بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده

پایدارساز سیستم قدرت به منظور افزایش حد پایداری حالت ماندگار ژنراتور سنکرون، افزایش میرایی نوسانات فرکانس پایین سیستم قدرت و نیز افزایش پایداری گذرای ژنراتور سنکرون به کار می‌رود. یکی از مشکلات استفاده از پایدار ساز سیستم قدرت این است که طراحی و تنظیم پارامترهای آن زمان‌بر می‌باشد و از طرف دیگر به علت اینکه پارامترهای پایدارساز در شرایط نامی ژنراتور تنظیم می‌شوند، در شرایط کاری دیگر، پایدارساز عملکرد بهینه ندارد. برای رفع این اشکالات می‌توان از کنترل کننده‌های تطبیقی به جای پایدارساز سیستم قدرت استفاده نمود. در این پژوهش دو نوع کنترل کننده‌ی تطبیقی از نوع مدل مرجع ساده برای این کار پیشنهاد شده است که در آن‌ها نحوه‌ی به روز رسانی پارامترهای کنترل کننده متفاوت است. کنترلر اولی توسط Ritonja و دیگران و کنترلر دومی توسط Zhang و Fang پیشنهاد شده است. با پیاده سازی این دو کنترلر مشاهده شد که کنترلر اولی نسبت به پایدارساز سیستم قدرت عملکرد مطلوبتری دارد. با توجه به این مطالب، استفاده از کنترلر تطبیقی ۱ بر پایدارساز سیستم قدرت و کنترلر تطبیقی ۲ ارجحیت دارد.

واژگان کلیدی: پایدارساز سیستم قدرت؛ کنترل تطبیقی؛ کنترل پایدار

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل‌اول :پیشینه تحقیق

۱-۱- مقدمه.....۲

۱-۲- پدیده پایداری در سیستم‌های قدرت.....۳

۱-۳- پایداری زاویه روتور.....٤

۱-٤- راههای بهبود پایداری در سیستم‌های قدرت..... ۷

۱-۵- مدلسازی سیستم قدرت ۹

۱-۵-۱- مدل ژنراتور سنکرونسیستم تحریک.....۱۰

۱-٦- مدل سیستم قدرت برای مطالعات نوسانات فرکانس پائین.....۱۲

۱-٦-۱- توابع انتقال برای مطالعات نوسانات فرکانس پائین.....۱۳

۱-٦-۲- مولفه های d و q جریان آرمیچر.....۱٤

۱-۷- طراحی پایدارساز سیستم قدرت pss.....۱۸

۱-۸- معادلات حالت سیستم تک ماشینه با باس بینهایت.....۲۱

۱-۸-۱- اصول پایداری سیستم‌های غیرخطی.....۲۲,

۱-۹- مدل‌سازی سیستم قدرت چند ماشینه ۲۳

۱-۹-۱- طراحی PSS در سیستم چند ماشینه.....۲٤

۱-۱۰- بررسی منابع..... ۲۵

۱-۱۱- کنترل غیر خطی..... ۲۹

۱-۱۱-۱- اصول پایداری سیستم‌های غیرخطی..... ۳۰

۱-۱۱-۲- روش‌های پایداری لیاپانوف..... ۳۰

۱-۱۱-۲-۱- روش خطی‌سازی لیاپانوف..... ۳۱

۱-۱۱-۲-۲- روش مستقیم لیاپانوف..... **۳۱**

۱-۱۱-۲-۳- تابع لیاپانوف برای سیستم‌های خطی..... ۳۳

۱-۱۱-۲-٤-وجود توابع لیاپانوف..... ۳۳

۱-۱۲- کنترل تطبیقی..... ۳۳

۱-۱۲-۱- انواع روش‌های طراحی کنترل تطبیقی..... ۳۵

۱-۱۳- جمع‌بندی..... ٤۲

فصل دوم: طراحی کنترل‌کننده تطبیقی مدل مرجع

۲-۱- مقدمه..... ٤٤

۲-۲- مدل کنترلی ژنراتور سنکرون..... ٤٤

۲-۳- اصول کارکرد یک pss متداول..... ٤٦

۲-٤- استفاده از کنترل تطبیقی برای طراحی PSS..... ٤۸

۲-۵- مدل ژنراتور سنکرون..... ٤۸

۲-٦- کنترل تطبیقی ساده..... ۵۰

۲–۷– کنترل تطبیقی ساده ۱ (مورد استفاده Rotinja) ۵۱

۲–۸– کنترل ساده‌ی تطبیقی ۲ (مورد استفاده‌ی Zhang) ۵۳

۲–۹– بکارگیری کنترل تطبیقی ساده در pss ۵۳

۲–۹–۱– کنترل تطبیقی ساده ۱ ..... ٥٤

۲–۹–۲– کنترل تطبیقی ساده۲ ..... ۵۵

۲–۱۰– کنترلر متداول ۵۵

۲–۱۱– جمع بندی ۵۵

فصل سوم:نتایج و بحث

۳–۱– مقدمه ۵۸

۳–۲– اختلال ولتاژ ۵۸

۳–۲–۱– ژنراتور بدون pss ۵۸

۳–۲–۲– ژنراتور با pss متداول ۵۹

۳–۲–۳ ژنراتور با کنترل تطبیقی ساده ۱ ..... ٦۰

۳–۲–٤– ژنراتور با کنترل تطبیقی ساده ۲ ..... ٦۱

۳–۳– اختلال توان مکانیکی ٦۲

۳–۳–۱– ژنراتور بدون pss ٦۳

۳–۳–۲– ژنراتور با pss متداول ٦۳

۳–۳–۳ ژنراتور با کنترل تطبیقی ساده ۱ ..... ٦٤

۳-۳-٤- ژنراتور با کنترل تطبیقی ساده ۲..... ٦٥

۳-٤- خطای سه فاز متقارن..... ٦٦

۳-٤-۱- ژنراتور بدون pss..... ٦٧

۳-٤-۲- ژنراتور با pss متداول..... ٦٧

۳-٤-۳ ژنراتور با کنترل تطبیقی ساده ۱..... ٦٨

۳-٤-٤- ژنراتور با کنترل تطبیقی ساده ۲..... ٦٩

۳-٥- جمع‌بندی..... ۷۰

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۳-۱- بررسی نتایج..... ۷۲

۳-۲- پیشنهادات..... ۷۳

منابع..... ۷٤

فهرست شکل ها

شماره شکل : عنوان.....صفحه

شکل (۱-۱): سیستم تحریک IEEE نوع-ST1 به‌همراه pss.....۱۲

شکل(۱-۲) : بلوک دیاگرام تابع انتقال برای مطالعات نوسانات فرکانس پائین..... ۱۳

شکل (۱-۳): سیستم قدرت تک ماشینه با باس بینهایت.....۱۵

شکل (۱-٤): فازورهای ولتاژ و جریان.....۱٦

شکل(۱-۵): کنترل تحریک کمکی برای سیستم تک ماشینه.....۲۱

شکل(۱-٦): بلوک دیاگرام ماشین سنکرون در یک سیستم قدرت چند ماشینه.....۲٤

شکل (۱-۷): نمودار بلوکی سیستم تطبیقی.....۳٤

شکل (۱-۸): نمودار بلوکی سیستم با جدول بندی بهره.....۳٦

شکل (۱-۹): نمودار بلوکی رگولاتور خود تنظیم.....۳۷

شکل (۱-۱۰): نمودار بلوکی کنترلگر دوگان.....۳۹

شکل (۱-۱۱):. نمودار بلوکی سیستم تطبیقی مدل – مرجع.....٤۰

شکل (۲-۱): ژنراتور سنکرون متصل به شبکه‌ی قدرت.....٤۵

شکل (۲-۲): مدل کنترلی ژنراتور سنکرون.....٤٦

شکل (۲-۳): مدل الکتریکی ژنراتور سنکرون به همراه pss.....٤۷

شکل (۲-٤): لم مربوط به ASPR نمودن.....۵۲

شکل (۲-۵): سیستم دارای پایدارساز وضعیت خطی.....۵۲

شکل (۲-٦): طریقه استفاده از کنترل تطبیقی برای pss.....۵۳

شکل (۲-۷): مدل کنترلی ژنراتور سنکرون به همراه pss.....۵٤

شکل(۳-۱): بدون pss، اختلال ولتاژ..... ۵۹
شکل(۳-۲):pss متداول، اختلال ولتاژ..... ۶۰
شکل(۳-۳): کنترل تطبیقی ساده ۱، اختلال ولتاژ..... ۶۱
شکل(۳-٤): کنترل تطبیقی ساده ۲، اختلال ولتاژ..... ۶۲
شکل(۳-۵): بدون pss، اختلال توان مکانیکی..... ۶۳
شکل(۳-٦):pss متداول، اختلال توان مکانیکی..... ٦٤
شکل(۳-۷): کنترل تطبیقی ساده۱، اختلال توان مکانیکی..... ٦۵
شکل(۳-۸): کنترل تطبیقی ساده ۲، اختلال توان مکانیکی..... ٦٦
شکل(۳-۹): ژنراتور بدون pss، خطای سه فاز..... ٦۷
شکل(۳-۱۰): ژنراتور با pss متداول، خطای سه فاز..... ٦۸
شکل(۳-۱۱): ژنراتور با کنترلر تطبیقی سادهی ۱، خطای سه فاز..... ٦۹
شکل(۳-۱۲): ژنراتور با کنترلر تطبیقی سادهی ۲، خطای سه فاز..... ۷۰

فهرست جداول

شماره جدول : عنوان.....صفحه

جدول (۲-۱): پارامترهای ژنراتور مورد استفاده در شبیه سازی در این پروژه ۴۹

فصل اول:
پیشینه تحقیق

۱-۱ مقدمه

در دهه ۱۹۶۰ دو شبکه الکتریکی بزرگ کانادا و آمریکا به هم پیوند خورد و شبکه بزرگی را تشکیل داد. با توجه به وسعت ناحیه‌ایی این دو کشور و اختلاف ساعت و فصل، با این روش بهره برداری اقتصادی محقق گردیده و بر قابلیت اطمینان متقابل شبکه نیز افزوده می‌گشت. ولی این عمل بر پیچیدگی مسئله پایداری افزود تا حدی که مدتی مجبور به خارج کردن قسمت شمال‌شرق از شبکه سراسری شدند و این موضوع نظر بسیاری از محققین را به خود جلب کرد. همچنین بروز یک حادثه در موارد متعددی منجر به ناپایداری سیستم و خاموشی گسترده در شبکه گردید. نظیر چنین وضعیتی در شبکه‌های به هم پیوسته دیگر همچون شبکه الکتریکی اروپا و نیز شبکه الکتریکی ایران نیز مشاهده شده است. بدین ترتیب مسائل پایداری اهمیت ویژه‌ایی در صنعت برق پیدا کرده و جنبه‌های جدیدی از آن مورد توجه قرار گرفت.

هر روز مسائل دینامیکی سیستم قدرت الکتریکی پیچیده‌تر شده ولی امید برای کنترل این مسائل نیز بیشتر می‌شود. زیرا با افزایش اندازه و پیچیدگی سیستم‌های قدرت الکتریکی، تجربه مهندسی افزایش یافته و تکنیک‌های محاسباتی و کنترلی نیز بهبود می‌یابند. در این شرایط با مواجه شدن با مسائل جدید، ایده‌ها و روش‌های جدیدی نیز به کمک حل مسئله می‌آیند. طراحی و بهره برداری یک سیستم قدرت در بر گیرنده برخی فازهای مهندسی است. این فازها شامل پیش‌بینی بار، تحقیقات در ارتباط با منابع انرژی، طراحی و ساخت نیروگاه و خطوط انتقال، حفاظت سیستم، پخش و کنترل انرژی روز به روز و ساعت به ساعت می‌باشد. این پایان‌نامه دربرگیرنده یکی از مهمترین جنبه‌های مهندسی که دینامیک‌های سیستم قدرت الکتریکی یا رفتار دینامیکی و مسائل کنترلی سیستم‌های قدرت الکتریکی نامیده می‌شود است.

پدیده نوسانات با فرکانس کم در این میان از اهمیت ویژه‌ایی برخوردار است و در بحث پایداری دینامیکی سیستم‌های قدرت مورد توجه قرار می‌گیرد. پایداری سیگنال کوچک، توانایی سیستم قدرت در نگهداری سنکرونیزم[1] است هنگامی که تحت اغتشاشهای کوچک قرار گیرد. در این مفهوم، اغتشاش، کوچک در نظر

[1] - Synchronizm

گرفته می‌شود اگر بتوان به منظور تحلیل سیستم، معادلاتی که پاسخ حالت سیستم را توصیف می‌کنند، خطی کرد. ناپایداری نیز می‌تواند به دو صورت ظاهر شود:

۱-افزایش ماندگار[1] در زاویه روتور ژنراتور ناشی از فقدان گشتاور سنکرون کننده

۲-نوسان روتور با دامنه افزایشی ناشی از فقدان گشتاور میراکننده‌ی کافی

در سیستم‌های قدرت موجود، مسئله ناپایداری سیگنال کوچک معمولا ناشی از میرایی غیر کافی نوسان‌های سیستم می‌باشد.

یکی از روش‌های بسیار اقتصادی و موثر برای افزایش میرایی این مدهای نوسانی به کارگیری پایدار سازهای سیستم قدرت می باشد. طرح‌های سنتی و متداول پایدارساز، علیرغم قابلیت‌ها و مزایای قابل توجه دارای این نقیصه‌اند که بر مبنای یک وضعیت سیستم طراحی شده‌اند لذا تغییر شرایط کار سیستم عملکرد مطلوب نخواهند داشت. برای رفع این عیب، در پایان‌نامه حاضر استفاده از کنترل تطبیقی مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲ پدیده پایداری در سیستم‌های قدرت

پایداری قابلیت حفظ حالت تعادل بین نیروهای مخالف است. در ژنراتورهای سنکرون متصل به شبکه چند ماشینه، در حالت عادی تعادل نیروی مکانیکی ورودی با نیروی الکتریکی خروجی برقرار بوده و سرعت روتور ثابت می‌باشد. اما اگر انحرافی در سیستم ظاهر شود تعادل سرعت به هم خورده و سرعت روتور ماشین سنکرون از سرعت سنکرون شبکه کم یا زیاد می‌شود. این لغزش در سرعت روتور بر میدان دوار استاتور اثر کرده و در صورت ادامه وضع باعث تغییر شدید در ولتاژ و جریان خروجی ژنراتور می‌گردد. در نتیجه حفاظت کننده‌های سیستم به طور اتوماتیک ژنراتور را از شبکه خارج می‌سازند که در این حالت می‌گویند ماشین

[1] - Steady Increase

سنکرونیزم خود را از دست داده یا از مرحله خارج شده است. این پدیده ممکن است بین یک ماشین با شبکه یا بین چند ماشین با ماشین‌های دیگر رخ دهد.

با توجه به ثابت بودن گشتاور مکانیکی اعمالی بر روتور ماشین سنکرون(در محدوده‌ی زمانی بررسی) عدم تعادل بین نیروهای الکتریکی و مکانیکی ماشین اغلب به خاطر تغییرات در گشتاور الکتریکی T_e ماشین سنکرون می‌باشد که تغییرات این گشتاور را می‌توان به دو جزء تقسیم کرد. یعنی:

$$\Delta T_e = K_S \Delta\delta + K_D \Delta\omega_r \qquad (۱-۱)$$

۱- $K_S \Delta\delta$ هم فاز با زاویه روتور بوده و مولفه گشتاور سنکرون کننده[1] نام دارد. K_S ضریب گشتاور سنکرون کننده است.

۲- $K_D \Delta\omega_r$ هم فاز با تغییرات سرعت روتور بوده و مولفه گشتاور میراکننده[2] نام دارد. K_D ضریب گشتاور میراکننده است.

پایداری سیستم به وجود هر دو مولفه بالا بستگی دارد. کمبود گشتاور سنکرون کننده باعث ناپایداری غیرنوسانی[3] و کمبود گشتاور میرا کننده سبب ناپایداری نوسانی می‌گردد.

۱-۳ پایداری زاویه‌ای روتور

پایداری زاویه روتور از دو دید زیر قابل بحث است.

[1] - Synchronizing Torque
[2] - Damping Torque
[3] - Aperiodic Drift

الف – پایداری سیگنال کوچک[1]

توانایی سیستم در حفظ حالت سنکرونیزم در اثر اغتشاشات کوچک را پایداری سیگنال کوچک گویند. اغتشاشات کوچک به دلیل تغییرات مداوم، در بار و تولید، به طور دایم در شبکه اتفاق می‌افتند. به علت کوچک بودن این تغییرات می‌توان مدل خطی شده معادلات سیستم را برای تحلیل پایداری بکار برد. عکس‌العمل سیستم در برابر اغتشاشات کوچک به خصوصیات ژنراتور، سیستم تحریک، سیستم انتقال و نقطه کار اولیه بستگی دارد.

برای ژنراتوری که به طور شعاعی به شبکه وصل شده و دارای سیستم تحریک ثابت است ناپایداری اغلب به علت کمبود گشتاور سنکرون کننده و به شکل غیرنوسانی است. ولی اگر دارای سیستم تحریک قابل تنظیم (با حضور AVR)[2] باشد ناپایداری اغلب به علت کمبود گشتاور میرا کننده و به شکل نوسانی با افزایش دامنه اتفاق می‌افتد.

در سیستم‌های قدرت پایداری انواع مدهای زیر قابل توجه است:

مدهای محلی[3]:

مربوط به نوسان‌های واحدهای یک نیروگاه با یک بخش کوچک نزدیک به هم در ارتباط با بقیه‌ی سیستم قدرت می‌باشد.

[1] - Small Signal Stability
[2] - Automatic Voltage Regulator
[3] - Local Mode

مدهای بین ناحیه‌ایی:

مربوط به نوسانات تعدادی ماشین سنکرون در یک بخش نسبت به ماشین‌های سنکرون سایر بخش‌های سیستم می‌باشد. هنگامی این مدها ناپایدار می‌شوند که ماشین‌های یک بخش با بخش‌های دیگر با خطوط انتقال طولانی و ضعیف وصل شده باشند.

مدهای کنترلی

مربوط به کنترل‌کننده‌های نیروگاه و سایر دستگاه‌های کنترلی (تحریک، گاورنر و ...) می‌باشد. اگر سیستم‌های تحریک، گاورنر، مبدل‌هاس HVDC، جبرانگرهای استاتیکی توان راکتیو در مدار بوده و اگر کنترل‌های آنها در مدار به صورت نامناسب طراحی شوند، این مدها ناپایدار می‌شوند.

مدهای پیچشی

مربوط به نوسان مکانیکی بین بخشهای محور توربین-ژنراتور می‌باشند. در اثر تداخل دینامیک بین این مدها با سیستم تحریک، گاورنر، HVDC، SVC و خازنهای سری موجود در مدار این مدها گاهی ناپایدار می‌شوند.

مدهای تشدید الکتریکی شبکه

فرکانسهای طبیعی شبکه RLC طیف وسیع فرکانس را شامل شده و دارای انواع مختلفی می‌باشند. گاه در اثر تداخل بین کنترلها و اجزای دینامیک سیستم با این مدها، نوسانهای ناپایدار در شبکه ایجاد می‌گردد.

ب-پایداری گذرا:

توانایی سیستم در حفظ حالت سنکرونیزم بر اثر بروز اغتشاش بزرگ و گذرا در سیستم را پایداری گذرا نامند. این پایداری هم به نقطه کار اولیه و هم به شدت اغتشاش وابسته می‌باشد. اغلب نقطه‌ی کار حالت تعادل بعد از اغتشاش با نقطه کار حالت تعادل قبل از اغتشاش فرق دارد. گرچه ممکن است در سیستم اغتشاشهایی با شدت متفاوت و احتمال وقوع مختلف روی دهد، ولی سیستم طوری طراحی می‌شود که در برابر مجموعه‌ایی از این اتفاقات احتمالی پایدار بماند. به شرط آن که بخش اتصالی در مدت بسیار کوتاهی بوسیله کلیدزنی از سیستم جدا شده باشد. مهمترین این اتفاقات معمولا اتصال کوتاه‌های سه فاز، فاز به فاز و فاز به زمین می‌باشد.

البته نکات دیگری مثل پایداری ولتاژ و فروپاشی آن نیز در بررسی پایداری سیستم‌های قدرت از اهمیت خاصی برخوردار است. پایداری ولتاژ یعنی حفظ ولتاژ در نزدیکی مقدار نامی برای تمام شین‌های شبکه در حالت ماندگار و بعد از بروز اغتشاش در شبکه. یک شرط لازم برای این موضوع داشتن حساسیت مثبت در رابطه Q-V برای تمام شین‌های سیستم قدرت می‌باشد.

۱-۴ راههای بهبود پایداری در سیستم‌های قدرت

از سال ۱۹۶۰ با پیچیده‌تر شدن شبکه‌های قدرت توجه زیادی به بهبود پایداری گذرا و سیگنال کوچک شده است. برای یک سیستم مفروض شاید هیچ یک از روشهای بهبود پایداری که به آنها اشاره خواهد شد به تنهایی کافی نباشد. لذا ممکن است ترکیب روش‌های ارائه شده برای حفظ پایداری سیستم در شرایط و حالات مختلف ضروری باشد.