

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب افشین پاک نژاد دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی برق گرایش قدرت دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۴۴۴۳۵۴۱۰۴ که در تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۲۰ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان " کنترل مبدل‌های قدرت چندسطحی سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه با استفاده از کلیدزنی SVPWM و الگوریتم هوشمند به منظور بهبود توان اکتیو و راکتیو تزریق شده به شبکه " دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

- ۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
- ۲) مسؤلیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
- ۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
- ۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مأخذ ذکر نموده‌ام.
- ۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هرگونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
- ۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
- ۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: افشین پاک نژاد

امضا

تاریخ



دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه آموزشی برق-قدرت

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی برق گرایش قدرت

عنوان:

**کنترل مبدل‌های قدرت چندسطحی سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه با استفاده
از کلیدزنی SVPWM و الگوریتم هوشمند به منظور بهبود توان اکتیو و راکتیو
تزریق شده به شبکه**

استاد راهنما:

دکتر خلیل ولی پور

استاد مشاور:

دکتر یاشار هاشمی

پژوهشگر:

افشین پاک نژاد

تابستان ۱۳۹۶



دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه آموزشی برق - قدرت

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی برق گرایش قدرت




عنوان:

کنترل مبدل‌های قدرت چندسطحی سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه با استفاده از کلیدزنی SVPWM و الگوریتم هوشمند به منظور بهبود توان اکتیو و راکتیو تزریق‌شده به شبکه

پژوهشگر:

افشین پاک نژاد

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی خیلی خوب

امضاء	سمت	مرتبه‌ی علمی	نام و نام خانوادگی
	استاد راهنما و رئیس کمیته‌ی داوران	دانشیار	خلیل ولی‌پور
	داور	استاد	حسین شایقی
	داور	استادیار	فرزاد صداقتی

شهریور - ۱۳۹۶

تقدیم به :

استقامت پدر سرافراز
و مهربانی
مادر همیشه دلواپسم
دو تکیه‌گاه استوار من که
موهانشان سپید گشت تا
سفید روی بمانم

سپاسگزارى:

پس از ثنای بی حد بر آستان صفات بی همتای احدیت که در کمال رافت و در نهایت عطوفت رخصت اتمام این پایان نامه را به نگارنده عطا فرموده است.

بسی شایسته است که از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر خلیل ولی پور که همواره راهنما و راه‌گشای اینجانب در اتمام و اکمال این پایان نامه بوده‌اند و همچنین دکتر یاشار هاشمی که به عنوان استاد مشاور در کنار ما بودند کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

نام خانوادگی دانشجو: پاک‌نژاد	نام: افشین
عنوان پایان‌نامه: کنترل مبدل‌های قدرت چندسطحی سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه با استفاده از کلیدزنی SVPWM و الگوریتم هوشمند به منظور بهبود توان اکتیو و راکتیو تزریق‌شده به شبکه	
استاد راهنما: دکتر خلیل ولی‌پور استاد مشاور: دکتر یاشار هاشمی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: برق
گرایش: قدرت	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: فنی و مهندسی	تاریخ دفاع: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰
	تعداد صفحات: ۱۳۵
چکیده: با افزایش بحران گرمایش زمین ضرورت تولید انرژی بدون آلودگی به عنوان نیاز جوامع می‌باشد. سیستم تولید فتوولتائیک (PV) یکی از بهترین منابع انرژی تجدیدپذیر در دسترس برای خروج از بحران‌های انرژی است. این انرژی ایمن، پاک و به دور از آلودگی بوده و نیازمند تعمیرات و نگهداری پایین و پایدار می‌باشد. سیستم PV مستقل به وفور در مناطق دور افتاده که نیاز به تولید توان دارند مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از تجهیزات ذخیره‌ی انرژی در سیستم‌های مستقل هزینه‌ی کلی سیستم را افزایش می‌دهد. از این رو سیستم سه فاز متصل به شبکه برای کاهش هزینه‌ی سرمایه‌گذاری استفاده می‌شود. آرایه‌های PV به شبکه از طریق مبدل‌ها و اینورترها متصل می‌گردد. به دلیل حضور تجهیزات الکترونیک قدرت نیاز به سنکرونیزاسیون شبکه، کنترل جریان شبکه در طول شرایط عادی و خطا و کنترل توان اکتیو و راکتیو ضروری است. این پایان‌نامه طرح کنترلی جدیدی برای کنترل توان اکتیو و راکتیو تزریقی به شبکه‌های توزیع از واحدهای تولیدی فتوولتائیک (PV) را ارائه می‌کند. چنین طرحی با استفاده از توان اکتیو و راکتیو لحظه‌ای و استراتژی کنترل PI-PSO به دست می‌آید. کنترل‌کننده‌های تناسبی-انتگرالی (PI) در کاربردهای اتصال PV به شبکه برای کنترل پارامترهای سیستم تحت شرایط مختلف عمومیت دارد. مهم‌ترین مزیت کنترل‌کننده‌های PI شامل فرآیند ساده طراحی و مشخصه‌های عملکرد خوب هستند. به دلیل استفاده وسیع از کنترل‌کننده‌های PI، بهبود کیفی و مقاوم بودن ضروری است. در این پایان‌نامه عملکرد کنترل‌کننده PI با معرفی کنترل‌کننده PI-PSO بهبود داده شده است. تنظیم بهینه‌ی پارامترهای کنترل‌کننده PI-PSO، مقاومت سیستم را افزایش داده و کنترل بهینه‌ای را برای ارائه پاسخ بهتر سیستم فراهم می‌آورد. به علاوه برای بهبود بازده خروجی سیستم PV، روش اختلال و مشاهده (P&O) با اندازه‌ی گام متغیر جهت ردیابی نقطه بیشینه توان سیستم PV بر مبنای مبدل افزایشنده-کاهنده بیان شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها در Simulink نرم‌افزار Matlab به وضوح نشان می‌دهد که کنترل‌کننده طراحی شده عملکرد خوب و پاسخ دینامیکی سریع داشته و علاوه بر این کنترل‌کننده ارائه شده می‌تواند به صورت پایدار عمل کند.	
کلید واژه‌ها: کنترل‌کننده لحظه‌ای توان اکتیو و راکتیو، کنترل‌کننده PI-PSO، واحدهای فتوولتائیک سه فاز متصل به شبکه، روش اختلال و مشاهده (P&O)، MPPT، اینورتر چند سطحی، مبدل افزایشنده-کاهنده.	

فصل اول: کلیات پژوهش

۲	..... ۱-۱- مقدمه
۲	..... ۲-۱- بیان مسأله
۴	..... ۳-۱- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق
۶	..... ۴-۱- سوالات تحقیق
۶	..... ۵-۱- اهداف تحقیق
۶	..... ۶-۱- فرضیه‌های تحقیق
۷	..... ۷-۱- جنبه‌ی نوآوری پژوهش
۷	..... ۸-۱- طرح کلی پایان‌نامه

فصل دوم: مبانی نظری پژوهش

۹	..... ۱-۲- مقدمه
۹	..... ۲-۲- شماتیک کلی مولدهای خورشیدی متصل به شبکه
۱۱	..... ۳-۲- استانداردهای اتصال به شبکه
۱۲	..... ۱-۳-۲- ضروریات مبدل قدرت
۱۵	..... ۴-۲- انرژی فتوولتائیک
۱۷	..... ۵-۲- مبدل‌های DC به DC
۱۸	..... ۱-۵-۲- منابع تغذیه کلیدزنی
۲۰	..... ۶-۲- مبدل‌های الکترونیک قدرت DC-DC
۲۰	..... ۱-۶-۲- مبدل کاهنده
۲۳	..... ۲-۶-۲- مبدل افزایشنده
۲۳	..... ۳-۶-۲- مبدل افزایشنده-کاهنده
۲۴	..... ۷-۲- مدهای عملکرد
۲۴	..... ۱-۷-۲- مد هدایت پیوسته
۲۵	..... ۲-۷-۲- مد هدایت ناپیوسته
۲۵	..... ۸-۲- اینورتر DC به AC
۲۸	..... ۹-۲- پیشینه پژوهش
۳۶	..... ۱۰-۲- جمع‌بندی فصل

فصل سوم: مواد و روش پژوهش

۳۸	۱-۳-۱- مقدمه
۳۸	۲-۳- سلول‌های فتوولتائیک
۳۹	۱-۲-۳- مشخصه‌های سلول خورشیدی
۴۱	۲-۲-۳- مدل ریاضی سلول‌های خورشیدی
۴۵	۳-۲-۳- الگوریتم P & O برای ردیابی نقطه توان بیشینه
۴۶	۳-۳- مبدل افزایشنده-کاهنده (Buck-Boost)
۴۸	۴-۳- پیکربندی پنل‌های خورشیدی و مبدل‌ها
۵۰	۵-۳- ساختار مبدل
۵۱	۶-۳- اینورترهای قدرت
۵۱	۱-۶-۳- اینورترهای منبع ولتاژ
۵۲	۲-۶-۳- اینورترهای منبع ولتاژ سه فاز
۵۵	۷-۳- مدولاسیون پهنا‌ی پالس بردار فضایی (SVPWM)
۵۵	۱-۷-۳- مدولاسیون پهنا‌ی پالس در اینورترها
۵۵	۲-۷-۳- روش مدولاسیون پهنا‌ی پالس بر اساس امواج کریر (PWM)
۵۷	۳-۷-۳- SPWM برای VSI سه فاز
۶۰	۴-۷-۳- مدولاسیون پهنا‌ی پالس بردار فضایی (SVPWM) برای VSI سه فاز
۶۱	۵-۷-۳- بردار فضایی ولتاژ
۶۲	۶-۷-۳- مدولاسیون بردار فضایی
۶۵	۸-۳- اینورترهای چندسطحی
۶۶	۹-۳- مبدل‌های چند سلولی
۶۶	۱-۹-۳- مبدل‌های چند سلولی سری (CM)
۶۷	۲-۹-۳- دیود ثابت ساز
۶۸	۱۰-۳- مبدل‌های چند سلولی سری ترکیبی
۶۸	۱-۱۰-۳- پیکربندی
۶۹	۲-۱۰-۳- مدولاسیون
۷۱	۱۱-۳- کنترل توان راکتیو
۷۱	۱-۱۱-۳- تئوری دستگاه مرجع ساکن
۷۱	۱-۱۱-۳- دستگاه مرجع ساکن abc
۷۲	۲-۱۱-۳- دستگاه مرجع ساکن $\alpha\beta$
۷۲	۳-۱۱-۳- دستگاه مرجع سنکرون dq
۷۳	۱۲-۳- استراتژی و ساختار سیستم کنترل
۷۳	۱-۱۲-۳- ساختار سیستم کنترل مبدل
۷۵	۲-۱۲-۳- استراتژی کنترل جریان
۷۵	۱-۲-۱۲-۳- کنترل کننده PI در دستگاه مرجع $\alpha\beta$

۷۶	..... کنترل کننده PI در دستگاه مرجع سنکرون dq
۷۷	..... کنترل کننده هیستریزیس در دستگاه مرجع ساکن abc
۷۸	..... استراتژی کنترل ولتاژ و لثاژ
۷۹	..... کنترل کننده PI در دستگاه مرجع $\alpha\beta$
۸۰	..... کنترل کننده PI در دستگاه مرجع dq
۸۱	..... حلقه‌ی قفل فاز
۸۳	..... کنترل توان اکتیو و راکتیو
۸۵	..... الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
۸۸	..... طراحی کنترل کننده PI-PSO
۹۱	..... جمع‌بندی فصل

فصل چهارم: نتایج و یافته‌های پژوهش

۹۳	..... مقدمه
۹۳	..... شبیه‌سازی آرایه‌های خورشیدی و ردیابی نقطه توان بیشینه
۹۵	..... شبیه‌سازی مبدل افزایشنده-کاهنده و ردیابی نقطه توان بیشینه (MPPT)
۹۸	..... مدل‌سازی اینورتر منبع ولتاژ سه سطحی و شبکه متصل به سیستم PV
۱۰۰	..... مدل‌سازی روش کنترل پیشنهادی توان اکتیو و راکتیو
۱۰۱	..... تحلیل و بررسی نتایج شبیه‌سازی‌ها
۱۲۹	..... جمع‌بندی فصل

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و بحث

۱۳۱	..... نتیجه‌گیری
۱۳۲	..... پیشنهادات

۱۳۳ فهرست منابع و مآخذ
-----	--------------------------

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول ۱-۲: محدوده‌ی عملیاتی ولتاژ سیستم PV متصل به شبکه	۱۲
جدول ۲-۲: محدوده‌ی فلیکر	۱۳
جدول ۳-۲: محدوده‌ی هارمونیک جریان	۱۴
جدول ۴-۲: محدوده‌ی ضریب توان	۱۴
جدول ۱-۳: حالات متغیر کلید برای VSI سه فاز	۵۴
جدول ۱-۴: پارامترهای آرایه خورشیدی	۹۴
جدول ۲-۴: پارامترهای مبدل افزایشنده-کاهنده استفاده شده در شبیه‌سازی	۹۶
جدول ۳-۴: مقادیر پارامترهای سیستم شبیه‌سازی شده	۹۸
جدول ۴-۴: نتایج THD جریان و ولتاژ استراتژی پیشنهادی با دو روش کلیدزنی SPWM و SVPWM	۱۱۷
جدول ۴-۵: پارامترهای کنترل کننده PI-PSO	۱۲۶

- شکل ۱-۲: شماتیک سیستم PV متصل به شبکه از طریق ترانسفورماتور ۱۰
- شکل ۲-۲: منبع تغذیه کلیدزنی ۱۹
- شکل ۳-۲: بلوک دیاگرام مبدل DC به DC ۲۰
- شکل ۴-۲: ساختار مدار پایه مبدل کاهنده ۲۱
- شکل ۵-۲: مبدل کاهنده ۲۱
- شکل ۶-۲: شماتیک مبدل کاهنده ۲۲
- شکل ۷-۲: مدار پایه مبدل افزایشنده ۲۳
- شکل ۸-۲: مدار پایه مبدل افزایشنده-کاهنده ۲۴
- شکل ۹-۲: شکل موج جریان سلف مبدل با کلیدزنی PWM ۲۶
- الف) مد هدایت پیوسته (ب) مرز مد هدایت پیوسته و ناپیوسته (ج) مد هدایت ناپیوسته
- شکل ۱۰-۲: توان لحظه‌ای سه فاز و مجموع توان‌ها به صورت خط توپیر ۲۶
- شکل ۱۱-۲: اینورتر سه فاز تمام پل VSI ۲۷
- شکل ۱-۳: مشخصه‌های V-I آرایه‌های سلول‌های PV ۴۰
- الف) برای مقادیر مختلف تابش S در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد
ب) برای مقادیر مختلف دمای T در 1000 W/m^2
- شکل ۲-۳: مشخصه‌های P-V آرایه‌های سلول‌های PV ۴۱
- شکل ۳-۳: مدل‌های مدار معادل سلول PV ۴۲
- الف) مدل یک دیود (ب) مدل دو دیود (ج) معادل ساده شده PV
- شکل ۴-۳: نقاط عملکرد سلول PV ۴۳
- شکل ۵-۳: مدار معادل شرایط مدار باز ۴۴
- شکل ۶-۳: مدار معادل شرایط اتصال کوتاه ۴۴
- شکل ۷-۳: تقاطع مشخصه‌ی V-I و نمودار مشخصه‌ی بار ۴۵
- شکل ۸-۳: فلوچارت الگوریتم P&O برای ردیابی نقطه توان بیشینه ۴۶
- شکل ۹-۳: بلوک دیاگرام مبدل افزایشنده-کاهنده ۴۷
- شکل ۱۰-۳: پیکربندی پنل‌های خورشیدی و اینورترهای قدرت ۴۸
- شکل ۱۱-۳: پیکربندی پایه مبدل PV ۵۰
- شکل ۱۲-۳: ولتاژ خروجی AC تولید شده با VSI ۵۳
- الف) پیکربندی تبدیل توان الکتریکی (ب) شکل موج‌های ورودی ایده‌آل (AC شبکه) و خروجی (بار)
ج) شکل موج‌های ورودی واقعی (AC شبکه) و خروجی (بار)

- شکل ۳-۱۳: پیکربندی VSI سه فاز ۵۴
- شکل ۳-۱۴: مبدل ولتاژ تمام پل (VSI)، شکل موج های ایده آل برای SPWM ($m_a=0.8$, $m_f=0.9$) ۵۹
- الف) سیگنال های کریر مدولاسیون ب) حالت کلید S_1 ج) حالت کلید S_3
- د) ولتاژ خروجی ac و) طیف ولتاژ خروجی ac ه) جریان خروجی ac
- ز) جریان dc ک) طیف جریان dc گ) جریان کلید S_1 خ) جریان دیود D_1
- شکل ۳-۱۵: ساختار اینورتر منبع ولتاژ سه ساق ۶۰
- شکل ۳-۱۶: ساختارهای ۸ حالت کلیدزنی اینورتر منبع ولتاژ ۶۰
- شکل ۳-۱۷: پیکربندی $I-V_{l(pnn)}$ اینورتر منبع ولتاژ سه فاز ۶۱
- شکل ۳-۱۸: بیان ساختار پیکربندی ۱ در صفحه $\alpha - \beta$ ۶۱
- شکل ۳-۱۹: بردارهای ولتاژ غیر صفر در صفحه $\alpha - \beta$ ۶۲
- شکل ۳-۲۰: پیکربندی های ولتاژ خروجی صفر ۶۳
- شکل ۳-۲۱: نمایش بردارهای ولتاژ صفر در صفحه $\alpha - \beta$ ۶۳
- شکل ۳-۲۲: بردارهای ولتاژ خروجی در صفحه $\alpha - \beta$ ۶۳
- شکل ۳-۲۳: خروجی ولتاژهای خط در حوزة زمان ۶۳
- شکل ۳-۲۴: ترکیب بردار ولتاژ خروجی مورد نیاز در سکتور ۱ ۶۴
- شکل ۳-۲۵: طبقه بندی اینورترها ۶۶
- شکل ۳-۲۶: مبدل چند سلول سری ۵ سطحی ۶۷
- شکل ۳-۲۷: دیود ثابت ساز ۶۷
- شکل ۳-۲۸: روش مفهومی سلول ۶۸
- شکل ۳-۲۹: مبدل چند سلولی ترکیب ۷ سطحی ۶۹
- شکل ۳-۳۰: شماتیک مدولاسیون اینورتر MMC ۷۰
- شکل ۳-۳۱: سیگنال دو فاز با محور متعامد در دستگاه مرجع ساکن و دستگاه مرجع سنکرون ۷۱
- شکل ۳-۳۲: ساختار سیستم کنترل مبدل متصل به شبکه ۷۴
- شکل ۳-۳۳: کنترل جریان با کنترل کننده PI در دستگاه مرجع $\alpha\beta$ ۷۶
- شکل ۳-۳۴: کنترل جریان با کنترل کننده PI در دستگاه مرجع dq ۷۷
- شکل ۳-۳۵: کنترل کننده هیستریزس جریان در دستگاه مرجع abc ۷۸
- شکل ۳-۳۶: استراتژی کنترل ولتاژ در دستگاه مرجع $\alpha\beta$ ۸۰
- شکل ۳-۳۷: استراتژی کنترل ولتاژ با کنترل کننده PI در دستگاه مرجع dq ۸۱
- شکل ۳-۳۸: مدار پایه PLL ۸۱
- شکل ۳-۳۹: شماتیک PLL با تبدیلات مرجع ۸۲
- شکل ۳-۴۰: شماتیک استراتژی پیشنهادی برای کنترل توان اکتیو و راکتیو سیستم PV متصل به شبکه ۸۳
- شکل ۳-۴۱: فلوچارت الگوریتم PSO استاندارد ۸۹
- شکل ۳-۴۲: سیستم عملکرد الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات برای تنظیم پارامترهای کنترل کننده PI ۹۰
- شکل ۴-۱: مدل Matlab/Simulink سلول خورشیدی ۹۴
- شکل ۴-۲: تغییرات جریان PV در مقابل ولتاژ ۹۵
- شکل ۴-۳: تغییرات توان PV در مقابل ولتاژ ۹۵
- شکل ۴-۴: مدل سازی مبدل افزایشنده-کاهنده ۹۷

- شکل ۴-۵: مدل سازی الگوریتم P&O به منظور ردیابی نقطه توان بیشینه ۹۷
- شکل ۴-۶: مدل سازی پنل PV متصل به شبکه از طریق اینورتر سه سطحی به همراه بار محلی ۹۹
- شکل ۴-۷: شماتیک کلی استراتژی کنترل توان اکتیو و راکتیو در محیط سیمولینک نرم افزار متلب ۱۰۱
- (الف) شماتیک کلی استراتژی کنترل توان اکتیو و راکتیو
- (ب) شماتیک کنترل کننده توان اکتیو
- (ج) شماتیک کنترل کننده توان راکتیو
- شکل ۴-۸: ولتاژ و جریان دو سر بار تزریقی از طرف پنل های خورشیدی ۱۰۲
- شکل ۴-۹: تصویر بزرگنمایی شده ولتاژ و جریان دو سر بار تزریقی از طرف پنل های خورشیدی ۱۰۲
- شکل ۴-۱۰: تصویر بزرگنمایی شده ولتاژ فاز A ۱۰۳
- شکل ۴-۱۱: تصویر بزرگنمایی شده جریان فاز A ۱۰۳
- شکل ۴-۱۲: ولتاژ و جریان تزریقی به سمت شبکه ۱۰۴
- شکل ۴-۱۳: تصویر بزرگنمایی شده ولتاژ و جریان تزریقی به سمت شبکه ۱۰۴
- شکل ۴-۱۴: توان اکتیو نقطه ی اتصال به شبکه ۱۰۵
- شکل ۴-۱۵: توان راکتیو نقطه ی اتصال به شبکه ۱۰۵
- شکل ۴-۱۶: ولتاژ و جریان نقطه ی اتصال مشترک شبکه و پنل های خورشیدی ۱۰۶
- شکل ۴-۱۷: تصویر بزرگنمایی شده ولتاژ و جریان نقطه ی اتصال مشترک شبکه و پنل های خورشیدی ۱۰۶
- شکل ۴-۱۸: خروجی ولتاژ پنل های خورشیدی در نقطه ی اتصال به شبکه ۱۰۷
- شکل ۴-۱۹: خروجی جریان پنل های خورشیدی در نقطه ی اتصال به شبکه ۱۰۷
- شکل ۴-۲۰: ولتاژ و جریان تزریقی به سمت شبکه ۱۰۸
- شکل ۴-۲۱: تصویر بزرگنمایی شده از ولتاژ و جریان تزریقی به سمت شبکه ۱۰۸
- شکل ۴-۲۲: توان اکتیو خروجی در نقطه ی مشترک برای آزمایش دوم ۱۰۹
- شکل ۴-۲۳: توان راکتیو خروجی در نقطه ی مشترک برای آزمایش دوم ۱۰۹
- شکل ۴-۲۴: شکل موج جریان خروجی با استفاده از روش معمول کنترل در دستگاه مرجع سنکرون ۱۱۰
- شکل ۴-۲۵: تصویر بزرگنمایی شکل موج جریان خروجی با استفاده از روش معمول کنترل در دستگاه مرجع سنکرون ۱۱۱
- شکل ۴-۲۶: شکل موج ولتاژ خروجی با استفاده از روش معمول کنترل در دستگاه مرجع سنکرون ۱۱۱
- شکل ۴-۲۷: شکل موج ولتاژ خروجی با استفاده از روش معمول کنترل در دستگاه مرجع سنکرون ۱۱۲
- شکل ۴-۲۸: خروجی توان اکتیو با استفاده از روش معمول کنترل در دستگاه مرجع سنکرون ۱۱۲
- شکل ۴-۲۹: خروجی توان راکتیو با استفاده از روش معمول کنترل در دستگاه مرجع سنکرون ۱۱۳
- شکل ۴-۳۰: ولتاژ و جریان نقطه ی اتصال مشترک شبکه و پنل های خورشیدی با کلیدزنی SPWM ۱۱۴
- شکل ۴-۳۱: تصویر بزرگنمایی شده ولتاژ فاز A ۱۱۴
- شکل ۴-۳۲: تصویر بزرگنمایی شده جریان فاز A ۱۱۵
- شکل ۴-۳۳: THD جریان فاز A با روش کلیدزنی SVPWM ۱۱۵
- شکل ۴-۳۴: THD ولتاژ فاز A با روش کلیدزنی SVPWM ۱۱۶
- شکل ۴-۳۵: THD جریان فاز A با روش کلیدزنی SPWM ۱۱۶
- شکل ۴-۳۶: THD ولتاژ فاز A با روش کلیدزنی SPWM ۱۱۷
- شکل ۴-۳۷: شکل موج ولتاژ و جریان در نقطه ی مشترک ۱۱۸
- شکل ۴-۳۸: تصویر بزرگنمایی شده شکل موج ولتاژ و جریان در نقطه ی مشترک ۱۱۸

- شکل ۴-۳۹: ولتاژ نقطه‌ی اتصال مشترک در زمان تغییر توان اکتیو و راکتیو ۱۱۹
- شکل ۴-۴۰: جریان نقطه‌ی اتصال مشترک در زمان تغییر توان اکتیو و راکتیو ۱۱۹
- شکل ۴-۴۱: پاسخ ولتاژ و جریان در سمت شبکه ۱۲۰
- شکل ۴-۴۲: تصویر بزرگنمایی شده پاسخ ولتاژ و جریان در سمت شبکه ۱۲۰
- شکل ۴-۴۳: پاسخ توان اکتیو ۱۲۱
- شکل ۴-۴۴: پاسخ توان راکتیو ۱۲۱
- شکل ۴-۴۵: پاسخ ولتاژ و جریان در نقطه‌ی اتصال مشترک برای آزمایش چهارم ۱۲۲
- شکل ۴-۴۶: پاسخ توان اکتیو در نقطه‌ی اتصال مشترک ۱۲۳
- شکل ۴-۴۷: پاسخ توان راکتیو در نقطه‌ی اتصال مشترک ۱۲۳
- شکل ۴-۴۸: ولتاژ سه فاز در نقطه‌ی اتصال مشترک ۱۲۴
- شکل ۴-۴۹: جریان‌های سه فاز نقطه‌ی اتصال مشترک شبکه و سیستم PV ۱۲۵
- شکل ۴-۵۰: تصویر بزرگنمایی شده از جریان‌های سه فاز نقطه‌ی اتصال مشترک شبکه و سیستم PV ۱۲۵
- در زمان افزایش توان اکتیو درخواستی
- شکل ۴-۵۱: تصویر بزرگنمایی شده از جریان‌های سه فاز نقطه‌ی اتصال مشترک شبکه و سیستم PV ۱۲۶
- در زمان کاهش توان اکتیو درخواستی
- شکل ۴-۵۲: الگوی تغییرات تابش ۱۲۷
- شکل ۴-۵۳: تغییرات توان اکتیو با تغییر تابش خورشید ۱۲۷
- شکل ۴-۵۴: تغییرات توان راکتیو با تغییر تابش خورشید ۱۲۸
- شکل ۴-۵۵: ولتاژ و جریان فاز A در نقطه‌ی اتصال مشترک ۱۲۸
- شکل ۴-۵۶: تصویر بزرگنمایی شده از ولتاژ و جریان فاز A در نقطه‌ی اتصال مشترک ۱۲۹

فهرست علائم اختصاری

علامت اختصاری	مفهوم یا توضیح
PCC	نقطه‌ی اتصال مشترک
SVPWM	مدولاسیون پهنا‌ی پالس بردار فضایی
MLI	اینورتر چندسطحی
PV	فتوولتائیک
P&O	روش اختلال و مشاهده
VSI	اینورتر منبع ولتاژ
MPPT	ردیابی نقطه توان بیشینه
PSO	بهینه‌سازی اجتماع ذرات
SPWM	مدولاسیون پهنا‌ی پالس سینوسی
THD	اعوجاج هارمونیک کل
SMPS	منابع تغذیه کلیدزنی
PLL	حلقه‌ی قفل فاز
CCM	مد هدایت پیوسته
DCM	مد هدایت ناپیوسته

فصل اول:

کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش تقاضای انرژی، افزایش قیمت توان و ملاحظات زیست‌محیطی در کشورهای پیشرفته رویکرد به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یافته است. نتیجه این موضوع افزایش شدید تحقیقات در خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر است. منابع انرژی تجدیدپذیر اغلب در مقایسه با نیروگاه‌های معمول، کوچک بوده و اکثراً حول شبکه توزیع پراکنده شده‌اند، بنابراین اغلب در بخش توزیع انرژی سهیم بوده و شامل منابعی از قبیل خورشید، باد و امواج دریا می‌باشد. انرژی تولید شده توسط سلول‌های خورشیدی به دلیل مزایای آن‌ها روز به روز در حال افزایش و با ظهور ادوات الکترونیک قدرت این انرژی پاک دیگر به صورت مجزا از شبکه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. اتصال این مولدهای انرژی به شبکه چالش‌های جدیدی از جمله کنترل توان اکتیو و راکتیو، کنترل هارمونیک تزریقی به شبکه و بهبود بازده سیستم را در پی دارد. در این پایان‌نامه به منظور کنترل توان اکتیو و راکتیو مولد PV متصل به شبکه شبیه‌سازی‌های سیستم انجام و تحلیل و بررسی‌های لازم صورت خواهد گرفت.

۱-۲- بیان مسأله

برای چندین دهه‌ی گذشته انرژی بر پایه منابع انرژی تجدیدناپذیر همانند نفت، گاز، زغال و نیروگاه‌های توان هسته‌ای استوار بود. بحران انرژی در سال ۱۹۷۳ به‌کارگیری تدریجی منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان منبع مولد و غیرآلاینده انرژی الکتریکی را امکان‌پذیر کرد. سرمایه‌گذاری در انرژی‌های نو به‌ویژه انرژی فتوولتائیک به سرعت در جهان در حال رشد است. سیستم‌های PV در سال‌های نخستین به صورت مستقل و وسیعی برای تأمین انرژی برق مناطق دور افتاده به‌کار گرفته می‌شد. با پیشرفت الکترونیک قدرت امکان اتصال سیستم‌های فتوولتائیک به شبکه فراهم شد. سیستم PV خورشیدی متصل به شبکه شامل مولدهای PV است که انرژی الکتریکی را از تبدیل توان تابشی آفتاب و کنترل مبدل متصل به شبکه فراهم می‌آورد. کوچک‌ترین واحد از مولدهای PV یک سلول خورشیدی است و مولدهای PV بزرگتر با استفاده از اتصال تعداد بسیار زیادی از این سلول‌ها به یکدیگر به صورت سری و موازی ایجاد می‌شود. صنعت امروزی بایستی به تعدادی از موضوعات فنی جهت تحویل توان با

کیفیت مشخص از سلول‌های خورشیدی رسیدگی نماید. یکی از مهم‌ترین این موضوعات توسعه‌ی تکنیک‌های کنترل این سیستم‌ها برای توسعه‌ی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر است. انرژی فتوولتائیک نیازمند استفاده مؤثر از تکنیک‌های کنترلی پیشرفته است. به طور کلی اتصال ایمن و کارآمد سیستم PV بدون استفاده وسیع از تکنیک‌های کنترل در تمامی سطوح فراهم نخواهد آمد.

از سوی دیگر با توجه به اینکه اتصال سیستم فتوولتائیک به شبکه از طریق مبدل‌های قدرت صورت می‌گیرد، بایستی با تولید انرژی با ضریب توان بالا و کیفیت جریان مناسب تزریق شده به شبکه همراه باشد. استفاده از این مبدل‌ها به عنوان میانجی پل‌های PV با شبکه، تکنولوژی جدیدی نیست و تکنولوژی مشابهی در مبدل فیوسل‌ها، مبدل‌های انرژی بادی و درایوهای موتورهای الکتریکی استفاده می‌شود با این وجود هر یک از این مبدل‌ها همواره دارای ملاحظات و مشخصات ویژه خود در موارد مختلف هستند.

یک جنبه‌ی مهم برای سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه، قابلیت عملکرد این سیستم‌ها به صورت جبرانگرهای توان اکتیو و راکتیو است. ضریب توان مناسب بر اساس تقاضای توان اکتیو و راکتیو شبکه انتخاب می‌شود. سیستم PV می‌تواند توان راکتیو را به شبکه الکتریکی، زمانی که تابش خورشید کم است تزریق نماید. جبران توان راکتیو در ساعات پیک بار هنگامی که شبکه اصلی نیاز به مقدار توان راکتیو بالاتری از مصرف متوسط دارد بسیار مهم است. هرچند سیستم فتوولتائیک در چنین شرایطی، توان اکتیو تولید نمی‌کند ولی می‌تواند توان راکتیو بالاتر از مقدار بیشینه تأمین نماید. استراتژی‌های مناسب کنترل اینورتر نه تنها بایستی قادر به کنترل توان اکتیو باشند بلکه بایستی برای تغییر دامنه‌ی توان راکتیو تزریقی به شبکه نیز به صورت دینامیکی پیکربندی گردد.

در این پایان‌نامه با توجه به مطالب اساسی مطرح شده‌ی فوق، جهت اتصال سیستم‌های PV به شبکه از اینورتر چندسطحی که با استراتژی مدولاسیون پهنای پالس بردار فضایی (SVPWM) جهت کاهش هارمونیک جریان تزریقی کلیدزنی می‌شود استفاده خواهد شد. همچنین کنترل توان اکتیو و راکتیو شبکه با توجه به تقاضای شبکه و شرایط آب و هوایی انجام و الگوریتم PSO برای تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی استفاده خواهد شد. کنترل‌کننده مناسب برای مبدل افزایشنده-کاهنده جهت تثبیت

ولتاژ و بهبود عملکرد سیستم‌های PV جهت اتصال به اینورتر چندسطحی تحت شرایط تغییرات تابش و دمای خورشید طراحی و عملکرد کلی سیستم با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی در محیط Simulink نرم‌افزار Matlab بررسی خواهد شد.

۳-۱- ضرورت و اهمیت پژوهش

در سال‌های اخیر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌طور وسیعی افزایش یافته است. دلیل این امر افزایش تقاضا برای مصرف انرژی، افزایش قیمت و احتیاج به داشتن منابع انرژی دوستدار محیط زیست می‌باشد. منابع انرژی تجدیدپذیر اغلب بسیار کوچک (در مقایسه با منابع انرژی سنتی) بوده و اکثراً پیرامون شبکه قدرت پراکنده شدند، بنابراین اغلب با عنوان منابع تولید پراکنده مطرح هستند و شامل منابعی مانند انرژی خورشید، باد و امواج می‌باشد. انرژی خورشیدی تولیدی از سلول‌های PV به عنوان منبع تجدیدپذیر به دلیل مزایایی همچون عدم وجود هزینه سوخت، تعمیرات و نگهداری پایین، نویز کم و عدم وجود قسمت‌های متحرک در حال افزایش است. بنابراین به صورت تئوری این منبع ایده‌آل است اما در عمل چندین مشکل برای این سیستم وجود دارد. این سیستم دارای هزینه‌ی نصب بالا، بازده تبدیل انرژی کم و نگرانی‌هایی در خصوص عکس‌العمل با دیگر سیستم‌ها است. تزریق هارمونیک‌های جریان، طراحی مبدل‌های با بازده بالا، دریافت بیشینه انرژی از سلول‌های خورشیدی و تثبیت ولتاژ خروجی این سلول‌ها در شرایط مختلف تابش و دمای خورشید مسائل بسیار مهمی هستند که بایستی پژوهش‌های متنوعی بر روی آن‌ها صورت گیرد. اخیراً استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین برق به صورت متصل به شبکه به سرعت در حال رشد است. اما مسأله اصلی در الگوریتم‌های کنترلی مدارهای واسطه‌های الکترونیکی سیستم‌های فتوولتائیک، تزریق بیشینه توان اکتیو قابل دریافت از خورشید به شبکه می‌باشد. البته با توجه به امکان کنترل توان راکتیو به دلیل افزایش ظرفیت مبدل‌های الکترونیکی در نیروگاه‌های بزرگ و اهمیت کنترل توان راکتیو در بهبود حاشیه پایداری ولتاژ سیستم قدرت و کاهش تلفات، اخیراً بحث کنترل توان راکتیو توسط مبدل‌های نیروگاه‌های فتوولتائیک نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. یک نیروگاه فتوولتائیک از مبدل‌های الکترونیکی متعددی تشکیل شده که

توان خروجی آن‌ها در طول شبانه‌روز در بازه‌ی گسترده‌ای تغییر می‌کند و در شرایط ابری و یا شب‌هنگام توان اکتیو خروجی مبدل‌ها بسیار کم‌تر از ظرفیت نامی آن‌هاست. با به‌کارگیری روش‌های کنترلی مناسب، می‌توان از این ظرفیت استفاده نشده برای تبادل توان راکتیو با شبکه استفاده نمود و یا حتی در شرایط اضطراری می‌توان میزان تبادل توان اکتیو نیروگاه را به منظور تزریق توان راکتیو کاهش داد. در این پایان‌نامه با به‌کارگیری مبدل چندسطحی برای اتصال سلول‌های خورشیدی به شبکه و استفاده از الگوریتم کلیدزنی SVPWM سعی در بهبود عملکرد هارمونیک و کنترل توان اکتیو و راکتیو تزریقی به شبکه به عنوان یکی از قابلیت‌های مهم سیستم‌های PV خواهیم داشت. به منظور ایجاد سیستمی مقاوم در برابر تغییرات تابش و دمای خورشید از مبدل افزایشنده-کاهنده جهت کنترل ولتاژ ورودی مبدل چند-سطحی استفاده خواهد شد و به منظور بهینه‌سازی و بهبود عملکرد دینامیکی و همچنین تسهیل و تسریع پاسخ‌دهی سیستم، الگوریتم بهینه‌سازی PSO برای تنظیم پارامترهای کنترلی سیستم به‌کار گرفته خواهد شد. اینورترهای چندسطحی به عنوان یک تکنولوژی در حال توسعه کاربردهای بسیاری در صنعت پیدا کرده است و پیکربندی‌های متعددی از این مبدل‌ها ارائه شده است. اخیراً این مبدل‌ها در کاربردهای متنوعی همچون ادوات FACTS، درایو موتورهای الکتریکی و انواع انرژی‌های نو به‌کار گرفته شده‌اند. منابع انرژی نو همچون انرژی فتوولتائیک، باد و پیل‌های سوختی به راحتی با استفاده از این مبدل‌ها می‌توانند به شبکه قدرت متصل شوند. این مبدل‌ها دارای چندین مزیت نسبت به دیگر مبدل‌های معمول هستند که تولید ولتاژ با اغتشاشات کم و کاهش استرس ولتاژ بر روی کلیدهای قدرت و در نتیجه کاهش تداخل امواج الکترومغناطیسی و همچنین کاهش هارمونیک جریان برخی از آن‌ها می‌باشد. دلیل اصلی استفاده از الگوریتم کلیدزنی SVPWM در این پایان‌نامه را می‌توان کاهش هارمونیک‌های خروجی ولتاژ و جریان اینورتر بیان کرد. در این روش به طور همزمان سه کلید قدرت به طور مستقل عمل و هشت حالت کلیدزنی را فراهم می‌کنند که دو حالت از آن‌ها بردار صفر نامیده می‌شوند. این روش قادر به کاهش اعوجاج هارمونیک کلی (THD) بوده و با استفاده از این الگوریتم کلیدزنی می‌توان هارمونیک‌های جریان با مرتبه‌های پایین را محدود کرد که فیلترهای همانند LC و LCL قادر به کاهش

آن نیستند. شبیه‌سازی‌ها در محیط Simulink نرم‌افزار MATLAB انجام و نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار خواهند گرفت.

۱-۴- سوالات تحقیق

- آیا با استفاده از مبدل چندسطحی برای اتصال سیستم فتوولتائیک به شبکه برق سراسری و همچنین الگوریتم PSO برای تنظیم پارامترهای کنترلی می‌توان توان اکتیو و راکتیو تقاضا شده از سوی شبکه را تحت شرایط مختلف به صورت بهینه و کارآمد کنترل نمود؟
- آیا می‌توان از الگوریتم کلیدزنی SVPWM برای بهبود عملکرد مبدل چندسطحی استفاده نمود؟
- نقش مبدل افزایشنده-کاهنده در بهبود عملکرد کلی سیستم چیست؟

۱-۵- اهداف پژوهش

برخی از اهداف مدنظر در این پایان‌نامه که مورد بررسی و پژوهش قرار خواهد گرفت را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- بررسی مسائل و مشکلات ناشی از اتصال سیستم‌های فتوولتائیک به شبکه برق سراسری
- به‌کارگیری مبدل چندسطحی برای اتصال سیستم PV به شبکه و استفاده از الگوریتم کلیدزنی SVPWM به منظور کاهش هارمونیک جریان تزریقی به شبکه
- کنترل بهینه توان اکتیو و راکتیو تزریق شده به شبکه از سوی سیستم PV با استفاده از الگوریتم PSO جهت تنظیم پارامترهای کنترلی
- به‌کارگیری مبدل افزایشنده-کاهنده جهت اتصال و کنترل ولتاژ خروجی پنل‌های خورشیدی متصل به اینورتر چندسطحی
- تحلیل و بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی

۱-۶- فرضیه‌های تحقیق

- استفاده از مبدل چندسطحی برای اتصال سیستم PV به شبکه، هارمونیک جریان تزریقی به شبکه را کاهش خواهد داد.

- استفاده از مبدل افزایشنده-کاهنده برای کنترل و تثبیت ولتاژ خروجی پنل‌های خورشیدی در شرایط مختلف تغییر تابش خورشید مؤثر و کارآمد خواهد بود.
- کنترل توان اکتیو و راکتیو تزریقی به شبکه با توجه به تقاضای بار از سوی شبکه با استفاده از سیستم پیشنهادی اینورتر چندسطحی با کلیدزنی SVPWM و تنظیم پارامترهای کنترل‌کننده‌های سیستم با الگوریتم PSO عملکرد مناسبی نشان خواهد داد.

۱-۷- جنبه‌ی نوآوری پژوهش

استفاده از روش کنترل توان اکتیو و راکتیو مستقیم ارائه شده بدون نیاز به تبدیلات مرجع، بهره‌مندی از الگوریتم هوشمند بهینه‌سازی اجتماع ذرات برای تنظیم سیستم کنترل توان اکتیو و راکتیو تزریق شده به شبکه از طریق سیستم‌های فتوولتائیک، به همراه ردیابی بهینه نقطه توان بیشینه این سلول‌ها و استفاده از مبدل‌های چندسطحی با الگوریتم کلیدزنی SVPWM را می‌توان از جنبه‌های نوآوری این پایان‌نامه بیان نمود.

۱-۸- طرح کلی پایان‌نامه

به صورت اجمالی مباحث مطرح شده در این پایان‌نامه را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد. در فصل اول به بیان موضوع، اهداف و جنبه‌های نوآوری سیستم پرداخته شده است. در فصل دوم به ارائه اجزای مختلف تشکیل دهنده سیستم پرداخته شده و پیشینه‌ای از کارهای انجام شده در این خصوص ارائه گردیده است. در فصل سوم به تشریح کامل سیستم، اجزای تشکیل دهنده شامل سلول‌های خورشیدی، مبدل افزایشنده-کاهنده، استراتژی کنترل توان بیشینه سلول‌های خورشیدی، اینورترهای چندسطحی، استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ و جریان، استراتژی پیشنهادی کنترل توان راکتیو و اکتیو و در نهایت الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات پرداخته شده است. در فصل چهارم نتایج شبیه‌سازی‌ها ارائه و آنالیز شده است. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی برای کارهای آتی در فصل پنجم این پایان‌نامه گنجانده شده است.

فصل دوم:

مبانی نظری پژوهش

تأمین انرژی یکی از ضروری‌ترین نیازهای صنایع و جوامع مدرن امروزی است و انرژی الکتریکی یکی از پاک‌ترین و پرکاربردترین انرژی‌های مورد نیاز جوامع بشری است. تقاضای این انرژی روز به روز با افزایش جمعیت در حال افزایش است. روش‌های گوناگون تولید این انرژی از نیروگاه‌های بخار، نیروگاه‌های آبی، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، نیروگاه‌های هسته‌ای تا نیروگاه‌های جوش هسته‌ای سیر تکاملی سریعی را به خود دیده است. با این وجود هنوز هم از یک سو قادر به تأمین نیاز روز افزون جوامع صنعتی نبوده و از سوی دیگر محدودیت سوخت‌های فسیلی و ملاحظات زیست‌محیطی موضوعات بسیار مهم بشر امروز به شمار می‌آید. یکی از مهم‌ترین راه‌حل‌های این مسائل گرایش به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشید، انرژی باد، انرژی امواج دریا و دیگر انرژی‌های از این نوع می‌باشد. در این فصل مروری کوتاه بر سیستم‌های خورشیدی متصل به شبکه، ساختار کلی و اجزای مختلف این سیستم انجام شده است. در بخش دیگری از این فصل مروری بر کارهای انجام شده در سال‌های اخیر توسط محققین جهت بهره‌مندی هر چه بهتر از مولدهای PV انجام شده است.

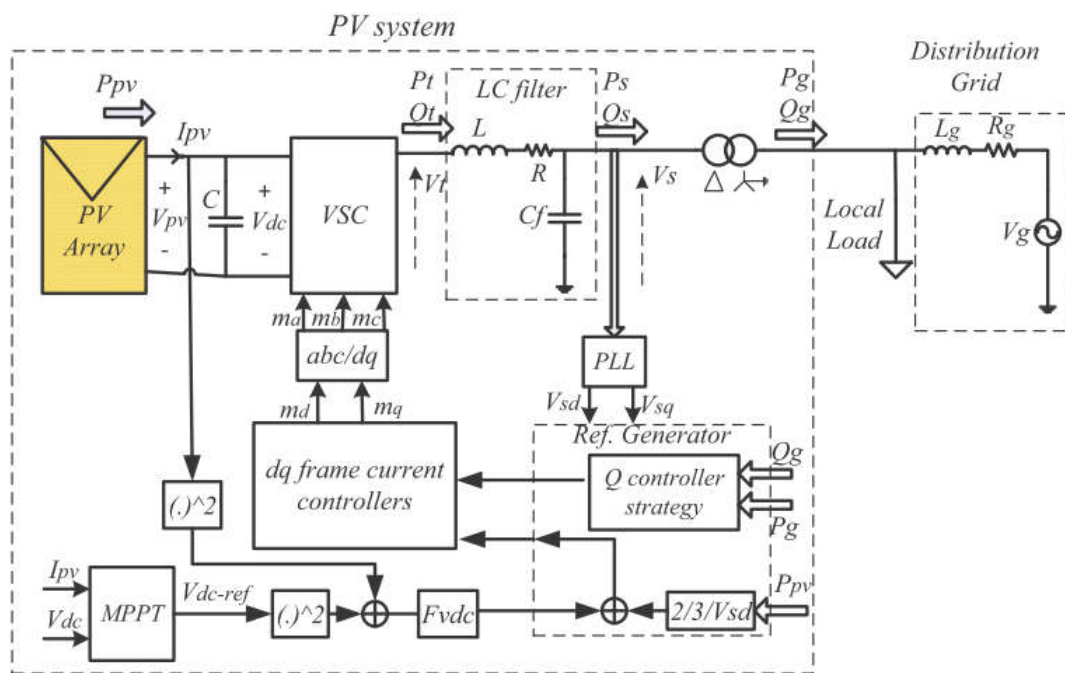
۲-۲- شماتیک کلی مولدهای خورشیدی متصل به شبکه

سیستم PV شامل آرایه‌های سلول خورشیدی، خازن باس DC، مبدل منبع ولتاژ و سیستم کنترل آن است. سلول‌های خورشیدی به صورت سری برای تشکیل ماژول‌های PV متصل می‌شوند و این ماژول‌ها نیز به صورت سری یا موازی جهت ساخت پنل‌های خورشیدی به یکدیگر متصل می‌گردند. سپس پنل‌های خورشیدی جهت فراهم نمودن ولتاژ و توان مناسب به صورت سری یا موازی به یکدیگر متصل و آرایه‌های خورشیدی را تشکیل و در نهایت به شبکه اتصال داده می‌شوند. توان خروجی آرایه‌های PV از طریق لینک خازنی به مبدل منبع ولتاژ متصل شده و در نهایت توان AC را به شبکه انتقال می‌دهد. ترمینال‌های مبدل منبع ولتاژ VSC به نقطه‌ی کوپل مشترک از طریق راکتور که با L و R نشان داده می‌شود اتصال می‌یابد که R مجموع مقاومت راکتور و دریچه VSC را نشان می‌دهد. پارامتر C_f فیلتر

خازنی موازی برای جذب هارمونیک‌های جریان فرکانس پایین نامطلوب تولیدی توسط سیستم PV می‌باشد. سیستم PV از طریق ترانسفورماتور برای ایجاد زمین ایزوله برای سیستم PV و همچنین افزایش سطح ولتاژ خروجی به سطح ولتاژ شبکه به کار برده می‌شود. شبکه توزیع با مدل تونن که L_g و R_g مقاومت و اندوکتانس معادل آن می‌باشد نشان داده می‌شود.

شکل (۱-۲) شماتیک اصلی سیستم PV متصل به شبکه را از طریق ترانسفورماتور به شبکه توزیع

نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: شماتیک سیستم PV متصل به شبکه از طریق ترانسفورماتور (Paramita Dash, 2013)

به کارگیری حلقه قفل فاز^۱ برای تبدیل دستگاه مرجع abc به dq کمک و فرآیند کنترل را با جایگزینی سیگنال‌های کنترل DC به جای سینوسی متغیر ساده‌تر می‌نماید. توان‌های اکتیو و راکتیو سیستم PV از طریق محورهای d و q کنترل می‌شوند. سیستم‌های کنترل شامل سه حلقه‌ی کنترل،

1- Phase Lock Loop (PLL)

حلقه‌ی داخلی برای کنترل جریان، حلقه‌ی میانی برای تنظیم ولتاژ باس DC و کنترل توان راکتیو و حلقه‌ی بیرونی برای ردیابی نقطه توان بیشینه^۱ می‌باشد.

۲-۳- استانداردهای اتصال به شبکه

پیش از طراحی مبدل برای اتصال منابع توان فتوولتائیک به شبکه بایستی قوانین و مقررات جاری جهت دریافت مجوز اتصال به شبکه بررسی شود. این مقررات در کشورهای مختلف با توجه به نوع شبکه یکسان نیستند و باید بین این مقررات و تقاضای بار شبکه تطابقی وجود داشته باشد. نیازهای شبکه‌های محلی معمولاً بر اساس استاندارد ملی یا بین‌المللی می‌باشد که نحوه‌ی اتصال منابع تولید پراکنده را تعیین می‌کنند. این استانداردها اغلب شباهت بسیاری به هم دارند اما ممکن است تغییراتی در درجه‌ی محدودیت‌ها و تعاریف با یکدیگر داشته باشند. در ادامه با بررسی دو استاندارد بین‌المللی مشهور اشاره شده زیر، چشم‌اندازی از مهم‌ترین نیازها و محدودیت‌ها بیان شده است.

• استاندارد IEC^۲

• استاندارد IEEE^۳

مهم‌ترین هدف در طراحی مبدل جدید ایجاد سازگاری با استانداردهای جریان و سپس استانداردهای بعدی مورد نظر است. در ادامه برخی از استانداردهای اخیر مورد نظر IEC و IEEE ارائه شده است.

• استاندارد IEEE Std 1547-2003: استاندارد برای اتصال منابع تولید پراکنده با سیستم‌های قدرت
(Anonymous, 2003).

• استاندارد IEC 61727 Second Edition 2004-12: استاندارد مشخصات سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه (Anonymous, 2004).

1- Maximum Power Point Tracking (MPPT)
2- International Electrotechnical Commission (IEC)
3- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Family name: Paknejad	Name: Afshin
Title of Thesis: Grid connected PV Multilevel Converter control using SVPWM Switching and intelligent Algorithm in order to optimization of Active and Reactive Power Injected to Electrical Network	
Supervisor: Khalil Valipour (Ph. D) Advisor: Yashar Hashemi (Ph. D)	
Graduate Degree M.Sc. Major: Electrical Engineering Specialty: Power Electric University: Mohaghegh Ardabili Faculty: Faculty of Technical and Engineering Graduation date: 2017/11/09 Number of pages: 135	
Abstract: <p>With the increasing concern about global warming, the necessity to generate pollution-free energy is the need of the societies. The photovoltaic (PV) generation system is one of the best renewable energy sources available to meet out the energy crisis. It is safe, clean, pollution-free, and it requires less maintenance and inexhaustible. The standalone PV system is widely used in remote areas where the power generation is needed. The use of energy storage devices in the standalone system increases the overall cost of the system. Hence, the three phase grid connected system is considered to reduce the investment cost. The PV array is connected to utility grid through converters and inverters. Due to the presence of power electronic devices, it is necessary to grid synchronization, grid current control during normal/faulty conditions and active and reactive power control of PV panels. this thesis proposes a new control scheme to control active and reactive power injections into the distribution grids provided by photovoltaic (PV) generating units. Such scheme is derived by instnsntenus active and reactive power and PI-PSO control strategy. Proportional–Integral (PI) controllers are popular in grid connected PV applications, to control the system parameters under different conditions. The main features of PI controller are simple design procedure and good performance characteristics. Owing to the wide usage of PI controllers, it is necessary to improve their quality and robustness. In this thesis, the performance of PI controller is improved by introducing PI-PSO controller for this application. The increase in tuning parameters of PI-PSO controller, increases the robustness of the system, provides optimal control and delivers better system response. In addition, to improve the output efficiency of PV system, a variable step size perturbation and observation (P&O) method is proposed to track the maximum power point of PV system based on the Buck-Boost converter. The result of simulation in Matlab/Simulink clearly illustrates that the designed controller has good performance and fast dynamic response and moreover, the proposed controller can maintain stability.</p>	
Keywords: Instantaneous active and reactive power Controller, PI-PSO Controller, Three phase grid connected photovoltaic units, Perturbation and observation (P&O) method, MPPT, Multilevel inverter, Buck-Boost converter.	



University of Mohagheh Ardabili

Faculty of Technical and Engineering

Department of Electrical Engineering

Thesis is approved for the degree of M.Sc.

In Electrical Power Engineering




Title:

Grid connected PV Multilevel Converter control using SVPWM Switching and intelligent Algorithm in order to optimization of Active and Reactive Power Injected to Electrical Network

By:

Afshin Paknejad

Evaluated and approved by thesis committee as: Very good

Name & Family	Degree	Responsibility	Signature
Khalil Valipour	Assoc. Prof	Supervisor & Chairman	
Hossein shayeghi	Professor	Referee	
Farzad Sedaghati	Assist. Prof	Referee	

September – 2017



University of Mohaghegh Ardabili

Faculty of Technical and Engineering

Department of Electrical Engineering

Thesis is approved for the degree of M.Sc.

In Electrical Power Engineering

Title:

Grid connected PV Multilevel Converter control using SVPWM Switching and intelligent Algorithm in order to optimization of Active and Reactive Power Injected to Electrical Network

Supervisor(s):

Khalil Valipour (Ph. D)

Advisor(s):

Yashar Hashemi (Ph. D)

By:

Afshin Paknejad

September – 2017