دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی برق

عنوان:

طراحی کنترل‌کننده PID بار – فرکانس برای سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای

پژوهشگر:

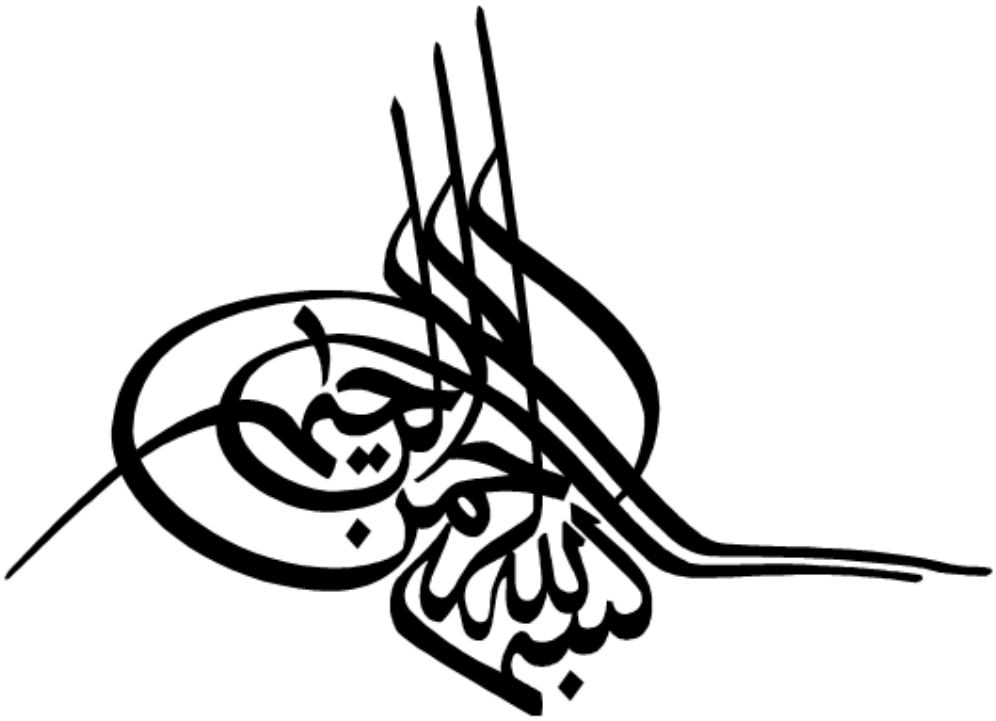
حسام‌الدین امامی پور

استاد راهنما:

دکتر علی حسامی نقشبندی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

بهمن ماه 1390


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کردستان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی برق

عنوان:

طراحی کنترل‌کننده PID بار – فرکانس برای سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای

پژوهشگر:

حسام‌الدین امامی پور

استاد راهنما:

دکتر علی حسامی نقشبندی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

بهمن ماه 1390

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب حسام‌الدین امامی پور دانشجوی کارشناسی ارشد رشته برق گرایش قدرت دانشگاه کردستان، دانشکده مهندسی گروه برق تعهد می‌نمایم که محتوای این پایان‌نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی‌برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

حسام‌الدین امامی پور

13 90 /11/ 29

دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

طراحی کنترل‌کننده PID بار – فرکانس برای سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای

پژوهشگر:
حسام‌الدین امامی پور

در تاریخ 1390/11/29 توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره..... و درجه ..... به تصویب رسید.

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
1ـ استاد راهنما	دکتر علی حسامی نقشبندی	استادیار	
2ـ استاد داور خارجی	دکتر علیرضا حاتمی	استادیار	
3ـ استاد داور داخلی	دکتر جمال مشتاق	استادیار	

مهر و امضاء گروه

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده

تقدیم به

پدر و مادرم

به پاس همه محبت‌هایشان

با سپاس فراوان از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر علی حسامی نقشبندی به واسطه لطف و راهنمایی‌های بی‌دریغشان. بی‌شک این پایان‌نامه مرهون زحمات ایشان است. همچنین از جناب آقای مهندس هیمن گل‌پیرا به خاطر راهنمایی‌های ایشان در انجام این پایان‌نامه تشکر می‌نمایم. ودر آخر جا دارد از دوستان عزیزم، آقایان علی رفیع‌نیا، سید جلال‌الدین موسوی راد، هادی عبدالله زاده، مصطفی ملکی، مصطفی غلامی زارچی، محمد عارف خیابانی، سید علی اعلائی، حامد عبدی، آرمان رحیمی، اشکان دشتبان و میکائیل آق‌قلا به خاطر کمک‌هایشان تشکر نمایم.

چکیده

امروزه با توجه به گستردگی، تغییر ساختار، ظهور منابع تجدید پذیر انرژی و پیچیدگی سیستم‌های قدرت به هم پیوسته، کنترل بار- فرکانس به یک موضوع مهم در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت تبدیل شده است.

برای کنترل بار- فرکانس سیستم قدرت روشهای کنترلی مختلفی، مانند روشهای کنترل بهینه، کنترل تطبیقی، کنترل ساختار متغیر و کنترل هوشمند پیشنهاد شده است. عملکرد این روشها مناسب است، اما آنها نیازمند اطلاعات حالت سیستم یا شناسایی روی خط مناسب می باشند. بنابراین ممکن است کاربرد و پیاده سازی این روش‌ها در عمل مشکل باشد. در این میان، کنترل‌کننده‌های PI یا PID به علت سادگی ساختارشان در اجرا مورد توجه بیشتر قرار گرفته‌اند.

در این پروژه هدف تنظیم بهینه پارامترهای روش کنترل مدل داخلی به منظور طراحی کنترل‌کننده PID برای کنترل بار- فرکانس سیستم‌های قدرت چند ناحیه‌ای است. همچنین علاوه بر پیاده‌سازی این کنترل‌کننده در محیط سنتی با حضور توربین‌های متفاوت و در حضور واحدهای ذخیره‌ساز انرژی مغناطیسی ابر رسانا (SMES) و جبران‌کننده سری سنکرون استاتیک (SSSC) و قیود فیزیکی، عملکرد و مقاوم بودن آن نیز در برابر تغییرات پارامترهای سیستم قدرت و در محیط تجدید ساختار یافته و در حضور اثر نوسان توان باد بررسی شده است.

کلید واژه

کنترل بار- فرکانس، کنترل مدل داخلی، سیستم قدرت تجدید ساختار یافته، الگوریتم ژنتیک، قیود فیزیکی

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول- مقدمه 1

1-1 کنترل بار- فرکانس سیستم قدرت 3

2-1 حلقه اصلی کنترل بار- فرکانس 4

3-1 مدلسازی پاسخ فرکانس 6

4-1 کنترل فرکانس در یک سیستم قدرت به هم پیوسته 9

5-1 ضریب مشارکت کنترل بار- فرکانس 12

6-1 فرکانس استاندارد بهره‌برداری 13

7-1 پیشینه تحقیق 14

فصل دوم- مشخصات پاسخ فرکانس و عملکرد دینامیکی 23

2-1 کنترل بار- فرکانس در محیط تجدید ساختار یافته 24

2-2 دینامیک‌های کنترل بار- فرکانس و قراردادهای دوجانبه 28

2-2-1 مدلسازی 28

2-3 قیود فیزیکی در مسأله کنترل بار- فرکانس 30

2-3-1 محدودیت نرخ تولید و نوار مرده گاورنر 30

2-3-2 تأخیر ارتباطات در مسأله کنترل بار- فرکانس 31

2-3-3 سیستم بویلر 32

2-3-4 عدم قطعیت‌ها 33

2-4 منابع انرژی تجدید پذیر 34

2-4-1 اثر انرژی‌های تجدید پذیر روی تنظیم فرکانس 35

2-4-2 در نظر گرفتن منابع تجدید پذیر در مدل کنترل بار- فرکانس 37

5-2 کنترل بار- فرکانس با حضور منبع انرژی مغناطیسی ابر رسانا 38

2-5-1 مدل ریاضی سیستم منبع انرژی مغناطیسی ابر رسانا..... 39

6-2 کنترل بار- فرکانس با حضور جبران‌کننده سری سنکرون استاتیک..... 41

1-6-2 مدل ریاضی سیستم جبران‌کننده سری سنکرون استاتیک..... 41

فصل سوم- طراحی کنترل‌کننده PID بار- فرکانس 44

1-3 روش کنترل مدل داخلی 45

3-1-1 طراحی کنترل‌کننده PID 47

2-3 طراحی کنترل‌کننده PID برای کنترل بار- فرکانس سیستم قدرت 49

3-2-1 طراحی کنترل‌کننده بار- فرکانس برای سیستم قدرت تک ناحیه‌ای 49

3-2-2 طراحی کنترل‌کننده بار- فرکانس برای سیستم قدرت چند ناحیه‌ای 52

3-3 مروری بر الگوریتم ژنتیک 53

3-3-1 ساختار الگوریتم ژنتیک 55

3-3-2 عملگرهای ژنتیک..... 55

3-3-3 روش انتخاب الگوریتم ژنتیک..... 57

3-3-4 روند کلی الگوریتم‌های ژنتیک 58

4-3 بهینه‌سازی روش کنترل مدل داخلی 59

فصل چهارم- نتایج شبیه‌سازی 61

1-4 سیستم قدرت چهار ناحیه‌ای شامل توربین‌های با بازگرمایش و آبی 62

2-4 سیستم قدرت دو ناحیه‌ای با توربین‌های بدون بازگرمایش 71

3-4 سیستم قدرت چهار ناحیه‌ای با توربین‌های بدون بازگرمایش..... 73

4-4 سیستم قدرت دو ناحیه‌ای با توربینهای با بازگرمایش در حضور منبع انرژی مغناطیسی ابر رسانا..... 79

5-4 سیستم قدرت چهار ناحیه‌ای در حضور جبرانگر سری سنکرون استاتیک..... 82

6-4 سیستم قدرت سه ناحیه‌ای در محیط تجدید ساختار یافته 84

4-6-1 سناریو1: قرارداد پولکو 86

4-6-2 سناریو 2: ترکیب قرارداد دو جانبه و پولکو 94

4-6-3 ترکیب قرارداد دو جانبه و پولکو در حضور نوسان توان باد 103

فصل پنجم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات 109

1-5 نتیجه‌گیری 110

2-5 پیشنهادات 111

مراجع 112

فهرست جداول

عنوان جدول **شماره صفحه**

جدول 4-1: مقادیر پارامترهای سیستم قدرت چهار ناحیه‌ای 74

جدول 4-2: مقادیر قیود فیزیکی 74

جدول 4-3: ضرایب کنترل‌کننده‌های PID پیشنهادی 74

جدول 4-4: مقادیر بهینه پارامترهای تنظیم 75

جدول 4-5: مقادیر پارمترهای سیستم قدرت دو ناحیه‌ای 79

جدول 4-6: مقادیر سیستم بویلر 79

جدول 4-7: ضرایب کنترل‌کننده PID بهینه مرجع [109] 80

جدول 4-8: مقادیر پارامترهای سیستم قدرت چهار ناحیه‌ای 83

جدول 4-9: اطلاعات GENCO ها 85

جدول 4-10: اطلاعات پارامترهای ناحیه‌های کنترل 85

جدول 4-11: محدودیت‌های فیزیکی 85

جدول 4-12: ضرایب کنترل‌کننده‌های PID 86

جدول 4-13: ضرایب کنترل‌کننده PID پیشنهادی 95

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **شماره صفحه**

شکل 1-1: بلوک دیاگرام ژنراتور سنکرون با حلقه‌های کنترل فرکانس 5

شکل 2-1: بلوک دیاگرام معرف مدل ژنراتور- بار 7

شکل 3-1: بلوک دیاگرام کاهش یافته شکل (1-1) 7

شکل 4-1: بلوک دیاگرام توربین و گاورنر 8

شکل 5-1: بلوک دیاگرام یک واحد ژنراتور بخار بدون بازگرمایش با حلقه کنترل فرکانس 9

شکل **6-1:** سیستم قدرت با N ناحیه کنترل 10

شکل 7-1: ناحیه کنترل i با کنترل تکمیلی 12

شکل 8-1: سیستم کنترل بار- فرکانس با واحدهای مختلف تولید و ضرایب مشارکت در ناحیه i 13

شکل 1-2: ساختار شبکه یکپارچه عمودی 26

شکل 2-2: ساختار شبکه مقررات زدایی شده 27

شکل 3-2: مدل کنترل بار- فرکانس در محیط تجدید ساختار 32

شکل 4-2: جزئیات ساختار بویلر 33

شکل 5-2: سیستم قدرت مجزای نمونه 36

شکل 6-2: انحراف فرکانس سیستم در حضور منابع تجدید پذیر انرژی 37

شکل 7-2: مدل کنترل بار- فرکانس ساده شده با حضور نوسان منابع تجدید پذیر 38

شکل 8-2: طرح کلی یک واحد SMES 40

شکل 9-2: بلوک دیاگرام واحد SMES 41

شکل 10-2: SSSC در یک سیستم قدرت دو ناحیه‌ای 42

شکل 1-3: ساختار کنترل مدل داخلی 46

شکل 2-3: ساختار TDF-IMC 46

شکل 3-3: ساختار فیدبک معادل 47

شکل 4-3: مدل خطی سیستم قدرت تک ناحیه‌ای 49

شکل 5-3: آمیزش تک نقطه‌ای 56

شکل 6-3: یک کروموزوم قبل و بعد از اعمال عملگر جهش 57

شکل 7-3: نمودار گردشی الگوریتم ژنتیک 60

شکل 4-1: دیاگرام ساده سیستم قدرت چهار ناحیه‌ای 62
شکل 4-2: انحراف فرکانس چهار ناحیه 64
شکل 4-3: انحراف توان خط ارتباطی چهار ناحیه 65
شکل 4-4: انحراف فرکانس چهار ناحیه 67
شکل 4-5: انحراف توان خط ارتباطی چهار ناحیه 68
شکل 4-6: انحراف فرکانس ناحیه‌های 1 و 2 با 50 درصد کاهش در پارامترهای سه ناحیه اول 69
شکل 4-7: انحراف فرکانس ناحیه‌های 3 و 4 با 50 درصد کاهش در پارامترهای سه ناحیه اول 70
شکل 4-8: انحراف توان خط ارتباطی ناحیه‌های 1 و 2 با 50 درصد کاهش در پارامترهای سه ناحیه اول 70
شکل 4-9: انحراف توان خط ارتباطی ناحیه‌های 3 و 4 با 50 درصد کاهش در پارامترهای سه ناحیه اول 71
شکل 4-10: انحراف فرکانس ناحیه‌های 1 و 2 72
شکل 4-11: انحراف توان خط ارتباطی میان ناحیه‌های 1 و 2 73
شکل 4-12: دیاگرام ساده سیستم قدرت چهار ناحیه‌ای 74
شکل 4-13: انحراف فرکانس ناحیه‌های 1 و 2 75
شکل 4-14: انحراف فرکانس ناحیه‌های 3 و 4 76
شکل 4-15: انحراف فرکانس چهار ناحیه در حضور 40 درصد کاهش در پارامترهای M_i و T_{ij} 77
شکل 4-16: انحراف فرکانس چهار ناحیه در حضور 40 درصد افزایش در پارامترهای M_i و T_{ij} 78
شکل 4-17: انحراف فرکانس در هر دو ناحیه 80
شکل 4-18: انحراف فرکانس هر دو ناحیه با کنترل‌کننده PID پیشنهادی 81
شکل 4-19: انحراف فرکانس هر دو ناحیه با 50 درصد افزایش در پارامترهای سیستم 81
شکل 4-20: انحراف فرکانس هر دو ناحیه با 50 درصد کاهش در پارامترهای سیستم 82
شکل 4-21: دیاگرام ساده سیستم قدرت چهار ناحیه با حضور واحد SSSC 82
شکل 4-22: انحراف فرکانس در ناحیه 1 83
شکل 4-23: انحراف فرکانس در ناحیه 2 84
شکل 4-24: انحراف توان خط ارتباطی بین ناحیه‌های 1 و 2 84
شکل 4-25: دیاگرام ساده سیستم قدرت سه ناحیه‌ای 85
شکل 4-26: انحراف فرکانس در ناحیه‌های 1 و 2 بدون حضور قیود فیزیکی 87
شکل 4-27: انحراف فرکانس در ناحیه 3 بدون حضور قیود فیزیکی 88
شکل 4-28: تغییر توان تولیدی GENCO های 1 و 2 88
شکل 4-29: تغییر توان تولیدی GENCO های 3 و 4 89

شکل 4-30: تغییر توان تولیدی GENCO شماره 5 89
شکل 4-31: تغییر توان تولیدی GENCO شماره 6 90
شکل 4-32: انحراف توان عبوری خط ارتباطی میان ناحیه‌های 1 و 2 90
شکل 4-33: انحراف توان عبوری خط ارتباطی میان ناحیه‌های 1 و 3 90
شکل 4-34: انحراف فرکانس در ناحیه‌های 1 و 2 با حضور قیود فیزیکی 91
شکل 4-35: انحراف فرکانس در ناحیه 3 با حضور قیود فیزیکی 92
شکل 4-36: انحراف توان عبوری خط ارتباطی میان ناحیه‌های 1 و 2 92
شکل 4-37: انحراف توان عبوری خط ارتباطی میان ناحیه‌های 1 و 3 92
شکل 4-38: تغییر توان تولیدی GENCO های 1 و 2 93
شکل 4-39: تغییر توان تولیدی GENCO شماره 3 93
شکل 4-40: تغییر توان تولیدی GENCO های 4 تا 6 94
شکل 4-41: انحراف فرکانس در هر سه ناحیه بدون حضور قیود فیزیکی 96
شکل 4-42: انحراف توان عبوری خط ارتباطی میان ناحیه‌ها بدون حضور قیود فیزیکی 97
شکل 4-43: تغییر توان تولیدی در GENCO شماره 1 97
شکل 4-44: تغییر توان تولیدی GENCO های 2 تا 4 98
شکل 4-45: تغییر توان تولیدی GENCO های 5 و 6 99
شکل 4-46: انحراف فرکانس هر سه ناحیه در حضور قیود فیزیکی 100
شکل 4-47: انحراف توان عبوری خط ارتباطی میان ناحیه‌ها در حضور قیود فیزیکی 101
شکل 4-48: تغییر توان تولیدی در GENCO شماره 1 101
شکل 4-49: تغییر توان تولیدی در GENCO های 2 تا 4 در حضور قیود فیزیکی 102
شکل 4-50: تغییر توان تولیدی در GENCO های 5 و 6 در حضور قیود فیزیکی 103
شکل 4-51: نوسان توان باد اعمالی به هر سه ناحیه 104
شکل 4-52: انحراف فرکانس در ناحیه 1 104
شکل 4-53: انحراف فرکانس در ناحیه 2 104
شکل 4-54: انحراف فرکانس در ناحیه 3 105
شکل 4-55: انحراف توان عبوری خط ارتباطی میان ناحیه‌های 1 و 2 105
شکل 4-56: انحراف توان عبوری خط ارتباطی میان ناحیه‌های 1 و 3 106
شکل 4-57: تغییر توان در GENCO شماره 1 106
شکل 4-58: تغییر توان در GENCO شماره 2 107

شکل 4-59: تغییر توان در GENCO شماره 3 107
شکل 4-60: تغییر توان در GENCO شماره 4 107
شکل 4-61: تغییر توان در GENCO شماره 5 108
شکل 4-62: تغییر توان در GENCO شماره 6 108

فصل اول- مقدمه

فشار شدید ناشی از عدم تعادل میان تولید و مصرف، عملکرد سیستم قدرت را بطور جدی کاهش می‌دهد، که نمی‌توان آن را در مطالعات سنتی مربوط به پایداری گذرا و پایداری ولتاژ توصیف کرد. این نوع از پدیده‌های کند باید در رابطه با موضوع کنترل بار- فرکانس ملاحظه گردد [1].

امروزه با توجه به افزایش اندازه، تغییرات ساختار و پیچیدگی سیستم‌های قدرت به هم پیوسته، کنترل بار- فرکانس به یک موضوع مهم در طراحی و بهره‌برداری سیستم قدرت الکتریکی تبدیل شده است. افزایش فشارهای اقتصادی برای کارایی و قابلیت اطمینان سیستم قدرت منجر به یک نیاز برای نگهداری فرکانس و توان تبادلی سیستم در مقادیر برنامه‌ریزی شده تا حد ممکن شده است. بنابراین در یک سیستم قدرت مدرن، کنترل بار- فرکانس یک نقش اساسی بعنوان یک سرویس کمکی در حمایت از تبادلات توان و فراهم آوردن شرایط بهتر برای تجارت برق بازی می‌کند.

در این بخش به معرفی موضوع کنترل فرکانس و توان حقیقی و ارائه مفاهیم مقدماتی کنترل بار- فرکانس پرداخته شده است. ساز و کار کنترل بار- فرکانس یک ناحیه کنترل تنها و سپس بسط آن به سیستم کنترل چند ناحیه‌ای بیان می‌شود.

1-1 کنترل بار- فرکانس سیستم قدرت

مسئله کنترل خروجی توان حقیقی واحدهای تولید در پاسخ به تغییرات فرکانس و توان تبادلی خطوط ارتباطی در محدوده خاص کنترل بار- فرکانس نامیده می‌شود، که یکی از وظایف عمده کنترل خودکار تولید[1] (AGC) و یکی از مسائل کنترلی مهم در طراحی و بهره‌برداری سیستم قدرت است [2]. فرکانس غیر نرمال می‌تواند بطور مستقیم روی بهره‌برداری و قابلیت اطمینان سیستم قدرت تأثیر بگذارد. یک انحراف فرکانس بزرگ باعث خسارت به تجهیزات، اضافه بار خطوط انتقال، تداخل طرح‌های حفاظتی و نهایتاً منجر به حالت ناپایدار برای سیستم قدرت می‌شود [3]. نگهداری فرکانس و توان تبادلی با ناحیه‌های همسایه در مقدار برنامه ریزی شده دو هدف اصلی کنترل بار- فرکانس سیستم قدرت است [1].

کنترل خودکار تولید (AGC) وسیله‌ای برای کنترل خودکار توان تولیدی واحدها جهت انجام پخش بار اقتصادی، کنترل فرکانس سیستم و نیز پخش بار خطوط ارتباطی در سطح مطلوب است. گاهی اوقات کنترل خودکار تولید که با نام‌های کنترل بار- فرکانس[2] و یا کنترل بار نیز شناخته می‌شود، در مراکز کنترل انرژی و یا مراکز هماهنگی انرژی، بوسیلهٔ سیستم‌های مدیریت انرژی انجام می‌شود. سیستم‌های مدیریت انرژی، اطلاعات را از سیستم‌های قدرت دریافت و بوسیله رایانه‌ها این اطلاعات را پردازش می‌نمایند. سیستم‌های مدرن مدیریت انرژی معمولاً جهت عملکرد اپراتور دارای تجهیزات پیشرفته‌ای می‌باشند. همچنین این سیستم‌ها دارای تجهیزات مخابراتی جهت ارسال سیگنال‌های کنترلی برای واحدهای تولیدی هستند. کنترل خودکار تولید تکمیلی به شکل کنترل محلی در نیروگاه‌ها صورت می‌پذیرد. در نیروگاه‌های حرارتی، سیستم‌های کنترل محلی، عمل تنظیم سرعت توربین را جهت تغییر فرکانس سیستم انجام می‌دهند. همچنین این کنترل جهت تنظیم میزان تولید در زمانی که فرکانس سیستم کم و یا زمانی که فرکانس سیستم بالا باشد جهت تنظیم تولید توان، جریان سیال ورودی به توربین را تنظیم می‌نماید.

در طول چند سال گذشته، شرکت‌های الکتریکی زیادی با هم ادغام شده‌اند و نتیجه ادغام این شرکت‌ها، استفاده از نیروی انسانی موثر و همچنین ترکیب مناطق کنترلی می‌باشد. این موضوع جالب است که چگونه در دهه اخیر مناطق کنترلی عهده‌دار فعالیت‌های تجدید ساختار شده‌اند. تنظیم دقیق سیستم کنترل خودکار تولید، از طریق پس‌انداز اقتصادی بسیار بزرگی که می‌تواند بوسیله بهره‌برداری از سیستمهای متصل به هم در مقایسه با عملکرد مناطق کنترلی فراهم نماید، قابل توجیه است. کنترل خودکار تولید، فرکانس سیستم را در وضعیت عادی تنظیم می‌کند، اما نقشی در محدود کردن میزان

[1] Automatic Generation Control (AGC)
[2] Load Frequency Control (LFC)