

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
وَأَشْرِكُوا بِرَبِّكَ  
الَّذِي خَلَقَ



دانشگاه شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

عنوان پایان نامه :

**کنترل یک سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه**

استاد راهنما :

**دکتر سید محمد صادق زاده**

دانشجو :

**اسما سلیمانی ساردو**

زمستان ۱۳۹۰



## صورت جلسه هیئت داوران رساله کارشناسی ارشد

جلسه دفاعیه پروژه کارشناسی ارشد مربوط به آقای/خانم اسما سلیمانی ساردو به شماره دانشجویی ۸۸۷۵۱۶۵۰۲ در رشته قدرت با عنوان "کنترل یک سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه" به ارزش ۶ واحد در روز ۹۰/۱۱/۹ در دانشکده فنی و مهندسی با حضور افراد ذیل تشکیل شد، نتیجه به قرار زیر است :

پروژه نامبرده با نمره ۱۹٫۵ قابل قبول می باشد.

پروژه نامبرده مردود می باشد.

پروژه نامبرده به شرط انجام اصلاحات جزئی قابل قبول می باشد. نمره دانشجو متعاقباً اعلام می شود.

امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام استاد راهنمای اول	دانشگاه:	دانشگاه
امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام استاد راهنمای دوم	دانشگاه:	دانشگاه
امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام استاد مشاور اول	دانشگاه:	دانشگاه
امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام استاد مشاور دوم	دانشگاه:	دانشگاه
امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام داور اول	دانشگاه:	دانشگاه
امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام داور دوم	دانشگاه:	دانشگاه
امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام داور سوم	دانشگاه:	دانشگاه
امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام داور چهارم	دانشگاه:	دانشگاه
امضاء	سهم استاد (به درصد):	نام نماینده معاونت پژوهشی	دانشگاه:	دانشگاه

تذکر: تعیین سهم اساتید در صورت وجود بیش از یک استاد راهنما و مشاور ضروری است.



اظهار نامه دانشجو

شماره:

تاریخ:

اینجانب **اسما سلیمانی ساردو** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، گواهی می‌دهم که پایان‌نامه تدوین شده حاضر با عنوان؛ **"کنترل یک سیستم فتوولتائیک خانگی متصل به شبکه"** به راهنمایی استاد محترم جناب آقای **دکتر سید محمد صادق زاده**، توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنانچه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان‌نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می‌دارد در صورت بهره‌گیری از منابع مختلف شامل؛ گزارش‌های تحقیقاتی، رساله، پایان‌نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان‌نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارائه نشده است. در تدوین متن پایان‌نامه حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش‌های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً اینکه، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان‌نامه حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیم به :

مادرم و پدر شهیدم

و

همسر بسیار مهربانم

تشکر و قدردانی:

به رسم وظیفه‌ی سپاس، بر خود می‌دانم از استاد راهنمای خود جناب آقای دکتر سید محمد صادق زاده که در سایه‌ی رهنمودهای گرانقدر و راه‌گشای ایشان توانستم این پایان‌نامه را به سرانجام برسانم، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

## چکیده

در این پایان نامه، کنترل یک سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه با بازده بالا و ایمن، برای کاربردهای خانگی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. به دلیل استفاده از یک تک ماژول با ولتاژ خروجی حدود ۲۰ ولت، به یک مبدل DC/DC با افزایش بهره ی ولتاژ نیاز است. از آنجا که توان پانل خورشیدی در اثر تغییرات شدت تابش و دما تغییر می کند باید این مبدل به وسیله الگوریتم حداکثر توان کنترل می شود. در این پایاننامه دو الگوریتم جدید که بهبود یافته الگوریتم هدایت افزایشی (INC) و الگوریتم آشفتن و مشاهده کردن (P&O) می باشند معرفی شده است. نتایج شبیه سازی کارایی الگوریتم و ردیابی نرم و بدون انحراف نقطه حداکثر توان را اثبات می کند. همچنین برای اجرای الگوریتم حداکثر توان سخت افزار یک میکروکنترلر ATXMEGA به کار گرفته شده و به کمک آن به صورت عملی حداکثر توان از پانل دریافت گردیده است. در مرحله دوم روش های کنترل تمام پل منبع ولتاژ با کنترل جریان برای تزریق جریان سینوسی هم فاز با ولتاژ شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین سیستم متصل به شبکه در نرم افزار PSCAD شبیه سازی شده و نتایج مطلوب مشاهده گردیده است.

کلمات کلیدی:

سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه، الگوریتم اصلاح شده ی هدایت افزایشی (INC)، الگوریتم اصلاح شده ی P&O، میکروکنترلر ATXMEGA، سیستم دو طبقه، CCVSI<sup>۱</sup>

---

<sup>3</sup> Current control voltage source inverter

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	فصل اول-مقدمه
۹	فصل دوم- معرفی سلول های خورشیدی
۹	۱-۲ مقدمه
۹	۲-۲ ساختار سلول های خورشیدی
۱۲	۳-۲ انواع سلول های خورشیدی
۱۳	۴-۲ مشخصه سلول خورشیدی
۱۴	۵-۲ مدار معادل سلول خورشیدی
۱۵	۶-۲ شبیه سازی مشخصه پانل ۱۰۰ واتی مورد استفاده در پروژه
۱۷	۷-۲ نتیجه گیری
۱۹	فصل سوم- الگوریتم های کنترل برای دستیابی به نقطه حداکثر توان
۱۹	۱-۳ مقدمه
۲۰	۲-۳ الگوریتم تپه نوردی و P&O
۲۳	۳-۳ الگوریتم هدایت افزایشی (INC)
۲۶	۴-۳ روش مدار باز لحظه ای:
۲۷	۵-۳ اتصال کوتاه لحظه ای:
۲۸	۶-۳ کنترل فازی
۳۰	۷-۳ شبکه عصبی
۳۲	فصل چهارم- مسائل فنی سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه
۳۲	۱-۴ مقدمه
۳۳	۲-۴ ملاحظات شبیه سازی سیستم های فتوولتائیک
۳۴	۳-۴ مسائل و استانداردهای اتصال سیستم فتوولتائیک (PV) به شبکه
۳۶	۴-۴ مسائل مربوط به اینورتر متصل به شبکه
۳۸	۵-۴ الگوریتم کنترل جریان اینورتر



۴-۶ شبیه سازی اینورتر متصل به شبکه ..... ۴۵

## فصل پنجم - اینورتر های بدون ترانسفورماتور

۱-۵ مقدمه ..... ۵۲

۲-۵ اینورتر های متصل به شبکه ..... ۵۲

۲-۵ توپولوژی اینورتر های بدون ترانسفورماتور ..... ۵۵

۳-۵ خازن پارازیتی آرایه های فتوولتائیک ..... ۶۱

۴-۵ جریان نشتی زمین ..... ۶۳

۵-۵ فیلتر خروجی ..... ۶۵

## فصل ششم - معرفی الگوریتم های جدید و پیاده سازی عملی الگوریتم MPPT

۱-۶ مقدمه ..... ۶۷

۲-۶ سخت افزار کنترل ..... ۶۷

۳-۶ نتایج عملی ..... ۶۹

۴-۶ الگوریتم جدید و اصلاح شده ی حداکثر توان P&O ..... ۷۲

۵-۶ الگوریتم جدید و اصلاح شده ی حداکثر توان هدایت افزایشی ..... ۷۶

## نتیجه گیری

۸۱

## پیوست الف

۸۲

## پیوست ب

۹۳

## فهرست مراجع

۹۸

## فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ سمیستم فتوولتائیک متصل به شبکه خانگی ..... ۲

شکل ۲-۱ قیمت پانل های فتوولتائیک نسبت به سال ۱۹۹۹ ..... ۵

شکل ۳-۱ میزان توان نصب شده فتوولتائیک در کشور های عضو IEA PVPS ..... ۶

شکل ۱-۲ ساختار لایه های سلول خورشیدی ..... ۱۰

شکل ۲-۲ ساختار یک مولد سلول سیلیکونی فتوولتائیک (PV) ..... ۱۱

- شکل ۲-۳ مدار تست با تغییر ولتاژ بایاس از صفر تا مدار باز ..... ۱۳
- شکل ۲-۴ مدار تست با تغییر بار مقاومتی از صفر تا مدار باز ..... ۱۴
- شکل ۲-۵ مدار معادل الکتریکی سلول خورشیدی ..... ۱۴
- شکل ۲-۶ مشخصه جریان - ولتاژ پانل خورشیدی ۱۰۰ وات مورد استفاده در شرایط مختلف دما و تابش ..... ۱۶
- شکل ۲-۷ مشخصه توان - ولتاژ پانل خورشیدی ۱۰۰ وات مورد استفاده در شرایط مختلف دما و تابش ..... ۱۷
- شکل ۳-۱ مشخصه توان یک آرایه فتوولتائیک ..... ۱۹
- شکل ۳-۲ فلوجارت الگوریتم P&O ..... ۲۱
- شکل ۳-۳ واگرایی الگوریتم تپه نوردی و P&O از نقطه ی MPP ..... ۲۲
- شکل ۳-۴ الگوریتم هدایت افزایشی ..... ۲۵
- شکل ۳-۵ تابع عضویت ورودی و خروجی های کنترلر فازی ..... ۲۸
- شکل ۳-۶ لایه های شبکه عصبی ..... ۳۰
- شکل ۴-۱ انواع اینورتر مورد استفاده در سیستم فتوولتائیک ..... ۳۲
- شکل ۴-۲ طبقه بندی انواع اینورتر ..... ۳۷
- شکل ۴-۳ مدار اینورتر نوع ولتاژ با کنترل جریان ..... ۳۸
- شکل ۴-۴ بلوک دیاگرام کنترلی اینورتر منبع ولتاژ تکفاز ..... ۳۹
- شکل ۴-۵ مدل متوسط اینورتر منبع ولتاژ ..... ۴۰
- شکل ۴-۶ نمودار بلوکی کنترل جریان ..... ۴۴
- شکل ۴-۷ مدل ساده شده ی اینورتر ..... ۴۴
- شکل ۴-۸ نمودار بود حلقه باز سیستم ..... ۴۵
- شکل ۴-۹ شماتیک پیاده سازی شده در حالت متصل به شبکه برای کنترلر PR ..... ۴۷
- شکل ۴-۱۰ نمودار ولتاژ شبکه ..... ۴۸
- شکل ۴-۱۱ نمودار جریان مرجع ..... ۴۸
- شکل ۴-۱۲ جریان تزریق شده به شبکه ..... ۴۹
- شکل ۴-۱۳ جریان مرجع و جریان تزریقی به شبکه با کنترلر PR ..... ۴۹
- شکل ۴-۱۴ ولتاژ باس DC ..... ۵۰
- شکل ۵-۱ سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه ایزوله ..... ۵۳
- شکل ۵-۲ سیستم فتوولتائیک بدون ترانسفورماتور ..... ۵۳
- شکل ۵-۳ مقایسه ای از لحاظ بازده، حجم و وزن میان بیش از ۴۰۰ اینورتر فتوولتائیک صنعتی ..... ۵۵
- شکل ۵-۴ اینورتر یک مرحله ای ..... ۵۵

شکل ۵-۵ اینورتر دو مرحله ای	۵۶
شکل ۵-۶ اینورترهای تمام پل	۵۶
شکل ۵-۷ اینورتر فتوولتاییک دو مرحله ای بدون ترانس	۵۷
شکل ۵-۸ اینورتر فتوولتاییک بدون ترانس با بکارگیری مبدل نیم پل	۵۸
شکل ۵-۹ اینورتر بوست	۵۸
شکل ۵-۱۰ اینورتر باک-بوست (buck-boost)	۵۹
شکل ۵-۱۱ اینورتر متصل به شبکه با دیود کلمپ شده و دارای نقطه زمین	۵۹
شکل ۵-۱۲ اینورتر با بازده و قابلیت اطمینان بالا (HERIC)	۶۰
شکل ۵-۱۳ توپولوژی اینورتر H5	۶۱
شکل ۵-۱۴ خازن های پارازیتی ماژول	۶۲
شکل ۵-۱۵ جریان ناشی از شارژ و دشارژ شدن خازن پارازیتی	۶۴
شکل ۵-۱۵ دو ساختار مختلف فیلتر LCL	۶۵
شکل ۶-۱ سخت افزار میکروکنترلر ATXMEGA	۶۸
شکل ۶-۲ الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان هدایت افزایشی	۷۰
شکل ۶-۳ الگوریتم اصلاح شده ردیابی نقطه حداکثر توان هدایت افزایشی برای تغییرات کند	۷۲
شکل ۶-۴ فلوجارت الگوریتم اصلاح شده P&O	۷۳
شکل ۶-۵ شبیه سازی مبدل فتوولتاییک در محیط سیمولینک متلب	۷۴
شکل ۶-۶ سیمولینک ماژول فتوولتاییک در متلب	۷۴
شکل ۶-۷ شماتیک پیاده سازی شده الگوریتم P&O	۷۵
شکل ۶-۸ شماتیک پیاده سازی شده الگوریتم پیشنهادی	۷۵
شکل ۶-۹ مقایسه عملکرد الگوریتم P&O و الگوریتم پیشنهادی	۷۶
شکل ۶-۱۰ الگوریتم پیشنهادی و اصلاح شده ی هدایت افزایشی	۷۷
شکل ۶-۱۱ شماتیک پیاده سازی شده الگوریتم INC	۷۸
شکل ۶-۱۲ شماتیک پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی و اصلاح شده INC	۷۸
شکل ۶-۱۳ مقایسه عملکرد الگوریتم هدایت افزایشی و الگوریتم پیشنهادی	۷۹
شکل ۶-۱۴ الگوریتم پیشنهادی برای تغییرات تند و کند تابش	۸۰

فهرست جداول

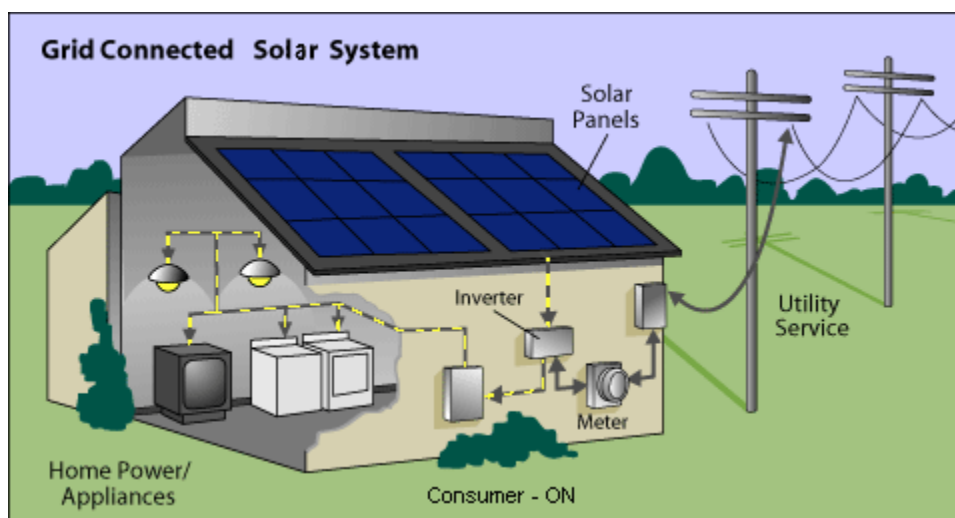
- جدول ۱-۱ مقایسه اینورترهای های تجاری ..... ۴
- جدول ۱-۲ قیمت مجموعه سخت افزار یک سیستم خورشیدی ..... ۵
- جدول ۱-۳ جمع بندی الگوریتم تپه نوردی و P&O ..... ۲۱
- جدول ۲-۳ نمونه ای از جدول قوانین الگوریتم MPPT، کنترلر فازی ..... ۲۹
- جدول ۱-۴ استاندارد های مهم در خصوص سیستم فتوولتائیک متصل به ..... ۳۵
- جدول ۱-۵ مقدار خازن پارازیتی برای چند ماژول متفاوت ..... ۶۳

# فصل اول

## مقدمه

## فصل اول-مقدمه

با افزایش روز افزون قیمت سوخت، مخاطرات زیست محیطی و افزایش تقاضای انرژی، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر بخصوص انرژی خورشیدی مورد توجه ملی و بین المللی واقع شده است. مجموع انرژی جذب شده زمین از خورشید ۳۸۵۰۰۰۰ اگزا<sup>۱</sup> ژول است که مقدار بسیار ناچیزی از آن مورد استفاده قرار می گیرد [۱]. سیستم های فتوولتائیک به دو صورت متصل به شبکه و جدا از شبکه، مورد استفاده قرار می گیرند. در میان سیستم های فتوولتائیک مورد استفاده، انواع سیستم های متصل به شبکه سهم بزرگی را به خود اختصاص داده اند، بطوریکه نود درصد ظرفیت تولید توان الکتریکی از فتوولتائیک در کشورهای عضو سیستم های توان فتوولتائیک سازمان بین المللی انرژی<sup>۲</sup> (IEA PVPS) از انواع متصل به شبکه است [۲]. شکل ۱-۱ یک سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه خانگی را نشان می دهد.



شکل ۱-۱ سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه خانگی

<sup>1</sup> 10<sup>18</sup>Jule

<sup>2</sup> International Energy Agency Photovoltaic Power Systems

پیشرفت در فناوری ادوات الکترونیک قدرت و کاهش قیمت سلول های خورشیدی نیز حرکت به سمت استفاده از این انرژی و دستیابی به یک سیستم با کارایی بالا و مقرون بصره را سرعت بخشیده است، بطوریکه قیمت بر وات پانل های خورشیدی از ۷/۹-۴/۴ دلار در سال ۱۹۹۲ به ۲/۳۴ دلار در سال ۲۰۱۱ رسیده است. همچنین دهه ی اخیر، سال ۲۰۱۱، بالاترین نرخ کاهش قیمت پانل خورشیدی (۱/۰۴ دلار) را داشته است [۳]. جداول ۱-۱ و ۲-۱، این کاهش نرخ را برای پانل های خورشیدی نشان می دهد. فناوری های جدید نیز مانند سلیکون نازک و سلیکون بی نظم (amorphous) منتج به کاهش قیمت پانل ها شده است [۴]. در باب ادوات الکترونیک قدرت، تلاش های بسیاری در حال انجام است و توپولوژی های ارزان و پربازده گوناگونی تاکنون معرفی شده اند. به طور کلی محدوده توان اینورترهای متصل به شبکه خانگی، ۱۷۵ وات تا ۱۰ کیلو وات است. در ساختار میکرو اینورتر، هر پانل به یک اینورتر متصل است. استفاده از یک پانل که ولتاژ پائینی نیز دارد، ایمنی را برای کاربردهای خانگی فراهم می کند و همچنین بدلیل عدم استفاده از ساختار سری پانل ها برای افزایش ولتاژ در این ساختار، از حداکثر توان پانل ها نیز استفاده می شود چرا که از تلفات (losses) ناشی از عدم تطابق (MISMATCH) پانل ها و تلفاتی که از سایه های درختان و ابر و ... ایجاد می شود، اجتناب می شود [۵]، [۶]. لازم به توضیح است که قرار گرفتن سایه بر روی پانل تاثیر زیادی بر توان تولیدی هر پانل دارد، بطوریکه پوشیده شدن ۱۰ درصد سطح پانل بر اثر سایه، توان استحصالی آن را حدود ۵۰ درصد کاهش می دهد [۷]. حال اگر از ترکیب سری پانل ها استفاده شود، از آنجا که یک الگوریتم MPPT مشترک روی آنها اجرا می شود، اگر روی یک پانل سایه بیافتد، عملکرد پانل های دیگر هم که با آن سری شده اند نیز مختل می شود و حداکثر توان مجموعه بدست نمی آید. جدول ۱-۱، مقایسه ای بین اینورترهای تجاری را نشان می دهد. در جدول ۲-۱ نیز، قیمت سخت افزار یک سیستم خورشیدی نوعی نشان شده است.



Model	Enphase M190	Solectria PVI 1800	XantrexGT 3.3	SMA Sunnyboy	Solectria PVI 15kW
Power	190	1800	3300	7000	15000
Price	\$225	\$1599	\$2154	\$4005	\$11500
<b>Price/W</b>	<b>\$1.18</b>	<b>\$0.88</b>	<b>\$0.65</b>	<b>\$0.57</b>	<b>\$0.76</b>
CEC Efficiency	95	94.5	95.5	94.5	94.5
Size (in)	8 x 5.25 x 1.25	5.6 x 13 x 18	29 x 16 x 6	18 x 13.8 x 9.3	35 x 25 x 14
Weight	4	34	49	94	376
<b>Vol/Watt (in<sup>3</sup>/W)</b>	<b>0.27</b>	<b>0.75</b>	<b>0.79</b>	<b>0.33</b>	<b>0.81</b>

جدول ۱-۱ مقایسه اینورتر های های تجاری ۱

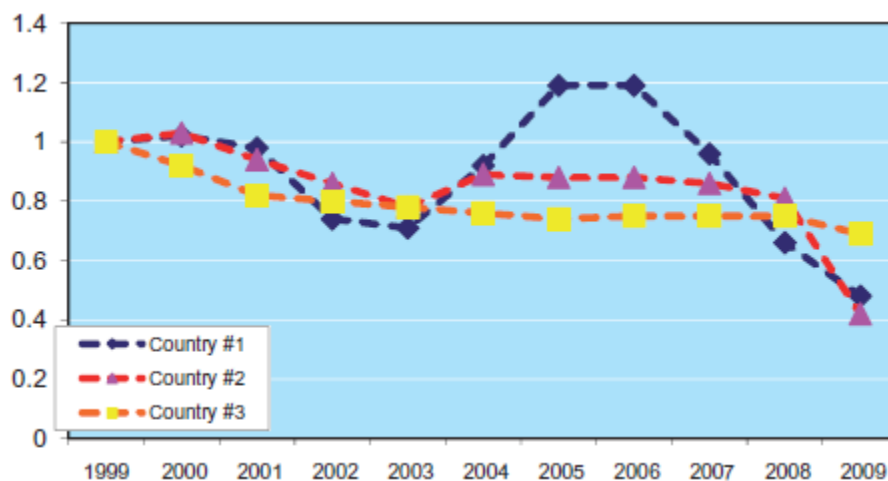
رجوع شود به مرجع [1]



System Size	2.5 kW	4.2kW	4.2kW	15.4kW
Inverter Model	Enphase Micro-Inverter	Enphase Micro-Inverter	SMA SunnyBoy	SMA SunnyBoy
PV Array (sq ft)	202	345	342	1370
Average Daily KWH**	10.2	17.5	17.2	64.9
Inverter Size (watts peak)	2600	4200	4000	14000
List Price	\$19085	\$32492	\$29177	\$104757
PG&E Rebate*	-\$3199	-\$5484	-\$5382	-\$20322
Federal Tax Credit*	-\$5725	-\$9747	-\$8753	-\$31427
Net Hardware Price	-\$10160	-\$17620	-\$15041	-\$53007
Price/Daily kWh	\$996	-\$986	-\$874	-\$816
Price/kW	\$4147	-\$4110	-\$3581	-\$3442

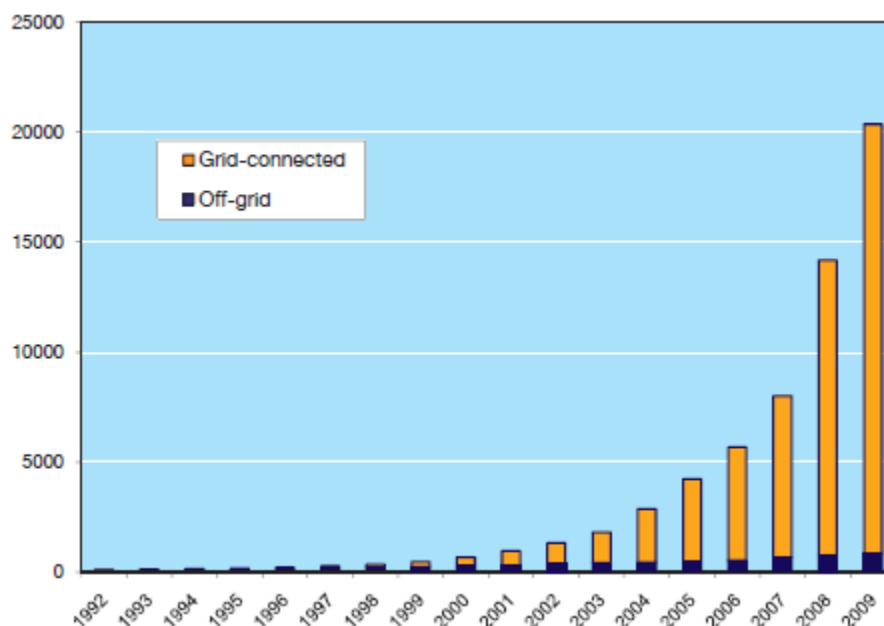
جدول ۲-۱ قیمت مجموعه سخت افزار یک سیستم خورشیدی ۱

شکل ۲-۱ کاهش قیمت های پانل ها را در کشورهای عضو (IEA PVPS) نشان می دهد. شکل ۳-۱ نیز میزان سیستم های فتوولتائیک نصب شده را در این کشورها نشان می دهد. همانطور که از شکل ۴-۱ بر می آید، سیستم های فتوولتائیک (PV) متصل به شبکه، بازار غالب در تولید الکتریسیته از طریق فتوولتائیک را به خود اختصاص داده اند.



شکل ۲-۱ قیمت پانل های فتوولتائیک نسبت به سال ۱۹۹۹

<sup>۱</sup> رجوع شود به مرجع [1]



شکل ۱-۳ میزان توان نصب شده فتوولتائیک در کشورهای عضو IEA PVPS

در واقع سیستم های تولید توان فتوولتائیک بالاترین سهم را در سال های آینده در بکارگیری انرژی های تجدید پذیر دارند. سیستم های مستقل و جدا از شبکه، بیشتر در مناطق روستایی و بعنوان منبع تغذیه برای ارتباطات و روشنایی به کار می روند و معمولاً در محدوده ۵ - ۱۰ کیلووات مورد بهره برداری قرار می گیرد. در عوض محدوده ی توان سیستم متصل به شبکه از چند کیلو وات برای مصارف خانگی تا چندین مگا وات برای نیروگاه ها می باشد. اتصال سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه ملاحظات فنی را برای هر دو طرف شبکه و سیستم فتوولتائیک در بر دارد و باید از ایمن بودن سیستم فتوولتائیک و قابلیت اطمینان شبکه برق سراسری مطمئن بود. در این بین فائق آمدن بر مسائلی همچون، تشخیص جزیره ای شدن، اغتشاشات هارمونیک و تداخلات الکترومغناطیسی نیز مهم است. از جمله مسئله مهم دیگر تبدیل توان DC تولیدی سلول های خورشیدی به توان AC مورد نیاز شبکه است. در مرجع [۴] مروری کلی بر انواع اینورتر های متصل به شبکه تکفاز ارائه شده است. اولین اینورتر ها، اینورتر های مرکزی بودند که معایب فراوانی داشتند. در این توپولوژی، پانل ها برای ایجاد یک ولتاژ مناسب (مورد نیاز اینورتر) با یکدیگر در یک شاخه سری می شوند. سپس این شاخه ها به اندازه ی توان مورد نظر با هم موازی می شوند. تمامی شاخه ها از طریق یک اینورتر به شبکه متصل می شوند. این توپولوژی بدلیل اجرای الگوریتم مشترک روی تمام پانل ها و وجود کابل های DC بین شاخه ها و اینورتر و... دارای تلفات زیادی است. با توجه به این معایب و تلاش برای کاهش اندازه ی سیستم، اینورتر های شاخه ای معرفی شدند. در این توپولوژی، هر شاخه از طریق یک اینورتر جداگانه به شبکه متصل می شود. برای کاهش تعداد مبدل های DC/AC، اینورتر های چند شاخه ای توسعه یافتند. در این توپولوژی هر شاخه یک مبدل DC/DC منحصر

به خود را دارد که ولتاژ ثابتی را برای ورودی مبدل DC/AC فراهم می کند [۸]. در نهایت تک مبدل DC/AC مشترک، جریان سینوسی را به شبکه تزریق می کند. ساختار دیگر، پانل اینورتر است. در این توپولوژی تنها یک پانل کنترل می شود و عدم تطابق بین پانل ها وجود ندارد. یک الگوریتم MPPT روی پانل پیاده شده و حداکثر بازده و توان در این ساختار حاصل می شود. بدلیل امکان ساخت انبوه و کارخانه ای این محصول، قیمت تولید صنعتی آن هم کاهش می یابد. در این پایان نامه برای فراهم کردن ایمنی و استفاده حداکثری از توان خورشید، از این ساختار که از یک پانل و یک اینورتر تشکیل شده، استفاده شده است. بدلیل ولتاژ پایین پانل، یک مبدل DC/DC با افزایش ولتاژ بالا برای تامین سطح ولتاژ مورد نیاز مبدل DC/AC نیاز است. تاکنون توپولوژی های گوناگونی برای این منظور ارائه شده است. مرجع [۹] مروری کلی بر انواع مبدل های DC/DC غیر ایزوله دارد. به طور کلی برای کاهش هزینه ها و بهبود بازده از مبدل های DC/DC غیر ایزوله استفاده می شود [۱۰]، [۱۱]. در صورت استفاده از ساختار غیر ایزوله مطابق استاندارد NEC690 برای ولتاژ خروجی پانل کمتر از ۵۰ ولت نیازی به زمین کردن پانل نیست [۱۲]-[۱۴]. راه حل دیگر برای افزایش سطح ولتاژ، استفاده از ترانسفورماتور فرکانس خط بعد از اینورتر است که بدلیل حجم، وزن و قیمت زیاد مطلوب نیست [۱۵]. در این پایان نامه برای کنترل مبدل DC/DC و اجرای الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان، از یک میکروکنترلر ATXMEGA بهره گرفته شده است. در مرحله تبدیل ولتاژ DC به AC نیز یک مبدل تمام پل منبع ولتاژ به کار گرفته شده است. این قسمت وظیفه ی تزریق جریان سینوسی همفاز با ولتاژ شبکه را بر عهده دارد در این قسمت انواع روش های کنترلی مورد بررسی قرار گرفته و الگوریتم تناسبی رزنانسی در شبیه سازی پیاده شده است. در ادامه ی این نوشتار، بخش های مختلف به شرح زیر اختصاص دارد. در فصل دوم مشخصات سلول خورشیدی شرح داده می شود. فصل سوم به معرفی انواع روش های کنترل و ردیابی نقطه حداکثر توان می پردازد. فصل چهارم به معرفی اینورترهای بدون ترانسفورماتور می پردازد و در فصل پنجم نیز الگوریتم کنترل مبدل DC/AC و مسائل فنی اتصال به شبکه مورد بحث قرار گرفته و سیستم کلی شبیه سازی شده است. در فصل ششم نیز الگوریتم های جدید برای ردیابی نقطه حداکثر توان معرفی و شبیه سازی شده است. در خاتمه نتیجه گیری از پایاننامه فراهم آمده است.

## فصل دوم

### معرفی سلول های خورشیدی