

انرژی خورشیدی و کاربردهای آن

مؤلفین

مهندس عباس ستاری فرد

مهندس سید امیر حسینی

مهندس سید سیاوش کریمی مداحی

استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد آشتیان

مهندس محسن کریمی



انتشارات سفیر پوهان

عنوان و نام پدیدآور	: اثرژی خورشیدی و کاربردهای آن/مولفین عباس ستاری فرد..و (دیگران)
مشخصات نشر	: تهران: سفیراردهال، ۱۳۹۰
مشخصات ظاهری	: ۱۸۴: (مصور)بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
شابک	: ۴۵۰۰۰ ریال: ۱-۳۸-۶۰۶۸-۶۰۰-۹۷۸
یادداشت	: مولفین عباس ستاری فرد، امیر حسینی، ساوش کریمی مداحی، محسن کرمی.
یادداشت	: نمایه
موضوع	: اثرژی خورشیدی
شناسه افزوده	: ستاری فرد، عباس، ۱۳۶۵-
شناسه افزوده	: متین، پیمان، ۱۳۴۶-، مصحح
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۰ ۱۷۵/الف/۳/TJ۸۱۰
رده‌بندی دی‌جی	: ۶۲۱/۴۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۴۷۴۹۴۵

شابک: ۱-۳۸-۶۰۶۸-۶۰۰-۹۷۸



تهران: خیابان مفتح، خیابان سمیه، روبروی بانک ملی ایران، ساختمان ۱۱۸، واحد ۴

اثرژی خورشیدی و کاربردهای آن

© حق چاپ: ۱۳۹۰، انتشارات سفیراردهال www.safirardehal.ir

نوبت چاپ: اول

مولفین: عباس ستاری فرد- سید امیر حسینی - سید سیاوش کریمی مداحی - محسن کرمی

مدیر تولید: سید حسین عابدینی اردهالی

صفحه‌آرا: منیژه فاتحی

چاپ و صحافی: نگین

شمارگان: ۱۱۰۰ نسخه

شماره نشر: ۱-۱۲۶

کاغذ: کاغذ تحریر ۷۰ گرمی

بها: ۴۵۰۰۰ ریال

همه حقوق محفوظ است. هرگونه نسخه‌برداری، اعم از زیراکس و بازنویسی، ذخیره کامپیوتری، اقتباس کلی و جزئی (به جز اقتباس جزئی در نقد و بررسی، و اقتباس در گیومه در مستندنویسی، و مانند آنها) بدون مجوز کتبی از ناشر ممنوع و از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری است.

فهرست مطالب

فصل اول: (۱) مقدمه	۱۳
(۱-۱) مقدمه	۱۵
(۲-۱) تاریخچه انرژی‌های نو	۱۶
فصل دوم: (۲) تابش خورشید	۲۳
(۱-۲) مقدمه	۲۵
(۲-۲) تابش خورشیدی	۲۶
(۱-۲-۲) منبع تابش خورشیدی	۲۶
(۲-۲-۲) تابش خورشیدی در بیرون اتمسفر زمین	۲۷
(۳-۲-۲) تابش خورشیدی روی سطح زمین	۲۸
(۴-۲-۲) اندازه‌گیری تابش خورشیدی	۳۱
(۳-۲) کاربردهای انرژی خورشید	۳۴
(۱-۳-۲) استفاده از انرژی حرارتی خورشید	۳۴
(۲-۳-۲) مزایای نیروگاه‌های خورشیدی	۴۳
(۳-۳-۲) کاربردهای غیر نیروگاهی	۴۴
(۴-۲) انرژی فتوولتائیک	۴۸
(۱-۴-۲) سلول فتوولتائیک	۴۹
(۲-۴-۲) نظریه سلول‌های فتوولتائیک	۴۹
(۳-۴-۲) مشخصه‌های سلول خورشیدی	۵۲
(۴-۴-۲) منحنی مشخصه خروجی	۵۴
(۵-۴-۲) جریان سلول تحت تابش	۵۴
(۶-۴-۲) جریان سلول در تاریکی (جریان سلول تحت ولتاژ بایاس در تاریکی)	۵۶
(۷-۴-۲) جریان اتصال کوتاه	۵۷

۵۸	۸۴-۲ ولتاژ مدار باز
۵۹	۹۴-۲ سلول، واحد، آرایه
۶۱	۱۰۴-۲ بازده سلول
۶۳	۱۱-۴-۲ فیل فاکتور (FF)
۶۴	۱۲-۴-۲ معرفی شرایط استاندارد (STC) برای ماژول‌های فتوولتائیک
۶۵	۱۳-۴-۲ فناوری‌های ساخت سلول‌های خورشیدی
۶۶	۱۴-۴-۲ ساخت سلول‌های خورشیدی با استفاده از مواد آلی
۶۶	۱۵-۴-۲ تولید سلول‌های خورشیدی در جهان
۶۷	۱۶-۴-۲ مشخصات سازنده‌های پانل‌های خورشیدی
۶۹	۵-۲ بررسی اثرات شرایط جوی بر عملکرد آرایه‌های فتوولتائیک
۷۰	۱-۵-۲ شدت تابش
۷۱	۲-۵-۲ زاویه تابش خورشید
۷۲	۳-۵-۲ قرارگیری تکه‌های ابر در مقابل تابش خورشید
۸۴	فصل سوم: ۳) سیستم‌های قدرت فتوولتائیک
۸۶	۱-۳ مقدمه
۸۶	۲-۳ اجزای سیستم فتوولتائیک
۸۷	۱-۲-۳ ژنراتورهای فتوولتائیک
۹۰	۲-۲-۳ ذخیره‌ساز انرژی
۱۰۵	۳-۲-۳ مبدل DC-DC
۱۱۷	۴-۲-۳ سیستم کنترلی
۱۲۳	۳-۳ روش‌های بهره‌برداری از سیستم‌های برق فتوولتائیک
۱۲۵	۱-۳-۳ سیستم‌های متصل به شبکه سراسری برق
۱۳۲	۲-۳-۳ سیستم‌های مستقل از شبکه (Stand Alone)

فصل چهارم: ۴) بررسی مسائل اقتصادی سیستمهای فتوولتائیک	۱۳۴
۱-۴) مقدمه	۱۳۶
۲-۴) فاکتور تحویل انرژی	۱۳۶
۱-۲-۴) هزینه سرمایه گذاری اولیه	۱۳۸
۲-۲-۴) در دسترس پذیری و تعمیرات	۱۴۱
۳-۲-۴) تخمین هزینه انرژی	۱۴۲
۴-۲-۴) شاخص سودبخشی	۱۴۳
۵-۲-۴) امور مالی پروژه	۱۴۹
فصل پنجم: ۵) آینده سیستمهای خورشیدی	۱۵۲
۱-۵) مقدمه	۱۵۴
۲-۵) تقاضای جهانی برق در سالهای بعد از ۲۰۱۵	۱۵۴
۳-۵) پیمان کیوتو	۱۵۷
۴-۵) آینده سیستم های PV	۱۶۰
۱-۴-۵) رشد PV	۱۶۲
۲-۴-۵) کاهش قیمت تولید	۱۶۴
۳-۴-۵) میزان نفوذ	۱۶۵
۴-۴-۵) شبکه های تحمیلی	۱۶۹
فصل ششم: ۶) منابع و مراجع	۱۷۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱) متوسط نرخ رشد نصب نیروگاه‌های مختلف از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳ در جهان ۱۸
- شکل ۱-۲) اجزای مختلف تابش جهانی روی زمین هنگام برخورد به سطح ۳۰
- شکل ۲-۲) تعریف زاویه زنبت و air mas ۳۰
- شکل ۳-۲) پیرانومتر ۳۲
- شکل ۴-۲) پیرلومتر و ردیاب خورشیدی ۳۳
- شکل ۵-۲) پیرانومتر سایه‌ای ۳۳
- شکل ۶-۲) آلبدومتر ۳۴
- شکل ۷-۲) نیروگاه سهموی خطی ۳۸
- شکل ۸-۲) نیروگاه دریافت کننده مرکزی ۴۰
- شکل ۹-۲) نیروگاه پشته‌ای ۴۲
- شکل ۱۰-۲) تزریق سیلیکون ۵۱
- شکل ۱۱-۲) تولید جفت الکترون و حفره با تابش نور ۵۱
- شکل ۱۲-۲) تولید جفت الکترون و حفره با تابش نور ۵۲
- شکل ۱۳-۲) مدار معادل مازول خورشیدی ۵۳
- شکل ۱۴-۲) منحنی جریان - ولتاژ برای یک سلول به ازای بارهای مختلف ۵۳
- شکل ۱۵-۲) منحنی مشخصه‌های خروجی پانل فتوولتائیک به ازای دماهای مختلف ۵۴
- شکل ۱۶-۲) منحنی تغییرات جریان و ولتاژ سلول به ازای تابش‌های مختلف ۵۶
- شکل ۱۷-۲) سلول، واحد (ماژول)، آرایه ۶۰
- شکل ۱۸-۲) منحنی مشخصه اتصال سری ماژول‌ها ۶۰
- شکل ۱۹-۲) منحنی مشخصه اتصال موازی ماژول‌ها ۶۱
- شکل ۲۰-۲) مشخصه ولتاژ جریان به ازای بارهای مختلف ۶۳
- شکل ۲۱-۲) مشخصه ولتاژ جریان به ازای بارهای مختلف ۷۰
- شکل ۲۲-۲) منحنی بازده - تابش سلول فتوولتائیک ۷۱
- شکل ۲۳-۲) منحنی واقعی جریان - زاویه برای سلول PV ۷۲
- شکل ۲۴-۲) تحت سایه بودن یک سلول در یک رشته طولانی از یک آرایه فتوولتائیک ۷۳

- شکل ۲۵-۲) کاهش توان خروجی بر اثر ایجاد سایه ۷۴
- شکل ۲۶-۲) مازول n سلول. (a) سلول n م تحت تابش (b) سلول n م تحت سایه ۷۵
- شکل ۲۷-۲) اثر تحت سایه قرار گرفتن یک سلول از یک مازول n سلولی ۷۷
- شکل ۲۸-۲) افت ولتاژ ایجاد شده بر اثر سایه بدون دیود bypass ۷۸
- شکل ۲۹-۲) حذف افت ولتاژ ایجاد شده بر اثر سایه با دیود bypass ۷۸
- شکل ۳۰-۲) چگونگی کاهش اثر سایه توسط دیود bypass ۷۹
- شکل ۳۱-۲) استفاده از دیود bypass در کاهش اثر سایه ۸۰
- شکل ۳۲-۲) اثر افزایش دما بر روی منحنی $P-V$ سلول ۸۲
- شکل ۳۳-۲) نقطه کار سیستم به ازای بارهای مختلف ۸۴
- شکل ۱-۳) بلوک دیاگرام یک سیستم PV مستقل از شبکه ۸۸
- شکل ۲-۳) ژنراتور pv ۹۰
- شکل ۳-۳) ساختار یک سلول خورشیدی ۹۴
- شکل ۴-۳) منحنی طول عمر یک باتری دشارژ عمیق ۹۶
- شکل ۵-۳) منحنی طول عمر یک باتری دشارژ عمیق ۹۸
- شکل ۶-۳) واکنش های شارژ و دشارژ یک باتری سرب - اسید ۹۸
- شکل ۷-۳) نمودار ولتاژ و چگالی ویژه برای یک باتری سرب - اسید ۱۲ ولتی ۹۹
- شکل ۸-۳) مدار معادل یک باتری الکتروشیمیایی به همراه مقاومت داخلی ۱۰۰
- شکل ۹-۳) تلاقی مشخصه باتری و بار در نقطه کار ۱۰۱
- شکل ۱۰-۳) ظرفیت باتری سرب - اسید به ازای تغییرات دما و نرخ دشارژ ۱۰۳
- شکل ۱۱-۳) موقعیت باتری در سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه ۱۰۴
- شکل ۱۲-۳) مبدل dc-dc مورد استفاده در سیستم PV مستقل از شبکه ۱۰۷
- شکل ۱۳-۳) مبدل Buck ۱۰۸
- شکل ۱۴-۳) منحنی ولتاژ خروجی بر حسب سیکل کاری ۱۰۸
- شکل ۱۵-۳) مبدل Bost ۱۰۹
- شکل ۱۶-۳) منحنی $M(D)$ بر حسب D ۱۰۹
- شکل ۱۷-۳) Sub circuit 1 ۱۱۰

شکل ۱۸-۳	Sub circuit 2	۱۱۰
شکل ۱۹-۳	منحنی ولتاژ سلف بر حسب زمان	۱۱۱
شکل ۲۰-۳	منحنی جریان خازن بر حسب زمان	۱۱۲
شکل ۲۱-۳	ساختار کلی یک اینورتر	۱۱۳
شکل ۲۲-۳	انواع کلیدهای نیمه هادی	۱۱۵
شکل ۲۳-۳	اینورتر منبع ولتاژ	۱۱۶
شکل ۲۴-۳	اینورتر منبع جریان	۱۱۶
شکل ۲۵-۳	نمودار بلاکی سیستم، شامل سلول PV و بلاک MPPT	۱۱۹
شکل ۲۶-۳	مدل ترانسفورماتور قابل کنترل برای واحد MPPT	۱۲۰
شکل ۲۷-۳	آرایه PV و مشخصه انتقال یافته بار با تغییر نسبت تبدیل K	۱۲۰
شکل ۲۸-۳	مدل مقاومت بدون تلفات	۱۲۱
شکل ۲۹-۳	مدل مقاومت بدون تلفات کنترل شده، برای شبکه MPPT	۱۲۲
شکل ۳۰-۳	عملیات ردیابی نقطه MPP توسط مبدل، بر پایه مقاومت بدون تلف	۱۲۲
شکل ۳۱-۳	سهم انواع سیستم‌های فتوولتائیک در جهان	۱۲۴
شکل ۳۲-۳	یک سیستم فتوولتائیک ساده متصل به شبکه	۱۲۷
شکل ۳۳-۳	قسمت‌های مختلف یک سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه	۱۲۷
شکل ۳۴-۳	ماژول‌های PV دارنده اینورتر مستقل	۱۲۸
شکل ۳۵-۳	اینورتر مرکزی سیستم‌های PV بزرگ	۱۲۹
شکل ۳۶-۳	منحنی بار شبکه و منحنی توان سیستم PV در تقابل با یکدیگر	۱۳۰
شکل ۳۷-۳	ترکیب دو ماژول با مشخصه غیر یکسان	۱۳۲
شکل ۳۸-۳	نمودار بازده اینورتر با تغییرات بار	۱۳۳
شکل ۱-۴	مقدار کلی کاهش بهای انرژی توسط سیستم PV	۱۴۷
شکل ۲-۴	نمودار سوددهی برای سیستم فتوولتائیک	۱۴۸
شکل ۳-۴	نمودار سوددهی برای سیستم فتوولتائیک	۱۵۰
شکل ۱-۵	مصرف انرژی الکتریسته برای سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۱۵	۱۵۷
شکل ۲-۵	مصرف انرژی به وسیله کشورهای صنعتی و در حال توسعه در سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۱۵	۱۵۷

- شکل ۳۵) مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه آسیا برای ۱۹۹۰-۲۰۱۵ ۱۵۹
- شکل ۴۵) کاهش گازهای گلخانه‌ای در پیمان کیوتو ۱۶۰
- شکل ۵۵) ظرفیت تولید و نصب شده PV در سرتاسر جهان ۱۶۳
- شکل ۶۵) آینده تکنولوژی‌های PV براساس هزینه مقرون به صرفه ۱۶۴
- شکل ۷۵) رشد و جا افتادن یک محصول جدید ۱۶۷
- شکل ۸۵) نرخ نفوذ تولید جدید جایگزین شده برای تولیدات موجود ۱۶۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: انواع تکنولوژی‌های تولید پراکنده ۱۹
- جدول ۱-۲: مشخصات محصولات برخی سازنده‌های معتبر خارجی (شرایط تست استاندارد) ۶۹
- جدول ۲-۲: مقادیر واقعی و ریاضی جریان سلول سیلیکونی به ازای زوایای تابش متفاوت ۷۲
- جدول ۱-۳: سیکل دشارژ چند نوع باتری به ازای دشارژ $C/20$ و $C/100$ ۱۰۳
- جدول ۲-۳: مشخصات کلیدهای الکترونیک قدرت ۱۱۵
- جدول ۳-۳: اینورترهای مورد استفاده در سیستم‌های فتوولتائیک ۱۱۸
- جدول ۴-۳: مشخصات مربوط به نیروگاه‌های خورشیدی در جهان به همراه مشخصات آن‌ها ۱۲۴
- جدول ۱-۴: هزینه سرمایه‌گذاری برای تکنولوژی‌های مختلف تولید برق ۱۴۰
- جدول ۲-۴: هزینه سرمایه‌گذاری برای تکنولوژی‌های مختلف تولید برق ۱۴۲
- جدول ۳-۴: هزینه تولید الکتریسیته با تکنولوژی‌های مختلف در سال ۲۰۰۳ ۱۴۴
- جدول ۴-۴: میانگین قیمت الکتریسیته برای مشترکین خانگی در کشورهای مختلف در سال ۲۰۰۲ ۱۵۲
- جدول ۱-۵: سرانه مصرف الکتریسیته در مناطق مختلف در سال‌های ۱۹۸۰، ۱۹۹۵ و ۲۰۱۵ برحسب Mwh ۱۵۷
- جدول ۲-۵: اهداف سازمان انرژی تجدیدپذیر ایالات‌های آمریکا ۱۶۵
- Person*