

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

مدلسازی و شبیه سازی نیروگاه تلمبه ذخیره ای سرعت متغیر مجهز به DFIG برای
مطالعه پایداری زاویه ای و ولتاژ

اساتید راهنما:

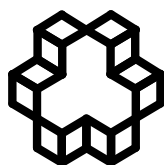
آقای دکتر بطحائی

آقای دکتر عابدینی

نگارش:

محسن شهرروزی

زمستان 1390



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق

تائیدیه هیات داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان

"مدلسازی و شبیه سازی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر مجهز به DFIG برای مطالعه پایداری زاویه‌ای و ولتاژ"

توسط آقای محسن شهرروزی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته : برق - قدرت گرایش ماشین‌های الکتریکی و الکترونیک قدرت با رتبه..... مورد تائید قرار می‌دهند.

امضاء	آقای دکتر محمد تقی بطحائی	1- استاد راهنما
امضاء	آقای دکتر علیرضا عابدینی	2-استاد راهنما
امضاء	آقای دکتر محسن کلانتر	3-ممتحن خارجی
امضاء	آقای دکتر مسعود علی اکبر گلکار	4- ممتحن داخلی
امضاء	آقای دکتر مسعود علی اکبر گلکار	5-نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده

اظهار نامه دانشجو

بسمه تعالی

موضوع پایان نامه :

مدلسازی و شبیه سازی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر مجهز به DFIG برای مطالعه پایداری زاویه‌ای و ولتاژ

استاتید راهنما: دکتر محمد تقی بطحائی – دکتر علیرضا عابدینی

نام دانشجو: محسن شهرروزی

شماره دانشجوئی: 8806054

اینجانب محسن شهرروزی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت گرایش ماشین‌های الکتریکی و الکترونیک قدرت دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو

تاریخ

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانم که از استاتید راهنمای این پایان‌نامه، جناب آقایان دکتر محمد تقی بطحائی و دکتر علیرضا عابدینی که در پیشنهاد موضوع، ارائه، تهیه و تصحیح متن آن من را یاری نمودند و خانواده عزیزم، نهایت تشکر و قدردانی را بنمایم.

چکیده

با توجه به افزایش روز افزون مصرف انرژی الکتریکی، یکی از مسائل مهم پیش روی سیستم قدرت اصلاح منحنی بار در طول شبانه روز و پیک زدایی از آن در طول ساعات پر مصرف می‌باشد. یکی از روشهای اصلاح منحنی بار، ذخیره سازی انرژی در ساعات کم‌باری و بازگرداندن آن در ساعات پرباری است. نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای به عنوان یکی از منابع غیر مستقیم ذخیره ساز انرژی با حجم بالا نقش مهمی در اصلاح منحنی بار دارند. این نیروگاه‌ها در واقع یک نیروگاه آبی با دو مخزن بالایی و پائینی هستند که در ساعات کم باری در مد پمپی (موتوری) آب را به مخزن بالایی خود انتقال داده و در ساعات پرباری در مد توربینی (ژنراتوری) به تولید برق می‌پردازند. این نوع نیروگاه‌ها در دو نوع سرعت متغیر و سرعت ثابت مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در نوع سرعت ثابت از یک ماشین سنکرون و در نوع سرعت متغیر از یک ژنراتور القایی دو تغذیه‌ای (DFIG) به عنوان موتور – ژنراتور استفاده می‌گردد.

با توجه به نقشی که این نیروگاه در اصلاح منحنی بار و مزایای دیگر مانند کنترل فرکانس، مدیریت بار، افزایش قابلیت اطمینان شبکه، عدم آلودگی هوا و پس ماند، راه‌اندازی سریع در مواقع قطع سراسری برق، بازدهی و غیره دارند، وجود آنها در شبکه قدرت یک امر ضروری به نظر می‌رسد. از این رو با توجه به لزوم استفاده از این نیروگاه‌ها تاثیر آنها بر شبکه قدرت خصوصاً از لحاظ پایداری باید مورد بررسی قرار گیرد.

هدف اصلی این پروژه، مدل‌سازی و شبیه سازی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر DFIG و بررسی و مقایسه تاثیر این نیروگاه بر پایداری زاویه‌ای و ولتاژ شبکه در حالت سرعت متغیر و حالت سرعت ثابت (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. در بررسی حالت سرعت ثابت، دقیقاً از مشخصات نیروگاه سیاه بیشه و در بررسی حالت سرعت متغیر (DFIG) از مشخصات مشابه این نیروگاه استفاده شده است. در این پروژه ابتدا به علل استفاده، انواع و مزایای حالت سرعت متغیر نسبت به حالت سرعت ثابت در نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای پرداخته شده و انواع ناپایداری‌ها در شبکه قدرت مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس تجهیزات مختلف این دو حالت عملکردی (سرعت ثابت و متغیر) را معرفی و آنها را متناسب با مطالعات پایداری شبکه قدرت مدل‌سازی می‌کنیم. در خاتمه نیز با قرار دادن مدل این نیروگاه در یک شبکه نمونه، به بررسی پایداری زاویه‌ای و دینامیکی ولتاژ در صورت وقوع اتصال کوتاه، قطع خط، و پایداری استاتیکی ولتاژ با استفاده از نرم افزار Dig SILENT PowerFactory 14.0 می‌پردازیم.

کلمات کلیدی

مدلسازی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای – پایداری زاویه‌ای و ولتاژ – DFIG – نیروگاه سیاه بیشه

فهرست مطالب

1.....	فصل اول
1.....	مقدمه
2.....	1-1- معرفی کار حاضر.....
2.....	1-2- مروری بر مطالعات انجام شده
4.....	1-3- محتوای پایان نامه
6.....	فصل دوم
6.....	نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در شبکه قدرت 1-2- تاریخچه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای [27]، [43].....
7.....	1-2-1- تاریخچه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای [27]، [43].....
8.....	2-2- علل استفاده از نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای
9.....	2-3- انواع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای [44]، [53]، [43].....
11.....	2-4-2- نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سیاه‌بیشه [53]، [46].....
۱۲.....	2-4-2-1- مشخصات الکتریکی نیروگاه سیاه‌بیشه [53]، [35].....
13.....	2-5- نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر [44]، [27].....
15.....	2-5-1- نمونه‌های نصب شده [44]، [4].....
15.....	2-6-2- نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای و پایداری سیستم قدرت [1]، [49].....
۱۶.....	2-6-2-1- تعریف پایداری در سیستم قدرت
۱۶.....	2-6-2-2- طبقه‌بندی انواع پایداری در سیستم قدرت
۱۷.....	2-6-2-2-1- پایداری زاویه‌های رتور
۱۸.....	2-6-2-2-2- پایداری ولتاژ
۱۹.....	2-6-2-2-2-1- انواع ناپایداری ولتاژ
۲۰.....	2-6-2-2-2-2- فروپاشی ولتاژ
۲۰.....	2-6-2-2-2-3- امنیت ولتاژ
20.....	2-7- جمع‌بندی
21.....	فصل سوم
21.....	تجهیزات نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای.....
22.....	3-1- مقدمه
22.....	3-2- ژنراتور DFIG [25]، [29]، [36]، [37].....
۲۳.....	3-2-1- معادلات الکتریکی
۲۶.....	3-2-2- معادله مکانیکی
۲۶.....	3-2-3- مدل‌های مرتبه پائینتر ماشین DFIG
۲۶.....	3-2-3-1- مدل مرتبه پنجم

۲۷	..... 2-3-2-3- مدل مرتبه سوم
۲۹	..... 1-2-3-2-3- مولفه‌های قطبی
۲۹	..... 2-2-3-2-3- مدل مرتبه سوم بر حسب جریان رتور
۳۰	..... 3-3-2-3- مدل مرتبه اول
۳۱	..... 4-2-3- پیاده‌سازی کنترلر DFIG
۳۲	..... 1-4-2-3- معادلات ماشین DFIG در مرجع ولتاژ استاتور
۳۳	..... 5-2-3- مبدل کنترل توان DFIG
۳۴	..... 1-5-2-3- مدلسازی مبدل ماشین DFIG [14],[38]
۳۵	..... 2-5-2-3- کنترل مبدل سمت رتور
۳۵	..... 3-5-2-3- کنترل مبدل سمت شبکه (GSC) [29]
37	..... 3-3 ژنراتور سنکرون [36]
۳۸	..... 1-3-3- سیستم تحریک
۳۸	..... 1-1-3-3- انواع سیستم تحریک [1],[49]
۴۱	..... 2-1-3-3- اجزای سیستم تحریک
۴۳	..... 1-2-1-3-3- انواع تنظیم کننده‌های ولتاژ
۴۴	..... 2-3-3- مدلسازی سیستم تحریک نیروگاه سیاه بیشه [35]
۴۴	..... 1-2-3-3- واحد اندازه‌گیری
۴۴	..... 2-2-3-3- مبدل و منبع تغذیه
۴۵	..... 3-2-3-3- تنظیم کننده خودکار ولتاژ (AVR)
۴۶	..... 3-3-3- پایدارساز سیستم قدرت (Power System Stabilizer) [54],[35]
۴۷	..... 4-3-3- سیستم‌های گاورنر و توربین‌های آبی [1],[2],[32],[33],[34],[53]
۴۸	..... 1-4-3-3- مدلسازی توربین آبی
۴۸	..... 1-1-4-3-3- مدل افت ارتفاع ناشی از اصطکاک مسیر آبراهه
۴۹	..... 2-1-4-3-3- مدل آبراهه (Penstock)
۴۹	..... 3-1-4-3-3- مدل دریچه
۵۰	..... 4-1-4-3-3- مدل توربین
۵۰	..... 2-4-3-3- مدل گاورنر
۵۳	..... 1-1-2-4-3-3- المان حس گر
۵۳	..... 2-1-2-4-3-3- کنترل کننده
۵۸	..... 3-2-2-4-3-3- سیستم تقویت کننده هیدرولیک
58	..... 4-3- جمع بندی
59	..... فصل چهارم
59	..... تحلیل پایداری نیروگاه تلمبه ذخیره‌های
60	..... 1-4- مقدمه
60	..... 2-4- شبکه مورد مطالعه
62	..... 3-4- پایداری گذرا [1],[49]

۶۲	..... 1-3-4- نتایج شبیه سازی پایداری گذرا
۶۳	..... 1-1-3-4- خطای نزدیک ژنراتور گازی
۶۴	..... 2-1-3-4- خطای نزدیک نیروگاه تلمبه ذخیره‌های
66	..... 4-4- پایداری ولتاژ [2]،[49]،[55]
۶۷	..... 1-4-4- تقسیم بندی روشهای ارزیابی پایداری ولتاژ
۶۷	..... 1-1-4-4- ارزیابی دینامیکی
۶۸	..... 1-1-1-4-4- نتایج شبیه سازی ارزیابی دینامیکی پایداری ولتاژ
۷۱	..... 2-1-4-4- ارزیابی استاتیکی ولتاژ
۷۲	..... 1-2-1-4-4- منحنیهای P-V و Q-V
۷۳	..... 2-2-1-4-4- حد بار گذاری و حاشیه پایداری ولتاژ شبکه
۷۴	..... 3-2-1-4-4- نتایج شبیه سازی ارزیابی استاتیکی پایداری ولتاژ
78	..... 5-4- جمع بندی
79	..... فصل پنجم
79	..... نتیجه گیری و پیشنهادات
80	..... 1-5- نتیجه گیری
81	..... 2-5- پیشنهادات
83	..... پیوست مطالب
83	..... پیوست الف : دیاگرام هیل نیروگاه تلمبه ذخیره‌های سیاه بیشه [51]
84	..... پیوست ب : مشخصات جزئی ژنراتور سنکرون و DFIG مورد استفاده در نیروگاه تلمبه ذخیره‌های
85	..... پیوست پ : بلوک دیاگرام مدل تجهیزات مختلف در نرم افزار Dig SILENT 14.0
87	..... پیوست ت : آشنایی با نرم افزار Dig SILENT Power Factory
93	..... پیوست ج : DPL های نوشته شده برای رسم منحنیهای P-V و Q-V
99	..... مراجع و مآخذ

فهرست شکل

فصل دوم

- 7 شکل (1-2): ظرفیت کل نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و هسته‌ای در بین سال‌های 1957-2001
- 13 شکل (2-2): امکان جابجائی نقاط بهینه با تغییر سرعت
- 14 شکل (3-2): اصلاح راندمان نسبی با استفاده از تغییر سرعت

فصل سوم

- 23 شکل (1-3): توپولوژی و نحوه اتصال مبدل الکترونیک قدرت DFIG به شبکه
- 25 شکل (2-3): مدار معادل محورهای dqo ماشین DFIG
- 32 شکل (3-3): رابطه بین مولفه‌های قاب مرجع با سرعت دلخواه و مرجع ولتاژ استاتور
- 33 شکل (4-3): مبدل AC-AC مستقیم
- 34 شکل (5-3): مبدل AC-AC غیر مستقیم
- 35 شکل (6-3): رابطه نسبت ولتاژ AC به DC و ضریب مدولاسیون
- 35 شکل (7-3): طرح کنترلی مبدل سمت رتور ژنراتور DFIG
- 36 شکل (8-3): نحوه اتصال مبدل سمت شبکه
- 37 شکل (9-3): طرح کنترلی مبدل سمت شبکه ژنراتور DFIG
- 42 شکل (10-3): بلوک دیاگرام سیستم کنترل تحریک ژنراتور سنکرون
- 44 شکل (11-3): نمایش قسمت‌های مختلف سیستم تحریک SEMIPOL
- 44 شکل (12-3): مدل واحد اندازه گیری
- 44 شکل (13-3): مدل مبدل و منبع تغذیه
- 45 شکل (14-3): مدل کنترلر D تنظیم کننده ولتاژ
- 46 شکل (15-3): بلوک دیاگرام AVR
- 46 شکل (16-3): ساختار کلی پایدارساز سیستم قدرت
- 47 شکل (17-3): بلوک دیاگرام PSS2A
- 52 شکل (18-3): بلوک دیاگرام گاورنر و توربین
- 53 شکل (19-3): حسگر سرعت مکانیکی
- 54 شکل (20-3): گاورنر مکانیکی ساده
- 55 شکل (21-3): گاورنر مکانیکی دارای دروپ

- 55 شکل (3-22): گاورنر مکانیکی دارای دروپ دائم و موقت
- 56 شکل (3-23): بلوک دیاگرام گاورنر هیدرومکانیکی
- 56 شکل (3-24): گاورنر آنالوگ
- فصل چهارم**
- 60 شکل (4-1): دیاگرام تک خطی شبکه نمونه
- شکل (4-2): محدوده مجاز ولتاژ برای نقطه اتصال ژنراتور به شبکه در اتصال کوتاه نزدیک آن در قوانین شبکه
- 61 انتقال Vattenfall اروپا
- 62 شکل (4-3): سرعت رتور ژنراتور گازی
- 63 شکل (4-4): زاویه رتور ژنراتور گازی
- 63 شکل (4-5): سرعت رتور نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای
- 64 شکل (4-6): توان اکتیو انتقالی از باس 1
- 64 شکل (4-7): توان راکتیو انتقالی از باس 1
- 67 شکل (4-8): نمودار زمان رفع خطای بحرانی با ضریب توان 1 برای دو حالت سرعت ثابت و متغیر
- 68 شکل (4-9): نمودار زمان رفع خطای بحرانی با ضریب توان 0/9 برای دو حالت سرعت ثابت و متغیر
- 68 شکل (4-10): نمودار زمان رفع خطای بحرانی با ضریب توان 0/8 برای دو حالت سرعت ثابت و متغیر
- 68 شکل (4-11): نمودار زمان رفع خطای بحرانی با ضریب توان 0/7 برای دو حالت سرعت ثابت و متغیر
- 69 شکل (4-12): اندازه ولتاژ باس 1
- 69 شکل (4-13): توان اکتیو انتقالی از باس 1
- 70 شکل (4-14): توان راکتیو انتقالی از باس
- 71 شکل (4-15): منحنی P-V یک شین نمونه برای ضریب توان‌های مختلف
- 72 شکل (4-16): منحنی P-V یک شین نمونه برای توان‌های اکتیو مختلف
- 73 شکل (4-17): نمایش حد بار گذاری و حاشیه پایداری یک شین نمونه با استفاده از منحنی P-V
- 74 شکل (4-18): منحنی P-V شین‌های 3، 4 و 5 از شبکه نمونه
- 75 شکل (4-19): منحنی Q-V شین‌های 3، 4 و 5 از شبکه نمونه

فهرست جداول

فصل دوم

جدول (1-2): مشخصات کلی ماشین سنکرون نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سیاه بیشه 12

جدول (2-2): نمونه‌های نصب شده از واحدهای تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر در کشورهای مختلف دنیا 15

فصل چهارم

جدول (1-4): زمان‌های رفع خطای بحرانی در توان‌های اکتیو و ضریب توان‌های مختلف برای دو حالت سرعت ثابت و متغیر 67

جدول (2-4): حاشیه پایداری و حد بارگذاری شین‌های 3، 4 و 5 از شبکه نمونه برای دو حالت سرعت ثابت و متغیر 75

فهرست علائم و اختصارات

علامت اختصاری

عنوان

\bar{v}_s	بردار ولتاژ استاتور
\bar{v}_r	بردار ولتاژ رتور
\bar{i}_s	بردار جریان استاتور
\bar{i}_r	بردار جریان رتور
L_{ls}	اندوکتانس نشتی استاتور
L_{lr}	اندوکتانس نشتی رتور
L_s	اندوکتانس استاتور (اندوکتانس خودی استاتور)
L_r	اندوکتانس رتور (اندوکتانس خودی رتور)
L_m	اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی (اندوکتانس متقابل)
R_s	مقاومت استاتور
R_r	مقاومت رتور
$\bar{\phi}_s$	بردار شار استاتور
$\bar{\phi}_r$	بردار شار رتور
θ_b	زاویه مرجع دلخواه
ω_b	سرعت مرجع دلخواه
θ_{er}	زاویه الکتریکی رتور
ω_{er}	سرعت الکتریکی رتور
ω_{rm}	سرعت مکانیکی رتور
P_s	توان اکتیو استاتور
Q_s	توان راکتیو استاتور

P_r	توان اکتیو رتور
Q_r	توان راکتیو رتور
T_m	گشتاور مکانیکی رتور
T_e	گشتاور الکتریکی رتور
J	اینرسی رتور
p	تعداد جفت قطب‌های ماشین
T_{ag}	ثابت زمانی شتاب گیری
s_n	لغزش نامی
ω	فرکانس الکتریکی نامی شبکه
P_{mn}	توان مکانیکی نامی
X_s	راکتانس استاتور
X_r	راکتانس رتور
X_m	راکتانس مغناطیس کنندگی
$\bar{\psi}_s$	بردار شار دور استاتور
$\bar{\psi}_r$	بردار شار دور رتور
X'	راکتانس گذرای استاتور
E'	منبع ولتاژ پشت امپدانس گذرای استاتور
T_o	ثابت زمانی گذرای مدار باز
U_{DC}	ولتاژ لینک dc
P_m	اندیس مدولاسیون

v_f	ولتاژ تحریک
H	ثابت زمانی اینرسی
K_{As}	گین مبذل
T_{As}	ثابت زمانی مبذل
U_s	ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور مبذل
U_{fg}	ولتاژ میدان فاصله هوایی ماشین
h_l	افت ارتفاع ناشی از اصطکاک مسیر آبراهه
f	ضریب اصطکاک مسیر
L	طول مسیر
A	سطح مقطع آبراهه
q	جریان دبی آب
β	ضریب دمپینگ توربین
g	شتاب جاذبه
h_s	ارتفاع ستون آب
h	ارتفاع مکش توربین
T_w	ثابت زمانی آب
\bar{G}	موقعیت دریچه
A_t	گین توربین
\bar{q}_{nl}	دبی بی‌باری

فصل اول

مقدمه

1-1- معرفی کار حاضر

هدف اصلی این پایان نامه بررسی و مقایسه پایداری نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در دو حالت سرعت ثابت (استفاده از ژنراتور سنکرون) و سرعت متغیر (استفاده از DFIG) است. تجهیزات این نیروگاه‌ها با توجه به نوع عملکرد سرعت ثابت یا متغیر آنها متفاوت می‌باشد. اگر از ژنراتور سنکرون در این نیروگاه استفاده گردد تجهیزات مانند سیستم تحریک، پایدار ساز سیستم قدرت و سیستم توربین - گاورنر در آن به کار می‌رود در حالی که در صورت استفاده از DFIG نیازی به سیستم تحریک و پایدار ساز سیستم قدرت نیست و به جای آن باید از یک مبدل الکترونیک قدرت برای تغذیه رتور آن استفاده گردد. در شبیه سازی انجام شده در این پایان نامه از مشخصات نیروگاه سیاه بیشه برای حالت سرعت ثابت استفاده شده است. نیروگاه سیاه بیشه دارای 4 ژنراتور سنکرون با ظرفیت 300 MVA است و با سرعت سنکرون 500 rpm می‌چرخند که ضریب توان آنها در حالت ژنراتوری 0/9 و در حالت موتوری 0/95 می‌باشد. سیستم تحریک این نیروگاه از نوع SEMIPOL می‌باشد که توسط شرکت ALSTOM ساخته شده است. پایدار ساز سیستم قدرت آن را می‌توان با مدل PSS2A در استاندارد IEEE مدلسازی کرد. گاورنر این نیروگاه از نوع دیجیتالی و توربین آن از نوع فرانسوی است که با توجه به معادلات حاکم بر آنها مدلسازی می‌شوند. برای شبیه‌سازی عملکرد حالت سرعت متغیر، از یک ژنراتور القایی دو تغذیه (DFIG) با توان مشابه ژنراتور سنکرون نیروگاه سیاه بیشه استفاده می‌شود. استاتور این ژنراتور مستقیماً به شبکه متصل است در حالی که رتور آن از طریق یک مبدل الکترونیک قدرت به شبکه وصل می‌گردد. سیستم کنترلی این ژنراتور طوری طراحی می‌شود که می‌تواند با کنترل اندازه و فاز ولتاژ رتور، توان اکتیو و راکتیو انتقالی از سمت استاتور را کنترل کرد. این روش کنترلی با استفاده از معادلات حاکم بر DFIG بدست می‌آید.

پس از مدلسازی مناسب هر یک از تجهیزات ذکر شده در دو حالت سرعت ثابت و متغیر، این نیروگاه به یک شبکه واقعی وصل شده و به بررسی و مقایسه پایداری زاویه‌ای و ولتاژ، در این دو حالت عملکردی پرداخته می‌شود.

1-2- مروری بر مطالعات انجام شده

مطالعاتی که تاکنون برای بررسی پایداری نیروگاه‌های مجهز به DFIG انجام شده است اکثراً مربوط به نیروگاه‌های بادی می‌باشد. با توجه به ساختار نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و تجهیزات متفاوتی که در آنها به کار می‌رود، مسلماً پاسخ دینامیکی و تأثیر این نوع نیروگاه‌ها بر پایداری شبکه متفاوت خواهد بود. البته مقالاتی نیز به بررسی رفتار دینامیکی DFIG در نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و مقایسه آن با ژنراتور سنکرون پرداخته است، اما به موضوع پایداری شبکه مخصوصاً پایداری ولتاژ در آنها هیچ اشاره‌ای نشده است. در ادامه به معرفی و توضیح اجمالی هر یک از این مطالعات پرداخته می‌شود.

[3] به مقایسه حاشیه پایداری گذرا شبکه با حضور نیروگاه بادی در دو حالت سرعت متغیر با ژنراتور DFIG و سرعت ثابت با ژنراتور القایی قفس سنجابی می‌پردازد. رتور ژنراتور DFIG در این مقاله به دو صورت منبع ولتاژ و منبع جریان کنترل می‌شود و اثبات می‌شود که پایداری گذرای ژنراتور قفس سنجابی به علت مصرف توان راکتیو نسبت به DFIG بسیار کمتر است.

مقاله [7] پایداری ژنراتور DFIG و سنکرون را با استفاده از تحلیل مُدال، منحنی‌های P-V و شبیه‌سازی حوزه زمان مورد بررسی قرار می‌دهد.

در [8] تاثیر ژنراتور بادی سرعت ثابت و سرعت متغیر بر پایداری ولتاژ مورد بررسی قرار می‌گیرد. ژنراتور سرعت ثابت یک ژنراتور القایی و ژنراتور سرعت متغیر از دو نوع DFIG و سنکرون با SFC است. این مطالعه شامل بررسی منحنی‌های P-V، حد بار گذاری و حاشیه پایداری تا فروپاشی ولتاژ می‌باشد و در دو حالت نرمال و قطع خط در شبکه صورت می‌پذیرد.

مقاله [9] تاثیر سه نوع ژنراتور بادی (ژنراتور القایی - DFIG و سنکرون دارای SFC) را بر پایداری ژنراتورهای دیگر شبکه که از نوع سنکرون هستند، مورد بررسی قرار می‌دهد و نشان می‌دهد که حد پایداری ژنراتور القایی از همه کمتر و برای ژنراتور سنکرون با SFC از DFIG بیشتر است.

در مقاله [10] پایداری گذرای زاویه‌ای و ولتاژ برای نیروگاه بادی در دو حالت اتصال به سطح ولتاژ پائین (شبکه توزیع) و سطح ولتاژ بالا (شبکه انتقال) با استفاده از ژنراتور القایی سرعت ثابت و DFIG مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به افزایش تعداد نیروگاه‌های بادی در شبکه انتقال 220KV در کشور چین، مقاله [11] به تاثیر این نیروگاه‌ها بر پایداری استاتیکی ولتاژ با استفاده از منحنی‌های P-V و Q-V و پایداری دینامیکی ولتاژ با شبیه‌سازی حوزه زمان در دو حالت سرعت ثابت (ژنراتور القایی) و سرعت متغیر (DFIG) پرداخته است.

[12] به مقایسه مشخصه پایداری گذرا بین مزرعه بادی دارای DFIG و ژنراتور سنکرون، با ضریب توان یک پرداخته است. در این مقاله نشان داده شده است که اگر توان DFIG از 12/3% توان کل شبکه بیشتر باشد باعث کاهش پایداری گذرای دیگر ژنراتورهای شبکه می‌گردد، یعنی تاثیر این نیروگاه بر پایداری شبکه به مقدار توانی که توسط آن تامین می‌گردد وابسته است.

مقاله [13] به موضوع پایداری گذرا و تحلیل تاثیر جنبه‌های مختلفی مانند نوع ژنراتور، نقطه اتصال نیروگاه به شبکه، روش کنترلی ژنراتور و سطح ولتاژ اتصال به شبکه برای یک نیروگاه بادی می‌پردازد و نشان می‌دهد که هر یک از این جنبه‌ها تاثیر متفاوتی بر پایداری شبکه خواهند داشت.

[14] به مدلسازی و بررسی رفتار مدل مرتبه سوم DFIG و مقایسه آن با مدل‌های مرتبه پنجم این ژنراتور برای ارزیابی پایداری مزرعه‌های بادی با استفاده از نرم‌افزار Dig SILENT Power Factory پرداخته است.

مقالات زیادی درباره تاثیر نیروگاه بادی مجهز به ژنراتور DFIG، القایی و سنکرون بر پایداری زاویه‌ای و ولتاژ شبکه بحث می‌کند که به تعدادی از آنها در این بخش اشاره شد در حالی که مقالات کمی در مورد نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای مجهز به DFIG در این رابطه وجود دارد. اکثر مقالاتی که در مورد این نیروگاه تاکنون منتشر شده به مدلسازی و بررسی رفتار دینامیکی DFIG در نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای می‌پردازد. در زیر برخی از این مقالات آورده شده است.

مقاله [4] مدل ریاضی سیستم تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر را برای تحلیل و ارزیابی سیستم قدرت بدست می‌آورد. در ابتدای مقاله معادلات ولتاژ تحریک رتور DFIG به دو محور d و q ، برای کنترل توان اکتیو و راکتیو به صورت مجزا تجزیه می‌شود. سپس مدل دینامیکی DFIG با استفاده از معادله نوسان ایجاد می‌گردد و در انتها نتایج شبیه‌سازی حاصل از این مدلسازی با مدل واقعی نیروگاه Ohkawachi ژاپن مقایسه می‌گردد.

عملکرد دینامیکی واحدهای سرعت ثابت و سرعت متغیر در مورد نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای 2×320 MW با یکدیگر در [5] مقایسه می‌شود. مشخصات ژنراتور سنکرون مورد استفاده، یک ژنراتور واقعی دارای PSS است و ژنراتور DFIG با توان یکسانی با ژنراتور سنکرون طراحی می‌گردد. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که ساختار سرعت متغیر، مشخصه پایداری سیستم قدرت را نسبت به هر دو حالت استفاده از ژنراتور سنکرون با و بدون PSS بهبود می‌دهد.

نویسندگان مقاله [6] یک سیستم کنترلی برای نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر طراحی کرده‌اند که ظرف مدت زمان $0/2$ s در حالت ژنراتوری می‌تواند حدود 32 MW و در حالت پمپی حدود 80 MW توان اکتیو به شبکه تزریق یا از آن جذب نماید.

مقاله [15] در ابتدا به طور مختصر، ساختار داخلی ژنراتور DFIG را توصیف کرده و سپس با شبیه‌سازی آن با یک سیکلوکانورتور 12 پالسه، با استفاده از نرم افزار SIMSEN رفتار این ژنراتور را در اثر کاهش 50% ولتاژ روی ترمینال آن، مورد بررسی قرار می‌دهد.

شبیه‌سازی و مدلسازی رفتار نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای Yagisawa در صورت بروز خطای تک فاز به زمین با استفاده از نرم افزار EMTP در مقاله [16] انجام گرفته و نتایج بدست آمده با نتایج عملی ثبت شده، مقایسه شده است.

1-3- محتوای پایان نامه

در فصل دوم از این پروژه، در ابتدا به تاریخچه و انواع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و علل و مزایای استفاده از آن اشاره شده و به معرفی این نیروگاه‌ها در دو نوع سرعت متغیر و ثابت و نمونه‌های نصب شده از نوع سرعت متغیر پرداخته می‌شود. سپس به موقعیت جغرافیایی و نحوه اتصال، نوع، مدت زمان کار و مشخصات الکتریکی نیروگاه سیاه بیشه بیان شده و در انتها نیز به تعریف انواع پایداری در شبکه قدرت به طور مختصر پرداخته خواهد شد.