

الله الرحمن الرحيم



دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی برق - قدرت

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی برق - قدرت

عنوان

**استفاده دستگاه های اندازه گیری فازوری در کنترل مقاوم بار - فرکانس
چند ناحیه ای**

استاد راهنما


دکتر محمد حسین کاظمی

دانشجو

فرشته تاری وردی

بهمن 1392



شماره:	اظهارنامه دانشجو	
تاریخ:		

اینجانب فرشته تاری وردی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، گواهی می‌دهم که پایان‌نامه تدوین شده حاضر با عنوان: «استفاده دستگاه های اندازه گیری فازوری در کنترل مقاوم بار-فرکانس چند ناحیه ای» به راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر محمد حسین کاظمی توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تایید است و چنانچه هر زمان دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان‌نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید؛ همچنین اعلام می‌دارد در صورت بهره‌گیری از منابع مختلف شامل: گزارش تحقیقاتی، رساله، پایان‌نامه، کتاب، مقالات تخصصی و سایر منابع اطلاعاتی، به منبع مورد استفاده و پدیدآورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج پایان‌نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارائه نشده است. در تدوین متن پایان‌نامه حاضر، چارچوب مصوب تدوین گزارش‌های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان‌نامه حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: فرشته تاری وردی

امضای دانشجو

تاریخ: 92/11/9



معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی
دفتر تحصیلات تکمیلی

شماره:/.....

صور تجلسه دفاع پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم **فروغنازاری** وودی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته پروفی-قبولت به شماره دانشجویی ۹۰۷۵۱۶۵۰۱ به ارزش ۶ واحد، رأس ساعت روز سه شنبه مورخ ۹۳/۱۱/۸ در محل دانشکده فنی... دانشگاه شاهرود، تحت عنوان: "استفاده از دستگاه های اندازه گیری فازوری در کنترل مقاوم بار- فوکانس چند ناحیه ای"، تشکیل گردید. کمیته داوری پایان نامه کارشناسی ارشد پس از استماع دفاعیات و طرح پرسش های لازم در زمینه علمی و تحقیقاتی مرتبط با پایان نامه نامبرده، ارزشیابی نهایی خود را به شرح ذیل اعلام نمودند:

پایان نامه نامبرده با نمره **۸۰ (به عدد) و ... (به حروف) و با درجه **قبول** مورد تایید قرار گرفت/ نگرفت.**

امتیازات: خلق ماده ۳۰ آیین نامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد نایسته، مصوب جلسه ۷۱۴ مورخ ۸۸/۱/۱۵ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری:
عالی: ۱۶ تا ۲۰، بسیار خوب: ۱۸/۹۹۵۱۸، خوب: ۱۷/۹۹۵۱۶، قابل قبول: ۱۵/۹۹۵۱۴، غیر قابل قبول: نمره کمتر از ۱۴

اعضای کمیته داوری پایان نامه کارشناسی ارشد	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	نام دانشگاه	اعضای
استاد راهنمای اول	دکتر کاظمی	استاد ارشد	شاهرود	
استاد راهنمای دوم (در صورت وجود)				
استاد مشاور اول				
استاد مشاور دوم (در صورت وجود)				
نایب ناظر و یا ناظر	دکتر سیّد طباطبائی	استاد ارشد	شاهرود	
نایب ناظر و یا ناظر	دکتر احزابی	استاد ارشد	شاهرود	
نماینده تحصیلات تکمیلی (بدون نمره)	دکتر محمد رضا بسیرا	استاد ارشد	شاهرود	

با پیر خرد نهفته می گفتم دوش
کز من سخن از سرّ جهان هیچ مپوش
نرم نرمک مرا همی گفت به گوش
دانستنی است، گفتنی نیست خموش

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

که تمام مراحل زندگی ام سرشار از حضور و حمایت بی دریغشان است.

سپاسگزاری

در اینجا لازم میدانم که از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محمد حسین کاظمی که بزرگوارانه اینجانب را در مراحل مختلف این پایان نامه راهنمایی نمودند و نکات ارزنده ایشان، به نتیجه رساندن این پژوهش را ممکن ساخت تشکر کنم. شاگردی ایشان افتخار بزرگی در زندگی ام بود و از درگاه خداوند متعال، آرزوی موفقیت و سربلندی روز افزون را برای ایشان دارم.

چکیده

در این پایان نامه ضمن شرح مباحث اصلی کنترل بار-فرکانس و مرور روشهای کنترلی مختلف ارائه شده در این زمینه، روش کنترل مقاوم به عنوان یکی از موثرترین روشهای کنترلی جهت فائق آمدن بر تاثیر عدم قطعیت‌های پارامتریک و غیر پارامتریک شبکه، در عملکرد کنترل کننده ها معرفی شده است. تکنیک کنترل مقاوم بکار گرفته شده مبتنی بر روش ترکیبی میو می باشد. در ادامه به استفاده از تکنولوژی نوظهور دستگاه های اندازه گیری فازوری برای ارتقای عملکرد کنترل کننده های مقاوم، از طریق شناسایی پارامترهای شبکه و دسترسی به متغیرهای نواحی دیگر، پرداخته شده است. در این پروژه شناسایی پارامترهای شبکه با استفاده از روش پرونی و یک الگوریتم مبتنی بر داده های خروجی، بدون هیچ گونه اطلاعی از ساختار شبکه صورت می گیرد. این الگوریتم برای یک شبکه کلی n ناحیه ای و همچنین یک شبکه دو ناحیه ای به عنوان نمونه، شرح داده شده است. در نهایت کنترل کننده مقاوم بار-فرکانس با ورودی های غیر محلی برای سیستم قدرت ارائه و طراحی شده است. الگوریتم های ارائه شده برای تخمین مدل و طراحی کنترل کننده بر روی سیستم دو ناحیه ای پیاده سازی شده و عملکرد آن علاوه بر مدل کلاسیک در مدل واقعی شبکه مدلسازی شده در نرم افزار دیگسایلنت نشان داده است.

کلید واژه: کنترل بار-فرکانس، دستگاه اندازه گیری فازوری ، کنترل مقاوم و روش پرونی

فهرست مطالب

أ.....	فهرست مطالب
د.....	فهرست شکل ها
1.....	فصل 1- مقدمه
1.....	1-1- تعریف و اهمیت مسئله
2.....	2-1- هدف از انجام تحقیق
3.....	3-1- ترکیب پایان نامه
4.....	فصل 2- بررسی سیستم کنترل بار-فرکانس
4.....	1-2- مقدمه
5.....	2-2- مدل تجهیزات
5.....	1-2-2- مدل واحد
5.....	2-2-2- مدل بار
6.....	3-2-2- مدل موتور محرک
7.....	4-2-2- مدل گاورنر
9.....	5-2-2- مدل خط ارتباطی
10.....	3-2- کنترل تولید اتوماتیک
10.....	1-3-2- مقدمه
11.....	2-3-2- تنظیم بایاس فرکانسی
11.....	3-3-2- کنترل زمان و اصلاح خطای زمان
12.....	4-3-2- محاسبه ACE
13.....	5-3-2- محاسبات سیگنال کنترل ناحیه
14.....	6-3-2- محاسبات تولید و توزیع آن (تخصیص تولید)
15.....	4-2- پایش عملکرد LFC
15.....	1-4-2- شرایط عادی
15.....	2-4-2- عبور از صفر ACE
16.....	2-4-3- متوسط انحرافات ACE
16.....	4-4-2- شرایط اغتشاش
17.....	5-2- تکنیک های کنترلی برای سیستم های قدرت سستی
17.....	1-5-2- روش های کنترلی کلاسیک

- 17..... 2-5-2 - روش‌های کنترلی بهینه
- 18..... 3-5-2 - روش‌های کنترلی تطبیقی و خود تنظیم کننده
- 18..... 6-2 - استراتژی‌های کنترلی جهت کنترل بار-فرکانس سیستم‌های قدرت
- 18..... 1-6-2 - روش‌های کنترلی متمرکز
- 20..... 7-2 - روش‌های کنترلی غیرمتمرکز
- 21..... 8-2 - خلاصه:
- فصل 3- معرفی دستگاه‌های اندازه‌گیری فازوری و کاربرد آنها در اعمال کنترل‌های سراسری 23
- 23..... 1-3-1 مقدمه
- 23..... 2-3-2 معرفی واحد اندازه‌گیری فازوری (PMU)
- 25..... 3-3-3 سیستم اندازه‌گیری گسترده (WAMS)
- 27..... 4-3-4 وضعیت توسعه WAMS در برخی از کشورها
- 27..... 1-4-3-1 آمریکای شمالی
- 28..... 2-4-3-2 کشورهای اروپایی
- 28..... 3-4-3-3 چین
- 28..... 4-4-3-4 هند
- 29..... 5-4-3-5 برزیل
- 29..... 6-4-3-6 روسیه
- 29..... 7-4-3-7 برنامه ریزی توسعه WAMS در ایران
- 30..... 5-3-5 کاربردهای WAMS
- 30..... 1-5-3-1 پایش شبکه قدرت
- 31..... 2-5-3-2 حفاظت پیشرفته شبکه قدرت
- 33..... 3-5-3-3 کنترل پیشرفته شبکه قدرت
- 33..... 6-3-6 بدست آوردن لحظه به لحظه مدل دینامیکی شبکه گسترده قدرت با استفاده از داده‌های PMU
- 33..... 1-6-3-1 مدلسازی شبکه سراسری مبتنی بر داده‌های PMU
- 34..... 2-6-3-2 مدل ژنراتور سنکرون
- 35..... 3-6-3-3 مدل‌های بار
- 35..... 4-6-3-4 مدل خطوط انتقال
- 36..... 5-6-3-5 مدل‌های دینامیکی شبکه
- 38..... 6-6-3-6 بدست آوردن پارامترهای یک شبکه دو ناحیه ای
- 42..... 7-3-7 فیلترینگ و تفکیک سیگنال

فصل 4- طراحی کنترل کننده مقاوم مبتنی بر شناسایی سیستم و داده های PMU.....	44
4-1- مقدمه	44
4-2- کنترل مقاوم چیست؟.....	49
4-2-1- روش ترکیبی μ با تکنیک تکرار D-K.....	49
4-2-2- نمونه ای از کنترل بار-فرکانس غیرمتمرکز با روش ترکیبی میو	54
فصل 5- فصل پنجم: نتایج شبیه سازی و نتیجه گیری	58
5-1- مرحله اول:تشکیل مدل کلاسیک نامی و طراحی کنترل کننده مقاوم	58
5-1-1- انتخاب تابع تبدیل مناسب برای وزنه ها.....	60
5-2- شناسایی پارامترهای $H1$ و $H2$ با استفاده از روش پرونی	63
5-3- ارزیابی عملکرد کنترل کننده با استفاده از پارامترهای شناسایی شده و مقایسه آن با حالت کنترل مقاوم بدون استفاده از روش شناسایی سیستم.....	66
فهرست مراجع	69

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 1-2: نگاه کلی به مساله کنترل فرکانس	4
شکل 2-2: رابطه بین توان مکانیکی و الکتریکی و سرعت	5
شکل 3-2: بلوک دیاگرام جرم چرخان، بار و محرک اولیه	6
شکل 4-2: بلوک دیاگرام توربین بخار	6
شکل 5-2: بلوک دیاگرام گاورنر سرعت ثابت	7
شکل 6-2: بلوک دیاگرام گاورنر با مشخصه افتی سرعت	8
شکل 7-2: - بلوک دیاگرام جرم چرخان، گاورنر و توربین	8
شکل 8-2: بلوک دیاگرام یک سیستم قدرت دو ناحیه‌ای	9
شکل 9-2: سیستم گاورنر یک نیروگاه بخار	11
شکل 10-2: بلوک دیاگرام محاسبه سیگنال کنترل ناحیه	13
شکل 11-2: زمان اقدام و بازیابی و درصد اقدام سیستم کنترل بار-فرکانس برای خطای کنترل ناحیه ...	16
شکل 1-3: اجزای اساسی یک PMU	24
شکل 2-3: ساختار WAMS	27
شکل 3-3: اجزای اندازه‌گیری تغذیه کننده PMU	30
شکل 4-3: مدل کلی شبکه قدرت چند ناحیه ای	34
شکل 5-3: یک سیستم دو ناحیه ای نمونه	38
شکل 6-3: معادل کلاسیک یک سیستم دو ناحیه ای	39
شکل 1-4: سیگنال های ولتاژ دریافتی از PMU ها در پی وقوع یک اختلال کوچک در سیستم	45
شکل 2-4: تفکیک نوسانات تند و کنداز سیگنالهای دریافتی از PMU با فیلتر میان گذر	45
شکل 4-4: ساختار استاندارد $M-\Delta$ برای تحلیل عملکرد مقاوم	51
شکل 3-4: ساختار $M-\Delta$ استاندارد	50
شکل 5-4: ساختار $M-\Delta$ استاندارد با تحلیل Δ_p	52
شکل 6-4: ساختار $M-\Delta$ استاندارد	53
شکل 7-4: سیستم دو ناحیه ای مورد مطالعه	55
شکل 8-4: ساختار مبتنی بر مدل نامی و بلوک های عدم قطعیت	57
شکل 9-4: ساختار $M-\Delta$	57

- شکل 5-1: دیاگرام تک خطی سیستم مورد مطالعه 58
- شکل 5-2: مدل کلاسیک سیستم 39 باسبار IEEE 59
- شکل 5-3: ساختار منطبق بر استراتژی ترکیبی میو 60
- شکل 5-4: تحلیل فرکانسی تابع تبدیل حلقه باز سیستم مورد مطالعه به ازای تغییرات پارامترهای H1 و H2 60
- شکل 5-5: عملکرد کنترل کننده مقاوم در سیستم 39 باسبار IEEE 62
- شکل 5-6: عملکرد کنترل کننده مقاوم با تغییر 50 درصدی H شبکه 63
- شکل 5-7: مدل کاهش یافته سیستم دو ناحیه ای مورد مطالعه 63
- شکل 5-8: تغییرات اندازه فازوری ولتاژ در باسبارهای مرزی و نقطه در وسط خط بین ناحیه ای 64
- شکل 5-9: بررسی کیفیت عملکرد الگوریتم پرونی در شناسایی سیگنال فیلتر شده 64
- شکل 5-10: عملکرد کنترل کننده پیشنهادی با افزایش 64 درصدی ثابت اینرسی معادل شبکه 66
- شکل 5-11: مقایسه عملکرد کنترل کننده معرفی شده و کنترل کننده مقاوم 67

۱-۱ - تعریف و اهمیت مسئله

در هر سیستم الکتریکی همواره توان تولیدی می‌بایست با مصرف برابر باشد. اختلال در این برابری باعث اختلاف فرکانس سیستم از مقدار برنامه ریزی شده خواهد شد. در واقع انحراف فرکانسی نتیجه نابرابری بین بار الکتریکی و توان مکانیکی ورودی ژنراتورها می‌باشد. انحراف فرکانس غیرمجاز دائم در سیستم قدرت تاثیر منفی بر روی بهره‌برداری، امنیت و قابلیت اطمینان می‌گذارد. علاوه بر این می‌تواند باعث اضافه بار خطوط و عملکرد نادرست رله‌های حفاظتی گردد. جهت مقابله با اثرات منفی انحراف فرکانس که سیستم قدرت بدلیل تغییرات دائمی و بعضا پیش بینی نشده در بار و سایر عوامل موثر بر فرکانس با آن روبروست، سیستم کنترل بار-فرکانس به عنوان یکی از مهمترین موضوعات حال حاضر در سیستم های قدرت مطرح می شود. هدف مهم سیستم کنترل بار-فرکانس تثبیت فرکانس در یک از نواحی و میزان تبادل توان در خطوط بین ناحیه ای با توجه به مقادیر پیش فرض برای این کمیته‌ها در یک سیستم قدرت چند ناحیه ای می باشد.

گاورنر واحدهای تولیدی به عنوان کنترل کننده اولیه^۱ فرکانس وظیفه اصلاح فرکانس را بر عهده دارند. علاوه بر این کنترل، یک کنترل اضافی^۲ یا ثانویه^۳ تحت عنوان AGC^۴ و کنترل اضطراری^۵ یا ثالثیه^۶ برای نگه‌داشتن فرکانس سیستم در محدوده مجاز نیاز است [۱].

در شرایط بهره‌برداری عادی، انحراف‌های کوچک فرکانسی توسط کنترل اولیه اصلاح می‌شود. انحراف‌های بزرگتر (در شرایط غیر عادی) متناسب با ذخیره گردان موجود توسط AGC کنترل می‌شود. در نهایت برای نامتعادلی‌های بزرگ بین توان تولیدی و نیاز مصرف که ناشی از حادثه می‌باشد ممکن است AGC توانایی برگرداندن فرکانس به شرایط عادی را نداشته باشد، در این حالت کنترل اضطراری (ثالثیه) و سیستم‌های حفاظتی مثل رله‌های فرکانسی حذف بار^۷ (UFLS) بایستی به کار گرفته شوند تا ریسک

^۱ Primary Control

^۲ Supplementary Control

^۳ Secondary Control

^۴ Automatic Generation Control

^۵ Emergency Control

^۶ Tertiary Control

^۷ Under Frequency Load Shedding

وقوع حوادث زنجیره‌ای از قبیل خارج شدن واحدهای نیروگاهی و جزیره شدن یک ناحیه کاهش پیدا کند [1].

بحث ما در این پایان نامه در خصوص ارتقای روش های کنترلی موجود جهت اعمال کنترل ثانویه می باشد. کنترل کننده های ثانویه بار-فرکانس بسته به استراتژی به کار رفته از سیگنالهای محلی نظیر فرکانس ناحیه و یا سیگنالهای غیر محلی نظیر فرکانس و میزان تبادل توان نواحی دیگر استفاده می کنند. طراحی این کنترل کننده ها مبتنی بر پارامترهای سیستم قدرت نظیر ثابت اینرسی سیستم، ضریب دمپینگ و سایر پارامترهای مربوط به مدل‌های مورد استفاده جهت توربین و گاورنر می باشد. بدست آوردن این پارامترها برای یک سیستم قدرت گسترده بر اساس روابط ریاضی و تخمین‌های مربوطه می تواند عملکرد کنترل کننده را کاملاً تحت تاثیر قرار دهد. یکی از رایج ترین خطاهایی که در عملکرد کنترل کننده های بار-فرکانس به وجود می آید ناشی از تنظیم بایاس فرکانسی آنها می باشد.

روش تنظیم این پارامتر در آمریکای شمالی، این است که سالی یک بار بایاس فرکانس هر ناحیه کنترلی بر اساس مشخصه تنظیم طبیعی ناحیه $(1/R+D)$ و مطابق با بار پیش بینی شده اوج در سال آینده تنظیم می شود. بر این اساس نقطه تنظیم متوسط بایاس فرکانس به کار رفته، حدود 2% به ازای 0.1 هرتز است. ضریب بایاس در طول سال برای تمامی سطوح بار ثابت باقی می ماند. به نظر می رسد نتیجه روش فوق آن باشد که هنگام کم باری، ضریب بایاس بسار بزرگتر از مشخصه تنظیم فرکانسی ناحیه باشد. این موضوع می تواند باعث عمل ناپایدار کنترلی و در نتیجه منجر به انباشتگی زیاد توان تبادلی ناخواسته و انحراف زمانی شود [2].

۱-۲ - هدف از انجام تحقیق

در شبکه های قدرتی که استفاده از دستگاه های اندازه گیری فازوری چندان گسترش نیافته است، با توجه به محدودیت های اجرایی، کنترل کننده ها از سیگنال های محلی بعنوان پسخور استفاده می نمایند. همچنین در طراحی کنترل کننده ها از مدل ریاضی شبکه و ارتباط متغیرهای محلی (اندازه گیری شده) با حالت عمومی شبکه استفاده می شود.

امروزه با توسعه شبکه های هوشمند مبتنی بر دستگاه های اندازه گیری فازوری (PMU)، امکان دسترسی به متغیرهای مورد نیاز از نقاط مختلف و دور از هم شبکه قدرت گسترده به طور همزمان به وجود آمده است و به این ترتیب قابلیت از بین بردن خطاهای گوناگون مدل سازی و تغییرات مداوم شرایط کار سیستم که باعث عدم قطعیت و افت دقت عملکرد کنترل کننده ها می گردد را به وجود آورده است. داده های PMU فرصتی استثنایی برای ارسال متغیرهای دور شبکه به کنترل کننده ها را فراهم نموده و در نتیجه عدم قطعیت های مربوط به مدل ریاضی حذف می شوند. در این شرایط کنترل کننده ها واقعا بیش

از آنکه مبتنی بر مدل باشند، مبتنی بر پسخور گسترده شبکه خواهند بود که این به نوبه خود کارایی عملکرد کنترلی آنها را بطور چشمگیری افزایش می دهد [3].

در این پایان نامه جهت ارتقای روشهای کنترلی موجود، از قابلیت شناسایی پارامترهای سیستم قدرت با استفاده از داده‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری فازوری، استفاده شده است. به این ترتیب که بر اساس سیگنالهای اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری فازوری، و یکی از روشهای شناسایی مبتنی بر خروجی سیستم تحت عنوان پرونی¹، پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی کنترل کننده که پیش از این بر اساس مقادیر نامی و تقریب‌های ناگزیر صورت می گرفت، بدست می آید و در مرحله بعد با استفاده از یکی از موثرترین روشهای کنترلی موجود یعنی کنترل مقاوم، کنترل کننده بار-فرکانس مورد نظر طراحی می شود. با توجه به در دسترس بودن داده‌های PMU به صورت لحظه‌ای می توان بر حسب ضرورت، عملیات شناسایی سیستم را در هر بازه زمانی مورد نیاز انجام داد و کنترل کننده را بر اساس جدیدترین پارامترهای شبکه، طراحی نمود.

۱-۳ - ترکیب پایان نامه

این پایان نامه شامل 5 فصل می باشد. در فصل دوم به بررسی کنترل بار-فرکانس ثانویه و مدل‌های مورد استفاده و روشهای اعمال شده می پردازیم. فصل سوم شامل معرفی دستگاه‌های اندازه‌گیری فازوری و بررسی چگونگی استفاده از آنها در اعمال کنترل‌های پیشرفته می شود. در فصل چهارم، تخمین پارامترهای سیستم قدرت گسترده، بدون اطلاع از ساختار شبکه و صرفاً مبتنی بر داده‌های خروجی شرح داده می شود و در ادامه یکی از روش‌های کنترلی مقاوم تحت عنوان روش ترکیبی میو (μ) معرفی می شود و در پایان روش پیشنهادی جهت ارتقای تکنیک میو با استفاده از نتایج حاصل از شناسایی سیستم ارائه می شود. در فصل پنجم، نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده و نحوه عملکرد کنترل کننده بار-فرکانس روی شبکه 39 باسبارة IEEE نشان داده می شود. این شبکه 2 ناحیه‌ای در نظر گرفته شده و در نرم افزار دیگسایلنت² مدل شده است. طراحی کنترل کننده و شناسایی پارامترهای سیستم با استفاده از داده‌های PMU در نرم افزار متلب³ صورت گرفته است و در نهایت چگونگی عملکرد کنترل کننده تحت روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می گیرد.

¹ prony

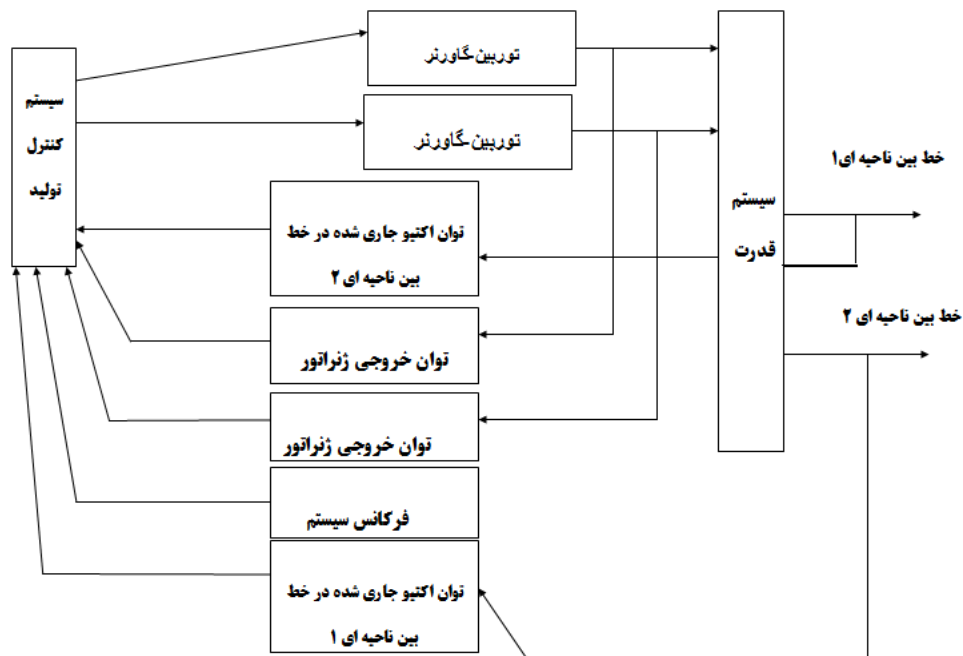
² DiGSILENT PowerFactory

³ MATLAB

فصل ۲ - بررسی سیستم کنترل بار - فرکانس

۲-۱ - مقدمه

کنترل تولید واحدها یکی از اولین مسائلی است که در طراحی سیستم‌های قدرت مطرح شده است. در واقع هدف کلی سیستم کنترل بار-فرکانس تغییر توان خروجی نیروگاه‌های یک شبکه برق در اثر تغییرات فرکانس سیستم و توان عبوری خطوط ارتباطی از مقادیر مرجع آن‌ها می‌باشد. یک ژنراتور که توسط یک محرک (معمولا توربین) می‌چرخد را می‌توان به صورت جرم بزرگی که دو گشتاور با علامت‌های مختلف بر چرخش آن‌ها اثر می‌کند در نظر گرفت. زمانیکه این دو گشتاور مساوی باشند سرعت چرخشی ω ثابت خواهد بود. در صورتیکه بار تغییر کند سرعت سیستم چرخان نیز تغییر خواهد کرد. بنابراین جهت رسیدن به نقطه تعادل باید کار انجام شود تا سرعت به مقدار مرجع خود برسد. از آن‌جا که بار پیوسته در حال تغییر است باید عمل تنظیم سرعت پیوسته انجام شود. در یک شبکه قدرت تغییر بار بین واحدهای تولیدی تقسیم می‌شود، گاورنر موجود در هر واحد وظیفه جبران تغییر بار یا سرعت را به عهده دارد. علاوه بر این کنترل کننده‌های اضافی که معمولا از یک مرکز کنترل هدایت می‌شوند وظیفه تخصیص توان بین واحدها را بر عهده دارند. شکل 1-2 شمایی از مساله کنترل تولید را نشان می‌دهد [1]. در این فصل ابتدا مدل تجهیزات ارائه خواهد شد و در ادامه کنترل فرکانس در سیستم‌های قدرت توضیح داده می‌شود.



شکل 1-2: نگاه کلی به مساله کنترل فرکانس

۲-۲-۲ مدل تجهیزات

در این قسمت مدل‌های ساده‌ای از واحد تولیدی، بار، موتور محرک، گاورنر و خط ارتباطی ارائه می‌شود.

۲-۲-۱-۲ مدل واحد

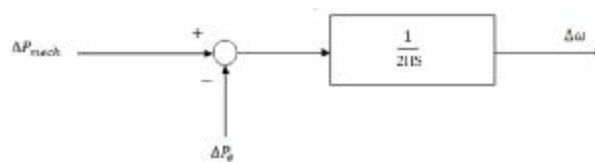
به منظور مطالعه سیستم کنترل تولید و بررسی اثر تغییرات بار بر روی آن، یک مدل ساده مرتبه پایین خطی شده معمولاً استفاده می‌شود. ارتباط دینامیکی بین توان مکانیکی و الکتریکی در یک ژنراتور توسط رابطه (1-2) بیان می‌شود:

$$\Delta P_{\text{mech}}(t) - \Delta P_{\text{elec}}(t) = 2H \frac{d\Delta\omega(t)}{dt} \quad (1-2)$$

که در رابطه فوق ΔP_{mech} تغییرات توان مکانیکی، ΔP_{elec} تغییرات توان الکتریکی و H ثابت اینرسی می‌باشد. با استفاده از تبدیل لاپلاس رابطه (1-2) را می‌توان به صورت رابطه (2-2) بازنویسی کرد:

$$\Delta P_{\text{mech}}(t) - \Delta P_{\text{elec}}(t) = 2H \frac{d\Delta\omega(t)}{dt} \quad (2-2)$$

بلوک دیاگرام شکل 2-2 رابطه بین توان مکانیکی و الکتریکی و تغییرات سرعت را نشان می‌دهد [4].



شکل 2-2 رابطه بین توان مکانیکی و الکتریکی و سرعت

۲-۲-۲-۲ مدل بار

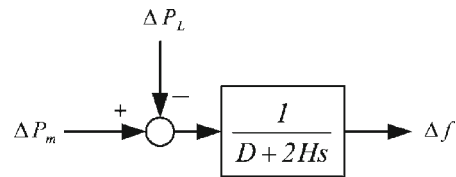
بار در یک سیستم قدرت متشکل از دستگاه‌های گوناگون الکتریکی است. بعضی از آنها فقط اهمی و بعضی دیگر بارهای موتوری هستند که مشخصه متغیر توان-فرکانس دارند. با توجه به اینکه در یک سیستم قدرت بار موتوری، بار غالب است لازم است که تاثیر تغییر در فرکانس بر بار خالص مشخص شود. رابطه تغییر بار به علت تغییر در فرکانس به صورت رابطه (3-2) نوشته می‌شود:

$$\Delta P_{\text{mech}}(t) - \Delta P_{\text{elec}}(t) = 2H \frac{d\Delta\omega(t)}{dt} \quad (3-2)$$

بنابراین تغییر توان الکتریکی از رابطه (4-2) به دست می‌آید:

$$\Delta P_{\text{mech}}(t) - \Delta P_{\text{elec}}(t) = 2H \frac{d\Delta\omega(t)}{dt} \quad (4-2)$$

که در آن بار ΔP_L غیر حساس به فرکانس و جمله $D \cdot \Delta \omega$ بار حساس به فرکانس را نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه فوق، بلوک دیاگرام شکل 2-2 را به صورت شکل 3-2 می‌توان نشان داد.



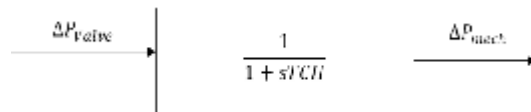
شکل 3-2: بلوک دیاگرام جرم چرخان، بار و محرک اولیه

که D به صورت درصد تغییر بار تقسیم بر درصد تغییر در فرکانس بیان می‌شود. به عنوان مثال اگر تغییر بار در اثر 1% تغییر در فرکانس 1/5% باشد، در اینصورت D برابر با 1/5 خواهد بود. در صورتیکه توان ظاهری پایه سیستم تغییر کند، مقدار D نیز تغییر می‌کند که مقدار آن در پایه جدید توسط رابطه (5-2) بیان می‌شود [4].

$$\Delta P_{\text{mech}}(t) - \Delta P_{\text{elec}}(t) = 2H \frac{d\Delta\omega(t)}{dt} \quad (5-2)$$

۲-۲-۳ - مدل موتور محرک

موتور محرک و چرخاننده یک ژنراتور ممکن است یک توربین بخار یا یک توربین آبی باشد. اگر توربین بخار باشد، مدل موتور محرک باید مشخصات سیستم کنترل و دیگ بخار را در نظر بگیرد و در حالت توربین آبی باید مشخصات آبگذر توربین به حساب آورده شود. در این بخش مدل ساده توربین بخار نشان داده شده است. توربین بخار مورد بحث موقعیت شیر کنترل-کننده بخار ورودی را به توان خروجی توربین مرتبط می‌سازد. شکل 2-4 بلوک دیاگرام توربین بخار را نشان می‌دهد [4].



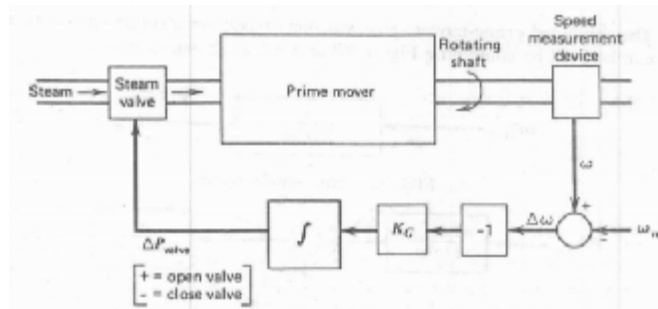
شکل 2-4: بلوک دیاگرام توربین بخار

T_{CH} : ثابت زمانی بار افزایشی

ΔP_{Valve} : تغییر درصد موقعیت شیر نسبت به حالت عادی

۲-۲-۴ - مدل گاورنر

در یک سیستم قدرت، نتیجه هر تغییر بار، تغییر در سرعت است. این تغییر در سرعت به اندازه‌ای است که دقیقاً بار حساس به فرکانس، تغییر بار را جبران می‌نماید. در اینصورت فرکانس سیستم از مقدار مرجع منحرف خواهد شد. این مشکل توسط گاورنر واحدهای تولیدی قابل حل می‌باشد. ساده‌ترین گاورنر موسوم به گاورنر با سرعت ثابت^۱ است که شیر ورودی را در نقطه‌ای تنظیم می‌نماید که فرکانس سیستم را به مقدار اسمی بر می‌گرداند. شکل 5-2 بلوک دیاگرام گاورنر سرعت ثابت را نشان می‌دهد.

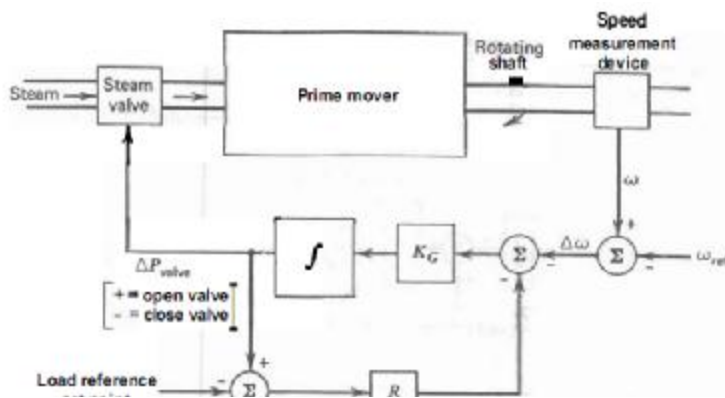


شکل 5-2: بلوک دیاگرام گاورنر سرعت ثابت

گاورنر سرعت ثابت را نمی‌توان زمانی که دو یا چند واحد به صورت موازی سیستمی را تغذیه می‌کنند مورد استفاده قرار داد چرا که واحدها باید دقیقاً دارای سرعت مرجع مشابه باشند و در غیر اینصورت باهم در ستیز خواهند بود. برای حل مشکل فوق از گاورنر با مشخصه افتی^۲ سرعت استفاده می‌شود. گاورنر با مشخصه افتی سرعت با اضافه کردن یک حلقه برگشتی در اطراف انتگرال‌گیر بلوک دیاگرام شکل 5-2 به دست می‌آید. شکل 6-2 بلوک دیاگرام این نوع گاورنر را نشان می‌دهد.

^۱ Isochronous

^۲ Droop Characteristic

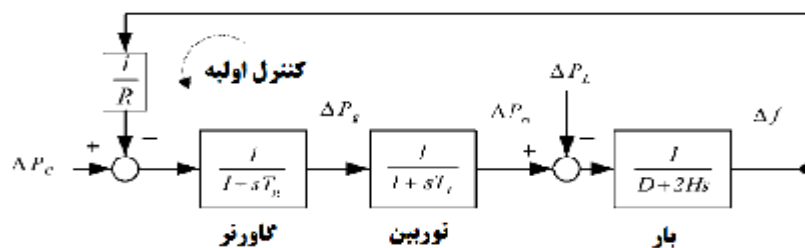


شکل 6-2: بلوک دیاگرام گاورنر با مشخصه افتی سرعت

در شکل فوق ورودی مرجع بار این امکان را می‌دهد که با تغییر آن مشخصه گاورنر را به گونه‌ای قرار داد که فرکانس مرجع را در هر خروجی دلخواه واحد داشته باشیم. شکل (7-1) مشخصه افتی سرعت گاورنر فوق را نشان می‌دهد. با تنظیم این ورودی می‌توان در عین اینکه فرکانس سیستم را نزدیک یک مقدار اسمی نگه داشت، توزیع بار دلخواه را نیز تامین کرد. باید توجه داشت که تغییر یک (در مبنای واحد) در ΔP_{valve} معادل تغییری در فرکانس به اندازه R است. بنابراین R توسط رابطه (6-2) بیان می‌شود:

$$R = \frac{\Delta F(\text{pu})}{\Delta P(\text{pu})} \quad (6-2)$$

حال با مشخص شدن مدل واحد، محرک و گاورنر می‌توان بلوک دیاگرام کلی یک سیستم تشکیل شده از یک واحد تولیدی را مطابق شکل شکل 7-2 رسم کرد.



شکل 7-2: - بلوک دیاگرام جرم چرخان، گاورنر و توربین

با توجه به بلوک دیاگرام فوق می‌توان افت فرکانس ناشی از تغییرات بار را محاسبه کرد. با فرض اینکه تغییر بار پله‌ای به اندازه ΔP_L در ایجاد شود مقدار افت فرکانس از رابطه (7-2) به دست خواهد آمد.

$$\Delta \omega = -\frac{\Delta P_L}{\frac{1}{R} + D} \quad (7-2)$$