بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت

بررسی رفتار دینامیکی شبکه توزیع مجهز به مولدهای بادی دوسو تغذیه در حضور DSTATCOM

استاد راهنما:

دکتر امین خدابخشیان

پژوهشگر:

مصطفی عبداللهی

تیرماه ۱۳۹۰

تشکر و قدردانی

حال که به لطف و کرم خدا، این محمل به سر منزل رسیده است با دلی سرشار از خضوع و خشوع و مهر و عشق نسبت به ذات اقدس خداوندی، او را شکر و سپاس می‌گویم که شایستگی تحصیل و پوییدن راه علم و تحقیق را به من عطا فرمود. همچنین بر خود فرض می‌دانم مراتب تقدیر و قدردانی صمیمانه خود را از جناب آقای دکتر امین خدابخشیان به عنوان استاد راهنما تقدیم نمایم که بدون پشتیبانی و مساعدت‌های ایشان طی این طریق بسیار بعید و دشوار می‌نمود.

همچنین از شرکت برق منطقه‌ای استان اصفهان به خاطر حمایتهای مالی از این پروژه کارشناسی ارشد کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم. امید است این حمایتها بتواند هر چه بیشتر، پروژه های در مقطع تحصیلات تکمیلی را در راستای رفع مشکلات صنعت برق یاری نماید.

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم، که سجده ی ایثارشان گل محبت را در وجودم پروراند

همسر عزیزم، که خوشی ها و ناخوشی هایم را با او تقسیم کردم

مرضیه و منور و محمد امین و مرتضی، که همواره رفیق راهم بوده و هستند

میکائیل، اولین نوه خانوادگی که حضورش شوق به زندگی را در وجودم دو چندان نمود

و

تمام پدران و مادران سوخته بر و سوخته دل جنوب ایران زمین

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه اصفهان است.

چکیده

امروزه با افزایش کاربرد مولدهای بادی در سطح شبکه توزیع، تعامل این مولدها با سایر بخش‌های شبکه در هنگام وقوع پدیده‌های مختلف از اهمیت خاصی برخوردار است. این امر سهم عمده‌ای در تعیین رفتار دینامیکی شبکه توزیع دارد. علاوه بر این، حضور تجهیزات جدیدی مانند ادوات FACTS نیز در کنار مولدهای بادی سبب گشته نه تنها مولدها به خودی خود، بلکه تاثیرات متقابل آنها و این ادوات نیز در تعیین رفتار شبکه نقشی اساسی داشته باشند.

لذا در این پایان نامه، جهت بررسی رفتار دینامیکی یک شبکه توزیع مجهز به مولدهای بادی دوسو تغذیه(DFIG) در حضور جبران کننده استاتیکی توزیع(DSTATCOM)، مدل یک شبکه توزیع واقعی در محیط سیمولینک MATLAB شبیه سازی شده و سناریوهای متعددی جهت ارزیابی در نظر گرفته شده اند. سناریوها به گونه‌ای اعمال شده اند که جنبه های مختلف رفتار شبکه توزیع را تحت پوشش قرار دهد. این سناریوها شامل تغییرات بار، وقوع خطای اتصال کوتاه سه فاز و حالت جزیره ای هستند که برای دو حالت کلی عملکرد شبکه توزیع، شامل حالت اتصال به سیستم قدرت سراسری و حالت مستقل از سیستم قدرت سراسری مورد بررسی قرار گرفته اند. از سویی دیگر دو استراتژی کنترلی برای DSTATCOM شامل کنترل لتاژ و کنترل توان راکتیو (ضریب توان)، در تمام سناریوها مورد ارزیابی قرار گرفته اند تا مشخص شود رفتار سیستم چگونه از این تفاوت اهداف کنترلی تاثیر پذیر خواهد بود. جهت تنظیم هماهنگ کنترل کننده-های مولد بادی DFIG و DSTATCOM از الگوریتم تجمعی ذرات (PSO) استفاده شده است تا ضرایب کنترل کننده‌ها به طور بهینه انتخاب گردند. در نهایت نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که حضورDSTATCOM در شبکه توزیع دارای مولدهای بادی DFIG می‌تواند عملکرد این شبکه را در طی رخدادها و حالات عملکرد مختلف بهبود دهد.

واژگان کلیدی: رفتار دینامیکی شبکه توزیع، مولدهای بادیDFIG، جبران کننده استاتیکی توزیع، الگوریتمPSO

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- اهمیت بررسی رفتار دینامیکی سیستم های توزیع متصل به توربین های بادی در حضور FACTS..... ۱

۱-۲- بخش‌های مطالعاتی انجام گرفته در این پایان‌نامه ۴

فصل دوم : مروری بر مطالعات تجزیه و تحلیل رفتار دینامیکی سیستم قدرت و شبکه توزیع در حضور نیروگاه‌های بادی و ادوات FACTS

۲-۱- مقدمه..... ۶

۲-۲- کاربرد همزمان مولدهای بادی و ادوات FACTS ۷

فصل سوم : مدل سازی سیستم

۳-۱- کنترل، عملکرد و اتصال به شبکه یک توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دو سو تغذیه..... ۱۳

۳-۲- مدل سازی یک توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دو سو تغذیه ۱۷

۳-۲-۱- مدل آئیرودینامیکی توربین بادی..... ۱۷

۳-۲-۲- مدل محور(شافت) مکانیکی..... ۱۹

۳-۲-۲-۱- طراحی کنترل کننده سرعت ۲۱

۳-۲-۳- مدل ژنراتور القایی دو سو تغذیه (DFIG)..... ۲۲

۳-۲-۴- مدل کنترل کننده های DFIG..... ۲۴

۳-۲-۴-۱- کنترل کننده مبدل‌های سمت روتور ۲۵

۳-۲-۴-۲- کنترل کننده سرعت روتور..... ۲۷

۳-۲-۴-۳- کنترل کننده مبدل‌های سمت استاتور ۲۷

۳-۲-۴-۴- کنترل کننده زاویه عرضی پره‌ها ۲۸

۳-۳- مدل سازی جبران ساز استاتیکی توزیع (DSTATCOM)..... ۲۹

۳-۳-۱- مدل سازی ساختار DSTATCOM..... ۳۰

۳-۳-۲- مدل سازی کنترل کننده های DSTATCOM ۳۱

۳-۳-۲-۱- اصول کنترل DSTATCOM..... ۳۲

۳-۳-۲-۲- DSTATCOM به عنوان کنترل کننده ولتاژ ۳۵

عنوان **صفحه**

۳-۳-۲-۳- DSTATCOM به عنوان کنترل کننده ضریب توان ۳۷

فصل چهارم : طراحی کنترل کننده‌ها به کمک الگوریتم PSO

۴-۱- مقدمه ۳۹

۴-۲- مزیت های PSO در مقایسه با سایر الگوریتم های جستجو و روش های بهینه سازی سنتی ۴۰

۴-۳- الگوریتم تجمعی ذرات (PSO) ۴۱

۴-۴- تنظیم ضرایب کنترل کننده ها به کمک PSO ۴۴

فصل پنجم: سیستم نمونه مورد مطالعه و نتایج شبیه سازی

۵-۱- شبکه توزیع مورد مطالعه ۵۱

۵-۱-۱- عملکرد شبکه ۵۳

۵-۱-۲- جایابی موقعیت DSTATCOM ۵۶

۵-۱-۳- ظرفیت DSTATCOM ۵۷

۵-۲- مطالعات و نتایج شبیه سازی ۵۹

۵-۳- شبکه متصل به سیستم قدرت خارجی قوی ۶۰

۵-۳-۱- سناریو (۱)- تغییرات بار ۶۱

۵-۳-۲- سناریو (۲)- وقوع خطای اتصال کوتاه سه فاز ۷۶

۵-۳-۳- سناریو (۳)- وقوع حالت جزیره‌ای ۹۰

۵-۳-۴- سناریوهای (۴) و (۵)- بررسی در حضور منابع تولید پراکنده ترکیبی ۱۱۱

۵-۴- شبکه توزیع مستقل از سیستم قدرت سراسری ۱۲۱

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ادامه کار

۶-۱- نتیجه گیری ۱۲۸

۶-۲- پیشنهادات ادامه کار ۱۳۳

پیوست ها

پیوست الف (مشخصات هر واحد از مولدهای بادی DFIG) ۱۳۴
پیوست ب (مشخصات DSTATCOM) ۱۳۵
پیوست ج (پارامترهای PSO) ۱۳۵
پیوست د (مشخصات دیزل ژنراتورهای ۳ و ۹ مگاولت آمپر) ۱۳۶

منابع و مآخذ ۱۳۸

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل (۳-۱) : ساختار یک مولد بادی مجهز به DFIG ۱۴
شکل (۳-۲) : یک نمونه دستورالعمل عملکرد مولدهای بادی در طول وقع خطا یا افت ولتاژ شبکه ۱۶
شکل (۳-۳) : منحنی های مشخصه $C_p -\lambda-\beta$ برای یک توربین بادی ۱/۵ مگاوات شرکت GE..... ۱۸
شکل (۳-۴): مدل های سه، دو و تک جرمی محور مکانیکی ۲۰
شکل (۳-۵) : مدل سیستم مکانیکی شافت ۲۱
شکل (۳-۶) : ساختار کنترلی یک مولد بادی DFIG ۲۴
شکل (۳-۷) : ساختار کلی کنترل کننده برداری مبدل‌های سمت روتور (RSC) ۲۶
شکل (۳-۸) : کنترل کننده سرعت نوع PI مجهز به سیستم ضدقفل شوندگی..... ۲۷
شکل (۳-۹) : ساختار کلی کنترل کننده برداری مبدل‌های سمت شبکه (GSC)..... ۲۸
شکل (۳-۱۰) : کنترل کننده زاویه عرضی پره های توربین بادی DFIG..... ۲۸
شکل (۳-۱۱) : مدل DSTATCOM مورد نظر در سیستم سه فاز ۲۹
شکل (۳-۱۲) : رایج‌ترین مدل DSTATCOM ۳۰
شکل (۳-۱۳) : سیستم کنترلی DSTATCOM های مدرن ۳۳
شکل (۳-۱۴): روش‌های کنترل جریان مبدل منبع ولتاژی DSTATCOM..... ۳۴
شکل (۳-۱۵) : روش رایج کنترل مستقیم DSTATCOM در مود جریانی..... ۳۵
شکل (۳-۱۶) : کنترل کننده ولتاژ DSTATCOM ۳۶
شکل (۳-۱۷) : کنترل کننده ضریب توان (توان راکتیو) DSTATCOM ۳۸
شکل (۴-۱) : به روز شدن سرعت و موقعیت یک ذره..... ۴۳
شکل (۴-۲) : نحوه عملکرد الگوریتم PSO ۴۴
شکل (۴-۳) : فلوچارت تعیین ضرایب کنترل کننده ها و بهینه سازی به کمک PSO ۴۸
شکل (۵-۱) : مدل تک خطی سیستم مورد مطالعه ۵۲
شکل (۵-۲) : مدل تک خطی سیستم در سناریوی (۱) ۶۱
شکل (۵-۳) : ولتاژ باس(۲) در محل اتصال بار سوم - سناریوی (۱)..... ۶۲
شکل (۵-۴) : جریان باس(۲) در محل اتصال بار سوم - سناریوی (۱) ۶۲

عنوان **صفحه**

شکل (۵- ۵) : توان‌های اکتیو مولدها و باس اصلی در غیاب DSTATCOM - سناریوی (۱)..... ۶۴
شکل (۵-۶) : توان‌های اکتیومولدها و باس اصلی در مد کنترل ولتاژ DSTATCOM- سناریوی(۱)..... ۶۴
شکل (۵-۷) : توان‌های‌اکتیومولدهاوباس‌اصلی‌درمدکنترل‌توان‌راکتیو DSTATCOM- سناریوی(۱) ۶۴
شکل (۵-۸) : توان‌های راکتیو مولدها و باس اصلی در غیاب DSTATCOM - سناریوی (۱) ۶۵
شکل (۵- ۹) : توان‌های راکتیومولدها و باس اصلی در مدکنترل ولتاژ DSTATCOM- سناریوی(۱) ۶۵
شکل (۵- ۱۰) : توان‌های‌اکتیومولدهاوباس‌اصلی‌درمدکنترل‌توان‌راکتیو DSTATCOM- سناریوی(۱) ۶۵
شکل (۵- ۱۱) : ولتاژ فاز A مولدبادی اول - سناریوی (۱)..... ۶۶
شکل (۵- ۱۲) : توان اکتیو مولدبادی اول - سناریوی (۱)..... ۶۷
شکل (۵- ۱۳) : توان راکتیو مولدبادی اول - سناریوی (۱) ۶۷
شکل (۵- ۱۴) : سرعت روتور مولدبادی اول - سناریوی (۱)..... ۶۷
شکل (۵- ۱۵) : ولتاژ فاز A باس اصلی توزیع - سناریوی (۱) ۶۹
شکل (۵- ۱۶) : ولتاژ فاز A باس DSTATCOM - سناریوی (۱)..... ۶۹
شکل (۵- ۱۷) : جریان فاز A باس DSTATCOM - سناریوی (۱) ۷۰
شکل (۵- ۱۸) : توان راکتیو تبادلی DSTATCOM با شبکه - سناریوی (۱) ۷۰
شکل (۵- ۱۹) : ولتاژ فاز A مولدبادی دوم - سناریوی (۱) ۷۲
شکل (۵- ۲۰) : جریان فاز A مولدبادی دوم - سناریوی (۱) ۷۲
شکل (۵- ۲۱) : توان راکتیو مولدبادی دوم - سناریوی (۱)..... ۷۳
شکل (۵- ۲۲) : توان راکتیو مولدبادی دوم - سناریوی (۱)..... ۷۳
شکل (۵- ۲۳) : سرعت روتور مولدبادی دوم - سناریوی (۱) ۷۴
شکل (۵- ۲۴) : مدل تک خطی سیستم در سناریوی (۲) وقوع خطای اتصال کوتاه سه فاز ۷۶
شکل (۵- ۲۵) : ولتاژ فاز A مولدبادی اول- سناریوی (۲)..... ۷۷
شکل (۵- ۲۶) : جریان فاز A مولدبادی اول- سناریوی (۲)..... ۷۹
شکل (۵- ۲۷) : بزرگنمایی شده‌ی شکل(۵-۲۷) ۷۹
شکل (۵- ۲۸) : توان راکتیو مولدبادی اول- سناریوی (۲) ۷۹
شکل (۵- ۲۹) : ولتاژ خازنDC مولدبادی اول- سناریوی (۲) ۸۰
شکل (۵- ۳۰) : توان اکتیو مولدبادی اول- سناریوی (۲) ۸۲

عنوان **صفحه**

شکل (۵- ۳۱) : سرعت روتور مولدبادی اول- سناریوی (۲)..... ۸۲
شکل (۵- ۳۲) : ولتاژ باس شبکه خارجی- سناریوی (۲)..... ۸۲
شکل (۵- ۳۳) : جریان باس شبکه خارجی- سناریوی (۲)..... ۸۳
شکل (۵- ۳۴) : ولتاژ فاز A مولدبادی دوم- سناریوی (۲) ۸۴
شکل (۵- ۳۵) : توان راکتیو DSTATCOM - سناریوی (۲)..... ۸۴
شکل (۵- ۳۶) : ولتاژ فاز A باس DSTATCOM - سناریوی (۲)..... ۸۵
شکل (۵- ۳۷) : جریان فاز A باس DSTATCOM - سناریوی (۲)..... ۸۶
شکل (۵- ۳۸) : بزرگنمایی شده‌ی ولتاژ مولد بادی دوم در شکل(۵-۳۵)..... ۸۷
شکل (۵- ۳۹) : توان اکتیو مولد بادی دوم- سناریوی (۲) ۸۷
شکل (۵- ۴۰) : توان راکتیو مولد بادی دوم- سناریوی (۲)..... ۸۸
شکل (۵- ۴۱) : سرعت روتور مولد بادی دوم- سناریوی (۲) ۸۸
شکل (۵- ۴۲) : ولتاژ خازن DC ارتباطی مبدل‌ها در مولد بادی دوم- سناریو(۲) ۸۹
شکل (۵- ۴۳) : مدل تک خطی سیستم در سناریوی (۳) وقوع حالت جزیره‌ای ۹۱
شکل (۵- ۴۴) : ولتاژ فاز A مولد بادی اول- سناریوی (۳)..... ۹۳
شکل (۵- ۴۵) : جریان فاز A مولد بادی اول- سناریوی (۳)..... ۹۳
شکل (۵- ۴۶) : توان اکتیو مولد بادی اول- سناریوی (۳)..... ۹۳
شکل (۵- ۴۷) : توان راکتیو مولد بادی اول- سناریوی (۳) ۹۴
شکل (۵- ۴۸) : سرعت روتور مولد بادی اول- سناریوی (۳)..... ۹۴
شکل (۵- ۴۹) : ولتاژ خازن DC مبدل های مولد بادی اول - سناریوی (۳)..... ۹۴
شکل (۵- ۵۰) : ولتاژ فاز A سیستم قدرت اصلی(شبکه خارجی)- سناریوی (۳) ۹۵
شکل (۵- ۵۱) : جریان فاز A سیستم قدرت اصلی(شبکه خارجی)- سناریوی (۳) ۹۶
شکل (۵- ۵۲) : جریان فاز A باس سوم - سناریوی (۳) ۹۶
شکل (۵- ۵۳) : بزرگنمایی شده‌ی شکل(۵-۴۵)- جزئیات جزیره‌ی تشکیل شده ۹۷
شکل (۵- ۵۴) : ولتاژ فاز A مولد بادی دوم- سناریوی (۳) ۹۹
شکل (۵- ۵۵) : جریان فاز A مولد بادی دوم- سناریوی (۳) ۹۹
شکل (۵- ۵۶) : توان اکتیو مولد بادی دوم- سناریوی (۳) ۹۹

عنوان **صفحه**

شکل (۵- ۵۷) : توان راکتیو مولد بادی دوم- سناریوی (۳) ۱۰۰
شکل (۵- ۵۸) : سرعت روتور مولد بادی دوم- سناریوی (۳) ۱۰۰
شکل (۵- ۵۹) : ولتاژ خازن DC مولد بادی دوم- سناریوی (۳) ۱۰۰
شکل (۵- ۶۰) : ولتاژ فاز A مولد بادی دوم- بزرگنمایی شکل(۵-۵۶) ۱۰۱
شکل (۵- ۶۱) : توان راکتیو مولد بادی دوم- بزرگنمایی شکل(۵-۵۹) ۱۰۱
شکل (۵- ۶۲) : توان اکتیو مولد بادی دوم- بزرگنمایی شکل(۵-۵۸) ۱۰۱
شکل (۵- ۶۳) : سرعت روتور مولد بادی دوم- بزرگنمایی شکل(۵-۶۰) ۱۰۲
شکل (۵- ۶۴) : ولتاژ خازن DC مولد بادی- بزرگنمایی شکل(۵-۶۱) ۱۰۲
شکل (۵- ۶۵) : ولتاژ فاز A در DSTATCOM - سناریوی (۳) ۱۰۴
شکل (۵- ۶۶) : توان راکتیو DSTATCOM - سناریوی (۳) ۱۰۵
شکل (۵- ۶۷) : جریان فاز A در DSTATCOM - سناریوی (۳) ۱۰۵
شکل (۵- ۶۸) : ولتاژ DSTATCOM در لحظات اولیه - بزرگنمایی شکل(۵-۶۷) ۱۰۶
شکل (۵- ۶۹) : توان راکتیو DSTATCOM در لحظات اولیه - بزرگنمایی شکل(۵-۶۸) ۱۰۶
شکل (۵- ۷۰) : سرعت روتورمولد دوم- سناریوی (۳) ۱۰۹
شکل (۵- ۷۱) : مدل تک خطی سیستم در سناریوهای (۴) و (۵) ۱۱۱
شکل (۵- ۷۲) : ولتاژ مولد بادی دوم- سناریوی (۴) ۱۱۲
شکل (۵- ۷۳) : توان اکتیو مولد بادی دوم- سناریوی (۴) ۱۱۲
شکل (۵- ۷۴) : توان راکتیو مولد بادی دوم- سناریوی (۴) ۱۱۳
شکل (۵- ۷۵) : سرعت روتور مولد بادی دوم- سناریوی (۴) ۱۱۳
شکل (۵- ۷۶) : ولتاژ ترمینال دیزل ژنراتور- سناریوی (۴) ۱۱۳
شکل (۵- ۷۷) : توان الکتریکی خروجی دیزل ژنراتور- سناریوی(۴) ۱۱۴
شکل (۵- ۷۸) : توان اکتیو دیزل ژنراتور- سناریوی(۴) – در غیاب بار غیر خطی ۱۱۴
شکل (۵- ۷۹) : توان راکتیو دیزل ژنراتور- سناریوی(۴) – در غیاب بار غیر خطی ۱۱۴
شکل (۵- ۸۰) : سرعت محور دیزل ژنراتور- سناریوی (۴) ۱۱۵
شکل (۵- ۸۱) : ولتاژ مولد بادی دوم- سناریوی(۵) ۱۱۷
شکل (۵- ۸۲) : توان اکتیو مولد بادی دوم- سناریوی (۵) ۱۱۷

عنوان **صفحه**

شکل (۵- ۸۳) : توان راکتیو مولد بادی دوم- سناریوی (۵) ۱۱۷
شکل (۵- ۸۴) : سرعت روتور مولد بادی دوم- سناریوی (۵) ۱۱۸
شکل (۵- ۸۵) : ولتاژ ترمینال دیزل ژنراتور- سناریوی (۵) ۱۱۸
شکل (۵- ۸۶) : توان اکتیو دیزل ژنراتور- سناریوی (۵) ۱۱۸
شکل (۵- ۸۷) : توان اکتیو دیزل ژنراتور- سناریوی (۵) ۱۱۹
شکل (۵- ۸۸) : توان راکتیو دیزل ژنراتور- سناریوی (۵) ۱۱۹
شکل (۵- ۸۹) : مدل تک خطی شبکه توزیع مستقل از سیستم قدرت سراسری ۱۲۱
شکل (۵- ۹۰) : ولتاژ فازA مولد بادی دوم– شبکه مستقل ۱۲۳
شکل (۵- ۹۱) : توان اکتیو مولد بادی دوم– شبکه مستقل ۱۲۳
شکل (۵- ۹۲) : توان راکتیو مولد بادی دوم– شبکه مستقل ۱۲۳
شکل (۵- ۹۳) : سرعت روتور مولد بادی دوم– شبکه مستقل ۱۲۵
شکل (۵- ۹۴) : ولتاژ ترمینال دیزل ژنراتور سنکرون– شبکه مستقل ۱۲۵
شکل (۵- ۹۵) : توان الکتریکی تولیدی دیزل ژنراتور سنکرون– شبکه مستقل ۱۲۵
شکل (۵- ۹۶) : سرعت محور دیزل ژنراتور سنکرون– شبکه مستقل ۱۲۶
شکل (۵- ۹۷) : ولتاژ فازA مولد بادی اول– شبکه مستقل ۱۲۶
شکل (۵- ۹۸) : توان اکتیو مولد بادی اول– شبکه مستقل ۱۲۶
شکل (۵- ۹۹) : توان راکتیو مولد بادی اول– شبکه مستقل ۱۲۷
شکل (۵- ۱۰۰) : سرعت روتور مولد بادی اول– شبکه مستقل ۱۲۷

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول (۴- ۱) : پارامترهای تحت تنظیم توسط PSO ۴۵
جدول (۴- ۲) : پارامترهای کنترلی DSTATCOM در حالت های کاری مختلف شبکه ۵۰
جدول (۴- ۳) : پارامترهای کنترلی DFIG در حالت های کاری مختلف شبکه ۵۰
جدول (۵- ۱) : پارامترهای سیستم مورد مطالعه (شکل(۵-۱)) ۵۳
جدول (۵- ۲) : وضعیت‌های عملکرد DSTATCOM و نماد هرکدام در شکل ها ۶۰
جدول (۵- ۳) : سناریوها در حالت اتصال شبکه به سیستم خارجی ۶۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱ – اهمیت بررسی رفتار دینامیکی سیستم‌های توزیع متصل به توربین‌های بادی در حضور ادوات FACTS

طرح مباحث زیست محیطی و بحران نفتی ناشی از وقایع سیاسی خاورمیانه در سال‌های دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی به همراه تغییراتی در اقتصاد جهانی از یک سو، و از سویی دیگر افزایش بی رویه هزینه های تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی به شیوه های سنتی، دغدغه های عمومی برای سلامت محیط زندگی انسان، دستیابی به تکنولوژی های پیشرفته و پذیرش تغییرات در سیستم قدرت؛ سبب شده است تا زمام داران ملل مختلف و در پیشاپیش آنها متخصصان صنعت برق بیش از پیش به استفاده از انرژی های نو و تجدیدپذیر برای تولید انرژی الکتریکی روی آورند [۱].

از میان منابع انرژی های نو و تجدیدپذیر[1] و تکنولوژی های به کار رفته برای بهره برداری از آنها نظیر پیل‌های سوختی[2]، سیستم های فتوولتائیک[3]، انرژی و توربین های بادی[4]، ژنراتورهای زیست توده ای[5]، میکروتوربین ها[6]،

---

[1] - Renewable Energy
[2] - Fuel Cells
[3] - Photovoltaic Systems
[4] - Wind Energy and Turbines
[5] - Biomass Generators
[6] - Micro Turbines

دیزل ژنراتورهای کوچک، موتورهای رفت و برگشتی[1]، مولدهای تولید همزمان برق و حرارت[2]، نیروگاه های جزر و مدی و سایر مواردی از این قبیل؛ انرژی باد و مولدهای بادی ارزانترین و مناسب ترین نوع این انرژی ها و تکنولوژی های مذکور بوده است؛ به گونه ای که امروزه تعداد زیادی نیروگاه بادی در سراسر جهان در حال بهره برداری و یا ساخت می باشند [۲].

بر مبنای مطالعات صورت گرفته در سال های اخیر، ظرفیت منابع انرژی بادی در سراسر جهان رقمی در حدود ۵۳۰۰۰ بیلیون[3] کیلووات است که در واقع مقداری معادل ۲ برابر انرژی الکتریکی مصرفی فعلی کل دنیا می‌باشد[۳]. از این رو دولت ها در سراسر جهان با وضع قوانین و مقررات به گونه های مختلفی به حمایت و استفاده از منابع انرژی بادی جهان روی آورده اند.

در حال حاضر صنایع مربوط به انرژی بادی (صنعت ساخت نیروگاه های بادی) در کشورهای پیشرفته ای همچون ایالات متحده، آلمان، دانمارک، هند، هلند و انگلستان به سرعت در حال پیشرفت است. همزمان با این پیشرفت از یک سو هزینه های مربوط به بهره برداری از انرژی باد در حال کاهش بوده و از سویی دیگر روز به روز تکنولوژی های به کار رفته در نیروگاه های بادی امکان تولید توان در ظرفیت بالاتری را فراهم می آورند [۴]. همین امر سبب شده است تا استفاده از منابع انرژی بادی در سراسر جهان در طی سال های اخیر رشد چشمگیر داشته باشد به گونه ای که رشد سالانه آن در سال ۲۰۰۵ میلادی به نسبت سال قبل از آن رقمی در حدود ۲۶ درصد (ظرفیت نصبی معادل ۵۹ گیگاوات)، سال ۲۰۰۶ رشدی حدود ۲۵ درصد (ظرفیت نصبی معادل ۷۴ گیگاوات) و در سال ۲۰۰۷ رشدی در حدود ۲۷ درصد (ظرفیت نصبی معادل ۹۴ گیگاوات) را از خود نشان می دهد. رشد استفاده از این منبع انرژی به گونه ای است که انتظار می رفت در سال گذشته میلادی (۲۰۱۰) ظرفیت جهانی استفاده از آن، رقمی بیش از ۲ برابر ظرفیت آن در سال ۲۰۰۶ میلادی (۷۴ گیگاوات) گردد و پیش بینی می شود که این ظرفیت در سال ۲۰۳۰ میلادی نزدیک به ۵ برابر ظرفیت نصبی سال ۲۰۰۶ میلادی باشد [۵].

هر چند روز به روز استفاده از منابع انرژی بادی در حال افزایش است اما این بهره گیری ها قیود و محدودیت های خاص خود را دارد. مواردی همچون مشکلات و پیچیدگی‌های فنی، مباحث اقتصادی و محدودیت های مربوط به تکنولوژی های روز تنها بخشی از آن است. در این میان از دیدگاه متخصصان صنعت برق، قیود فنی از

---

[1] - Reciprocating Engines
[2] - Combined Head and Power
[3] - Billion

جایگاه خاصی برخوردار بوده و توجه بیشتری را به خود جلب نموده است. در حال حاضر، چالش های زیادی در ارتباط با اتصال نیروگاه های بادی به سیستم قدرت وجود دارد. مباحثی همچون کنترل و بهره برداری از سیستم قدرت در حضور این نیروگاه ها، پایداری و مباحث مربوط به کیفیت توان از جمله مهمترین چالش های مذکور است که در سال های اخیر توجه محققان و پژوهشگران صنعت برق را به خود معطوف نموده است[۶].

از دیدگاه پایداری، مهمترین مولفه ها در سیستم توزیع کنترل اندازه ولتاژ و فرکانس شبکه می باشد. در حالت کلی و معمول سعی بر آن است که در هر شرایط کاری شبکه، این دو پارامتر در محدوده استاندارد خود قرار داشته باشند. این وظیفه معمولا توسط نیروگاه های حرارتی بزرگ متصل به شبکه و پست های برق انجام می‌گیرد. اهمیت کنترل این دو پارامتر تا حدی است که متولیان شبکه سالانه مبالغ زیادی را به این امر اختصاص می دهند که هزینه های سنگینی همچون هزینه اختیار نمودن واحدهای ذخیره چرخان[۱] تنها نمونه ای از آنها است[۷].

از زاویه ای دیگر، از آنجا که در تکنولوژی نیروگاه های بادی از تجهیزات الکترونیک قدرت استفاده شده است، بخش عظیمی از مباحث فنی در ارتباط با نحوه بهره گیری از این تجهیزات در زمینه های دینامیک سیستم قدرت، کنترل، حفاظت، کیفیت توان، کنترل بخش بار، قابلیت اطمینان و مواردی از این قبیل می باشد. یک نمونه از موارد مهم بهره گیری از قابلیت های تجهیزات الکترونیک قدرت در زمینه های فوق، استفاده از ادوات FACTS[۲] در مباحث دینامیک سیستم قدرت و به واسطه آن؛ با توجه به اتصال اغلب نیروگاه های بادی به شبکه توزیع؛ در مسائل پایداری، کنترل، حفاظت و کیفیت توان می باشد[۸-۱۰].

از میان ادوات الکترونیک قدرت جدید ، توجه ویژه ای به تکنولوژی ادوات FACTS با مبدل‌های منبع ولتاژی[۳] شده است، که DSTATCOM [۴] یک نمونه از آنها است. این تجهیز به طور مستقیم جهت تحقق اهدافی همچون از بین بردن اثرات ضریب توان پایین بار، از بین بردن هارمونیک‌های موجود در جریان بار، تنظیم ولتاژ باس بار توزیع در مقابل عواملی همچون Sag/Swell ، جبران سازی توان راکتیو مورد نیاز بارها و ... به کاربرده شده است. این مواردکه بیشتر در حوزه کیفیت توان است در فصل بعدی به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل مذکور نشان داده شده است که بخش اعظم مطالعات انجام گرفته در ارتباط با DSTATCOM در حوزه کنترل، مدلسازی و قابلیت‌های این تجهیز در بهبود پارامترهای کیفیت توان می‌باشد. اما این تجهیز کاربردهای غیر مستقیمی نیز دارد

---

[1] - Spinning Reserve
[2] - Flexible AC Transmission Systems
[3] - Voltage Source Converter (VSC)
[4] - Distribution Static Compensator

که از آن جمله می‌توان به کابردهای آن در حوزه پایداری اشاره نمود. یکی از این کاربردهای غیر مستقیم، بهبود رفتار دینامیکی شبکه توزیع می‌باشد، که مطالعاتی نیز در سال های اخیر بر روی آن صورت گرفته است. این مطالعات نیز در فصل بعدی به تفصیل شرح داده شده و نقاط قوت و ضعف آن ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

با توجه به بررسی کارهای تحقیقاتی صورت گرفته تا به حال (فصل دوم)، مطالعات پایداری در حضور همزمان مولدهای بادی و ادوات FACTS در سطح شبکه توزیع یکی از مباحث مورد توجه محققان در سال های اخیر است. یکی از موارد فوق "*بررسی رفتار دینامیکی سیستم توزیع با حضور همزمان مولدهای بادی نوع DFIG و DSTATCOM* "می‌باشد. این کار پژوهشی را می‌توان با در نظر گرفتن فرضیاتی همچون موارد زیر انجام داد :

۱- بررسی بهبود پایداری ولتاژ در دو حالت ماندگار و گذرا

۲- کنترل توان و ولتاژ

۳- بررسی رفتار در یک سیستم توزیع متصل و یا منفک از شبکه سراسری

۴- بررسی در حضور سایر منابع تولید پراکنده مانند میکروتوربین‌ها ، دیزل ژنراتورها و ...

۵- و . . .

۱-۲- بخش‌های مطالعاتی انجام گرفته در این پایان‌نامه

در فصل دوم این پایان نامه، ابتدا با بیان اینکه چگونه سمت‌گیری سیستم‌های قدرت به استفاده از انرژی‌های نو سبب شده است تا حضور همزمان تکنولوژی‌های جدیدی مانند نیروگاه‌های بادی و ادوات FACTS در کنار هم ضرورت یابد؛ به دسته بندی کلی مباحث مربوطه می‌پردازیم. همچنین رفتار دینامیکی سیستم قدرت و شبکه توزیع را در حضور این پدیدهای نوظهور از نظر می‌گذرانیم. در بخش انتهایی این فصل نیز مواردی از کارهای تحقیقاتی قبلی را مرور می‌کنیم.

فصل سوم به مدل سازی کلی سیستم اختصاص یافته است. در بخش اول این فصل به طور مختصر مباحث مربوط به کنترل، عملکرد و اتصال به شبکه یک توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دوسو تغذیه مطرح شده است. در ادامه در قالب مدل سازی این مولد، نحوه مدل سازی بخش‌های مختلف از جمله مدل آئیرودینامیکی توربین، مدل محور، مدل ژنراتور و نهایتا مدل کنترل کننده‌های این مولد بیان شده است. بخش دوم این فصل به نحوه مدل سازی جبران کننده استاتیکی توزیع، شامل مدل سازی ساختار و کنترل کننده‌های آن، پرداخته شده است. در این

بخش دو نوع کنترل کننده رایج این تجهیز شامل کنترل کننده ولتاژ و کنترل کننده توان راکتیو(ضریب توان) معرفی شده اند.

در فصل چهارم، ابتدا الگوریتم تجمعی ذرات به عنوان یکی از روش‌های هوشمند در محاسبات مربوط به مباحث سیستم قدرت معرفی شده است. سپس جزئیات عملکرد این الگوریتم در حالت عمومی خود بیان شده است. در انتها نیز نحوه تنظیم هماهنگ کنترل‌کننده‌های مولدهای بادی و جبران کننده استاتیکی توزیع به کمک این الگوریتم تشریح شده است.

در فصل پنجم که به شبکه توزیع نمونه مورد مطالعه و نتایج شبیه سازی اختصاص دارد؛ پس از معرفی شبکه نمونه و بررسی مختصر نحوه عملکرد آن، نتایج حاصل از شبیه سازی ها ارائه شده است. شبیه سازی ها برای دو وضعیت کلی مختلف شبکه شامل: شبکه متصل به سیستم قدرت سراسری(اتصال به یک شبکه خارجی قوی) و مستقل از این سیستم و با به کارگیری سناریوهای متعددی انجام شده است.

در فصل ششم نیز پس از جمع بندی کلی نتایج حاصل از یافته‌های کار پژوهشی حاضر، پیشنهاداتی جهت ادامه کار ارائه شده است.