجزاء آن مدلی مناسب در نظر گرفت. مجموعه خط انتقال و ترانسفورمر بصورت یک امپدانس و بار محلی در پایانه ماشین سنکرون به صورت یک امپدانس مدلسازی می شود. ارائه مدلی مناسب برای ماشین سنکرون مهمترین مرحله مدلسازی است.

مدل ماشین سنکرون:

یک ماشین سنکرون با تقریب خوب به کمک سه سیم پیچ استاتور و سه سیم پیچی بر روی روتور (سیم پیچ میدان و دو سیم پیچ دمپر) مدلسازی می شود. معادلات دینامیکی توصیف کننده رفتار ماشین شامل معادلات الکترومغناطیسی بین پیچ ها و معادله الکترومکانیکی حاکم بر دینامیک روتور می باشد.

معادلات الکتریکی: معادلات دیفرانسیل الکتریکی طبیعی خطی (با صرف نظر از اشباع مغناطیسی) و متغیر با زمان دارند. به کمک تعریف متغیرهای جدید و استفاده از یک تبدیل موسوم به تبدیل پارک نه تنها تا حد زیادی این معادلات ساده می شوند، بلکه خاصیت متغیر با زمان بودن خود را نیز از دست می دهند [۲۵]. این معادلات ساده شده که در مطالعات مختلف سیستم قدرت کاربرد فراوانی دارند در ضمیمه الف آورده شده اند.

جهت دستیابی به مدلی با حداقل مرتبه از پدیده های کم اهمیت در نوسانات با فرکانس کم صرف نظر می شود. مهمترین این پدیده ها عبارتند از:

(۱) در حین نوسانات با فرکانس کم جریان القاء شده در سیم پیچی های دمپر ناچیز

است بنابراین از این سیم پیچی ها در مدلسازی صرف نظر می شود.

(۲) چون مقادیر ویژه پایدار متناظر با معادلات سیم پیچ های d و q (معادل سیم پیچ

های استاتور) به اندازه کافی از محور موهومی دور می باشند؛ این معادلات به شکل

جبری در نظر گرفته می شوند.

تنها معادله دیفرانسیل الکتریکی باقیمانده مربوط به میدان ماشین سنکرون می باشد که

به دلیل با اهمیت بودن دینامیک آن و اعمال کنترل از طریق سیستم تحریک حفظ

می شود.

معادله مکانیکی (نوسان):

این معادله بیان دینامیک حاکم بر حرکت دورانی روتور می باشد و به شکل توصیفی

عبارتست از: برآیند گشتاورهای مکانیکی و الکتریکی وارد بر روتور برابر است با

حاصلضرب ممان اینرسی در شتاب زاویه ای. معادله فوق یک معادله دیفرانسیل مرتبه

دوم غیر خطی است.

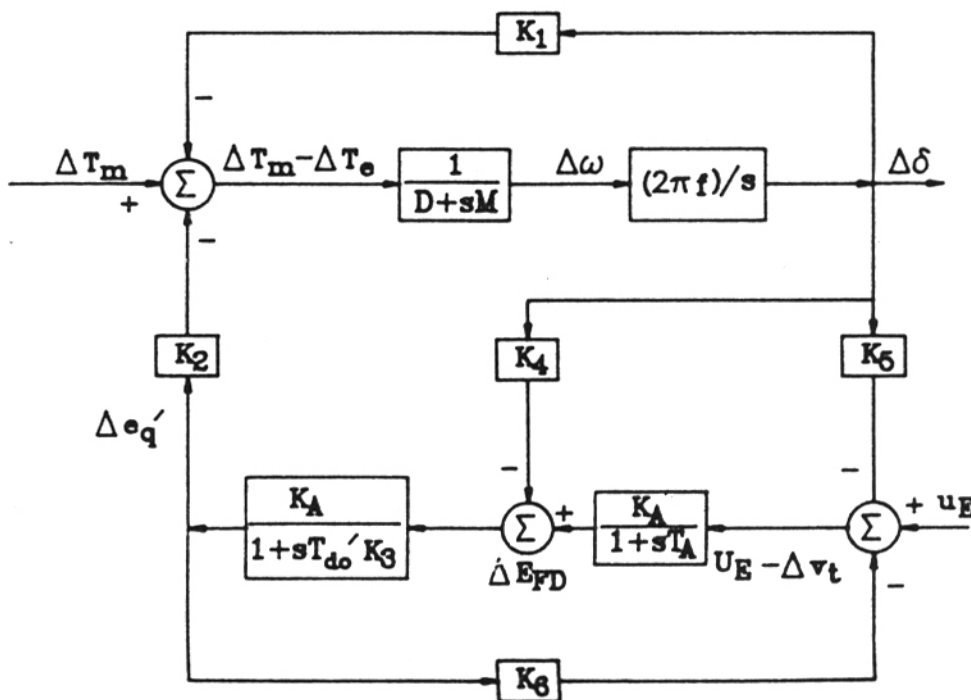
با توجه به این توضیحات مدل ریاضی شبکه شکل (۲-۱) شامل سه معادله دیفرانسیل

مرتبه اول و تعدادی معادله جبری می باشد. دو ویژگی اصلی این معادلات غیر خطی

بودن و وابستگی بین معادلات جبری و دیفرانسیل است.

نظر به موضوع مورد علاقه یعنی پاسخ سیستم قدرت به تغییرات کوچک؛ معادلات سیستم حول یک نقطه کار، خطی و ضرایب K_1 تا K_6 تعریف می شوند [۶]. استفاده از این ضرایب علاوه بر اینکه دید فیزیکی را به همراه دارد باعث ساده شدن فرم ظاهری معادلات نیز می شود. ضرایب فوق به پارامترهای ماشین؛ شبکه انتقال؛ و نقطه کار بستگی دارند. در ضمیمه ب این ضرایب تعریف و توضیح داده می شوند.

شکل (۲-۲) مدل ماشین سنکرون متصل به شین بینهایت را به فرم بلوک دیاگرام نشان می دهد. در این بلوک دیاگرام همچنین سیستم تحریک ماشین بصورت یک تابع انتقال مرتبه اول مدل سازی شده است. دو حلقه اساسی مکانیکی و الکتریکی بترتیب در بالا و پایین این شکل دیده می شود.



شکل (۲-۲) بلوک دیاگرام تابع انتقال برای مطالعه پدیده نوسانات با فرکانس کم

معادله مشخصه حلقه مکانیکی عبارتست از:

$$(Ms^2 + Ds + K_1\omega_b)\Delta\delta = 0 \quad (1-2)$$

ریشه های معادله فوق همان مودهای نوساناتی سیستم بوده و از اهمیت ویژه ای در این بحث برخوردارند. تفاضل گشتاورهای مکانیکی و الکتریکی ورودی این حلقه، سرعت و زاویه روتور نیز خروجی های آن می باشند.

توابع انتقال متناظر با تحریک و مدار میدان ماشین سنکرون در حلقه الکتریکی قرار گرفته اند. این بلوک دیاگرام بروشی زیبا در مرجع [۶] تجزیه و تحلیل شده و اثر دینامیک های مختلف بر ضرایب K_1 و K_6 و به دنبال آن بر پایداری ماشین سنکرون تشریح شده است.

معادلات حالت سیستم از این بلوک بسادگی بدست می آیند. با انتخاب بردار حالت به

شکل زیر:

$$X = [\Delta\omega \quad \Delta\delta \quad \Delta e'_q \quad \Delta E_{fd}]^T \quad (22)$$

می توان نوشت:

$$\dot{X} = AX + B_{UE} \quad (3-2)$$

که در آن ماتریس های A و B عبارتند از:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -K_1/M & -K_2/M & 0 \\ \omega_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -K_4/T_{do} & -1/T_{do}K_3 & 1/T_{do} \\ 0 & K_A K_5/T_A & -K_A K_6/T_A & -1/T_A \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ K_A/T_A \end{bmatrix}$$

۲-۴- طراحی پایدار کننده های سیستم قدرت (PSS)

تحقیق و مطالعه نشان داد که کمبود میرائی مود الکترومکانیکی (ریشه های معادله (۱-۲)) در سیستم های قدرت به هم پیوسته عامل ایجاد نوسانات با فرکانس کم می باشد. هنگامی که یک ژنراتور به تنهایی کار می کند، خود مزبور دارای میرائی کافی بوده و نوسانات به شکل قابل قبولی میرا می شوند. گاهی استفاده از سیستم تحریک خودکار باعث اعمال میرائی منفی به سیستم قدرت می شود که در نتیجه میرائی ذاتی سیستم از بین رفته نوساناتی غیر میرا در شبکه بوجود می آید.

عوامل دیگری مانند دینامیک شبکه نیز می توانند در جهت کاهش میرائی طبیعی یک ژنراتور مؤثر باشند. مهندسين قدرت به منظور رفع این مشکل اقدام به طراحی پایدار کننده های سیستم قدرت کرده اند. ایده اصلی در طراحی PSS افزایش میرائی مود الکترومکانیکی ژنراتورها می باشد. بدین منظور کافی است PSS چنان طرح شود که توسط آن گشتاوری متناسب با سرعت $(D_E \Delta \omega)$ در نقطه اشکل (۲-۲) بوجود آمده گشتاور میرا کننده ذاتی سیستم $(D \Delta \omega)$ را تقویت کند. در اینصورت معادله (۱-۲) به معادله زیر تبدیل می شود.

$$(M_s^2 + (D + D_E)S + K_1 \omega_b) \Delta \delta = 0 \quad (۲-۴)$$

نقش D_E انتقال ریشه های معادله به سمت چپ صفحه مختلط بوده که نتایجاً کمبود

میرائی مود الکترومکانیکی بهبود می یابد. در عمل به شیوه های متفاوتی می توان با

فیدبک از $\Delta\omega$ ، چنین گشتاورهائی را ایجاد کرد.

مناسبترین روش جهت ایجاد این گشتاور اعمال یک سیگنال اضافی به سیستم تحریک

است. (نقطه ۲ شکل (۲-۲)) به منظور جبران تأخیرهای ناشی از قسمت های تحریک

و میدان ماشین سنکرون، PSS به یک مدار تقووم فاز مجهز می شود. اندازه گشتاور میرا

کننده بهره (گین) PSS کنترل می شود.

مراحل طراحی PSS:

طراحی مدار تقووم فاز و گین PSS بترتیب طی مراحل زیر صورت می گیرد:

۱- محاسبه ω_n فرکانس مود الکترومکانیکی: با صرف نظر کردن از میرائی طبیعی در

معادله (۲-۲)؛ معادله مشخصه مکانیکی به شکل زیر در آمده از حل آن فرکانس طبیعی

غیر میرا بدست می آید.

$$Ms^2 + K_1\omega_b = 0 \quad (5-2)$$

$$s = \pm j\omega_n \quad \omega_n = \sqrt{\frac{K_1\omega_b}{M}}$$

۲- طراحی جبران کننده فاز: ابتدا تابع انتقال بین $\Delta e'_q$ و u_E در حلقه الکتریکی محاسبه

می شود. $(G_E(s))$. میزان تأخیر فاز این تابع انتقال در ازاء ω_n بایستی توسط یک مدار

تقدم فاز جبران شود. یک فرم متعارف برای جبران کننده فاز عبارتست از:

$$G_c(s) = \left(\frac{1+sT_1}{1+sT_2} \right)^K \quad K=1 \text{ or } 2 \quad T_1 > T_2 \quad (6-2)$$

که در آن K تعداد بلوک های مرتبه اول بوده و برای جبران زوایای بزرگ از دو بلوک استفاده می شود. برای T_2 معمولاً یک مقدار مشخص انتخاب می گردد. تنها پارامتر باقیمانده مدار جبران کننده T_1 است که به کمک تساوی زیر تعیین می شود.

$$\angle G_E(s) \Big|_{s=j\omega_n} + \angle G_c(s) \Big|_{s=j\omega_n} = 0 \quad (7-2)$$

۳- طراحی گین:

مقدار D_E در معادله (۶-۲) را می توان توسط گین PSS کنترل کرد. اگر گین PSS را

K_C بنامیم این مقدار برابر است با:

$$D_E = K_2 K_C |G_C(s)| |G_E(s)| \Big|_{s=j\omega_n} \quad (8-2)$$

از طرفی با صرف نظر از D و با توجه به فرم استاندارد معادله مشخصه داریم:

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (9-2)$$

$$D_E = 2\xi\omega_n M \quad (10-2)$$

از حذف D_E بین معادلات (۱۰-۲) و (۸-۲) مقدار گین PSS بر حسب ضریب میرایی

بدست می آورید:

$$K_C = 2\xi\omega_n M / (K_2 |G_2(j\omega_n)| |G_E(j\omega_n)|) \quad (11-2)$$

۴- طراحی بلوک reset:

تحریک اضافی ایجاد شده توسط PSS بایستی به هنگام بروز پدیده نوسانات با فرکانس کم فعال شده و پس از میرا شدن نوسانات به طور خودکار قطع شود. به عبارت دیگر PSS از نوع کنترل کننده های اضافی (Supplementary) سیستم قدرت بوده و بر عملکرد حالت دائمی بی تأثیر است. با طرح یک تابع انتقال مرتبه اول این امر تحقق می یابد.

$$G_{reset}(s) = \frac{sT}{1+sT} \quad (2-12)$$

پارامترهای T چنان طراحی می شود که اندازه تابع انتقال در فرکانس طبیعی غیر میرا (ω_n) نزدیک به واحد باشد.

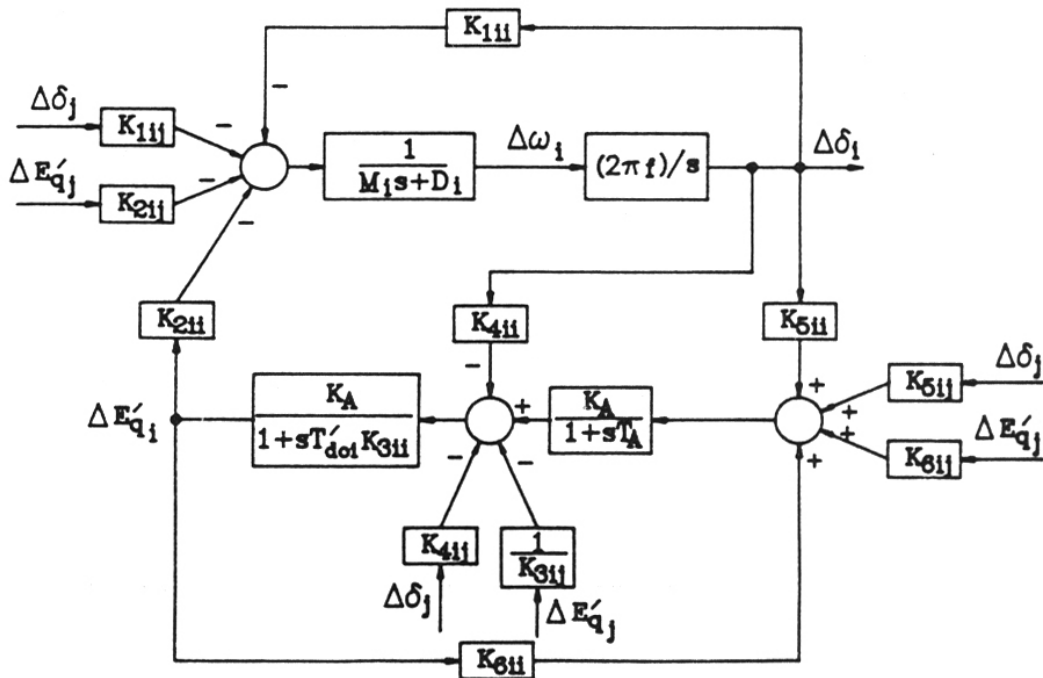
در پایان، جهت صحت محاسبات، معادلات PSS به مدل فضای حالت سیستم اضافه شده و مودهای الکترومکانیکی مجدداً محاسبه می شوند. شکل زیر بلوک دیاگرام یک PSS را نشان می دهد.



شکل (۲-۳) - بلوک دیاگرام PSS

۲-۵- مدلسازی سیستم قدرت چند ماشینه:

با تعمیم مطالب بخش پیشین به حالت چند ماشینه، ضرایب K_1 تا K_6 به ماتریس هایی با همین نام تبدیل می شوند. محاسبه آنها پس از آنالیز پخش بار شبکه؛ به صورت مشابه با محاسبات سیستم تک ماشینه انجام می شود [۲۴]. در سیستم چند ماشینه مشابه حالت تک ماشینه؛ بلوک دیاگرام زیر را می توان برای ماشین i ام در نظر گرفت.



(شکل ۲-۴) بلوک دیاگرام ماشین سنکرون در یک سیستم قدرت چند ماشینه

نمایش فضای حالت در سیستم چند ماشینه با قرار دادن ماتریس های مناسبی در معادله (۲-۳) بجای پارامترهای اسکالر آن، حاصل می شود.

طراحی PSS در سیستم چند ماشینه: طراحی PSS کلاسیک بر اساس سیستم تک ماشینه - شین بینهایت انجام می شود. بنابراین جهت طراحی PSS برای یک ماشینه

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooen.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

خاص نخست بایستی سیستم معادل تک ماشین شین بینهایت را برای آن ماشین

بدست آورد. این امر بسادگی با قرار دادن راکتانس X_h به جای همه ماشین ها بجز

ماشین مورد بحث میسر است [۱۲]. پس از بدست آوردن این سیستم معادل، مشابه

بخش قبل برای ژنراتور سنکرون پایدار کننده مناسبی طراحی می شود.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooen.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل سوم

کنترل مقاوم

۳-۱- کنترل مقاوم :

در کنترل کلاسیک طراحی کنترل کننده بر اساس مدلی از سیستم واقعی صورت می گیرد. مدل سیستم تنها یک تقریب از دینامیک های واقعی سیستم می باشد، بنابراین اهداف مورد نظر در کنترل ممکن است بوسیله چنین طراحی هایی تحقق نیابد. در تئوری کنترل مقاوم^۱ سعی بر اینست که عدم قطعیت های^۲ موجود در مدل بر طراحی کنترل کننده اثر بگذارند تا اهداف مورد نظر در طراحی به شکل مطلوب تری حاصل شوند. از مهمترین شاخه ها در کنترل مقاوم شاخه پایداری مقاوم^۳ می باشد که در این فصل به آن می پردازیم.

بخش دوم به صورت مسئله کنترل مقاوم اختصاص داده شده است. در بخش سوم تاریخچه این تئوری مورد بررسی قرار گیرد. در بخش های چهارم و پنجم به تشریح دو روش طراحی پایدار کننده های مقاوم که در ادامه مورد استفاده قرار می گیرند، پرداخته می شود.

1- Robust Control
۲ - Uncertainty
۳ - Robust Stability

۳-۲- مسئله کنترل مقاوم:

۳-۲-۱- مدل سیستم:

مسئله کنترل مقاوم عبارتست از تحلیل و طراحی کنترل کننده های دقیق برای سیستم هایی که عدم قطعیت های با اهمیتی را در بر می گیرند. نمایش های فضای حالت و ماتریس تابع انتقال دو شکل متداول برای مدلسازی پدیده های فیزیکی می باشند.

نمایش فضای حالت :

$$\dot{X} = AX + BU \quad (۱-۳)$$

$$Y = CX + DU$$

نمایش ماتریس تابع انتقال:

$$Y(s) = G(s)U(s) \quad (۲-۳)$$

پس از بدست آمدن مدل ریاضی برای سیستم فیزیکی مورد مطالعه، با تحلیل مشخصات کیفی و کمی و ارزیابی رفتار مدل از جهات گوناگون (مانند پایداری، سرعت پاسخ به ورودی و ...) نیاز یا عدم نیاز به طراحی کنترل کننده مشخص شده

در صورت نیاز طراحی کنترل کننده با توجه به قوانین کنترل انجام می گیرد.

اساس مهندسی کنترل بر تئوری فیدبک استوار است. استفاده از فیدبک در کنترل سیستم ها مزایای متعددی را به همراه دارد. از مهمترین خواص فیدبک می توان به بهبود پایداری و کاهش اثر اغتشاش اشاره کرد.

۳-۲-۲- عدم قطعیت در مدلسازی:

همه روش های طراحی کنترل کننده بر اساس مدلی از سیستم فیزیکی به طراحی می پردازند. مدل ریاضی فقط یک تقریب از دینامیک های سیستم واقعی است.

در یک روند طراحی ممکن است هدف طراح غلبه بر مشکل خاصی از سیستم باشد. بنابراین منطقی است که در مدل فقط پدیده هایی که در ارتباط با مسئله، دارای اهمیت است منعکس شوند. به عبارت دیگر به منظور جلوگیری از پیچیدگی در تحلیل و طراحی از پدیده های کم اهمیت صرف نظر شود.

اغلب این پدیده های کم اهمیت دارای دینامیک سریع (نسبت به پدیده غالب در مسئله) می باشند. حذف دینامیک های سریع که بعضاً با آگاهی طراح در یک مدلسازی ریاضی صورت می گیرد از عوامل ایجاد عدم قطعیت در مدل سیستم است. به طور خلاصه مهمترین منابع ایجاد عدم قطعیت در مدل عبارتند از:

(a) دینامیک های سریع مدل نشده (فرکانس بالا)

(b) کاهش مرتبه مدل در جهت ساده سازی

(c) صرفنظر کردن از غیر خطی بودن معادلات

(d) تغییر مقادیر پارامترهای مدل

از عوامل ایجاد قسمت d می توان به خطاهای اندازه گیری، خطاهای شناسایی و تغییر شرایط فیزیکی (دما، فشار و ...) در بعضی از سیستم ها اشاره کرد. علاوه بر این موارد

هرگاه یک سیستم غیر خطی حول یک نقطه کار خطی سازی شود، مقادیر پارامترهای سیستم خطی با جابجایی نقطه کار تغییر می کند.

نهایت این که مدل یک سیستم با خود سیستم از حیث رفتاری همواره دارای اختلاف می باشد. در بعضی از کتاب ها عدم قطعیت در مدل را همین اختلاف بین مدل و سیستم تعریف کرده اند. تفاوت های بین مدل و سیستم در بعضی از موارد ممکن است آنقدر قابل ملاحظه باشد که کنترل کننده طرح شده بر اساس مدل برای سیستم فیزیکی مناسب نباشد به عبارت دیگر اهداف طراح خدشه دار شده و یا به کلی تحقق نیابند.

در مثال زیبای مقاله [۲۶] با حذف یک دینامیک بسیار سریع در مقابل قسمت کند سیستم، مدلی ساده شده برای سیستم حاصل می شود. کنترل کننده بر اساس این مدل طرح و روی سیستم اصلی امتحان می شود. هر چند مجموعه کنترل کننده و مدل به خوبی پایدار می باشند، اما پایداری سیستم اصلی با این کنترل کننده به طور کلی از بین می رود. بنابراین چشم پوشی از چنین عدم قطعیت هائی در مدلسازی می تواند مشکل آفرین باشد. از طرف دیگر در نظر گرفتن مدلی کامل از سیستم فیزیکی در تحلیل و طراحی غیر ممکن و یا حداقل بسیار دشوار می باشد.

کنترل مقاوم در واقع تلاشی در جهت ایجاد مصالحه بین این دو وضعیت می باشد.

در این تئوری سعی بر این است که عدم قطعیت های حائز اهمیت به شیوه ای مناسب مدل شوند و بر طراحی کنترل کننده اثر گذارند. به طور معمول مدلسازی عدم قطعیت باعث بوجود آمدن یک خانواده از مدل های ریاضی می شود که هر عضو این مجموعه مدلی از سیستم است، اما این که کدام یک از آنها رفتاری دقیقاً مشابه سیستم واقعی دارد، مشخص نیست.

کنترل کننده ای که بر اساس خانواده ای از مدل ها حاصل می شود کنترل کننده مقاوم نامیده می شود. در [۲۸] تعریف ذیل برای کنترل کننده مقاوم پیشنهاد شده است.

تعریف: یک کنترل کننده مقاوم چند متغیره عبارتست از سیستمی خطی نا متغیر با زمان که هرگاه به شکل فیدبک به هر یک از اعضاء یک خانواده از مدل ها اتصال داده شود، اهداف مورد نظر طراحی (مانند پایداری) تحقق یابند.

این تعریف ساده، اختلاف بین کنترل مقاوم با سایر شاخه های کنترل مانند: کنترل قابل اطمینان^۱، کنترل تطبیقی^۲، و کنترل غیر حساس^۳ را نشان می دهد.

همانطور که منابع ایجاد عدم قطعیت در سیستم متفاوت اند، بیان ریاضی آنها نیز به طرق مختلف صورت می گیرد. از مهمترین معیارهای تقسیم عدم قطعیت می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

-
- 1- Reliable Control
 - 2- Adaptive Control
 - 3- Insensitive Control

(۱) بدون ساختار^۱ و دارای ساختار^۲

(۲) پارامتری و غیر پارامتری

(۳) قطعی^۳ و احتمالی^۴

از آنجا که اولین معیار تقسیم بندی نقش مهمی در تئوری کنترل مقاوم داشته، طی مثال هایی مفهوم آن بیشتر توضیح داده می شود.

فرض کنیم معادلات دینامیکی توصیف کننده یک سیستم به صورت مقابل باشد:

$$\dot{X} = AX$$

که در آن X بردار حالت n بعدی و $A_{n \times n}$ یک ماتریس مربعی می باشد. عدم قطعیت

در ماتریس A بسته به نوع مسئله به طرق ذیل قابل بیان است:

$$AX \rightarrow (A + \delta A)X \quad \|\delta A\| \leq a \quad (a_1)$$

که در نامعادله فوق $\|\cdot\|$ یکی از انواع نرم مثلاً نرم اقلیدسی بوده و δA یک ماتریس

مربعی هم مرتبه با A می باشد. درایه های ماتریس δA به هر شکلی می توانند تغییر

کنند مشروط به اینکه محدودیت نا معادله ای برقرار باشد. چنین عدم قطعیت هایی

بدون ساختار می باشند.

$$AX \rightarrow \left(A + \sum_{i=1}^n q_i A_i\right)X \quad -1 \leq q_i \leq 1 \quad (a_2)$$

-
- 1- Unstructured
 - 2- Structured
 - 3- Deterministic
 - 4- Stochastic

که در آن A_1 تا A_n ماتریس هایی ثابت و معلوم بوده و اسکالرهای q_i متناظر با این

ماتریس ها می توانند به دلخواه در بازه داده شده تغییر کنند. چنین عدم قطعیت هایی با

ساختار می باشند.

نظیر این دو وضعیت برای نمایش تابع انتقال نیز وجود دارد.

$$I) \quad G(s) \rightarrow G(s) + \delta G(s) \quad \|\delta G(s)\| \leq l_a(s) \quad (b_1)$$

$$II) \quad G(s) \rightarrow G(s)(I + L(s)) \quad \|L(s)\| \leq Lm(s)$$

در هر دو مورد بالا عدم قطعیت از نوع بدون ساختار است. که در مورد I عدم قطعیت

به شکل جمعی^۱ و در فرم II به شکل ضربی^۲ مدل شده است. بدیهی است در حالت

II اطلاعات بیشتری از عدم قطعیت در اختیار است.

(b₂) یک مثال برای تابع انتقال با عدم قطعیت دارای ساختار، تابع انتقالی است که هر

یک از ضرایب صورت و مخرج آن درون یک بازه تغییر می کند.

1- Additive
2- Multiplicative

۳-۳- تاریخچه کنترل مقاوم:

۳-۳-۱- سیر پیشرفت تئوری:

شاید اولین قدم در جهت حل مسئله کنترل مقاوم را بتوان به H. S. Black در ۱۹۲۷ میلادی نسبت داد که برای طراحی یک سیستم دقیق، تقویت کننده با محفظه خلأ به دلیل تغییرات وسیع در مشخصه های آن فیدبک با بهره حلقه زیاد را پیشنهاد کرد [۲۸].

متأسفانه اغلب این طراحی ها منجر به ناپایداری دینامیکی سیستم می شد. در ۱۹۳۲ نتایج Nyquist موجب درک تحلیلی از مسئله ناپایداری دینامیکی و بهره حلقه زیاد شد [۲۹]. معیار پایداری Nyquist در حوزه فرکانس و مفهوم بهره حلقه بالای Black به عنوان اساس کنترل مقاوم در کتاب معروف Bode که در ۱۹۴۵ منتشر شد، مطرح شدند [۳۰]. Bode همچنین مفهوم تابع حساسیت را معرفی کرد.

روش Bode برای طراحی سیستم های مقاوم توسط Horowitz تعمیم داده شد [۳۱]. فاصله ۱۹۲۷ تا ۱۹۶۰ دوره طراحی با حساسیت کلاسیک نامیده می شود [۳۲]. از مسائل مورد علاقه در این دوره می توان به پایداری، کاهش حساسیت، و تضعیف اثر نویز در سیستم های SISO اشاره کرد.

فاصله زمانی ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۵ در تئوری سیستم های کنترل یکی از مهمترین دوره

هاست و به دوره فضای حالت مشهور است [۳۲]. در ابتدای این دوره Kalman

یکسری از مفاهیم اساسی مانند:

مفهوم متغیر حالت، کنترل پذیری، رویت پذیری، فیدبک بهینه حالت^۱ و تخمین بهینه

حالت^۲ را معرفی کرد [۳۳]. بجز چند مورد قابل توجه، در این دوره مسئله عدم

قطعیت در مدل، مطرح نشد و چندان که شایسته آن بود مورد بررسی قرار نگرفت. از

جمله کارهای انجام شده در این فاصله می توان به معرفی ماتریس مقایسه حساسیت

اشاره کرد. Cruz و Perkins در ۱۹۶۴ با معرفی این نماد جدید به تحلیل حساسیت

سیستم های MIMO پرداختند [۳۴].

تئوری حساسیت در این مرحله به اوج خود رسید و مسائلی چون مسیر حساسیت

$\left(\frac{\partial X}{\partial \alpha}(t)\right)$ ، حساسیت مقادیر ویژه و حساسیت بردارهای ویژه را پشت سر گذاشت.

اواخر دهه هفتاد و اوایل دهه هشتاد اتفاقاتی در تئوری کنترل چند متغیره رخ داد که در

شکل گیری دوره سوم کنترل مقاوم (۱۹۷۵ تا کنون) تأثیر فراوان داشت. این فاصله

زمانی را دوره پیشرفته کنترل مقاوم نامیده اند. از جمله این اتفاقات می توان تعمیم

معیار Nyquist به حالت چند متغیره، مفهوم تجزیه ماتریس به عامل های اول، و

1- Optimal linear Quadratic state Feedback
2- Kalnan Filtering

پارامتری کردن همه پایدار کننده ها^۱ را نام برد. دوره پیشرفته کنترل مقاوم به طور

عمده مدیون دو مقاله از Kalman و Zames می باشد [۳۲].

در ادامه مطلب به نحوه شکل گیری سه شاخه مهم و تقریباً مستقل از یکدیگر در

تئوری کنترل مقاوم که همگی در دوره سوم تولد یافته اند می پردازیم.

۳-۲-۳- معرفی شاخه های کنترل مقاوم:

(الف) شاخه مقادیر تکین^۲:

نمادهای حد بهره^۳ و حد فاز^۴ که توسط Bode به عنوان معیارهای نزدیکی سیستم به

ناپایداری معرفی شدند دارای نقش کلیدی در تئوری کنترل مقاوم می باشند. Kalman

طی مقاله معروف خود در ۱۹۶۴ نشان داد که روش کنترلی LQSF وجود حد بهره

بینهایت و حد فاز +۶۰ را برای سیستم SISO تضمین می کند [۳۵]. این خواص مبین

پایداری مقاوم این روش کنترل است. Sofonov و Athans در ۱۹۷۷ خاصیت فوق

را برای بهره و فاز هر کانال ورودی سیستم چند متغیره MIMO تعمیم دادند. در این

مقاله که بر تئوری آنالیز تابعی^۵ متکی است مقاوم بودن پایداری در برابر تغییرات غیر

خطی متغیر با زمان بدون حافظه در دینامیک سیستم حلقه باز نیز به اثبات رسید [۳۶].

هر چند این مقاله در ردیف مقاله های مهم کنترل مقاوم قرار می گیرد اما مشکل

-
- 1- Youla Parameterization
 - 2- Singular Values
 - 3- gain margin
 - 4- phase margin
 - 5- Functional Analysis

اساسی آن ناتوانی در پاسخگویی به تغییرات همزمان در چندین مسیر مختلف سیستم می باشد، زیرا که عدم قطعیت در سیستم، محدود به تغییرات در یک حلقه از سیستم نمی شود.

اگر چه به کمک قضیه Nyquist چند متغیره که در آن از تابع انتقال $\det(I+G(s))$ استفاده می شود می توان در مورد پایداری سیستم های MIMO نظر داد، اما مقاوم بودن پایداری در حالت کلی ارتباطی به خواص این تابع انتقال ندارد. Lehtomaki و همکاران به کمک یک مثال نشان دادند که تابع انتقال فوق برای یک سیستم چند متغیره بسیار نزدیک به ناپایداری، می تواند دارای حد بهره و فازی به اندازه کافی بزرگ نیز باشد. با توجه به خواص مقدار تکین یک ماتریس، استفاده از حداقل مقدار تکین ماتریس $I+G(s)$ $(\sigma(I+G(s)))$ به عنوان معیار نزدیکی ماتریس $I+G(s)$ به منفرد شدن پیشنهاد شد. بدین ترتیب نمادهای حد بهره و فاز برای سیستم های چند متغیره نیز تعریف شد [۳۷].

از دیگر مقاله های مهم در این شاخه مقاله [۳۸] می باشد که در آن عدم قطعیت های موجود در مدل، در طراحی کنترل کننده منظور شده است. وقتی بجای فیدبک حالت از تخمین آن استفاده می شود استحکام^۱ پایداری روش LQSF می تواند تهدید شود. در این مقاله با طراحی فیلتر Kalman مناسب این خواص بازیابی می شوند.

از دیگر تلاش ها در این شاخه می توان به ارتباط بین مسئله کاهش حساسیت و

پایداری مقاوم در سیستم های MIMO اشاره کرد [۳۹].

خواننده علاقمند جهت مطالعه تفضیلی مطالب مهم در این شاخه می تواند به مرجع

[۴۰] رجوع کند.

(ب) شاخه H^∞ :

شاخه کنترل H^∞ یکی از مهمترین شاخه های کنترل مقاوم است که توسط Zames در

اوائل دهه هشتاد مطرح شد [۴۱]. وی مسئله کاهش حساسیت بوسیله فیدبک را

بصورت یک مسئله بهینه سازی با اپراتورهای نرم بویژه نرم H^∞ فرموله کرد. ارتباط

بین تئوری اپراتورها با تئوری توابع مختلط که توسط Sarson و Adamjan در سال

های ۱۹۶۷ و ۱۹۷۱ شکل گرفت و آثار Holton مبنی بر کاربردهای مفید این دو شاخه

ریاضی در مهندسی برق عوامل پیدایش کنترل H^∞ می باشند [۴۲].

zames و Francis ضمن بیان نقایص روش فضای حالت به حل مسئله حساسیت

بهینه توأم با پایداری مقاوم در مورد سیستم های SISO پرداختند [۴۳].

بیان نقایص فوق به شکل مشروح و یک تاریخچه مفصل از پیشرفت شاخه H^∞ در

مرجع [۴۴] آمده است.

(پ) شاخه Kharitonov :

این شاخه که بیشتر مدیون کارهای Kharitonov است، تحت عناوین سیستم های بازه ای^۱، عدم قطعیت های حقیقی با ساختار^۲ و نقاط کرانه ای^۳ در مقالات مطرح می شود [۴۵ - ۵۳].

Kharitonov در ۱۹۷۸ طی دو مقاله که در مجلات ریاضی روسیه به چاپ رسید، به بررسی پایداری سیستم های بازه ای پرداخت. قضایای او باعث ایجاد سر فصلی جدید در تحقیقات شد و موضوعات ریاضی مانند خواص چند جمله ای ها و چند وجهی ها به طراحی کنترل کننده های مقاوم پیوند خورد.

به طور کلی در این شاخه هدف ارزیابی یک خاصیت سیستم بازه ای (مانند پایداری مقاوم) به کمک بررسی تعداد محدودی از سیستم های متعلق به این خانواده می باشد.

Barmish در ۱۹۸۳ این بحث ریاضی را در کنترل مطرح کرد. قضایای Kharitonov ماهیت تحلیلی داشته و به کمک آنها نمی توان به طراحی کنترل کننده مقاوم برای سیستم های بازه ای پرداخت. علاوه بر این در روش Kharitonov فرض بر اینست که هر یک از ضرایب تابع انتقال به طور کاملاً مستقل از سایر ضرایب می تواند یک مقدار دلخواه را در بازه متناظر، اختیار کند. بدین ترتیب این روش از نوعی محافظه کار ذاتی برخوردار است [۴۵].

-
- 1- Interval systems
 - 2- Structured real uncertainty
 - 3- Extreme points

محققین در جهت حل هر دو مشکل اقدام کرده اند. Ghosh در ۱۹۸۵ نشان داد یک

کنترل کننده $C(s) = K$ همهٔ اعضاء یک سیستم بازه ای را پایدار می کند اگر و فقط

اگر هشت سیستم کرانه ای را پایدار کند [۴۶].

Hollot و Yang بروشی مشابه نشان دادند شرط لازم و کافی برای پایدار سازی یک

سیستم بازه ای توسط کنترل کننده ای مرتبه یک پایدار سازی همهٔ سیستم های

کرانه ای می باشد [۴۷].

لازم به توضیح است که تعداد سیستم های کرانه ای برای توابع انتقال مرتبه بالا بسیار

زیاد است. Barmish و همکاران در ۱۹۹۲ ثابت کردند، یک کنترل کننده مرتبه یک

سیستم بازه ای را پایدار می کند اگر و فقط اگر شانزده تابع انتقال بدست آمده از چند

جمله ای های Kharitonov صورت و منخرج پایدار کند.

بعلاوه تعداد فوق هر گاه اطلاعات بیشتری از کنترل کننده (مثلاً تقدم فاز) در دست

باشد کاهش می یابد [۴۸].

تحقیقات متعددی نیز در زمینه کاهش محافظه کاری این روش ها برای حالت های

خاص که ضرایب چند جمله ای ها توابعی (خطی، چند خطی و ...) از پارامترها

باشند، انجام شده است که به عنوان نمونه می توان به مقالات [۴۹-۵۱] اشاره کرد.

از دیگر مسائل مطرح شده در این شاخه می توان به مفاهیم Kharitonov Regions و

Robust D – Stability اشاره کرد [۵۲].

**جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید**

به موازات پیشرفت این شاخه در پایدار سازی سیستم های پیوسته، تلاش در جهت

اعمال این روش ها به سیستم های گسسته نیز صورت گرفته است. در مرجع [۵۳]

مسائل مختلف سیستم های بازه ای گسسته بررسی شده است.

۳-۴- طراحی کنترل کننده های مقاوم برای خانواده ای از توابع انتقال [۵۴]

۳-۴-۱- بیان صورت مسئله:

رفتار سیستم SISO مورد مطالعه به کمک خانواده ای از توابع انتقال توصیف می شود. به طوریکه هر یک از توابع انتقال متعلق به این خانواده می تواند مدلی برای سیستم باشد. هدف طراحی کنترل کننده ای است به نحوی که همه اعضای این خانواده را پایدار کند.

در این بحث به دو پرسش اساسی بایستی پاسخ گفت:

الف) تحت چه شرائطی مسئله دارای جواب است؟

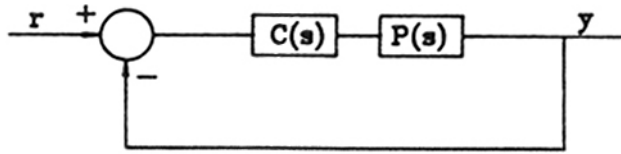
ب) به شرط وجود جواب، روش طراحی کنترل کننده چگونه است؟

جهت پاسخگویی به سؤالات فوق مطالب بعدی به ترتیب ذیل طرح می شوند. ابتدا به تعاریف و مقدمات مورد نیاز جهت حل مسئله پرداخته می شود. پس از تئوری ریاضی Nevanlinna – Pick تشریح می شود. تطبیق صورت مسئله پایداری مقاوم با این تئوری در قسمت بعد صورت می گیرد که حاصل آن شرطی لازم و کافی جهت وجود جواب برای مسئله پایدار پذیری مقاوم^۱ است. انتهای بخش نیز به طراحی کنترل کننده و مسائل مربوط به آن اختصاص داده شده است.

^۱ - Robust Stabilizability

۳-۴-۲- تعاریف و مقدمات:

شکل (۱-۳) بلوک دیاگرام حلقه بسته یک سیستم SISO به همراه کنترل کننده فیدبک را نشان می دهد. $C(s)$ و $P(s)$ به ترتیب تابع انتقال های سیستم تحت مطالعه و کنترل کننده می باشند.



شکل (۱-۳) بلوک دیاگرام سیستم به همراه کنترل کننده

برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل، $p(s)$ را عضوی از یک مجموعه توابع انتقال را در نظر می گیریم. هر یک از اعضاء این خانواده توابع انتقال می تواند مدلی برای سیستم باشد.

تعریف (۱-۳): یک تابع انتقال $p(s)$ عضوی از خانواده $C(P_o(s), r(s))$ گفته می شود هر گاه:

- (a) تعداد قطب های ناپایدار $p(s)$ با تعداد قطب های ناپایدار $P_o(s)$ برابر باشد.
- (b)

$$|p(j\omega) - p_o(j\omega)| \leq |r(j\omega)| \quad |r(j\omega)| > 0 \forall \omega \quad (۳-۳)$$

در این تعریف $p_0(s)$ مدل اصلی^۱ سیستم و $r(s)$ مشخص کننده حداکثر عدم قطعیت در آن است. لازم به توضیح است که $p(s)$ فقط بایستی دو شرط بالا را برقرار کند و هیچ محدودیت دیگری در انتخاب آن وجود ندارد مثلاً می تواند دارای مرتبه ای متفاوت با $p_0(s)$ باشد.

$r(s)$ تابع انتقالی پایدار، مناسب و گویا می باشد. همچنانکه در تعریف مشخص شده $r(s)$ های مختلف با اندازه های مساوی روی محور موهومی یک خانواده از توابع انتقال را مشخص می کنند.

اکنون پایداری مقاوم یک خانواده را تعریف می کنیم.

تعریف (۲-۳): یک خانواده $r(s)$ و $C(p_0(s))$ به شکل مقاوم پایدار شدنی است اگر کنترل کننده ای چون $c(s)$ موجود باشد چنانکه سیستم حلقه بسته شکل (۱-۳) برای همه $p(s)$ های متعلق به این خانواده پایدار باشد.

قضیه (۱-۳): [۵۵]

یک کنترل کننده $c(s)$ برای خانواده $r(s)$ و $C(p_0(s))$ پایدار ساز مقاوم است، اگر و فقط اگر سیستم حلقه بسته شکل (۱-۳) برای $p(s) = p_0(s)$ پایدار بوده و داشته باشیم:

$$|r(j\omega)c(j\omega)| < |1 + p_0(j\omega)c(j\omega)| \quad \forall \omega \quad (۳-۴)$$

تابع $q(s)$ که اولین بار توسط Zames معرفی شد در ادامه بحث نقش مهمی دارد [۴۳].

$$q(s) = \frac{c(s)}{1 + p_o(s)c(s)} \quad (5-3)$$

کنترل کننده $c(s)$ نیز بر حسب $q(s)$ قابل بیان است.

$$c(s) = \frac{q(s)}{1 - p_o(s)q(s)} \quad (6-3)$$

با توجه به تابع $q(s)$ در مورد پایداری سیستم حلقه بسته شکل (۱-۳) می توان قضیه زیر را عنوان کرد.

قضیه (۲-۳): [۴۳]

سیستم حلقه بسته شکل (۱-۳) برای $p(s) = p_o(s)$ پایدار است اگر و فقط اگر:

(a) $p(s)$ پایدار باشد.

(b) $1 - p_o(s)q(s)$ دارای صفرهایی در روی قطب های ناپایدار $p_o(s)$ باشد. (با درجه تکرار مساوی)

۳-۴-۳- تئوری Nevanlinna - Pick :

این تئوری که اساس آن بر مسئله درونیابی^۱ دسته ای از توابع تحلیلی استوار است در تئوری های مدار، پردازش سیگنال و تقریب مدل از اهمیت فراوانی برخوردار است. قبل از طرح و فرموله کردن مسئله بیان تعریف زیر ضروری است.

تعریف (۳-۳): یک تابع تحلیلی $u(s)$ در $R_e[s] \geq 0$ نامیده می شود، هرگاه:

1- Inter polation
2- Bounded Real

$$|u(j\omega)| \leq 1 \quad \forall \omega \quad (7-3)$$

اگر \leq با $<$ در معادله تعویض شود به تابع SBR¹ گفته می شود.

مسئله Nevanlinna – Pick :

فرض کنید 21 عدد مختلط α_i و β_i که در شرایط زیر صدق می کنند داده شده اند.

$$R_e[\alpha_i] > 0 \quad \text{و} \quad |\beta_i| < 1 \quad i = 1, 2, \dots, l$$

مسئله پیدا کردن یک تابع BR یا SBR می باشد به نحوی که داشته باشیم:

$$u(\alpha_i) = \beta_i \quad i = 1, 2, \dots, l$$

شرط وجود جواب:

ماتریس هرمیتی زیر که به ماتریس Pick موسوم است متناظر با α_i ها و β_i ها به

شکل زیر تعریف می شود.

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1 - B_1 \bar{B}_1}{\alpha_1 + \bar{\alpha}_1} & \dots & \frac{1 - B_1 \bar{B}_l}{\alpha_1 + \bar{\alpha}_l} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{1 - B_l \bar{B}_1}{\alpha_l + \bar{\alpha}_1} & \dots & \frac{1 - B_l \bar{B}_l}{\alpha_l + \bar{\alpha}_l} \end{bmatrix} \quad (8-3)$$

شرط وجود جواب برای توابع SBR که در ادامه بحث نیز مفید است عبارتند از

قضیه (۳-۳): [۵۶]

مسئله Nevanlinna – Pick برای توابع SBR دارای جواب است اگر و فقط اگر

ماتریس P معین مثبت^۱ باشد. اکنون به موضوع اصلی ایم بخش یعنی ارتباط پایداری

مقاوم با تئوری Nevanlinna – Pick می پردازیم.

۳-۴-۴- تبدیل مسئله پایداری پذیری مقاوم به یک مسئله Nevanlinna-Pick:

در این قسمت مسئله پایداری را به یک مسئله Nevanlinna – Pick تبدیل کرده

شرایط لازم و کافی برای وجود پایدار کننده مقاوم را بدست می آوریم.

خانواده $r(s)$ و $C(p_0(s))$ را با دو فرض ساده کننده در نظر می گیریم.

(۱) قطب های ناپایدار $p_0(s)$ ساده (مرتبه ۱) فرض می شوند.

(۲) $r(s)$ تابع انتقالی گویا و با درجه نسبی (تفاضل درجه صورت از مخرج) صفر یا

یک می باشد. فرض کنید $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l$ قطب های ناپایدار $p_0(s)$ باشند، متناظر با این

اعداد تابع $B(s)$ به صورت زیر تعریف می شود.

$$B(s) = \frac{(\alpha_1 - s) \dots (\alpha_l - s)}{(\alpha_1 + s) \dots (\alpha_l + s)} \quad (۹-۳)$$

چون $R_e[\alpha_i] > 0$ (فرض ۱) می باشد، $B(s)$ یک تابع BR بوده و علاوه بر آن می توان

نوشت:

$$|B(j\omega)| = 1 \quad \forall \omega \quad (۱۰-۳)$$

با تعریف تابع انتقال $\bar{p}_0(s)$ به فرم زیر:

1- Positive definite

$$\bar{p}_o(s) = p_o(s) B(s) \quad (11-3)$$

و با توجه به فرض ۱، $\bar{p}_o(s)$ تابع انتقالی مناسب و پایدار است.

اکنون فرض می کنیم کنترل کننده ای چون $c(s)$ وجود دارد به قسمتی که سیستم حلقه بسته شکل (۱-۳) را پایدار کند. با توجه قسمت b قضیه (۲-۳) همه قطب های

ناپایدار $p_o(s)$ با صفرهای $q(s)$ بایستی حذف شوند. بنابراین این تابع

$$\bar{q}(s) = \frac{q(s)}{B(s)} \quad (12-3)$$

در $R_e[s] \geq 0$ تحلیلی است. با توجه به تساوی بدیهی:

$$\bar{p}_o(s)\bar{q}(s) = p_o(s)q(s) \quad (13-3)$$

قسمت b قضیه (۲-۳) معادل است با:

$$\bar{p}(\alpha_i)\bar{q}(\alpha_i) = 1 \quad i = 1, \dots, b$$

بنابراین مسئله پایداری سیستم شکل (۱-۳) برای $p(s) = p_o(s)$ پیدا کردن یک تابع گویا، مناسب و پایدار که مسئله (۱۳-۳) را قانع کند، منتهی می شود.

در جهت تعمیم پایداری به پایداری مقاوم از قضیه (۱-۳) کمک می گیریم. رابطه (۴-۳) معادل است با:

$$|r(j\omega)q(j\omega)| < 1 \quad \forall \omega \quad (14-3)$$

با توجه به (۱۰-۳) و (۱۲-۳) نا معادله (۱۴-۳) به شکل زیر تبدیل می شود.

$$|r(j\omega)\bar{q}(j\omega)| < 1 \quad \forall \omega \quad (15-3)$$

چون هر دو تابع $r(s)$ و $\bar{q}(s)$ پایدار می باشند. رابطه (۱۵-۳)، SBR بودن تابع

$r(s)\bar{q}(s)$ را به دنبال دارد. با توجه به توضیحات قبلی $r(s)$ می تواند به شکل آزادی

انتخاب شود مشروط به اینکه اندازه آن روی محور موهومی مقدار مشخص باشد. یک

انتخاب تابع $r_m(s)$ با این خاصیت که هیچ صفری در نیم صفحه راست صفحه مختلط

نداشته باشد^۱ و داشته باشیم:

$$|r(j\omega)| = |r_m(j\omega)| \quad (۱۶-۳)$$

واضح است $r(s)$ را می توان بصورت حاصلضرب دو تابع بشکل زیر نوشت.

$$r(s) = r_m(s) b(s) \quad (۱۷-۳)$$

که $b(s)$ یک تابع BR و با اندازه واحد روی محور موهومی است.

اکنون با انتخاب:

$$u(s) = r_m(s)q'(s) \quad (۱۸-۳)$$

$$(۱۹-۳)$$

و همچنین از معادله (۱۸-۳) نتیجه می شود. $\beta_i = r_m(\alpha_i) / p'(\alpha_i)$ و با توجه به روابط (۱۵-۳) و (۱۲-۳)، $u(s)$ یک تابع SBR بوده

و همچنین از معادله (۱۸-۳) نتیجه می شود.

$$u(\alpha_i) = \beta_i \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (۲۰-۳)$$

بنابراین پایدار پذیری مقاوم، وجود یک تابع SBR که شرط بالا را نیز برآورده می کند

بدنبال دارد. بر عکس، اگر چنین $u(s)$ موجود باشد از (۱۲-۳) و (۱۸-۳) داریم:

1- Minimal phase

$$q(s) = \frac{B(s)}{r_m(s)} u(s) \quad (21-3)$$

تابع $p(s)$ با توجه به خاصیت $rm=(s)$ (می نیمم فاز) پایدار بوده و در شرایط قضیه

(۲-۳) a و رابطه (۱۴-۳) صدق می کند و در نتیجه طبق قضیه (۱-۳) کنترل کننده

$c(s)$ داده شده توسط معادله (۶-۳) یک پایدار ساز مقاوم است. بدین ترتیب قضیه زیر

را به عنوان نتیجه بحث می توان مطرح کرد.

قضیه (۴-۳):

با قبول فرض های ۱ و ۲ خانواده $r(s)$ و $C(p_0(s))$ به طور مقاوم پایدار پذیر است اگر

و فقط اگر ماتریس p در (۸-۳) با β_i های داده شده در (۱۹-۳) معین مثبت باشد.

قضیه فوق یک محدودیت شدید روی اندازه تابع محدود کننده عدم قطعیت $(r(s))$ در

قطب های ناپایدار مدل اصلی $(p_0(s))$ می گذارد.

۳-۴-۵- طراحی کنترل کننده:

طراحی کنترل کننده مقاوم برای سیستم مورد بحث در این بخش معادل با پیدا کردن

$u(s)$ در مسئله Nevanlinna - Pick می باشد.

به شرط وجود جواب همه جواب های مسئله بر حسب یک تابع SBR دلخواه توسط

روندی تکراری حاصل می شوند. در ابتدا ضرایبی موسوم به ضرایب Fenyves را به

شکل زیر تعریف می کنیم.

$$\beta_{i,1} = \beta_i \quad i = 1, 2, \dots, l$$

(۲۲-۳)

$$\beta_{i,j+1} = \frac{(\alpha_i + \alpha_j)(\beta_{i,j} - \beta_{j,j})}{(\alpha_i - \alpha_j)(1 - \beta_{j,j}\beta_{i,j})} \quad 1 \leq j \leq i-1 \leq l-1$$

اکنون ماتریس p معین مثبت است اگر و فقط اگر داشته باشیم: $|\beta_{i,j}| < 1$

حال فرض کنیم: $\rho_j = \beta_{jj}$

در اینصورت یک جواب $u(s)$ بوسیله تبدیل های خطی کسری زیر بدست می آید.

$$u_j(s) = \frac{(s - \alpha_j)u_{j+1} + \rho_j(s + \alpha_j)}{s + \alpha_j + \rho_j(s - \alpha_j)u_{j+1}(s)} \quad j = l, l-1, \dots, 1 \quad (23-3)$$

$$u(s) = u_1(s) \quad (34-3)$$

u_{l+1} یک تابع SBR دلخواه است. همه جواب های مختلف مسئله توسط دو معادله

فوق بدست می آیند. جواب بدست آمده از معادلات بالا لزوماً تابعی با ضرایب حقیقی

نیست. جواب های با ضرایب مختلط در تئوری کنترل مقاوم دارای ارزش عملی

نمی باشند. بنابراین تصحیح روش در جهت دستیابی به کنترل کننده ای با ضرایب

حقیقی ضروری به نظر می رسد.

با استفاده از میانبایی بهینه چنین مشکلی برای کنترل کننده پیش نمی آید، بدین ترتیب

که $u_{l+1}(s)$ چنان انتخاب شود که مقدار ماکزیمم $|u(s)|$ بروی محور موهومی می نیمم

شود. در [۴۳] ثابت شده است که $u(s)$ بدست آمده از این روش یکتا و حقیقی است.

یک راه حل دیگر استفاده از تبدیل زیر است.

$$V(s) = \frac{1}{2}(u(s) + \overline{u(s)})$$

اشکال مهم این روش افزایش مرتبه کنترل کننده به دو برابر مرتبه قبلی است که مطلوب نمی باشد. خوشبختانه بجز این دو روش که هر یک دارای اشکالاتی می باشند یک شیوه مناسب جهت رفع این مشکل وجود دارد. در این شیوه به کمک نگاشت های پی در پی بر اساس تئوری توابع حقیقی مثبت^۱ به حل مسئله پرداخته می شود. و از ویژگی های آن عدم افزایش مرتبه جواب است. [۵۷]

۳-۵- پایدار سازی مقاوم سیستم های بازه ای^۲

۳-۵-۱- مقدمه و تعاریف لازم:

در بخش ۲ اشاره شد که از عوامل ایجاد عدم قطعیت در مدل، تغییر پارامترهای سیستم می باشد. بدین جهت بایستی روش های طراحی و تحلیل سیستم های کنترل به موضوع تغییر پارامترها و اثر آن با عملکرد سیستم پردازند. روش های فضای پارامتر که این مهم را مورد مطالعه قرار می دهند^۳ در سال های اخیر دو باره مورد توجه قرار گرفته اند و از آنها در طراحی کنترل کننده های مقاوم در برابر عدم قطعیت های با ساختار استفاده می شود. در یک تقسیم بندی کلی روش های فضای پارامتر به دو دسته زیر تقسیم می شوند.

(۱) روش های جبری

1- Positive Real Function

۲- عمده مطالب این بخش بر اساس مقالات [۴۵] و [۴۸] می باشد.

معرفی شد. در دوره فضای حالت که Vishengradsky^۳- گرایش فضای پارامتر اولین بار در ۱۸۷۶ توسط

همراه با افول روش های کلاسیک در کنترل است، از کاربردهای این گرایش نیز کاسته شد.

(۲) روش های جدید بر اساس توابع لیاپانوف و معادلات ریکانی

در روش های جبری هدف برقراری ارتباط مستقیم بین ریشه های معادله مشخصه

سیستم و پارامترهای موثر بر ضرایب این معادله می باشد.

در این بخش به یکی از روش های جبری که اخیراً بدنبال کارهای Kharitonov پا

گرفته است می پردازیم. برای آشنایی بیشتر با شاخه های مختلف گرایش فضای

پارامتر کاربردهای آن در طراحی کنترل کننده های مقاوم مطالعه مقاله [۵۹] را توصیه

می کنیم.

خانواده های از توابع انتقال که بصورت زیر تعریف می شود یک سیستم بازه ای را

توصیف می کند.

$$p(s, q, r) = \frac{N(s, q)}{D(s, r)} \quad (۲۵-۳)$$

که در آن چند جمله ای های صورت و مخرج عبارتند از

$$N(s, q) = q_m s^m + q_{m-1} s^{m-1} + \dots + q_1 s + q_0 \quad (۲۶-۳)$$

$$D(s, r) = s^n + r_{n-1} s^{n-1} + \dots + r_1 s + r_0 \quad (۲۷-۳)$$

بردارهای q و r در حالت کلی توابعی از پارامترهای سیستم می باشند و با توجه به

تغییرات پارامترهای سیستم هر یک از مولفه های این بردارها درون یک بازه قرار

می گیرند به طوریکه می توان نوشت:

$$q \in Q = \{q : q_i^- \leq q_i \leq q_i^+ \text{ و } i = 0, 1, \dots, m\} \quad (۲۸-۳)$$

$$r \in R = \{r : r_i^- \leq r_i \leq r_i^+ \quad \text{و} \quad i = 0, 1, \dots, n-1\} \quad (29-3)$$

Q و R جعبه (box) های چند بعدی می باشند. چند جمله ای های بازه ای صورت و

مخرج به شکل زیر نیز قابل بیان می باشند.

$$N = \{N(., q) : q \in Q\} \quad (30-3)$$

$$D = \{D(., r) : r \in R\} \quad (31-3)$$

با این مقدمات می توان مفهوم نقاط کرانه ای و سیستم های کرانه ای را تعریف کرد.

متناظر با هر یک از نقاط کرانه ای Q یک چند جمله ای کرانه ای برای صورت وجود

دارد. اگر q^{i1} یک نقطه کرانه ای q و r^{i2} یک نقطه کرانه ای برای R باشد در اینصورت

جفت نقطه $(q^{i1}$ و $r^{i2})$ نقطه کرانه ای برای $Q \times R$ بوده و متناظر با آن یک سیستم

کرانه ای با تابع انتقال $(r^{i2}$ و q^{i1} و $p(s)$ وجود دارد.

تعداد سیستم های کرانه ای بستگی به ابعاد Q و R داشته و در حالت کلی اگر داشته

باشیم:

$$Q \subset R^{l1} \text{ و } R \subset R^{l2}$$

تعداد این سیستم ها برابر با 2^{l2+l1} خواهد بود. (یا 2^{m+n+1})

یک روش دیگر جهت چند جمله ای های بازه ای فرم زیر است که در آن ارتباط بین

ضرایب چند جمله ای با پارامترهای سیستم مشخص می شود.

$$p(s, q) = \sum_{i=0}^n a_i(q) s^i \quad (32-3)$$

q بردار پارامترهای متغیر سیستم و $a_i(q)$ تابع دلخواهی از این پارامترها می باشد.

بحث ها و قضایای مطرح شده در این شاخه به طور عمده در مورد دو حالت خاص

ذیل می باشد.

(I) اگر ضرایب $a_i(q)$ تابعی مشابه خطی نسبت به مؤلفه های بردار q باشد (یعنی تابعی

خطی بعلاوه یک مقدار ثابت) در اینصورت چند جمله ای دارای عدم قطعیتی با

ساختار مشابه خطی^۱ می باشد. هر گاه چند جمله ای های صورت و مخرج تابع انتقال

یک سیستم دارای این خاصیت باشند، گفته می شود سیستم از عدم قطعیت با ساختار

مشابه خطی بر خوردار است. در این حالت بین چند وجهی ها^۲ در فضای R^{n+1} و چند

جمله ای های (۳-۳۲) تناظر یک به یک بر قرار می شود. یک خاصیت اساسی چنین

چند جمله ایی اینست که هر یک از چند جمله ای ها (یا نقاط درون چند وجهی) را

می توان به صورت ترکیب محدب^۳ از چند جمله ای های کرانه ای (نقاط گوشه ای

چند وجهی) بیان کرد.

(II) دومین حالت خاص که در مطالعات مورد علاقه است، بررسی چند جمله ای

بازه ای با ضرایب مستقل از یکدیگر می باشند. به قسمی که سایر ضرایب به آن

پارامترهای وابسته نباشند. واضح است در سیستم های واقعی معمولاً هر یک از

1- affine Linear

2- polytope

3- Convex

پارامترها در بیش از یک پارمترها در بیش از یک ضریب در چند جمله ای مشخصه

اثر می گذارند و چنین فرضی همراه با محافظه کاری می باشد.

۲-۵-۲- پایداری مقاوم سیستم های بازه ای:

در ابتدا چند تعریف اساسی را یادآوری می کنیم.

یک چند جمله ای ثابت $p(s)$ پایدار گفته می شود هر گاه همه ریشه های آن نیم صفحه باز سمت چپ قرار گیرند.

خانواده ای از چند جمله ای ها به شکل مقاوم پایدار گفته می شود اگر همه چند جمله ای های این خانواده پایدار باشند.

$$p = \{p(\cdot, q), q \in Q\} \quad (3-33)$$

اگر همه چند جمله ای های این خانواده هم درجه باشند، گفته می شود که دارای درجه

نامتغیر^۱ است. یک خانواده از چند جمله ای ها دارای این خاصیت است اگر و فقط

اگر ضریب بزرگترین درجه همواره مخالف صفر باشد یعنی داشته باشیم:

$$a_n(q) \neq 0 \forall q \in Q$$

قضیه (۳-۵):

چند جمله ای های بازده ای به فرم ذیل داده شده اند.

$$p(s, q) = \sum_{i=0}^n [q_i^-, q_i^+] s_i \quad (3-34)$$

1- Invariant degree

یک شرط لازم و کافی برای پایداری مقاوم این خانواده از چند جمله ای ها، پایداری همه چند جمله ای های کرانه ای است. به عبارت دیگر خانواده فوق پایدار است اگر و فقط اگر 2^{n+1} چند جمله ای کرانه ای که از ترکیبات مختلف کرانه های بالایی و پایینی $n+1$ بازه متناظر با ضرایب چند جمله ای، بدست می آیند پایدار باشند. این قضیه در سال ۱۹۷۸ Kharitonov بیان شد و به قضیه ضعیف Kharitonov مشهور است.

قضیه (۳-۶):

خانواده چند جمله ای های (۳-۳۴) به فرم مقاوم پایدار است اگر چهار چند جمله ای تعریف شده به شکل زیر پایدار باشند.

$$K_1(s) = q_0^+ + p_1^+ s + q_2^- s^2 + q_3^- s^3 + q_4^+ s^4 + q_5^+ s^5 + \dots \quad (3-35)$$

$$K_2(s) = q_0^- + p_1^- s + q_2^+ s^2 + q_3^+ s^3 + q_4^- s^4 + q_5^- s^5 + \dots \quad (3-36)$$

$$K_3(s) = q_0^- + p_1^+ s + q_2^+ s^2 + q_3^- s^3 + q_4^- s^4 + q_5^+ s^5 + \dots \quad (3-37)$$

$$K_4(s) = q_0^+ + p_1^- s + q_2^- s^2 + q_3^+ s^3 + q_4^+ s^4 + q_5^- s^5 + \dots \quad (3-38)$$

این چند جمله ای ها به چند جمله ای های Kharitonov و قضیه به قضیه قوی Kharitonov مشهور است. در هر دو قضیه فرض بر اینست که خانواده چند جمله ای ها دارای خاصیت درجه ثابت می باشد. یک جنبه مهم هر دو قضیه و بویژه

قضیه دوم اینست که پایداری تعداد نا متناهی از چند جمله ای ها به کمک بررسی

پایدار تعداد محدودی از چند جمله ای ها قابل تشخیص است.

قضیه (۳-۶) برای n های کوچک به بررسی تعداد کمتری از چند جمله ای های

Kharitonov نیاز دارد. برای $n=2$ کافی است فقط هم علامت بودن ضرایب و برای n

$3,4,5$ بررسی $n-2$ چند جمله ای از چند جمله ای های Kharitonov کافی است

[۵۹].

همچنین قضیه فوق برای چند جمله ای ها با ضرایب مختلف توسط خود

Kharitonov تعمیم داده شد در این حالت تعداد چند جمله ای های Kharitonov دو

برابر می شود. پس از Kharitonov دانشمندان دیگری نیز قضایای فوق را به

شیوه های گوناگون به اثبات رسانیدند. یک روش زیبا برای اثبات در [۶۰] آمده است.

هر چند قضیه قوی Kharitonov در کاهش حجم محاسبات لازم جهت بررسی

پایداری یک خانواده از چند جمله ای ها بسیار مؤثر است اما متأسفانه هیچ توصیه ای

برای طراحی کنترل کننده به همراه ندارد. بعبارت دیگر این قضیه ماهیت تحلیلی داشته

و به کمک آن می توان در مورد پایداری چند جمله ای مشخصه سیستم حلقه بسته

(سیستم به همراه کنترل کننده) نظر داد. همانطور که در تاریخچه نیز اشاره شد توسعه

تئوری در جهت طراحی کنترل کننده، با پایدار سازی مقاوم یک خانواده از چند

جمله ای ها توسط جبران کننده های بدون دینامیک (گین خالص) آغاز شد.

بدنبال آن ثابت شد پایدار سازی مقاوم یک خانواده از چند جمله ای ها توسط جبران کننده های مرتبه اول تحقق می یابد و فقط اگر همه نقاط کرانه ای خانواده (قضیه ضعیف) به کمک جبران کننده های فوق پایدار شوند. استفاده از قضیه قوی Kharitonov می تواند نتایج بهتری را در خصوص طراحی جبران کننده های مرتبه اول در برداشته باشد.

در ادامه به نتایجی که در مقاله [۴۸] بر اساس قضیه قوی Kharitonov جهت طراحی پایدار کننده های مرتبه اول بدست آمده می پردازیم.

خانواده ای از توابع انتقال بفرم روابط (۳-۲۵) تا (۳-۲۹) داده شده است. متناظر با هر یک از جمله ای های بازه ای صورت و مخرج، چهار چند جمله ای Kharitonov وجود دارد. اگر این چند جمله ای ها را $N_i(s)$ و $D_k(s)$ بنامیم ($i, k = 1, 2, 3, 4$) اکنون با در نظر گرفتن همه ترکیبات مختلف این چند جمله ای ها، شانزده سیستم Kharitonov به فرم زیر حاصل می شود.

$$p_{ik}(s) = \frac{N_i(s)}{D_k(s)} \quad (۳-۳۹)$$

در جهت پایدار سازی سیستم بازه ای (۳-۲۵)، جبران کننده مرتبه اول و مناسب به فرم

$$c(s) = k \frac{s-z}{s-p} \quad (۳-۴۰)$$

را در نظر می گیریم. جبران کننده فوق یک پایدار ساز مقاوم این سیستم بازه ای می باشد هر گاه برای همه $q \in Q$ و $r \in R$ چند جمله ای معادله مشخص سیستم حلقه

بسته یعنی

$$\Delta(s, q, r) = k(s - z)N(s, p) + (s - p)D(s, r) \quad (۳-۴۱)$$

پایدار باشد.

قضیه (۳-۷):

یک جبران کننده مرتبه اول $c(s)$ به شکل مقاوم سیستم بازه ای p را پایدار می کند اگر و فقط اگر همه شانزده سیستم Kharitonov را پایدار کند.

هر گاه اطلاعات قبلی در مورد جبران کننده فرض شود (به عنوان مثال مشخص شود که جبران کننده دارای گین مثبت یا مثلاً از نوع تقدم فاز یا تأخیر فاز می باشد) پایدار سازی هشت سیستم Kharitonov جهت پایداری سیستم بازه ای لازم و کافی است. در مرجع [۴۸] جدولی برای حالات مختلف جبران کننده در نظر گرفته شده است که در آن برای هر یک از حالات، هشت سیستم Kharitonov که بایستی مورد ارزیابی قرار گیرند مشخص شده است.

تعمیم: قضیه (۳-۷) برای حالتی که جبران کننده مرتبه اول به یک انتگراتور از مرتبه k نیز مجهز شود برقرار است.

$$c(s) = \frac{k(s - z)}{s^k(s - p)} \quad (۳-۴۲)$$

۳-۵-۳- طراحی پایدار کننده های مقاوم مرتبه بالا:

نخستین پرسشی که بدنال قضیه (۳-۷) به ذهن می رسد اینست که آیا پایدار سازی

همه سیستم های کرانه ای یک سیستم بازه ای توسط جبران کننده های مرتبه دوم و یا

بالاتر، پایداری کل سیستم را بدنال دارد؟

متأسفانه پاسخ سوال همواره مثبت نیست. یک مثال ساده نشان داد که هر چند همه

نقاط کرانه ای یک سیستم بازه ای به کمک یک کنترل کننده از مرتبه سه پایدار

می شوند، اما سیستم در یک نقطه داخلی ناپایدار می شود [۴۷]. این مشکل انگیزه ای

جدید برای تحقیق در این شاخه را موجب شد و تلاش در جهت شناسایی شرایط

جدیدی روی جبران کننده های مرتبه بالا در جهت تحقق قضیه (۳-۷) آغاز شد.

مهمترین کار در این زمینه مربوط به Rantzer در ۱۹۹۲ می باشد. وی ابتدا تعریف

جهت محدب^۱ در فضای چند جمله ای ها را مطرح کرد. سپس نشان داد یک شرط

لازم و کافی برای اینکه چند جمله ای مانند $g(s)$ دارای جهت کحدب باشد اینست که:

$$\frac{d}{d\omega} \angle g(j\omega) \leq \left| \frac{\sin 2 \angle g(j\omega)}{2\omega} \right| \quad \forall \omega > 0, g(j\omega) \neq 0 \quad (۳۳-۳)$$

دارای جهت محدب است اگر برای n برای فضای چند جمله ای های پایدار از مرتبه $h(s)$ - یک چند جمله ای

مونیک از فضای مزبور وجود شرایط: $f(s)$

$$I(f(s) + g(s))$$

$$II (\forall \lambda \in [0,1] \quad Deg(f(s) + \lambda g(s)) = n$$

پایدار است. $\lambda \in [0,1]$ برای همه $f(s) + \lambda g(s)$ نتیجه دهد چند جمله ای

یک شرط کافی و بدیهی برای برقراری شرط بالا غیر افزایشی بودن زاویه چند جمله ای بر حسب ω می باشد. با این مقدمات، هر گاه چند جمله ای های صورت و منخرج یک جبران کننده مرتبه یک در قضیه (۳-۷) شود. شرط Rantzer در جهت محدب بودن چند جمله ای ها، رابطه ای مستقیم بین ضرایب چند جمله ای و محدب بودن آن برقرار نمی کند بلکه بر زاویه چند جمله ای در فرکانس های مختلف بنا شده است. Barmish در ۱۹۹۲ رابطه ای مستقیم بین ضرایب چند جمله ای و محدب بودن آن را بدست آورد. [۶۱]

در این بخش لغت پایداری معادل با قرار گرفتن ریشه های چند جمله ای ها در نیم صفحه باز سمت چپ صفحه مختلط به کار رفت. از دیگر مباحث طرح شده در مورد سیستم های بازه ای، پایداری مقاوم آنها در زیر مجموعه ای از نیم صفحه چپ می باشد. در [۵۲] به این موضوع و شرایطی که این زیر مجموعه ها بایستی دارا باشند پرداخت شده است.

فصل چهارم

طراحی پایدار کننده های

مقاوم برای سیستم های قدرت

۴-۱- طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم های قدرت :

همانطور که در فصل دوم گفته شد، پایدار کننده های سیستم قدرت (PSS) به منظور بهبود میرایی نوسانات با فرکانس کم سیستم، بر مبنای مدل تک ماشین - شین بی نهایت طراحی می شوند. از آنجایی که طراحی PSS ها بر اساس یک نقطه کار مشخص صورت می گیرد، تغییر پارامترهای سیستم یا تغییر شرایط باردهی ماشین های سنکرون ممکن است باعث خدشه دار شدن اهداف کنترل و یا به کلی از بین رفتن آنها شود. در این فصل با استفاده از روشهای کنترل مقاوم توضیح داده شده در فصل سوم به طراحی پایدارکننده های مقاوم برای یک سیستم قدرت چند ماشینه می پردازیم.

در بخش (۲-۴) روش *Nevanlinna-Pick* به منظور طراحی پایدار کننده مقاوم برای یک سیستم قدرت تک ماشین - شین بی نهایت به کارگرفته می شود. در این بخش پس از تحلیل این روش، یک مقاله منتشر شده در این زمینه نیز مورد نقد و بررسی قرار می گیرد.

در بخش (۳-۴) ابتدا مدل فضای حالت سیستم های قدرت چند ماشینه به دست آورده می شود. سپس به بررسی پایداری دینامیکی یک سیستم قدرت سه ماشینه پرداخته و در یک نقطه کار ناپایدار برای هر یک از ماشین های سنکرون آن یک پایدار کننده سیستم قدرت طراحی می شود. در پایان بخش به کمک شبیه سازی کامپیوتری، کارایی PSS ها در پایداری سازی سیستم در نقطه کار ناپایدار تحقیق می شود.

در بخش (۴-۴) ابتدا اثر تغییر پارامترها بر پایداری دینامیکی سیستم قدرت مورد مطالعه وقتی *PSS* مجهز است مورد بررسی قرار میگیرد، سپس با استفاده از سیستم های بازه ای تغییر پارامترهای سیستم مدل سازی شده و به دنبال آن روش *Kharitonov* جهت طراحی یک پایدار کننده مقاوم به کار گرفته می شود.

در بخش انتهایی فصل ضمن بیان محافظه کاریداتی روش *Kharitonov* یک روش جدید که با الهام از روش فوق شکل گرفته است جهت طراحی پایدار کننده مقاوم پیشنهاد می شود. در این روش مجموعه ای از مدل های سیستم در نقطه کارهای مختلف جهت طراحی پایدار کننده مقاوم مورداستفاده قرار می گیرد. بنابراین مسئله طراحی کننده مقاوم در این روش به مسئله پایدار کردن همزمان مجموعه ای از توابع انتقال تبدیل شده که با استفاده از معیار *Routh-Hurwitz* و استفاده از تکنیک های کاوش مستقیم در بهینه سازی حل می شود. در پایان بخش به مقایسه عملکرد این پایدار کننده ها با *PSS* های طراحی شده در بخش (۴-۳) در نقطه کارهای مختلف پراخته می شود. این مقایسه به وضوح برتری کنترل کننده مقاوم را بر *PSS* های کلاسیک نشان می دهد.

۴-۲- طراحی پایدار کننده های مقاوم به روش *Nevanlinna - Pick*

برای سیستم های قدرت تک ماشینه

۴-۲-۱- مدل سیستم:

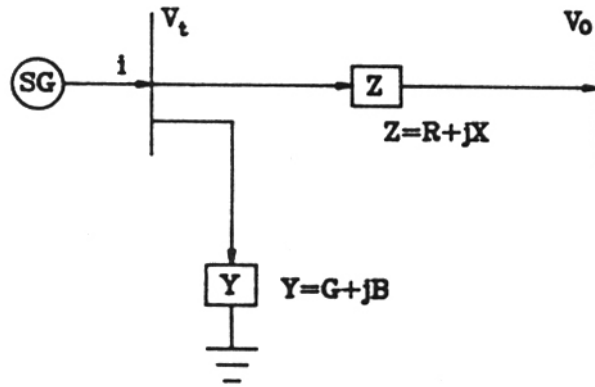
سیستم مورد مطالعه در این بخش که یک ماشین سنکرون متصل به شین بینهایت است در شکل (۱-۴) نشان داده شده است. همانطور که در فصل دوم توضیح داده شده، بلوک دیاگرام شکل (۲-۲) مدلی مناسب برای تحلیل رفتار این سیستم در برابر پدیده های دینامیکی (مانند نوسانات با فرکانس کم) می باشد.

بلوک دیاگرام شکل (۲-۲) را می توان به کمک یک تابع انتقال بین خروجی $\Delta\omega$ و ورودی ΔV_{Ref} نمایش داد.

$$P_O(s) = \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta V_{Ref}(s)} \quad (1-4)$$

زیر نویس o بیانگر تابع انتقال اتصالی سیستم است که به ازاء مقادیر نامی پارامترهای سیستم محاسبه می شود. با استفاده از روش سیگنال فلوگراف، می توان $P(s)$ را بر حسب پارامترهای مختلف مدل سیستم به شکل معادله (۲-۴) بیان کرد.

$$P_O(s) = \frac{-b_3s}{a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4} \quad (2-4)$$



شکل (۱-۴) ماشین سنکرون متصل به شین بی نهایت همراه با بار محلی

که در آن ضرایب چند جمله ای های صورت و مخرج تابع پارامترهای k و ثوابت ماشین می باشند و در روابط صفحه بعد داده شده اند:

$$b_3 = k_2 k_3 k_A$$

$$a_0 = MT'_{do} k_3 T_A$$

$$a_1 = MT'_{do} k_3 + DT'_{do} k_3 T_A + MT_A$$

$$a_2 = Mk_3 k_6 k_A + \omega_b k k_3 T_A T'_{do} + DT_A + DT'_{do} k_3 + M$$

$$a_3 = -\omega_b k_2 k_3 T_A + D + \omega_b k_1 T_A + D + \omega_b k_1 T_A + k_3 k_6 k_A D + \omega_b k_1 k_3 T'_{do}$$

$$a_4 = -\omega_b k_2 k_3 k_5 k_A + \omega_b k_1 k_3 k_A - \omega_b k_2 k_3 k_4 + \omega_b k_1$$

اکنون به منظور بررسی پایداری سیستم شکل (۱-۴) در یک نقطه کار مشخص، کافی

است، ابتدا به کمک معادله (۲-۴) تابع انتقال $P_0(s)$ را در این نقطه کار محاسبه کرد و

سپس با ارزیابی خواص این تابع انتقال در مورد پایداری سیستم نظر داد.

۴-۲-۲- طرح یک مثال:

مشخصات مختلف یک سیستم قدرت با ساختار مشابه با شکل (۴-۱) به شرح ذیل

است [۲۴]. ثابت های زمانی و M برحسب ثانیه و سایر داده های به صورت $p.u.$ می باشند.

$$M = 9.26 \quad X_d = 0.973 \quad \text{ژنراتور:}$$

$$T'_{do} = 7.76 \quad X'_d = 0.190$$

$$D \approx 0 \quad X_q = 0.550$$

$$K_A = 50 \quad T_A = 0.05 \quad \text{سیستم تحریک:}$$

$$R = -0.034 \quad G = 0.249 \quad \text{خط انتقال و بار محلی:}$$

$$X = 1 \quad B = 0.262$$

$$P_{eo} = 1, Q_{eo} = 0.015, v_a = 1.05 \quad \text{شرایط اولیه:}$$

مقادیر ضرائب K_1 تا K_6 برای این سیستم در نقطه کار داده شده در ردیف اول جدول

(۴-۱) ثبت شده است. با توجه به این مقادیر و معادله (۴-۲) برای مشخصات داده

شاهد تابع انتقال $P_0(s)$ عبارتست از:

$$P_0(s) = \frac{-16.8s}{s^4 + 20.2s^3 + 131.2s^2 + 443s + 2932.4} \quad (۴-۳)$$

جدول (۱-۴) مقادیر ضرائب K_1 تا K_6 برای این سیستم شکل (۱-۴) بر حسب مقادیر

مختلف راکتانس خط انتقال

| | K_1 | K_2 | K_3 | K_4 | K_5 | K_6 |
|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|
| $X=1$ | 0.6592 | 1.2065 | 0.5418 | 0.8164 | -0.0958 | 0.6973 |
| $X=1.5$ | 0.8118 | -0.1252 | 0.5945 | 0.763 | 1.1769 | 0.2511 |
| $X=1.2$ | 0.8432 | -0.1091 | 0.6478 | 0.7059 | 1.191 | 0.4061 |

جدول (۲-۴) مقادیر قطب های تابع انتقال معادله (۲-۴) بر حسب مقادیر مختلف راکتانس

خط انتقال

| | <i>Mechanical</i> | <i>Mode Electrical Mode</i> |
|---------|---------------------|---------------------------------|
| $X=1$ | $0.296 \pm j4.956$ | $-10.493 \pm j4.283$ |
| $X=1.5$ | $0.4091 \pm j3.806$ | $-10.493 \pm j4.283$ |
| $X=1.2$ | $0.3481 \pm j4.447$ | $-10.439 \pm j3.807$ |

نگاهی به ردیف اول جدول (۲-۴) نشان می دهد، سیستم شکل (۱-۴) در نقطه کار

داده شده به صورت دینامیکی ناپایدار است، به عبارت دیگر تابع انتقال متناظر دارای

قطب هایی در نیم صفحه راست صفحه مختلط می باشد. بنابراین طراحی پایدار کننده

برای چنین سیستمی ضروری به نظر می رسد از طرف دیگر هرگاه پارامترهای مختلف

سیستم تغییر کنند، تابع انتقال داده شده در معادله (۲-۴) تغییر کرده خانواده ای از

توابع انتقال که توصیف کننده ای رفتار سیستم در وضعیت های مختلف است، حاصل

می شود. بدین جهت منطقی است کنترل کننده ای که برای پایدار سازی تابع انتقال

(۳-۴) طراحی می شو دتوانایی پایدار سازی سیستم را برای محدوده مشخصی از

تغییر پارامترها نیز داشته باشد.

۴-۲-۳ - طراحی پایدار کننده مقاوم به روش *Nevanlinna - Pick*

شبکه شکل (۱-۴) در واقع مدلی برای مطالعه رفتار دینامیکی ژنراتور سنکرون متصل

به یک شبکه قدرت بزرگ می باشد. در عمل ژنراتور، سنکرون از طریق یک سیستم

انتقال (مجموعه ای از خطوط انتقال با اتصالات سری و موازی) به شبکه متصل است و

با تغییر وضعیت اتصالات در سیستم انتقال مقدار راکتانس خط معادل (X) تغییر می

دهند.

از آنجایی که با افزایش (X) پایدار دینامیکی سیستم شبکه (۱-۴) تهدید می شود.

خانواده ای از توابع انتقال که با افزایش این پارامتر در حول تابع انتقال $P_0(s)$ (معادله

۳-۴) ایجاد می شود را در نظر می گیریم. مسئله طراحی پایدار کننده ای برای این

خانواده را می توان به صورت مسئله کنترل مقاوم بیان شده در بخش (۳-۴) مدل سازی

کرد. فرض کنیم X از مقدار نامی ($X=1$) حداکثر تا مقدار ($X=1.5$) افزایش یابد. تابع

انتقال (۲-۴) به ازاء مقدار جدید X عبارتست از:

$$P(s) = \frac{-16.36s}{s^4 + 20.2s^3 + 126s^2 + 202.6s + 1883} \quad (۴-۴)$$

مقدار ضرائب K_1 تا K_6 و قطب های تابع انتقال (۴-۴) در جدول های (۱-۴) و

(۲-۴) داده شده است. تعداد قطب های ناپایدار برای همه اعضا این خانواده

$P(s), X \in [1, 1.5]$) معادله (۲-۴) برابر ۲ می باشد. پس از حصول این شرط لازم،

جهت دستیابی به پایدار کننده مقاوم به کمک روش ارائه شده در بخش (۳-۴) بایستی

ابتدا تابع بیانگر حداکثر عدم قطعیت $r(s)$ () مشخص شود. بدین منظور با توجه به

رابطه (۳-۳) و با در نظر گرفتن $P_0(s)$ و $P(s)$ از معادله های (۳-۴) و (۴-۴) در این

رابطه، می توان تابع $r(s)$ با شرایط توضیح داده شده در بخش (۳-۴) را انتخاب کرد.

منحنی خط پر شکل (۲-۴) اندازه (این شکل در انتهای بخش رسم شده است)

$|P(j\omega) - P_0(j\omega)|$ را بر حسب ω نشان می دهد. با توجه به این منحنی یک انتخاب

برای $r(s)$ که اندازه آن در همان شکل به صورت نقطه چین آمده است عبارتست از :

$$r(s) = 0.34 \frac{s+1}{s+5} \quad (۵-۴)$$

بررسی شرط وجود جواب:

تابع انتقال (۳-۴) را می توان به شکل زیر نوشت:

$$p(s) = \frac{-16.8s}{(s - 0.296 \pm j4.951)(s + 10.393 \pm j3.293)}$$

تابع انتقال $B(s)$ داده شده در عبارت (۳-۹) برابر است با:

$$B(s) = \frac{(0.296 + j4.951 - s)(0.296 - j4.961 - s)}{(0.296 - j4.961 + s)(0.296 + j4.961 + s)} \quad (۶-۴)$$

با توجه به روابط (۶-۴) و (۳-۱۱) داریم:

$$\bar{p}_0(s) = \frac{-16.8s}{(s + 0.296 \pm j4.951)(s + 10.393 \pm j3.293)}$$

مقدار $a1$ و $a2$ که همان قطب های ناپایدار $P_0(s)$ می باشند برابر است با:

$$a_1 = 0.296 + j4.951 \text{ و } a_2 = \bar{a}_1 \quad (۷-۴)$$

و مقادیر β_2, β_1 بر اساس روابط (۱۹-۳) به دست می آیند و داریم

$$\beta_1 = \frac{r(a_1)}{p'(a_1)} \text{ و } \beta_2 = \bar{\beta}_1 \quad (۸-۴)$$

که در آن β_1 بر اساس روابط (۵-۴)، (۷-۴) و (۸-۴) قابل محاسبه می باشد و

ماتریس **Pick** داده شده در رابطه (۸-۳) در این حالت برابر است با:

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1 - \beta_1 \bar{\beta}_1}{a_1 + \bar{a}_1} & \frac{1 - \beta_1 \bar{\beta}_2}{a_1 + \bar{a}_2} \\ \frac{1 - \beta_2 \bar{\beta}_1}{a_2 + \bar{a}_1} & \frac{1 - \beta_2 \bar{\beta}_2}{a_2 + \bar{a}_2} \end{bmatrix} \quad (۹-۴)$$

با استفاده از برابری های $\beta_2 = \bar{\beta}_2, a_2 = \bar{a}_1$ ، ماتریس **p** در (۹-۴) را می توان به شکل

زیر نوشت:

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1 - |\beta_1|^2}{2\text{Re}(a_1)} & \frac{1 - \beta_1^2}{2a_1} \\ \frac{1 - \bar{\beta}_1^2}{2\bar{a}_1} & \frac{1 - |\beta_1|^2}{2\text{Re}(a_1)} \end{bmatrix} \quad (۱۰-۴)$$

طبق قضیه (۳-۳) شرط وجود جواب برای مسئله پایدار سازی مقاوم اینست که

ماتریس **p** داده شده در رابطه (۱۰-۴) معین مثبت باشد. بدین منظور بایستی دترمینان

های اصلی آن مثبت باشد. دترمینان مرتبه اول آن همان درایه $p(1,1)$ می باشد برابر

است با:

$$\frac{1 - |\beta_1|^2}{2R_e(\alpha_1)} > 0 \quad (۱۱-۴)$$

$$|\beta_1| < 1$$

$$|\beta_1| = \frac{|r(\alpha_1)|}{|p_0(\alpha_1)|} = \frac{0.2400}{0.0974} = 2.462$$

از معادلات (۴-۵) و (۴-۸) داریم :

بنابراین شرط (۴-۱۱) برقرار نمی باشد، و در نتیجه مساله پایداری مقاوم خانواده توابع

انتقال $C(P_0(s), r(s))$ با $r(s), p_0(s)$ داده شده در (۴-۳) و (۴-۵) دارای جواب نیست.

به منظور دستیابی به جواب، نخستین چاره ای که به ذهن می رسد کاهش دامنه

تغییرات x است. هر گاه x تا مقدار $x=1-2$ افزایش یابد، باتوجه به ضرایب K_1 تا K_6

جدول (۴-۱) برای مقدار $x=1-2$ تابع انتقال سیستمدر این مقدار x برابر است با:

$$P(s) = \frac{-16.59s}{s^4 + 20.2s^3 + 128.9s^2 + 329.7s + 2457.7} \quad (۴-۱۲)$$

منحنی های شکل (۴-۳) شبیه حالت قبل نمودارهای $|P(j\omega) - P_0(j\omega)|$ و تابع محدود

کننده عدم قطعیت را برای حالت جدید نشان می دهد و داریم:

$$r(s) = 0.33 \frac{s+1}{s+5} \quad (۴-۱۳)$$

مقدار $|\beta_1|$ در این حالت برابر است با 2.389 ، بنابراین در این حالت نیز شرط

(۴-۱۱) که یک شرط لازم برای معین مثبت بودن ماتریس (۴-۱۰) می باشد، برقرار

نیست.

با توجه به اینکه این دامنه کوچک از تغییرات، مسئله هنوز دارای جواب نیست و

مقدار جدید به میزان ناچیزی (حدود ۳٪) کاسته شده است می توان نتیجه گرفت که

روش طراحی بخش (۳-۴) از کارائی مطلوب برخوردار نیست.

۴-۲-۲- بررسی نتایج:

عامل اساسی که موجب می شود مسئله کنترل مقاوم حتی برای محدوده $X \in [1, 1.2]$ جواب نداشته باشد را می توان به کمک نامعادله (۳-۳) که برای سهولت در زیر آمده است توضیح داد.

$$|p(j\omega) - p_0(j\omega)| \leq |r(j\omega)| \quad (3-3)$$

پایدار کننده مقاوم بایستی دارای این توانایی باشد که همه توابع انتقالی که نامعادله بالا را برقرار میکنند، پایدار کند. واضح است تعداد بیشماری از این توابع انتقال در مسئله مورد نظر بدون اهمیت بوده و در مسئله طراحی نقشی ندارند. به عنوان مثال می توان به توابع انتقال مرتبه بالای که درای یک زوج مقدار ویژه ناپایدار می باشند و رابطه (۳-۳) را نیز برقرار می کنند، اشاره کرد.

بنابراین در واقع پایدار کننده بایستی در برابر طیف وسیعی از عدم قطعیت های ممکن است هرگز در عمل تحقق نیابند پاسخگو باشد. به عبارت دیگر در نامعادله (۳-۳) عدم قطعیت به شکل بدون ساختار مدل شده است و محافظه کاری از ویژگیهای، این نوع مدلسازی می باشد. در پایان شایان ذکر است که پایدار کننده طرح شده با استفاده از روش کلاسیک (بخش ۲-۳) پایداری مطلق سیستم را برای محدوده $X \in [1, 1.2]$ پایداری سیستم را تضمین می کند.

۴-۲-۵- نقدی بر مقاله:

در این مقاله نویسندگان محترم به طراحی پایدار کننده های مقاوم به کمک روش

Nevanlinna - Pick پرداخته اند. سیستم مورد مطالعه همان سیستم شکل (۴-۱)

بوده و مقادیر پارامترهای و ثوابت نیز همان مقادیر داده شده در مثال این بخش می

باشد. تنها تفاوتی که در مقادیر عددی پارامترهای دیده می شود، مربوط به مقدار

راکتانس خط (X) می باشد که برای آن مقدار $X=0.5$ انتخاب شده است. مقدار X

چنان انتخاب شده است که شرط وجود جواب برقرار گردد. (به ازاء این مقدار X ،

$|\beta_1|$ داده شده در شرط (۴-۱۱) برابر با $|\beta|=0.988$ می باشد) سپس به روش توضیح

داده شده در بخش (۳-۴) پایدار کننده ای مقاوم برای سیستم طراحی شده است.

در این مقاله هیچ مقایسه ای بین رفتار دینامیکی سیستم با کنترل کننده ای مقاوم، و

سیستم با پایدار کننده کلاسیک (*PSS*) صورت نگرفته است.

تابع انتقال *PSS* طراحی شده با مقدار $X=0.5$ برای سیستم فوق عبارتست از:

$$g(s) = 6 \left(\frac{1 + 0.3878s}{1 + 0.1s} \right)^2 \quad (۴-۱۴)$$

منحنی های شکل (۴-۴) تغییرات سرعت ماشین سنکرون را بر حسب زمان نشان می

دهد. شکل *a* وضعیت سیستم بدون کنترل کننده را نشان میدهد. در شکل *b* وضعیت

سیستم با کنترل کننده مقاوم طراحی شده با روش *Nevanlinna - Pick*، با حالت

بدون کنترل مقایسه شده است. منحنی تغییرات سرعت با کنترل کننده مقاوم که با نقطه

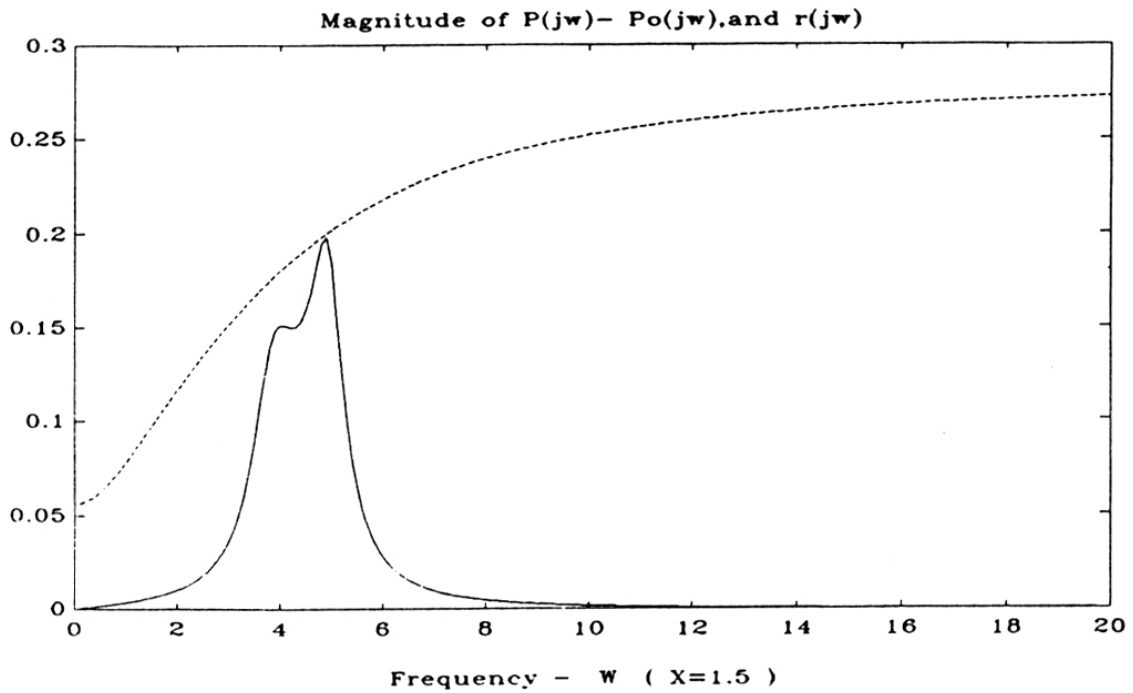
چین در این شکل رسم شده استف پایدار می باشد. در شکل c منحنی تغییرات سرعت در دو حالت بدون کنترل و با کنترل کلاسیک PSS رسم شده است و نهایتاً در شکل d روشهای کنترل با هم مقایسه شده‌اند. شکل d برتری روش کنترل کلاسیک را در نقطه کار اصلی سیستم به وضوح نشان می دهد.

شکل (۴-۵) منحنی های تغییرات سرعت در حالات مختلف وقتی مقدار x خط انتقال به $0/85$ افزایش یافته است نشان می دهد. منحنی d این شکل نشان می دهد در حالیکه سیستم با کنترل کننده مقاوم نوسانی شده است، رفتار کنترل کننده کلاسیک قابل قبول می باشد.

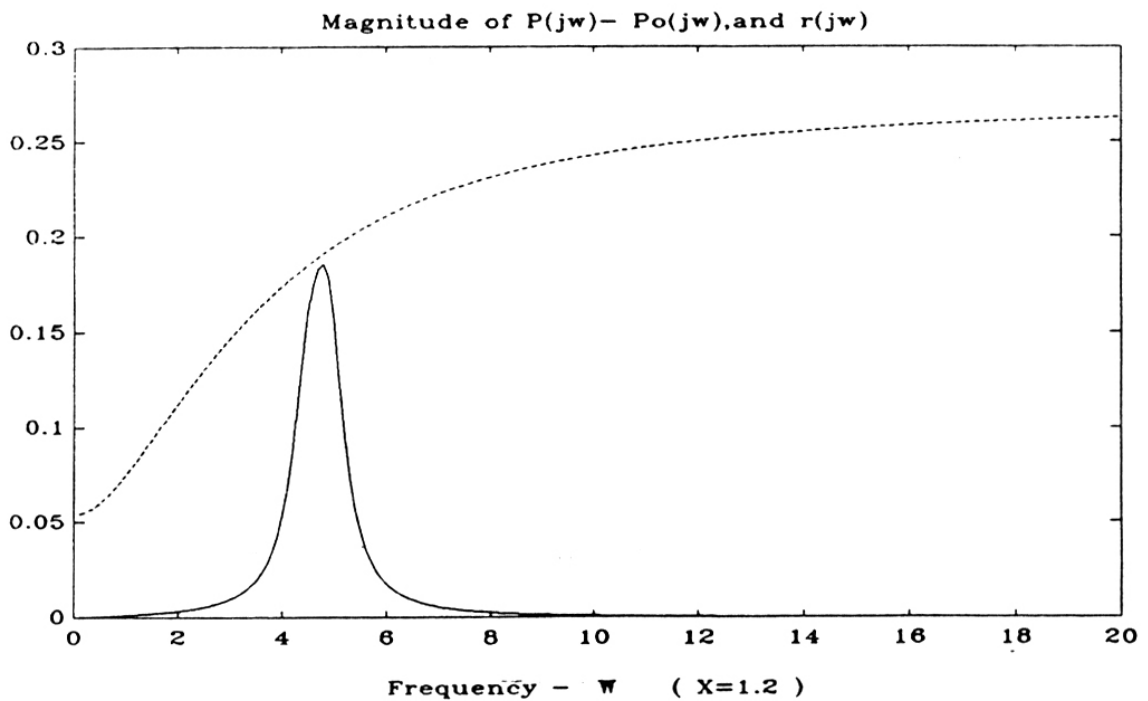
بنابراین هر چند که کنترل کننده کلاسیک بر مبنای $x=0/5$ طراحی شده است ولی در محدوده وسیعی از تغییرات راکتانس خط انتقال پایداری سیستم را حفظ می :ند.

در شکل (۴-۶) نیز اثر تغییر شرایط باردهی بر عملکرد کنترل کننده ها بررسی شده است. زیر شکل d این شکل نشان می دهد که سیستم با کنترل مقاوم در نقطه کار جدید $p=1.25, q=0.3$ از پایداری ضعیف برخوردار است.

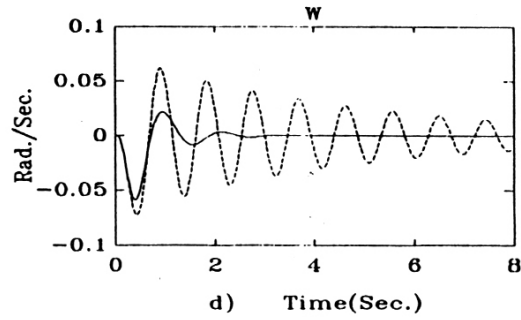
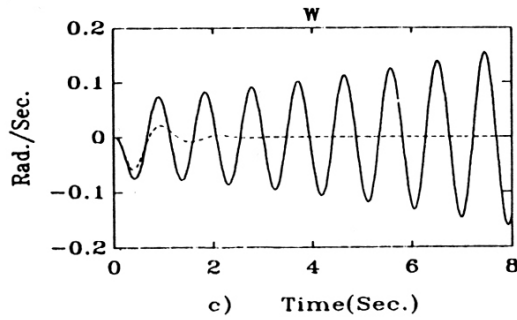
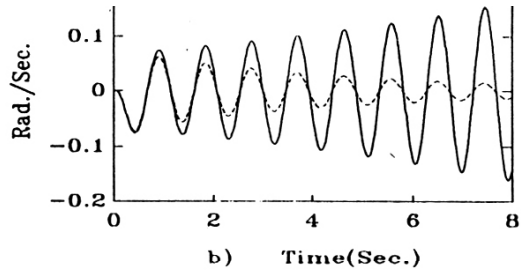
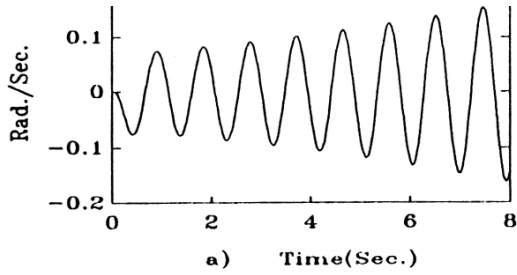
بنابراین عملکرد کنترل کننده های کلاسیک (pss) در سیستم تک ماشین - شین بینهایت قادرند در محدوده نسبتاً وسیعی از تغییرات پارامترها پایداری سیستم را حفظ کنند، در حالیکه استفاده از کنترل کننده های مقاوم طراحی شده به روش $Nevanlinna - Pick$ به دلیل محافظه کاری زیاد، مطلوب نیست.



شکل (۲-۴) تابع حداکثر عدم قاطعیت متناظر با $x=1/5$



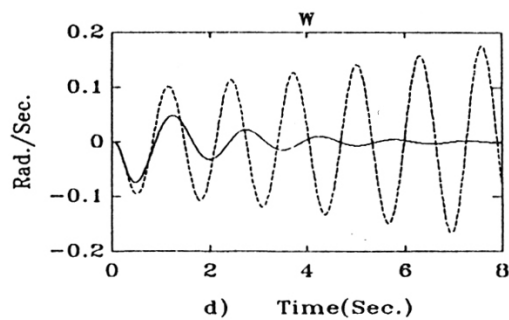
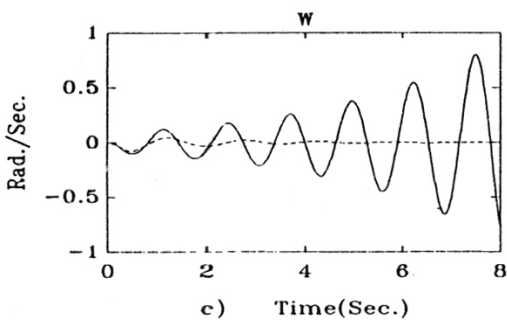
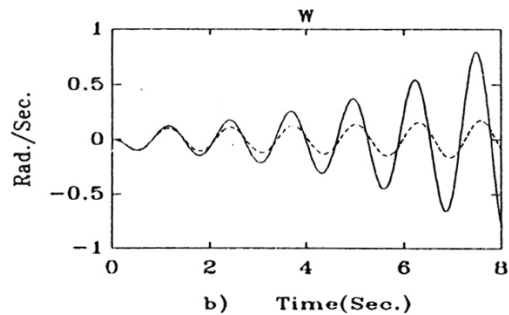
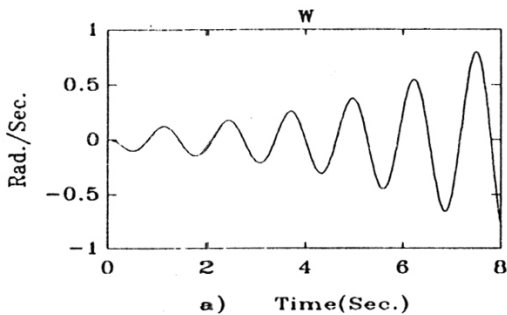
شکل (۳-۴) تابع حداکثر عدم قاطعیت متناظر با $x=1/2$



شکل (۴-۴) منحنی تغییرات سرعت بر حسب زمان در $x=0.5$

(a) بدون کنترل (b) بدون کنترل و کنترل مقاوم (c) بدون کنترل و با کنترل PSS

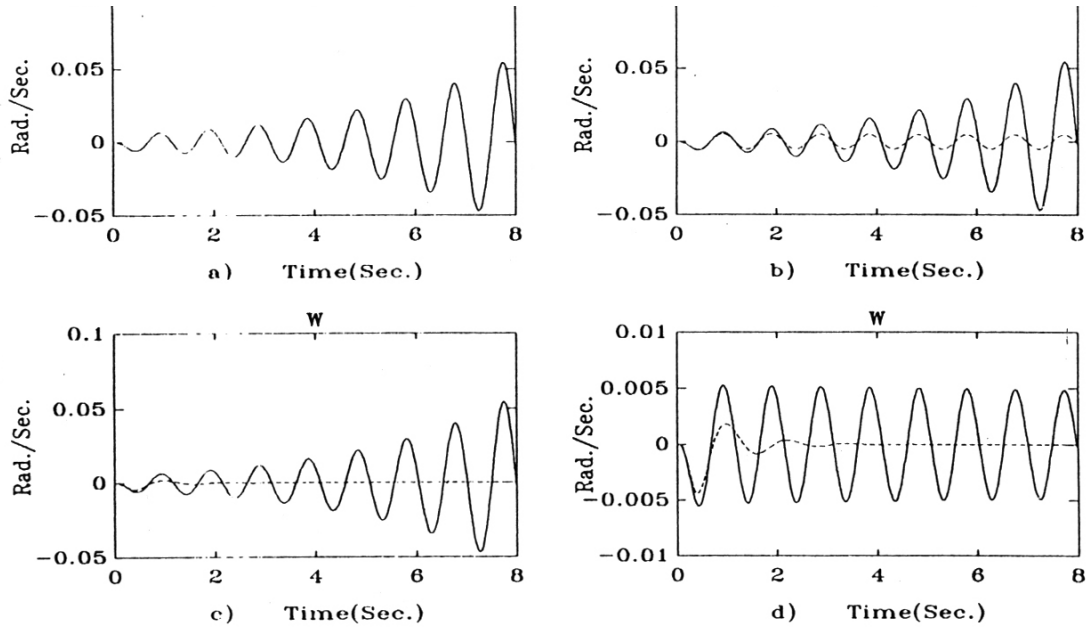
کلاسیک (d) کنترل مقاوم (___) و کنترل کلاسیک (___)



شکل (۴-۵) منحنی تغییرات سرعت بر حسب زمان در $x=0.85$

(a) بدون کنترل (b) بدون کنترل و کنترل مقاوم (c) بدون کنترل و با کنترل PSS

کلاسیک (d) کنترل مقاوم (___) و کنترل کلاسیک (___)



شکل (۴-۶) منحنی تغییرات سرعت بر حسب زمان در شرایط نقطه کار $Q=0.3p.u.$, $P=1.25 p.u.$

(a) بدون کنترل (b) بدون کنترل و کنترل مقاوم (c) بدون کنترل و با کنترل PSS

کلاسیک (d) کنترل مقاوم (_ _ _) و کنترل کلاسیک (_ _)

۴-۳- بررسی پایداری دینامیکی یک سیستم قدرت چند ماشینه

۴-۳-۱- مدل فضای حالت سیستم های قدرت چند ماشینه:

در فصل دوم نکات و مفاهیم اساسی پایداری دینامیکی سیستم های قدرت ارائه شد. با تعمیم بلوک دیاگرام شکل (۲-۲) می توان به بلوک دیاگرام مشابهی برای سیستم های قدرت چند ماشینه دست یافت. در شکل (۷-۴) این بلوک دیاگرام که به مدل تعمیم یافته هفرون فیلیپ موسوم است، نشان داده شده است. در این شکل ماتریس های $M6, \dots, M2, M1$ مشابه با ماتریس های $K6, \dots, K2, K1$ (ضمیمه ب) تعریف می شوند. بجز ماتریس D, T_D, T_M در شکل (۷-۴) ماتریس هایی قطری از مرتبه m بوده (m تعداد ماشین های سنکرون موجود در سیستم است) و به ترتیب عبارتند از:

ماتریس ثابت اینرسی، ماتریس ثابت زمانی گذرای میدان و ماتریس ضریب میرایی)

سیستم تحریک برای هر ماشین به صورت یک بلوک مرتبه اول بفرم نشان داده شده در شکل (۸-۴) مدل می شود. با تبدیل ضرایب T_A, K_A در شکل (۸-۴) به ماتریسهایی با همین نام بسادگی می توان معادلات دینامیکی مربوط به سیستم های تحریک را در مدل تعمیم یافته هفرون فیلیپ گنجانند.

به کمک بلوک دیاگرام شکل (۷-۴) می توان نمایش فضای حالت یک سیستم قدرت m ماشینه را که مدل مناسبی جهت مطالعات دینامیکی است، به دست آورد. فرم استاندارد این نمایش در زیر آمده است:

$$X = AX + BU$$

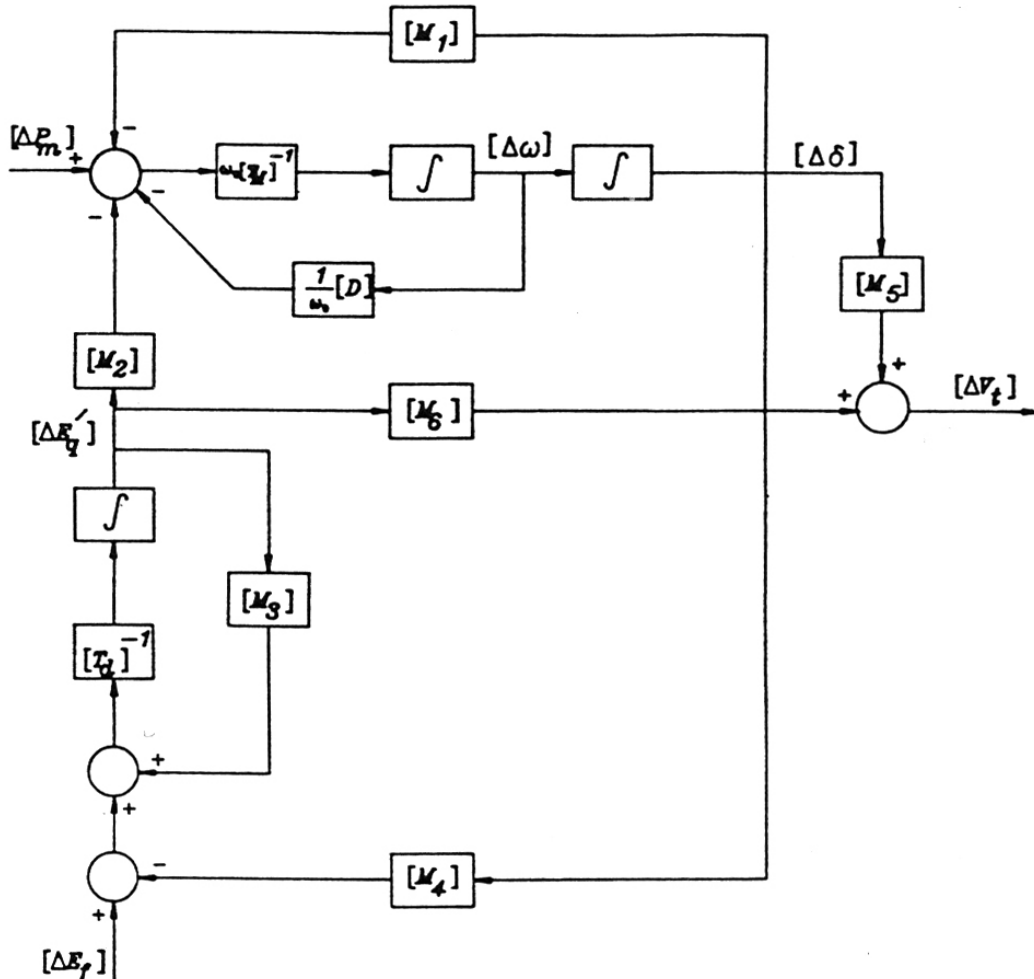
(۱۵-۴)

$$Y = CX$$

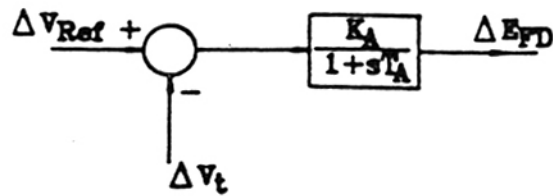
که در آن بردار حالت x بردار حالت $n \times 1$ بردار کنترل u بردار خروجی Y بردار خروجی $L \times 1$ می باشد.

همچنین ماتریس های A, B, C ماتریس هایی ثابت و به ترتیب $n \times n$ و $n \times m$ و $L \times m$

می باشند.



شکل (۷-۴) بلوگ دیاگرام مدل تعمیم یافته هفرون فیلیپ



شکل (۸-۴) بلوک دیاگرام سیستم تحریک

هرگاه بردار حالت، بردار خروجی و بردار کنترل به شکل زیر انتخاب شوند:

$$\begin{bmatrix} \Delta E_{f1} \dots \Delta E_{fm} \end{bmatrix}^T \quad \begin{bmatrix} \Delta \omega_1 \dots \Delta \omega_m \dots \Delta e'_{q1} \dots \Delta e'_{qm} \end{bmatrix} \quad X = [\Delta \delta_1 \dots \Delta \delta_m] \quad (16-4)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta E_{f1} \dots \Delta E_{fm} \end{bmatrix}^T \quad \begin{bmatrix} \Delta p_{e1} \dots \Delta p_{em} \quad \Delta \omega_1 \dots \Delta \omega_m \end{bmatrix} \quad Y = [\Delta \delta_1 \dots \Delta \delta_m] \quad (17-4)$$

$$U = [u_1 \dots u_m] \quad (18-4)$$

ماتریس های A, B, C با توجه به بلوک دیاگرام مدل تعمیم یافته هفرون فیلیپ به

دست

می آیند و داریم:

$$A_{4m \times 4m} = \begin{bmatrix} [0] & \omega_0 [I_m] & [0] & [0] \\ -[T_M]^{-1} [M_1] & -[D][T_m]^{-1} & -[T_M]^{-1} [M_2] & [0] \\ -[T_d]^{-1} [M_4] & [0] & -[T_d]^{-1} [M_3] & [T_d]^{-1} \\ -[K_A][T_A]^{-1} [M_5] & [0] & -[K_A][T_A]^{-1} [M_6] & -[T_A]^{-1} \end{bmatrix} \quad (19-4)$$

$$B_{4m \times m} = \begin{bmatrix} [0] \\ [0] \\ [0] \\ [K_A][T_A]^{-1} \end{bmatrix} \quad (20-4)$$

$$C_{3m \times 4m} = \begin{bmatrix} [M_1] & [0] & [M_2] & [0] \\ [0] & [I_m] & [0] & [0] \\ [M_6] & [0] & [M_6] & [0] \end{bmatrix} \quad (21-4)$$

در یک سیستم قدرت چندماشینه در یک نقطه کار مشخص، ماتریس های

M_6, \dots, M_2, M_1 قابل محاسبه بوده و به دنبال آن مدل فضای حالت سیستم بر اساس

روابط (۱۵-۴) تا (۲۰-۴) حاصل می شود.

۴-۳-۲- مشخصات یک سیستم چند ماشینه:

جهت بررسی یک مثال عددی شبکه قدرت شکل زیر در نظر گرفته می شود.

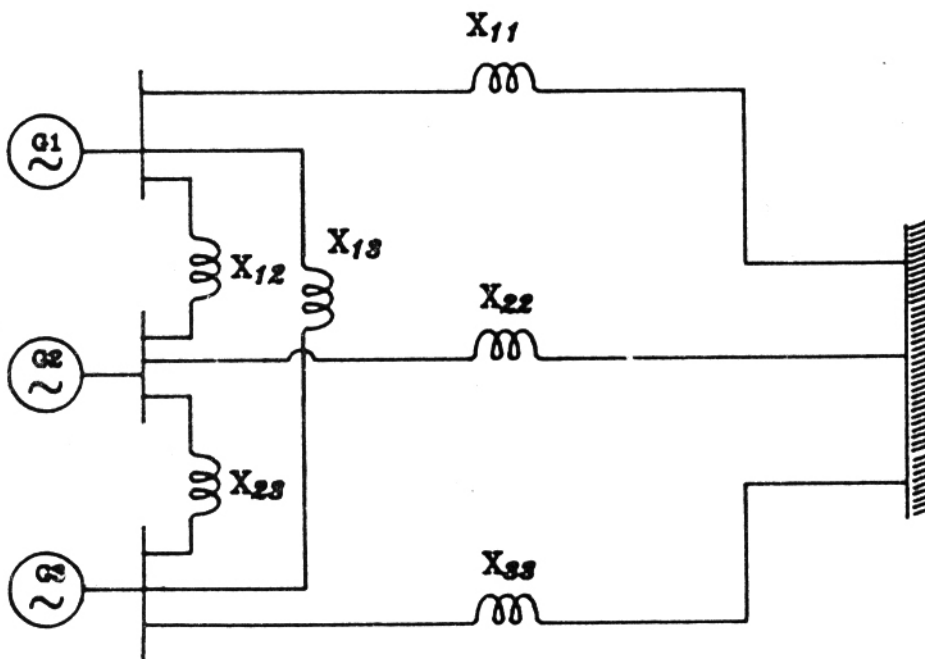
مشخصات ماشین های سنکرون، خطوط انتقال، شرایط نقطه کار و سایر اطلاعات

مورد نیاز به منظور مدلسازی سیستم در جدولهای صفحه بعد داده شده است. [۶۲]

| Gen No | Rating MVA | H sec | $x_d = x_q$ p.u. | $x'_d = x'_q$ p.u. | T'_{do} sec |
|---------|------------|-------|------------------|--------------------|---------------|
| 1 | 166.6 | 4.3 | 1.164 | 0.164 | 3.84 |
| 2 | 166.6 | 4.3 | 1.029 | 0.124 | 3.84 |
| 3 | 325.0 | 10.35 | 0.625 | 0.084 | 6.86 |
| Inf Bus | - | 1000 | 0.001 | 0.001 | 1000 |

جدول (۴-۴) شرایط نقطه کار و مشخصات سیستم های تحریک

| V_t | Q_{EO} | P_{EO} | Gen | K_A | T_A |
|-----------|-----------|------------|-------------|-------|------------|
| <i>no</i> | <i>MW</i> | <i>MVA</i> | <i>p.u.</i> | --- | <i>sec</i> |
| 1 | 90,00 | 27,55 | 1,05 | 135 | 0,02 |
| 2 | 90,00 | 27,55 | 1,05 | 287 | 0,05 |
| 3 | 175,50 | 20,51 | 1,05 | 324 | 0.02 |



شکل (۴-۹) شبکه قدرت مورد مطالعه

جدول (۴-۵) اندازه راکتانس سیستم انتقال شکل (۴-۹) بر حسب *p.u.*

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| X_{11} | X_{22} | X_{33} | X_{12} | X_{13} | X_{23} |
| 0,1932 | 0,1932 | 0,3256 | 0,0559 | 0,0943 | 0,0943 |

ماتریسهای M_1 تا M_6 متناظر با شرایط داده شده در جدول های (۴-۳) الی (۴-۵) عبارتند از:

جدول (۴-۶) ماتریسهای M_1 الی M_6

| | | 1 | 2 | 3 |
|--------|---|--------|--------|--------|
| M_1 | 1 | 2.808 | -0.424 | -0.655 |
| | 2 | -0.424 | 2.919 | -0.689 |
| | 3 | -0.655 | -0.689 | 4.351 |
| $2M_2$ | 1 | 3.285 | -0.596 | -0.842 |
| | 2 | -0.599 | 3.486 | -0.922 |
| | 3 | -0.780 | -0.847 | 5.009 |
| $2M_3$ | 1 | -6.131 | 1.181 | 1.430 |
| | 2 | 1.050 | -6.093 | 1.449 |
| | 3 | 0.760 | 0.866 | -4.533 |
| $2M_4$ | 1 | 3.344 | -0.606 | -0.794 |
| | 2 | -0.540 | 3.155 | -0.766 |
| | 3 | -0.455 | -0.499 | 2.709 |
| $2M_5$ | 1 | 0.051 | 0.027 | -0.007 |
| | 2 | 0.016 | 0.066 | -0.008 |
| | 3 | 0.011 | 0.020 | 0.054 |
| $2M_6$ | 1 | 0.212 | 0.148 | 0.129 |
| | 2 | 0.117 | 0.256 | 0.125 |
| | 3 | 0.104 | 0.130 | 0.313 |

با استفاده از مقادیر جدول فوق، مدل فضای حالت سیستم قدرت شکل (۴-۹) براساس

رابطه (۴-۱۵) کاملاً مشخص است. مقادیر ویژه ماتریس A مدل فضای حالت در

ستون اول جدول (۴-۷) درج شده است. نگاهی به این جدول نشان می دهد، سیستم

قدرت مورد مطالعه در نقطه کار داده شده پایدار است.

جدول (۷-۴) مقادیر ویژه ماتریس A در شرایط کار مختلف

| شرایط کار جدول (۴-۴) | شرایط کار جدول (۴-۸) |
|-----------------------|-----------------------|
| -44.251 | -45.551 |
| $-16.485 \pm j20.349$ | -28.766 |
| -19.693 | $-15.302 \pm j16.247$ |
| -14.938 | $-1.793 \pm j13.475$ |
| $-1.678 \pm j11.508$ | $-1.663 \pm j12.160$ |
| $-2.302 \pm j9.815$ | $+0.212 \pm j728$ |
| $-.0272 \pm j7.270$ | -2.913 |
| -3.482 | -9.533 |

اکنون به بررسی وضعیت سیستم در یک نقطه کار جدید می پردازیم. به جز مقادیر توان های اکتیو و راکتیو ماشین های سنکرون (داده شده در جدول ۴-۴) سایر پارامترها و اطلاعات مربوط به سیستم بدون تغییر باقی می ماند. مشخصات توان های اکتیو در نقطه کار جدید عبارتند از:

جدول (۸-۴) مقادیر توان های اکتیو و راکتیو نقطه کار جدید

| Q_{EO} no. | P_{EO} Gen. | |
|-----------------|---------------|------|
| | MW | MVA |
| 1 | 140 | 27.5 |
| 2 | 140 | 27.5 |
| 3 | 270 | 50 |

مقادیر ویژه ماتریس A متناظر با نقطه کار جدید در ستون دوم جدول (۴-۷) درج شده

است. از آنجایی که یک زوج از این مقادیر ویژه در نیم صفحه راست صفحه مختلط

قرار دارد، سیستم قدرت در نقطه کار جدید ناپایدار می باشد.

۴-۳-۳- طراحی پایدار کننده های سیستم قدرت:

طراحی پایدار کننده های کلاسیک سیستم قدرت (PSS) برای ماشین های سنکرون

یک سیستم چند ماشینه براساس شبکه معادل تک ماشین - شین بی نهایت انجام می

شود. با توجه به توضیحات فصل دوم نخست شبکه های معادل تک ماشین شین

بینهایت برای هر یک از ماشین های سنکرون شبکه شکل (۴-۹) بدست آورده می

شود. سپس به کمک این شبکه های معادل ، طراحی PSS به منظور پایدارسازی یا

بهبود پایداری مود الکترومکانیکی ماشین های سنکرون صورت می گیرد.

نتایج حاصل از طراحی به منظور دستیابی به ضریب میرایی برابر با $0/3$ برای مودهای

الکترومکانیکی هر یک از ژنراتورها در زیر آمده است.

همچنین برای هر یک از PSS های فوق یک بلوک $reset$ با پارامتر $T=3$ نیز در نظر

گرفته می شود.

$$PSS 1: \quad G_{C1}(s) = 1.837 \left(\frac{1+0.644s}{1+0.05s} \right)^2 \quad (22-4)$$

$$G_{C2}(s) = 0.889 \left(\frac{1+0.412s}{1+0.05s} \right) \quad PSS 2: \quad (23-4)$$

$$G_{C3}(s) = 4.567 \left(\frac{1+0.175s}{1+0.05s} \right)$$

PSS 3:

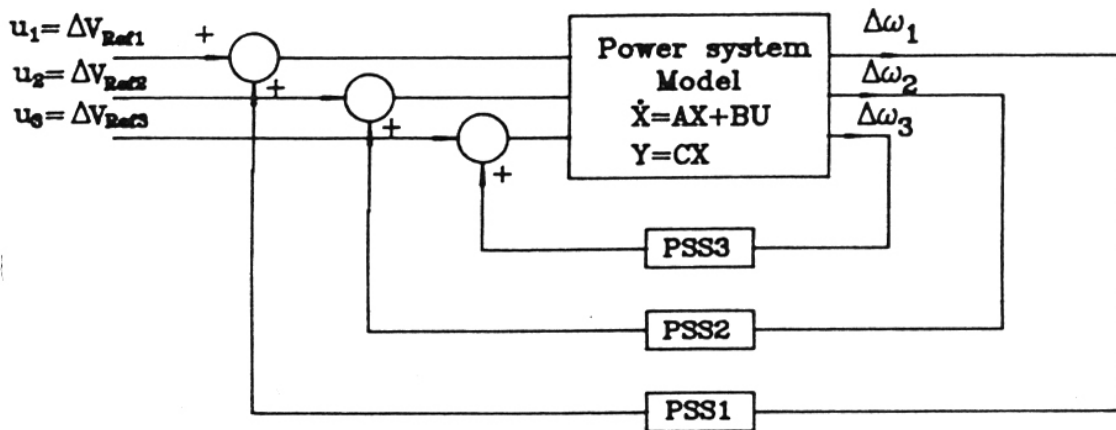
(۲۴-۴)

اکنون بایستی دینامیک های مربوط به PSS ماشین های سنکرون را در مدل فضای حالت سیستم گنجانده شود. شکل (۴-۱۰) به طور شماتیک وضعیت قرار گرفتن PSS ها را در شبکه مورد مطالعه نشان می دهد. معادلات حالت سیستم مرکب (سیستم قدرت به همراه PSS ها) را می توان از ترکیب فیدبک، معادلات حالت سیستم بدون کنترل و معادلات حالت زیر، که یک تحقق^۱ برای ماتریس تابع انتقال قطری متناظر با PSS ها می باشد، بدست آورد.

$$X_C = A_C X_C + B_C U_C$$

$$Y_C = C_C X_C$$

(۲۵-۴)



شکل (۴-۱۰) دیاگرام شماتیک سیستم قدرت به همراه پایدار کننده ها

جدول (۴-۹) مقادیر ویژه متناظر با مودهای الکترومکانیکی را در نقطه کار ناپایدار برای

سیستم مرکب (مجهز به PSSهای کلاسیک) و سیستم بدون کنترل نشان می دهد.

| مودهای الکترومکانیکی | |
|----------------------|----------------------|
| بدون PSS | با PSS |
| $-1.793 \pm j13.475$ | $-6.334 \pm j19.664$ |
| $-1.633 \pm j12.160$ | $-2.577 \pm j20.906$ |
| $-0.212 \pm j8.728$ | $-0.886 \pm j8.296$ |

نقش PSSها در پایدار سازی سیستم مورد مطالعه بوضوح توسط جدول فوق نشان داده شده است. جدول بیان می کند PSSها نه تنها در پایدار سازی مو ناپایدار موفق بوده اند، بلکه پایداری نسبی سایر مودها را نیز بهبود بخشیده اند.

۴-۳-۴- پاسخ سیستم به ورودی پله:

شکل های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) پاسخ سیستم قدرت مورد مطالعه را در وضعیت های مختلف هنگامی که یک ورودی پله با دامنه $0.01 p.u.$ به محل ولتاژ مرجع ماشین I اعمال شده است، نشان می دهند. در هر دو شکل منحنی تغییرات سرعت ماشین های سنکرون و منحنی تغییرات زاویه $\Delta\delta_1$ برحسب زمان رسم شده اند. منحنی های شکل

(۴-۱۱) که متناظر با نقطه کار I (سیستم بدون کنترل در شرایط باردهی جدول

(۴-۱۱)) می باشند، هرچند بعضاً از نوسانات مطلوبی برخوردار نیستند، اما به هر حال

پس از ۸ ثانیه میرا شده اند.

نتایج حاصل از شبیه سازی سیستم در نقطه کار ناپایدار (شرایط باردهی جدول (۴-۱۱))

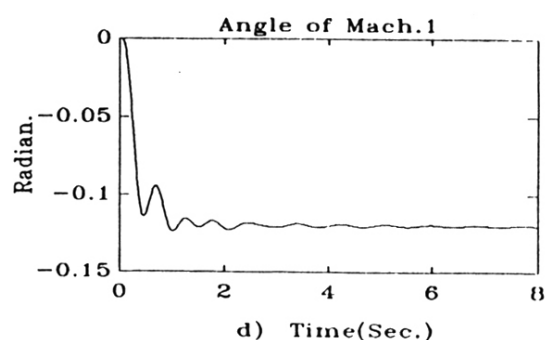
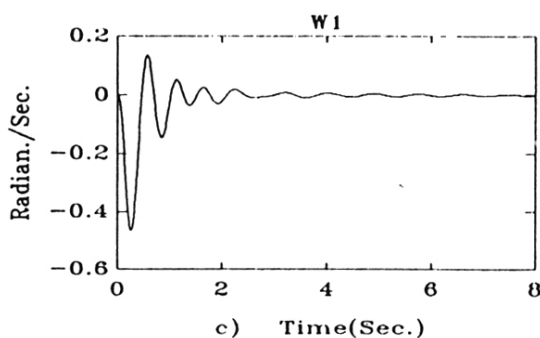
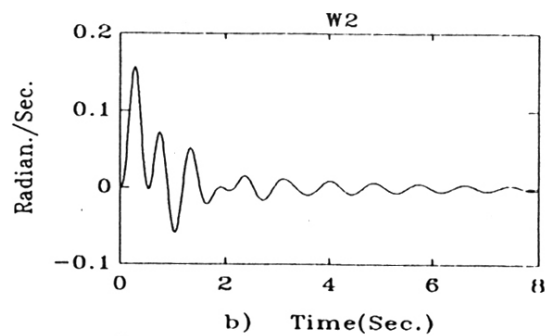
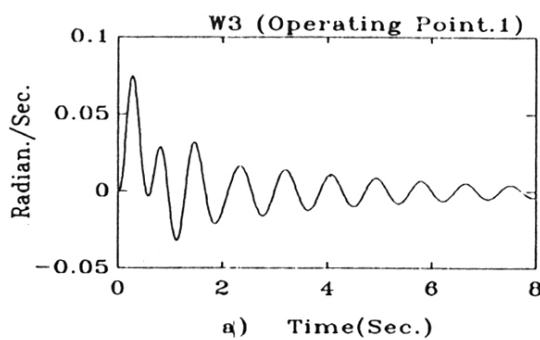
در دو وضعیت بدون کنترل و با پایدار کننده های (۴-۲۲) تا (۴-۲۴) در شکل (۴-۱۲)

رسم شده است.

اندکی دقت در این شکل نشان می دهد که در اثر PSS ها نه تنها سیستم ناپایدار، پایدار

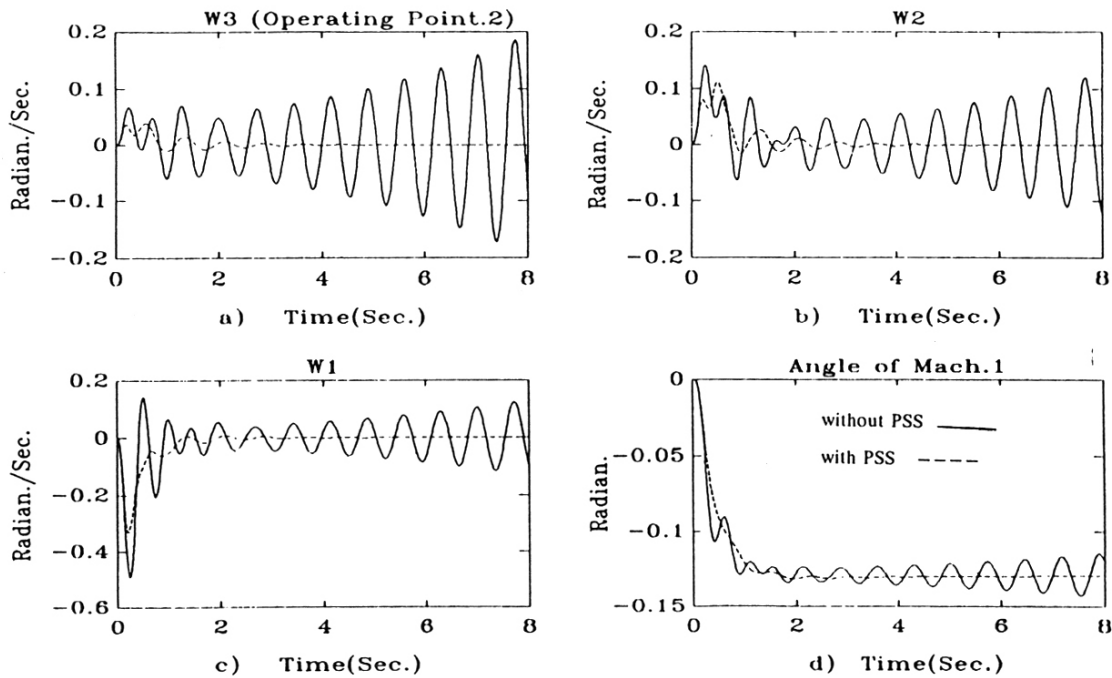
شده است بلکه وضعیت نامطلوب نوسانات سیستم نیز تا حد زیادی اصلاح شده

است.



شکل (۴-۱۱) منحنی های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون و زاویه ماشین ۱ در نقطه کار

پایدار.



شکل (۴-۱۲) منحنی های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون و زاویه ماشین ۱ در نقطه کار

ناپایدار. بدون کنترل (___)، با PSS های کلاسیک (___)

۴-۴- طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم های قدرت چند

ماشینه

۴-۴-۱- اثر تغییر پارامترهای بر پایداری دینامیکی:

در بخش (۴-۳) برای سیستم قدرت سه ماشینه شکل (۴-۹) در یک نقطه کار ناپایدار،

متناظر با هر یکی از ماشین های سنکرون یک PSS طراحی شد. سپس کارایی این

کنترل کننده ها در پایدار سازی و بهبود نوسانات سیستم در همان نقطه کار به کمک

شبیه سازی به اثبات رسید. در این بخش به بررسی اثر تغییر برخی از پارامترهای شبکه

بر پایداری نقطه کار به کمک شبیه سازی قدرت مورد مطالعه می پردازیم.

در عمل ژنراتورهای سنکرون در یک سیستم قدرت توسط شبکه های انتقال به هم

متصل می شوند. هر شبکه انتقال با آرایشی خاص از خطوط انتقال سری و موازی

تشکیل شده است. تغییری در این آرایش مانند قطع یا وصل یک خط انتقال راکتانس

معدل شبکه انتقال را تغییر می دهد. به عنوان مثال اگر در سیستم قدرت شکل (۴-۹)

ژنراتور ۱ از طریق دو خط انتقال موازی به شین بی نهایت ول شده باشد، با از مدار

خارج شدن یکی از این خطوط مقدار راکتانس X_{11} (داده شده در جدول (۴-۵)) به دو

برابر افزایش می یابد. اکنون به بررسی اثر این تغییر بر پایدار دینامیکی سیستم

می پردازیم. بدین منظور برای این مقدار جدید X_{11} با سایر مشخصات نقطه کار

جدول (۴-۸) آنالیز پخش بار انجام شده و ماتریس های M_1 تا M_6 محاسبه می شود.

مودهای الکترومکانیکی سیستم در دو وضعیت بدون کنترل و با PSS های (۴-۲۲) تا

(۴-۲۲) طراحی شده در بخش پیش در جدول زیر آمده است.

جدول (۴-۱۰) مودهای الکترومکانیکی سیستم با X_{11} جدید $X_{11} = 0.3864 p.u.$

| بدون PSS | با PSS |
|-----------------------|----------------------|
| $-0.784 \pm j13.7356$ | $-1.598 \pm j16.638$ |

| | |
|----------------------|----------------------|
| $-1.598 \pm j16.638$ | $-5.097 \pm j15.987$ |
| $-0.609 \pm j8.322$ | $-0.487 \pm j8.177$ |

مقایسه نتایج جدول (۴-۱۰) با جدول (۴-۹) نشان می دهد که تغییر راکتانس X_{11} به دو برابر، باعث تغییرات قابل توجهی در قسمت حقیقی مودهای الکترومکانیکی ماشین های سنکرون شده، در هر دو وضعیت بدون کنترل کننده و با کنترل کننده این مودها به سمت راست صفحه مختلط انتقال یافته اند، هر گاه در وضعیت جدید گین سیستم تحریک ماشین ۳ کاهش یابد، مورد الکترومکانیکی ماشین ۳ مطابق جدول (۴-۱۱) تغییر کرده و سیستم به ناپایداری نزدیک می شود. بنابراین چنین تغییراتی در مشخصات و پارامترهای سیستم می تواند پایداری سیستم قدرت را حتی در حضور **PSS** تهدید کند.

جدول (۴-۱۱) اثر کاهش K_{A3} بر ناپایداری سیستم (X_{11} جدید)

| K_{A3} | مود الکترومکانیکی ماشین سنکرون ۳ |
|----------|----------------------------------|
| 324 | $-0.487 \pm j8.177$ |
| 200 | $-0.288 \pm j8.132$ |
| 100 | $-0.006 \pm j7.976$ |
| 80 | $-0.001 \pm j8.052$ |

مشابه این شرایط هر گاه راکتانس X_{33} تغییر کند نیز رخ می دهد. اگر X_{33} از مقدار داده شده در جدول (۴-۵) به مقدار $(X_{33} = 0.6)$ افزایش یابد و سایر مشخصات سیستم در شرایط نقطه کار جدول (۴-۸) بدون تغییر بماند، مود الکترومکانیکی ماشین سنکرون ۳ بر حسب گین سیستم تحریک همین ماشین مطابق جدول (۴-۱۲) تغییر خواهد کرد.

جدول (۴-۱۲) مود الکترومکانیکی ماشین ۳ بر حسب تغییرات K_{A3} در $X_{33} = 0.6$

| K_{A3} | مود الکترومکانیکی ماشین سنکرون ۳ |
|----------|----------------------------------|
| 324 | $-0.750 \pm j8.198$ |
| 200 | $-0.547 \pm j8.225$ |
| 100 | $-0.223 \pm j8.157$ |
| 50 | $-0.009 \pm j7.996$ |

۴-۴-۲- مدلسازی تغییر پارامترها به کمک سیستم های بازه ای:

به منظور طراحی پایدار کننده های مقاوم که نه تنها پایداری سیستم را در یک نقطه کار بلکه در محدوده ای از تغییرات پارامترهای سیستم نیز تضمین می کنند، ابتدا بایستی تغییرات پارامترهای سیستم به شکل مناسبی مدل شود. یک روش برای این مدلسازی استفاده از سیستم های بازه ای و به دنبال آن استفاده از روش *Kharitonov* (بخش ۳-۵) است. بنابراین هدف، طراحی پایدار کننده هایی برای سیستم قدرت شکل (۴-۹) است

به طوریکه پایداری دینامیکی سیستم حتی در صورت مواجهه با تغییراتی مشابه

تغییرات زیر بخش (۴-۴-۱) نیز حفظ شود.

از آنجایی که مود الکترومکانیکی ژنراتور ۳ از اهمیت ویژه ای برخوردار است (با

توجه به جداول (۴-۱۱) و (۴-۱۲) نخست به طراحی پایدار کننده برای این ماشین

می پردازیم. مدل فضای حالت سیستم که در حالت کلی توسط روابط (۴-۱۵) الی

(۴-۲۱) مشخص می شود را در نظر بگیرید. به کمک این مدل تابع انتقال

$$g(s) = \frac{\Delta\omega_3(s)}{u_3(s)} \Big|_{u_1, u_2 = 0} \quad (4-26)$$

در رابطه فوق $\Delta\omega_3(s)$ انحراف سرعت ماشین سنکرون ۳ از سرعت سنکرون $u_3(s)$

تغییرات ولتاژ مرجع ماشین ۳ می باشد) بسادگی قابل محاسبه است. تابع انتقال فوق

از مرتبه ۱۲ (بعد ماتریس A) بوده و ضرائب چند جمله ای های صورت و مخرج آن

تابع مشخصات نقطه کار سیستم می باشد. مشخصات نقاط کار مورد مطالعه در جدول

زیر آمده است، شرایط باردهی نقطه کار ۱ در جدول (۴-۴) و شرایط باردهی سایر

نقاط کار در جدول (۴-۸) درج شده است.

جدول (۴-۱۳) مشخصات نقاط کار

| Operating Point | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Loading Condition | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| X_{11} | 0.19 | 0.19 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |

| | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| X_{33} | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| X_{43} | 324 | 324 | 324 | 200 | 100 | 80 | 324 | 200 | 100 | 50 |

با محاسبه تابع انتقال (۴-۲۶) به فرم کلی زیر است، در هر یک از این نقاط کار ،

مقادیر حدی ضرایب چند جمله ای های صورت و مخرج مشخص می شود.

$$g(s,r,q) = \frac{N(s,q)}{D(s,r)} = \frac{-\sum_{i=0}^9 q_i s^i}{s^{12} + \sum_{i=0}^{11} r_i s^i} \quad (۴-۲۷)$$

مقادیر حدی ضرایب r_i و q_i در جداول (۴-۱۴) و (۴-۱۵) آمده است، بدین ترتیب

سیستم مورد مطالعه به صورت یک سیستم بازه ای مدلسازی می شود.

جدول (۴-۱۴) مقادیر حدی ضرایب صورت

| | مقدار حداکثر | مقدار حداقل |
|-------|--------------|-------------|
| q_0 | 0.00 | 0.00 |
| q_1 | 6.3672e+11 | 8.9515e+10 |
| q_2 | 2.7466e+11 | 3.7889e+10 |
| q_3 | 3.6372e+10 | 4.9567e+9 |
| q_4 | 5.6208e+9 | 7.8384e+8 |
| q_5 | 4.2663e+8 | 6.0213e+7 |
| q_6 | 3.2044e+7 | 4.5736e+6 |
| q_7 | 1.4056e+6 | 2.0371e+5 |
| q_8 | 4.7153e+4 | 6.8880e+3 |
| q_9 | 6.4541e+2 | 9.4317e+1 |

جدول (۴-۱۵) مقادیر حدی ضرایب صورت

| | مقدار حداکثر | مقدار حداقل |
|----------|---------------|---------------|
| r_0 | $3.8452e +13$ | $6.3200e +13$ |
| r_1 | $2.3158e +13$ | $7.0701e +12$ |
| r_2 | $5.4191e +12$ | $2.3443e +12$ |
| r_3 | $9.8934e +11$ | $4.1179e +11$ |
| r_4 | $1.3771e +11$ | $7.3131e +10$ |
| r_5 | $1.4786e +10$ | $7.9496e +9$ |
| r_6 | $1.3139e +9$ | $8.3156e +8$ |
| r_7 | $9.1198e +7$ | $6.0715e +7$ |
| r_8 | $5.0866e +6$ | $3.8409e +6$ |
| r_9 | $2.1687e +5$ | $1.7582e +5$ |
| r_{10} | $6.5980e +3$ | $6.0511e +3$ |
| r_{11} | $1.2385e +2$ | $1.2381e +2$ |

بدیهی است پایداری سازی این سیستم بازه ای، پایدار سازی قدرت مورد مطالعه را در همه نقاط کار جدول (۴-۱۳) و در نتیجه در محدوده وسیعی از تغییر پارامترها به دنبال دارد اکنون با استفاده از روش توضیح داده شده در بخش (۳-۵) به طراحی پایدار کننده مقاوم برای این سیستم بازه ای می پردازیم.

مطابق قضیه (۷-۳) یک کنترل کننده مرتبه اول برای یک سیستم بازه ای پایدار ساز مقاوم است اگر و فقط اگر شانزده سیستم *Kharitonov* متناظر با این سیستم بازه ای را پایدار می کند. قبل از اعمال این روش به سیستم بازه ای (۴-۲۷) لازم است مسئله پایدار سازی مجموعه ای از توابع انتقال توسط یک کنترل کننده مورد مطالعه قرار گیرد. در زیر بخش بعد ضمن بررسی اجمالی این مسئله یک راه حل که در آن از تکنیک های بهینه سازی استفاده می شود، نیز ارائه می شود.

۴-۴-۳- پایدار سازی مجموعه ای از توابع انتقال به کمک تکنیک های بهینه

سازی:

یک روش جهت بررسی پایدار سیستم های خطی، استفاده از معیار *Routh-Hurwitz* می باشد. [۶۳] به جز تحلیل پایداری به کمک این معیار می توان پارامترهای یک کنترل کننده را به منظور پایدار سازی یک سیستم ناپایدار، تعیین کرد. به عنوان مثال، فرض کنیم هدف تعیین پارامترهای k, p, z در شکل (۴-۱۳) جهت پایدار سازی تابع انتقال $g(s)$ میباشد. معادله مشخصه سیستم حلقه بسته عبارت است از:

$$(s+p)D(s) + k(s+z)N(s) = 0 \quad (۴-۲۸)$$

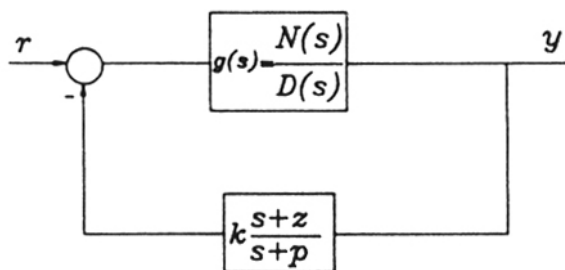
اکنون پارامترهای کنترل کننده چنان انتخاب می شود که مقادیر درایه های ستون اول جدول *Routh-Hurwitz* متناظر به چند جمله ای (۴-۲۸) (که در واقع توابعی از این

پارامترها هستند) همگی مثبت (هم علامت) شوند. از این روش می توان در پایدار

سازی مجموعه ای از توابع انتقال به کمک یک کنترل کننده استفاده کرد.

$$g_i(s) = \frac{N_i(s)}{D_i(s)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, l \quad (29-4)$$

$$(s + p)D_i(s) + k(s + z)N_i(s) = 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, l \quad (30-4)$$



شکل (۴-۱۳) بلوک دیاگرام یک سیستم *SISO* با کنترل کننده مرتبه اول

در این حالت پارامترهای کنترل کننده بایستی به طور همزمان درایه های ستون اول

جداول *Routh-Hurwitz* متناظر با l معادله (۴-۳۰) را به اعداد مثبتی تبدیل کنند.

در عمل وقتی درجه $D_i(s)$ یا l عدد بزرگی باشد، محاسبه درایه های جدول

Routh-Hurwitz به صورت پارامتری بسیار مشکل است.

حتی اگر چنین محاسبه ای صورت گیرد، و $a_{ij}(X)$ که زامین عنصر ستون اول مربوط

به تابع $g_i(s)$ است به شکل پارامتری بر حسب پارامترهای کنترل کننده (که به صورت

بردار x نشان داده شده است) بیان شود.

مشکل بعدی یافتن بردار x است به قسمی که نامعادلات زیر به طور همزمان برقرار

شوند:

$$a_{ij}(X) > 0 \quad j=1,2,\dots,n+1, i=1,2,\dots,l \quad (31-4)$$

یک روش به منظور اجتناب از حل این دستگاه نامعادلات غیر خطی استفاده از تکنیک های بهینه سازی است.

یک مسئله بهینه سازی در حالت کلی عبارت است از:

پیدا کردن بردار طراحی X به قسمی که تابع مقابل موسوم به تابع هدف $\text{Min}f(x)$

مینیمم شود. مشروط به اینکه محدودیت های نامعادله ای مقابل $k=1,2,\dots,r$

$$h_k(X) \leq 0$$

نیز برآورده شود.

اکنون با انتخاب تابع هدف در مسئله مورد بحث به شکل زیر

$$\langle a_{ij}(X) \rangle = \begin{cases} 0 & a_{ij}(X) \geq 0 \\ -a_{ij}(X) & a_{ij}(X) < 0 \end{cases} \quad (32-4)$$

$$f(X) = \sum_{i,j} \langle a_{ij}(X) \rangle \quad (33-4)$$

و مثبت در نظر گرفتن مولفه های بردار طراحی به عنوان محدودیت های طراحی

مسئله پیدا کردن پارامترهای کنترل کننده به یک مسئله بهینه سازی تبدیل می شود.

بسته به خواص توابع $f(X), h_k(X)$ روشهای متنوعی برای حل یک مسئله بهینه سازی

وجود دارد. یک تقسیم بندی مهم در این زمینه بر اساس خطی بودن (یا غیر خطی)

بودن) این توابع می باشد. هر گاه تابع هدف و محدودیت های طراحی همگی توابع خطی از مولفه های بردار طراحی باشند، مسئله بهینه سازی به یک مسئله برنامه ریزی خطی^۱ و در غیر این صورت به یک مسئله برنامه ریزی غیر خطی^۲ تبدیل می شود. با توجه به غیر خطی بوده ضرائب ستون اول جدول *Routh-Hurwitz* بر حسب پارامترهای کنترل کننده، مسئله بهینه سازی (۴-۳۳) یک مسئله برنامه ریزی غیر خطی می باشد. راه حل ها در برنامه ریزی به دو دسته کلی تقسیم می شوند، [۶۴]:

(a) روشهای گرادیانی^۳

(b) روشهای کاوش مستقیم^۴

در روشهای گرادیانی به شکل صریح تابع هدف بر حسب متغیرهای طراحی نیاز است که در مسئله مورد بحث همانطور که توضیح داده شد، عملاً غیر ممکن است. بنابراین روشهای کاوش مستقیم جهت حل مسئله به کار گرفته می شود از مهمترین روش های

کاوش مستقیم می توان به روش های *Hooke and jeeves*, *Rosenbrook* *Powell*

، اشاره کرد. در این پایان نامه از روش *Hooke and jeeves* که در ضمیمه پ توضیح

داده شده است، استفاده می شود.

^۱ -Linear Programing

^۲ -non Linear Programing

^۳ -gradient methods

^۴ -direct search methods

۴-۴-۴- استفاده از روش *Kharitonov* در پایدار سازی مقاوم

در این قسمت پس از مدل سازی، تغییر در پارامترها به کمک سیستم های بازدهی، آماده ایم تا به استفاده از قضیه (۷-۳) به طراحی یک جبران کننده مرتبه اول که پایداری سیستم را در محدوده وسیعی از تغییر پارامترها تضمین می کند، پردازیم. به این منظور ابتدا ۱۶ تابع انتقال *Kharitonov* متناظر به سیستم بازه ای (۴-۲۷) محاسبه می شود که همه آنها ناپایدار بوده (برخی دارای ۴ قطب ناپایدار و بقیه دارای ۶ قطب ناپایدار می باشند) و علاوه بر آن دارای صفرهایی در سمت راست صفحه مختلط می باشند. اکنون به کمک روش توضیح داده شده در زیر بخش قبل، مسئله همزمان پایدار سازی این توابع انتقال، به یک مسئله بهینه سازی تبدیل شده، جهت یافتن پارامترهای کنترل کننده تلاش می شود.

اجرا مکرر برنامه بهینه سازی که از کارایی بالایی برخوردار است با نقطه شروع های متفاوت نشان میدهد که کنترل کننده مرتبه اولی که ۱۶ تابع انتقال مورد نظر را به طور همزمان پایدار کند، وجود ندارد.

استفاده از جبران کننده های مرتبه دوم بدون توجه به شرط *Rantzer* و یاکاهش فضای تغییرات تابع انتقال با محدوده کردن نقاط کار مورد مطالعه نیز در دستیابی به جواب موثر واقع نمی شود. ناتوانی جبران کننده های مرتبه اول (و مرتبه دوم) در پایدار سازی سیستم بازه ای مورد مطالعه از محافظه کاری ذاتی روش *Kharitonov* ناشی

می شود. در این روش فرض بر این است که هر یک از ضرایب تابع انتقال بازه ای مورد مطالعه می تواند، به طور مستقل از سایر ضرایب درون یک بازه تغییر کند حال آنکه در سیستم مورد مطالعه وقتی پارامتری تغییر می کند، ضرایب تابع انتقال سیستم همگی با هم تغییر می کنند و فرض استقلال آنها محافظه کاری قابل توجهی را به دنبال دارد. همانطور که قبلا نیز گفته شد، مدل فضایی حالت سیستم قدرت مورد مطالعه در هر یک از نقاط کار حداکثر دارای یک زوج قطب ناپایدار (مدهای الکترومکانیکی ماشین ۳) می باشد. در حالی که توابع انتقال *Kharitonov* دارای ۴ یا ۶ قطب ناپایدار می باشد.

۴-۴-۵- استفاده از یک شرط کافی در پایدار سازی مقاوم:

فرض کنید $F(s)$ چند جمله ای با ضرایب حقیقی و مثبت باشد.

$$F(s) = \sum_{k=0}^n a_k s^{n-k} \quad k = 0, 1, \dots, n \quad a_k > 0 \quad (34-4)$$

یک شرط کافی برای پایداری (قرار گرفتن صفرهای چند جمله ای در نیم صفحه باز

سمت چپ) این چند جمله ای عبارتست از: [65]

$$a_{i-1} \quad a_{i+2} \leq 0.4655 \quad a_i \quad a_{i+1} \quad i = 1, 2, \dots, n-2 \quad (35-4)$$

به عبارت دیگر هر گاه $n-2$ نامعادله داده شده در رابطه (۳۵-۴) برقرار باشد، چند

جمله ای $F(s)$ پایدار است. با توجه به این که نامعادلات فوق فقط به ضرایب چند

جمله ای نیاز دارند، بررسی شرط کافی با مختصری محاسبه به سادگی صورت

می گیرد.

اکنون فرض کنیم متناظر با هر یک از ضرایب چند جمله ای (۳۴-۴) یک بازه وجود داشته باشد به طوری که داشته باشیم:

$$a_k \in [X_k, Y_k] \quad , \quad Y_k \geq X_k > 0 \quad , \quad k = 0, 1, \dots, n \quad (۳۶-۴)$$

در اینصورت به سادگی می توان شرط کافی فوق را برای چند جمله ای های بازه ای به کمک قضیه زیر به کار برد.

قضیه (۱-۴):

چند جمله ای بازه ای تعریف شده به کمک روابط (۳۴-۴) و (۳۶-۴) برای همه $a_k \in [X_k, Y_k]$ پایار است اگر $n-2$ نامعادله ذیل برقرار باشند.

$$Y_{i-1}Y_{i+2} \leq 0.4655x_i x_{i+1} \quad (۳۷-۴)$$

به منظور استفاده از این روش در طراحی پایدار کننده نخست بایستی معادله مشخصه سیستم حلقه بسته را به صورت پارامتری بر حسب پارامترهای کنترل کننده محاسبه کرد. قدم بعد از تعیین پارامترهای کنترل کننده است به قسمی که $n-2$ نامعادله داده شده در رابطه (۳۵-۴) یا (۳۷-۴) برقرار شوند.

فرض کنید سیستم بازه ای مورد مطالعه دارای نمایش تابع انتقال به شکل زیر باشد.

$$g(s, r, q) = \frac{N(s, q)}{D(s, r)} \quad (۳۸-۴)$$

که در آن q و r بردارهای ضرایب چند جمله ای های به صورت و مخرج می باشند.

با انتخاب کنترل کننده به فرم زیر:

$$g_c(s) = k \frac{s+z_1}{s+p_1} \frac{s+z_2}{s+p_2} \quad (4-39)$$

معادله مشخصه سیستم حلقه بسته به یک چند جمله ای بازه ای تبدیل شده و مقادیر حدی ضرایب آن را توجه به مثبت بودن پارامترهای کنترل کننده به سهولت قابل تعیین است.

$$\Delta(s) = (s+p_1)(s+p_2)D(s,r) + (K(s+z_1)(s+z_2)N(s,q) = 0 \quad (4-40)$$

اکنون می توان مسئله تعیین پارامترهای کنترل کننده به منظور پایدار سازی سیستم بازه ای مورد مطالعه را به یک سیستم بهینه سازی تبدیل کرد. تابع هدف مسئله بهینه سازی چنان انتخاب می شود که همراه با صفر شدن آن، جمیع نامعادلات رابطه (4-37) برقرار شوند.

فرض کنید $\Delta(s)$ از مرتبه n و نمادهای داده شده در رابطه (4-36) برای ضرایب آن به کار رود، در این صورت یک انتخاب برای تابع هدف عبارتست از:

$$X = [kz_1p_1z_2p_2]^T \quad (4-41)$$

$$C_i(X) = Y_{i-1}y_{i+2} - 0.4655x_i x_{i+1} \quad (4-42)$$

$$\langle C_i(X) \rangle = \begin{cases} 0 & C_i(X) \leq 0 \\ C_i(X) & C_i(X) > 0 \end{cases} \quad (4-43)$$

$$f(X) = \sum_{i=1}^{n-2} \langle C_i(X) \rangle \quad (4-44)$$

که در روابط فوق X بردار طراحی و $f(X)$ تابع هدف مسئله بهینه سازی می باشد.
محدودیت های مسئله بهینه سازی در این حالت نیز مثبت بودن پارامترهای کنترل کننده می باشد.

اکنون روش توضیح داده شده در زیر بخش را جهت پایدار سازی سیستم بازه ای (۴-۴-)

(۲۷) به کار می بریم. روش حل مسئله بهینه سازی مانند بخش پیش همان روش

Hooke and jeeves می باشد. مقدار تابع هدف بدون در نظر گرفتن کنترل کننده برابر

است با 2.762×10^{26} است با در نظر گرفتن حدس اولیه های متفاوت برای پارامترهای

کنترل کننده و اجرای مکرر برنامه بهینه سازی مقدار فوق حداکثر تا 6.77×10^{16} کاهش

می یابد. به عبارت دیگر مقادیری برای پارامترهای کنترل کننده وجود ندارد. به طوری

که تابع هدف داده شده در (۴-۴۴) به ازای آن مقادیر برابر صفر شود. مهمترین دلیل

عدم وجود جواب در این مسئله نیز محافظه کاری به کار رفته در به دست آوردن

نامعادلات رابطه (۴-۳۷) از نامعادلات رابطه (۴-۳۵) می باشد. علاوه بر این مبنای

اصلی روش به کار رفته در این بخش یک شرط کافی بر روی پایداری سیستم است.

۴-۵- طراحی پایدار کننده های مقاوم برای سیستم قدرت چندماشینه (۲)

۴-۵-۱- جمع بندی مطالب:

در بخش (۴-۳) مسئله پایداری دینامیکی یک سیستم قدرت سه ماشینه در دو نقطه کار

پایدار و ناپایدار مورد مطالعه قرار گرفت، به دنبال آن به منظور پایدار سازی سیستم در

نقطه کار ناپایدار برای هر یک از ماشین های سنکرون سیستم یک پایدار کننده سیستم قدرت (*PSS*) طراحی شد. سرانجام کارایی این کنترل کننده در پایدار سازی سیستم به کمک شبیه سازی کامپیوتری به اثبات رسید. همانطور که گفته شد، طراحی *PSS* ها بر اساس مدل تک ماشین - شین بی نهایت در یک نقطه کار مشخص صورت می گیرد. بنابراین ممکن است تغییر برخی از پارامترهای سیستم یا تغییر مشخصات نقطه کار پایداری سیستم را تهدید کند.

در بخش قبل از پس از بررسی این مطالب درسیستم قدرت مورد مطالعه تغییر پارامترهای سیستم با استفاده از توابع انتقال بازه ای مدل سازی شد. سپس روش ارائه شده در بخش (۳-۵) جهت طراحی پایدار کننده های مقاوم به کار گرفته شد. در این روش فرض بر این است که هر یک از ضرایب چند جمله ای های صورت و منخرج تابع انتقال می توانند به طور مستقل از سایر ضرایب در بازه متناظر تغییر کنند. اعمال این روش به مسئله مورد نظر نشان داد که به دلیل محافظه کاری فرض فوق پایدار کننده مرتبه اول که شرایط لازم وجود جواب (پایدار سازی ۱۶ سیستم *Kharitonov*) را برآورده کند، وجود ندارد.

یک راه منطقی جهت حذف محافظه کاری این روش استفاده از مدل سیستم در نقطه کارهای مختلف جهت طراحی پایدار کننده می باشد. این روش که با الهام از روش *Kharitonov* شکل گرفته است، در ادامه توضیح داده می شود.

۴-۵-۲- طراحی پایدار کننده های مقاوم بر اساس مجموعه ای از نقاط کار

مجموعه نقاط کار تعریف شده در جدول (۴-۱۳) را در نظر بگیرید. هدف طراحی

یک پایدار کننده با ساختار ذیل است:

$$C(s) = K \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{(s+p_1)(s+p_2)} \quad (4-45)$$

به قسمی که همه توابع انتقال متناظر با نقاط کار فوق را به طور همزمان پایدار کند.

مشابه با آنچه در زیر بخش (۴-۴-۳) گفته شد، تعیین پارامترهای $C(s)$ را می توان به

یک مسئله بهینه سازی تبدیل کرد. پارامترهای کنترل کننده $C(s)$ بایستی چنان انتخاب

شوند که ستون اول جدول *Routh-Hurwitz* متناظر با ۱۰ نقطه کار مورد مطالعه را به

طور همزمان به اعداد مثبتی تبدیل کنند.

انتخاب نقطه شروع مناسب، (حدس اولیه) برای بردار طراحی در یک مسئله بهینه

سازی به ویژه در روش های کاوش مستقیم از اهمیت فراوانی برخوردار است. به

شکل توصیفی در روش های کاوش مستقیم با شروع از یک نقطه مشخص در فضای

متغیرهای طراحی به منظور کاهش تابع هدف جستجو صورت می گیرد. انتخابی

نامناسب در نقطه شروع ممکن است روند جستجو را به یک مینیمم نسبی همگرا کنند.

در چنین وضعیتی معمولاً روند مینیمم سازی متوقف شده و تابع هدف به مینیمم مطلق

خود (در مسئله مورد مطالعه مینیمم مطمح تابع هدف صفر می باشد که معدل با پایدار

شدن همه نقاط کار است) کاهش نمی یابد. یک انتخاب خوب برای این پارامترها در

شروع مسئله بهینه سازی استفاده از پارامترهای پایدار کننده کلاسیک (*PSS*) است.

هر چند با صفر شدن تابع هدف پایدار مجموعه توابع انتقال مورد نظر تحقق می یابد،

اما پایداری نسبی سیستم در بعضی از نقاط کار ممکن است رضایت بخش نباشد. به

عبارت دیگر به محض ورود قطب های ناپایدار به نیم صفحه چپ صفحه مختلط روند

مینیمم سازی متوقف شده، در جهت بهبود پایداری نسبی تلاشی صورت نمی گیرد.

یک راه جهت بهبود این وضعیت استفاده از تکنیک انتقال محور موهومی به سمت

چپ صفحه مختلط می باشد.

به هر حال حل مسئله بهینه سازی مورد بحث نتایج زیر را به همراه داشته باشد.

$$C_1(S) = 52.8 \frac{(s+1.688)(s+18)}{(s+9.9.321)(s+14)} \quad (4-46)$$

$$C_2(S) = 52.8 \frac{(s+1.688)(s+12)}{(s+14.31)(s+18)} \quad (4-47)$$

اکنون اگر هر یک از توابع انتقال فوق به جای *PSS* کلاسیک ماشین ۳ مورد استفاده

قرار گیرند، پایداری سیستم در رنج وسیعی از تغییرات پارامترهای سیستم تضمین

می شود. در زیر بخش بعد به تحقیق این مطلب می پردازیم.

۴-۵-۳- مقایسه عملکرد *PSS* کلاسیک با کنترل کننده های جدید

به منظور مقایسه عملکرد کنترل کننده های جدید (طرح شده بر اساس چند نقطه کار)

با *PSS* های کلاسیک ابتدا معادلات حالت سیستم مرکب، سیستم قدرت به همراه

کنترل کننده ها) را به دست می آوریم این کار با جایگزینی کنترل کننده (۴-۴۶) به جای *PSS* ماشین ۳ در بلوک دیاگرام شکل (۴-۱۱) و استفاده از روش زیر بخش (۴-۳-۳) صورت می گیرد.

حال با اعمال ورودی یکسان به هر دو سیستم و محاسبه پاسخ های زمانی آنها می توان به بررسی و ارزیابی عملکرد دو کنترل کننده پرداخت. نتایج حاصل از شبیه سازی سیستم قدرت مورد مطالعه با دو نوع کنترل کننده فوق، در اشکال (۴-۱۴) تا (۴-۱۸) آمده است. ورودی در همه حالات تغییر $0.01p.u.$ در ولتاژ مبنا ماشین ۱ می باشد.

منحنی های شکل (۴-۱۴) عملکرد دونوع کنترل کننده را در نقطه کار ۲ جدول (۴-۱۳) نشان می دهد. در قسمت *a* این شکل منحنی تغییرات زاویه ماشین ۱ در دو وضعیت بدون *PSS* و با *PSS* کلاسیک (*CPSS*)^۱ رسم شده است. همانطور که در شکل دیده می شود، نوسانات منحنی خط پر که مربوط به وضعیت بدون کنترل می باشد، دارای میرایی منفی بوده و بر دامنه نوسانات به تدریج افزوده می شود، در حالی که منحنی خط چین که متناظر با سیستم مجهز شده به *PSS* کلاسیک است، نه تنها از میرایی مثبت برخوردارند بلکه در مدتی کوتاهتر از ۵ ثانیه به طور کامل از بین می رود. لازم به تذکر است که *PSS* های کلاسیک بر اساس مشخصات نقطه کار ۲ طرح شده اند. قسمت *b* این شکل مشابه قسمت *a* می باشد با این تفاوت که منحنی

^۱-Conventional PSS

خط چین آن بر اساس کنترل کننده جدید طرح شده بر اساس چند نقطه کار ($RPSS$)^۱ به دست آمده است. مقایسه این دوزیر شکل نشان می دهد که هر دو کنترل کننده، در پایدار سازی و بهبود نوسانات سیستم موفق بوده و تقریباً در این نقطه کار مشابه هم رفتار می کند. همچنین کاهش مقدار حالت دائمی ماشین ۱ در هر دو حالت با توجه به افزایش ولتاژ مینا در این ماشین منطقی است. قسمت های c و d شکل (۴-۱۴) نمودار تغییرات سرعت ماشین ۱ را در وضعیت های مشابه با قسمت های a و b نشان می دهد. نگاهی به این منحنی ها نیز همان نتایج را تصدیق می کند.

حال فرض کنیم با تغییر پارامترها سیستم در شرایط نقطه کار ۵ جدول (۴-۱۳) قرار گیرد، به منظور مقایسه عملکرد دو نوع کنترل کننده ($CPSS$, $RPSS$) در این نقطه کار منحنی های تغییرات زاویه ماشین ۱ و سرعت ماشین سنکرون متناظر با این دو وضعیت در شکل (۴-۱۵) رسم شده اند. زیر شکل a نوسانات زاویه ماشین ۱ را وقتی از کنترل کننده $CPSS$ استفاده شده است، نشان می دهد. مقایسه این منحنی با منحنی خط چین به وضوح برتری کنترل $RPSS$ در این نقطه کار را نشان میدهد. همانطور که در شکل دیده می شود، زمان میرایی نوسانات متغیرهای فوق وقتی از کنترل $RPSS$ استفاده شده است، در حدود ۵ ثانیه می باشد در حالیکه نوسانات سیستم با $CPSS$ پس از ۱۰ ثانیه نیز به میرایی مطلوب نرسیده است. در زیر شکل d شکل فوق که

^۱ - Robust PSS

نوسانات تغییرات سرعت ماشین ۳ مقایسه شده اند، مزیت کنترل کننده *RPSS* بر *CPSS* به بهترین نحو دیده می شود.

منحنی های شکل (۴-۱۶) عملکرد دو کنترل کننده را در نقطه کار ۶ مقایسه می کند در این حالت سیستم با کنترل کننده *CPSS* کاملاً نوسانی شده است در حالی که نوسانات سیستم با کنترل *RPSS* از میرایی قابل قبولی مشابه حالت قبل برخوردار است.

در شکل های (۴-۱۷) و (۴-۱۸) مقایسه دو کنترل کننده در نقطه ۹ و ۱۰ به طور کاملاً مشابه صورت گرفته است.

۴-۵-۴- نتیجه گیری:

در این بخش به منظور حذف محافظه کاری روش *Kharitonov* استفاده از مدل سیستم در نقطه کارهای مختلف جهت طراحی پایدار کننده پیشنهاد شد، مشابه بخش قبل، طراحی پایدار کننده مقاوم به مسئله همزمان پایدار کردن مجموعه ای از توابع انتقال تبدیل شده و سپس به کمک روش های بهینه سازی حل می شود. مقایسه عملکرد کنترل کننده هایی که به این ترتیب طراحی می شود، با پایدار کننده های کلاسیک سیستم قدرت (*CPSS*) به وضوح برتری کنترل کننده های جدید (*RPSS*) را نشان می دهد. به عبارت دیگر هر چند *PSS* ها در شرایط نقطه کار ۲ که بر مبنای آن طرح شده اند از عملکردی مطلوب برخوردارند، اما با تغییر پارامترها و قرار گرفتن

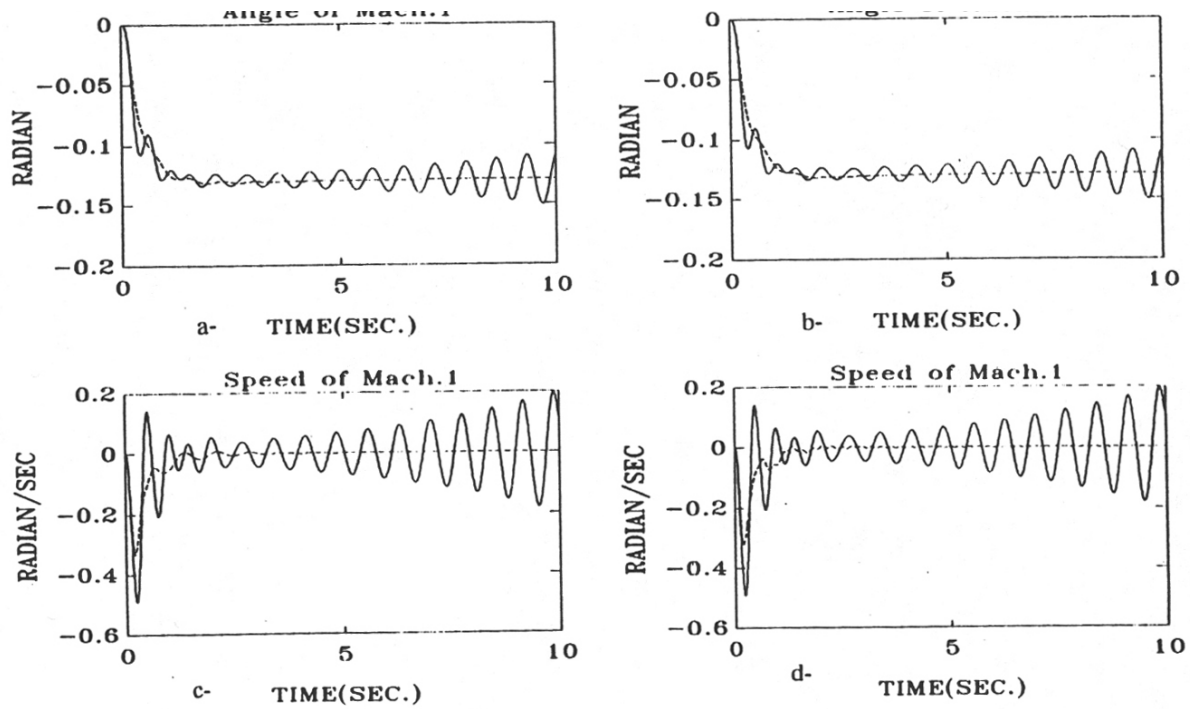
در شرایط متفاوت، با نقطه کار طراحی، عملکرد مطلوبی را ارائه نمی دهند در حالی که کنترل کننده جدید در هر یک از نقاط کار و تقریباً مستقل از تغییر پارامترها در پایداری سازی و بهبود نوسانات سیستم موثر است.

همچنین این نکته قابل توجه است که کنترل کننده مقاوم دارای ساختاری مشابه با *PSS* (دو بلوک مرتبه اول) می باشد و تنها نحوه محاسبه پارامترهای آن تغییر کرده است.

به عنوان یک نقطه شروع مناسب (حدس اولیه برای بردار طراحی) در برنامه بهینه سازی می توان، از پارامترهای *PSS* کلاسیک استفاده کرد. با توجه به حساسیت روش های کاوش مستقیم، به نقطه شروع استفاده از حدس اولیه فوق در جهت کاهش زمان محاسبه مفید می باشد.

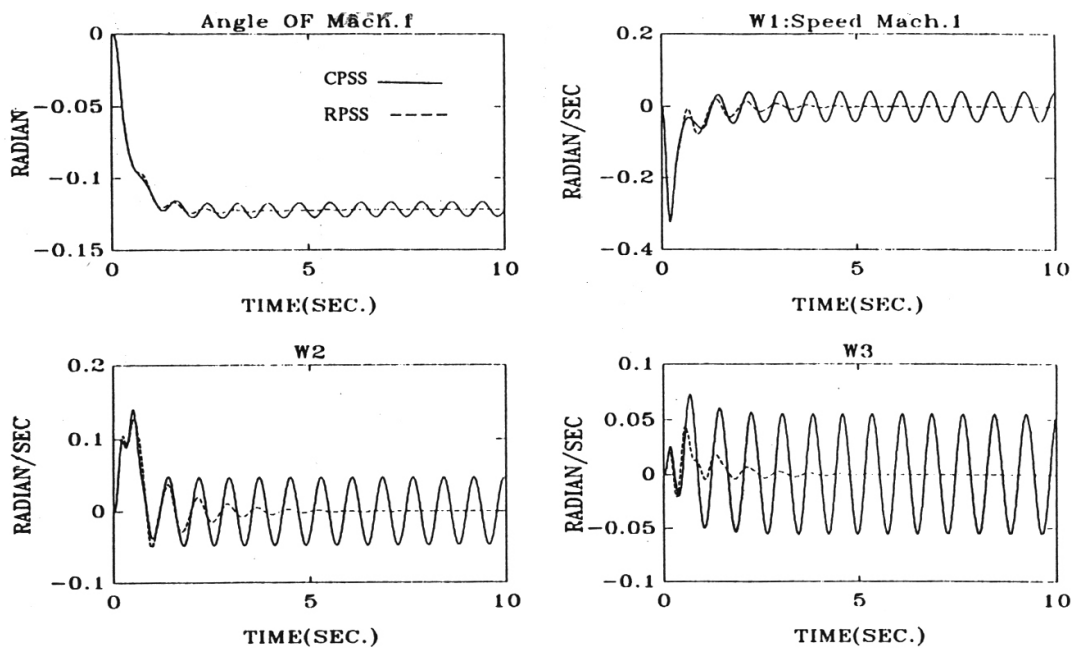
از دیگر مزایای روش جدید، در بر گرفتن دینامیک سایر ماشین ها در طراحی کنترل کننده می باشد، همچنین با توجه به اینکه در این روش تنها به تابع انتقال بین سرعت ماشین سنکرون و ولتاژ مبنای سیستم تحریک نیاز است، پیاده سازی روش به سهولت عملی می باشد.

روش فوق می تواند جهت طراحی کنترل کننده های مشابه برای سایر ماشین های سیستم نیز به کار رود همچنین با توجه به متعدد بودن جواب های مسئله بهینه سازی می توان معیارهای دیگری را به تابع هدف جهت یافتن بهترین جواب اضافه کرد.



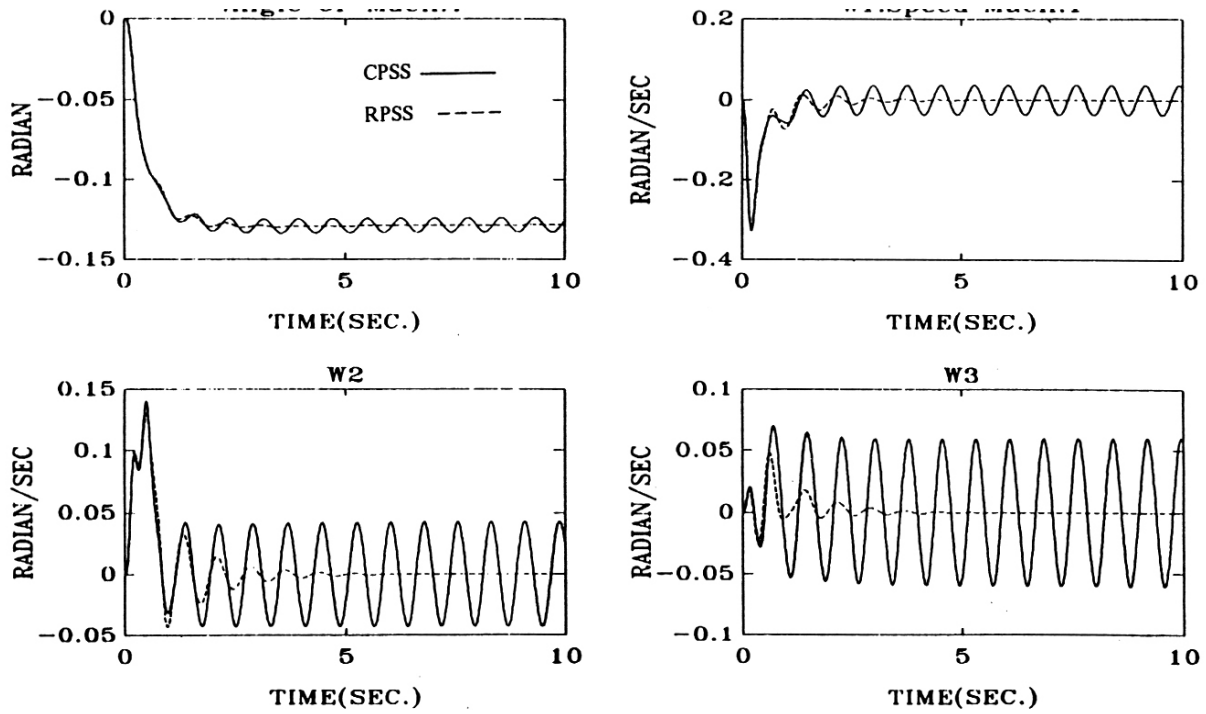
شکل (۴-۱۴) منحنی تغییرات و زاویه ماشین ۱.

a & c با و بدون CPSS (___ CPSS)، d & b با و بدون RPSS (___ RPSS)



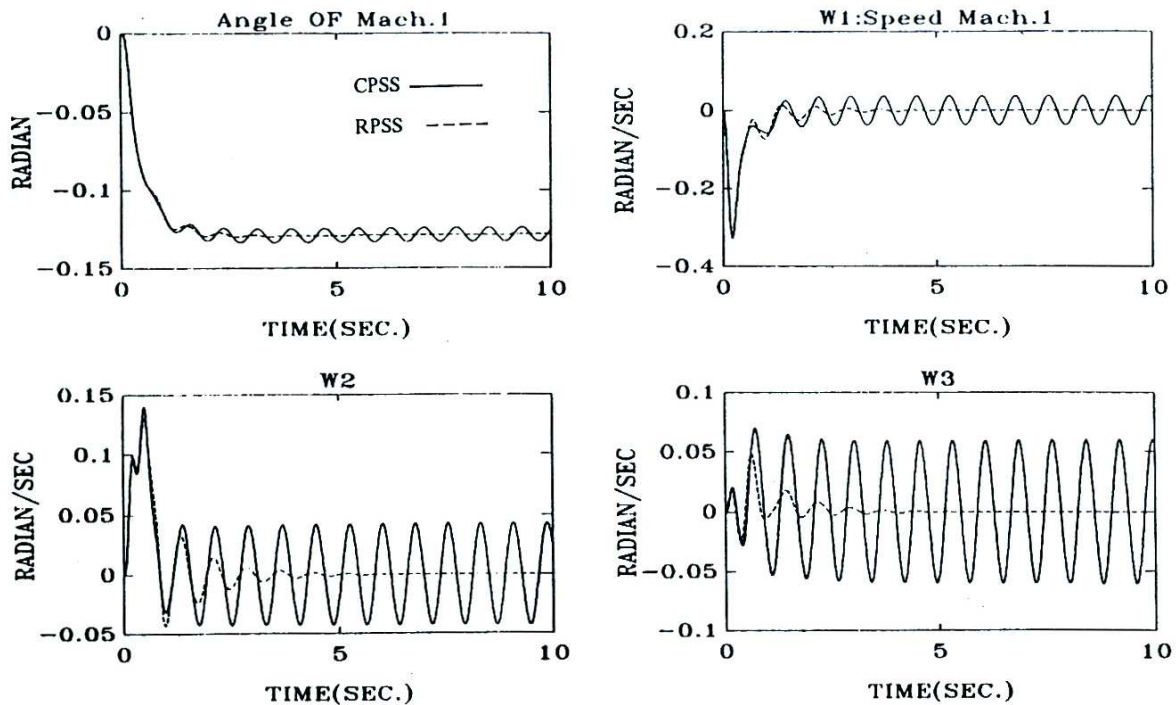
شکل (۴-۱۵) منحنی های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون و زاویه ماشین ۱ در نقطه کار ۵

جدول (۴-۱۳) با کنترل کننده های CPSS و RPSS



شکل (۴-۱۶) منحنی های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون و زاویه ماشین ۱ در نقطه کار ۶

جدول (۴-۱۳) با کنترل کننده های CPSS و RPSS



شکل (۴-۱۷) منحنی های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون و زاویه ماشین ۱ در نقطه کار

۱۰ جدول (۴-۱۳) با کنترل کننده های CPSS و RPSS

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooon.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل پنجم

استفاده از روش طراحی

جدید در حل چند مسئله

۵-۱- استفاده از ورش طراحی جدید در حل چند مسئله :

طراحی PSS ها بر مبنای مدل تک ماشین - شین بی نهایت در یک سیستم قدرت چند ماشینه ، ممکن است ناهماهنگی این کنترل کننده ها را در پایدار سازی کل سیستم به دنبال داشته باشد . بعبارت دیگر هر چند هر یک از PSS ها در پایدار سازی یا بهبود پایداری مود محلی موثر است ، ولی عملکرد آنها در برابر سایر مودهای سیستم متفاوت بوده ، ممکن است در جهت ناپایداری سیستم عمل کنند . به منظور رفع این مشکل که به تداخل PSS ها موسوم است ، راه حل های متعددی در قالب به عنوان

هماهنگ سازی PSS ها ارائه شده است . [۸، ۱۰، ۱۲]

در بخش (۵-۲) در این فصل ، ضمن توضیح مختصری درباره تداخل PSS ها، روش طراحی PSS بر اساس مجموعه‌ای از نقاط کار را به عنوان یک راه حل به کار می بریم.

در بخش (۵-۳) به طرح یک مسئله جدید در زمینه طراحی کنترل کننده های بهینه فیدبک حالت می پردازیم . در این بخش ابتدا برای سیستم قدرت مورد مطالعه در فصل چهارم ، به طراحی فیدبک بهینه حالت پرداخته می شود . سپس ضمن تحقیق این مطلب که پایداری سیستم ممکن است با قطع سیگنال کنترل یکی از ماشینهای سنکرون به خطر افتد ، روش طراحی فیدبک حالت بر اساس مجموعه‌ای از مدل‌های سیستم مطرح می شود. در این روش کنترل فیدبک حالت چنان طراحی می شود که در

بدترین شرایط ، وقتی سیگنال کنترل ورودی به یکی از ماشینهای سنکرون قطع شود

پایداری کل سیستم به خطر نیفتد .

۵-۲- طراحی PSSهای مقاوم به منظور هماهنگ سازی PSS ها :

۵-۲-۱- تداخل PSSها :

همانطور که در فصل دوم توضیح داده شد ، نوسانات با فرکانس کم در سیستم های

قدرت به دلیل کمبود میرایی مود الکترومکانیکی ژنراتورهای سنکرون به وجود می آید

. به منظور جبران این کمبود میرایی پایدار کننده های سیستم قدرت بر اساس مدل تک

ماشین - شین بی نهایت طراحی شده و در واحدهای مختلف شبکه مورد استفاده قرار

می گیرند . از آنجایی که طراحی هر پایدار کننده بر مبنای فرکانس مورد الکترومکانیکی

واحد مورد نظر صورت می گیرد، رفتار PSSها در برابر نوساناتی با فرکانس های

مختلف بسته به مشخصات شبکه و شرایط نقطه کار متفاوت است .بعبارت دیگر هر

چند PSS ها در بهبود میرایی مود محلی موثراند ، اما ممکن است در برابر نوسانات

سایر مودهای شبکه در جهت ناپایداری کل سیستم عمل کنند .

به منظور تحلیل این مطلب فرض کنیم در یک سیستم قدرت چند ماشینه نوساناتی با

فرکانس ω_{n2} از طریق خط انتقال به ماشین سنکرون ۱ با فرکانس $(\omega_{n1} \neq \omega_{n2})\omega_{n1}$

انتقال یابد. در این صورت زاویه تأخیری^۱ ناشی از قسمتهای تحریک و میدان این

ماشین با تقدم فاز ایجاد شده توسط با تقدم فاز PSS آن جبران نشده و داریم:

$$\left. \angle G_{E1}(S) + \angle G_{C1}(S) \right|_{S=j\omega_{n2}} = \alpha \quad (1-5)$$

با توجه به روش طراحی کلاسیک، α اختلاف فازی است که گشتاور میراکننده

$DE\Delta\omega$ پیدا می کند. حال چنانچه $90 < \alpha < 180$ یا $-90 < \alpha < -180$ باشد،

گشتاور اضافی که ماشین ۱ در پاسخ به فرکانس ω_{n2} به سیستم اعمال می کند، منفی

خواهد بود. بدین ترتیب ماشین ۱ در هنگام نوسان با فرکانس ω_{n2} مقداری میرایی

منفی به سیستم اعمال می کند، که در جهت کاهش میرایی مود الکترومکانیکی ماشین

۲ می باشد. در بدترین حالت وقتی این میرایی منفی، میرایی ماشین ۲ را خنثی کند،

دامنه نوسانات با فرکانس ω_{n2} بتدریج افزایش یافته و سیستم ناپایدار می شود. چنین

وضعیتی در یک سیستم قدرت که شامل ماشین های بزرگ با (ω_n کوچک) و ماشین

های کوچک (با ω_n بزرگ) می باشد، ممکن است رخ دهد. در چنین مواردی ماشین

های بزرگ به هنگام نوسان سیستم با فرکانس مود الکترومکانیکی ماشینهای کوچک، به

سیستم میرایی منفی اعمال کرده و باعث ناپایداری سیستم می شوند. در زیر بخش

بعدی به بررسی مسئله تداخلی PSS ها در یک سیستم قدرت سه ماشینه می پردازیم

در مدل هفرون فیلیپ ماشین مورد نظر $\Delta E'q$ ، ΔV_{ref} زاویه بین

در مرجع [۱۲] مسئله تداخل PSS ها به همراه یک راه حل در زمینه هماهنگ سازی این پایدار کننده ها ، به تفصیل توضیح داده شده است .

۵-۲-۲- بررسی مسئله تداخل PSS ها در یک سیستم قدرت سه ماشینه :

در زیر بخش قبل گفته شد که اولین شرط برای بروز تداخل بین PSS ها ، وجود دو فرکانس ویژه (قسمت های موهومی مودهای الکترومکانیکی) با اختلاف زیاد در شبکه می باشد . جهت دستیابی به این شرط و بروز پدیده تداخل در سیستم قدرت مورد مطالعه در فصل چهارم ، و همچنین ارتباط مسئله تداخل با پایداری مقاوم پارامترهای ماشینهای سنکرون به شکل زیر انتخاب می شود .^۱

جدول (۱-۵) پارامترهای تغییر یافته ماشینهای سنکرون

| | H | T_A | T'_{do} |
|------------------|-----|-------|-----------|
| <i>Machine 1</i> | 3.8 | — | 6.86 |
| <i>Machine 2</i> | — | 0.02 | 8.86 |
| <i>Machine 3</i> | 25 | 0.2 | — |

شرایط باردهی ماشینهای سنکرون همان مشخصات نقطه کار ۱ جدول (۴-۴) می باشد بجز توان خروجی ماشین سنکرون ۳ که از $1/75 p.u$ به $2 p.u$ افزایش یافته است .

^۱ - قسمت عمده این تغییرات همان است که در مرجع [۱۲] جهت بروز پدیده تداخل در مقادیر پارامترهای سیستم داده شده است .

اکنون بر اساس این مشخصات برای هر یک از ماشینهای سنکرون یک PSS به روش

کلاسیک طراحی می کنیم نتایج عبارتند از :

$$G_{C1}(S) = 2.346 \left(\frac{1 + 0.1989s}{1 + 0.05s} \right)^2 \quad (2-5)$$

$$G_{C2}(S) = 1.331 \frac{1 + 0.6089s}{1 + 0.05s} \quad (3-5)$$

$$G_{C3}(S) = 4.0923 \frac{1 + 0.3664s}{1 + 0.01s} \quad (4-5)$$

جدول (۲-۵) مقادیر ویژه سیستم (مودهای الکترومکانیکی ماشینهای سنکرون) را در

حالت های مختلف نشان می دهد . در ستون اول این جدول مقادیر ویژه سیستم بدون

کنترل ، و در ستون دوم مقادیر ویژه وقتی سیستم به PSS های کلاسیک مجهز است ،

درج شده است . مقایسه این دو ستون به وضوح اثر PSS ها را در بهبود پایداری

مودهای الکترومکانیکی ماشینهای ۳،۲ نشان می دهد ، اما همانطور که دیده می شود

زوج مقدار ویژه متناظر با ماشین سنکرون ۱ وقتی سیستم به پایدار کننده مجهز

می شود به سمت راست صفحه مختلط منتقل شده است دلیل این امر وجود گشتاور

منفی است که توسط PSS ماشین ۳ در ازاء نوسان سیستم با فرکانس ω_{n1} تولید می

شود اکنون تحت همین شرایط مقدار گین سیستم تحریک ماشین ۳ را افزایش می

دهیم ، مقادیر ویژه سیستم در این حالت در جدول (۲-۵) درج شده است همانطور که

دیده می شود افزایش این گین سیستم را نوسانی و در نهایت ناپایدار می کند . بعبارت

دیگر گشتاور ایجاد شده توسط ماشین ۳ تمامی گشتاور میرا کننده ای که توسط PSS

ماشین ۱ ایجاد می شود را خنثی کرده ، علاوه بر آن مقداری میرایی منفی نیز به شبکه

تزریق می کند .

جدول (۲-۵) مقادیر ویژه سیستم بدون PSS و با PSS کلاسیک

| | Without PSS $K_{A3}=324$ | With PSS | | |
|-----------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | 324 | 400 | 450 |
| Machine 1 | $-0.839 \pm j12.367$ | $-0.332 \pm j11.288$ | $-0.08 \pm j 12.094$ | $+0.061 \pm j12.579$ |
| Machine 2 | $-0.709 \pm j10.271$ | $-5.885 \pm j18.437$ | -5.89 ± 18.582 | $-5.90 \pm j18.591$ |
| Machine 3 | $-0.499 \pm j 4.955$ | $-1.77 \pm j 5.862$ | $-1.835 \pm j 5.79$ | $-1.865 \pm j5.755$ |

در زیر بخش بعدی روش جدید طراحی PSS (طراحی PSS براساس چند نقطه کار) را که در فصل قبل مطرح شد ، جهت رفع این مشکل به کار می بریم .

۵-۲-۳- استفاده از روش طراحی بر اساس چند نقطه کار در هماهنگ

سازی PSSها: استفاده از روش طراحی بر اساس چند نقطه کار در هماهنگ سازی

(بخش (۴-۵)) به طراحی یک پایدار کننده برای ماشین سنکرون می پردازیم . هدف از

طراحی هماهنگ سازی پایدار کننده های سیستم در جهت رفت مشکل تداخل PSS

ها می باشد .

مشابه فصل قبل از ابتدا تابع انتقال زیر در نقطه کارهای مختلف محاسبه می شود .

$$g(s) = \frac{\Delta \omega_3(s)}{u_3(s)} \Big|_{u_1, u_2 = 0}$$

که در آن u_3 تغییرات ولتاژ مبنا در ماشین ۳ می باشد .

انتخاب مجموعه مدلهای طراحی :

PSS جدید که برای ماشین ۳ طرح می شود بایستی دارای دو ویژگی ذیل باشد .

الف) عملکرد این **PSS** به همراه پایدار کننده های ماشینهای ۱،۲ حتی در مقادیر

بالای K_{A3} باعث ناپایداری سیستم نشود یا به عبارتی بر پایداری مودهای ماشین ۱ اثر

سوء نگذارد .

ب) بهبود پایداری مودهای الکترومکانیکی ماشین ۳ را به دنبال داشته باشد .

بدین منظور تابع انتقال های زیر به ترتیب جهت طراحی انتخاب می شود

$$(g_i(s), i = 1, 2, 3)$$

۱- تابع انتقال (۵-۵) در نقطه کار اصلی سیستم

۲- تابع انتقال (۵-۵) در نقطه کار اصلی سیستم با در نظر گرفتن دینامیک

PSS ماشینهای ۱،۲ با $K_{A3}=450$ (ویژگی الف)

۳- تابع انتقال (۵-۵) در شرایط نقطه کار جدول (۴-۸) (ویژگی ب)

اکنون با انتخاب یک ساختار مرتبه دوم برای **PSS** ماشین ۳، مانند فصل قبل مسئله

طراحی کنترل کننده به یک مسئله همزمان پایدار کردن مجموعه از توابع انتقال تبدیل

می شود، با این تفاوت که در اینجا توابع انتقال مورد مطالعه هم مرتبه نیستند .

همانطور که در زیر بخش (۴-۴-۳) توضیح داده شد ، مسئله پایدار کردن همزمان مجموعه توابع انتقال فوق را می توان به یک مسئله بهینه سازی تبدیل ، و سپس حل کرد . فرض کنیم از مقادیر پارامترهای PSS کلاسیک جهت نقطه شروع برنامه بهینه سازی (مقدار اولیه بردار طراحی) استفاده شود . به دلیل وجود مسئله تداخل PSS ها در سیستم مورد مطالعه تابع انتقال ($g_2(s)$) با این کنترل کننده ، ناپایدار می شود . بنابراین جستجو در فضای طراحی با تغییر مقادیر اولیه بردار طراحی ، به منظور یافتن پارامترهای کنترل کننده مورد نظر آغاز می شود بدیهی است در این روش طراحی ، مصالحه ای در پایدار سازی توابع انتقال $g_2(s)$, $g_3(s)$ صورت می گیرد .

بهرحال با اعمال این روش و اجرای برنامه بهینه سازی پاسخ زیر بدست آمده است :

$$C(s) = 12.3 \frac{(1 + 0.132s)(1 + 0.043s)}{(1 + 0.01s)(1 + 0.003s)} \quad (6-5)$$

یکی از مزایای طراحی PSS به روش جدید ، که در اینجا مناسب است . به آن اشاره کنیم انعطاف پذیر بودن آن است . به این معنی که می توان با تغییر تابع هدف محدودیت های بیشتری را بر متغیرهای طراحی در جهت دستیابی به بهترین جواب ، اعمال کرد . قبل از مقایسه پایدار کننده (۵-۶) با PSS کلاسیک در قالب یک مثال به توضیح بیشتر این مطلب می پردازیم .

یکی از روشهای هماهنگ سازی PSS ها تطبیق منحنی فاز^۱ در یک محدوده فرکانس

[۱۲]، می باشد ایده فوق به سادگی می تواند در روش جدید طراحی PSS مورد

استفاده قرار گیرد. فرض کنیم پایدار کننده مورد نظر دارای دارای ساختار مرتبه دوم به شکل زیر باشد.

$$C(s) = k \frac{(s + z_1)(s + z_2)}{(s + p_1)(s + p_2)} \quad (7-5)$$

حال اگر α_i قدر مطلق زاویه تاخیری سیستم تک ماشین - شین بی نهایت متناظر با

ماشین $\theta_i, 3$ زاویه پایدار کننده $C(s)$ به ازاء مقادیر $S = j\omega_i$ باشد، می توان به کمک

تابع هدف زیر به جواب مناسب تری دست یافت. اگر X بردار طراحی باشد؛ صورت

مسئله بهینه سازی در این حالت به زبان ریاضی عبارتست از:

$$X = [k \ z_1 \ p_1 \ z_2 \ p_2]^T \quad (8-5)$$

Find X

(9-5)

$$\text{Minimize } f(X) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \theta_i)^2$$

$$\text{Subject to: } C(s) \text{ stabilize } \quad g_j(s) \quad j = 1, 2, 3$$

^۱ - در این روش سعی بر اینست که جبران فاز نه تنها در فرکانس خاص مود محلی، بلکه در محدوده ای از

به PSS فرکانس ها توسط جبران کننده صورت گیرد، بدین ترتیب در یک محدوده از فرکانس نوسانی سیستم، پایداری سیستم کمک می کند.

بدین ترتیب در بین پایدار کننده های مختلفی که شرط مسئله را برآورده میکنند ، می توان پایدار کننده ای را که به بهترین زاویه تأخیری سیستم را در محدوده فرکانس های مورد مطالعه جبران می کند ، انتخاب کرد .

خلاصه اینکه روش طراحی براساس چند نقطه کار با استفاده از تکنیک های بهینه سازی ، انعطاف پذیر بوده و طراح می تواند به سادگی شرط های مختلف را در طراحی لحاظ کند.

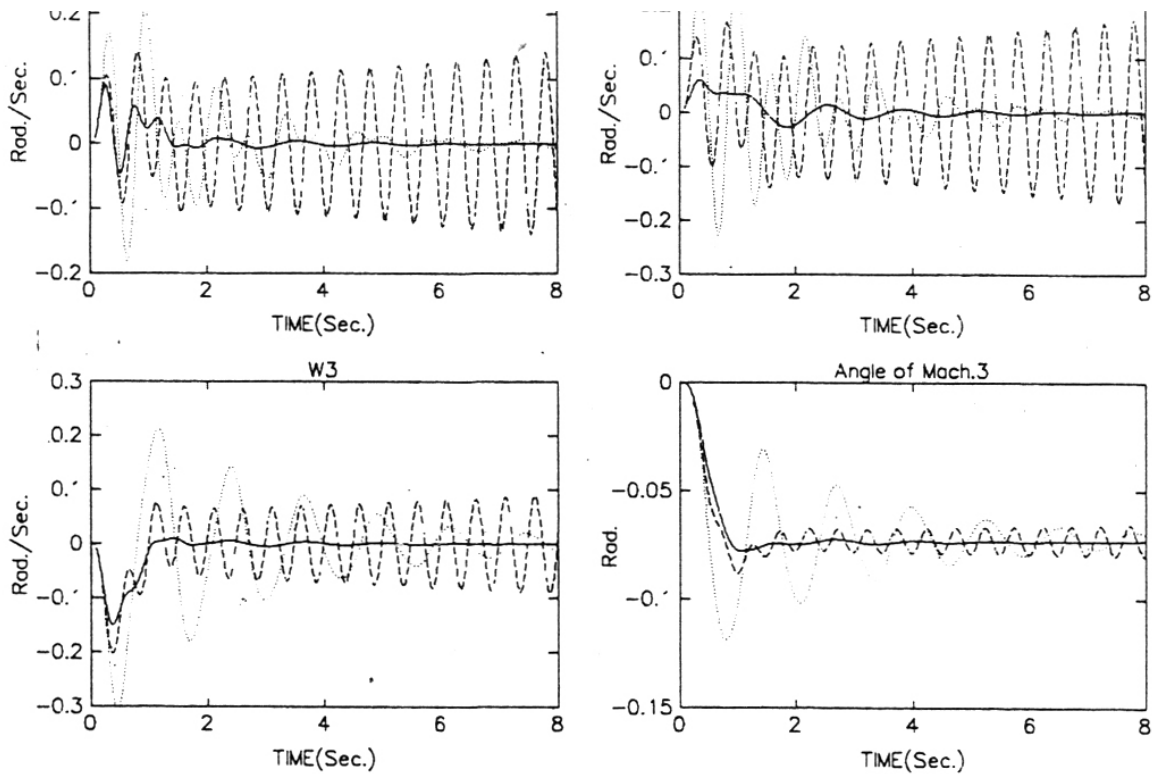
از آنجایی که نقاط کار در مسئله مورد مطالعه در این بخش مناسب انتخاب شده اند ، استفاده از تابع هدف جدید در طراحی ، بهبود قابل ملاحظه ای را به دنبال ندارد ، اما بهر حال پایدار کننده (۵-۶) بر اساس این تابع هدف بدست آمده است .

۵-۲-۴- مقایسه عملکرد دو نوع پایدار کننده به کمک شبیه سازی

کامپیوتری:

به منظور مقایسه عملکرد پایدار کننده کلاسیک با کنترل جدید پاسخ پله سیستم (مشابه فصل قبل) در شکل (۵-۱) رسم شده است در این شکل منحنی های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون به همراه منحنی تغییرات زاویه ماشین ۳ در سه حالت بدون کنترل ، با کنترل کلاسیک و با کنترل کننده جدید مقایسه شده اند . نقطه کار سیستم همان نقطه کار طراحی پایدار کننده های کلاسیک (زیر بخش (۵-۲-۲)) ، می باشد با این تفاوت که $K_{A3}=450$ انتخاب شده است .

همانطور که گفته شد ، تحت این شرایط پایدار کننده های کلاسیک تداخل کرده (نتایج جدول (۲-۵)) سیستم ناپایدار می شود . نگاهی به شکل (۱-۵) نشان می دهد اگر چه نوسانات پاسخ های سیستم بدون کنترل از میرایی قابل قبولی برخوردار نیست، اما بهر حال سیستم در این شرایط پایدار است . در حالیکه بر دامنه نوسانات پاسخ های سیستم وقتی به *PSS* های کلاسیک مجهز است بتدریج افزوده می شود. بعبارت دیگر به دلیل مسئله تداخل *PSS* ها سیستم ناپایدار دینامیکی است. حال هرگاه کنترل کننده (۶-۵) بجای *PSS* ماشین ۳ مورد استفاده قرار گیرد؛ نه تنها مشکل تداخل *PSS* ها رفع می شود . بلکه به مقدار قابل ملاحظه ای وضعیت نوسانی پاسخ های سیستم بدون کنترل نیز اصلاح شود . در واقع استفاده از پایدار کننده جدید سبب می شود که همه پایدار کننده ها به طور هماهنگ در جهت بهبود پایداری سیستم فعالیت کنند بنابراین با استفاده از روش طراحی *PSS* براساس مجموعه ای از مدل های سیستم و انتخاب مناسب این مجموعه مدلها، می توان پایدار کننده هایی هماهنگ به منظور رفع مسئله تداخل *PSS* ها طراحی کرد .



شکل (۱-۵) منحنی‌های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون و زوایه ماشین ۳

(بدون کنترل ۰۰۰، با PSSهای کلاسیک ---- و با کنترل مقاوم —)

۵-۳- طراحی کنترل کننده های بهینه (فیدبک حالت) قابل اطمینان

برای سیستم قدرت

۵-۳-۱) طراحی کنترل کننده فیدبک حالت بهینه

در کنترل بهینه سیگنال کنترل چنان تعیین می شود که محدودیت ها و قیود مختلف حاکم بر مسئله برآورده شده ، معیار معینی نیز بهینه (حداقل یا حداکثر) شود . این معیار به شاخص عملکرد^۱ یا تابع خرج^۲ موسوم است ، و بسته به نظر طراح انتخاب می شود . به زبان ریاضی مسئله کنترل بهینه عبارتست از می نیم سازی شاخص

^۱ - Performance Index

^۲ -Cost Function

عملکرد مشروط به اینکه محدودیت های مسئله نیز برقرار باشند. اکنون به بیان مسئله

تنظیم که در ادامه بحث مورد استفاده قرار می گیرد. می پردازیم.

تنظیم کننده^۱ های خطی:

فرض کنیم سیستم مورد مطالعه دارای مدل فضای حالت به شکل زیر باشد.

$$\dot{X} = AX + BU \quad (10-5)$$

که در آن X بردار حالت n بعدی، u بردار کنترل m بعدی و A, B ماتریس هایی ثابت

می باشند. شاخص عملکرد در مسئله تنظیم عبارتست از:

$$J = \int_0^{t_f} [X^T Q X + u^T R u] dt \quad (11-5)$$

که در آن t_f ثابت و ماتریسهای وزنی R, Q حقیقی متقارن و بترتیب نیمه معین مثبت و

معین مثبت میباشد هدف تعیین کنترل u است به قسمی که بردار حالت بدون صرف

نیروی کنترل زیاد، در نزدیکی مبدأ قرار گیرد.

هرگاه سیستم (10-5) کنترل پذیر و ماتریس های R, Q ثابت باشد و t_f زمان نهایی به

سمت بی نهایت میل کند، کنترل بهینه به فرم ذیل خواهد بود [۶۶]

$$u(t) = -R^{-1} B^T P X(t) = -K X(t) \quad (12-5)$$

که در آن P یک ماتریس مربعی متقارن و جواب معادله جبری زیر که به معادله

ریکاتی مرسوم است می باشد.

^۱-Regulator

$$PA + A^T P - PB^T R^{-1} B^T P + Q = 0 \quad (13-5)$$

از اوایل دهه هفتاد (۱۹۷۰) روش فوق (تئوری کنترل بهینه خطی) از طریق سیستم های تحریک به منظور پایدار سازی و بهبود پایداری به سیستم های قدرت اعمال شد [۱،۱۷]. در زیر بخش بعدی به این مطلب می پردازیم.

۵-۳-۲- کاربرد کنترل بهینه در پایدار سازی سیستم های قدرت چند

ماشینه:

اکنون روش طراحی فوق را جهت پایدار سازی سیستم قدرت مورد مطالعه در بخش (۳-۴) در یک کار ناپایدار به کار می بریم. همانطور که توضیح داده شد، سیستم سه ماشینه مورد مطالعه در نقطه کار ۲ دارای یک زوج مقدار ویژه ناپایدار (مودهای الکترو دینامیکی ماشین سنکرون ۳) می باشد. اکنون با استفاده از مدل فضای حالت سیستم در این نقطه کار، و تعیین ماتریس های وزنی R, Q و به کمک روابط (۵-۱۲) و (۵-۱۳) ماتریس گین فیدبک حالت بهینه K را می توان محاسبه کرد. در این حالت معادلات فضای حالت سیستم حلقه بسته عبارتست از:

$$\dot{X} = (A - BK) X + Br \quad (14-5)$$

که در آن r ورودی به سیستم حلقه بسته می باشد.

انتخاب ماتریس های وزنی R, Q موضوع تحقیق مقالات متعددی بوده است [۱۶، ۱۵، ۱۷]. در بحث پایداری دینامیکی سیستم های قدرت، یکراه منطقی جهت

بهبود میرایی نوسانات با فرکانس کم ، انتخاب ضرایب وزنی بزرگتر برای متغیرهای حالت سرعت و زاویه ماشینهای سنکرون در ماتریس Q می باشد به هر حال با توجه به ظرفیت نسبی ماشینها و آنالیز سعی و خطا در مسئله مورد مطالعه ماتریس های R, Q را به شکل زیر انتخاب می کنیم .

$$Q = \text{Diag} [1,1,10,10,10,100,1,1,1,0,0,0] \quad (15-5)$$

$$R = \text{Diag} [1,1,1] \quad (16-5)$$

متناظر با انتخاب فوق ماتریس K محاسبه شده و روش کنترل بهینه فیدبک حالت به سیستم اعمال می شود جدول زیر مقادیر مودهای الکترومکانیکی سیستم را در دو وضعیت بدون کنترل و با کنترل فیدبک حالت بهینه نشان می دهد . همانطورکه جدول نشان می دهد ، کنترل فوق همراه با پایدار سازی مود ناپایدار سایر مقادیر ویژه غالب سیستم را به نیز به سمت چپ صفحه مختلط منتقل کرده است . بنابراین کنترل کننده بهینه علاوه بر پایدار سازی سیستم در نقطه کار ناپایدار به نحو چشمگیری پایداری نسبی سیستم را نیز بهبود داده است .

جدول (۳-۵) مودهای الکترومکانیکی سیستم در دو وضعیت بدون کنترل و با کنترل بهینه

| بدون کنترل | با کنترل |
|-----------------------|------------------------|
| $-1.739 \pm j 13.475$ | $-6.764 \pm j 15.652$ |
| $-1.664 \pm j 12.159$ | $-11.191 \pm j 15.483$ |
| $+0.212 \pm j 8.728$ | $-5.644 \pm j 11.269$ |

شبیه سازی کامپیوتری نشان می دهد که هر چند سیگنال کنترل بر اساس مدل سیستم در یک نقطه کار مشخص طراحی شده است ، اما در محدوده وسیعی از تغییر شرایط نقطه کار ، سیستم از پایداری قابل قبولی برخوردار است .

۵-۳-۳- طراحی کنترل بهینه بر اساس مجموعه ای از مدل های سیستم :

در این قسمت به طراحی کنترل بهینه بر اساس مجموعه از مدل های یک سیستم می پردازیم فرض کنیم سیستم مورد مطالعه دارای r مدل خطی ، نامتغیر با زمان به شکل زیر باشد.

$$X = A_i X + B_i u \quad i=1,2,\dots,r \quad (۱۷-۵)$$

هدف تعیین کنترل فیدبک حالت است به قسمی که به طور همزمان r سیستم فوق را پایدار کند . مسئله فوق را می توان به تعریف شاخص عملکردی مشابه با مسئله تنظیم کننده خطی (ترکیب خطی شاخص های عملکرد متناظر با مدل های مختلف سیستم) به یک مسئله استاندارد کنترل بهینه تبدیل و سپس حل کرده در اینجا بدون آنکه وارد جزئیات مسئله شویم قضیه زیر را می پذیریم :

قضیه (۱-۵): [۲۷]

مجموعه سیستم های رابطه (۱۷-۵) به کمک روش فیدبک حالت با یک ماتریس گین ثابت به طور همزمان پایدار می شود؛ اگر و فقط اگر جوابهای دستگاه معادلات ریکاتی زیر (یعنی P_i ها) معین مثبت باشد.

$$\bar{A}_i^T P_i + P_i \bar{A}_i - P_i^T B_i R_i^{-1} B_i^T P_i + Q_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (18-5)$$

که در آن \bar{A}_i عبارتست از:

$$\bar{A}_i = A_i - B_i \sum_{j=1}^r R_j^{-1} B_j^T P_j \quad (19-5)$$

و Q_i, R_i ماتریس های وزنی متناظر با i امین مدل سیستم می باشد.

در اینصورت کنترل بهینه به فرم زیر خواهد بود.

$$U = -KX, K = \sum_{i=1}^r R_i^{-1} B_i^T P_i \quad (20-5)$$

از کاربردهای مهم روش فوق در طراحی کنترل کننده های مقاوم می توان به موارد

ذیل اشاره کرد. [۶۸]

الف) با استفاده از این روش می توان برای سیستم مورد مطالعه مدلهایی با تعداد تحریک کننده^۱ های کمتر (و یا تعداد حس کننده های^۲ کمتر) تعریف کرد. بدین منظور کافی است سطر متناظر با تحریک کننده مورد نظر در ماتریس B_i (یا ستون

^۱ - Actuator
^۲ - Sensor

متناظر با حس کننده مورد نظر در ماتریس C_i را متحد با صفر قرار داد . با قرار دادن چنین مدل‌هایی در مجموعه مدل‌هایی در مجموعه مدل‌های مورد نظر در طراحی می توان کنترل کننده‌ای مقاوم در برابر شکست تحریک کننده ها^۱ (حس کننده ها) طرح کرد .

ب) با در نظر گرفتن مدل‌های مرتبه بالا از سیستم که دینامیک های سریع را شامل می شوند در مجموعه مدل‌های طراحی ، می توان به کمک روش فوق کنترل کننده را چنان طرح کرد که ضمن پایدار بودن مجموعه کنترل کننده و مدل مرتبه بالای سیستم، مدل‌های مرتبه پایین سیستم نیز از پایداری نسبی قابل قبولی برخوردار شوند .

بنابراین روش می تواند جهت طراحی کنترل کننده های مقاوم در برابر عدم قطعیت های ناشی از حذف دینامیک های سریع مورد استفاده قرار گیرد .

حال با استفاده از روش ارائه شده در این زیر بخش ، به طراحی فیدبک حالت بهینه مقاوم در برابر شکست تحریک کننده برای سیستم قدرت مورد مطالعه می پردازیم . در این روش ماتریس گین فیدبک ، حالت K بایستی چنان طراحی شود که هرگاه سیگنال کنترل ورودی به یکی از ماشینهای سنکرون قطع شد پایداری سیستم به خطر نیفتد از آنجایی که در سیستم مورد مطالعه ماشین سنکرون ۳ نقش مهمی در پایداری کل سیستم دارد ، مدل فضای حالت ذیل را به همراه مدل اصلی سیستم به عنوان مجموعه مدل‌های طراحی در نظر می گیریم .

$$X=Ax+B_1U \quad (۲۱-۵)$$

^۱ - Fail Actuator

که در آن B_I, A با ماتریس های نمایش فضای حالت سیستم قدرت سه ماشینه بخش

(۳-۴) برابرند ، بجز اینکه سطر ۱۲ ماتریس B_I (سطری که سیگنال کنترل ماشین ۳ از

طریق آن به سیستم اعمال می شود .) متحد با صفر می باشد .

اکنون قضیه (۱-۵) را با همان ماتریس های وزنی داده شده در (۱۵-۵) و (۱۶-۵) در

مورد سیستم قدرت مورد مطالعه با مدل های فضای حالت به کار (A, B) , (A, B_I)

می بریم . بدین منظور ابتدا دستگاه معادلات ریکاتی کوپله به هم (۱۸-۵) با استفاده

از روش های تکراری حل شده و سپس با توجه به رابطه (۲۰-۵) ماتریس گین فیدبک

متناظر (k_r) محاسبه می شود . جدول (۴-۵) مقادیر مودهای الکترومکانیکی سیستم را

وقتی سیگنال ورودی به ماشین ۳ قطع شده است نشان میدهد . همانطور که در ستون

اول جدول دیده می شود ، وقتی سیستم به کنترل بهینه معمولی (طراحی بر اساس

یک نقطه کار) مجهز است ، با بروز خطای فوق رفتار سیستم به دلیل زوج مقدار ویژه

نزدیک به محور موهومی بشدت نوسانی می شود . در حالیکه وقتی از شیوه جدید

(طراحی بر اساس چند نقطه کار) استفاده می شود ، سیستم از پایدار نسبی قابل قبولی

برخوردار است.

جدول (۴-۵) مقادیر مودهای الکترومکانیکی سیستم در صورت بروز خطا

| روش جدید | روش قبلی |
|----------|----------|
| | |

| | | |
|------------------|------------------------|-----------------------|
| <i>Machine 1</i> | -4.787 ± 14.744 | $-5.566 \pm j 15.972$ |
| <i>Machine 2</i> | $-6.782 \pm j 15.786$ | -7.110 ± 16.411 |
| <i>Machine 3</i> | $-0.0591 \pm j 15.786$ | $-0.719 \pm j 16.411$ |

۵-۳-۴- پاسخ سیستم به ورودی پله :

در این قسمت مشابه فصل قبل به منظور مقایسه دو شیوه مختلف کنترل فیدبک حالت پاسخهای پله سیستم محاسبه شده و در یک شکل رسم می شوند .

شکل (۵-۲) تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون را وقتی سیگنال کنترل ماشین ۳ قطع شده است ، نشان می دهد منحنی های خط چین و خط پر در این شکل بترتیب متناظر با روش طراحی بر اساس چند نقطه کار و استفاده از روش طراحی بر اساس یک نقطه کار می باشد . مقایسه این نمودارهای بوضوح برتری شیوه جدید را نشان می دهد در شکل (۵-۳) دو روش در نقطه کار اصیل (بدون خطا) مقایسه شده اند .
نگاهی به این شکل نشان می دهد که دو روش در نقطه کار اصلی شبیه به هم عمل می کنند و مزیتی بر هم ندارند .

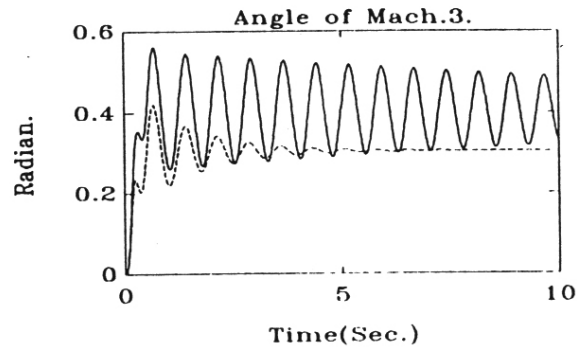
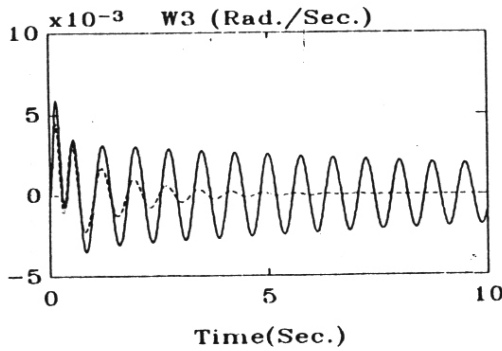
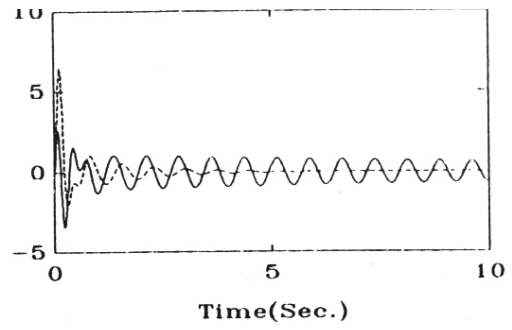
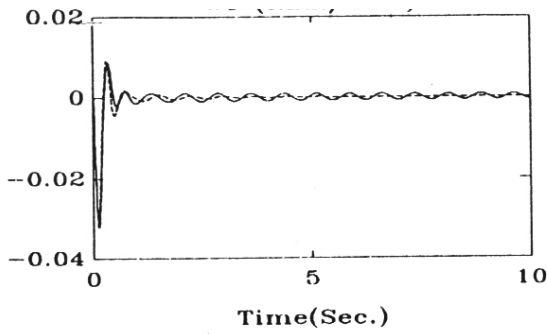
بنابراین طراحی کنترل فیدبک حالت بر اساس چند نقطه کار از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار است ، بطوریکه حتی اگر در بدترین حالت سیگنال کنترل یکی از ماشینهای سیستم قطع شود، پایداری سیستم به خطر نمی افتد . بدین ترتیب مزایای استفاده از

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

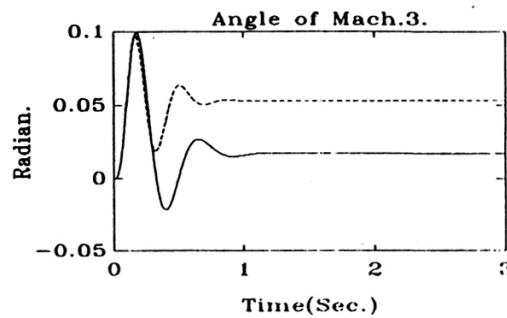
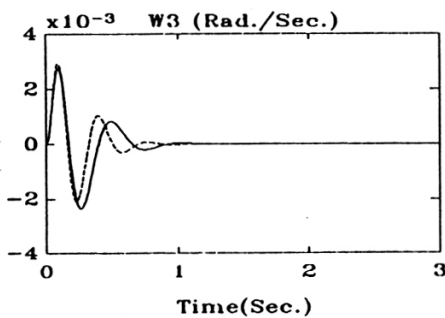
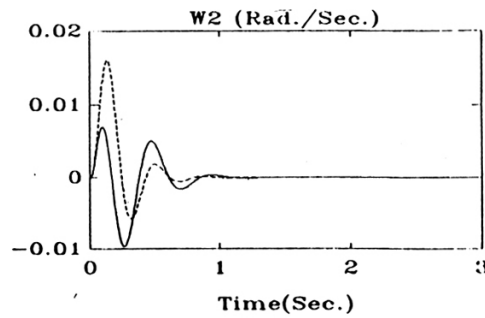
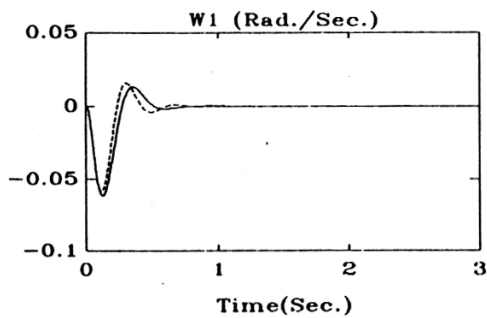
روش طراحی بر اساس مجموعه ای از مدل‌های سیستم مورد روش کنترل بهینه فیدبک

حالت نیز تعمیم می یابد .

www.kandoo.cn.com
www.kandoo.cn.com
www.kandoo.cn.com



شکل (۲-۵) منحنی های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون و زاویه ماشین ۳ در حالتی که سیگنال کنترل ماشین ۳ قطع شده است (کنترل بهینه معمولی ——— ، کنترل بهینه بر اساس مجموعه ای از نقاط کار ---)



شکل (۳-۵) منحنی های تغییرات سرعت ماشینهای سنکرون و زاویه ماشین ۳ در نقطه کار اصلی سیستم (کنترل بهینه معمولی ——— کنترل بهینه بر اساس مجموعه از نقاط کار ---)

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooen.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

فصل ششم

نتیجه گیری

۶-۱- بیان نتایج:

نتایج حاصل از مطالعات انجام گرفته در این پایان نامه را می توان به شرح زیر بیان کرد.

۱- ناتوانی روش *Nevalinna - Pick* در طراحی پایدار کننده های مقاوم برای

سیستم های قدرت تک ماشینه تحقیق شد. بعبارت دیگر استفاده از این روش به منظور

طراحی پایدار کننده های مقاوم در برابر تغییر پارامترهای و شرایط نقطه کار مناسب

نمی باشد. مطالعات انجام شده در این پایان نامه نشان داد که حتی در صورت برقراری

شرایط لازم برای وجود کنترل کننده های مقاوم، این کنترل کننده ها از عملکرد

ضعیفی در پایدار سازی سیستم برخوردارند.

۲- پایداری دینامیکی سیستم های قدرت چند ماشینه مورد مطالعه قرار گرفت. در این

مطالعه برای یک سیستم قدرت سه ماشینه، پایدار کننده های کلاسیک (*PSS*) بر

اساس مدل تک ماشین - شین بی نهایت در یک نقطه کار مشخص طراحی شده، و

سپس کارایی این کنترل کننده ها در پایدار سازی و بهبود پایداری سیستم در نقطه کار

فوق به کمک شبیه سازی کامپیوتری تایید شد.

۳- اثر تغییر پارامترها بر پایداری دینامیکی سیستم های قدرت چند ماشینه مورد

بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که حتی در حضور *PSS* های کلاسیک ممکن

است پایداری سیستم تهدید شود. بنابراین طراحی پایدار کننده های مقاوم در چنین

مواردی الزامی است.

۴- عدم کارایی روش *Kharitonov* در طراحی پایدار کننده های مقاوم ، به دلیل

محافظه کاری آن در مدلسازی عدم قطعیت های ناشی از تغییر پارامترها ، تحقیق شد .

۵- یک روش جدید جهت طراحی *PSS* (با الهام از روش *Kharitonov*) ارائه شد در

این روش که پایدار کننده بر اساس مجموعه ای از مدل های سیستم در نقاط کار مختلف

طراحی می شود ، مسئله طراحی پایدار کننده مقاوم به یک مسئله همزمان پایدار کردن

مجموعه ای از توابع انتقال تبدیل می شود . سپس مسئله اخیر در قالب یک مسئله

استاندارد بهینه سازی ، با استفاده از روش های برنامه ریزی غیر خطی حل می شود .

۶- عملکرد کنترل کننده های طراحی شده به کمک روش جدید ، با پایدار کننده های

کلاسیک (*PSS*) در یک سیستم قدرت سه ماشینه مورد مقایسه قرار گرفت و برتری

کنترل کننده های طراحی شده بر اساس مجموعه ای از نقاط کار به کمک شبیه سازی

کامپیوتری به اثبات رسید . مهمترین مزیت این کنترل کننده ها بهبود پایداری سیستم

در محدوده وسیعی از تغییر پارامترها می باشد .

۷- با انتخاب مناسب مجموعه مدل های طراحی ، نشان داده شد که روش طراحی جدید

می تواند به منظور هماهنگ سازی *PSS* ها به کار گرفته شود . در این راستا ابتدا

مشکل تداخل *PSS* ها در یک سیستم چند ماشینه مورد تحلیل قرار گرفت . سپس

نحوه کاربرد روش جدید به منظور رفع این مشکل تشریح شد .

بنابراین بطور خلاصه می توان روش طراحی بر اساس مجموعه‌ای از مدل های سیستم را به عنوان یک روش تعمیم یافته طراحی *PSS* تلقی کرد. در این روش طراح می تواند با گنجاندن مدل های مختلف سیستم در مجموعه مدلهای طراحی به اهدافی مانند: استحکام پایداری در برابر تغییر پارامترها و هماهنگی پایدار کننده ها دست یابد. عبارت دیگر روش طراحی فوق از انعطاف پذیری بالایی برخوردار است، بطوریکه طراح با تغییر تابع هدف می تواند محدودیت های بیشتری را روی پارامترهای کنترل کننده به منظور دستیابی به بهترین جواب در نظر بگیرد.

از دیگر مزایای *PSS* های جدید می توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) *PSS* های جدید دارای ساختاری مشابه با *PSS* های کلاسیک می باشند.

ب) در طراحی *PSS* های جدید دینامیک سایر ماشین های سیستم نیز در نظر گرفته می شود.

همچنین جهت کاهش زمان طراحی می توان از پارامترهای *PSS* کلاسیک به عنوان یک نقطه شروع برای برنامه بهینه سازی استفاده کرد.

۸- روش طراحی کنترل فیدبک حالت بهینه برای سیستم های قدرت چند ماشینه توضیح داده شد. سپس ضمن تحقیق این مطلب که با قطع یکی از سیگنالهای کنترل ورودی به ماشینهای سنکرون ممکن است پایداری سیستم تهدید شود، روش طراحی براساس مجموعه‌ای از مدلهای سیستم جهت رفع این مشکل به کار گرفته شد.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoocn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

Filename: Document1
Directory:
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application
Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title: چکیده :
Subject:
Author: 2
Keywords:
Comments:
Creation Date: 3/28/2012 5:35:00 PM
Change Number: 1
Last Saved On:
Last Saved By: H.H
Total Editing Time: 0 Minutes
Last Printed On: 3/28/2012 5:35:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 151
Number of Words: 19,543 (approx.)
Number of Characters: 111,399 (approx.)