بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت

طراحی اینورتر متصل به شبکه بهبود یافته مورد استفاده در توربین بادی

استادان راهنما:

دکتر بهزاد میرزاییان

دکتر مهدی نیرومند

استاد مشاور:

دکتر حسین ابوترابی زارچی

پژوهشگر:

علی اسب افکن

مهر ماه ۱۳۹۱

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

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی مندسی برق گرایش قدرت آقای علی اسب‌افکن تحت

عنوان

طراحی اینورتر متصل به شبکه بهبود یافته مورد استفاده در توربین بادی

در تاریخ ۹۱/۱۱/۲۶ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر بهزاد میرزائیان با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا

۲- استاد راهنمای پایان نامه دکتر مهدی نیرومند با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۳- استاد مشاور پایان نامه مهندس حسین ابوترابی زارچی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور داخل گروه دکتر سید محمد مدنی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۵- استاد داور خارج از گروه دکتر احمدرضا تابش با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه

با سپاس فراوان از اساتید گرانقدر جناب آقایان دکتر بهزاد میرزاییان، مهدی نیرومند و حسین ابوترابی زارچی که با حمایت ها و راهنمودهای بی دریغشان، بنده را در انجام این پایان نامه یاری نمودند. همچنین از شرکت برق منطقه ای اصفهان به عنوان تنها حامی مالی این پایان نامه صمیمانه تشکر می کنم.

تقدیم به

مادرم، آنکه آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد.

چکیده

امروزه استفاده از منابع تولید پراکنده و به خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اینورتر متصل به شبکه، با عملکردی مشابه با یک ژنراتور سنکرون، نقش به سزایی در تزریق توان تولید شده و کنترل پارامترهای کیفیت توان مطابق با استانداردهای مورد نیاز دارد. با توجه به وجود آلودگی‌های هارمونیکی در ولتاژ شبکه و درنتیجه تاثیر مخرب آن در جریان خروجی، انتظار می‌رود که یک اینورتر، جریان کنترل شده‌ای را با اعوجاج بسیار کم به شبکه تزریق نماید. از این‌رو، کنترل جریان در مبدل‌های الکترونیک قدرت متصل به شبکه از اهمیّت بسیار زیادی برخوردار است. استفاده از فیلترهای مرتبه بالا به منظور کاهش هامونیک‌های جریان، تغییرات فرکانس و اندوکتانس شبکه، از جمله چالش‌های مهم در طراحی مبدل‌های متصل به شبکه هستند.

هدف از این تحقیق ارایه‌ی یک کنترل‌کننده‌ی جریان بهبود یافته است، به طوری که نیازهای حالت گذرا و دایمی را مطابق با استانداردهای موجود برآورده نماید. روش تحقیق به گونه‌ای است که ضمن بیان چالش‌ها، به بررسی انواع روش‌های کنترل جریان پرداخته و پس از معرفی کنترل‌کننده پیشنهادی در یک فرآیند طراحی تدریجی و گام به گام، اجزای اینورتر و کنترل‌کننده‌های جریان و ولتاژ طراحی می‌شود. از میان کنترل‌کننده‌های موجود، کنترل‌کننده‌ی تشدیدی به علت ایجاد بهره‌ی زیاد در فرکانس اصلی و یا هارمونیک‌های بالاتر، از جایگاه ویژه‌ی برخوردارند. استفاده از کنترل-کننده‌ی تشدیدی با چالش‌هایی نظیر نحوه‌ی پیاده‌سازی دیجیتال و نیز عدم کنترل همزمان فرکانس تشدید در هارمونیک‌های مختلف مواجه است. کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی، یک کنترل‌کننده وفقی مبتنی بر تکرار با قابلیت جبران همزمان هارمونیک‌های مختلف بوده و از این‌رو طراحی پهنای باند و تحلیل پایداری آن امری بسیار مهم و جدی به شمار می‌رود. در مواردی که (توان‌های بالا) اینورتر متصل به شبکه دارای قابلیت‌های دیگری نظیر کنترل توان راکتیو، فیلتراسیون فعال، کنترل ولـتاژ و فرکانس باشد، احتیاج به پاسخ دینامیکی سریع امری جدی می‌نماید. از این‌رو یک کنترل‌کننده شبه‌رزونانسی با هدف افزایش سرعت همگرایی نیز در کنترل‌کننده پیشنهادی تعبیه شده‌است. در پایان، ضمن بررسی انواع روش‌های کنترلی جذب توان بیشینه از توربین بادی، به شبیه‌سازی یکی از الگوریتم جدید در این زمینه پرداخته شده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی نیز برای یک توربین بادی متصل به اینورتر ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: اینورتر متصل به شبکه، کنترل جریان، کنترل‌کننده‌ی رزونانسی،کنترل‌کننده‌ی مبتنی بر تکرار، اعوجاج جریان، جذب توان بیشینه از باد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- چالش‌های موجود در اینورتر متصل به شبکه ۳

۱-۳- انگیزه و اهداف پایان نامه ۶

۱-۴- استراتژی دستیابی به هدف ۶

۱-۵-ساختار پایان‌نامه ۷

فصل دوم : کنترل جریان

۲-۱-مقدمه ۸

۲-۲-فیلترخروجی ۸

۲-۳- میرا نمودن پدیده تشدید ۱۰

۲-۴- مدلسازی سیستم ۱۲

۲-۴-۱- مدل PWM ۱۲

۲-۴-۲- مدل فیلتر ۱۴

۲-۵- بررسی روشهای مختلف کنترل جریان ۱۵

۲-۵-۱- کنترل‌کننده تناسبی-انتگرال(PI) ۱۶

۲-۵-۲- کنترل‌کننده تناسبی- تشدیدی ۱۹

۲-۵-۳- کنترل پیش بین ۲۳

۲-۵-۴- کنترل‌کننده‌ی هیسترزیس ۲۵

۲-۵-۵- کنترل بهینه ۲۵

۲-۵-۶- کنترل مد لغزشی ۲۶

۲-۵-۷- سیستم‌های شبکه عصبی و فازی ۲۶

۲-۵-۸- کنترل مقاوم ۲۶

عنوان **صفحه**

۲-۵-۹- کنترل‌کننده مبتنی بر تکرار(RC) ۲۷

۲-۶- جمع‌بندی فصل ۳۱

فصل سوم : کنترل‌کننده‌ی بهبود یافته

۳-۱-مقدمه ۳۱

۳-۲- تحلیل کنترل‌کننده‌یRC ۳۱

۳-۳- مدل گسسته RC و پایداری آن ۳۴

۳-۴- کنترل‌کننده‌ی RC وفقی ۳۸

۳-۴-۱- تغییر فرکانس نمونه برداری ۳۹

۳-۴-۲- درونیابی و نمونه برداری مجدد از سیگنال ۳۹

۳-۴-۳- استفاده از فیلترهای دیجیتال وفقی ۴۰

۳-۴-۴- محاسبه و جبران تابع تبدیل خطا با استفاده از تقریب مرتبه یک ۴۰

۳-۵-کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی ۴۱

۳-۶- جمع بندی فصل ۴۳

فصل چهارم : طراحی کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی

۴-۱-مقدمه ۴۵

۴-۲-طراحی فیلتر ۴۶

۴-۲-۱- طراحی L_1 ۴۸

۴-۲-۲- طراحی خازن فیلتر ۴۸

۴-۲-۳- طراحی سلف سمت شبکه ۴۹

۴-۳- طراحی بهره‌ی تناسبی و فیدبک جریان خازن ۵۱

۴-۴- افزودن کنترل‌کنندهRC به حلقه جریان ۵۴

۴-۴-۱- افزودن فیلتر پایین‌گذر و افزایش حاشیه‌ی پایداری ۵۵

۴-۵- بررسی پاسخ گذرای سیستم و اغتشاشات غیرپریودیک ۶۰

۴-۶- افزودن کنترل‌کننده تشدیدی با هدف بهبود پاسخ دینامیکی ۶۲

۴-۷-بدست آوردن سیگنال مرجع و حلقه قفل فرکانس ۶۴

عنوان **صفحه**

۴-۷-۱-افزودن حلقه قفل فرکانس به SOGI ۶۵

۴-۷-۱- تغییر فرکانس و افزودن قابلیت وفقی بودن ۶۷

۴-۷-۲- تغییر فرکانس و پاسخ کنترل‌کننده‌ها ۶۸

۴-۸- امکان تزریق جریان راکتیو در صورت نیاز ۷۱

۴-۹- طراحی خازن لینک DC و حلقه‌ی کنترل ولتاژ ۷۲

۴-۹-۱-طراحی خازن ۷۲

۴-۹-۲- طراحی حلقه کنترل ولتاژ ۷۳

۴-۱۰- جمع‌بندی فصل ۷۶

فصل پنجم :شبیه سازی الگوریتم وفقی جذب توان بهینه در توربین بادی

۵-۱- مقدمه ۷۹

۵-۲-توان باد ۷۹

۵-۳- مفهوم کیفی جذب توان بیشینه از باد ۸۰

۵-۴-روش‌های کنترلی با هدف جذب توان بهینه از توربین ۸۲

۵-۴-۱-روش‌های مبتنی بر حافظه ۸۴

۵-۴-۲- الگوریتم تغییر و نظاره ۸۵

۵-۵-روش‌های بهبود یافته ۸۶

۵-۵-۱- الگوریتم تغیر و نظاره با گام متغیر ۸۷

۵-۵-۲-روش ترکیبی Search-Remember-Reuse HCS ۸۷

۵-۵-۳- روش OT بهبود یافته به منظور افزایش پاسخ دینامیکی ۸۸

۵-۵-۴- روش کنترل TSR وفقی ۸۸

۵-۵-۵- روش OT وفقی ۸۸

۵-۵-۶-روش بهبود یافته وفقی $P\&O$ با قابلیت Self-Tuning ۸۹

۵-۵-۷-روش‌های مبتنی برمنطق فازی و یا شبکه عصبی ۸۹

۵-۵-۸-کنترل‌کننده‌های خطی و غیرخطی مبتنی بر فضای حالت ۸۹

۵-۶- شبیه سازی الگوریتم HCS با قابلیت Self-Tunning ۹۰

عنوان **صفحه**

۵-۶-۱- توضیح الگوریتم ۹۰
۵-۶-۲- شبیه‌سازی الگوریتم ۹۳
۵-۶-۳- شبیه‌سازی الگوریتم $P\&O$ بهبودیافته ۹۷
۵-۶-۴- شبیه سازی سیستم توربین بادی و اینورتر ۹۸
۵-۷- جمع‌بندی فصل ۱۰۰

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پیوست- الف ۱۰۵

منابع و مآخذ ۱۰۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱– ۱: نمایش نمونه‌هایی از منابع تولید پراکنده و پیکربندی اینورترمتصل به شبکه. ۲

شکل ۱– ۲: حلقه‌های کنترلی در یک اینورتر متصل به شبکه ۲

شکل ۱– ۳: تغییر فرکانس تشدید فیلتر و پهنای باند در اثر تغییراندوکتانس شبکه ۵

شکل ۱– ٤ : بروز ناپایداری فرکانس بالا در اثر افزایش اندوکتانس شبکه. ۵

شکل ۱– ۵: وقوع ناپایداری جریان در اثر افزایش اندوکتانس شبکه ۶

شکل ۲– ۱: نمایش فیلترهایLCL و LLCL و پاسخ فرکانسی آنها ۹

شکل ۲– ۲: تاثیر نقطه بازخورد در تابع انتقال و مکان هندسی ریشه‌ها ۱۰

شکل ۲– ۳: افزایش ضریب میرای سیستم با استفاده از مقاومت ۱۱

شکل ۲– ٤: ایجاد میرایی در سیستم با افزودن صفر و قطب و در نتیجه تغییر مکان هندسی ریشه‌ها. ۱۲

شکل ۲– ۵: نمایش اصول اولیه PWM. ۱۳

شکل ۲– ٦ : نمایش مدت زمان تاخیر برای اعمال سیگنال مدولاسیون پس از انجام محاسبات لازم ۱۳

شکل ۲– ۷: فیلتر LCL و عوامل تاثیر گذار در جریان خروجی ۱۴

شکل ۲– ۸ : نمایش حلقه کنترل جریان در اینورتر متصل به شبکه. ۱۵

شکل ۲– ۹: مدل سیستم در صورت استفاده از مقاومت مجازی ۱۵

شکل ۲– ۱۰: نمایش روشهای مختلف کنترل جریان. ۱۶

شکل ۲– ۱۱: استفاده از قابهای مرجع متفاوت برای حذف هارمونیکهای جریان. ۱۸

شکل ۲– ۱۲: پیاده سازیPI با جبران‌هارمونیکهای ۵ و۷ جریان و استفاده از فیدفوروارد شبکه ۱۸

شکل ۲– ۱۳: پاسخ فرکانسی کنترل‌کنندهی رزونانسی(راست) و شبه رزونانسی(چپ) ۲۰

شکل ۲– ۱٤: مدل ساده شده حلقه کنترل جریان ۲۱

شکل ۲– ۱۵: کنترل جریان و جبرآن‌هارمونیک‌های مرتبه پایین توسط کنترل‌کنندهی PR ۲۲

شکل ۲– ۱٦:پاسخ فرکانسیPR با جبرانساز هامونیکی نسبت به ورودی مرجع(بالا) و اغتشاش(پایین) ۲۲

عنوان **صفحه**

شکل ۲– ۱۷ استفاده از اپراتور دلتا و نمایش اثر آن در دقت پاسخ فرکانسی. ۲۳

شکل ۲– ۱۸: شکل موج جریان کنترل شونده با کنترلDeadbeat ۲۴

شکل ۲– ۱۹: نمایش نحوه عملکرد کنترل‌کننده‌ی هیسترزیس ۲۵

شکل ۲– ۲۰: استفاده از روش کنترل مقاوم در اینورتر متصل به شبکه ۲۷

شکل ۲– ۲۱: نمایش طرز کار کنترل‌کننده‌ی مبتنی بر تکرار ۲۸

شکل ۲– ۲۲: پاسخ فرکانسی کنترل‌کنندهRC ۲۹

شکل ۲– ۲۳: پاسخ نامطلوب کنترل‌کننده‌ی RC در برابر اغتشاش غیر متناوب ۳۰

شکل ۳– ۱: استفاده ترکیبی از کنترل‌کنندهRC به شیوه‌یPlug-in ۳۲

شکل ۳– ۲: پاسخ فرکانسی سیستم حلقه باز با حضور RC و فیلتر $Q(s)$ ۳۴

شکل ۳– ۳ : سیستم کنترل ترکیبی با کنترل‌کنندهRC ۳۵

شکل ۳– ٤: پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر دیجیتال در دو حالت علّی و غیرعلّی ۳۷

شکل ۳– ٥: نمایش سیگنالها و اجزای مورد استفاده در کنترل‌کنندهRC وفقی ۳۹

شکل ۳– ٦: استفاده از تابع $L(z)$ برای جبران تغییر فرکانس شبکه ۴۱

شکل ۳– ۷: نمایش بلوک دیاگرام کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی Adaptive RC+PR ۴۲

شکل ۳– ۸: پاسخ فرکانسی سیستم از دید RC با و بدون حضور کنترل‌کننده شبه رزونانسی ۴۳

شکل ٤– ۱: اینورتر تکفاز متصل به شبکه در یک نگاه. ۴۶

شکل ٤– ۲: مدار معادل فیلتر در فرکانس پایین(راست) و بالا(چپ). ۴۶

شکل ٤– ۳: نتایج اندازه‌گیری مقاومت و اندوکتانس و نمایش تغییرات امپدانس در طول ۱۰ ساعت ۴۹

شکل ٤– ٤: نمایش مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ برحسب مدولاسیون دامنه و فرکانس(K(h. ۵۰

شکل ٤– ٥: پاسخ فرکانسی فیلتر با مقادیر L_1=1000uh، L_2=300uh و C_f=6uf. ۵۱

شکل ٤– ٦: روش محاسبه ضرایب تناسبی با استفاده از ابزار طراحی Sisotool. ۵۲

شکل ٤– ۷: میزان اعوجاج ولتاژ در یک شبکه واقعی در زمان‌های مختلف ۵۳

شکل ٤– ۸: بستر طراحی تدریجی و شبیه‌سازی کنترل‌کننده پیشنهادی ۵۳

عنوان **صفحه**

شکل ٤- ٩ : وجود خطا و اعوجاج بالای جریان اینورتربا کنترل‌کننده تناسبی ۵۴

شکل ٤- ١٠: پاسخ فرکانسی سیستم با کنترل‌کنندهP+RC (ناپایدار) ۵۵

شکل ٤- ١١: پاسخ زمانی کنترل‌کنندهP+RC بدون فیلتر پایین‌گذر ۵۵

شکل ٤- ١٢: بلوک دیاگرام کنترل‌کنندهRC بافیلتر پایین‌گذر ۵۶

شکل ٤- ١٣: پاسخ فرکانسی سیستم با کنترل‌کنندهP+RC+Filter ۵۶

شکل ٤- ١٤: نمایش پاخ زمانی و مولفه‌های هارمونیکی سیستم با کنترل‌کنندهP+RC+Filter. ۵۷

شکل ٤- ١٥: نمایش قسمتی از مکان هندسی ریشه های سیستم حلقه باز باکنترل‌کنندهP+RC+Filter. ۵۷

شکل ٤- ١٦: نحوه پیاده سازیRC با فیلتر و جبرانساز پیشفاز z^3 ..... ۵۸

شکل ٤- ١٧: پاسخ فرکانسی برحسب کیلوهرتز سیستم به ازای $m=2$ ۵۹

شکل ٤- ١٨: پاسخ فرکانسی سیستم برحسب کیلوهرتز به ازای $m=3$ ۵۹

شکل ٤- ١٩: پاسخ فرکانسی سیستم برحسب کیلوهرتز به ازای $m=4$ ۶۰

شکل ٤- ٢٠: پاسخ گذرایP+RC نسبت به وقوع افت ولتاژ شبکه در زمان ۰/۳ ثانیه ۶۱

شکل ٤- ٢١: پاسخ گذرای کنترل‌کنندهP+RC در برابر تغییرات جریان مرجع ۶۱

شکل ٤- ٢٢: پاسخ فرکانسی کنترل‌کننده شبهرزونانسی اضافه شده به سیستم. ۶۲

شکل ٤- ٢٣: پاسخ گذرای PR+RC نسبت به وقوع افت ولتاژ شبکه در زمان ۰/۳ ثانیه. ۶۳

شکل ٤- ٢٤: پاسخ گذرای کنترل‌کنندهی PR+RC در برابر تغییرات جریان مرجع. ۶۳

شکل ٤- ٢٥: پاسخ فرکانسی سیستم بر حسب کیلوهرتز با کنترل‌کنندهPR+RC ۶۴

شکل ٤- ٢٦ : روش پیاده سازی SOGI ۶۵

شکل ٤- ٢٧: پاسخ فرکانسی SOGI و روابط حاکم برآن ۶۵

شکل ٤- ٢٨: پاسخ فرکانسی سیگنال خطا(ε_v) و مولفه عمود ولتاژ (qv') ساخته شده توسط SOGI. ۶۶

شکل ٤- ٢٩: بلوک دیاگرام فیلتر SOGI با حلقه قفل فرکانس ۶۶

شکل ٤- ٣٠: پاسخ زمانی SOGI-FLL در برابر تغییر فرکانس ۶۷

شکل ٤- ٣١: بلوک دیاگرام کنترلی برای شبیه‌سازی کنترل‌کننده مبتنی بر تکرار وفقی. ۶۸

شکل ٤- ٣٢: تغییرات فرکانس از ٤٩ به ٥١ و ٥٠ هرتز. ۶۸

شکل ٤- ٣٣: پاسخ کنترل‌کنندهP+RC دربرابر تغییر فرکانس ۶۹

عنوان **صفحه**

شکل ٤- ٣٤: پاسخ کنترل‌کننده PR+RC دربرابر تغییر فرکانس. ۶۹

شکل ٤- ٣٥: پاسخ کنترل‌کننده‌ی PR+Adaptive RC دربرابر تغییر فرکانس. ۷۰

شکل ۴- ۳۶: پاسخ کنترل‌کننده‌ی Adaptive RC+P دربرابر تغییر فرکانس. ۷۱

شکل ٤- ٣٧: نحوه ساخت جریان مرجع از روی مولفه‌های ولتاژ. ۷۱

شکل ٤- ٣٨: تزریق جریان راکتیو توسط اینورتر تکفاز ۷۲

شکل ٤- ٣٩: نمایش برداری جریان مرجع و مولفه‌های آن. ۷۳

شکل ٤- ٤٠: تولید هارمونیک‌های ناخواسته در جریان مرجع. ۷۴

شکل ٤- ٤١: نمایش حلقه‌ی کنترل ولتاژ خازن. ۷۴

شکل ٤- ٤٢: استفاده از فیلتر میان-نگذر به منظور حذف نوسانات ولتاژ از دید کنترل‌کننده. ۷۵

شکل ٤- ٤٣: نحوه مدلسازی سیستم در نرمافزار Matlab/Simulink. ۷۵

شکل ٥- ١: نمایش آشفتگی ایجاد شده در سیال به علت برخورد با پره‌های توربین. ۸۱

شکل ٥- ٢: نمایش منحنی های ضریب گشتاور و توان یک توربین بادی ۸۱

شکل ٥- ٣: مشخصه توان–سرعت توربین بادی ۸۲

شکل ٥- ٤: عدم انطباق سرعت بهینه شافت به ازای توان آیرودینامیک و توان الکتریکی خروجی. ۸۳

شکل ٥- ٥: تغییر مشخصه توان بهینه به ازای تغییرات سرعت باد. ۸۳

شکل ٥- ٦: نمایش روش PSF برای جذب توان بهینه از توربین. ۸۴

شکل ٥- ٧: نمایش الگوریتم تغییر و نظاره ۸۵

شکل ٥- ٨: نمایش عملکرد اشتباه الگوریتم تغییر و نظاره در اثر تغییر سرعت باد ۸۶

شکل ٥- ٩: الگوریتم $P\&O$ با گام متغیر و خطای تشخیص جهت در اثر تغییر سرعت باد ۸۷

شکل ٥- ١٠: نحوهی عملکرد الگوریتم در مُد دوم. ۹۱

شکل ٥- ١١: نمایش فلوچارت کنترلی روش وفقی $P\&O$ بهبود یافته ۹۲

شکل ٥- ١٢: شبیه‌سازی الگوریتم جذب توان بهینه. ۹۴

شکل ٥- ١٣: پروفایل سرعت باد مورد استفاده در شبیهسازی. ۹۵

شکل ٥- ١٤: پاسخ سیستم کنترلی HCS ساده با ورودی فرکانس پایین باد. ۹۶

عنوان **صفحه**

شکل ۵- ۱۵: پاسخ سیستم کنترلی HCS ساده با ورودی باد متلاطم. ۹۶
شکل ۵- ۱٦: پاسخ سیستم کنترلی HCS بهبود یافته با ورودی فرکانس پایین باد. ۹۷
شکل ۵- ۱۷: پاسخ سیستم کنترلی HCS بهبود یافته با ورودی باد متلاطم. ۹۸
شکل ۵- ۱۸: شکل مداری و بلوکهای کنترلی در توربین بادی و اینورتر متصل به شبکه ۹۹
شکل ۵- ۱۹: نتایج شبیه سازی توربین بادی متصل به اینورتر. ۱۰۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱– ۱: میزان مجاز هامونیک جریان براساس استاندارد IEEE1547 ..... ۴

جدول ٤– ۱: حد مجاز اعوجاج در مبدل های متصل به شبکه براساس استاندارد IEEE 519-1992. ..... ۴۷

جدول ٤– ۲: اعوجاج مجاز جریان نسبت به مولفه اصلی مطابق با استاندارد IEC61400-21. ..... ۴۷

جدول ٤– ۳: درصد اعوجاج هارمونیک‌های مختلف مورد استفاده در شبیه سازی(THD_v=6.57%) ۵۲

جدول ٤– ٤: مشخصات کنترل‌کننده شبه رزونانسی اضافه شده ۶۲

جدول ٤– ۵: مشخصات دینامیکی حلقه‌ی کنترل ولتاژ ۷۶

جدول ۵– ۱: مقادیر مورد استفاده در شبیه‌سازی ۹۳

کوتاه نوشت ها

APF	Active Power Filter
CC-VSI	Current Controlled Voltage Source inverter
DPGS	Distributed Power Generation Systems
EMI	Electro Magnetic Interference
FLL	Frequency Locked Loop
GCI	Grid-Connected Inverter
HCS	Hill-Climb-Search Method
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PCC	Piont of Common Coupling
PLL	Phase-Locked Loop
RC	Repetitive Controller
SCR	Short Circuit Ratio
SOGI	Second-Order Generalized Integrator
SPWM	Sinusoidal PWM
SVPWM	Space Vector PWM
THD	Total Harmonic Distortion
TSR	Tip-Speed-Ratio

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

بحران تامین انرژی، گرمای زمین و نیز آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه‌ی سوخت‌های فسیلی و یا اتمی، بسیاری از کشورها را به سمت برنامه‌ریزی‌های دقیق به منظور استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر سوق داده است. از سوی دیگر تولید متمرکز انرژی الکتریکی با کاستی‌هایی از قبیل تلفات قابل توجه انتقال، قابلیت اعتماد پایین، احتمال بروز ناپایداری و هزینه‌های سنگین توسعه همراه است. از این‌رو استفاده از منابع تولید پراکنده [1]در شبکه و ریز شبکه[2]ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. منابع تجدیدپذیری همچون انرژی باد، خورشید و امواج دریا دارای طبیعتی نوسانی بوده و نیازمند به سیستم‌های کنترلی مناسب به منظور استحصال توان بهینه[3]و همچنین تزریق توان الکتریکی مطابق با استانداردهای لازم و پارامترهای کیفیت توان می‌باشد. با توجه به شیوع روز افزون استفاده از منابع تولید پراکنده، اینورترهای متصل به شبکه[4] از تاثیر زیادی در شبکه‌های قدرت برخوردار بوده به طوری‌که امروزه قابلیت‌هایی نظیرکنترل ولتاژ و فرکانس، بهبود کیفیت توان و فیلتراسیون فعال، مبدل‌های متصل به شبکه را به اینورترهای چندکاره[5] تبدیل نموده است. برای مبدل های متصل به شبکه تاکنون استانداردهایی نظیرG59، IEEE Standard 929، ANSI/IEEE Standard 519-1992 و IEEE 1547-2003 وضع شده است که دراین پایان‌نامه از استاندارد IEEE 1547 استفاده خواهد شد. شکل۱-۱ نمونه‌هایی از منابع انرژی پاک و پیکربندی اینورترهای متصل به شبکه را نشان می‌دهد.در میان منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی بادی با ظرفیت جهانی نصب شده بالغ بر ۱۹۸ گیگاوات در سال ۲۰۱۰، با رشد سالیانه بیش از ۳۰ درصد، از اهمیت

[1] Distributed Power Generation Systems(DPGS)
[2] Micro Grid
[3] Maximum Power Point Tracking(MPPT)
[4] Grid-Connected Inverter(GCI)
[5] Multi-Functional Inverters