PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت

طراحی سیستم کنترل غیرخطی برای نیروگاه بخاری

استادان راهنما :

دکتر محمد عطائی

دکتر رحمت ا... هوشمند

پژوهشگر:

سیاوش گل‌محمدی سامانی

مهر ماه 1389

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه
متعلق به دانشگاه اصفهان است.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت

آقای سیاوش گل‌محمدی سامانی تحت عنوان

طراحی سیستم کنترل غیرخطی برای نیروگاه بخاری

در تاریخ ۸۹/۷/۱۴ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه **عالی** به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای اول پایان‌نامه **دکتر محمد عطایی** با مرتبه علمی استادیار امضاء

۲- استاد راهنمای دوم پایان‌نامه **دکتر رحمت ا... هوشمند** با مرتبه علمی دانشیار امضاء

۳- استاد داور داخل گروه **دکتر آرش کیومرثی** با مرتبه علمی استادیار امضاء

۴- استاد داور خارج از گروه **دکتر عباس طاهر** با مرتبه علمی دانشیار امضاء

امضای مدیر گروه

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تقدیر و تشکر

برخود لازم می‌دانم که بدینوسیله از جناب آقای **دکتر محمد عطائی** و همچنین جناب آقای **دکتر رحمت ا... هوشمند** به خاطر راهنمایی‌های ارزنده و موثر ایشان تشکر و قدردانی نمایم.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

چکیده

کنترل فرکانس یک از دو رکن اساسي پایداري شبکه برق است. در کشور ما نیروگاه هاي بخاري، تولیدکننده بخش عمده اي از بار پایه شبکه برق هستند و مسأله تنظیم فرکانس در شبکه، بیشتر بر عهده نیروگاه هاي آبي است. در سالهاي گذشته با افزایش قدرت نصب شده شبکه و توجه بیش از پیش به پایداري شبکه، اقداماتي در جهت مشارکت نیروگاه هاي بخاري در امر کنترل فرکانس علاوه بر تولید بار پایه انجام شده است. در سالهاي اخیر و با بروز مسائلي چون خشکسالي و در نتیجه کاهش شدید تولید نیروگاه هاي آبي، نیاز به این امر بیش از پیش احساس مي‌شود. به همین جهت لازم است مسائل مربوط به کنترل نیروگاه هاي بخاري بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. یک نیروگاه بخاري متشکل از کندانسور، بویلر فیدپمپ، بویلر، توربین، ژنراتور و تجهیزات کمکي مي‌باشد. براي اینکه یک واحد نیروگاه بخاري بتواند در امر کنترل فرکانس شبکه مشارکت موثر داشته باشد و در عین حال، پایداري خود را حفظ کند و تنش‌هاي ترمودینامیکي و مکانیکي به تجهیزات آن وارد نشود باید مسأله کنترل هماهنگ بویلر - توربین به دقت مد نظر قرار گیرد. در حال حاضر بیشتر سیستمهاي کنترل نیروگاهي از نوع تناسبي- انتگرالي- مشتقي مي‌باشد که غالبا بر اساس دیدگاههاي سیستم هاي خطي تک ورودي- تک خروجي طراحي شده اند و این در حالي است که سیستم بویلر- توربین، یک سیستم غیرخطي چند ورودي چند خروجي با تزویج زیاد بین متغیرهاي حالت مي‌باشد.

در این پایان‌نامه، طراحي کنترل‌کننده چند متغیره غیرخطي نیروگاه بخاري (بویلر، توربین) مد نظر مي‌باشد. محور این پژوهش واحد دوم ۳۲۰ مگاواتي نیروگاه اسلام آباد اصفهان است، اما بدلیل فقدان برخي از پارامترهاي کنترلي در مدارک و مستندات واحد مذکور، برخي از این پارامترها به صورت نوعي از اطلاعات واحدهاي با ظرفیت و تیپ تجهیزات نزدیک با این واحد استخراج شده اند. محورهاي اصلي کار شامل مدلسازي دینامیکي واحد بخاري و سپس طراحي یک کنترل‌کننده بر مبناي کنترل‌کننده هاي تناسبي- انتگرالي- مشتقي خواهد بود و در ادامه یک کنترل‌کننده غیرخطي مود لغزشي براي کنترل دو پارامتر مهم بویلر و توربین، یعني فشار بخار سوپرهیت و دور (فرکانس) آن طراحي خواهد شد. سپس از فرم بهبودیافته کنترل‌کننده مود لغزشي براي طراحي کنترل‌کننده استفاده شده و نتایج طراحي‌هاي مختلف با هم مقایسه خواهد شد. تجهیزات نیروگاه هر

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

كدام داراي انواع مختلف است ، به عنوان مثال، بويلر شامل انواع درام‌دار و بدون‌درام (يكبارگذر)، تحت فشار و تحت خلاء، گردش طبيعي و اجباري، داراي ريهيت و بدون ريهيت و انواع ديگر مي‌باشد. توربين‌ها شامل انواع فشار ثابت و فشار متغير، دو مرحله‌اي و سه مرحله‌اي و انواع ديگر مي‌باشد. بخش مدلسازي شامل مدل بويلر درام‌دار، توربين سه مرحله‌اي و داراي ريهيت، مي‌باشد كه بر اساس تلفيق و تطبيق مدلهاي نمونه موجود براي واحد نيروگاهي تحت مطالعه خواهد بود. بر اساس اين مدل، معادلات حالت نيروگاه بدست مي‌آيد. سپس بر اساس معادلات حالت بدست آمده يك كنترل‌كننده غيرخطي مود لغزشي طراحي مي‌گردد. در پايان شبيه‌سازي انجام خواهد شد. نتايج شبيه‌سازي نشانگر اين است كه كنترل‌كننده مود لغزشي به طور قابل توجهي شاخصهاي كنترلي حالتهاي مدنظر را بهبود مي‌بخشد.

كليد واژه ها: نيروگاه بخاري، كنترل مود لغزشي، بويلر، توربين

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

1-1- پیش‌گفتار 1

2-1- معرفی سیستم کنترل بویلر توربین واحد بخار 2

1-2-1- اجزاء سیستم بویلر- توربین و جایگاه آن در شبکه قدرت 2

2-2-1- مروری بر مقالات 3

3-1- ساختار پایان‌نامه 9

فصل دوم: سیکل ترمودینامیکی نیروگاه بخاری

1-2- مقدمه 11

2-2- تجهیزات سیکل آب و بخار 12

1-2-2- کندانسور 12

2-2-2- هیتر های فشارضعیف و فشارقوی 13

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2-2-3- پمپها 13
2-2-4- دیاراتور 14
2-2-5- بویلر 14
2-2-5-1- تجهیزات مدار آب و بخار 14
2-2-5-2- تجهیزات مدار دود و هوا 20
2-2-5-3- تجهیزات مدار سوخت رسانی 21
2-2-5-4- تجهیزات پایش، حفاظت و کنترل 22
2-2-6- توربین 22
2-3- سیستم‌های کنترل نیروگاه بخار 24
2-3-1- مقدمه 24
2-3-2- بررسی سیستم‌های کنترل مرتبط با بویلر-توربین واحد بخار 25
2-3-2-1- سیستم کنترل فرکانس نیروگاه بخاری 25
2-3-2-2- سیستم های کنترل مرتبط با بویلر 25
2-3-2-3- روشهای کنترل بویلر- توربین واحد بخار 27

عنوان **صفحه**

فصل سوم: مدل‌سازی نیروگاه بخار

3-1- مقدمه 30
3-2- مدل‌های عمومی 32
3-2-1- مدل بویلر 32
3-2-1-1- معادلات اساسی دینامیک بویلر 33
3-2-2- مدل سیستم کنترل سرعت – بار توربین 36
3-2-3- مدل توربین 39
3-2-4- کنترل‌کننده بویلر- توربین 41
3-3- مدل‌های خاص 41
3-3-1- مدل Astrom - Bell 42
3-3-2- مدل G. Pellegrinetti و J. Bentsman ۴۳
3-4- ملاحظات و محدودیت‌ها در طراحی سیستم کنترل بویلر- توربین 44
3-4-1- تزویج بین ورودیها و خروجی‌ها 44
3-4-2- محدودیت‌ها 45

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3-4-3- اغتشاش ها و عدم قطعیتهای مرتبط با واحد بخار 45

فصل چهارم: بررسی سیستم کنترل بویلر - توربین نیروگاه بخاری

4-1- مقدمه 47
4-2-روشهای کنترل بویلر- توربین 48
4-2-1- روش کنترلی توربین دنباله‌رو بویلر(تعقیب‌گر بویلر) 49
4-2-2- روش کنترلی بویلر دنباله‌رو توربین (تعقیب‌گر توربین) 51
4-2-3- روش کنترل یکپارچه بویلر- توربین 53
4-3- طراحی سیستم کنترل بویلر- توربین 54
4-3-1- معادلات سیستم بویلر- توربین 54
4-3-2- طراحی کنترل کننده 55
4-4- بررسی سیستم کنترل بویلر- توربین واحد دوم 320 مگاواتی نیروگاه اسلام‌آباد 59
4-4-1- پارامترهای سیستم تحت مطالعه 59

عنوان **صفحه**

4-4-2- بررسی بلوک Unit Coordinated Control 62
4-4-3- فرم سیگنال تقاضای بار واحد 65
4-4-4- فرم سیگنال توانائی بویلر 68
4-4-5- بایاس جبران فرکانسی در حالت کنترل یکپارچه 71

فصل پنجم: طراحی کنترل‌کننده مود لغزشی برای بویلر -توربین نیروگاه بخاری

5-1- مقدمه 73
5-2- معادلات حالت سیستم 74
5-2-1- معادلات حالت بویلر 75
5-2-2- معادلات حالت گاورنر 75
5-2-3- معادلات حالت توربین 76
5-2-4- معادلات حالت مربوط به ژنراتور 76
5-3- طراحی کنترل‌کننده مود لغزشی برای سیستم بویلر-توربین-ژنراتور 77
5-3-1- طراحی سطح لغزش 77
5-3-2- بدست آوردن قانون کنترل 78

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4-5- اثبات پایداری سیستم 80
5-5- نحوه انتخاب پارامترهای سیستم 81

فصل ششم: نتایج شبیه‌سازی

6-1- مقدمه 83
6-2- بررسی نتایج شبیه‌سازی کنترل‌کننده تناسبی- انتگرالی 83
6-3- بررسی نتایج شبیه‌سازی کنترل‌کننده مود لغزشی 90
6-3-1- ارتقاء سیستم کنترل مود لغزشی 97
6-3-1-1- کنترل لغزشی با لایه مرزی ثابت 97
6-3-1-2- کنترل‌کننده لغزشی- فازی 100
6-3-1-3- کنترل لغزشی با تابع نمایی (تانژانت هیپربولیک)..... 103
6-4- مقایسه کنترل‌کننده تناسبی – انتگرالی و مود لغزشی با تابع نمایی 104

عنوان **صفحه**

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

7-1- نتیجه‌گیری 110
7-2- ارائه پیشنهادات 111
منابع و مآخذ 114

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(1-1) اجزاء سیستم بویلر – توربین و جایگاه آن در شبکه قدرت 3
شکل(1-2) بلوک دیاگرام سیستم کنترل هیبرید دمای بخارسوپرهیت 6
شکل(1-3) سیستم کنترل یکپارچه بویلر-توربین 8
شکل(1-4) سیستم کنترل هوشمند بویلر- توربین 8
شکل(2-1) اجزاء اصلی سیکل آب وبخار 12
شکل(2-2) شمای لوله‌های دیواره‌ای بویلر 16
شکل(2-3) شمای مدار آب بویلر..... 18
شکل(2-4) شمای بویلر الف) درام‌دار و گردش طبیعی ب) درام‌دار و گردش اجباری ج)بنسون د) بنسون با پمپ گردش اجباری 19
شکل(2-5) حلقه کنترل فرکانس نیروگاه بخاری(آبی) 25
شکل(2-6) پاسخ سیستم کنترل فرکانس به پله بار با وجود حلقه تکمیلی و بدون آن 26
شکل(2-7) مقایسه سه روش کنترل بویلر- توربین 29
شکل(3-1) اجزاء سیستم بویلر- توربین 31
شکل(3-2) حلقه گردش آب و بخار بویلر 34
شکل(3-3) مدل متمرکز بویلر 35
شکل(3-4) مدل ساده شده بویلر 36
شکل(3-5) مدل گاورنر 38
شکل(3-6) مدل گاورنر ساخت شرکت جنرال الکتریک 39
شکل (3-7) مدل عمومی توربین 40
شکل (3-8) مدل عمومی توربین با در نظر گرفتن اثر اینترسپتروالوها 40
شکل (3-9) مدل سیستم کنترل یکپارچه بویلر- توربین 41
شکل(4-1) نمودار بلوکی کنترل توربین وابسته به بویلر..... 50
شکل(4-2) نمودار بلوکی کنترل بویلر وابسته به توربین..... 52
شکل(4-3) مدل بویلر – توربین 54
شکل(4-4) سیستم کنترل نوعی با فیدبک واحد 56
شکل(4-5) ساختار سیستم کنترل بویلر- توربین با جداساز 57
شکل(4-6) ساختار سیستم کنترل یکپارچه بویلر-توربین 58

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عنوان **صفحه**

شکل(4-7) بلوک دیاگرام سیستم کنترل بویلر- توربین- ژنراتور واحد بخار 60
شکل(4-8) بلوک دیاگرام گسترده سیستم کنترل بویلر- توربین- ژنراتور واحد بخار 61
شکل(4-9) سیستم کنترل بویلر- توربین واحد دوم 320 مگاواتی نیروگاه اسلام‌آباد 62
شکل(4-10) سیگنال تقاضای بار واحد 67
شکل(6-1) نمودار اغتشاش بار الکتریکی 84
شکل(6-2) نمودار پاسخ اختلاف فرکانس به اغتشاش بار شیب 84
شکل(6-3): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس به اغتشاش پله بار. 85
شکل(6-4): نمودار پاسخ فشار بخار تروتل به اغتشاش پله بار..... 86
شکل(6-5): نمودار پاسخ فشار بخار درام به اغتشاش پله بار 86
شکل(6-6): نمودار قدرت مکانیکی تولیدی توربین با اعمال اغتشاش پله بار 86
شکل(6-7): نمودار فلوی بخار با اعمال اغتشاش پله بار 87
شکل(6-8): نمودار سیگنال تقاضای توربین با اعمال اغتشاش پله بار..... 87
شکل(6-9): نمودار سیگنال تقاضای بویلر با اعمال اغتشاش پله بار..... 87
شکل(6-10): نمودار فشار بخار تروتل با اعمال اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل..... 88
شکل(6-11): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس با اعمال اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل..... 89
شکل(6-12): نمودار فشار درام با اعمال اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل..... 89
شکل(6-13): نمودار فشار بخار تروتل با اعمال اغتشاش پله افت فشار بخار تروتل..... 89
شکل(6-14): نمودار فشار درام با اعمال اغتشاش پله افت فشار بخار تروتل..... 90
شکل(6-15): نمودار اختلاف فرکانس با اعمال اغتشاش پله افت فشار بخار تروتل..... 90
شکل (6-16): نمودار اغتشاش بار الکتریکی اعمال شده به سیستم بویلر- توربین..... 91
شکل (6-17): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس سیستم به اغتشاش شیب بار..... 91
شکل (6-18): نمودار پاسخ فشار بخار تروتل و فشار درام به اغتشاش شیب بار..... 91
شکل (6-19): نمودار فلوی بخار با اعمال اغتشاش بار شیب..... 92
شکل (6-20): نمودار تقاضای بویلر و توربین با اعمال اغتشاش بار شیب..... 92
شکل (6-21): نمودار اغتشاش بار الکتریکی و قدرت مکانیکی توربین..... 92
شکل (6-22): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس سیستم به اغتشاش پله بار..... 93
شکل (6-23): نمودار فلوی بخار با اعمال اغتشاش پله بار..... 93
شکل (6-24): نمودار فشار بخار تروتل و فشار درام با اعمال اغتشاش پله بار..... 93

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عنوان **صفحه**

شکل (6-25): نمودار سیگنالهای تقاضای بویلر و توربین با اعمال اغتشاش پله بار 93
شکل (6-26): نمودار فشار بخار تروتل و فشار درام با اعمال اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل 94
شکل (6-27): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس با اعمال اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل 95
شکل (6-28): نمودار سیگنال تقاضای توربین با اعمال اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل 95
شکل (6-29): نمودار سیگنال تقاضای بویلر با اعمال اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل 95
شکل (6-30): نمودار فشار بخار تروتل با اعمال اغتشاش پله افت فشار بخار تروتل 95
شکل (6-31): نمودار فشار درام با اعمال اغتشاش پله افت فشار بخار تروتل 96
شکل (6-32): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس با اعمال اغتشاش پله افت فشار بخار تروتل 96
شکل (6-33): نمودار سیگنالهای بویلر و توربین با اعمال اغتشاش پله افت فشار بخار تروتل 96
شکل (6-34): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس با کنترل‌کننده مود لغزشی با تابع اشباع 97
شکل (6-35): نمودار فشار بخار تروتل و فشار درام با کنترل‌کننده مود لغزشی با تابع اشباع 98
شکل (6-36): نمودار فلوی بخار و تقاضای توربین با کنترل‌کننده مود لغزشی با تابع اشباع 98
شکل (6-37): نمودار تقاضای بویلر با کنترل‌کننده مود لغزشی با تابع اشباع 99
شکل (6-38): نمودار فشار بخار تروتل و اختلاف فرکانس با کنترل‌کننده مود لغزشی با تابع اشباع 99
شکل (6-39): نمودار فشار درام با کنترل‌کننده مود لغزشی با تابع اشباع 100
شکل (6-40): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس با کنترل‌کننده لغزشی فازی 101
شکل (6-41): نمودار فشار بخار تروتل با کنترل‌کننده لغزشی فازی 101
شکل (6-42): نمودار قدرت مکانیکی، فلوی بخار، تقاضای بویلر و تقاضای توربین با کنترل‌کننده لغزشی فازی 101
شکل (6-43): نمودار اختلاف فرکانس، فشار بخار تروتل با کنترل‌کننده لغزشی فازی 102
شکل (6-44): نمودار فشار درام، قدرت مکانیکی، فلوی بخار، تقاضای بویلر و تقاضای توربین با کنترل‌کننده لغزشی فازی 102
شکل (6-45): نمودار پاسخ اختلاف فرکانس با کنترل‌کننده لغزشی نمایی 103
شکل (6-46): نمودار فشار بخار تروتل با کنترل‌کننده لغزشی نمایی 103
شکل (6-47): نمودار فشار بخار تروتل و فشار درام با کنترل‌کننده لغزشی نمایی 103
شکل (6-48): نمودار سیگنال تقاضای توربین با کنترل‌کننده لغزشی نمایی 104
شکل (6-49): نمودار سیگنال تقاضای بویلر با کنترل‌کننده لغزشی نمایی 104

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عنوان **صفحه**

شکل (6-50): نمودار فشار تروتل و اختلاف فرکانس با کنترل‌کننده لغزشی نمایی 104
شکل (6-51): نمودار پاسخ بویلر- توربین به اغتشاش پله بار با دو نوع کنترل‌کننده..... 105
شکل (6-52): نمودار پاسخ بویلر- توربین به اغتشاش پله بار با دو نوع کنترل‌کننده 106
شکل (6-53): نمودار پاسخ بویلر- توربین به اغتشاش پله بار با دو نوع کنترل‌کننده 107
شکل (6-54): نمودار پاسخ بویلر- توربین به اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل با دو نوع کنترل‌کننده 107
شکل (6-55): نمودار پاسخ بویلر- توربین به اغتشاش پالس افت فشار بخار تروتل با دو نوع کنترل‌کننده 108
شکل (6-56): نمودار پاسخ بویلر- توربین به اغتشاش پله افت فشار بخار تروتل با دو نوع کنترل‌کننده . 109

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول (6-1) قوانین فازی در کنترل‌کننده لغزشی فازی 100

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فصل اول

مقدمه

1-1- پیش‌گفتار

کنترل فرکانس یکی از دو رکن حیاتی شبکه برق است. برای کنترل فرکانس لازم است تا قدرت تولیدی ژنراتورها به طور منظم کنترل شود.کنترل قدرت تولیدی ژنراتورها با کنترل فلوی آب(یا بخار) ورودی به توربین آبی (یا بخاری) انجام می‌شود. برای این منظور باید در شبکه فرکانس اندازه‌گیری شده، و فرمان به سیستم کنترل واحدهای نیروگاه‌ها داده شود تا اقدام به افزایش یا کاهش قدرت تولیدی خود کنند. علاوه بر این هر واحد نیروگاهی می تواند با اندازه‌گیری فرکانس، قدرت تولیدی خود را تا یک مقدار محدودی کم یا زیاد کند و بعبارتی در تنظیم فرکانس شبکه مشارکت کند.

در حال حاضر در کشور ما تنظیم فرکانس توسط واحدهای آبی انجام می‌شود و اکثر نیروگاه‌های بخاری به علت ضعف در سیستم کنترل قادر به مشارکت در این امر نمی‌باشند. برای اینکه یک واحد نیروگاه بخاری بتواند علاوه بر تولید بار پایه خود، در امر کنترل فرکانس شبکه نیز مشارکت موثر داشته باشد و در عین حال، پایداری خود را حفظ کند و تنش‌های ترمودینامیکی و مکانیکی به تجهیزات آن وارد نشود باید مسأله کنترل هماهنگ بویلر- توربین به دقت مد نظر قرار گیرد. ضرایب کنترل‌کننده‌های تناسبی انتگرالی مشتقی فعلی موجود در نیروگاه‌ها برای بار نامی تنظیم می‌شود. تجهیزات نیروگاه مانند بویلر و توربین و خصوصاً بویلر، سیستم‌هایی

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

چند ورودی چند خروجی و متغیر با زمان و غیر خطی هستند، لذا کنترل‌کننده‌های تناسبی انتگرالی مشتقی فاقد کارایی لازم می‌باشند. به خاطر این ضعفها در حال حاضر بسیاری از نیروگاه‌های بخار در مد کنترلی محدودیت بار[1]، یعنی با بار ثابت بدون هیچگونه حساسیت به تغییر فرکانس، مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. علاوه بر این، در هر یک از واحدهای بخاری اغتشاشاتی مانند تریپ پمپ تغذیه بویلر، بای‌پاس شدن هیترهای فشار قوی و ضعیف، سوراخ شدن لوله‌های سوپر هیت و ری‌هیت و تریپ مشعل، تریپ فن گردش دهنده محصولات احتراق و نیز اغتشاشات خارجی وجود دارد که سیستم باید در برابر آنها مقاوم باشد.

1-2- معرفی سیستم کنترل بویلر- توربین واحد بخار

1-2-1- اجزاء سیستم بویلر– توربین و جایگاه آن در شبکه قدرت

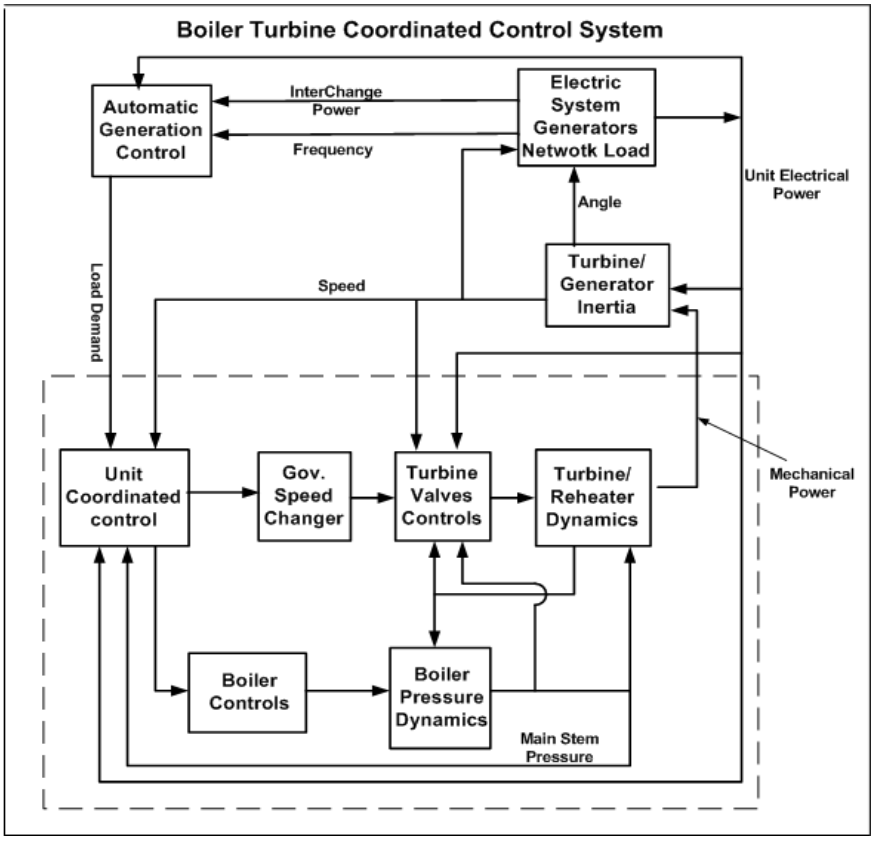
شکل (1-1) اجزاء سیستم بویلر– توربین و جایگاه آن در شبکه قدرت و ارتباطات بین شبکه قدرت و بویلر- توربین و همچنین ارتباطات اجزاء بویلر- توربین را نشان می‌دهد. در این شکل سیستم بویلر- توربین با خط چین نمایش داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است سیستم کنترل اتوماتیک تولید(AGC)[2] با اندازه‌گیری فرکانس شبکه، قدرت الکتریکی شبکه، قدرت تولیدی هر واحد نیروگاهی (و اطلاعات دیگری مانند قیمت برق هر واحد تولیدی، محدودیتهای تولید هر واحد و محدودیتهای شبکه انتقال) فرمان افزایش و یا کاهش تولید را برای هر واحد صادر می‌کند. هر واحد بخار با دریافت فرمان از سیستم کنترل اتوماتیک تولید، و با فیدبک از تولید جاری خود و همچنین فیدبک از فشار بخار اصلی و فرکانس شبکه اقدام به تغییر تولید بار می‌کند. این بدان معنی است که سیستم کنترل بویلر- توربین تنها بر اساس فرمان سیستم کنترل اتوماتیک تولید عمل نمی‌کند، بلکه فشار بخار اصلی و فرکانس شبکه را نیز در تصمیم‌سازی تغییر تولید لحاظ می‌کند. بعنوان مثال اگر درخواست افزایش بار از سوی شبکه شود و فشار بخار اصلی مطلوب نباشد، واحد بخار پس از اصلاح خطای فشار بخار اصلی به درخواست شبکه پاسخ خواهد داد.

---

1 - Load Limit

2-Automatic Generation Control (AGC)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل(1-1): اجزاء سیستم بویلر – توربین و جایگاه آن در شبکه قدرت

معمولاً هر واحد نیروگاهی بخار این قابلیت را دارد که علاوه بر قدرت معین شده برای آن توسط AGC با اندازه‌گیری فرکانس، تا یک مقدار محدودی قدرت تولیدی خود را کم یا زیاد کند و بعبارتی در تنظیم فرکانس شبکه مشارکت کند. در واقع سیستم کنترل بویلر- توربین واحد بخار پس از دریافت فرمان AGC مبنی بر افزایش و یا کاهش بار تولیدی، فرمانهایی به بویلر یا توربین و یا هر دوی آنها صادر می‌کند. انتخاب نوع فرمان از میان این سه نوع بستگی به نوع واحد بخار و مود کنترلی آن دارد. مود کنترلی واحد بخار توسط اپراتور آن واحد انتخاب می‌شود که در فصل‌های آینده به آن اشاره خواهیم کرد.

1-2-2- مروری بر مقالات

همزمان با رشد و تکامل علم و تکنولوژی در دنیا، علوم و فنون مرتبط با نیروگاه بخار نیز دچار تحول شده اند. این نیروگاهها در سیر تحول چه از نظر میزان تولید، چه از نظر تکنولوژی بکار رفته در تجهیزات پیشرفتهای اساسی داشته اند. این تحولات را بطور کلی می‌توان به دو بخش اصلی سخت افزاری و نرم افزاری تقسیم نمود. تحول سخت افزاری شامل دگرگونی در تجهیزات مکانیکی، الکتریکی و تجهیزات ابزاردقیق می‌باشد. این تحول

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

در بخش ابزار دقیق نیروگاه شامل ارتقاء سیستمهای حفاظت و کنترل از نوع مکانیکی به الکترونیکی، و پس از آن تبدیل بخش عمده‌ای از سخت افزارهای الکترونیکی به نرم افزار کامپیوتری مبتنی بر سیستمهای (DCS)[1] و همچنین ارتقاء کیفیت سخت افزارهای الکترونیکی می‌باشد.

تحولات نرم افزاری در بخش ابزار دقیق نیروگاهها بطور کلی شامل ارتقاء منطق‌های حفاظت وکنترل تجهیزات نیروگاه می‌باشد. افزودن سیگنالهای پیش تغذیه و ارتقاء حلقه‌های کنترل مهم از تک عنصری به دو عنصری و سه عنصری از جمله آنها می‌باشد. پیشرفت سیستم های کنترل و ظهور سیستم‌های DCS که دارای سرعت محاسبات بالا و سیستم‌های جمع‌آوری و تبادل اطلاعات پیشرفته هستند، زیر ساخت لازم را جهت بکارگیری منطق‌های کنترلی پیشرفته در کنترل فرآیندهای مختلف در صنعت و از جمله صنعت نیروگاه فراهم کرده است.

در حوزه نظری و دانش نیز مطالعات و تحقیقات زیادی در زمینه سیستم‌های کنترل نیروگاه بخار صورت گرفته است. این مطالعات بیشتر در زمینه‌های مدل‌سازی و کنترل بویلر و توربین می‌باشد. روشهای متعددی برای کنترل بویلر- توربین بکار رفته است که هر کدام مزایا و معایب خود را داردکه به اجمال به برخی از آنها خواهیم پرداخت.

برخی از مطالعات انجام شده در زمینه کنترل بویلر و یا توربین بطور مجزا بوده است، این درحالی است که کنترل یکپارچه بویلر و توربین مهم است و بخاطر اثرات این دو بر هم باید آنها را همانند دو جزء یک سیستم مد نظر قرار داد. بعنوان مثال در مرجع [1] با استفاده از روشH_∞ به طراحی کنترل‌کننده برای فشار بخار سوپرهیت خروجی بویلر، سطح درام و دمای بخار سوپرهیت خروجی بویلر پرداخته است. این کنترل‌کننده‌ها بر اساس دیدگاه سیستم‌های خطی طراحی شده‌اند و حال آنکه بویلر- توربین سیستمی غیرخطی و تغییرپذیر با زمان است. در مرجع [2] یک کنترل‌کننده بر اساس روش Gap Metric برای بویلر طراحی شده است. ضعف این روش مجدداً در نظر نگرفتن اثرات متقابل بویلر- توربین است. ضعف دیگر آن خطی‌سازی است که با توجه به غیرخطی بودن سیستم بویلر- توربین، پیرامون یک نقطه کار معتبر است.

در مرجع [3] بر مبنای روشهای عددی یک کنترل‌کننده چند متغیره برای کنترل فشار و دمای بخار سوپرهیت خروجی بویلر طراحی شده است که این مقاله نیز ضعف‌های ذکر شده در مرجع قبل را دارد.

---

1 -Distributed Control System

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

در مرجع[4] سیستم بویلر- توربین را یک سیستم دو ورودی- دو خروجی در نظر گرفته و سپس به نحوه تنظیم پارامترهای کنترل‌کننده یکپارچه تناسبی- انتگرالی بویلر- توربین می‌پردازد. این مقاله از این نظر که نگرشی یکپارچه به سیستم بویلر- توربین دارد، از دیدگاه موضوع مورد بحث ما دارای امتیاز نسبت به مقاله‌های قبلی است، اما بحث آن پیرامون کنترل‌کننده های تناسبی- انتگرالی بویلر توربین است که به عیوب آنها قبلاً اشاره شد.

مرجع [5] نیز روشی برای تنظیم کنترل‌کننده های تناسبی انتگرالی بویلر و توربین ارائه می‌دهد. در این پژوهش با در نظر گرفتن معادلات حالت پایه‌ای بویلر- توربین و تعریف یک شاخص عملکرد به نام MPM[1]، به کمینه کردن این شاخص پرداخته می‌شود و ضرایب کنترل‌کننده‌های تناسبی انتگرالی سه حلقه کنترل بار، سطح درام و فشار بخار اصلی بهینه می‌گردد.

یکی از روشهایی که جهت کنترل بویلر- توربین استفاده شده است، روش کنترل پیش‌بین می‌باشد که می‌تواند جهت کنترل سیستمهای غیرخطی، متغیر با زمان و تأخیردار مورد استفاده قرار گیرد. در این روش ابتدا یک مدل CARIMA[2] برای سیستم تحت مطالعه در نظر گرفته می‌شود. این مدل با دادن یک سری ورودی به سیستم و اندازه‌گیری خروجی‌های مربوطه، بدست می‌آید. سپس یک تابع هزینه برای سیستم تعریف شده و مینیمم می‌گردد تا سیگنال کنترلی بدست آید.

در مرجع [6] با در نظر گرفتن فشار بخار اصلی، دمای بخار اصلی، دمای بخار ریهیت به عنوان پارامترهای مهم خروجی بویلر، به ارائه یک مدل وابسته به بار برای بویلر می‌پردازد. این مدل وابسته به بار می‌تواند تا حدی رفتارهای غیرخطی بویلر را توصیف کند. سپس یک کنترل‌کننده چند متغیره پیش بین برای بویلر طراحی می‌شود. به منظور توصیف رفتارهای غیرخطی سیستم به طور رضایت بخش، تعداد مدلهای محلی خطی اغلب به قدری زیاد می‌شوند که تحقق آنها بسیار دشوار می‌شود. همچنین روشهای کنترل پیشبین نیاز به تخمین به هنگام پارامترهای سیستم تحت کنترل دارد که در عمل همگرایی روشهای تخمین، یک مسأله چالش برانگیز می‌باشد.

در مرجع [7] نیز با استفاده از روش کنترل پیش‌بین تعمیم یافته(GPC)[3] ، کنترل‌کنندهایی جهت کنترل فشار بخار اصلی خروجی یک بویلر درام‌دار طراحی شده است. روش GPC یک روش کنترل مقاوم با کاربرد در رنج وسیع نقطه کار سیستم و دارای قابلیت انعطاف در طراحی می‌باشد که با استفاده از آن یک کنترل‌کننده خود تنظیم برای

---

1 -Modal Performance Measure

2-Controlled Auto-Regressive Integrated Moving Average

3-Generalized Predictive Control

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com