بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه قدرت

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش سیستم‌های سیستمهای قدرت و انرژی

میراسازی نوسانات فرکانس پایین درشبکه چند ماشینه با کنترل‌کننده فازی

توسط:

حسین خورسند

استاد راهنما:

دکتر علیرضا روستا

استاد مشاور:

دکتر مجید نیری پور

شهریور ۱۳۸۹

بسمه تعالی

میراسازی نوسانات فرکانس پایین درشبکه چند ماشینه با کنترل‌کننده فازی

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

توسط:

حسین خورسند

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه مهندسی برق دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه :.....

دکتر علیرضا روستا استادیار مهندسی برق (استاد راهنما)

دکتر مجید نیری پور استادیار مهندسی برق (استاد مشاور)

دکتر طاهر نیکنام استادیار مهندسی برق (داور)

دکتر مختار شاصادقی استادیار مهندسی برق (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

تقدیم به پدر و مادرم

که با نثار تمام هستی خویش زندگیم را به پرتو خوشبختی آراستند

تقدیم به پدرم اسطوره صلابت و پایداری

تقدیم به مادرم تندیس صبر و مهربانی

و

تقدیم به برادر و خواهران خوبم

سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده است و فصل جدیدی در دنیای پژوهش بر روی من باز گردیده، بر خود فرض می دانم که از تمامی کسانی که مرا در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند، به ویژه استاد ارجمند جناب آقای دکتر علیرضا روستا کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

چکیده

میراسازی نوسانات فرکانس پایین درشبکه چند ماشینه با کنترل‌کننده فازی

توسط:
حسین خورسند

در این پایان نامه برای پایدارسازی شبکه قدرت و میراسازی نوسانات فرکانس پایین، از کنترل‌کننده فازی استفاده خواهیم کرد. کنترل‌کننده فازی یک سیگنال کنترلی تکمیلی را به سیستم تحریک ژنراتور سنکرون، تزریق می‌کند تا نوسانات روتور را میرا کند. در این پایان نامه ابتدا عملکرد کنترل‌کننده پیشنهادی در یک شبکه یک ماشینه بررسی خواهد شد، که در آن از سه نوع کنترل‌کننده فازی استفاده می‌شود، و در مرحله بعد از کنترل‌کننده فازی در یک شبکه دو ناحیه‌ای چهار ماشینه استفاده خواهد شد، که به منظور بررسی پاسخ دینامیکی، در هر دو حالت از اتصال کوتاه سه فازی استفاده خواهد شد.

برای مقایسه میزان مقاوم بودن کنترل‌کننده فازی با پایدارساز سیستم قدرت (PSS) در برابر تغییرات نقطه کار، دو حالت در نظر گرفته می‌شود، در ابتدا زمان وجود اتصال کوتاه در شبکه را افزایش می‌دهیم تا شبکه به مرز ناپایداری برسد. و در مرحله بعد مکان وقوع اتصال کوتاه را در شبکه تغییر می‌دهیم. به این منظور در شبکه دو ناحیه‌ای چهار ماشینه در یک حالت اتصال کوتاه سه فاز را در ناحیه ۱ قرار داده، و در حالت دیگر اتصال کوتاه سه فاز را در ناحیه ۲، قرار خواهیم داد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب کنترل‌کننده پیشنهادی در پایدارسازی شبکه قدرت در برابر اغتشاشات و تغییرات نقطه کار شبکه در مقایسه با PSS می‌باشد.

کلمات کلیدی: *کنترل‌کننده فازی، PSS ، مقاوم بودن، نقطه کار*

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول: پایداری دینامیکی

۱-۱ مقدمه ۶

۱-۲ مطالعات دینامیکی یک سیستم ۷

۱-۳ ضرورت انجام مطالعات دینامیکی در سیستم‌های قدرت ۸

۱-۴ پایداری و تعریف آن در سیستم‌های قدرت ۱۰

۱-۵ انواع پدیده‌ها و انواع پایداری در یک سیستم قدرت ۱۱

۱-۶ نوسانات فرکانس پایین در شبکه‌های قدرت ۱۳

۱-۶-۱ معادلهٔ نوسان ۱۴

۱-۶-۲ معرفی گشتاورهای میراکننده و سنکرون‌کننده ۱۶

۱-۶-۳ تحلیل گشتاورهای میراکننده و سنکرون‌کننده در حوزه فرکانس ۱۸

۱-۶-۴ اثر میدان تحریک روی LFO ۲۰

۱-۷ سیستم‌های کنترلی در یک سیستم قدرت ۲۱

۱-۷-۱ سیستم‌های مهم کنترلی در یک نیروگاه (بخار) ۲۲

۱-۷-۲ اثر AVR روی LFO ۲۴

۱-۷-۳ سیستم‌های کنترلی در خطوط انتقال ۲۷

۱-۸ عناوین مهم در دینامیک سیستم‌های قدرت ۲۸

۱-۸-۱ پایداری زاویه بار ۲۹

۱-۸-۲ پایداری ولتاژ ـ فروپاشی ولتاژ ۳۱

فصل دوم: مدل ماشین سنکرون

۲-۱ مقدمه ۳۳

۲-۲ مدل درجه ۵ برای بخش الکتریکی یک ماشین سنکرون ۳۵

۲-۳ مدارهای معادل محورهای طولی و عرضی ۴۵

۲-۴ مدلسازی بخش مکانیکی (دینامیک روتور) ۴۸

۲-۵ نمایش ژنراتور سنکرون در فضای حالت ۵۰

۲-۶ حالات مختلف اتصال ژنراتور به بار و اثر آن در مدلسازی ۵۲

۲-۷ مدل‌های کاهش یافتهٔ ژنراتور سنکرون ۵۵

فصل سوم: کاربرد منطق فازی در میراسازی نوسانات فرکانس پایین

۳-۱ مقدمه ۵۶

۳-۲ آغاز تئوری فازی ۵۷

۳-۳ شروع کاربردهای عملی منطق فازی ۵۷

۳-۴ نحوه بکارگیری منطق فازی ۵۸

۳-۵ مراحل اجرای یک کنترل‌کننده فازی ۵۹

۳-۶ نحوه به کارگیری کنترل‌کننده فازی در سیستم‌های کنترل ۵۹

۳-۷ کاربردهایی از منطق فازی در سیستمهای قدرت ۶۰

۳-۷-۱ تشخیص عیب نشتی در نیروگاه ۶۰

۳-۷-۲ کاربرد در ترانسفورماتورها ۶۰

۳-۷-۳ مکانیابی بهینهٔ خازن در شبکه های انتقال و توزیع ۶۱

۳-۷-۴ کنترل فرکانس نیروگاه بادی ۶۲

۳-۷-۵ محاسبه هزینه خاموشی ۶۲

۳-۷-۶ بررسی حوادث ولتاژ ۶۳

۳-۷-۷ کنترل دور موتورهای الکتریکی ۶۴

۳-۷-۸ بررسی پایداری سیستمهای قدرت ۶۴

۳-۸ نوسانات فرکانس پایین در شبکه قدرت ۶۴

۳-۸-۱ نوسانات مدهای بین ناحیه‌ای ۶۴

۳-۸-۲ نوسانات مدهای ناحیه‌ای ۶۵

۳-۹ اثر AVR بر نوسانات فرکانس پایین و لزوم استفاده از PSS ۶۶
۳-۱۰ کاربرد کنترل‌کننده فازی درشبکه قدرت ۶۷
۳-۱۰-۱ شبکه تک ماشینه ۶۸
۳-۱۰-۱-۱ کنترل‌کننده فازی نوع۱ ..... ۶۸
۳-۱۰-۱-۲ کنترل‌کننده فازی نوع۲ ..... ۷۰
۳-۱۰-۱-۳ کنترل‌کننده فازی نوع۳ ..... ۷۱
۳-۱۰-۱-۴ پاسخ سیستم با AVR بدون PSS ۷۲
۳-۱۰-۱-۵ پاسخ سیستم با AVR و PSS ۷۳
۳-۱۰-۱-۶ پاسخ سیستم با AVR و کنترل‌کننده فازی ۷۳
۳-۱۰-۲ شبکه چند ماشینه ۷۶
۳-۱۰-۳ نتایج شبیه سازی ۷۹
۳-۱۰-۴ تابع معیار ۸۰
۳-۱۰-۵ مقایسه قوام کنترلر فازی با PSS ۸۰
۳-۱۰-۶ طراحی کنترل‌کننده فازی مقاوم در برابر تغییرات بار ۸۵
۳-۱۰-۷ بررسی فرکانس نوسانات مدهای بین ناحیه‌ای ۹۷

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۰۲

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱: قواعد کنترل‌کننده فازی نوع ۳ ..... ۷۱
جدول۳-۲: توابع عضویت ماشین‌های ۱،۲،۳و۴..... ۷۶
جدول۳-۳: مقادیر تابع معیار در شبکه تک ماشینه..... ۸۰
جدول۳-۴: مقادیر تابع معیار در شبکه ۴ ماشینه..... ۸۰
جدول۳-۵: توابع عضویت ماشین‌های ۱،۲،۳و۴..... ۸۶
جدول۳-۶: فرکانس نوسانات مدهای بین ناحیه‌ای..... ۹۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱ـ۱: بلوک دیاگرام معادلهٔ نوسان ۱۵

شکل ۱ـ۲: دیاگرام مکان هندسی ریشه ها وقتی D تغییر می‌کند ۱۶

شکل ۱ـ۳: بلوک دیاگرام معادلهٔ نوسان $(D \neq 0)$ ۱۷

شکل ۱ـ۴: دیاگرام مکان هندسی ریشه ها وقتی K_1 تغییر می‌کند ۱۷

شکل ۱ـ۵: تقسیم گشتاور اعمالی به دو مؤلفه سنکرون‌کننده و میراکننده در حوزهٔ فرکانس ۱۸

شکل ۱ـ۶: مدل نوسانات روتور با در نظر گرفتن اثر میدان تحریک ۲۰

شکل ۱ـ۷: بلوک دیاگرام ساده شده شکل ۱ـ۶ ..... ۲۰

شکل ۱ـ۸: دیاگرام مکان هندسی ریشه‌های بلوک دیاگرام شکل ۱ـ۷ ..... ۲۱

شکل ۱-۹: شماتیک ساده یک نیروگاه بخار ۲۲

شکل ۱ـ۱۰: نمایش بلوک دیاگرامی یک توربوژنراتور ۲۳

شکل ۱ـ۱۱: نمایش ساده بلوک دیاگرام توربوژنراتور ۲۳

شکل ۱ـ۱۲: مدل نوسانات روتور با در نظر گرفتن اثر میدان تحریک و AVR ۲۴

شکل ۱ـ۱۳: بلوک دیاگرام ساده شده شکل ۱ـ۱۲ ..... ۲۵

شکل ۱ـ۱۴: جایگاه پایدارساز سیستم قدرت در نیروگاه ۲۶

شکل ۱ـ۱۵: نوسان زاویه بار یک سیستم قدرت نمونه بدون PSS و با PSS ۲۷

شکل ۱ـ۱۶ یک نمونه از محدودهٔ مجاز کار در صفحه PQ، بدون PSS و با PSS ۲۷

شکل ۱ـ۱۷: مدل ساده یک ژنراتور متصل به شین بی نهایت ۲۹

شکل ۱ـ۱۸: منحنی توان بر حسب زاویه بار ۳۰

شکل۱-۱۹: وضعیت زاویه بار را در دو حالت پایدار و ناپایدار ۳۰

شکل ۱ـ۲۰: شبکه شعاعی برای بررسی ناپایداری ولتاژ ۳۱
شکل ۱ـ۲۱: یک منحنی v-p نمونه ۳۱
شکل ۲ـ۱ مقطع عرضی یک ژنراتور سنکرون ۳۵
شکل ۲ـ۲: نحوه ارتباط اندوکتانس خودی سیم پیچ a (L_{aa}) با θ ۳۶
شکل ۲ـ۳: تعویض سه سیم پیچ a،b،c با دو سیم پیچ d و q در تبدیل پارک ۴۱
شکل ۲ـ۴: مدارمعادل محور d، رابطه فلو با جریان ۴۵
شکل ۲ـ۵: مدارمعادل محور q، رابطه فلو با جریان ۴۵
شکل ۲ـ۶: مدارمعادل محور d، رابطه ولتاژ با جریان ۴۶
شکل ۲ـ۷: مدارمعادل محور q، رابطه ولتاژ با جریان ۴۶
شکل ۲-۸: یک روتور در یک ماشین سنکرون ۴۸
شکل ۲ـ۹: بلوک دیاگرام روتور برای ماشین الکتریکی ۴۹
شکل ۲ـ۱۰: بلوک دیاگرام کامل روتور برای ماشین الکتریکی ۴۹
شکل ۲ـ۱۱: اتصال مستقیم ژنراتور به باس بی نهایت ۵۳
شکل ۲ـ۱۲: اتصال ژنراتور بوسیله خط انتقال به باس بی نهایت ۵۳
شکل ۲ـ۱۳: اتصال ژنراتور به یک بار محلی ۵۴
شکل ۲ـ۱۴: نحوهٔ قرار گرفتن بار، ژنراتور ، بار محلی و باس بی نهایت ۵۴
شکل۳-۱: نموداری از نگاشت متغیر "دمای هوا" به چند مجموعه فازی با نام‌های "سرد"، "خنک"، " معتدل "، "گرم" و "داغ" ۵۸
شکل ۳-۲: سیستم‌های فازی به عنوان کنترل‌کننده حلقه باز ۶۰
شکل ۳-۳: سیستم‌های فازی به عنوان کنترل‌کننده حلقه بسته ۶۰
شکل۳-۴: نتیجه استفاده از منطق فازی در مکانیابی بهینه خازن و بهبود ولتاژ ۶۲
شکل ۳-۵: توان عبوری از خط انتقال / آگوست ۱۹۹۶ در غرب کانادا ۶۵
شکل۳-۶: بلوک دیاگرام پایدارساز سیستم قدرت PSS ۶۷
شکل۳-۷: شبکه یک ماشینه متصل به شبکه قدرت ۶۸
شکل۳-۸: تابع عضویت ورودی ($d\dot{\omega}$) در کنترلر فازی نوع۱ ..... ۶۹
شکل۳-۹: تابع عضویت خروجی (u) در کنترلر فازی نوع۱ ..... ۷۰
شکل۳-۱۰: تابع عضویت ورودی ($\dot{\omega}$) در کنترلر فازی نوع۲ ..... ۷۰
شکل۳-۱۱: تابع عضویت خروجی (u) در کنترلر فازی نوع۲ ..... ۷۱
شکل۳-۱۲: تابع عضویت ورودی ($d\omega$) در کنترلر فازی نوع۳ ..... ۷۱

شکل۳-۱۳: تابع عضویت ورودی $(d\dot{\omega})$ در کنترلر فازی نوع۳ ۷۲
شکل۳-۱۴: تابع عضویت خروجی (u) در کنترلر فازی نوع۳ ۷۲
شکل۳-۱۵: تغییرات سرعت زاویه ای روتور با AVR بدون PSS ۷۲
شکل۳-۱۶: توان اکتیو خروجی ژنراتور با AVR بدون PSS ۷۲
شکل۳-۱۷: تغییرات سرعت زاویه ای روتور با PSS + AVR ۷۳
شکل۳-۱۸: توان اکتیو خروجی ژنراتور با PSS + AVR ۷۳
شکل۳-۱۹: تغییرات سرعت زاویه ای روتور با AVR و کنترل‌کننده فازی نوع ۱ ۷۴
شکل۳-۲۰: توان اکتیو خروجی ژنراتور با AVR و کنترل‌کننده فازی نوع ۱ ۷۴
شکل۳-۲۱: تغییرات سرعت زاویه ای روتور با AVR و کنترل کننده فازی نوع ۲ ۷۴
شکل۳-۲۲: توان اکتیو خروجی ژنراتور با AVR و کنترل کننده فازی نوع ۲ ۷۴
شکل۳-۲۳: تغییرات سرعت زاویه ای روتور با AVR و کنترل کننده فازی نوع ۳ ۷۴
شکل۳-۲۴: توان اکتیو خروجی ژنراتور با AVR و کنترل کننده فازی نوع ۳ ۷۴
شکل۳-۲۵: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی نوع۱ ۷۵
شکل۳-۲۶: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی نوع۲ ۷۵
شکل۳-۲۷: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی نوع۳ ۷۵
شکل۳-۲۸: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی نوع۱ ۷۵
شکل۳-۲۹: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی نوع۲ ۷۵
شکل۳-۳۰: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی نوع۳ ۷۵
شکل۳-۳۱: شمای شبکه ۲ ناحیه ای – ۴ ماشینه ۷۶
شکل۳-۳۲: پاسخ دینامیکی ماشین ۱ ۷۷
شکل۳-۳۳: پاسخ دینامیکی ماشین ۲ ۷۷
شکل۳-۳۴: پاسخ دینامیکی ماشین ۳ ۷۸
شکل۳-۳۵: پاسخ دینامیکی ماشین ۴ ۷۸
شکل۳-۳۶: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین ۱ ۷۹
شکل۳-۳۷: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین ۲ ۷۹
شکل۳-۳۸: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین ۳ ۷۹
شکل۳-۳۹: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین ۴ ۷۹
شکل۳-۴۰: توان اکتیو خروجی ماشین۱ در تحلیل حد پایداری ۸۱
شکل۳-۴۱: توان اکتیو خروجی ماشین۱ با PSS، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ۸۲

شکل۳-۴۲: پاسخ دینامیکی ماشین۱ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۲
شکل۳-۴۳: پاسخ دینامیکی ماشین۲ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۲
شکل۳-۴۴: پاسخ دینامیکی ماشین۳ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۳
شکل۳-۴۵: پاسخ دینامیکی ماشین۴ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۳
شکل۳-۴۶: توان اکتیو خروجی ماشین۱ با PSS، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۸۴
شکل۳-۴۷: پاسخ دینامیکی ماشین۱ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۸۴
شکل۳-۴۸: پاسخ دینامیکی ماشین۲ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۸۴
شکل۳-۴۹: پاسخ دینامیکی ماشین۳ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۸۵
شکل۳-۵۰: پاسخ دینامیکی ماشین۴ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۸۵
شکل۳-۵۱: پاسخ دینامیکی ماشین۱ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۷
شکل۳-۵۲: پاسخ دینامیکی ماشین۲ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۷
شکل۳-۵۳: پاسخ دینامیکی ماشین۳ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۸
شکل۳-۵۴: پاسخ دینامیکی ماشین۴ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۸
شکل۳-۵۵: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۱، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۹
شکل۳-۵۶: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۲، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۹
شکل۳-۵۷: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۳، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۹
شکل۳-۵۸: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۴، محل اتصال کوتاه ناحیه ۱ ..... ۸۹
شکل۳-۵۹: پاسخ دینامیکی ماشین۱ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۹۰
شکل۳-۶۰: پاسخ دینامیکی ماشین۲ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۹۰
شکل۳-۶۱: پاسخ دینامیکی ماشین۳ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۹۱
شکل۳-۶۲: پاسخ دینامیکی ماشین۴ با کنترل‌کننده فازی، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۹۱
شکل۳-۶۳: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۱، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۹۲
شکل۳-۶۴: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۲، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۹۲
شکل۳-۶۵: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۳، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۹۲
شکل۳-۶۶: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۴، محل اتصال کوتاه ناحیه ۲ ..... ۹۲
شکل۳-۶۷: پاسخ دینامیکی ماشین۱ با کنترل‌کننده فازی، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۳
شکل۳-۶۸: پاسخ دینامیکی ماشین۲ با کنترل‌کننده فازی، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۳
شکل۳-۶۹: پاسخ دینامیکی ماشین۳ با کنترل‌کننده فازی، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۴
شکل۳-۷۰: پاسخ دینامیکی ماشین۴ با کنترل‌کننده فازی، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۴

شکل۳-۷۱: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۱، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۵
شکل۳-۷۲: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۲، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۵
شکل۳-۷۳: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۳، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۵
شکل۳-۷۴: سیگنال کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۴، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۵
شکل۳-۷۵: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین ۱ ..... ۹۶
شکل۳-۷۶: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین ۲ ..... ۹۶
شکل۳-۷۷: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین ۳ ..... ۹۶
شکل۳-۷۸: سطح کنترلی کنترل‌کننده فازی ماشین۴ ..... ۹۶
شکل۳-۷۹: توان اکتیو خروجی ماشین۱ در تحلیل حد پایداری ۹۷
شکل۳-۸۰: زاویه بار نسبی ناحیه دو نسبت به ناحیه یک، افزایش ۱۰ درصدی بار ۹۹
شکل۳-۸۱: زاویه بار نسبی ناحیه دو نسبت به ناحیه یک، وقوع اتصال کوتاه در ناحیه۱ ..... ۱۰۰
شکل۳-۸۲: زاویه بار نسبی ناحیه دو نسبت به ناحیه یک، وقوع اتصال کوتاه در ناحیه۲ ..... ۱۰۱

مقدمه

در سال ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ شبکه‌های قدرت شروع به متصل شدن به شبکه‌های دیگر با خط انتقال خیلی طولانی کردند تا قابلیت اطمینان بالاتر، بازده بیشتر در تولید و توزیع، و صرفه‌جویی بهتری داشته باشند. اما در اثر اینگونه اتصالات، مسائل دینامیکی بسیاری از جمله نوسانات فرکانس پایین (LFO)[۱] مشاهده شد. به طوری که ژنراتورهای یک ناحیه بسیار آهسته در برابر نواحی مجاور، نوسان می‌کردند.

نوسانات فرکانس پایین شامل نوسانات مدهای ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای می‌باشد. نوسانات مدهای بین ناحیه‌ای ممکن است به دلیل عبور توان زیاد از خط انتقال ضعیف، سطح ولتاژ و وجود اغتشاشات غیرقابل پیش بینی مانند اتصال کوتاه سه فاز، ایجاد شود. فرکانس این نوسانات حدود ۰.۱ تا ۱ هرتز بوده که به توان عبوری از خط انتقال بین نواحی، بستگی دارد. این گونه نوسانات می‌تواند باعث فرسودگی شفت ماشین، ساییدگی سیلندرهای مکانیکی ماشین و کاهش بازده سیستم شده و نهایتاً در شبکه‌های بزرگ می تواند باعث ناپایداری شبکه قدرت شود. بنابراین نوسانات فرکانس پایین بایستی در محدوده قابل قبولی میرا شوند.

یکی از معمول‌ترین روشهای میراسازی نوسانات بین ناحیه‌ای، استفاده از پایدارساز سیستم قدرت (PSS)[۲] می‌باشد. PSS حد زاویه پایداری شبکه را با تزریق سیگنال پایدار کننده به سیستم تحریک ژنراتور، افزایش می‌دهد. به عبارتی میراسازی نوسانات با ایجاد گشتاور الکتریکی که به روتور (هم فاز با تغییرات سرعت) وارد می‌شود، صورت می‌پذیرد. اما وقتی نقطه کار سیستم یا پارامترهای شبکه تغییر می‌کنند، پارامترهای تابع تبدیل شبکه نیز تغییر کرده و در نتیجه سیگنال میراکننده تولیدی PSS که با پارامترهای

---

[۱] Low Frequency Oscillation

[۲] Power System Stabilizer

شبکه تنظیم شده است، کاهش یافته و نتیجتاً کارایی PSS کاهش خواهد یافت. محدوده گسترده‌ای از ادوات قدرت مانند PSS وجود دارند که در میراسازی نوسانات LFO مؤثر هستند[۱].

پارامترهای کنترل‌کننده‌های معمول نظیر PSS، بهره ثابت[۳] و پیش‌فاز-پس‌فاز[۴] به صورت Off-line در نقطه کار شبکه تعیین می‌شود. از طرفی سیستم قدرت به شدت غیرخطی بوده و نقطه کار در اثر تغییرات بار، کلیدزنی خازن‌ها و اغتشاشاتی نظیر اتصال کوتاه سه فاز، در رنج وسیعی تغییر می‌کند. بنابراین باید از کنترل کننده‌ای استفاده نمود که در سیستم‌های غیرخطی، جوابگو باشد و در رنج وسیعی از تغییرات نقطه کار، مشخصه میراسازی قابل قبولی داشته باشد. کنترل‌کننده فازی دارای ساختاری ساده بوده که به مدل دقیق سیستم نیازی ندارد.

کنترل سیستم تحریک و مشخصه ذاتی[۵] گشتاور-سرعت گاورنر از عوامل تاثیر گذار در میراسازی نوسانات فرکانس پایین در شبکه است[۲]. در [۲] نشان داده شده که PSS معمول می‌تواند در گاورنر سرعت بالا به کار رود و میراسازی مناسب را در شبکه فراهم آورد. Milanovic در [۳] نشان می‌دهد که استفاده از PSS در حلقه کنترلی گاورنر برای میراسازی نوسانات فرکانس پایین، نتایج بهتری را نسبت به حالتی که از PSS در حلقه کنترلی سیستم تحریک استفاده می‌شود، بدست می‌دهد. البته تجربه نشان داده است که اعمال سیگنال کنترل PSS به گاورنر باعث تغییرات سریع و زیاد دریچه سوخت می‌گردد. از آنجا که عملگرهای حلقهٔ کنترلی گاورنر مکانیکی هستند، و این به قسمت‌های مکانیکی صدمه می‌زند، استفاده از کنترل‌کنندهٔ تکمیلی روی گاورنر توصیه نمی‌شود.

Mok در [۴] از کنترل‌کننده فازی در پایدارسازی شبکه قدرت استفاده نموده است. او از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی پارامترهای کنترل‌کننده فازی استفاده کرده است. دژم‌خوی در [۵] برای میراسازی نوسانات فرکانس پایین، یکی از ادوات معروف FACTS[۶] بنام UPFC[۷] را پیشنهاد داده است. او از مدل خطی هفرون فیلیپس برای شبکه تک ماشینه متصل به باس بی‌نهایت استفاده نموده و نشان داده که استفاده از کنترل‌کننده فازی در UPFC بسیار مؤثرتر از کنترل‌کننده PID می‌باشد. از ایرادات مقاله آقای دژم‌خوی عدم استفاده از UPFC و کنترل‌کننده فازی در شبکه چند ماشینه است. از طرفی UPFC انحصاراً در اختیار کشور آمریکا بوده که در استفاده از آن در شبکه‌های عملی (خصوصاً ایران) محدودیت ایجاد می‌کند.

رشیدی در [۶] از روش ACBNFC[۸] برای کنترل زاویه آتش TCSC[۹] در شبکه تک ماشینه استفاده کرده است. او روش پیشنهادی خود را با نتایج حاصل از فازی-PD مقایسه نموده که نتایج بهتر مقاله‌اش، مؤید روش پیشنهادی اوست. Khan در [۷] کاربرد جبران‌کننده استاتیکی توان[۱۰] را در بهبود پایداری شبکه قدرت بررسی کرده است. او از کنترل‌کننده فازی برای تنظیم سیگنال ورودی SVC در شبکه تک ماشینه استفاده کرده است.

---

[۳] Fixed gain

[۴] Lead-Lag

[۵] Inherent

[۶] Flexible AC Transmission System

[۷] Unified Power Flow Controller

[۸] Adaptive Critic Based Neuro Fuzzy Controller

[۹] Thyristor Controlled Series Capacitor

[۱۰] Static Var Compensator, SVC

Kitauchi در [۸] چندین ورودی مانند سرعت زاویه‌ای، توان اکتیو و توان راکتیو ژنراتور را برای PSS پیشنهاد داده است.

در برخی مراجع نیز برای بهینه‌سازی پارامترهای PSS از الگوریتم ژنتیک [۹] یا شبکه عصبی [۱۰] استفاده شده است. Fangcheng در [۱۱] برای میراسازی LFO در شبکه چند ماشینه از TCSC در مدل خطی شده شبکه استفاده کرده که این سؤال مطرح است که در صورت تغییر نقطه کار شبکه در اثر اغتشاشات، میراسازی چگونه صورت خواهد گرفت.

Demello و Concordia در [۱۲] از شبکه یک ماشینه متصل به باس بی نهایت به منظور آنالیز نوسانات فرکانس پایین در شبکه قدرت، استفاده نمودند. آنها در ابتدا پدیده نوسانات را با مفهوم گشتاور سنکرون و میراکننده بیان کردند به طوری که در صورت عدم وجود گشتاور میراکننده مناسب، نوسانات ناپایدار می‌شوند. آنها مدل خطی ژنراتور سنکرون و سیستم تحریک را توسعه دادند و به صورت یک بلوک دیاگرام ارائه دادند. براساس این بلوک دیاگرام، تاثیر سیستم تحریک در پایداری سیستم را به این صورت بررسی کردند:

وظیفه AVR[۱۱] افزایش گشتاور سنکرون‌کننده و کاهش گشتاور میراکننده می‌باشد. بنابراین از روش حوزه فرکانس برای PSS به منظور جبران اثر منفی گشتاور میراکننده تولیدی AVR استفاده می‌شود.

Kundur در [۱۳] از روشی سیستماتیک برای تعیین پارامترهای PSS برای تولید توان‌های زیاد در یک شبکه قدرت عملی استفاده کرد. اساس طراحی PSS در این مقاله براساس پایدارکننده پیشنهادی در [۱۲] بود. در [۱۳] توجه بیشتر روی پایداری سیستم، میراسازی هم زمان مدهای ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای و توصیف عملکرد PSS تحت شرایط مختلف شبکه بود. علاوه بر آن، نویسندگان برای عملکرد پایداری سیگنال کوچک، پایداری گذرای سیستم را در حالتی که شبکه ایزوله است بوسیله PSS بررسی نمودند. همچنین اهمیت انتخاب ثابت زمانی فیلتر پایین گذر[۱۲] و محدودکننده[۱۳] در خروجی پایدارکننده و پارامترهای سیستم تحرک، به خوبی نشان داده شد. علاوه بر آن در این مقاله استفاده از روش پاسخ فرکانسی برای جبران‌سازی پس فازی بین ورودی تحریک و گشتاور الکتریکی، بسیار جوابگو بوده است.

Chow در [۱۴] چهار تکنیک جایابی قطب برای طراحی PSS به کمک پاسخ فرکانسی را بررسی کرده است. روشی ساده برای نشان دادن مناسب بودن روش پاسخ فرکانسی نیز بررسی شده است.

Hsu و Cheng در [۱۵] پایدارساز سیستم قدرت را براساس تئوری فازی پیشنهاد داده است. تغییرات سرعت ($\Delta\omega$) و شتاب ($\Delta\dot{\omega}$) به عنوان ورودی‌های کنترل‌کننده فازی استفاده شده‌اند. در این مقاله سیستم فازی نوع ممدانی[۱۴] برای ساختن نگاشت از ورودی به خروجی پیشنهاد شده است. تمامی توابع عضویت در این مقاله براساس تجربه نویسنده انتخاب شده و هیچ گونه بهینه سازی توابع عضویت صورت نگرفته است. پایدارساز پیشنهادی در یک شبکه ۲ ماشینه، ۹ باسه متصل به باس بی نهایت، آزمایش شده که نتایج نشانگر پاسخ بهتر این کنترل‌کننده نسبت به PSS معمول می‌باشد.

Hiyama در [۱۶و۱۷] کاربرد کنترل‌کننده فازی در پایدارسازی شبکه قدرت را بررسی کرده است. او از تغییرات سرعت ($\Delta\omega$) و شتاب ($\Delta\dot{\omega}$) به عنوان ورودی های کنترل‌کننده فازی استفاده نموده است.

---

[۱۱] Automatic Voltage Regulator

[۱۲] Washout

[۱۳] Limiter

[۱۴] Mamdani

او در [۱۸] نسخه جدیدی از قواعد[۱۵] پایدارکننده را ارائه کـرد. او بـه جـای اسـتفاده از دو گـین بـرای رسیدن به استراتژی کنترلی، از کنترل‌کننده فازی برای توصیف انتقال کنترل‌کننده‌ها استفاده نمود.

Malik شخص دیگری است که تحقیقات بسیاری روی طراحی کنترل‌کننده فـازی و شـبکه عصـبی در پایداری سیستم انجام داده است. او و Hariri در [۱۹] کنترل‌کننده فازی را برای پایدارسـازی شـبکه پیشـنهاد دادند. پارامترهای پایدارساز آنها بصورت off-line تعیین می‌شد که همانند کنترل‌کننده APSS[۱۶] پیشنهادی در [۲۰] که بر پایه جایابی قطب بود، عمل می کرد. در [۲۱] از شـبکه عصـبی بـرای تنظـیم پارامترهـای PIPSS استفاده شده اسـت. Wen، Cheng و Malik در [۲۲] ترکیـب الگـوریتم ژنتیـک بـا PSS را پشـنهاد دادنـد تـا پارامترهای بهینه PSS محاسبه شود. در [۲۳] پایدارسازی شبکه قدرت در رنج وسیعی از شرایط کار با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده است.

نویسندگان در [۲۴] از tabu-search برای تعیین پارامترهای PSS استفاده کردند. Lu، Nehrir و Pierre در [۲۵] برای پایدارسازی شبکه قدرت، کنترل‌کننده فازی را پیشنهاد دادند. آنها مدلهای خطـی مرتبـه پـایین ژنراتور سنکرون را در نقاط کار مختلف بدست آوردند و با کمک روش تحلیـل فرکانسـی، PSS بهینـه را در هـر نقطه کار، طراحی نمودند. علاوه بر آن از کنترل‌کننده فازی نیز برای رسیدن به سازگاری بیشتر در نقـاط کـار، استفاده کردند[۲۶].

Mitra نیز در [۲۷] از کنترل‌کننده فازی در پایدارسازی شبکه قدرت استفاده کرده است. او توان اکتیـو عبوری از خط انتقال شبکه را به عنوان ورودی کنترل‌کننـده فـازی در نظـر گرفـت و در حـالتی دیگـر ورودی کنترل‌کننده فـازی را تغییـرات سـرعت زاویـه‌ای روتـور قـرار داد. Mtsuki در [۲۸] نتـایج تجربـی اسـتفاده از کنترل‌کننده فازی را در شـبکه قـدرت بیـان کـرده اسـت. Cheng در [۲۹] بـرای بهبـود PSS از tabu–fuzzy استفاده کرده و نتایج حاصله را با PSS معمول مقایسه نموده است. Hussein نیز برای بهبـود پایـداری شـبکه و میراسازی نوسانات بین ناحیـه‌ای، کنتـرل‌کننـده فـازی را پیشـنهاد داده اسـت[۳۰]. Elshafei در [۳۱] بـرای پایدارسازی شبکه قدرت، کنترل‌کننده‌ای را بر پایه منطق فازی بررسی کرده است. کنترل‌کننـده پیشـنهادی او قواعد فازی را به صورت online تنظیم می‌کند. El-Ela در [۳۲] از کنترل‌کننـده فـازی در پایدارسـازی شـبکه قدرت استفاده کرده است. او تکنیک برنامه‌ریزی خطی فازی را با تغییرات شـرایط کـار شـبکه، بررسـی نمـوده است.

در هیچکدام از موارد ذکر شده بر روی مقاوم بودن[۱۷] کنترل‌کننده فازی در برابر اغتشاشـات غیـر قابـل پیش‌بینی مانند وقوع اتصال کوتاه در نقاط مختلف شبکه، تغییرات بار شبکه، تاخیر در عملکرد رله‌ها و ... بحثی نشده است. به همین منظور در این پایان نامه ابتدا کارایی کنترل‌کننـده فـازی را در یـک شـبکه یـک ماشـینه بررسی خواهیم کرد و در مرحله بعد توانایی کنترل‌کننده فازی را در پایدارسازی شبکه قـدرت دو ناحیـه ای – چهار ماشینه، مورد بررسی قرار خواهیم داد و میزان مقاوم بودن در دو حالت فـازی و PSS را مقایسـه خـواهیم کرد. و نشان خواهیم داد که کنترل‌کننده پشنهادی در پایدارسازی شبکه قدرت و میراسازی نوسانات، عملکـرد بسیار بهتری نسبت به PSS دارد.

خواننده گرامی چنانچه با مبحث نوسانات فرکانس پایین و مدلسازی ماشین سنکرون آشنائی دارد می‌تواند بدون آنکه ارتباط بقیه فصول از بین برود از فصل سوم به بعد مطالب را مطالعه فرماید.

---

[۱۵] Rule-base

[۱۶] Adaptive PSS

[۱۷] Robustness

در فصل سوم که اصلی‌ترین و مهمترین فصل بشمار می‌رود طرح کنترل‌کننده فازی بـر روی شـبکه یـک ماشینه و شبکه دو ناحیه ای چهار ماشینه و بررسی نوسانات محلی و بین ناحیه‌ای مورد بحث قرار مـی‌گیـرد و در فصل پایانی نتایج کار مورد بحث قرار گرفته و در حقیقت کنترل‌کننده فـازی بـا پایـدار کننـده‌هـای شـبکه قدرت مورد مقایسه قرار می‌گیرند.