

اینورترها و کانورترهای صنعتی

Industrial Inverters and Converters

شرکت مهندسی تالیران (سهامی خاص)

TALIRAN Engineering PJS Co



www.taliran.com



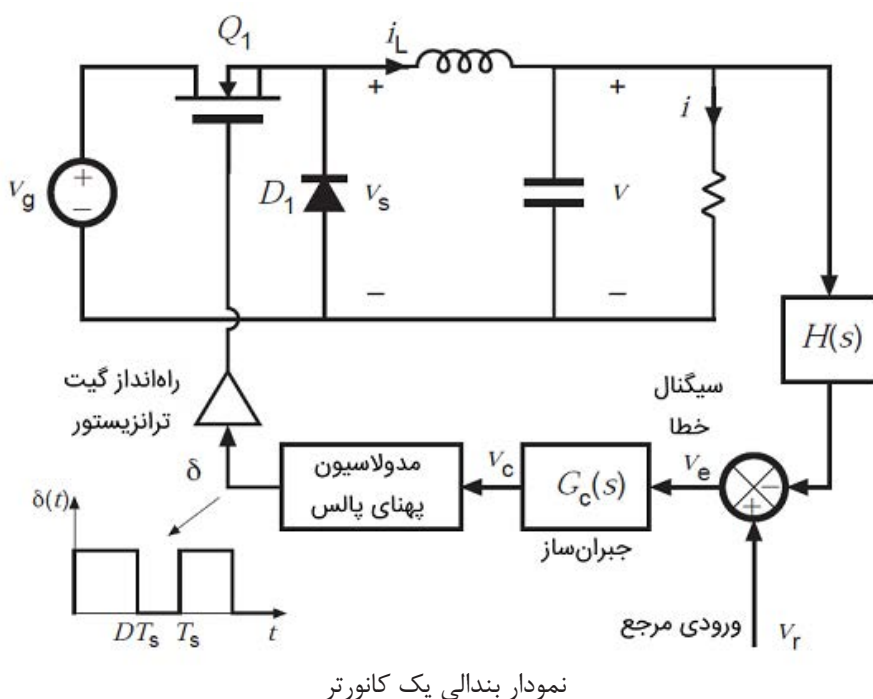
۱- کانورترها (Convertors)

تعریف

با توجه به این که کلمات **converter** و **inverter** هر دو به معنی مبدل می باشند و در کاربرد دقیق آنها نه تنها در فارسی بلکه در انگلیسی نیز تشبث و دوگانگی وجود دارد و این دو گه‌گاه به جای یکدیگر بکار می روند، لازم است تأکید شود که در این کتابچه هر جا صحبت از کانورتر می‌شود به معنای مبدل برق مستقیم به مستقیم خواهد بود (DC-DC Converter). واژه نامه وبستر (Merriam Webster) ذیل کلمه **converter** چنین می‌گوید: «کانورتر وسیله ای است که انرژی الکتریکی را از شکلی به شکل دیگر تبدیل می کند؛ به عنوان مثال از جریان مستقیم به جریان متناوب یا برعکس». هیچ کدام از این مثال ها مد نظر ما نمی باشد. چرا که در اینجا نوع اول را اینورتر و نوع دوم را یکسو کننده می نامیم. البته نظر به این که در تبدیل برق مستقیم به مستقیم، مقدار اولیه آن کاهش و یا افزایش می یابد، هنوز تعریف وبستر به لحاظ کلی صادق خواهد بود.

مبدل برق مستقیم به مستقیم (DC-DC Converter)

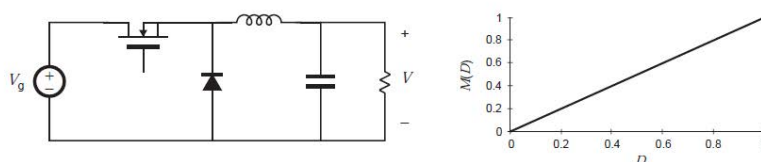
زمانی پیش می‌آید که منبع تغذیه جریان مستقیم با ولتاژ و قدرت معینی وجود دارد اما در عمل ولتاژی کمتر یا بیشتر مورد نیاز است. در این صورت ولتاژ مورد نیاز را با استفاده از فناوری خطی یا سوئیچ مد از ولتاژ موجود تأمین می‌نمائیم. در شکل زیر اصول کار مبدل DC به DC با استفاده از تکنیک سوئیچ مد نشان داده شده است.



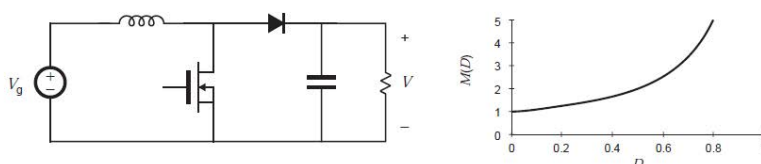
درحالتی که ولتاژ کم از ولتاژ زیاد حاصل گردد، کانورتر کاهنده (Buck or Step-Down Converter) و برای وقتی که ولتاژ زیاد از ولتاژ کم بدست آید کانورتر افزایشنده (Converter Boost or Step-Up) خواهیم داشت. حالتی نیز متصور است که ولتاژ ورودی، امکان تبدیل به ولتاژ کمتر یا بیشتر از خود داشته باشد؛ در این صورت کانورتر کاهنده-افزاینده (Buck-Boost) خواهیم داشت.

در شکل‌های زیر انواع مبدل‌های کاهنده، افزایشنده، چوک (CHOKE)، و سپیک (SEPIC) نشان داده شده است. چنانچه پیداست، با تغییر پارامتر D (Duty Cycle) یا همان مدت روشن بودن کلید (اعم از ترانزیستور، MOSFET، IGBT، ...، در هر سیکل یا چرخه، ولتاژ خروجی کاهش یا افزایش می‌یابد. در مبدل کاهنده ولتاژ خروجی همیشه کمتر یا مساوی ولتاژ ورودی و در مبدل افزایشنده همیشه بزرگتر یا مساوی آن می‌باشد. در مبدل کاهنده - افزایشنده ولتاژ خروجی برای حالت $0 < D \leq 0.5$ کمتر یا مساوی ولتاژ ورودی و برای حالت $0.5 < D \leq 1$ بزرگتر از ولتاژ ورودی می‌باشد. شایان ذکر است که در این حالت پلاریته ولتاژ خروجی تغییر می‌یابد. منحنی خروجی مبدل چوک و سپیک نیز بی‌شباهت به مبدل کاهنده افزایشنده نیست با این تفاوت که در مبدل سپیک، پلاریته ولتاژ خروجی مثبت می‌باشد.

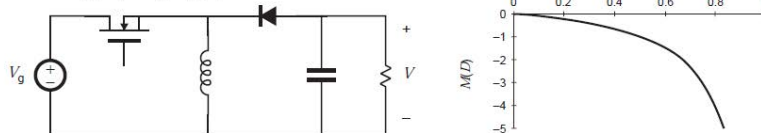
مبدل باک یا کاهنده



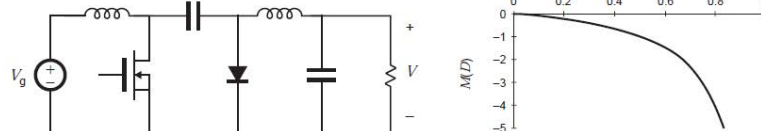
مبدل بوست یا افزایشنده



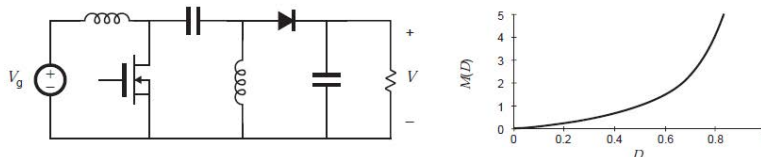
مبدل باک-بوست یا افزایشنده-کاهنده



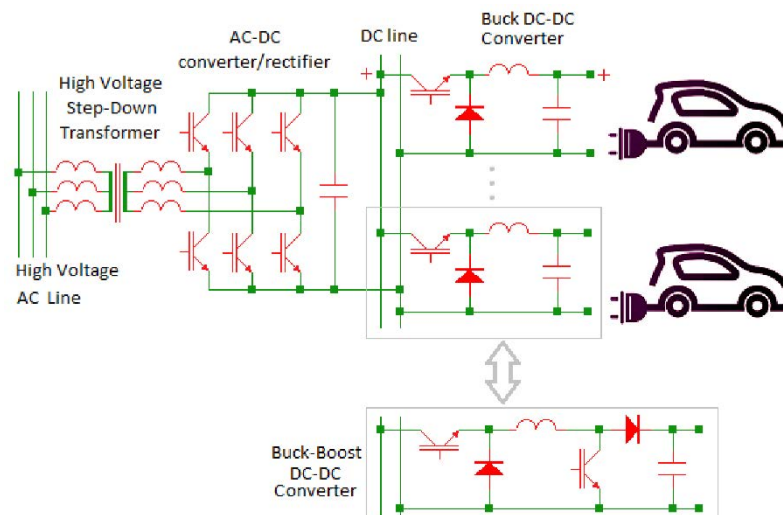
مبدل چوک



مبدل سپیک



یکی از موارد مورد استفاده مبدل DC به DC در شارژرهای ماشین‌های برقی می‌باشد. شکل زیر شمای کلی این مدار را نشان می‌دهد.



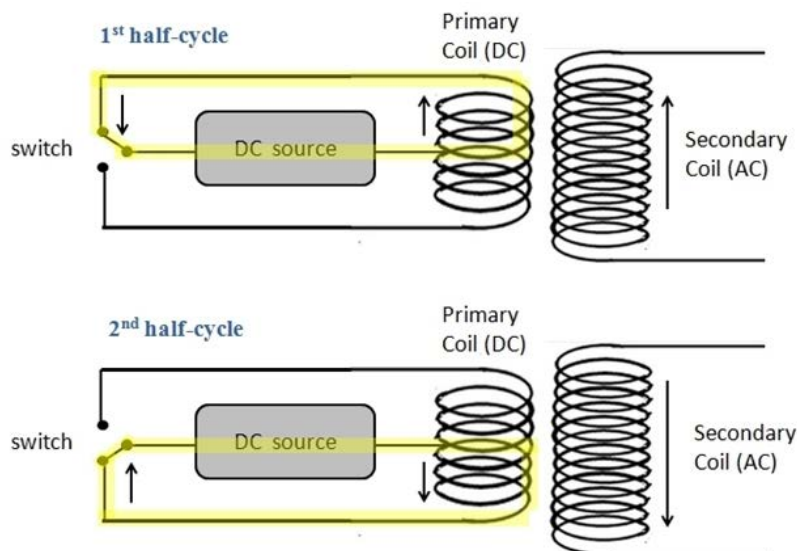
۲-اینورتر (Inverters)

تعریف

پیرو توضیحات پیشین، برای تبدیل جریان مستقیم به متناوب از کلمه اینورتر استفاده خواهیم کرد (DC-AC Inverter). واژه نامه وبستر (Merriam Webster) کلمه inverter را درست به همان معنی به کار می برد که ما قصد داریم در این کتابچه بکار ببریم: تبدیل جریان مستقیم به متناوب (DC-AC Inverter).

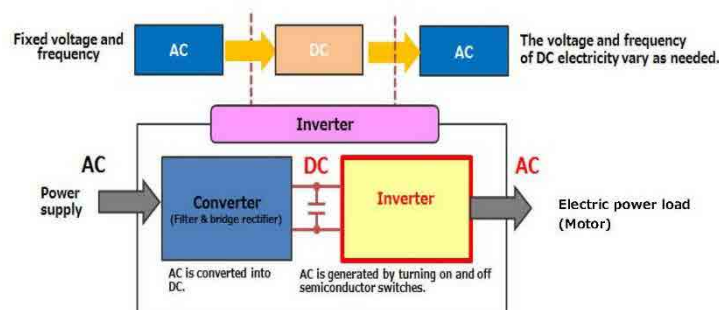
مبدل برق مستقیم به متناوب (DC-AC Inverter)

رایج ترین کاربرد مبدل برق مستقیم به متناوب در یو پی اس ها (Uninterrupted Power Supply) می باشد که هنگام فقدان برق شهر، برق باتری را به ۲۳۰ ولت و یا هر ولتاژ دلخواه متناوب دیگر تبدیل می کند. فرآیند تبدیل در اینجا نیز می تواند با استفاده از فناوری خطی و یا سوئیچ مد انجام پذیرد. در فناوری خطی ولتاژ DC ابتدا به ولتاژ AC تبدیل شده، سپس با استفاده از ترانس و فیلتر به ولتاژ متناوب با دامنه معین برگردانده می شود. در روش سوئیچ مد همین کار در فرکانس های بالا و با استفاده از ترانس های فرکانس بالا انجام می گردد.

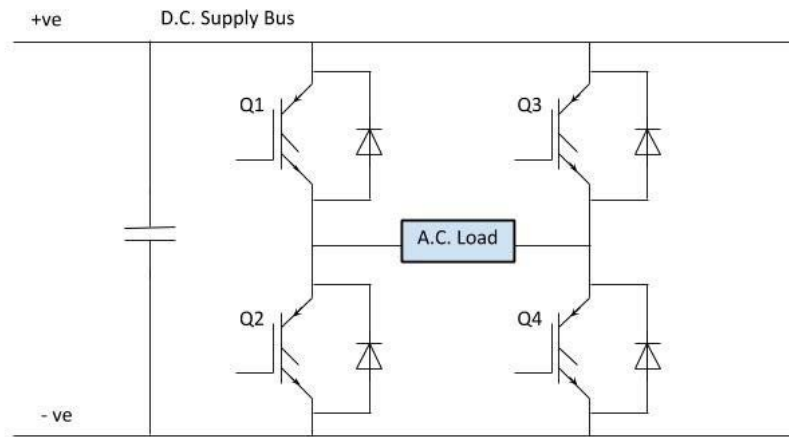


نمودار یک اینورتر ساده

با تغییر حالت کلید در شکل بالا، در ثانویه ترانس موج متناوب مربعی شکل به وجود می آید.

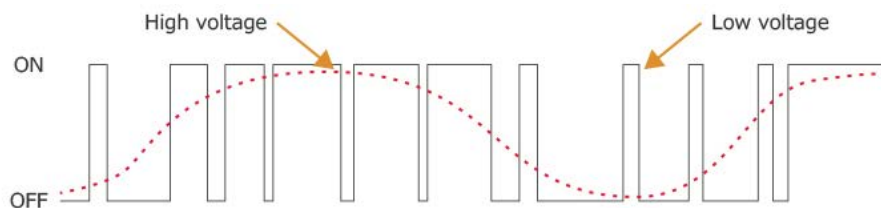


نمودار بندالی اینورتر و یکسو کننده به عنوان منبع تغذیه آن



نمودار ساده اینورتر DC به AC با منبع تغذیه باتری و IGBT

(مدار کنترل به ترمینال های G آی جی بی تی وصل می شود)



نمودار تکنیک PWM برای تبدیل جریان مستقیم به جریان تقریباً سینوسی

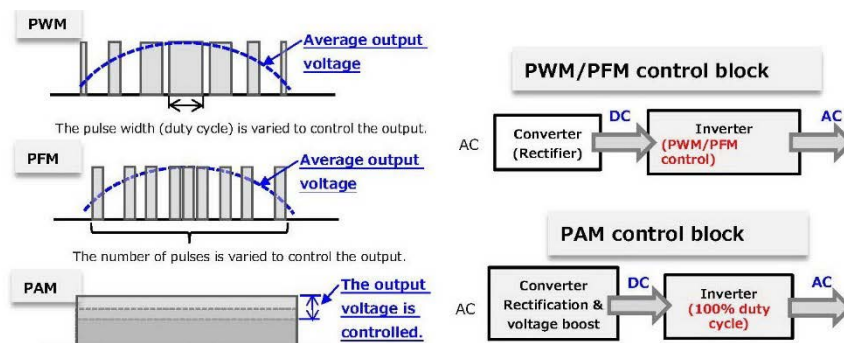
چنانچه در دو نمودار بالا مشاهده می شود، جریان مستقیم با استفاده از تکنیک مدولاسیون پهنای پالس

(Pulse Width Modulation) PWM

و تغییر فواصل قطع و وصل ترانزیستورهای قدرت مانند

بدست می دهد. ویژگی IGBT قابلیت قطع و وصل فوق سریع آن است. در صنعت منابع تغذیه، عموماً از روش PMW استفاده می شود.

خالی از فایده نیست که به سایر تکنیکهای مدولاسیون ولتاژ نیز اشاره گذرائی داشته باشیم. همان گونه که در بالا دیدیم تکنیک PMW بر تغییرات پهنای موج متمرکز است. تکنیک (Pulse-frequency modulation) PFM عمل مدولاسیون را از طریق افزایش و کاهش فرکانس انجام می دهد و در تکنیک (Pulse-amplitude modulation) PAM مدولاسیون از طریق افزایش و کاهش دامنه ولتاژ انجام می گردد. با وجود این، رایج ترین تکنیک همانا PMW می باشد.



نمودار بندالی تکنیکهای مختلف مدولاسیون در اینورترها

باتری های خورشیدی یکی دیگر از عرصه های مهم تبدیل برق مستقیم به متناوب است که در بخش های بعدی به آن بیشتر خواهیم پرداخت.

۳- نیروگاه خورشیدی

خورشید منبع لایزال انرژی

طبق تحقیق و اندازه گیری ناسا (NASA)، توان متوسط دریافتی از خورشید در زمین با در نظر گرفتن این که همزمان فقط نصف کره از طریق خورشید روشن می شود و لحاظداشت تأثیر فصول و زاویه تابش و غیره، ۳۴۰ وات بر مترمربع زمین می باشد. مساحت زمین ۵۱۰،۱ میلیون کیلو متر مربع است. بنابراین توان دریافتی زمین از خورشید ۱۷۳،۴۳۴ ترا وات خواهد بود (Tera=10¹²).

مصرف سالانه انرژی در سال ۲۰۱۸ در کره زمین ۲۳،۳۹۸ ترا وات ساعت بوده است. طبق تجربه عملی، در محاسبه وات ساعت از وات، فرض می شود توان نصب شده حدود ۸،۵ ساعت در شبانه روز مورد بهره برداری قرار می گیرد. در نتیجه از تقسیم رقم فوق به حاصلضرب ۸،۵ × ۳۶۵ ساعت به توان ۷،۵۴ ترا وات (یا ۷۵۴۰ هزار مگاوات) خواهیم رسید. برای ملموس شدن موضوع یادآور می شود که ظرفیت اسمی برق ایران در حال حاضر ۸۶ هزار مگاوات و ظرفیت مفید کمتر از ۶۰ هزار مگاوات می باشد. این نشان می دهد که خورشید به طور متوسط حدود ۲۳،۰۰۰ برابر انرژی مورد نیاز بشر، انرژی به زمین می فرستد. شایان ذکر است که در برخی منابع این نسبت ۱۰،۰۰۰ برابر ذکر شده که محاسبه نشان می دهد صحیح نیست. سرانجام روزی انرژی خورشید تمام خواهد شد اما آن روز میلیاردها سال بعد اتفاق خواهد افتاد. بنابراین هر گونه سرمایه گذاری انسان برای استفاده بهینه از انرژی خورشیدی مطلقاً دارای توجیه اقتصادی می باشد.

تاریخچه استفاده بشر از انرژی خورشیدی

اولین استفاده بشر از انرژی خورشیدی به قرن هفت پیش از میلاد مسیح برمی گردد که از ذره بین برای روشن کردن آتش استفاده می شده است. بعدها بهره برداری از انوار خورشید جهت گرم کردن آب نیز باب شد. در سال ۱۸۷۳ کشف شد که سلنیوم دارای خواص هدایت نوری (photoconductivity) است. این بدان معناست که تابش نور به سلنیوم موجب افزایش هدایت الکتریکی آن می گردد. با استفاده از این ایده در سال ۱۸۷۶ دو دانشمند دریافتند که سلنیوم با قرار گرفتن در معرض نور خورشید الکتریسیته تولید می کند. در سال ۱۸۸۳ اولین سلول خورشیدی (Photovoltaic) PV با استفاده از تراشه های سلنیومی ساخته شد. با وجود این اعتبار اختراع سلول های خورشیدی از نوعی که امروزه رایج است به سه مهندس آزمایشگاه بل داده می شود. آنها برای اولین بار در سال ۱۹۵۴ سلول خورشیدی را از سیلیکون ساختند.

The History of Solar Energy



بازده و قیمت پانل های خورشیدی

بازده پانل های خورشیدی و قیمت تمام شده هر وات پانل مهمترین عوامل تعیین کننده در اقبال مردم نسبت به استفاده از انرژی خورشیدی است.

وقتی که برای اولین بار تولید برق از پانل های خورشیدی آغاز شد، بازده در حدود 4% بود. پیشرفت فناوری موجب شد تا سال ۱۹۶۰ پانل هایی با بازده 14% امکان تولید داشته باشد. بازده در سال ۱۹۸۵ به 20%، سال ۱۹۹۹ به 33.3% و در سال ۲۰۱۶ به 34.5% رسیده است.

قیمت پانل های خورشیدی نیز در طول زمان سیر نزولی داشته است. در سال ۱۹۵۶ قیمت پانل های خورشیدی تقریباً ۳۰۰ دلار برای هر وات پانل بود. این رقم در سال ۱۹۷۵ به کمی بیش از ۱۰۰ دلار رسید. امروزه قیمت هر وات پانل خورشیدی حدود ۰،۵۰ دلار است. چنانچه پیداست، قیمت پانل های خورشیدی سالیانه حداقل 10% کاهش یافته است. از آن طرف تولید برق به روش های سنتی و از سوخت های فسیلی نیز به مرور گرانتر می شوند. با وجود آن کاهش و این افزایش هزینه ها، کارشناسان امر برآورد می کنند که ۹ تا ۱۸ سال طول خواهد کشید تا هزینه سرمایه گذاری بر کیلووات توان خورشیدی با هزینه مشابه

برای نیروگاه های سیکل ترکیبی برابری نماید. این نقطه را اصلاً "برابری شبکه" (grid parity) می نامند. بدیهی است عوامل متعددی مانند کیفیت تابش خورشید، تعداد روزهای آفتابی در سال، آلودگی و تمیزی هوا، میزان و نحوه دسترسی به منابع سوخت فسیلی، مدیریت اثربخش، و ... زمان تحقق برابری شبکه را در کشورهای مختلف تحت تأثیر قرار داده و خواهد داد.



ایران در ارتباط با دسترسی به انرژی خورشیدی امکانات گسترده ای را در اختیار دارد. مساحت کل کشور طبق آمار سال ۱۳۹۰ سازمان جغرافیائی نیروهای مسلح ۱,۸۷۳,۹۵۹ کیلومتر مربع برآورد شده که ۱,۶۳۲,۲۱۰ کیلومتر مربع آن خشکی است. حدود ۴۴,۰۰۰ کیلو متر مربع از خشکی های کشور را بیابان و مناطق کویری تشکیل می دهند.

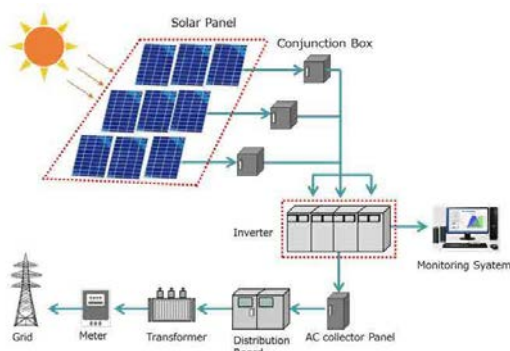
چنانچه بخواهیم معادل ظرفیت اسمی حال حاضر برق ایران، که در خوشبینانه ترین برآورد ۸۶,۰۰۰ مگاوات است، نیروگاه خورشیدی بسازیم، چه مقدار زمین مورد نیاز خواهد بود؟ با فرض توان متوسط دریافتی ۳۴۰ وات بر مترمربع در زمین و با بازده 34.5% فعلی پانلهای خورشیدی، ۷۳۳ کیلو مترمربع زمین لازم خواهد بود که برابر فقط 1.7% مساحت بیابانهای ایران است.

اهداف تولید برق از سیستمهای خورشیدی

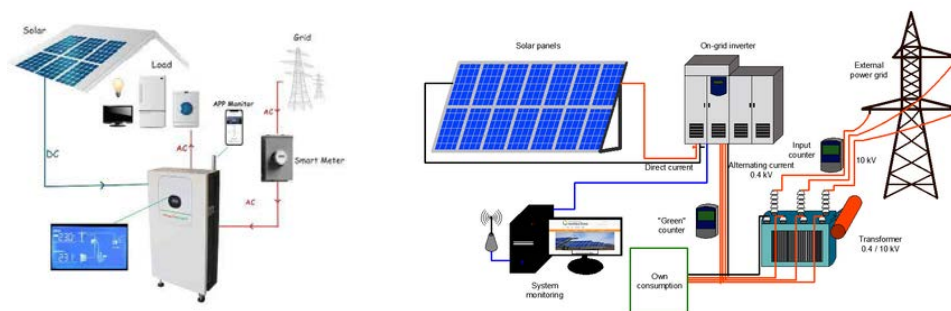
برای مراکز تولید برق از انرژی خورشیدی چند حالت قابل تصور است.

۱- تولید انرژی از خورشید برای تزریق به شبکه عمومی برق

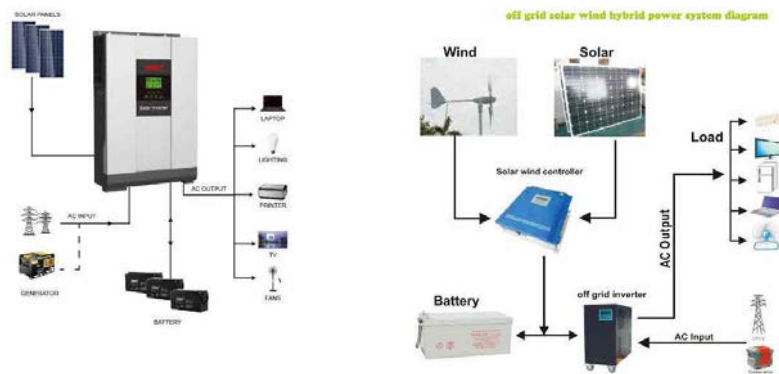
در این حالت نیازی به باتری و شارژر وجود ندارد. اما اینورتر DC به AC، کنترل و مونیتورینگ، ترانسفورماتور افزایشدهنده، و کنتور و لوازم اندازه گیری جزو الزامات می باشد.



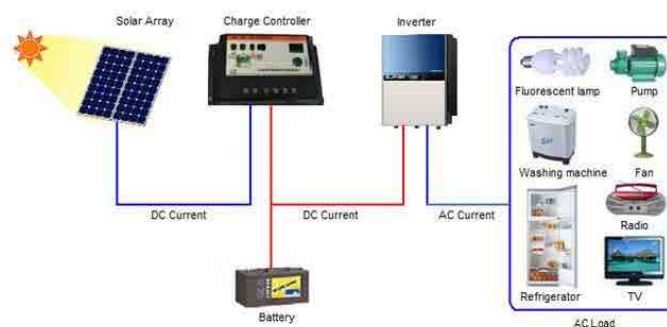
۲- تولید برق خورشیدی برای مصرف در تأسیسات جنبی نیروگاه در عین دسترسی به شبکه عمومی در صورت دسترسی به شبکه عمومی وجود باتری و شارژر الزامی نیست.



اما چنانچه به هر دلیل خواسته شود در اوقات تاریک یا مواقع کمبود نور خورشید نیز تا حد امکان از برق عمومی استفاده نشود، سیستم باتری و شارژر در نیروگاه تعبیه می شود.

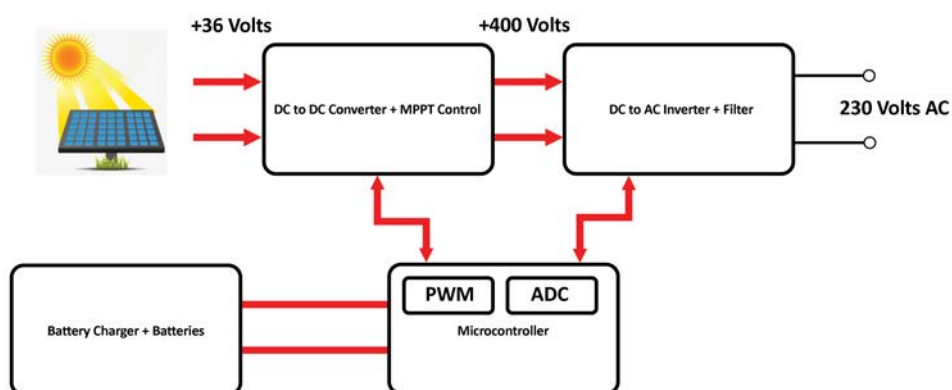


۳- تولید برق خورشیدی برای مصرف در تأسیسات جنبی نیروگاه در فقدان دسترسی به شبکه برق عمومی در این حالت وجود باتری و شارژر الزامی است.



کانورتر، اینورتر، و شارژر مورد استفاده در نیروگاه های خورشیدی

کانورتر DC به DC، اینورتر DC به AC، و شارژر باتری در صورت وجود باتری خانه، از تجهیزات اصلی مورد استفاده در نیروگاه های خورشیدی است. اصول کلی مبدل ها که در بخش های پیشین بحث شد در اینجا هم حاکم است با این تفاوت که به دلیل تغییر شرایط جوی مانند تابش (irradiance) و دما در طول شبانه روز و فصول چهارگانه سال، بازده پانل های خورشیدی یکسان نمانده و به طور مرتب کم و زیاد می شود و در نتیجه ولتاژ و جریان ورودی کانورتر و اینورتر در اثر تغییر ولتاژ و جریان خروجی پانل های خورشیدی تغییر می یابد. تفاوت مهم دیگری نیز مطرح است که به پیچیدگی موضوع می افزاید و آن غیر خطی بودن تغییرات جریان به ولتاژ است. علت آن است که مقاومت داخلی پانل های خورشیدی ثابت نبوده و با تغییر دمای پانل تغییر می نماید.



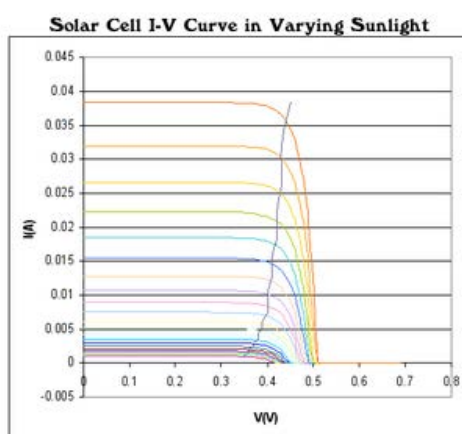
نمودار بندالی یک سیستم خورشیدی

در نمودار بالا مشاهده می شود که ولتاژ ۳۶ ولت باتری خورشیدی، با استفاده از روش های تبدیل DC به DC و فناوری ردیابی نقطه حداکثر توان MPPT (Maximum Power Point Tracking) به ۴۰۰ ولت مستقیم و سپس از طریق تبدیل DC به AC به ۲۳۰ ولت متناوب تبدیل می شود. باید یادآور شویم که تنها پارامتر غیر متغیر در نمودار بالا خروجی اینورتر است. بقیه مقادیر صرفاً جنبه مثال دارد.

به منظور ذخیره انرژی در باتری ها برای اوقات تاریک یا کم نور، از باتری های ذخیره ساز و میکروکنترلر و شارژر استفاده می شود. در میکرو کنترلر، بخش مدولاسیون عرض پالس PWM برای تبدیل خروجی باتری خورشیدی به جریان متناوب به منظور تغذیه شارژر و قسمت

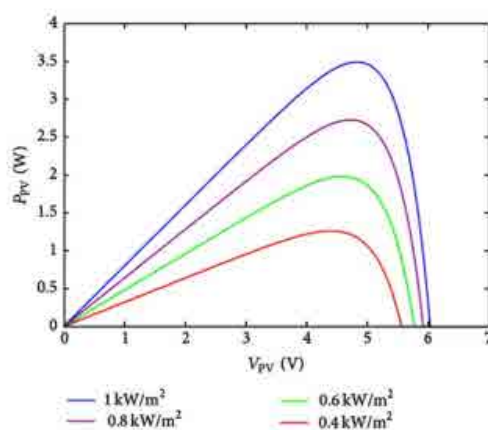
ADC (Application Delivery Controller) به مثابه پردازشگر کامپیوتری در خدمت برقراری بالانس بین پارامترهای سیستم می باشد.

در هر ساعتی از روز فقط یک نقطه وجود دارد که توان خروجی از پانل خورشیدی حداکثر است. از این رو نمونه گیری از ولتاژ و جریان خروجی از پانل و ردیابی نقطه حداکثر توان الزامی می باشد.



منحنی تغییرات جریان و ولتاژ در پانلهای خورشیدی

در شکل زیر منحنی های تغییرات توان خروجی پانل خورشیدی به ولتاژ برای شدت تابش های مختلف نشان داده شده است. چنانچه پیداست، برای هر منحنی فقط یک نقطه بیشینه وجود دارد و پس از آن باوجود افزایش ولتاژ، توان کاهش می یابد. منحنی آبی رنگ برای شدیدترین تابش و منحنی قرمز برای ضعیف ترین تابش تهیه و ترسیم شده است.

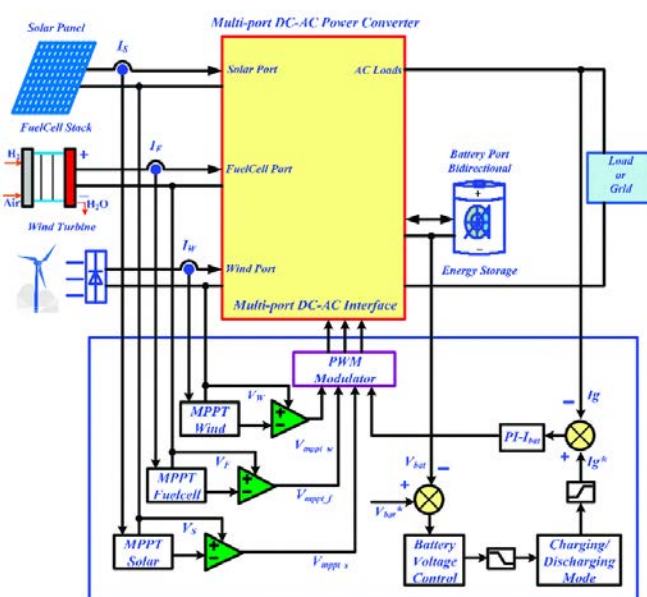


منحنی تغییرات توان و ولتاژ در پانلهای خورشیدی

همان گونه که در منحنی های جریان - ولتاژ در شکل بالا هم مشهود است، یک پانل خورشیدی برای تابش معینی عمدتاً مانند یک منبع جریان (constant current source) ثابت عمل می نماید و فقط در انتهای منحنی، تغییرات حالت نمائی معکوس (inverse exponential) پیدا می کند. البته با توجه متغیرهای محیطی و تغییرات مداوم تابش، منحنی جریان به ولتاژ دائم در حال تغییر سطح می باشد که اصطلاح ردیابی نیز به آن دلیل انتخاب شده است و گرنه یک نقطه پیدا می شد و تنظیمات حول آن ثابت می گردید.

طبق تئوری پایه ای مدار (basic circuit theory)، تحویل حداکثر توان از منبع به بار موقعی اتفاق می افتد که تغییرات جریان به ولتاژ در دو سر منبع - که همان شیب منحنی است - با منفی نسبت جریان به ولتاژ برابر باشد ($dl/dv = -I/V$). این تساوی موقعی رخ می دهد که منحنی در نقطه زانو یا نقطه چرخش منحنی جریان - ولتاژ از خط به تابع نمائی معکوس باشد. به تعبیر دیگر مقاومتی که از سوی منبع در سمت بار دیده می شود باید برابر مقاومت داخلی منبع باشد.

برای ردیابی نقطه حداکثر توان، چند روش وجود دارد. روش معمول و رایج به "تپه نوردی" (hill climbing) معروف است. در این روش برای رسیدن به نقطه حداکثر توان، مقداری برای ولتاژ و جریان کانورتر DC-DC در نظر گرفته شده و توان دریافتی از پانل با نمونه گیرهایی که از ولتاژ و جریان خروجی پانل انجام می شود، محاسبه می گردد. در مرحله بعد مقدار ولتاژ و جریان کانورتر کمی اضافه می شود و دوباره همین کار انجام می گردد؛ و مادامی که مقدار توان همچنان در حال افزایش باشد این عمل ادامه می یابد. به محض کاهش توان، معلوم می شود که نقطه قبلی، نقطه حداکثر توان بوده است. با توجه به این که نسبت جریان به ولتاژ پانل به دلیل تغییرات مداوم محیطی و تغییر مقاومت داخل پانل در اثر تغییرات دما، پارامتری دینامیکی است، اندازه گیری و مقایسه های فوق بدون وقفه پی گیری می شود.



نمودار بندالی یک سیستم خورشیدی

شرکت مهندسی تال ایران (تالیران) سهامی خاص

دفتر مرکزی: تهران ۱۵۱۷۹۴۴۸۴۹، بلوار آفریقا، پایین تر از اتوبان حقانی، نبش خیابان ۲۵، پلاک ۶۲، طبقه ۴، واحد D4

کارخانه: شهریار ۳۱۶۴۳۴۳۵۹۳، صفادشت، جنب مخابرات و شهرداری، انتهای خیابان تختی، خیابان تالیران (صنایع غذای کامبیز)، سمت چپ

تلفن: ۰۲۱ - ۵۷ ۳۶۴

نمابر: ۰۲۱ - ۸۸ ۶۴ ۸۲ ۵۳

پست الکترونیک: office@taliran.com

تاریخ ۱۴۰۳/۰۲/۰۱ - همه حقوق محفوظ است.

TALIRAN Engineering PJS Co.

Office: D4, 4th Fl., No.62 , Corner of 25 Str., Afrigha Blvd., Below Haghani Hwy, Tehran 1517944849 , Iran

Factory: Shahriyar, Safadasht., Next to municipality, Takhti Str., 3164343593 After Kambiz factory

Tel: +98 (21) 57 364

Fax: +98 (21) 88 64 82 53

E-mail: office@taliran.com