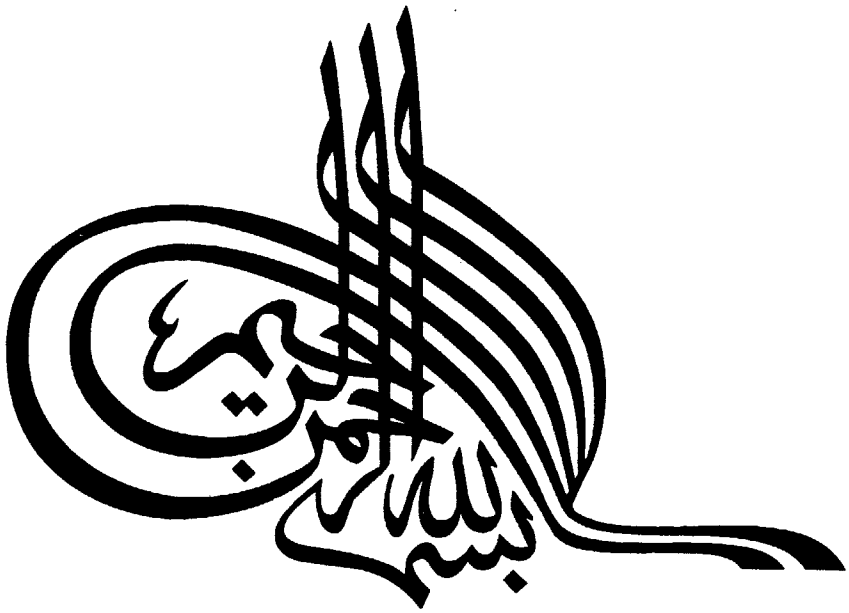


٣٠٨٧٩

۱۳۷۹ /۲/ ۴۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکدهٔ مهندسی برق وکامپیوتر

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

کنترل جبران‌کنندهٔ استاتیکی توان راکتیو (SVC) با استفاده از منطق فازی جهت بهبود پایداری دینامیکی سیستمهای قدرت

استاد راهنما: محمد معلم

8369

پایان نامه کارشناسی ارشد
در
مهندسی برق - قدرت

عباس جانی قربان
مهر ۱۳۷۷

۳۰ ۸۷۹

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای عباس جانی قربان

تحت عنوان :

کنترل جبران‌کنندهٔ استاتیکی توان راکتیو (SVC) با استفاده از منطق فازی جهت بهبود پایداری دینامیکی سیستمهای قدرت

در تاریخ ۱۳۷۷/۷/۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه **آقای دکتر مهدی معلم**

۲- استاد مشاور پایان نامه **آقای دکتر ولی الله طحانی**

مسئول کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده **آقای دکتر علی محمد دوست حسینی**

تقدیم به :

روان شاد پدرم که استوارترین پشتوانه‌ام بود و
مادرم که سرچشمه فداکاری و مهربانیش همیشگی است و
تمامی شهیدان که هر قلمی در پرتو نور آنان می‌نویسد و
عموم معلمان دلسوز که پایه رشد و تربیت نسل فردا هستند.

سپاسگزاری

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات و راهنمایی‌های استاد گرامی آقای دکتر معلم استاد راهنمای پروژه که در طی مراحل مختلف این تحقیق از راهنمایی و حمایت ایشان بهره‌مند شدم صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از استاد گرامی آقای دکتر طحانی استاد مشاور پایان‌نامه که در انجام این پروژه همواره از دقت نظر و راهنمایی‌های ایشان بهره‌مند بوده‌ام قدردانی می‌کنم.

از استاد گرامی آقای دکتر قوجه‌بکلو که علاوه بر شرکت در جلسهٔ سمینار اینجانب بعنوان عضو شورای داوری، در مدت سفر مطالعاتی جناب آقای دکتر معلم، بعنوان استاد راهنما از نظرات ایشان بهره‌مند بودم صمیمانه سپاسگزارم. از آقای دکتر دوست حسینی که در جلسه سمینار شرکت نمودند و هم بخاطر راهنمایی‌ها و مساعدتهای ارزنده ایشان بعنوان استاد راهنمای دوره قدردانی می‌کنم. از آقای دکتر سلطانی بعنوان عضو شورای داوری جلسه سمینار، همچنین سایر اساتید گرانقدر دانشکده ، خانواده‌ام و دوستانی که در جلسه دفاع از پایان‌نامه شرکت کرده بودند صمیمانه سپاسگزارم.

همچنین از آقای همدانی گلشن، جانشین مدیر این پروژهٔ تحقیقاتی بخاطر همکاری و راهنماییهای سودمند ایشان تشکر و قدردانی می‌کنم.

در پایان از تمامی عزیزانی که همواره مرا در انجام و به انتها رساندن این پایان‌نامه راهنمایی و یاری نمودند بخصوص جناب آقای دکتر منتظری ریاست محترم دانشکده، کارکنان محترم دانشکده، دوستان و خانواده‌ام کمال تشکر را دارم و برای تمامی این عزیزان از درگاه خداوند متعال سربلندی و بهروزی آرزومندم.

عباس جانی‌قربان

آبان ۱۳۷۷

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده .....هشت

فصل اول : مقدمه

۱ - ۱-کلیات.....۱

۱ - ۲ - روند ارائه مطالب.....۳

فصل دوم : مدلسازی اجزاء سیستم قدرت و تئوری تأثیر SVC

در میرایی سیستم

۲ - ۱ - مقدمه.....۴

۲ - ۲ - توربین بخار یا توربین آبی و گاور نر.....۵

۲ - ۳ - ژنراتور سنکرون.....۶

۲ - ۴ - سیستم تحریک.....۸

۲ - ۴ - ۱ - مدل سیستم تحریک.....۹

۲ - ۵ - مدل شبکهٔ چند ماشینه با بار با امپدانس ثابت [۲۱].....۱۰

۲ - ۶ - جبران کننده های استاتیکی توان راکتیو (SVC).....۱۲

۲ - ۶ - ۱ - انواع SVC.....۱۳

۲ - ۶ - ۲ - اصول کار جبران کننده با راکتور تریستور کنترل (TCR).....۱۴

۲ - ۶ - ۳ - کاربردهای SVC.....۱۸

۲ - ۶ - ۴ - مدل SVC برای مطالعهٔ تداخلهای کوچک و بزرگ در سیستم

قدرت ۱۹
۲ - ۷ - تأثیر SVC روی میرایی نوسانات سیستم [۲۰]..... ۲۰
۲ - ۷ - ۱ - مطالعهٔ استراتژی کنترل SVC..... ۲۲
۲ - ۷ -۲ - کنترل $\Delta\delta$..... ۲۴
۲-۷-۳- کنترل$\Delta\omega$ ۲۵
۲-۷-۴- بهترین محل نصب SVC دریک سیستم قدرت..... ۲۶

فصل سوم : منطق فازی و روشهای کنترلی

۳ - ۱ - مقدمه..... ۲۸
۳ - ۲ - مروری بر منطق فازی ۲۸
۳ - ۲- ۱- مجموعه های فازی ۲۸
۳ - ۲ - ۲ - قوانین فازی ۳۰
۳ - ۳ - کنترل کنندهٔ فازی ابتکاری..... ۳۱
۳ - ۳ - ۱ - عملکرد کنترل کننده ۳۱
۳ - ۳ - ۲ - ساختار و منطق کنترل کننده ۳۳
۳ - ۳ - ۳ - روش تنظیم پارامترها ۳۵
۳ - ۴ - کنترل کنندهٔ فازی سوگینو..... ۳۶
۳ - ۴ - ۱ - مقدمه ۳۶
۳ - ۴ - ۲ - قوانین فازی از نوع سوگینو و نحوهٔ استنتاج از آنها ۳۷
۳ - ۴ - ۳ - روش بدست آوردن ضرایب مؤخر قوانین فازی نوع سوگینو..... ۳۸
۳ - ۴ - ۴ - روش کمترین مربعات خطا (LSE) ۳۹
۳ - ۴ - ۵ - روش طراحی کنترل کننده فازی سوگینو در سیستم قدرت..... ۴۱

۳ - ۵ - کنترل بهینه ۴۲

۳ - ۵ - ۱ - اصول کنترل بهینه ۴۳

۳ - ۵ - ۲ - تعیین ماتریس وزنی Q بر اساس آنالیز حساسیت ۴۵

فصل چهارم : بررسی نتایج کامپیوتری کنترل‌کننده‌های مختلف

۴ - ۱ - مقدمه..... ۴۸

۴ - ۲ - سیستم سه ماشینه..... ۴۸

۴ - ۳ - بررسی مقاوم بودن کنترل‌کننده فازی سوگینو ۵۱

فصل پنجم : نتیجه گیری و طرح پیشنهادات

۵ - ۱ - نتیجه گیری ۷۱

۵ - ۲ - پیشنهادات ۷۲

مراجع :..... ۷۳

ضمیمه الف : روابط ریاضی اجزاء سیستم قدرت

ضمیمه ب : نمادها و پارامترهای سیستم مورد مطالعه

چکیده

به لحاظ گستردگی و نقش مهم سیستمهای قدرت در تامین انرژی الکتریکی، پایداری این سیستمها یکی از مهمترین مسائل مورد بررسی متخصصین این رشته بوده‌است و طی سالهای اخیر مطالعات زیادی برای افزایش پایداری سیستمهای قدرت انجام شده است. از جمله مسائل مهم در پایداری سیستمهای قدرت افزایش میرایی نوسانات الکترومکانیکی است. این نوسانات با تحریک شدن مودهای مکانیکی ژنراتورها بدنبال یک اختلال در شبکه بوجود می‌آیند و دارای فرکانسهای کم درحد چند هرتز می‌باشند. نوسانات الکترومکانیکی در صورتیکه سریعاً میرا نشوند می‌توانند پایداری سیستم قدرت را تهدید کنند و باعث جدا شدن قسمتهای مختلف شبکه از یکدیگر و بخصوص باعث خروج ژنراتور ها از سیستم قدرت شوند. یکی از سیستم‌هایی که در سالهای اخیر برای میرا کردن نوسانات الکترومکانیکی مورد استفاده قرار گرفته است جبران کننده استاتیکی توان راکتیو (SVC) است. این جبران کننده ها از سرعت بالایی برخوردار هستند و در قسمت‌های مختلف شبکه می‌توان از آنها استفاده کرد.

در این رساله، روش کنترل بهینه و روش کنترل فازی برای کنترل جبران کننده استاتیکی توان راکتیو به منظور افزایش میرایی نوسانات فرکانس پایین سیستم های قدرت بررسی و با نتایج کنترل ساختار متغیر مقایسه شده است.روش کنترل فازی به خاطر کاهش تعداد متغیرهای ورودی و در عین حال برخورداری از یک ساختار غیر خطی و مقاوم برای سیستم های بزرگ و گسترده مناسبتر است.

فصل اول

مقدمه

۱ - ۱ -کلیات

عملکرد مناسب یک سیستم قدرت بطور عمده بستگی به فراهم کردن یک سرویس قابل اطمینان و بدون قطع برای مصرف کننده‌ها دارد . از طرفی یک سیستم بزرگ قدرت دائماً دستخوش تغییرات بار و اختلالهایی نظیر قطع خطوط یا اتصال کوتاه است . در چنین شرایطی اجزاء سیستم به همراه کنترلهای مربوطه باید توانایی آن را داشته باشند که پایداری سیستم را حفظ کنند.

در سیستمهای قدرت می‌توان با بروز اغتشاش ، تغییرات گشتاور الکتریکی یک ماشین سنکرون را به دو مؤلفه تجزیه کرد. مؤلفه‌ای از تغییرات گشتاور که با تغییرات زاویه روتور همفاز است و از آن بنام مؤلفه گشتاور سنکرون کننده[1] یاد می‌شود و مؤلفه ای از تغییرات گشتاور که با تغییرات سرعت همفاز است و از آن بنام مؤلفه گشتاور میرا کننده[2] یاد می‌شود. پایداری سیستم بستگی به وجود هر دو مؤلفه گشتاور برای هر ماشین سنکرون دارد.

1- Synchronizing Torque

2- Damping Torque

کمبود گشتاور سنکرون کننده منجر به ناپایداری از طریق رانش غیر نوسانی زاویه روتور می‌شود. از طرف دیگر کمبود گشتاور میرا کننده هم منجر به ادامهٔ نوسانات الکترومکانیکی می‌گردد که ممکن است منجر به ناپایداری سیستم شود. در سیستمهای بزرگ قدرت بعلت بر هم کنش واحدهای مختلف نسبت به یکدیگر میرایی نوسانات ضعیف شده و ناپایداری نوسانی تشدید میشود.

در حقیقت اگر نوسانات الکترومکانیکی سیستم مدت زمان زیادی ادامه پیدا کنند ممکن است قسمتهای مختلف سیستم از هم جدا شود و حتی در نهایت با عملکرد حفاظت، ژنراتورها از مدار خارج شوند. همچنین این نوسانات در صورت تطبیق با مودهای مکانیکی ژنراتورها می‌تواند باعث پدیده تشدید زیر سنکرون[1] شده و باعث آسیب به محور ژنراتورها گردد. در مقابل با سریعتر میراکردن نوسانات علاوه بر پایداری سیستم ظرفیت انتقال نیز افزایش می‌یابد.

برای میرا کردن این نوسانات احتیاج به تجهیزات مناسب و اعمال کنترل مناسب بر روی سیستم داریم . اعمال کنترل می‌توا ند از طریق کنترل توان ورودی به ژنراتور [۱] ، کنترل تحریک ژنراتور [۲ - ۵] ، کنترل واحدهای جبران توان راکتیو [۶ - ۱۲] و کنترل کنورتور HVDC[2] [۱۳] صورت‌گیرد .

بکارگیری پایدارسازهای سیستم قدرت[3] به منظور کنترل سیستمهای تحریک ژنراتور، اقتصادی ترین روش تقویت پایداری سیگنال کوچک سیستمهای قدرت می‌باشد. البته میزان میرایی که از این طریق افزوده می‌شود به خاطر ثابت زمانی تحریک و مشخصات اشباع آن محدود می‌باشد.

راه حل مؤثر دیگر استفاده از واحدهای جبران کننده توان راکتیو استاتیکی[4] جهت افزایش میرایی نوسانات الکترومکانیکی است. این واحدها محدودیتهای تحریک را ندارند و از سرعت بالایی برخوردار هستند.

ضمناً در قسمتهای مختلف شبکه می‌توان از آنها استفاده کرد و این امر بخصوص برای افزایش میرایی مود بین ناحیه ای اهمیت فوق العاده ای دارد. در کارهای گذشته برای کنترل SVC به منظور بهبود میرایی نوسانات الکترومکانیکی سیستم از روشهای کنترلی مختلفی مانند کنترل بهینه ، کنترل

1- Sub-Synchronous Resonance (SSR)

2- High Voltage Direct Current

3- Power System Stabilizer (PSS)

4- Static Var Compensator (SVC)

کنندهٔ PID[1] [۶] و کنترل با ساختار متغیر[2] [۷] استفاده شده است. محدودیتهای کنترل بهینه و کنترل کننده PID (مانند حساسیت در برابر نقطهٔ کار) در کنترل با ساختار متغیر برطرف شده اما مشکل تحقق عملی این کنترل کننده بخاطر تعداد زیاد متغیرهای ورودی بر جای خود باقی است.

در این پروژه روش کنترل بهینه برای یک سیستم چند ماشینه اجرا شده است و سپس این کنترل بهنیه به یک کنترل زیر بهینه کاهش داده شده و در نهایت به کمک اطلاعات عددی کنترل زیر بهنیه یک کنترل کننده فازی از نوع سوگینو طراحی شده است. با توجه به اینکه داده‌های آموزشی می‌تواند در نقاط کاری مختلف انتخاب شود می‌توان به یک کنترل کننده فازی مقاوم رسید.

۱ - ۲ - روند ارائه مطالب

در فصل دوم این رساله، مدل سازی سیستم‌های قدرت مورد بررسی قرار گرفته است. مدل اجزاءسیستم نظیر ژنراتور سنکرون، سیستم تحریک و جبران کننده استاتیکی توان راکتیو مورد نظر می‌باشد. در ادامهٔ این فصل، تئوری تأثیر SVC در میرا کردن نوسانات الکترومکانیکی سیستم‌های قدرت به کمک منحنی توان - زاویهٔ یک ژنراتور وصل به باس بی نهایت توضیح داده شده است.

در فصل سوم ، ابتدا مروری بر منطق فازی انجام گرفته و سپس روشهای کنترلی بکارگرفته‌شده برای کنترل SVC در این رساله یعنی کنترل فازی و کنترل بهینه توضیح داده شده است.

در فصل چهارم ، عملکرد کنترل کننده‌های مختلف طراحی شده برای کنترل SVC بر روی یک سیستم قدرت چند ماشینه با شبیه سازی کامپیوتری مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل پنجم، به جمع بندی نتایج پرداخته شده و مزایا و معایب کنترل کننده سوگینو در ارتباط با یک سیستم قدرت بیان شده است و در خاتمه پیشنهاداتی برای ادامهٔ کار ارائه شده است.

1- Proportional Integral Derivative

2- Variable Structure Control (VSC)

فصل دوم

مدلسازی اجزاء سیستم قدرت و

تئوری تاثیرSVC درمیرایی سیستم

۲ - ۱ - مقدمه

برای مطالعه و شناخت رفتار یک شبکهٔ قدرت در حالات مختلف و همچنین طراحی کنترل‌کننده در جهت بهبود رفتار آن، احتیاج به مدل ریاضی سیستم قدرت داریم. هر شبکهٔ قدرت از اجزاء مختلفی تشکیل شده‌است که ترکیب این اجزاء با یکدیگر، مدل کلی شبکه را بدست می‌دهد. اجزاء اساسی یک سیستم قدرت AC عبارتند از:

۱ - توربین بخار یا توربین آبی

۲ - گاورنر سرعت

۳ - ژنراتور سنکرون

۴ - سیستم تحریک و تنظیم‌کننده ولتاژ

۵ - خطوط انتقال انرژی و اجزاء آن

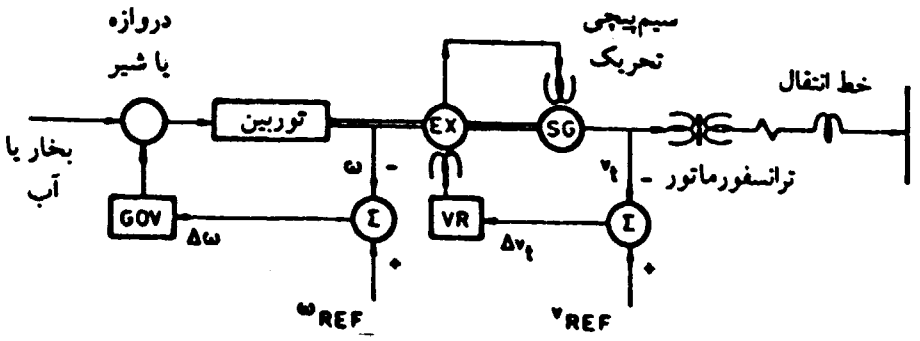
۶ - سایر اجزاء تنظیم‌کننده در سیستم نظیر جبران‌کننده‌های استاتیکی توان راکتیو (SVC)

قسمت‌های اساسی یک سیستم قدرت در شکل (۲ - ۱) نشان داده‌شده‌است. در سمت چپ این شکل توربین و گاورنر را داریم. ورودی به گاورنر تغییرات سرعت (ΔW) می‌باشد. ژنراتور سنکرون (SG)، سیستم تحریک (EX) و تنظیم کنندهٔ ولتاژ (VR) در وسط شکل نشان داده‌شده‌اند. ورودی به تنظیم کنندهٔ ولتاژ، تغییرات ولتاژ (ΔV_t) می‌باشد. ترانسفورماتور و خط انتقال انرژی در سمت راست نشان داده‌شده‌اند. در این شکل SVC دیده‌نمی‌شود ، اما می‌تواند بعنوان یک جزء بر روی هر یک از باسهای سیستم نصب شود.

در این فصل ابتدا کار هر یک از اجزاء سیستم را شرح داده و سپس چگونگی تأثیر کنترل SVC در میرا کردن نوسانات الکترومکانیکی سیستم قدرت را بررسی می‌کنیم.

۲ - ۲ - توربین بخار یا توربین آبی و گاورنر

وظیفه توربین بخار (آبی) تبدیل انرژی حرارتی (آبی) به انرژی مکانیکی می‌باشد. هر توربین بخار معمولاً از سه قسمت فشار زیاد، فشار متوسط و فشار کم تشکیل شده‌است که هر سه بر روی یک محور نصب شده‌اند.

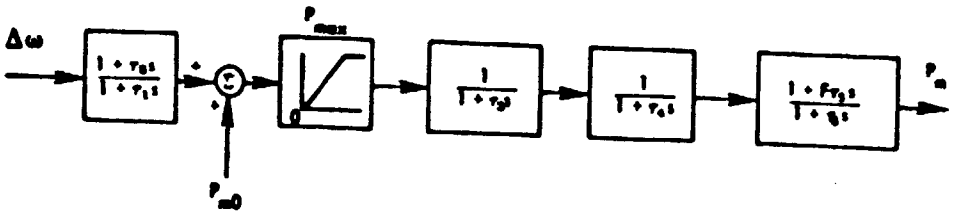


شکل ۲ - ۱ . اجزاء اساسی یک سیستم قدرت الکتریکی [۱۴]

عمل گاورنر در یک سیستم قدرت، ثابت نگهداشتن سرعت (فرکانس) سیستم در حد سرعت (فرکانس) سنکرون می‌باشد. با کاهش سرعت که در اثر افزایش توان خروجی ژنراتور سنکرون اتفاق می‌افتد،گاورنر توان مکانیکی ورودی به توربین را افزایش می‌دهد، در نتیجه سرعت افزایش می‌یابد تا به سرعت نامی برسد و بالعکس با افزایش سرعت، گاورنر توان ورودی به توربین را کاهش می‌دهد. از دیگر

کاربردهای گاورنر، استفاده جهت بهبود پایداری سیستم قدرت می‌باشد.

از آنجائیکه گاورنر وظیفهٔ کنترل توان ورودی به توربین را بعهده دارد در مدل سازی، این دو بخش به عنوان یک مجموعه در نظر گرفته‌می‌شوند. بلوک دیاگرام سیستم توربین - گاورنر در حالت کلی در شکل (۲ - ۲) نشان داده‌شده‌است. در این شکل T_1 , T_2 ثابت زمانی‌های مربوط به گاورنر و T_3 , T_4 , T_5 ثابت زمانیهای مربوط به توربین می‌باشند. سیگنال ورودی به گاورنر $K\Delta W_\Delta$، ضریبی از تغییرات سرعت نسبت به سرعت سنکرون می‌باشد و خروجی سیستم P_m ، توان مکانیکی خروجی توربین است.



شکل ۲ - ۲ . بلوک دیاگرام سیستم توربین - گاورنر در حالت کلی [۱۵]

۲ - ۳ - ژنراتور سنکرون

ژنراتور سنکرون به عنوان مبدل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی، مهمترین نقش را در یک شبکهٔ قدرت ایفا می‌کند.

برای بدست آوردن معادلات ماشین سنکرون به شکل معادلات حالت از دو روش می‌توان استفاده‌کرد. در روش اول جریان‌ها و در روش دوم شارها به عنوان متغیرهای حالت در نظر گرفته‌می‌شوند. در اینجا مدلسازی را بر اساس روش اول انجام می‌دهیم [۱۵].

برای ژنراتور سنکرون یک سیم پیچی سه فاز روی استاتور، یک سیم پیچی تحریک روی روتور و دو سیم پیچی میرا کننده روی روتور فرض می‌شود. این شش سیم پیچی از لحاظ مغناطیسی با یکدیگر تزویج شده‌اند. تزویج مغناطیسی بین این سیم پیچی‌ها تابعی از وضعیت روتور است. بنابراین شارهای سیم پیچی نیز تابعی از وضعیت روتور می‌باشد.

با استفاده از تبدیل پارک می‌توان توصیف ریاضی ماشین سنکرون را تا حد قابل ملاحظه‌ای