بسم الله الرحمن الرحيم

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **علی نظری** متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی می‌باشد.

نام ونام خانوادگی دانشجو:

علی نظری

امضاء

تهران- لویزان- کد پستی ۱۶۷۸۸ - صندوق پستی۱۶۳- ۱۶۷۸۵ تلفن ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ (داخلی۲۳۴۷)
نمابر: ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونیکی: sru@sru.ac.ir

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بهبود عملکرد دینامیکی سیستم های قدرت چند ماشینه با استفاده از کنترل کننده های غیر متمرکز

نگارش

علی نظری

استاد راهنما: دکتر بیژن معاونی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق– قدرت

شهریور ماه ۱۳۹۰

شماره: ۹۲/۲۶۶
تاریخ: ۹۰/۷/۲۷
پیوست: دارد

بسمه تعالی

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای علی نظری رشتهٔ: برق–قدرت با عنوان بهبود عملکرد دینامیکی سیستم‌های قدرت چند ماشینه با استفاده از ساختار کنترل غیر متمرکز، که در تاریخ ۹۰/۷/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

☑ قبول (بادرجه عالی امتیاز ۱۸/۸۶) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود.

۱ ـ عالی (۲۰ – ۱۸) هجده و هشتاد و پنج صدم

۲ ـ بسیار خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۳ ـ خوب (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۴ ـ قابل قبول (۱۳/۹۹ – ۱۲)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر بیژن معاونی	استادیار	
استاد داور داخلی	دکتر فرید کربلایی	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر علی خاکی‌صدیق	استاد	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی بدری	استادیار	

دکتر سید علیالی
۹۰/۱۱/۱۷
رئیس دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تهران ،لویزان ،کدپستی: ۱۵۸۱۱ – ۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳ – ۱۶۷۸۵
تلفن: ۹- ۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۳۲
Email:sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیم به

دستهای مادرم

و

شانه های پدرم

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس هستی بخشِ توانا را، او که انسان را فکرت آموخت و اندیشه و تعقل را همچون چراغ، روشنایی بخش تاریکی های زندگانیش ساخت.

این نوشته اگر ارزشی در مجموعه تلاش های تحقیقاتی و پژوهشی داشته باشد، مدیون راهنمایی، همکاری و همدلی انسان های بسیاری است که بی مِهر آن ها این تعلم ممکن نبود. با این وصف از بزرگ اساتیدی که درحضورشان تلمّذ کرده ام و این افتخاری بس بزرگ است، تشکرمی کنم.

برترین مراتب سپاس خویش را تقدیم استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر بیژن معاونی

می نمایم که با راهنمایی های دلسوزانه و استادانه ی خویش با صبر و حوصله در تمام مراحل این پژوهش مرا راهنمایی کرده و عالمانه همراهیم نمودند.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر فرید کربلایی نیز سپاسگزارم که توصیه ها و نظرات ارزنده ای ارائه دادند.

از همه ی کسانی که با صداقت و همفکری در تمام مراحل پژوهش مرا یاری نمودند کمال امتنان را دارم.

چکیده

نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین از مشخصه‌های اجتناب‌ناپذیر سیستم‌های قدرت هستند و به طور عمده‌ای روی ظرفیت توان انتقالی و پایداری دینامیکی سیستم تأثیر می‌گذارند. در این پایان-نامه طراحی بهینه پایدارسازهای سیستم قدرت (PSS[1]) مقاوم تک‌ماشینه و چندماشینه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی زنبوران عسل (HBMO[2]) ارائه شده است. مسئله طراحی پارامترهای پایدارساز-ها به منظور میراسازی نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین در ناحیه وسیعی از شرایط عملکرد به صورت یک مسئله بهینه‌سازی با تابع معیار زمانی تبدیل شده و با استفاده از الگوریتم بهینه سازی زنبوران عسل حل می‌شود. برای تضمین مقاومت روش پیشنهادی، فرایند طراحی در ناحیه وسیعی از شرایط عملکرد صورت گرفته است. برای ارزیابی کارآیی و استقامت پایدارسازهای پیشنهادی، نتایج شبیه‌سازی برای اغتشاشات و شرایط کارهای مختلف انجام گرفته و نتایج با روش الگوریتم ژنتیک[3] مقایسه شده است. نتایج این مطالعات نشان می دهد که پایدارساز طراحی شده با الگوریتم بهینه سازی زنبوران عسل عملکرد برتری داشته و باعث افزایش پایداری دینامیکی و میراسازی نوسانات فرکانس پایین سیستم شده است.

کلمات کلیدی: پایدارساز سیستم قدرت، الگوریتم بهینه‌سازی زنبوران عسل، سیستم چندماشینه و نوسانات فرکانس پایین.

[1]- Power System Stabilizer
[2]- Honey Bee Mating Optimization
[3]- Genetic Algorithm

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
تأییدیه ی هیأت داوران	أ
چکیده	د
فهرست مطالب	ه
فهرست جداول	ز
فهرست شکلها	ح
فصل اول: مقدمه	۱
۱ـ۱ ماهیت نوسانات سیستم‌های قدرت	۲
۱ـ۲ مروری بر روش های کنترلی انجام شده	۳
۱ـ۳ اهداف پایان نامه	۶
۱ـ۴ ساختار پایان‌نامه	۷
فصل دوم: مدل‌سازی ریاضی سیستم‌های قدرت	۹
۲ـ۱ مقدمه	۱۰
۲ـ ۲مدل‌بندی سیستم تک ماشینه به صورت غیرخطی	۱۰
۲-۲-۱ معادلات رتور	۱۱
۲-۲-۲ مدل سیستم تحریک و ساختار PSS	۱۲
۲-۳ سیستم قدرت تک ماشینه مورد مطالعه	۱۳
۲-۴ مدل‌سازی سیستم قدرت چندماشینه	۱۶
فصل سوم: الگوریتم بهینه‌سازی زنبوران عسل	۲۰
۳-۱ مقدمه	۲۱
۳-۲ الگوریتم جفت گیری زنبوران عسل	۲۲
۳-۳ الگوریتم HBMO	۲۳
۳ـ۴ مراحل اجرای الگوریتم HBMO	۲۳
فصل چهارم: الگوریتم پایدارسازی پیشنهادی: سیستم قدرت تک ماشینه	۳۰
۴-۱ مقدمه	۳۱
۴ـ۲ تابع هدف	۳۱
۴-۳ طراحی PSS با الگوریتم‌های HBMO و GA	۳۳
۴ـ ۴ تحلیل عملکرد پایدارسازهای طراحی شده	۳۵
۴-۵ شبیه سازی زمانی	۳۶
۴-۶ تحلیل با شاخصهای عملکرد	۴۰

فصل پنجم: الگوریتم پایدارسازی پیشنهادی: سیستم قدرت چندماشینه ۴۴
۵ـ۱ مقدمه ۴۵
۵-۲سیستم قدرت چندماشینه مورد مطالعه ۴۵
۵-۳ طراحی پایدارسازهای سیستم با HBMO ۴۶
۵-۴ شبیه‌سازی زمانی ۴۸
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۲
۶ـ۱ نتیجه‌گیری ۶۳
۶-۲ پیشنهادات ۶۴
پیوست الف ۶۵
پیوست ب ۶۶
پیوست پ ۶۸
پیوست ت ۷۱
پیوست ث ۷۹
فهرست منابع ۸۶

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول۴-۱ شرایط عملکرد برحسب پریونیت ۳۲
جدول۴-۲ پارامترهای الگوریتم HBMO و GA ۳۳
جدول۴-۳ پارامترهای بهینه شده PSS با HBMO و GA ۳۴
جدول ۴-۳ مقادیر ویژه سیستم تک ماشینه بدون PSS ۳۵
جدول ۵-۱ شرایط عملکرد ژنراتورها ۴۶
جدول ۵-۲ شرایط بارگذاری برحسب (pu) ۴۶
جدول ۵-۳ پارامترهای بهینه Pss ها ۴۷
جدول الف-۱ اطلاعات سیستم تک‌ماشینه با شین بی نهایت ۶۵
جدول ب-۱ اطلاعات سیستم چندماشینه ۶۶
جدول ب-۲ اطلاعات خطوط انتقال بر حسب پریونیت ۶۷
جدول پ-۱ پخش بار در شرایط نامی بر حسب پریونیت ۶۸
جدول پ-۲ پخش بار در شرایط سبک بر حسب پریونیت ۶۹
جدول پ-۳ پخش بار در شرایط سنگین بر حسب پریونیت ۷۰

فهرست شکلها

عنوان صفحه

شکل ۲-۱ شبکه خارجی با دو ورودی ۱۱
شکل ۲-۲ سیستم تحریک IEEE Type-ST۱ مجهز به PSS ۱۳
شکل ۲-۳ سیستم قدرت تک ماشینه با شین بی‌نهایت ۱۴
شکل ۲-۴ بلوک دیاگرام سیستم SMIB ۱۶
شکل ۲-۵ سیستم قدرت سه ماشینه نه شینه ۱۶
شکل ۲-۶ دیاگرام بلوکی تابع تبدیل سیستم قدرت چندماشینه ۱۸
شکل ۳-۱ الگوریتم HBMO ۲۵
شکل ۳-۲ روندنمای الگوریتم پیشنهادی ۲۸
شکل ۴-۱روندنمای الگوریتم طراحی PSS ۳۴
شکل ۴-۲ انحراف سرعت روتور تحت اغتشاش کوچک بدون PSS ۳۵
شکل۴-۳ پاسخ دینامیکی در شرایط بارگذاری نامی ۳۷
شکل ۴-۴ پاسخ دینامیکی در شرایط بارگذاری سبک ۳۷
شکل ۴-۵ پاسخ دینامیکی در شرایط بارگذاری سنگین ۳۷
شکل ۴-۶ انحراف توان اکتیو ماشین سنکرون در شرایط بارگذاری نامی ۳۸
شکل۴-۷ انحراف ولتاژ تحریک ماشین سنکرون در شرایط بارگذاری سبک ۳۸
شکل ۴-۸ خروجی سیگنال پایدارساز PSS در در شرایط بارگذاری نامی ۳۸
شکل ۴-۹ پاسخ دینامیکی در شرایط بارگذاری نامی: خط یکپارچه ۳۹
شکل ۴-۱۰ پاسخ دینامیکی در شرایط بارگذاری سبک ۳۹
شکل ۴-۱۱ پاسخ دینامیکی در شرایط بارگذاری سنگین ۴۰
شکل ۴-۱۲ مقادیر شاخص عملکرد برای سناریو اول الف) ITAE ب) FD ۴۱
شکل ۴-۱۳ مقادیر شاخص عملکرد برای سناریو دوم الف) ITAE ب) FD ۴۲
شکل ۵-۱ انحراف سرعت همه ماشین‌ها بدون پایدارساز ۴۸
شکل۵-۲ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش در ماشین ۱ در شرایط بارگذاری نامی ۴۹
شکل۵-۳ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش در ماشین ۱ در شرایط بارگذاری سبک ۵۰
شکل۵-۴ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش در ماشین ۱ در شرایط بارگذاری سنگین..... ۵۱
شکل۵-۵ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش در ماشین ۲ در شرایط بارگذاری نامی ۵۲

شکل۵-۶ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش در ماشین ۲ در شرایط بارگذاری سبک ۵۳
شکل۵-۷ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش در ماشین ۲ در شرایط بارگذاری سنگین..... ۵۴
شکل۵-۸ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش در ماشین ۳ در شرایط بارگذاری نامی ۵۵
شکل۵-۹ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش در ماشین ۳ در شرایط بارگذاری سنگین .. ۵۶
شکل ۵-۱۰ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش خطای سه فاز در شرایط بارگذاری سبک ۵۸
شکل ۵-۱۱ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش خطای سه فاز در شرایط بارگذاری نامی ۵۹
شکل ۵-۱۲ پاسخ دینامیکی با اعمال اغتشاش خطای سه فازدرشرایط بارگذاری سنگین ۶۰
شکل ت-۱ نمایش سیستم چندماشینه ۷۲
شکل ت-۲ دیاگرام فازوری ماشین iام ۷۳
شکل ث-۱ نمایش کروموزوم که دارای n بیت می‌باشد و در پایه m کدگذاری شده است ۸۲
شکل ث-۲: جابجایی درکروموزومهایی که ازشکل کد شده چهارمتغیر بوجود آمده است ۸۴
شکل ث-۳: روند کلی الگوریتم ژنتیک ۸۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- ماهیت نوسانات سیستم‌های قدرت

پایداری سیستم‌های قدرت یکی از جنبه‌های مهم در عملکرد سیستم‌های الکتریکی بوده و بایستی سیستم کنترلی اندازه فرکانس و ولتاژ را تحت هر اغتشاشی از قبیل افزایش ناگهانی بار، خارج شدن یک ژنراتور از مدار یا قطع شدن یک خط انتقال در سطوح ثابتی حفظ کنند. در سیستم‌های قدرت بهم پیوسته، ژنراتورهای سنکرون بایستی در سرعت سنکرون چرخیده و توان جاری در خطوط انتقال بین نواحی را تحت شرایط عملکرد نامی در مقدار ثابتی حفظ کنند. با وجود این، نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین[1] زمانی روی می‌دهد که اغتشاشی در سیستم قدرت ایجاد شود این نوسانات بیشتر در متغیرهای سیستم قدرت مثل ولتاژ شین، جریان خط، توان و سرعت ژنراتور مشاهده می‌شود [۱].

توسعه سیستم‌های قدرت و اتصال ژنراتورهای سنکرون به هم باعث ایجاد نوساناتی با فرکانس خیلی پایین در محدوده ۰/۲ تا ۲ هرتز می‌شود. این نوسانات به مدت طولانی در سیستم ادامه داشته و در بسیاری از موارد اگر میرایی کافی ایجاد نشود دامنه آنها افزایش یافته و باعث جداسازی و ناپایداری سیستم می‌شوند. نوسانات فرکانس پایین پدیده‌ای است که پایداری دینامیکی سیستم‌های قدرت را تهدید می‌کند و شبکه‌هایی که ساختار طولی دارند احتمال بروز نوسانات الکترومکانیکی در آن زیاد است. مدهای الکترومکانیکی نوسانی به دو دسته تقسیم می‌شوند [۲]:

- مد محلی[2]: این نوسانات بین یک نیروگاه و یک شبکه بزرگ اتفاق می‌افتد. به عبارت دیگر نوسانات محلی زمانی رخ می‌دهد که یک واحد مولد در یک نیروگاه نسبت به بقیه شبکه نوسان نماید و محدوده فرکانس آنها بین ۰/۸-۲ هرتز می‌باشد. این نوسانات معمولا در نیروگاه‌هایی با سیستم تحریک سریع که بار آن زیاد و توسط یک خط انتقال ضعیف به شبکه وصل باشد، رخ می‌دهد.
- مد میان ناحیه‌ای[3]: این نوسانات بین تعداد زیادی از ماشین‌های یک قسمت شبکه و ماشین-های قسمت دیگر به وجود می‌آید که محدوده فرکانس آنها ۰/۲-۰/۸ هرتز می‌باشد.

---

[1]- Low Frequency Electromechanical Oscillations

[2]- Local Mode

[3]- Inter Area Mode

یک راه حل برای بهبود پایداری دینامیکی شبکه و افزایش میرایی اضافه کردن خطوط انتقال موازی برای کاهش مقاومت القایی بین مولد و شبکه است. البته این راه حل غیر اقتصادی و به جای آن از تنظیم کننده سرعت و کنترل کننده تحریک استفاده می‌کنند. علاوه براین شبکه‌هایی که خطوط انتقال ضعیف هم دارند به دنبال ناپایداری گذرا ممکن است مواجه با ناپایداری دینامیکی شوند به نحوی که در شبکه‌های قدرت بهم پیوسته امروزه ماشینی که در اولین نوسان پایدار گذرا بوده، تضمینی برای برگشت آن به نقطه کار حالت دایمی وجود ندارد. بدین معنی است که نوسانات فرکانس پایین ممکن است به دنبال بروز اتصال کوتاه در شبکه و خارج شدن بعضی از خطوط که ماشین را به سیستم وصل می‌کنند، نیز رخ دهد. در صورتی‌که این نوسانات میرا نشوند باعث جدا شدن ماشین از شبکه می‌گردد. در صورتی که یکی از خطوط در اثر بروز اتصال کوتاه قطع شود سیستم انتقال ضعیف‌تر از حالت قبل شده و سیستم دچار ناپایداری دینامیکی می‌شود. برای میراکردن این نوسانات و افزایش پایداری دینامیکی از پایدارساز سیستم قدرت که از لحاظ فنی و اقتصادی مناسب بوده، استفاده می‌کنند. پایدارساز سیستم قدرت با ایجاد گشتاور میرا کننده از طریق سیستم تحریک ژنراتور موجب میرا شدن سریع‌تر نوسانات فرکانس پایین می‌شود [۳و۴]. در سال‌های اخیر طراحی های متنوعی از پایدارسازها مبتنی بر مفاهیم استنباط شده از تئوری کنترل کلاسیک [۵-۷] ارائه شده است که بسیاری از این طراحی‌ها در سیستم‌های واقعی اجرا شده است. در این روش برای جبران-سازی فاز از سیگنال‌های توان، سرعت و فرکانس به تنهایی یا ترکیبی از این سیگنال‌ها فیدبک گرفته و به عنوان ورودی کنترل‌کننده در نظر می گیرند تا گشتاور میرایی مناسبی را برای روتور ژنراتور سنکرون فراهم کنند. همچنین بهره و پسفازی- پیشفازی مورد نیاز پایدارسازها با استفاده از مدل‌های ریاضی و فهم مناسب از شرایط کار شبکه تنظیم می‌شود.

۱-۲- مروری بر روش‌های کنترلی انجام شده

در سال‌های اخیر استراتژی‌های کنترلی و روش‌های بهینه‌سازی بسیاری در مقالات به منظور میرا کردن نوسانات فرکانس پایین سیستم قدرت با استفاده از PSS ارائه شده است. در این بخش تعدادی از مطالعات ارائه شده را مرور خواهیم کرد.

اصول عملکرد PSS مبتنی بر مفاهیم گشتاورهای سنکرون کننده و میراکننده در داخل ژنراتور سنکرون است بطوریکه آقایان Demello و Concordia [۸] اولین کسانی بودند که با استفاده از شبکه تک ماشینه با شین بی‌نهایت[1] به ماهیت نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین در سیستم قدرت پرداخته‌اند. آنها ابتدا با مفهوم گشتاور میرا کننده و سنکرون کننده، پدیده نوسانات را تشریح کرده و اظهار داشته‌اند که کمبود گشتاور میرایی باعث نوسان و ناپایداری در سیستم می‌شود. همچنین آنها

[1]- Single Machine Infinite Bus

مدل خطی شده ژنراتور سنکرون و سیستم تحریک آن را به شکل بلوکی بسط داده‌اند. براساس این بلوک دیاگرام، مولفان مطرح کردند که واکنش‌های رگولاتور ولتاژ اتوماتیک[1] باعث افزایش گشتاور سنکرون کننده و کاهش گشتاور میرا کننده می شوند.

مولفان در [۹] تاثیر تنظیم کننده‌های ولتاژ آمپلیدین روی عملکرد زیر تحریک ژنراتورهای توربین بزرگ را تحلیل کرده‌اند. آنها نخستین کسانی بودند که مدل اغتشاش کوچک شبکه تک ماشینه با شین بی‌نهایت را برحسب ثابت‌های $K_1 - K_6$ ارائه داده‌اند. بررسی‌های آنها نشان داد که تنظیم کننده‌های فعال پیوسته محدوده پایداری حالت دائم ژنراتورهای توربین دار در ناحیه زیر تحریک را بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند.

آقای Klein و همکاران در[۱۰] تأثیر پایدارسازها روی مدهای محلی و بین‌ناحیه‌ای در سیستم قدرت بهم پیوسته را با مطالعات شبیه‌سازی کامپیوتری بررسی کرده‌اند. آنها نشان دادند که جایگذاری بهینه PSS و مشخصه ولتاژ بارهای سیستم، عامل مهمی در پایدارسازی سیستم و میرا کردن نوسانات با PSS هستند.

یک روش جدید برای طراحی غیر متمرکز بهینه PSS با فیدبک خروجی در مرجع [۱۱] بررسی شده است. اگر پایدارسازها با طرح کنترلی فیدبک حالت وفق داده شوند نیاز به تخمین زننده‌ها و کنترل‌کننده‌های متمرکز بوده تا متغیرهای حالت که در دسترس نیستند اندازه گرفته شوند. در نتیجه این عوامل باعث افزایش هزینه سخت‌افزاری و کاهش قابلیت اطمینان سیستم کنترل می‌شوند.

روش‌های طراحی کنترل هوشمند از جمله منطق فازی [۱۲و ۱۳] و شبکه‌های عصبی مصنوعی [۱۴-۱۷] نیز برای طراحی PSS در سیستم های قدرت استفاده شده است. برخلاف روش‌های کنترلی کلاسیک، کنترل‌کننده‌های فازی وعصبی کنترل‌کننده‌هایی با مدل آزاد بوده ونیازی به مدل ریاضی دقیقی از سیستم کنترل شده ندارند. بنابراین سرعت و استقامت بالاتری نسبت به سایر روش‌های کلاسیک دارند. با وجود این، نظر به اینکه طراحی براساس تجربه و قواعد می‌باشد، اینها نمی‌توانند یک روش طراحی واحدی برای سیستم مورد مطالعه باشند.

تئوری کنترل مقاوم برای پاسخ دادن به نیاز طراحی کنترل کننده‌هایی برای سیستم‌های دینامیکی دارای نامعینی پدید آمده اند بطوریکه روشهای طراحی سیستم کنترلی کلاسیک با الگوریتمهای سعی و خطا رضایت بخش نبوده‌اند. تمامی مدل‌های ریاضی یک سیستم فیزیکی دارای عدم قطعیت می‌باشند. این عدم قطعیت ناشی از اندازه‌گیری‌های نادقیق یا عدم توانایی در منظور کردن تمامی پدیده‌های دخیل در دینامیک سیستم مورد نظر می‌باشد. حتی اگر امکان مدل‌سازی سیستم به صورت دقیق وجود داشته باشد، توصیف بدست آمده اغلب برای تحلیل سیستم و طراحی کنترل کننده بسیار پیچیده است. بنابراین ترجیح داده می شود که یک مدل ساده تر انتخاب شود و

[1]- Automatic Voltage Regulator

خطای بین مدل ساده شده و مدل پیچیده تر به عنوان نامعینی در نظر گرفته شود [۱۸ و ۱۹]. در مورد سیستم های قدرت، معادلات غیرخطی سیستم زمانی که حول نقطه کار خطی سازی می شوند منجر به یک مدل خطی با تولید پارامترهایی می گردند که با تغییر نقطه بهره برداری تغییر می کنند. تعدادی از این الگوریتم های کنترل مقاوم که در طراحی پایدارساز استفاده شده عبارتند از: کنترل بهینه Hinf [۲۰ و ۲۱]، تحلیل و ترکیب Miu [۲۲] و تئوری فیدبک کمی [۲۴].

در الگوریتم‌های فوق عدم‌قطعیت‌های سیستم صریحاً مدل‌بندی و در داخل فرایند طراحی جا داده شده است تا عملکرد مناسبی در حضور عدم قطعیت های سیستم و اغتشاشات خارجی داشته باشد. الگوریتم Hinf یک روش طراحی کنترل کننده مقاوم است که در تنظیم پارامترهای PSS استفاده شده است. تئوری کنترلی Hinf ابزاری قدرتمندی را برای پایدارسازی مقاوم و مسأله تضعیف اغتشاش فراهم می سازد. باوجود این، تئوری کنترلی Hinf استاندارد عملکرد مقاوم را تحت حضور همه عدم قطعیت های سیستم تضمین نمی‌کند به ویژه در سیستم های قدرت که پارامترها به طور قابل ملاحظه ای با تغییر نقاط کار تغییر می‌کنند. مسأله اصلی یافتن پارامترهای کنترل‌کننده‌ای است که نرم بی‌نهایت آن برای سیستم حلقه بسته به ازای همه عدم قطعیت‌های سیستم زیر سطح مشخص شده‌ای صدق کند.

آقایان Chen و Malik [۲۱]پایدارسازی را براساس روش بهینه سازی Hinf طراحی کردند که عدم قطعیت‌های سیستم با اختلالات ممکن در ژنراتور سنکرون حول نقطه کار نمایش داده شده است.

مولفان مرجع[۲۳] یک روشی را براساس QFT برای طراحی کنترل کننده مقاوم برای سیستم قدرت تک ورودی- تک خروجی پیشنهاد داده اند. همچنین این مولفان مطالعات خود را در زمینه موارد چندمتغیره نیز توسعه داده اند.

به طور کلی طرح‌ریزی استراتژی کنترلی مناسب برای میراکردن نوسانات الکترومکانیکی از مسایلی است که بایستی در هنگام طراحی و ساخت سیستم در نظر گرفته شود. روش های کنترلی از قبیل کنترل تطبیقی[1] [۲۴]، LMI[2] [۲۵]، ساختار متغیر[3] [۲۶] و انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی و هوش مصنوعی [۲۷-۳۳] از جمله روشهایی هستند که طی دهه‌های اخیر در زمینه پایداری سیستم‌های قدرت و طراحی پایدارسازها مورد توجه قرار گرفته‌اند. امروزه، با وجود توانایی روش‌های کنترل مدرن با ساختارهای مختلف، هنوز پایدارساز پیش‌فاز- پس‌فاز[4] کلاسیک ترجیح داده می‌شود. برای این که این نوع پایدارسازها به راحتی تنظیم شده و اطمینان لازم از پایداری سیستم حاصل می‌شود [۳۴].

[1]- Adaptive Control
[2]- Linear Matrix Inequality
[3]- Variable Structure Contro
[4]-Lead-Lag Stabilizer

اخیرا تکنیک‌های بهینه‌سازی جهانی مثل الگوریتم ژنتیک، برنامه نویسی تکاملی[1]، جستجوی ممنوع[2]، فرایند آبکاری فولاد[3]، الگوریتم بهینه سازی آشوب [4] و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات[5] [۲۷- ۳۳] برای بهینه‌سازی پارامترهای PSS به کار گرفته شده است. الگوریتم‌های تکاملی روش‌هایی براساس جمعیت هوشمند بوده که دارای تغییر تصادفی و عملگرهای انتخابی هستند. اگر چه این الگوریتم‌ها روش های مناسبی برای مساله بهینه‌سازی هستند. ولی هرچه تعداد پارامترهای بهینه-سازی بیشتر باشد راندمان آنها کاهش و زمان محاسبات افزایش می‌یابند. در این تحقیق طراحی پایدارساز سیستم به یک مسأله بهینه‌سازی قیوددار تبدیل شده که از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبوران عسل[6] برای تنظیم مناسب پارامترهای PSS در سیستم‌های قدرت تک‌ماشینه و چندماشینه در ناحیه وسیعی از شرایط عملکرد استفاده شده است. برای نشان دادن کارآیی و عملکرد پایدارساز طراحی شده با روش پیشنهادی، نتایج با الگوریتم ژنتیک مقایسه و ارزیابی خواهد شد.

۱-۳- اهداف پایان‌نامه

هدف از این تحقیق بررسی پایداری سیستم‌های قدرت در شرایط وسیعی از نقاط کار با استفاده از پایدارساز سیستم قدرت مقاوم و چگونگی تنظیم پارامترهای آن با الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند است. مراحل لازم برای رسیدن به اهداف پایان‌نامه در زیر به طور خلاصه اشاره شده است:

- مدل‌سازی ریاضی سیستم‌های قدرت: در این بخش معادلات غیرخطی ماشین سنکرون، شبکه، مدل‌بندی سیستم تحریک و مدل پایدارساز در محیط تک ماشینه و چندماشینه ارائه خواهد شد. سپس برای طراحی PSS معادلات حول نقاط کار خطی‌سازی شده تا ثابت‌های مدل هفرون- فیلیپس محاسبه شود.

- الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبوران عسل: در این بخش نحوه عملکرد جفت‌گیری در زندگی زنبوران عسل و روندنمای روش بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم HBMO به منظور طراحی پارامترهای PSS با تابع معیار براساس شبیه‌سازی زمانی ارائه شده است.

- طراحی PSS برای سیستم قدرت تک‌ماشینه با شین بی‌نهایت: در این بخش پایدارساز سیستم قدرت در شبکه تک‌ماشینه با شین بی‌نهایت با روش HBMO طراحی شده است. به منظور میراسازی

---

[1]-Evolutionary programming
[2]-Tabu search
[3]-Simulated Annealing
[4]-Choatic Optimization Algorithm
[5]-Prticle Swarm Optimization
[6]-Honey Bee Mating Optimization

نوسانات فرکانس پایین با PSS از مدل مرتبه چهار برای ماشین سنکرون استفاده شده، سپس مدل دینامیکی سیستم حول یک نقطه‌کار خطی‌سازی و ثابت‌های مدل هفرون- فیلیپس محاسبه شده‌اند. مسئله تنظیم پارامترهای PSS به یک مسئله بهینه‌سازی قیوددارتبدیل شده و با استفاده از روش بهینه‌سازی جفت گیری زنبوران عسل کنترل‌کننده‌های مناسب طراحی شده‌اند.

- تنظیم پارامترهای PSS در سیستم قدرت چندماشینه: در این بخش ابتدا مدل هفرون- فیلیپس برای سیستم چندماشینه به منظور شبیه‌سازی دینامیکی و طراحی PSS ارائه شده است. مسئله طراحی پارامترهای PSS در یک سیستم قدرت سه‌ماشینه به یک مسئله بهینه‌سازی قیوددارتبدیل شده و با روش هوشمند HBMO حل شده و نتایج شبیه‌سازی از طریق شبیه‌سازی غیرخطی زمانی مورد ارزیابی قرارگرفته است.

۱-۴- ساختار پایان نامه

مراحل لازم برای رسیدن به اهداف پایان‌نامه در زیر به طور خلاصه اشاره شده است:

پس از مقدمه و تعریف نوسانات فرکانس پایین، در فصل دوم مدل سازی ریاضی مولفه های شبکه در سیستم های قدرت تک ماشینه و چندماشینه ارائه خواهد شد. در فصل سوم مرور اجمالی بر روش بهینه‌سازی جفت گیری زنبوران عسل و نحوه عملکرد این الگوریتم خواهیم داشت. در فصل چهارم فرایند طراحی PSS برای سیستم قدرت تک‌ماشینه با شین بی‌نهایت ارائه شده و نتایج از طریق شبیه-سازی زمانی و تعدادی شاخص عملکرد نشان داده خواهد شد. تنظیم پارامترهای PSS برای سیستم قدرت چندماشینه در فصل پنجم پرداخته خواهد شد. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات در فصل ششم بحث خواهد شد.

- **جمع بندی:**

در بخش مقدمه، نگاهی اجمالی به علل تولید نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین و تاثیر آنها درپایداری سیستهای قدرت، شد. همچنین استراتژیهای کنترلی و روشهایی که برای میرا کردن اینگونه نوسانات در مطالعات و مقالات قبلی که تا کنون صورت گرفته، به اختصار مرور گردید ودر پایان، اهداف و ساختار این پایان نامه معرفی شد.