دانشگاه تبریز

دانشکده برق

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق- قدرت

عنوان

طراحی پایدارساز سیستم قدرت با روشهای کنترل مقاوم

اساتید راهنما:

مهندس قاسم اهرابیان دکتر قاسم علیزاده

استاد مشاور:

۱۳۸۲/۹/۱۰

دکتر سید حسین حسینی

پژوهشگر:

آیدین سخاوتی

۶۹۴۸۹

شهریور ماه ۸۲

چکیده

نام خانوادگی دانشجو: سخاوتی **نام :** آیدین

عنوان پایان نامه : طراحی پایدار ساز سیستم قدرت باروشهای کنترل مقاوم

اساتید راهنما : دکتر قاسم علیزاده مهندس قاسم اهرابیان

استاد مشاور : دکتر سید حسین حسینی

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته :** مهندسی برق **گرایش :** قدرت

ورودی: ۷۹ **دانشگاه:** تبریز **دانشکده :** برق

کلید واژه : پایدار ساز سیستم قدرت ، تئوری فیدبک کمی

به منظور افزایش پایداری دینامیکی شبکه قدرت ، نیاز به طراحی *PSS* می باشد. با توجه به دینامیک متغیر با زمان و نامعینی های موجود در دینامیک شبکه قدرت ، پایدار ساز طراحی شده بایستی در تمامی نقاط کار سیستم پایداری و کارآیی سیستم را حفظ کند.

روشهای کلاسیک طراحی *PSS* برای یک نقطه کار طراحی شده و با تغییر نقطه کار و با وجود اغتشاشات و نامعینی ها کارآیی سیستم ها به شدت کاهش می یابد.در این پروژه با استفاده از روش کنترل مقاوم *(Robust Control)* طراحی صورت میگیرد.

نتایج شبیه سازی کامپیوتری با استفاده از نرم افزار *MATLAB* بر روی شبکه تک ماشینه و چند ماشینه نشانگر توانایی بالای این کنترل کننده می باشد .

۶۴۵۷

فهرست

فصل اول : مقدمه و بررسی منابع

۱-۱ : مقدمه ۲

۱-۲ : انواع مختلف پایدار ساز سیستم قدرت ۳

۱-۳ : پایداری ۵

۱-۳-۱ : پایداری زاویه روتور ۵

۱-۳-۲ : رابطه توان با زاویه روتور ۷

۱-۳-۳ : پدیده پایداری ۹

۱-۴ : نوسانات فرکانس پایین ۱۳

۱-۵ : اجزای اصلی شبکه قدرت ۱۵

۱-۶ : ژنراتور سنکرون ۱۶

۱-۶-۱ : مدل مرتبه دوم ژنراتور سنکرون ۱۶

۱-۶-۲ : مدل مرتبه سوم ژنراتور سنکرون ۱۷

۱-۶-۳ : مدل مرتبه بالای ژنراتور سنکرون ۲۰

۱-۶-۴ : سیستم تحریک ژنراتور سنکرون ۲۱

۱-۷ : گاورنر ۲۶

فصل دوم : روش تحقیق

۲-۱ : معادلات حلقه های مکانیکی والکتریکی ۲۹

۲-۱-۱ : حلقه مکانیکی ۲۹

۲-۱-۲ : حلقه الکتریکی ۳۱

۲-۱-۳ : ژنراتور با شار در بر گیرنده محور طولی ثابت ۳۴

۲-۱-۴ : ژنراتور سنکرون با ولتاژ تحریک ثابت ۳۵

۲-۱-۵ : ژنراتور سنکرون با تنظیم گر اتوماتیک ولتاژ ۳۷

۲-۱-۶ : بهبود پایداری دینامیکی توسط *PSS* ۴۱

فهرست

۲-۲ : پایدار ساز سیستم قدرت ۴۳

۲-۲-۱ : عناصر اصلی پایدار ساز سیستم قدرت ۴۳

۲-۲-۲ : طراحی پایدار ساز سیستم قدرت به روش کلاسیک ۴۴

۲-۳ : تئوری فیدبک کمی جهت طراحی کنترل کننده مقاوم ۵۱

۲-۳-۱ : مقدمه ۵۱

۲-۳-۲ : تغییرات پارامترها ۵۲

۲-۳-۳ : اصول روش *QFT* ۵۵

۲-۳-۴ : تعیین محدوده کارایی مطلوب ۵۸

۲-۳-۵ : مدلهای تعقیب کننده ورودی به خروجی ۵۹

۲-۳-۶ : مدلهای حذف اغتشاش ۶۲

۲-۳-۷ : محدوده تغییرات سیستم ۶۲

۲-۳-۸ :کانتور *U* ۶۵

۲-۳-۹ : رسم باندهای *Tracking* در دیاگرام نیکولز ۶۷

۲-۳-۱۰ : تعیین باند اغتشاش ۷۲

۲-۳-۱۱ : باند ترکیبی ۷۷

۲-۳-۱۲ : طرز شکل دهی و بدست آوردن $L_0(s)$ ۷۸

۲-۳-۱۳ : طراحی پیش فیلتر $F(s)$ ۸۶

۲-۳-۱۴ : طراحی به روش *QFT* برای سیستم های ناپایدار ۹۷

۲-۳-۱۵ : طراحی به روش *QFT* برای سیستمهای چند ورودی چند خروجی ۱۰۱

فصل سوم : بحث و نتیجه گیری

۳-۱: طراحی *PSS* به روش *QFT* برای سیستم قدرت تک ماشینه ۱۱۳

۳-۲ : سیستم سوئیچ کنترل کننده ۱۲۷

۳-۳: طراحی *PSS* به روش *QFT* برای سیستم قدرت سه ماشینه *(MIMO)* ۱۳۰

۳-۴ : نتایج و پیشهادات کلی ۱۳۷

فهرست

۱-۴-۳: نتایج ۱۳۷

۲-۴-۳: پیشنهادات ۱۳۸

مراجع ۱۳۹

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

(۱-۱) مقدمه:

نوسانات فرکانس پایین در سیستمهای قدرت یکی از معضلاتی است که مهندسین برق همواره با آن مواجه بوده‌اند و برای هرچه سریعتر میرا کردن آن نوسانات از پایدار سازهای سیستم قدرت استفاده می کنند. فرکانس این نوسانات معمولاً بین ۰/۵-۲Hz و در حالت حدی خود بین ۰/۱-٤Hz می‌باشد. پایدار سازها در این فرکانسها به گونه ای عمل می‌کنند تا گشتاور میراکننده را به میزان معقولی افزایش دهند.

پایداری سیستم قدرت را می‌توان بطور کلی، ویژگی از سیستم دانست که آن را قادر می‌سازد تا تحت وضعیت عادی در حالت تعادل باقی بماند. در صورتی که تحت تاثیر اغتشاشی قرار گیرد. مجدداً حالت قابل قبول متفاوتی را بدست آورد. ناپایداری در یک سیستم قدرت ممکن است بستگی به ترکیب سیستم و حالت کاری آن به اشکال مختلفی بروز کند.

از آنجائی که تولید در سیستم قدرت بر پایه ماشینهای سنکرون (ژنراتورها) استوار است شرط لازم برای عملکرد قابل قبول سیستم این است که همه ماشینهای مزبور با یکدیگر در حالت سنکرون باقی بمانند. عموماً در طراحی پایدار سازها از مدل خطی شده سیستم حول یک نقطه کار استفاده می‌شود. برای سیستم تک ماشینه متصل به شین بینهایت از مدل مشهور هفرون- فلیپس که اغلب مهندسین برق با آن آشنا می‌باشند استفاده می گردد.

با استفاده از این مدل خطی، پایدارسازی برای سیستم قدرت طراحی می شود که باعث افزایش پایداری دینامیکی سیستم و در نتیجه میراشدن سریع نوسانات فرکانس پایین می‌گردد.

البته روش طراحی پایدار سازها متفاوت بوده و تاکنون از تئوری کنترل کننده‌های خطی مدرن، بهینه، تطبیقی، فازی، مقاوم و ... در این زمینه کمک گرفته شده است.

(۲-۱) انواع مختلف پایدارساز سیستم قدرت

طراحی کلاسیک *PSS* براساس جبران کننده‌های پیشفاز می‌باشد. این کنترل کننده ها برای یک نقطه نامی طراحی و تنظیم می شوند. سیستم کنترل شده در چنین *PSS*هایی از استحکام و عملکرد مناسبی برخوردار نمی‌باشد و تنها در یک محدوده کوچک از تغییرات نقطه کار پایداری خود را حفظ می کند.

تئوری کنترل بهینه براساس مدل فضای حالت نیز در طراحی *PSS* مدرن استفاده شده و کارآیی آن را بهبود بخشیده است، اما استحکام و انعطاف‌پذیری سیستم هنوز بعنوان یک مساله مهم باقی مانده است. در این *PSS*ها چنانچه تغییرات نقطه کار نسبت به نقطه نامی بزرگ باشد، کارآیی سیستم از محدوده مطلوب خارج می گردد.

روش دیگر برای طراحی *PSS* کنترل تطبیقی می‌باشد. که اخیراً توسعه زیادی یافته است این روش با وجود اینکه می‌تواند مساله حفظ کارآیی مطلوب سیستم را با وجود تغییر پارامترها حل کند، ولی نتیجه طراحی، یک سیستم کنترل بسیار پیچیده در مقایسه با کنترل کننده‌های کلاسیک است.

کنترل کننده تطبیقی مشکلات مخصوص به خود از قبیل همگرایی و دینامیک مدل نشده را نیز به همراه دارد. چنانچه مشاهده می‌شود در سالهای اخیر شبکه‌های عصبی و سیستمهای کنترل هوشمند نیز در طراحی *PSS* بکار گرفته شده است.

تئوری کنترل مقاوم ما را قادر می سازد که با توجه به نامعینی‌هایی که برای یک سیستم وجود دارد، برای آن کنترل کننده‌ای طراحی کنیم که پایداری سیستم حلقه بسته همراه با تغییرات مزبور را تضمین کند البته ذکر این نکته ضروری است که اگر میزان عدم قطعیت در سیستم زیاد باشد ممکن است چنین کنترل کننده هایی وجود نداشته باشد که در این صورت روش فوق ما را از وجود و یا عدم وجود آن آگاه می‌سازد. انرژی کنترلی مصرف شده در این روش زیاد می باشد.

(۳-۱) پایداری *[1,2,15,16]*

در ارزیابی پایداری، مساله مهم رفتار سیستم زمانی است که تحت تاثیر یک اغتشاش گذرا قرار می گیرد. اغتشاش ممکن است کوچک یا بزرگ باشد.اغتشاشات کوچک دائماً به شکل تغییرات بار در شبکه موجود است و سیستم تولید باید خود را دائماً با وضعیت متغیر حاصل تنظیم کند. سیستم باید قادر باشد که تحت این حالت عملکرد قابل قبولی داشته باشد و بتواند میزان بار مورد نیاز را تامین نماید. همچنین سیستم باید بتواند در مقابل اغتشاشهای بزرگ، نظیر اتصال کوتاه یک خط انتقال، از دست دادن یک ژنراتور و یا باربزرگ مقاوم باقی بماند. عملکرد سیستم در مقابل چنین اغتشاشات بزرگی عمدتاً ناشی از نحوه عملکرد تجهیزات تشکیل دهنده آن می‌باشد. بعنوان مثال اتصال کوتاهی که بر یک جزء از سیستم واقع می‌شود در اثر آن، جزء مزبور توسط رله‌های محافظ از کل سیستم جدا می گردد، باعث تغییرات در توانایی انتقالی خطوط ارتباطی، سرعتهای روتور ژنراتورها وهمچنین ولتاژ شینها می شود.

(۱-۳-۱) پایداری زاویه روتور:

پایداری زاویه روتور توانایی ماشینهای سنکرون بهم پیوسته یک سیستم قدرت در حفظ حالت سنکرون با یکدیگر می باشد. مساله پایداری در این حالت شامل مطالعه نوسانهای الکترومکانیکی است که بطور ذاتی در سیستمهای قدرت وجود دارد. نکته مهم در این مساله چگونگی رفتار توانهای خروجی ماشینهای سنکرون در مقابل نوسانات روتور آنها است. بحث کوتاهی در خصوص مشخصه‌های ماشین سنکرون شامل دوجزء اساسی تحریک و آرمیچر میباشد. معمولاً تحریک روی روتور و آرمیچر روی استاتور واقع است. سیم پیچ تحریک با استفاده از جریان مستقیم تغذیه می شود. زمانی که روتور را با یک محرک بچرخانیم (مثلاً

توربین)، میدان مغناطیسی دوار سیم پیچ تحریک ولتاژهای متناوبی در سه فاز سیم پیچ آرمیچر استاتور، القاء می کند. فرکانس ولتاژ متناوب القاء شده و جریانهای حاصل در سیم پیچی‌های استاتور بستگی به سرعت روتور دارد. از اینرو مشاهده می شود که فرکانس متغیرهای الکتریکی (ولتاژ و جریان) استاتور با سرعت مکانیکی چرخش روتور، سنکرون می باشد. زمانی که دو یا چند ماشین سنکرون به یکدیگر متصل می شود، باید ولتاژ و جریان استاتور همه ماشینها دارای فرکانس یکسانی باشد. از اینرو تمام ماشینهای سنکرون بهم پیوسته باید با یکدیگر سنکرونیزه باشند.

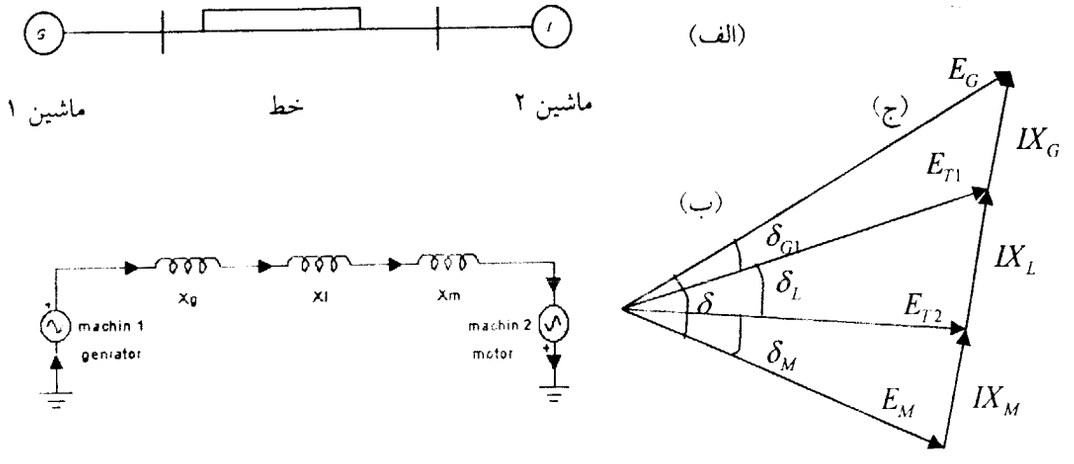
توزیع فضایی سیم پیچی‌های استاتور ماشین سنکرون به گونه ای است که جریانهای متغیر با زمان عبوری از سیم پیچی‌های سه فاز آن، در حالت ماندگار، میدان دواری ایجاد می‌کند که با سرعت روتور می چرخد. میدانهای روتور و استاتور بر یکدیگر تاثیر می‌گذارند و چون هر دو میدان سعی دارند تا در یک جهت قرار گیرند گشتاور الکترومغناطیسی تولید میشود، در یک ژنراتور این گشتاور در خلاف جهت چرخش روتور بوجود می آید. بگونه ای که لازم است، گشتاور مکانیکی بوسیله توربین اعمال شود تا چرخش روتور همچنان حفظ گردد.

گشتاور یا توان خروجی ژنراتور زمانی تغییر می کند که گشتاور ورودی مکانیکی توسط محرک (توربین) تغییر نماید. تاثیر افزایش گشتاور مکانیکی آن است که روتور را در وضعیت جدیدی قرار می‌دهد که نسبت به میدان دوار مغناطیسی استاتور، جلوتر واقع شود و همچنین کاهش گشتاور یا توان مکانیکی ورودی، روتور را عقب‌تر از میدان دوار مغناطیسی استاتور قرار می‌دهد.

در حالت ماندگار، میدان روتور و میدان دوار ناشی از جریانهای استاتور دارای سرعت یکسانی هستند. با وجود این مقداری اختلاف زاویه بین آنها وجود دارد که بستگی به گشتاور (توان) خروجی الکتریکی ژنراتور دارد.

(۲-۳-۱) رابطه توان با زاویه روتور:

مشخصه مهمی که در خصوص پایداری سیستم قدرت اهمیت دارد رابطه بین توان مبادله شده و موقعیت زاویه‌ای روتور ماشینهای سنکرون است. این رابطه کاملاً غیرخطی است. برای نشان دادن موضوع، سیستم ساده شده شکل (۱) را در نظر می‌گیریم. این سیستم شامل دو ماشین سنکرون است که از طریق خط انتقال با راکتانس X_n به یکدیگر متصل شده اند، از مقاومت و ظرفیت خازنی خط صرف نظر شده است. فرض کنید ماشین شماره (۱) ژنراتور سنکرونی است که ماشین شماره (۲) را که یک موتور سنکرون است، تغذیه می‌کند.



شکل(۱) شبکه ساده (الف) نمودار تک خطی (ب) مدل ایده آل (ج) نمودار فازوری

توان انتقال یافته از ژنراتور به موتور تابعی از زاویه δ است که اختلاف زاویه بین روتورهای دو ماشین را نشان می‌دهد. زاویه δ خود از سه مولفه تشکیل شده است. زاویه داخلی ژنراتور بنام δ_G، زاویه‌ای است که روتور ژنراتور نسبت به میدان حاصل از استاتور آن جلوتر است. δ_L ، اختلاف زاویه بین ولتاژهای پایانه ژنراتور و موتور (یعنی زاویه ای که میدان استاتور ژنراتور از میدان استاتور موتور جلوتر است) δ_M، زاویه داخلی موتور (زاویه ای است که روتور موتور نسبت به میدان حاصل از استاتور موتور عقبتر است). شکل (ب-۱) مدلی از سیستم را نشان می‌دهد که به کمک آن می توان رابطه توان- زاویه را بدست آورد.

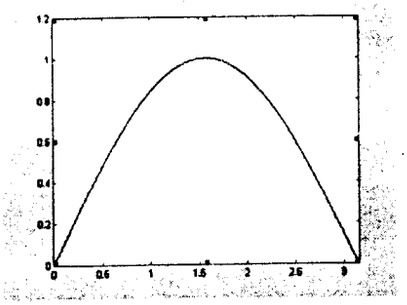
برای هر ماشینی، مدل ساده ای شامل یک منبع داخلی ولتاژ و یک راکتانس موثر فرض شده است. برای مطالعات حالت ماندگار، کافی است که راکتانس سنکرون را به همراه ولتاژ تحریک بعنوان منبع داخلی ولتاژ بکار برد.

نمودار فاز ورودی که ارتباط بین ولتاژها را نشان می‌دهد در شکل (ج-۱) نشان داده شده است توان انتقالی از ژنراتور به موتور برابر است با:

$$P = \frac{E_G E_M}{X_T} Sin\delta \qquad (۱)$$

$$X_T = X_G + X_L + X_M \qquad (۲)$$

رابطه توان- زاویه در شکل (۲) رسم شده است. با مدلهای نسبتاً ایده‌آلی که برای ماشینها فرض شد، رابطه بدست آمده بصورت سینوسی است که رابطه کاملاً غیرخطی را نشان میدهد. با مدلهای دقیقتر ماشین که تاثیر سیستمهای تحریک (AVR) را نیز در نظر گرفته، رابطه توان- زاویه به میزان زیادی از حالت سینوسی خارج می شود.



شکل(۲) : رابطه توان ـ زاویه

با توجه به رابطه فوق زمانی که زاویه صفر است هیچ توانی مبادله نمی شود، هرچه زاویه افزایش داده می شود توان نیز افزایش می یابد. تا به حداکثر خود برسد. اگر زاویه از 90^0 بیشتر شود توان کاهش می یابد. از اینرو در حالت ماندگار می توان حداکثر توانی مشخص را از ژنراتور انتقال داد. مقدار این توان با ولتاژهای داخلی ژنراتور و موتور رابطه مستقیم و با مجموع راکتانسها هر دو ماشین و خط انتقال رابطه معکوس دارد.

(۳-۳-۱) پدیده پایداری

در حالت ماندگار تعادل بین گشتاورهای مکانیکی ورودی و گشتاور الکتریکی خروجی وجود دارد و سرعت ثابت باقی می ماند. اگر سیستم دستخوش تغییرات شود یا به عبارت دیگر در معرض اختلالی قرار گیرد، این تعادل از بین می‌رود و در نتیجه روتور ماشینها براساس قوانین حرکتی اجسام دوار، شتاب مثبت یا منفی پیدا می کند. اگر بطور لحظه‌ای ژنراتوری نسبت به ژنراتور دیگر سریعتر بچرخد، موقعیت زاویه‌ای روتور آن نسبت به ماشین کندتر، جلوتر قرار می گیرد.

بسته به رابطه توان- زاویه، اختلاف زاویه بین روتور دوماشین باعث می شود تا بخشی از بار ماشین کند به ماشین تند منتقل شود. این موضوع سبب می شود که اختلاف سرعت و در نتیجه اختلاف زاویه روتور کاهش یابد.

همچنان که ذکر شد رابطه توان- زاویه به شکل سینوس می‌باشد. این موضوع سبب میشود که بالاتر از حد مشخصی، افزایش در اختلاف زاویه باعث کاهش در توان مبادله شده گردد و از این رو اختلاف زاویه باز هم بیشتر می شود و این امر منجر به ناپایداری سیستم میگردد.

در سیستمهای قدرت می‌توان با بروز اغتشاش، تغییرات گشتاور الکتریکی یک ماشین سنکرون را به دو مولفه تجدید کرد:

$$\Delta T_e = T_s \Delta\delta + T_D \Delta\omega \qquad (۳)$$

که $T_S \Delta\delta$ مؤلفه‌ای از تغییرات گشتاور است که با تغییرات زاویه روتور، $\Delta\delta$ همفاز است و از آن بنام مولفه گشتاور سنگرون کننده یاد می شود. T_S، ضریب گشتاور سنکرون کننده است. $T_D \Delta\omega$ مولفه‌ای از تغییرات گشتاور است که با تغییرات سرعت، $\Delta\omega$، همفاز است و از آن بنام مولفه گشتاور میرا کننده یاد می شود. T_D ضریب گشتاور میرا کننده است.

پایداری سیستم بستگی به وجود هر دو مولفه گشتاور برای هر ماشین سنکرون دارد. کمبود گشتاور سنکرون کننده منجر به ناپایداری از طریق رانش غیرنوسانی (*Aperiodic Draft*) زاویه روتور می‌شود از طرف دیگر، کمبود گشتاور میرا کننده هم منجر به ناپایداری نوسانی (*Oscillatory*) می‌شود.

مطالعه پایداری سیستم قدرت با توجه به نوع و دامنه اختلال به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

الف) پایداری حالت دائمی: