بسم الله الرحمن الرحيم

١٥٨٣١٠-٢٠٢٥١٢٠

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی ومهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق گرایش قدرت

ارزیابی و بهبود پایداری سیگنال کوچک یک ریزشبکه با در نظر گرفتن مدل دقیق توربین بادی مجهز به ژنراتور القائی دو تغذیه و مدل دقیق بار

استادان راهنما:

دکتر رحمت الله هوشمند

دکتر امین خدابخشیان

پژوهشگر:

سید محمد عاملیان

اسفند ماه ۱۳۸۹

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
IRANDOC

۱۵۸۳۱۰

۱۳۹۰/۳/۱۶

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

شیوه نگارش پایان نامه
رعایت شده است.
تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق گرایش قدرت

آقای سید محمد عاملیان تحت عنوان

ارزیابی و بهبود پایداری سیگنال کوچک یک ریزشبکه با در نظر گرفتن مدل دقیق توربین بادی مجهز به ژنراتور القائی دو تغذیه و مدل دقیق بار

در تاریخ ۸۹/۱۲/۱۱ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای اول پایان‌نامه دکتر رحمت الله هوشمند با مرتبه علمی دانشیار امضا

۲- استاد راهنمای دوم پایان‌نامه دکتر امین خدابخشیان با مرتبه علمی دانشیار امضا

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

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر مهدی بانژاد با مرتبه علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه

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 پویایی راه علم و تحقیق را به من عطا فرمود. همچنین بر خود فرض می‌دانم مراتب تقدیر و قدردانی خالصانه و صمیمانه خود را تقدیم عزیزانی نمایم که بدون پشتیبانی و مساعدت‌های ایشان طی این طریق بسیار بعید و دشوار می‌نمود:

- استادان راهنمای بزرگوارم دکتر رحمت الله هوشمند و دکتر امین خدابخشیان که پشتوانه غنی علمی، معنوی و اخلاقی ایشان توشه ارزشمندی بود که قرین این راه گردید.
- با تشکر از شرکت برق منطقه‌ای اصفهان بدلیل حمایت مالی از این پایان‌نامه.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

چکیده

گسترش روز افزون استفاده از منابع تولید پراکنده به دلیل مزایـای فنـی، اقتصـادی و زیسـت محیطـی ادامـه دارد. از طرفی افزایش بارهای نیازمند به قابلیت اطمینان و کیفیت توان بالا و عدم توانایی سیستم قدرت مرسوم به هم پیوسـته در تأمین این خواسته به یک چالش تبدیل شده است. قابلیت نصب منابع پراکنده در نزدیکی این بارها برای تأمین ایـن مهـم به ایجاد مفهوم جدید ریزشبکه انجامیده است. ریز شبکه به مجموعه‌ای از واحدهای تولید پراکنده و بارها اطلاق می‌شـود که در بخش سیستم توزیع قرار گرفته و می‌تواند در حالات متصل به شـبکه و جزیـره ای (مسـتقل) عمـل کنـد. یکـی از مهمترین مسائل در سیستم‌های قدرت، پایداری سـیگنال کوچـک سیسـتم اسـت کـه بیـانگر توانـایی سیسـتم بـر حفـظ سنکرونیزم تحت تأثیر اختلالات کوچک و دائمی است. ناپایداری در اثر این اختلالات اکثراً بدلیل عدم وجود میرایـی لازم در سیستم رخ می‌دهد که در ریز شبکه با توجه به عدم وجود اینرسی کافی در حالت جزیره‌ای، این مسئله اهمیت بیشـتری نیز پیدا می‌کند.

در این پژوهش مسئله پایداری سیگنال کوچک ریزشبکه با استفاده از روش تحلیل مقادیر ویـژه بـا در نظـر گـرفتن مـدل دقیق بارهای استاتیک و القائی و نیز منبع پراکنده مبتنی بر توربین بادی مورد بررسی قرار می‌گیـرد. ابتـدا مـدل سـیگنال کوچک یک ریزشبکه در حالت جزیره‌ای با استفاده از روش‌های ارائه شده در مراجع استخراج و سپس مدلسازی دقیق بـار و توربین بادی سرعت متغیر مجهز به ژنراتور القائی دو تغذیه در قالب این مدلسـازی انجـام خواهـد گرفـت. تـأثیر تغییـر پارامترهای مدل بار بر دینامیک ریزشبکه از طریق مشاهده تغییر مکان مقادیر ویژه و آنالیز حساسـیت بررسـی مـی‌گـردد. برای کنترل سیستم توربین و ژنراتور از روش کنترل برداری بهره گرفته می‌شود. با پیاده‌سازی مشخصه افتی توان اکتیـو-فرکانس و توان راکتیو-ولتاژ در سیستم کنترل مبدل سمت شبکه، قابلیت عملکرد در محیط یـک ریزشـبکه جزیـره‌ای بـا درخواست بار متغیر میسر می‌گردد. بر اساس مدلسازی دینامیکی دقیق صورت گرفتـه، بهبـود عملکـرد تـوربین بـادی در محیط ریزشبکه از طریق تنظیم همزمان پارامترهای کنترلی با توابع هدف مبتنی بر تحلیل مقادیر ویژه و آنالیز مودال، بـه کمک الگوریتم PSO صورت می‌گیرد. در بهینه‌سـازی صـورت گرفتـه، قابلیـت عملکـرد جزیـره‌ای ریزشـبکه در سـطوح بارگذاری مختلف، لحاظ شده است.

کلمات کلیدی: ریزشبکه، تحلیل سیگنال کوچک، مشخصه افتی، مدل بار، توربین بادی مجهز به ژنراتور القائی دو تغذیه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- مفهوم تولید پراکنده ۲

۱-۳- اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه و پیدایش مفهوم ریزشبکه ۳

۱-۴- اهداف تحقیق و نحوه دستیابی به آنها ۵

۱-۵- ساختار پایان‌نامه ۶

فصل دوم: کنترل، بهره‌برداری و پایداری ریزشبکه

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- منابع تولید پراکنده ۷

۲-۳- ساختار یک ریزشبکه نمونه ۱۴

۲-۴- مزایای فنی و اقتصادی ریزشبکه و چالش‌های پیش رو در گسترش آن ۱۷

۲-۵- انواع طرح‌های کنترلی ریزشبکه ۲۰

۲-۶- کنترل غیرمتمرکز منابع ریزشبکه ۲۱

۲-۶-۱- مشخصه افتی فرکانس/ولتاژ معمول برای کنترل توان منابع ولتاژ اینورتری ۲۳

۲-۶-۲- کنترل بهبود یافته برای شبکه‌های فشار ضعیف مقاومتی ۲۹

۲-۶-۳- کنترل در صورت وجود بارهای غیرخطی و نامتعادل ۳۱

۲-۶-۴- سایر روشهای کنترلی ۳۴

۲-۷- اثر سیستم کنترل بر پایداری ریزشبکه ۳۷

فصل سوم: پایداری سیستم قدرت و تأثیر مدل بار بر آن

۳-۱- مقدمه ۴۰

۳-۲- پایداری سیستم قدرت ۴۱

۳-۲-۱- تعریف و تقسیم بندی مفهوم پایداری در سیستم قدرت ۴۱

۳-۲-۲- پایداری سیگنال کوچک و نوسانات فرکانس کم ۴۳

۳-۲-۳- نمایش فضای حالت و تحلیل مقادیر ویژه ۴۳

عنوان | صفحه

۳-۲-۴- بردارهای ویژه و آنالیز مودال ۴۵
۳-۲-۵- ضرایب مشارکت و آنالیز حساسیت ۴۵
۳-۳- لزوم مدلسازی دقیق بار در مطالعات پایداری ۴۶
۳-۴- انواع مدل بار ۴۸
۳-۴-۱- انواع مدل‌های استاتیکی بار ۴۹
۳-۴-۲- انواع مدل‌های دینامیکی بار ۵۰
۳-۵- مروری بر مطالعات صورت گرفته در زمینه تأثیر مدل بار بر پایداری ۵۴
۳-۵-۱- آنالیز حساسیت در بررسی تأثیر مدل بار بر پایداری سیگنال کوچک ۵۵

فصل چهارم: سیستم‌های توربین بادی و ژنراتور القائی دو تغذیه

۴-۱- مقدمه ۵۷
۴-۲- سیستم‌های تولید توربین بادی ۵۸
۴-۲-۱- مقایسه انواع تکنولوژی تولید توربین بادی ۵۸
۴-۲-۲- منحنی توان و کنترل ایرودینامیکی ۶۰
۴-۲-۳- سیستم انتقال ۶۳
۴-۲-۴- کنترل زاویه گام پره ۶۴
۴-۳- توربین بادی سرعت متغیر مجهز به DFIG ۶۴
۴-۳-۱- کنترل مبدل سمت روتور ۶۵
۴-۳-۲- کنترل مبدل سمت شبکه ۶۷
۴-۴- مروری بر مطالعات در زمینه مدلسازی و پایداری توربین بادی با DFIG ۶۹

فصل پنجم: بررسی پایداری سیگنال کوچک ریزشبکه با در نظر گرفتن مد دقیق بار و توربین بادی مجهز به DFIG

۵-۱- مقدمه ۷۱
۵-۲- مدل ریزشبکه درحالت عملکرد مستقل ۷۲
۵-۲-۱- مدل فضای حالت یک اینورتر منبع ولتاژ ۷۳
۵-۲-۲- کنترل‌کننده توان ۷۴
۵-۲-۳- کنترل‌کننده ولتاژ ۷۷

عنوان | صفحه

۵-۲-۴- کنترل‌کننده جریان ۷۸
۵-۲-۵- فیلتر خروجی و اندوکتانس تزویج ۷۹
۵-۲-۶- مدل کامل یک اینورتر ۷۹
۵-۲-۷- ترکیب مدل همه اینورترها ۸۱
۵-۲-۸- مدل خطوط ریزشبکه ۸۲
۵-۲-۹- مدل بارهای ریزشبکه ۸۳
۵-۲-۱۰- مدل کامل ریزشبکه ۸۴
۵-۳- مدلسازی دینامیکی بار ۸۴
۵-۳-۱- مدل بار استاتیک ۸۵
۵-۳-۲- مدل بار موتور القائی ۸۶
۵-۳-۳- مدل بار ترکیبی در مدل ریزشبکه ۸۸
۵-۴- مدلسازی توربین بادی مجهز به DFIG ۸۹
۵-۴-۱- توربین ۸۹
۵-۴-۲- سیستم انتقال ۸۹
۵-۴-۳- ژنراتور ۹۰
۵-۴-۴- لینک DC ۹۱
۵-۴-۵- مبدل‌ها و کنترل‌کننده‌ها ۹۲
۵-۴-۶- اتصال به شبکه ۹۶
۵-۴-۷- مدل کامل دینامیکی توربین بادی مجهز به DFIG ۹۶
۵-۴-۸- بهینه‌سازی پارامترهای کنترلی با الگوریتم PSO ۹۷

فصل ششم: نتایج شبیه‌سازی

۶-۱- بررسی عملکرد ریزشبکه در حالات گذرا ۹۸
۶-۱-۱- معرفی سیستم تحت مطالعه ۹۸
۶-۱-۲- بررسی رفتار ریزشبکه در حالت اتصال به شبکه ۱۰۰
۶-۱-۳- بررسی رفتار ریزشبکه در حالت جزیره‌ای ۱۰۲
۶-۱-۴- بررسی رفتار ریزشبکه با مدل‌های مختلف بار استاتیک ۱۰۵

عنوان | صفحه

۶-۲- تحلیل سیگنال کوچک ریزشبکه ۱۰۷
۶-۳- تحلیل رفتار دینامیکی ریزشبکه با در نظر گرفتن مدل دقیق بار ۱۱۰
۶-۳-۱- آنالیز حساسیت نسبت به تغییر پارامترهای مدل بار ۱۱۲
۶-۳-۲- بررسی تغییر مکان مودهای حساس با تغییر پارامترهای مدل بار ۱۱۳
۶-۴- تحلیل رفتار دینامیکی توربین بادی و DFIG در محیط ریزشبکه ۱۱۵
۶-۴-۱- بهبود رفتار از نقطه نظر پایداری سیگنال کوچک ۱۱۵
۶-۴-۲- بهینه‌سازی ضرایب کنترلی برای سطوح مختلف بار ۱۱۶

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ادامه کار

۷-۱- نتیجه‌گیری ۱۲۰
۷-۲- پیشنهادات ادامه کار ۱۲۱

پیوست‌ها ۱۲۳
منابع و مآخذ ۱۲۵

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱): تقسیم بندی منابع انرژی پراکنده ۸

شکل (۲-۲): ساختمان پایه یک سلول سوختی ۱۰

شکل (۲-۳): مشخصه الکتریکی یک سلول سوختی ۱۰

شکل (۲-۴): انواع سیستم‌های انرژی باد با توجه به استفاده از مبدل الکترونیک قدرت ۱۲

شکل (۲-۵): ساختار یک ریزشبکه نمونه ۱۵

شکل (۲-۶): مشخصه افتی فرکانس-توان اکتیو برای دو منبع ۲۳

شکل (۲-۷): سیستم AC شامل دو منبع ۲۴

شکل (۲-۸): مشخصه کنترل افتی معکوس. (الف) مشخصه افتی توان اکتیو-ولتاژ، (ب) مشخصه تقویت توان راکتیو-فرکانس ۳۰

شکل (۲-۹): جبرانگر کیفیت توان برای ریزشبکه ۳۴

شکل (۲-۱۰): استراتژی‌های کنترلی توان راکتیو. (الف) مشخصه افتی، (ب) تنظیم ولتاژ و (ج) جبران ضریب توان ۳۴

شکل (۲-۱۱): اینورتر سه فاز Z_Source ۳۶

شکل (۳-۱): تقسیم بندی پایداری سیستم قدرت ۴۲

شکل (۴-۱): انواع سیستم‌های تولید مبتنی بر توربین باد ۵۹

شکل (۴-۲): منحنی ضریب توان ایرودینامیکی یک توربین بادی بر حسب λ و β ۶۱

شکل (۴-۳): منحنی‌های توان نوعی یک توربین سرعت ثابت با کنترل توقف و یک توربین سرعت متغیر با کنترل زاویه گام پره ۶۳

شکل (۴-۴): یک سیستم انتقال مدل شده با دو جرم ۶۴

شکل(۴-۵): ساختار یک کنترل‌کننده زاویه گام پره ۶۴

شکل(۴-۶): ساختار کنترل برداری مبدل سمت روتور ۶۶

شکل (۴-۷): آرایش مبدل سمت شبکه ۶۷

شکل(۴-۸): ساختار کنترل برداری مبدل سمت شبکه ۶۸

شکل (۵-۱): دیاگرام بلوکی مدل کامل سیگنال کوچک فضای حالت یک ریزشبکه ۷۲

شکل (۵-۲): انتقال قاب‌های مرجع ۷۳

شکل (۵-۳): دیاگرام بلوکی یک DG مبتنی بر اینورتر ۷۴

عنوان **صفحه**

شکل (۵-۴) : کنترل‌کننده توان ۷۵

شکل (۵-۵): کنترل‌کننده ولتاژ ۷۷

شکل (۵-۶): کنترل‌کننده جریان ۷۸

شکل (۵-۷): معادل سیگنال کوچک انتقال قاب مرجع ۸۰

شکل (۵-۸): نمایش شبکه ۸۲

شکل (۵-۹): مدار معادل یک ماشین القائی سه فاز متقارن با تغذیه متعادل در چارچوب مرجع دلخواه ۸۶

شکل (۵-۱۰): دیاگرام کلی یک سیستم توربین بادی با DFIG و مبدل‌ها ۸۹

شکل (۵-۱۱): قاب مرجع کنترل جریان مبدل سمت شبکه ۹۳

شکل (۵-۱۲): کنترل مبدل سمت روتور ۹۴

شکل (۵-۱۳): قاب مرجع کنترل جریان مبدل سمت روتور ۹۵

شکل (۶-۱): شبکه تست فشار متوسط CIGRE ۹۹

شکل (۶-۲): پاسخ توان منبع متصل به باس ۷ و شبکه به تغییر در مقدار مرجع. (الف) پاسخ به تغییر پله‌ای و شیب در مقدار مرجع، (ب) پاسخ به تغییر سینوسی در مقدار مرجع ۱۰۲

شکل (۶-۳): پاسخ توان منابع و شبکه به اضافه شدن بار در ریزشبکه متصل به شبکه. (الف) توان منابع، (ب) توان ورودی از شبکه ۱۰۳

شکل (۶-۴): رفتار توان اکتیو منابع در حالت مستقل ۱۰۳

شکل (۶-۵): رفتار توان راکتیو منابع در حالت مستقل ۱۰۴

شکل (۶-۶): ولتاژ باس‌های ریزشبکه در حالت مستقل ۱۰۴

شکل (۶-۷): فرکانس ریزشبکه در حالت مستقل ۱۰۴

شکل (۶-۸): توان اکتیو خروجی منبع ۷ با مدل‌های مختلف بار ۱۰۵

شکل (۶-۹): توان راکتیو خروجی منبع ۷ با مدل‌های مختلف بار ۱۰۵

شکل (۶-۱۰): ولتاژ باس ۷ با مدل‌های مختلف بار ۱۰۶

شکل (۶-۱۱): فرکانس ریزشبکه با مدل‌های مختلف بار ۱۰۶

شکل (۶-۱۲): مودهای ریزشبکه به تفکیک عوامل مؤثر در آنها. (الف) خطوط، (ب) فیلتر خروجی، کنترل‌کننده‌های ولتاژ و جریان، (ج) بارها، اندوکتانس تزویج و کنترل‌کننده توان ۱۰۸

شکل (۶-۱۳): تغییر مکان مودهای کنترل توان منابع با افزایش ضریب مشخصه افتی ۱۱۰

شکل (۶-۱۴): مودهای مربوط به موتورهای القائی ۱۱۱

عنوان صفحه

شکل (۶-۱۵): تغییر مکان مودهای حساس با تغییر Xs از ۰/۹ تا ۱/۱ مقدار نامی ۱۱۴
شکل (۶-۱۶): تغییر مکان مودهای حساس با تغییر Rs از ۰/۹ تا ۱/۱ مقدار نامی ۱۱۴
شکل (۶-۱۷): تغییر مکان مودهای حساس با تغییر Rr از ۰/۹ تا ۱/۱ مقدار نامی ۱۱۴

فهرست جدولها

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱): خصوصیات مهم منابع تولید پراکنده ۱۳

جدول (۴-۱): مقایسه سیستم‌های تولید مبتنی بر توربین باد ۵۹

جدول (۶-۱): مقادیر پارامترهای خطوط متصل بین باسها ۹۹

جدول (۶-۲): مقدار حداکثر بار هر باس و نوع آن (P_Base=100 MW) ۱۰۰

جدول (۶-۳): ظرفیت نامی منابع DG متصل به باسها ۱۰۰

جدول (۶-۴): مقادیر پارامترهای منابع ۱۰۱

جدول (۶-۵): مودهای حساس ریزشبکه و عوامل مؤثر در آنها ۱۰۹

جدول (۶-۶): تغییر مکان مودهای بار با در نظر گرفتن مدل موتور القایی ۱۱۱

جدول (۶-۷): آنالیز حساسیت مودهای حساس نسبت به پارامترهای موتور القایی ۱۱۲

جدول (۶-۸): آنالیز حساسیت مودهای حساس نسبت به پارامترهای مدل بار استاتیک ۱۱۳

جدول (۶-۹): مقادیر ویژه متناظر با سیستم توربین بادی و DFIG، میرایی . ع.امل مؤثر در آنها قبل و بعد از بهینه‌سازی پارامترهای کنترلی ۱۱۶

جدول (۶-۱۰): مقادیر ویژه مربوط به توربین بادی و DFIG در بارگذاری‌های مختلف با ضرایب بهینه شده در بارگذاری ۱۰۰٪ ۱۱۷

جدول (۶-۱۱): مقادیر ویژه مربوط به توربین بادی و DFIG در بارگذاری‌های مختلف با ضرایب بهینه شده در بارگذاری ۷۰٪ ۱۱۷

جدول (۶-۱۲): مقادیر ویژه مربوط به توربین بادی و DFIG در بارگذاری‌های مختلف با ضرایب بهینه شده در بارگذاری ۴۰٪ ۱۱۸

جدول (۶-۱۳): مقادیر ویژه مربوط به توربین بادی و DFIG در بارگذاری‌های مختلف با ضرایب بهینه شده برای هر سه سطح بارگذاری ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰٪ ۱۱۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

هم اینک اکثر کشورها از نیروگاه‌های متمرکز بزرگ با استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تولید برق خود استفاده می‌کنند. به دلیل مسایل زیست محیطی، اقتصادی، امنیتی و جغرافیایی این نیروگاه‌ها معمولاً دور از محل مصرف ساخته می‌شوند. توان تولیدی از طریق خطوط طولانی انتقال به محل مصرف رسیده و از طریق سیستم توزیع بعضاً طولانی به مشترک تحویل داده می‌شود. اشکالات این نوع تولید و انتقال توان را می‌توان به دو دسته کلی تولید و انتقال تقسیم کرد. برای نیروگاه‌های مرسوم، مسائل زیست محیطی مهم‌ترین مشکل است چرا که آنها بزرگ‌ترین انتشار دهنده گازهای گلخانه‌ای هستند که مهم‌ترین عامل گرم شدن زمین تلقی می‌شود. مشکلات اصلی انتقال توان توسط خطوط طولانی شامل تلفات توان حقیقی، مصرف زیاد توان راکتیو، مسائل مربوط به پایداری و قابلیت اطمینان می‌باشد.

محققان راه غلبه بر این مشکلات را استفاده از منابع تولید در مقیاس کوچک می‌دانند که در کل ناحیه مصرف گسترده شده و اغلب از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان منبع اولیه استفاده می‌کنند. این نزدیکی به محل مصرف، تلفات توان حقیقی ناشی از جاری شدن در خطوط طولانی انتقال را به کلی از سیستم حذف می‌کند. همچنین این نوع تولید باعث افزایش قابلیت اطمینان و کاهش تهدید قطعی برق در یک ناحیه وسیع و گسترده خواهد شد.

بطور کلی مقررات زیست محیطی برای جلوگیری از انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای، تجدید ساختار صنعت برق و پیشرفت‌های اخیر در زمینه تولید توان از انرژی‌های تجدیدپذیر و در مقیاس کوچک مهم‌ترین

عواملی هستند که سیستم‌های تولید انرژی را به دوران جدیدی رهنمون می‌سازند. دورانی که در آن بخش عمده‌ای از تقاضای مصرف انرژی الکتریکی از طریق نصب منابع پراکنده و تولید محلی تأمین خواهد شد. در بخش بعد به تعریف مفهوم تولید پراکنده و نحوه بهره‌گیری از آن در سیستم توزیع الکتریکی خواهیم پرداخت.

۱-۲- مفهوم تولید پراکنده[۱]

در اواخر دهه ۱۹۹۰ موضوعات اصلی مربوط به تولید پراکنده، توسط گروه‌های کاری انجمن بین‌المللی سیستم‌های بزرگ الکتریکی (CIGRE) و نیز کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی توزیع الکتریکی (CIRED) در گزارش‌های مروری آنها بطور گسترده بررسی شد [۱]و[۲]. کشورهای مختلف تعریف‌های متنوعی از تولید پراکنده داشته‌اند که بسته به ظرفیت تولید، سطح ولتاژ تولید و برخی موارد دیگر متفاوت است. اما تأثیر آن بر سیستم قدرت، بر خلاف تعاریف متعدد، نوعاً یکسان است. مطابق تحقیقات صورت گرفته، برخی ویژگی‌های مورد قبول عام منابع تولید پراکنده عبارتند از [۳]:

۱- معمولاً از ۵۰ مگاوات کوچکتر هستند.

۲- معمولاً به شبکه توزیع با ولتاژهای ۴۰۰ ولت تا ۱۴۵ کیلوولت متصل می‌شوند.

با وجود برخی مزایای سیستم‌های قدرت سنتی به‌هم پیوسته، مزایای فنی، اقتصادی و زیست محیطی سیستم‌های تولید پراکنده به تکامل و اتصال تدریجی آنها منجر شده است [۳]:

- به دلیل رشد سریع بارهای الکتریکی، نیاز به افزایش تولید به شیوه متداول به کاهش مداوم در ذخیره سوخت فسیلی انجامیده است. لذا اغلب کشورهای جهان در صدد هستند تا از منابع انرژی غیر متداول/تجدیدپذیر به عنوان جایگزین سوخت های فسیلی استفاده کنند.
- کاهش آلودگی محیط زیست و گرم شدن زمین، عاملی کلیدی در ترجیح منابع انرژی تجدیدپذیر بر سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شوند. به عنوان جزئی از معاهده کیوتو، اتحادیه اروپا و بسیاری از کشورهای دیگر در حال برنامه‌ریزی هستند تا انتشار گازهای گلخانه‌ای (ترکیبات کربن و نیتروژن) را به منظور جلوگیری از تغییر شدید شرایط آب و هوایی و پدیده گرم شدن جهانی به حداقل برسانند. انتظار می‌رود که استفاده از منابع تولید پراکنده به تولید توان تمیزتر و سازگار با محیط‌زیست و با آثار جانبی کمتر کمک کند.

۱- Distributed Generation (DG)

- تولید پراکنده آزادی عمل بیشتری برای تأسیس نیروگاه‌های تولید همزمان برق-گرما[۱] و استفاده از گرمای اتلافی در کاربردهای صنعتی/خانگی/تجاری در اختیار قرار می‌دهد. این امر بازده کلی انرژی را افزایش داده و آلایندگی حرارتی محیط را نیز کاهش می‌دهد.
- به دلیل چگالی انرژی پایین‌تر و وابستگی به شرایط جغرافیایی، منابع پراکنده معمولاً واحدهای با مقیاس کوچک و با ظرفیت کم هستند و لذا می‌توان از آنها در نزدیکی بار استفاده کرد. این مجاورت بار و تولید، تلفات انتقال و توزیع را کاهش می‌دهد.
- چون توان در فشار ضعیف تولید می‌شود در مواقع لزوم می‌توان مجموعه تولید و بار را از شبکه توزیع جدا کرد. این عملکرد دوگانه منابع، به تقویت تولید و در نتیجه به بهبود کلی کیفیت توان و قابلیت اعتماد کمک می‌کند. علاوه بر این، یک محیط تجدید ساختار یافته رقابتی با دسترسی آزاد به شبکه توزیع، فرصت‌های بزرگتری برای اتصال منابع تولید پراکنده فراهم می‌آورد.

۱-۳- اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه و پیدایش مفهوم ریزشبکه

یک واحد DG را می‌توان هم از طریق یک ماشین AC گردان و هم از طریق مبدل الکترونیک قدرت به شبکه متصل کرد. موتورهای پیستونی شامل موتورهای دیزل و گازی و توربین‌های بادی سرعت ثابت از طریق ژنراتورهای سنکرون یا القایی به شبکه متصل می‌شوند. دیگر تکنولوژی‌های نوین همچون سلول سوختی، میکروتوربین، سلول خورشیدی و توربین بادی سرعت متغیر برای اتصال به شبکه به سیستم‌های مبدل الکترونیک قدرت نیاز دارند. واحدی که از مبدل استفاده می‌کند قابلیت کنترل سریع و انعطاف پذیر فرکانس، ولتاژ و توان اکتیو/ راکتیو را داراست. مبدل الکترونیکی می‌تواند سریعاً به تغییرات بار پاسخ دهد. این واحدها همچنین سهم کمی در جریان اتصال کوتاه دارند. علی‌رغم مزایای فراوان، اتصال تعداد زیادی DG و اصطلاحاً افزایش عمق نفوذ آنها می‌تواند دغدغه‌های فنی بسیاری نیز در کارکرد سیستم ایجاد کند. دلیل اصلی آن است که سیستم‌های توزیع موجود برای انتقال انرژی در دو سو طراحی نشده‌اند. برخی از این نگرانی‌ها عبارتند از [۴]:

- پروفیل ولتاژ سیستم با تغییر میزان و جهت تبادل توان شاخه‌ها، تغییر می‌کند.
- سطح اتصال کوتاه افزایش می‌یابد ولذا به ضعف هماهنگی یا عملکرد غلط ادوات حفاظتی می‌انجامد.
- پایداری زاویه‌ای و پایداری ولتاژ سیستم از نصب این منابع تأثیر می‌پذیرد.

۲- Combined Heat and Power (CHP)

- تغییرات حالت ماندگار و گذرای ولتاژ در نقطه اتصال مشترک منابع ظاهر می‌شود.
- اگر استراتژی کنترلی و مدیریتی مناسب اتخاذ نگردد ممکن است برکیفیت توان و قابلیت اعتماد سیستم تأثیر منفی داشته باشد.
- ممکن است به دلیل تأثیر DG بر سطح اتصال کوتاه، به هماهنگی مجدد سیستم حفاظت نیاز باشد.

در همین راستا دستورالعمل‌هایی برای چگونگی اتصال منابع انرژی پراکنده به سیستم قدرت توسط مؤسسات مختلف تدوین شده است. از آن جمله استاندارد IEEE 1547™ (2003) تحت عنوان "استاندارد برای اتصال منابع پراکنده به شبکه قدرت" می‌باشد [۵]. تمرکز این استانداردها بر این مسئله است که منابع پراکنده در هنگام وقوع مشکلی در سیستم قدرت بالادست به صورت خودکار از مدار خارج شوند. اما به منظور افزایش قابلیت اطمینان[۱] و کیفیت توان تأمین انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان در سال‌های آینده انتظار می‌رود این مسئله دچار یک بازنگری کلی گردد. همچنین قوانین و استانداردهایی باید برای اتصال یکنواخت همه واحدهای DG با تکنولوژی‌های گوناگون، وضع و تنظیم شوند.

مطالعات گسترده برای بررسی چگونگی کسب حداکثر بهره وری فنی و اقتصادی از سیستم‌های تولید پراکنده از یکسو و نیز افزایش بارهای نیازمند به قابلیت اعتماد و کیفیت توان بالا از سوی دیگر، به بروز مفهوم ریزشبکه[۲] انجامیده است. یک ریزشبکه قسمتی از سیستم قدرت، معمولاً بخشی از شبکه توزیع، است که از یک یا چند واحد DG تشکیل شده و قابلیت تغذیه بارهای آن زیربخش را مستقل از شبکه اصلی دارا می‌باشد. ایده تشکیل ریزشبکه آن است که سیستمی شامل چند واحد تولیدی و بارهای متمرکز به عنوان یک سیستم الکتریکی به اندازه کافی قابل اعتماد و از لحاظ اقتصادی سودمند می‌باشد. وقتی اغتشاشی مانند خطا اتفاق بیافتد یا یک کلیدزنی از پیش برنامه ریزی شده رخ دهد، یک جزیره الکتریکی یا ریزشبکه مستقل شکل می‌گیرد. در این حالت ریزشبکه باید توانایی تأمین تمامی یا حداقل بخشی از بارهای مهم واقع در آن جزیره را دارا باشد. در حالت اتصال به شبکه، خود شبکه اصلی مسئولیت تنظیم ولتاژ/فرکانس را دارد و ریزشبکه فقط تولید توان را بر عهده دارد و حتی می‌تواند توان اضافی تولیدی را نیز به شبکه بفروشد [۶].

در حال حاضر موارد عملی اجازه عملکرد مستقل را به ریزشبکه نمی‌دهند مگر در حالات خاصی که تمام واحدهای DG پایین دست قطع شوند. این امر برای لحاظ موارد ایمنی و برآوردن قیدهای کنترلی/حفاظتی

۱- Reliability
۲- Microgrid

موجود در شبکه توزیع اجبار شده است. برای استفاده حداکثری از مزایای DG و افزایش عمق نفوذ آن باید موانع عملی موجود بر سر راه عملکرد مستقل ریزشبکه برطرف گردد. هر چند یک ریزشبکه با توجه به قابلیت‌های بالقوه خود می‌تواند وظایفی نظیر کنترل محلی ولتاژ را نیز بر عهده بگیرد اما شبکه‌های توزیع با توجه به سطح اتوماسیون و حفاظت موجود چنین اجازه‌ای را نمی‌دهند. مهندسان طراح شبکه توزیع هنوز ترجیح می‌دهند باس تمامی مشترکین، حتی مشترکین دارای منبع انرژی پراکنده، از نوع PQ باشد و کنترل پروفیل ولتاژ را از طریق روش‌های سنتی جبران محلی توان راکتیو انجام دهند. در استاندارد ارائه شده توسط IEEE درباره نحوه اتصال منابع DG صراحتاً قید شده که این منابع نباید به صورت اکتیو، کنترل ولتاژ داشته باشند [۵]. بدین ترتیب یک ریزشبکه با همه پیچیدگی‌های احتمالی داخل آن، هیچگونه پیچیدگی اضافی را به شبکه قدرت تحمیل نمی‌کند. این مسئله از مهمترین مزایای ریزشبکه محسوب می‌شود [۴]. بطور خلاصه مدلسازی، کنترل، مدیریت و بهره‌برداری، حفاظت و پایداری ریزشبکه موضوعات مهمی هستند که باید به آنها پرداخته شود.

۱-۴- اهداف تحقیق و نحوه دستیابی به آنها

هدف از این تحقیق ارزیابی و بهبود پایداری سیگنال کوچک یک ریزشبکه با در نظر گرفتن مدل دقیق بار و نیز مدل دقیق منبع تولید پراکنده مبتنی بر توربین بادی است. برای دستیابی به این هدف ابتدا مدلسازی سیگنال کوچک یک ریزشبکه با تکیه بر روش‌های پیشنهادی در مراجع صورت گرفته و سپس مدلسازی دقیق بارهای استاتیک و موتور القائی و توربین بادی مجهز به ژنراتور القائی دو تغذیه در قالب این روش ارائه خواهد گردید. بررسی تأثیر مدل بار بر پایداری سیستم با استفاده از آنالیز حساسیت و مشاهده تغییر مکان مقادیر ویژه در اثر تغییر پارامترهای مدل بار صورت می‌گیرد. پیاده‌سازی مشخصه افتی توان اکتیو-فرکانس و توان راکتیو-ولتاژ در کنترل مبدل سمت شبکه ژنراتور، قابلیت عملکرد آن را در ریزشبکه جزیره‌ای فراهم می‌سازد. بهبود پایداری سیگنال کوچک توربین بادی سرعت متغیر مجهز به ژنراتور القائی دو تغذیه با روش‌های آنالیز مودال و در سطوح مختلف بارگذاری ریزشبکه صورت خواهد گرفت. این بهبود از طریق تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی و با استفاده از الگوریتم تکاملی PSO صورت خواهد گرفت. برای شبیه‌سازی مدل‌های استخراجی وبیان نتایج، یک شبکه فشار متوسط با قابلیت نصب منابع تولید پراکنده انتخاب و مدلسازی در قالب منابع و بارهای این شبکه پیاده می‌شود. برای شبیه‌سازی حالت گذرای سیستم در حوزه زمان از محیط PSCAD/EMTDC و برای تحلیل سیگنال کوچک از محیط MATLAB استفاده می‌شود.