مروری بر کنترل کننده و بارهای میکروگرید برای رسیدن به اقتصاد سبز و کمک به حل بحران آب

مهدی میرزائی*[۱]، شاهین احمدپور[۲]، محمد محمدزاده جزری[۲]، احمد وطن پور[۲]

[۱] دکتری برق-قدرت، مربی فنی و حرفه‌ای، مرکز شماره ۲۶ هوراند، سازمان فنی و حرفه‌ای، استان آذربایجان شرقی، هوراند، ایران

[۲] کارآموز فن ورز شبکه هوایی ، مرکز شماره ۲۶ هوراند، سازمان فنی و حرفه‌ای، استان آذربایجان شرقی، هوراند، ایران

[۳] سازمان فنی و حرفه ای استان آذربایجان شرقی، هوراند، ایران

[۴] سازمان فنی و حرفه ای استان آذربایجان شرقی، هوراند، ایران

Email Group (mirzaeymehdi@yahoo.com)

چکیده

بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل، ایران از جمله کشورهایی است که در سال ۲۰۲۵ با کمبود مزمن آب مواجه خواهد شد. در سال های اخیر تغییرات شدید آب و هوایی و وابسته بودن به نیروگاه های آبی موجب کاهش توان شبکه برای هفته ها و ماه ها می شود، لذا نیاز به راه حل های مستقیم و فوری را ایجاد می کند. اکنون توجه به عدم استفاده از ژنراتورهای دیزلی و نحوه کاهش استفاده آنها و یا جایگزینی آنها با انرژی های نو در بسیاری از کشورها مطرح و امری حیاطی است، لذا استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر یک راه میانبر برای رسیدن به اقتصاد سبز و بحران نیروگاه های آبی می باشد. میکروگرید بخشی از یک سیستم قدرت است که شامل یک یا چند واحد منبع تولید پراکنده بوده و انتظار می‌رود که پس از جدا شدن از سیستم شبکه بالا دستی بتواند در حالت بهره‌برداری باقی بماند. میکروگرید از تعدادی واحد تولید پراکنده نظیر توربین بادی، سیستم فتوولتاییک و پیل‌سوختی تشکیل می‌شود که قابلیت کنترل داشته و تامین کننده‌ی توان الکتریکی و در صورت نیاز گرمایی می‌باشد. در پژوهش حاضر به بیان جزئیات و مفهوم میکروگرید، بررسی قسمت‌های کنترلی مربوطه، وظایف کنترل کننده‌ها، مزایای فنی و اقتصادی میکروگرید، مشکلات و محدویت‌های استفاده از میکروگرید، چگونگی عملکرد میکروگرید، منابع ذخیره‌ساز انرژی، بارهای میکروگرید و انواع میکروگریدها پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی

میکروگرید، کنترل کننده، ذخیره‌کننده، تولید پراکنده، بارهای میگروگرید.

۱- مقدمه

ایران در منطقه خشک جهان قرار دارد و یکی از پرریسک‌ترین کشورها در زمینه منابع آبی است. اکوسیستم دنیا در حال تغییر است؛ انرژی‌های فسیلی جای خود را به انرژی‌های نو داده‌اند. انرژی اتمی و خورشیدی به مرور نیاز بشر به سوخت فسیلی را کاهش داده است. این درحالی است که کاهش نیاز بشریت و جامعه صنعتی به سوخت فسیلی سبب کاهش اهمیت منطقه خاورمیانه از لحاظ استراتژیک نشده است، چرا؟ زیرا این منطقه شاهد رقابتی در زمینه مساله منابع آبی خواهد بود؛ رقابتی بسیار وحشتناک که دنیا را به سوی جنگ و نزاع سوق خواهد داد. با گسترش روز افزون شبکه های برق در قرن بیستم مراکز تولید و مصرف انرژی الکتریکی در مسیرهای حلقوی به هم مرتبط شدند در این شبکه های سراسری، جهت انتقال توان همواره از مراکز تولید به سمت مصرف کننده بود. قرن بیست و یکم و نیاز روزافزون به منابع انرژی در سطح جهانی زمینه را برای مشارکت مصرف کنندگان در شبکه ی قدرت فراهم آورد. این مشارکت می تواند در سه بخش تولید، ذخیره سازی و مدیریت انرژی الکتریکی صورت گیرد. با گسترش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر (RES) که هم هزینه ی حاشیه ای بسیار پایین و در نتیجه بازده بسیار بالا دارند و هم منجر به تولید کمتر کربن و کاهش آلودگی هوا و نیز کمک به حل بحران آب می شوند از یک سو و از سوی دیگر ظهور منابع تولید پراکنده (DG) که بیشتر در سطح توزیع و طرف مصرف کننده نصب می شوند و از همه مهم تر بحث پایداری و انطباق پذیری شبکه، زمینه ی بروز تغییرات در ساختار شبکه های قدرت را فراهم ساخت. با گسترش پدیده خطرناک کم‌آبی، اکنون بیش از ۱۱ کشور با بیش از ۸۱۱ میلیون نفر جمعیت با بحران آب مواجه هستند. در صورت ادامه روند موجود تا سال ۲۰۵۰ میلادی این رقم به ۱۱ کشور با جمعیتی حدود دو سوم کل جمعیت دنیا خواهد رسید. لذا ضرورت سرمایه گذاری در پایان عمر شبکه و همچنین سرمایه گذاری جهت رفع تراکم خطوط شبکه به روش های بازار برق در کنار پیشرفت های صورت گرفته در زمینه ی سیستم های مخابراتی که سرعت انتقال اطلاعات را به نحو چشم گیری متحول نموده و پیشرفت های قابل ملاحظه ای در زمینه ی فناوری اطلاعات و امکان کاربرد اقتصادی آن ها در سیستم های قدرت همه و همه عواملی هستند که لزوم ایجاد تغییر در سیستم قدرت یکپارچه ی سنتی خصوصا رفع وابستگی به نیروگاه های آبی را موجب می شوند. جدی بودن بحران آب در خاورمیانه، به گونه‌ای است که در ۱۱ سال آینده بسیاری از کشورهای این منطقه قادر نخواهند بود آب مورد نیاز کشاورزی، صنعتی، آشامیدنی و دیگر مصارف خود را تأمین کنند. بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل، ایران از جمله کشورهایی است که در سال ۲۰۲۵ با کمبود مزمن آب مواجه خواهد شد. منیت انرژی، مقابله با گرمایش زمین و توسعه پایدار، عواملی محرک برای تجدید سیاست‌های تامین انرژی دولت‌های جهان هستند. این عوامل باعث تشویق دولت‌ها در حرکت به سمت اکتشاف، استخراج و توسعه منابع جدید انرژی شده‌اند. در این میان انرژی‌های نو یا تجدیدشونده، اهمیت بیشتری پیدا کرده‌اند و دولت‌ها علاقه روزافزونی به این گونه انرژی‌ها نشان می‌دهند؛ اما اینجا یک سوال مطرح است؛ آیا کمبود منابع آب می‌تواند یک عامل محدودکننده برای توسعه انرژی باشد؟

عوامل تغییر در شبکه های قدرت به اختصار شامل موارد زیر می باشند:

- افزایش مشارکت مصرف‌کنندگان در شبکه
  - در بخش تولید
  - در بخش ذخیره‌سازی
  - در بخش مدیریت و کنترل انرژی
- تولید کربن کمتر
  - کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید انرژی با بهره وری بالا
- کمک به حل بحران آب و عدم وابستگی به نیروگاه های آبی
- ضرورت سرمایه‌گذاری در پایان عمر شبکه
- ضرورت رفع تراکم شبکه با استفاده از روش‌های بازار برق (Congestion)
- پیشرفت IT (کاربرد اقتصادی آن در سیستم‌های انرژی)
- پایداری و انطباق پذیری

در حال حاضر ۲۰ درصد آب در بخش انرژی و صنعت و ۷۰ درصد در کشاورزی مصرف می‌شود و ۱۰ درصد هم آب آشامیدنی است. میزان آب تجدیدشونده در دنیا تنها معادل ۵۰ هزار کیلومتر مکعب است و انتظار می‌رود این میزان کم و ناچیز آب به دلیل گرمایش زمین کمتر هم بشود. با افزایش جمعیت، نیاز به آب آشامیدنی و کشاورزی، بهداشتی و غذایی بیشتر هم می‌شود. لذا یکی از تغییرات بنیادی ممکن در شبکه های قدرت، ایجاد شبکه های قدرت کوچک در دل شبکه ی بزرگ سراسری است که میکروگرید نامیده می شوند. بنابه پیش بینی وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا (DOE) تا سال ۲۰۲۰ ظرفیتی معادل 1 GW-13 GW با حدود ۵۵۰ میکروگرید هر کدام با توانی در حدود 10 MW و سود آوری یک میلیارد دلار ایجاد می شود. عوامل موثر بر این سودآوری و درصد مشارکت هر کدام درشکل ۱ دسته بندی شده است.

شکل ۱: درصد مشارکت هر کدام از عوامل موثر بر سود آوری ناشی از ورود میکروگرید ها به شبکه ی قدرت.

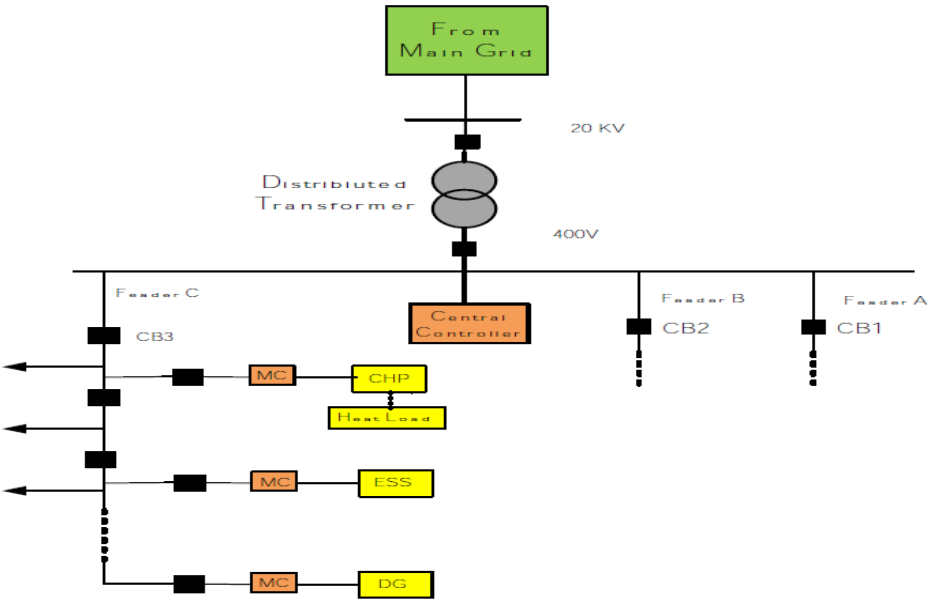
۲- مفهوم میکروگرید

یک میکروگرید عبارتست از یک سیستم توزیع شامل منابع تولید پراکنده (فتوولتائیک، باد، پیل‌های سوختی، میکروتوربین‌ها، ...) و ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی (باتری، ابرخازن، چرخ طیار) که مجموعه‌ای از بارهای الکتریکی خانگی، تجاری، صنعتی و یا ترکیبی از آنها را تغذیه می‌کند. منابع تولید پراکنده موجود در میکروگرید واحدهای کوچکی هستند که معمولا کوچکتر از ۱۰۰ کیلووات بوده و می‌توانند شامل منابع ذخیره‌ساز انرژی نیز باشند. یک مزیت ذاتی این سیستم این است که طرح بهتری برای تامین نیازهای بار با تولیدات محلی ارائه می‌دهد و هر میکروگرید می‌تواند دارای یک مالک باشد که بصورت خصوصی وارد بازار شده و با منابع تولید پراکنده خود در تولید و عرضه انرژی شرکت می‌نماید.

به عبارت دیگر، میکروگرید بخشی از یک سیستم قدرت است که شامل یک یا چند واحد منبع تولید پراکنده بوده و انتظار می‌رود که پس از جدا شدن از سیستم بتواند در حالت بهره‌برداری باقی بماند. پدیده جدا شدن از شبکه که منجر به تشکیل میکروگرید می‌شود می‌تواند ناشی از رویدادهای کلیدزنی برنامه‌ریزی شده و یا غیر برنامه‌ریزی شده باشد.

۳- میکروگرید نمونه

شکل ۲ یک میکروگرید جریان متناوب با فرکانس قدرت (فرکانس پایین (LF) را نمایش می دهد. بعضی از فیدرها دارای بارهای با اولویت هستند که در صورت قطع از شبکه اصلی باید توسط میکروگرید تغذیه شوند.



شکل ۲: یک میکروگرید جریان متناوب با فرکانس قدرت (فرکانس پایین).

۳-۱- کنترل کننده ی ریزمنبع (MC)

ریز منابع در واقع منابع تولید توان داخل میکروگرید هستند و هدف از کنترل هر ریزمنبع در حقیقت کنترل توان اکتیو تولیدی و ولتاژ آن در پاسخ به اغتشاشات و تغییرات بار خود به طور مستقل از کنترل‌کننده‌ی مرکزی (CC) است. ریز منابع می‌توانند بدون تاثیر بر واحدهای مجاور و بر هم زدن کنترل به صورت Plug-and-play (وصل‌کن کارکن) استفاده شوند. وظایف کنترل ریز منبع شامل برنامه ریزی تولید اقتصادی، دنبال کردن تغییرات بار و مدیریت تولید و بار با کنترل منابع ریزمنابع می‌باشد

۳-۲- کنترل کننده ی مرکزی (CC)

کنترل‌کننده‌ی مرکزی مغز پردازنده و هماهنگ‌کننده‌ی تمام کنترل‌کننده‌های ریزمنابع است. وظیفه‌ی اصلی کنترل‌کننده‌ی مرکزی، کنترل کارکرد و حفاظت میکروگرید از طریق کنترل کننده‌های ریزمنابع است.

۳-۲-۱- وظائف CC در حالت متصل به شبکه

- پایش سیستم

از مهم‌ترین وظایف کنترل‌کننده‌ی مرکزی پایش لحظه به لحظه‌ی سیستم با توجه به اطلاعات به دست آمده از بارها و ریزمنابع است. این اطلاعات از طریق سیستم‌های مخابراتی به کنترل‌کننده‌ی مرکزی ارسال می‌شود و بر اساس آن، کنترل‌کننده‌ی مرکزی فرامین لازم را برای تولید به کنترل‌کننده‌های ریزمنابع ارسال می‌کند تا تعادل میان تولید و مصرف به هم نخورد.

- تخمین حالت سیستم

یکی دیگر از وظایف کنترل‌کننده‌ی مرکزی تعیین وضعیت میکروگرید نسبت به شبکه‌ی اصلی است و تعیین این که آیا میکروگرید به شبکه اصلی متصل است یا نه؟

- ارزیابی امنیت (Security)

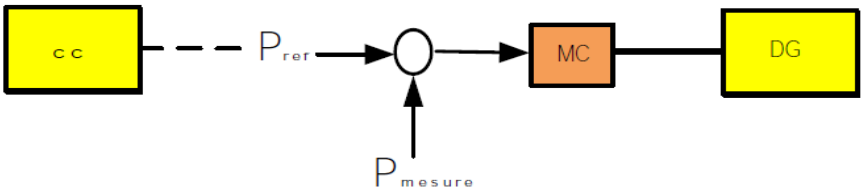
کنترل‌کننده‌ی مرکزی وظیفه ی حفاظت از امنیت میکروگرید را برعهده دارد لذا باید ارزیابی دقیقی از امنیت شبکه داشته باشد.

- برنامه‌ریزی اقتصادی تولید

در شبکه‌های قدرت بزرگ برنامه‌ریزی ورود و خروج واحدها با توجه به هزینه‌ی تولید هر واحد برای رسیدن به حالتی با کمترین میزان هزینه برای تولید توسط دیسپاچنگ صورت می‌پذیرد. در یک میکروگرید نیز کنترل‌کننده‌ی مرکزی با کنترل میزان تولید ریزمنابع می‌تواند هزینه ی تولید را کمینه کند.

- کنترل توان اکتیو و راکتیو ریزمنابع

جهت حفظ تعادل توان در شبکه همواره باید توان تولیدی و مصرفی در شبکه برابر باشند. کنترل‌کننده‌ی مرکزی همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد از طریق فرامین صادره به کنترل‌کننده‌های ریزمنابع میزان توان تولیدی آنها را به گونه‌ای تنظیم می‌نماید که تعادل توان در شبکه به هم نخورد.



شکل ۳: ارسال فرمان از طریق کنترل‌کننده‌ی مرکزی به کنترل‌کننده‌ی ریز منابع.

- مدیریت مصرف

پایش میزان بار مصرفی در شبکه از دیگر وظایف کنترل‌کننده‌ی مرکزی است و در مواقع بحرانی می‌تواند از طریق حذف بارهای غیرضروری نیز به پایداری شبکه کمک کند.

- فراهم آوردن کارکرد سنکرون با شبکه

با توجه به توان تبادلی سنکرون بودن میکروگرید با شبکه‌ی اصلی در حالت متصل به شبکه، شرط اصلی پایداری میکروگرید محسوب می‌شود لذا کنترل‌کننده‌ی مرکزی می‌بایست این سنکرونیسم را بر اساس توان تبادلی تضمین نماید.

۳-۲-۲- وظایف کنترل کننده‌ی مرکزی در حالت مستقل از شبکه

- کنترل توان اکتیو و راکتیو تولیدی ریز منابع

مانند حالت متصل به شبکه، میزان توان تولیدی ریز منابع از طریق فرامین کنترل‌کننده‌ی مرکزی تعیین می‌شود. در این حالت جهت فراهم آوردن ولتاژ و فرکانس پایدار در بارها باید میزان تولید و مصرف در میکروگرید به طور دقیقی برابر شوند.

- تطبیق راهبرد حذف بار (Load Shedding)

جهت حفظ تعادل در تبادل توان و ولتاژ باس‌ها گاهی لازم می‌شود که کنترل‌کننده‌ی مرکزی بارهای غیر ضروری را از مدار خارج کند. به این عمل راهبرد حذف بار یا Load Shading می‌گویند.

- ایجاد امکان یک Black Start

شروع به کار شبکه از حالت خاموش را black start گویند. گاهی برای روشن کردن شبکه‌ی اصلی از حالت خاموشی کامل ابتدا بخش‌های مختلف آن را به صورت میکروگریدهای مجزا روشن می‌کنند و در نهایت این میکروگریدها با هم سنکرون شده و به هم وصل می‌شوند. مدیریت این فرایند جهت بهبود R (قابلیت اطمینان) و تداوم سرویس در هر میکروگرید به عهده کنترل‌کننده‌ی مرکزی خواهد بود.

- تغییر حالت از کارکرد مستقل از شبکه به متصل به شبکه و بالعکس

برنامه‌ریزی رفتار متقابل شبکه اصلی و میکروگرید از طریق کنترل‌کننده‌ی مرکزی کنترل می‌شود. رفتن از حالت مستقل به متصل به شبکه و برعکس آن هم بدون ایجاد اشکال در پایداری شبکه اصلی و میکروگرید، وظیفه‌ی کنترل‌کننده‌ی مرکزی است.

۳-۲-۳- مدول‌های کنترل کننده‌های مرکزی

الف) مدول مدیریت انرژی (EMM)

هدف این مدول فراهم کردن فرمان P، Q، V و f برای هر MC می‌باشد. لذا کنترل‌کننده‌ی مرکزی به ارتباط با MC ها نیاز دارد.

- مقایسه و تعیین سایز منابع (Unit Sizing)

این کار تحت چارت برنامه ریزی بلند مدت انجام می‌شود و دارای محاسباتی است که به صورت off-line صورت می‌گیرد. در مورد برنامه ریزی بلند مدت دقت جواب مهم است نه سرعت آن.

- مدیریت توان منابع (Power Management)

مدیریت توان منابع به عنوان یک مسئله‌ی کوتاه مدت در نظر گرفته می‌شود و نیاز به محاسبات سریع دارد.

ب) مدول هماهنگی حفاظت (PCM)

هدف این مدول دادن پاسخ‌های لازم به خطاهای شبکه‌ی اصلی، میکروگرید و همچنین از دست رفتن شبکه‌ی اصلی می‌باشد. لذا نیاز به ارتباط با MC ها و شبکه‌ی بالا دست دارد و چون به زیر ساخت مخابراتی نیاز دارد حوزه‌ی این مدول از مدول مدیریت انرژی گسترده‌تر است.

نحوه عملکرد این مدول به این صورت است که اگرخطای دائم در بالادست رخ دهد مود کاری را از متصل به منفصل تغییر می‌دهد در صورت عدم تعادل توان در ابتدای کار بارهای با اولویت بالاتر را تغذیه می‌نماید و بارهای غیرضروری موقتا حذف می‌شوند. اگر خطای موقت در بالادست رخ دهد ابتدا منتظر می‌ماند اگر از دائمی بودن خطا در بالادست مطمئن شود به مود منفصل از شبکه می‌رود. اما در صورتی که خطا در میکروگرید اتفاق بیفتد از رله‌های Under Frequency و Under Voltage جهت بار زدایی (Load Shedding) استفاده می‌شود و تنها بارهای حساس تغذیه می‌شوند.

۳-۳- کارکرد MC ها

نکته‌ی اصلی ای که باید در طراحی MC ها در نظر گرفته شود این است که اولا هر MC باید بتواند به طور مستقل از MC های دیگر عمل کند و ثانیا این که هر چند MC با کنترل کننده‌ی مرکزی در ارتباط است ولی باید بتواند در صورت نیاز منبع را نجات دهد و دستورات کنترل کننده‌ی مرکزی را نادیده بگیرد. توانایی‌های مورد نیاز MC ها به این شرح است:

- ریز منبع جدید بدون تغییر در شرایط سیستم بتواند به میکروگرید اضافه شود.
- میکروگرید بتواند خود را از / به شبکه سریعاً قطع / وصل کند.
- توان های اکتیو و راکتیو ریز منبع بتوانند مستقل از هم کنترل شوند.
- Sag ولتاژ و عدم تعادل را بتوان اصلاح کند. (بیشترین خطرات اتصال کوتاه از شبکه توزیع می‌شود.)
- خطاها باعث بروز ناپایداری نشوند. (وجود خطا MC را از کار نیاندازد.)

۴- مزایای میکروگرید

در کنار مزایای مختلف استفاده از منابع تولید پراکنده، کارکرد این منابع در یک میکروگرید می‌تواند مزایای فنی و اقتصادی در برداشته باشد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

۴-۱- مزایای فنی میکروگرید

اهم مزایای فنی میکروگرید بصورت زیر می‌باشد:

- بعضی اوقات بخاطر مسائل فنی‌و اقتصادی، توسعه شبکه‌های تولید و انتقال مشکل بوده و حل مساله تامین رشد بار با قیمت قابل قبول در آینده سخت بوده و لذا در این گونه موارد میکروگرید می‌تواند جهت تامین تقاضای رشد بار بکار گرفته شود.

- منابع تولید پراکنده با مبدل‌های الکترونیک قدرت موجود در آنها می‌توانند جهت کنترل توان اکتیو و راکتیو، تصحیح افت‌ولتاژها، تصحیح نامتعادلی و سایر مسائل کیفیت‌توان در شبکه توزیع به کار گرفته شوند.
- اگر یک میکروگرید توانایی عملکرد بصورت مستقل از شبکه را داشته باشد، هنگام قطع شبکه می‌توان گفت قابلیت اطمینان و کیفیت تولید برق در شبکه بسیار بالا می‌رود.
- با توجه به محلی بودن و فصلی بودن منابع تولید پراکنده و طبیعت متغیر بارها، هر میکروگرید می‌تواند منابع تولید پراکنده با حداکثر سود دهی را مورد استفاده قرار دهد.
- با تعریف و بررسی کارکرد و کنترل می‌توان منابع مختلف تولید پراکنده را به صورت قابل انعطاف نصب نموده و بصورت موثری در شبکه توزیع بکار گرفت.

۴-۲- مزایای اقتصادی میکروگرید

برخی از مزایای اقتصادی استفاده از میکروگرید بصورت زیر می باشد:

- قیمت‌انرژی انتقال‌داده‌شده توسط سیستم‌قدرت کنونی تحت‌تاثیر مسائلی چون تلفات، خدمات به مشتریان، تعمیر و نگهداری و احداث خطوط انتقال می‌باشد. یک میکروگرید با توجه به کوچک‌بودن و نزدیکی منابع تولید به مصرف‌کننده‌ها می‌تواند هزینه‌برق‌تولیدی را کاهش‌دهد. علاوه بر این، سرمایه‌گذاری‌ها در تاسیسات انتقال و تولید متمرکز جهت پاسخگویی به افزایش تقاضای مصرف باید بسیار سریع انجام گیرد و این امر همیشه امکان‌پذیر نمی‌باشد.در حالیکه این سیستم‌ها می‌توانند همگام با افزایش تقاضای‌مصرف، رشد نمایند.
- منابع تولیدپراکنده در میکروگرید باعث بهبود کیفیت‌توان و کاهش اغتشاشات و خاموشی می‌شود که با این کار می‌توان هزینه‌های بسیار زیاد از دست رفته در بعضی کارخانجات و یا مراکز تجاری را کاهش داد.
- منابع تولید پراکنده می‌توانند بصورت ترکیبی به تامین توان و گرما پرداخته و با بازیافت گرمای حاصل از تولید برق و استفاده جهت مصارف گرمایشی یا آب گرم مصرف‌کننده‌ها هزینه سیستم‌های گرمایشی تاسیسات صنعتی را به طور محسوسی کاهش دهد.
- در صورتی که یک میکروگرید بصورت جزیره‌ای (مستقل از شبکه) بکار گرفته شوند، برای صاحبان منابع تولید پراکنده، شبکه برق و مشتریان سود به بار می‌آورند.

۵- مشکلات و محدودیت های استفاده از میکروگرید

علی‌رغم مزایای متعدد میکروگرید ها، باید به پاره ای مسائل و محدودیت های فنی قبل از بکارگیری آنها توجه نمود. با توجه به متفاوت بودن نوع منابع تولید با هم و حتی در صورت یکی بودن آنها، به دلیل تفاوت در تکنولوژی ساخت به علت جدیدتر بودن مولد تازه نصب شده، نیازمند کنترل مناسب جهت تغذیه صحیح بارها، حفظ پایداری و بهره‌برداری بهینه می‌باشیم.

در ادامه به پاره ای از این مسائل و محدودیت ها اشاره می‌شود:

- امکان اتصال آسان منابع تولید پراکنده

مطلوب است بتوان منابع تولیدپراکنده را بصورت قابل انعطاف به شبکه وصل یا از آن جدا نمود. چنین سیستمی نیازمند قسمت‌های حفاظتی و کنترلی در همه تجهیزات می‌باشد که قابلیت عملکرد مناسب در همه حالات را دارا باشند.

- تشخیص جزیره‌ای شدن شبکه

یکی از مهمترین نیازها در استفاده از میکروگرید ها، تشخیص لحظه قطع شبکه سراسری و ارسال فرمان‌های لازم به منابع تولید جهت قطع از شبکه یا تغییر استراتژی کنترلی می‌باشد.

- کنترل ولتاژ و فرکانس

مساله مهم دیگر در یک میکروگرید، کنترل ولتاژ و فرکانس میکروگرید در محدوده مناسب در حالت ایزوله می‌باشد. اگر میکروگرید به شبکه سراسری متصل باشد، فرکانس توسط شبکه بالادست کنترل می‌شود و منابع تولید پراکنده می‌توانند در تزریق توان و کنترل ولتاژ نقش داشته باشند. اما در حالت ایزوله از شبکه بالادست، وظیفه کنترل ولتاژ و تثبیت فرکانس به عهده خود میکروگرید می‌باشد.

- تقسیم بار

یکی از مسائل مهم در یک میکروگرید شامل چندین منبع تولید انرژی، تقسیم مناسب بار بین آنهاست بگونه ای که محدودیت‌های کاری بارها یا شبکه توزیع و محدودیت‌های عملکردی مولدها رعایت شود.

- پایداری کارکرد

یکی دیگر از مسائلی که هنگام بکارگیری چند مولد تولید پراکنده باید در نظر گرفته شود این است که باید با سرعت هر چه بیشتر نیاز توان اکتیو و راکتیو مصرف کنندگان تامین شده و همزمان محدودیت‌های ولتاژ و جریان در شبکه و مبدل ها نیز رعایت شود.

- مقاوم بودن سیستم کنترلی

سیستم کنترلی طراحی شده باید بصورتی باشد که عوامل ایجاد کننده خطا را شناسایی نماید. علاوه بر آن کل شبکه و محدودیت‌ها و مسائل آن را نیز در نظر بگیرد و راه حل کنترلی را ارائه نماید. سیستم کنترلی در صورت اندازه‌گیری از متغیرهای محلی با در نظر گرفتن استفاده حداقل از سیگنال‌های مخابراتی جهت تبادل اطلاعات، سیستمی مناسب و عملی خواهد بود.

- سنکرون‌سازی مجدد پس از اتصال به شبکه

سیستم کنترلی پس از وصل مجدد میکروگرید به شبکه بالادست، باید به این موضوع توجه نماید که دامنه ولتاژ، فرکانس و زاویه فاز بین ولتاژ طرف شبکه و میکروگرید قبل از اتصال مجدد در محدوده مطمئن باشد. اتصال مجدد با اختلاف فاز نامناسب می‌تواند باعث ایجاد حالت‌های گذرا و خسارت به تجهیزات شبکه یا ایجاد جریان‌های هجومی شدید در ترانسفورماتورها گردد. اتصال مجدد میکروگرید در صورت کمتر بودن خطای ولتاژ از ۳ درصد، خطای فرکانس کمتر از ۰/۱ هرتز و خطای فاز کمتر از ۱۰ درجه قابل انجام است.

- حفاظت میکروگرید

به طور کلی اتصال منابع پراکنده به سیستم توزیع دامنه و جهت جریان خطا را تحت تاثیر قرار می‌دهد و هماهنگی بین تجهیزات حفاظتی نصب‌شده در سیستم توزیع بهم می‌خورد. لذا باید جهت حفاظت تجهیزات مختلف در حالت های اتصال به شبکه یا جزیره‌ای تمهیدات لازم صورت گیرد.

۶- چگونگی عملکرد میکروگرید

یک میکروگرید می‌تواند در دو حالت ایزوله و متصل عمل کند. در حالت مستقل، میکروگرید بارها را بدون دریافت توان از شبکه تغذیه می‌کند. این شبکه مستقل و ایزوله باید علاوه بر تامین توان مورد نیاز مصرف کننده‌گان، کنترل فرکانس و ولتاژ را نیز به عهده گیرد. در حالت غیرمستقل، میکروگرید در حالی که متصل به شبکه اصلی برق می‌باشد، با شبکه بالادست تبادل توان داشته و فرکانس و ولتاژ توسط شبکه بالادست کنترل می‌گردد.

۶-۱- عملکرد در حالت متصل

در این حالت، بسیاری از مشکلات و مسائل میکروگرید مستقل تغییر کرده و یا از بین خواهد رفت. هنگامی که میکروگرید به سیستم شرکت برق متصل می‌شود، بعضی از موضوعات فنی تغییر می‌کند. شبکه شرکت برق می‌تواند سطوح پایه‌ای را برای ولتاژ و فرکانس فراهم کند. بنابراین فناوری‌های اتصال منابع تولید پراکنده می‌توانند قبل از کلیدزنی برای عملکرد موازی، با شبکه شرکت برق سنکرون شوند. از مزایای حالت متصل به شبکه در مقایسه با حالت ایزوله این است که اگر مشکلی برای منابع تولید پراکنده بوجود آید، مشترک می‌تواند در مدت زمان تعمیرات، توان مورد نیاز را همچنان دریافت کند. مشترکان همچنین می‌توانند قراردادهایی را به منظور فروش توان اضافی به شبکه با شرکت برق امضا کنند.

از فواید قابل حصول دیگری که برای شرکت برق امکان پذیر است، کاهش توان راکتیو مورد نیاز به منظور عمل درضریب توان نزدیک به یک می‌باشد از آنجایی که منابع تولید پراکنده می‌توانند در حالتی بهره برداری شوند که توان راکتیو مورد نیاز سیستم را برآورده سازند.

۶-۲- عملکرد در حالت ایزوله

در حالت بهره برداری متصل، امکان ایجاد حالت جزیره‌ای وجود خواهد داشت. جزیره ای شدن ممکن است برنامه‌ریزی شده باشد، برای مثال به منظور انجام تعمیرات میکروگرید را از شبکه بالادست جدا کنند و یا برنامه‌ریزی نشده باشد، مثلا خطایی در شبکه بالادست رخ داده و به موجب آن میکروگرید از شبکه اصلی جدا شود.

از آنجایی در حالت متصل، بین شبکه اصلی و میکروگرید توان مبادله می‌شود، هنگامی که میکروگرید به طور برنامه‌ریزی نشده از شبکه بالادست جدا می‌شود، ممکن است بین توان مصرفی میکروگرید و توان تولیدی میکروگرید در آن لحظه اختلاف قابل توجه‌ای ایجاد شود و این امر منجر به افت و یا کاهش فرکانس گشته تا حدی که فرکانس از محدوده مجاز خود خارج شود.

شدت حالات گذرایی که میکروگرید بعد از یک فرایند ناخواسته جزیره‌ای شدن تجربه خواهد کرد، وابستگی زیادی به عوامل زیر خواهد داشت:

- شرایط بهره برداری قبل از فرایند جزیره‌ای شدن.
- نوع و محل خطا که سبب شروع فرایند جزیره ای شدن می‌شود.
- دوره زمانی تشخیص فرایند جزیره‌ای شدن.
- عملکردهای کلیدزنی بعد از وقوع خطا که برای سیستم پیش بینی شده است.
- نوع واحدهای تولید پراکنده در داخل میکروگرید.

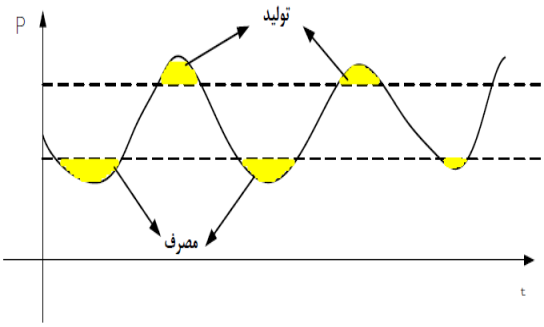
اگر میکروگرید بتواند ولتاژ و فرکانس را در محدوده مجاز نگه داشته و پایداری سیستم را حفظ نماید، با توجه به عدم قطع برق و رضایتمندی مشتریان از تولیدکنندگان، تولید و مصرف کنندگان سود بیشتری خواهند برد. لازم به ذکر است بعد از جدا شدن، اتصال مجدد میکروگرید به شبکه برق تنها هنگامی مجاز می‌باشد که بازیابی سیستم اصلی و شبکه کوچک محقق شده باشد. بازیابی شبکه عبارتست از هنگامی که ولتاژها و فرکانس سیستم به محدوده نرمال برگشته و برای مدت زمان قابل قبولی مثلا ۵ دقیقه در آن باقی بماند.

۷- ذخیره سازها در میکروگرید

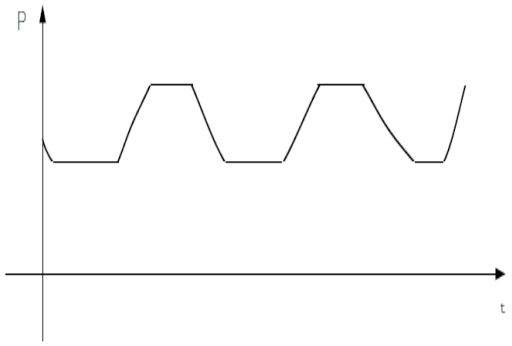
یک تفاوت عمده میان سیستم قدرت با سایر سیستم‌های عرضه و تقاضا در لزوم برابری عرضه و تقاضا در هر لحظه می‌باشد چنانچه میزان تولید بیشتر از مصرف باشد امکان ذخیره مازاد انرژی جز از طریق منابع ذخیره ساز انرژی میسر نیست. دلایل استفاده از منابع ذخیره ساز در سیستم‌های قدرت شامل هموارسازی منحنی بار (شکل۴ و ۵)، ایجاد قابلیت حمل و نقل از طریق باتری‌ها برای خودرو برقی و در

نهایت افزایش قابلیت اطمینان از طریق جایگزینی تولید در شبکه می‌باشد. اساسا تغییرات میزان مصرف باید توسط راه‌های زیر جبران شود:

- رزرو چرخان
- ورود و خروج نیروگاه‌ها
- ذخیره‌سازهای انرژی (جا به جایی)



شکل ۴: هموارسازی منحنی بار توسط ذخیره ساز انرژی.



شکل ۵: هموارسازی منحنی بار توسط ذخیره ساز انرژی.

در میکروگرید ها علاوه بر دلایل فوق به دو دلیل دیگر استفاده از ذخیره‌سازها ضرورت دارد. اول پاسخ کند DG ها به سیگنال کنترلی در حالت ایزوله از شبکه و دوم دینامیک سریع میکروگرید و تغییرات سریع آن چون Inertia less (بی اینرسی) است.

۷-۱- دسته بندی منابع ذخیره ساز انرژی

منابع ذخیره‌سازی میکروگرید را می‌توان از نظر ماهیت تبدیل انرژی به دسته‌های زیر تقسیم بندی نمود:

- الکتروشیمیایی: مانند انواع باتری‌های شیمیایی در رنج توانی MW-500MW۵
- الکتریکی: مانند خازن، ابرخازن و SMES در رنج توانیkW-50kW۵
- مکانیکی: مانند ذخیره‌ساز هوای فشرده - فنر (ذخیره انرژی در حجم کم)
  چرخ طیار (مناسب برای میکروگرید 0.5MW-2.5MW)
  ذخیره‌ساز هیدرو الکتریک (در ظرفیت‌های بالای 10MW)
- گرمایی: مانند نمک مذاب، استخرهای خورشیدی، آب یا روغن داغ در مخازن ایزوله.

۷-۲- معایب استفاده از ذخیره سازها

از معایب منابع ذخیره‌ساز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- هزینه بالای ذخیره در مدت زمان طولانی

- تلفات توان جهت حفظ انرژی شارژ شده
- نرخ تعمیرات بالا

۸- بارهای میکروگرید

از دیدگاه کنترلی بارهای میکروگرید به دو دسته بارغیر قابل قطع (بارهای حساس) و بارهای قابل قطع تقسیم‌بندی می‌شوند. بارهای حساس در کنار منابع تولیدپراکنده قراردارد و میکروگرید سعی در تامین بی وقفه انرژی برای آنها دارد. بارهای قابل قطع به کنترل‌کننده بار مجهز است، کنترل‌کننده بار با کنترل‌کننده‌ی مرکزی در ارتباط بوده و دستورات لازم را از آن دریافت می‌نماید. بارهای غیر قابل کنترل در شرایط اضطرای برای پایدار ماندن میکروگرید توسط کنترل‌کننده بار قطع می‌شوند. به این عمل در شبکه‌های قدرت اصطلاحا Load shedding می‌گویند.

۹- Micro-CHP

منظور از CHP یا Cogeneration این است که گرما و برق به صورت همزمان در یک فرآیند تولید می‌شوند. در تولید به روش CHP ابتدا برق تولید می‌شود و سپس حرارت تولید شده بصورت بخار داغ یا گازهای اگزوز بازیافت شده بصورت انرژی گرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. راندمان تولید برق به تنهایی بین ۵۵-۳۵ ٪ است ، اما با استفاده از روش CHP بازده کلی را می توان تا ۹۰-۸۰ ٪ افزایش داد و از انرژی حرارتی باقی مانده می‌توان در فرآیندهای صنعتی یا گرم کردن محیط بهره جست. این مکانیزم از حیث پایین آوردن مصرف سوخت، کاهش انتشار گازCO_2 ، ارتقاء بهره وری انرژی حائز اهمیت است. در CHP خروجی اصلی آن برق بوده و محصول جانبی آن حرارت است. اما در Micro-CHP خروجی اصلی حرارت و محصول جانبی برق است. رنج توانی Micro-CHP ، 10kW-100kW می‌باشد.

۹-۱- کاربرد های Micro-CHP

تغذیه بارهای حرارتی:

- ایجاد درآمد با فروش برق.
- زمانی برق تولید می‌شود که نیاز به گرما داریم.
- نزدیکی بارهای حرارتی.
- در محل‌های با مصرف حرارتی بالا مقرون به صرفه است.

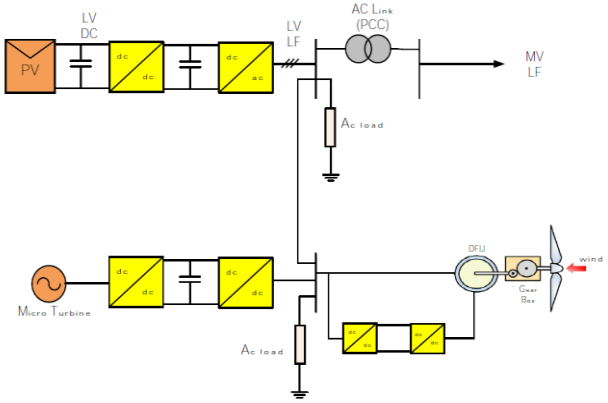
صنایع بزرگ با نیروگاه سیکل ترکیبی بیش از 50MW می‌توانند به عنوان IPP(Independent Power Plant) کارکنند و برق و بخار مصرفی بارها را تولید کنند.

۹-۲- فناوری‌های μCHP (میکرو CHP)

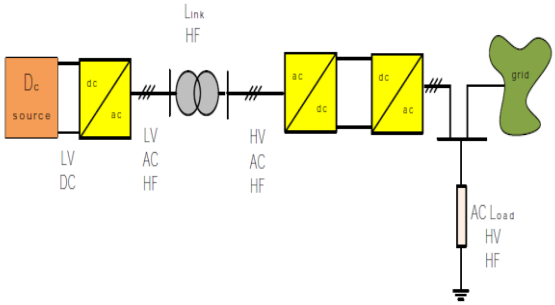
- موتور استرلینگ (Stirling Engine)
- پیل سوختی
- موتور احتراق داخلی $\frac{\text{حرارت}}{\text{برق}} = \frac{2}{1}$

۱۰- انواع میکروگرید ها

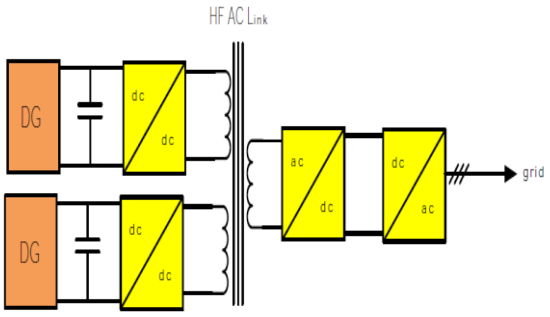
میکروگرید ها بنا به نیاز می‌توانند AC یا DC باشد که میکروگریدهای AC خود به دو دسته‌ی فرکانس پایین و فرکانس بالا تقسیم‌بندی می‌شوند. شکل ۶ یک میکروگرید فرکانس پایین AC را نمایش می‌دهد. که شامل سیستم فتوولتاییک، میکروتوربین و ژنراتور القایی و بارهای AC می‌باشد. با استفاده از یک مبدل DC-DC ابتدا سطح ولتاژ سیستم فتوولتاییک را افزایش، همچنین با تنظیم کلید زنی مبدل ماکزیمم توان را از PV دریافت می‌نماییم، سپس با استفاده از اینورتر این ولتاژ به ولتاژ متناوب تبدیل شده و به میکروگرید متصل می‌گردد. فرکانس برق تولیدی توسط میکروتوربین بالا می‌باشد. از این رو با استفاده از یک مبدل DC به AC ابتدا ولتاژ خروجی میکروتوربین به ولتاژ مستقیم سپس با استفاده از اینورتر به ولتاژ فرکانس پایین تبدیل می‌گردد. از جمله معایب این طرح گران بودن ترانس‌های فرکانس بالا بوده و از مزایایی آن ایزولاسیون با شبکه بالادست و وجود برخی از ساختارهای آماده می‌باشد.
شکل های ۷ و ۸ دو نمونه میکروگرید با لینک فرکانس بالا را نشان می‌دهند. از جمله مزایای این طرح کاهش حجم و وزن ترانس به دلیل فرکانس کاری بالای آن می‌باشد. برای متصل کردن این میکروگرید به شبکه‌ی اصلی باید فرکانس آن را کاهش داد. بدین منظور ابتدا با استفاده از یک یکسوساز ولتاژ میکروگرید را DC ، سپس با یک اینورتر آن را به ولتاژ متناوب با فرکانس شبکه‌ی اصلی، تبدیل می‌کنیم. وقتی در میکروگرید بار DC داشته باشیم به جای پیاده‌سازی میکروگریدی AC و استفاده از یکسوساز برای تغذیه‌ی آن، می‌توان از میکروگرید AC استفاده نمود. در این صورت خروجی سیستم فتوولتاییک و باتری می‌توانند بدون نیاز به اینورتر به شبکه متصل شوند. اما برای تغذیه‌ی بارهای AC به اینورتر نیاز می‌باشد. شکل ۹ یک ساختار میکروگرید DC را نشان می‌دهد.



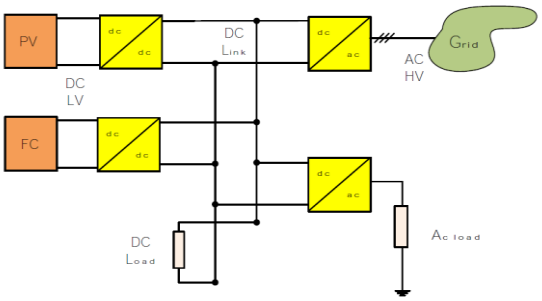
شکل ۶: میکروگرید فرکانس پایین AC.



شکل۷: میکروگرید با لینک فرکانس بالا.



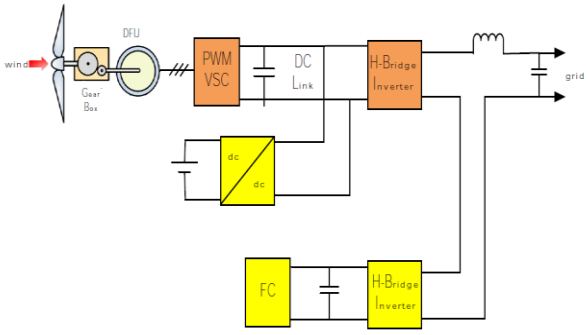
شکل ۸: میکروگرید با لینک فرکانس بالا.



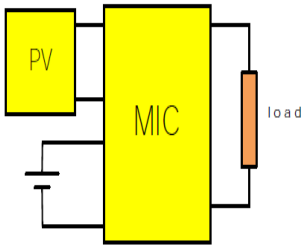
شکل۹: میکروگرید DC.

۱۱- گرایش های خاص و جدید

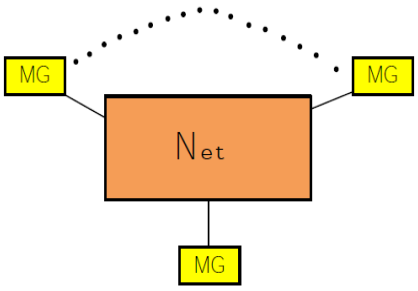
از گرایش‌های خاص و جدید در میکروگریدها می‌توان از ترکیب مبدل منابع، مبدل چند ورودی، میکروگریدهای ترکیبی و به هم پیوسته را نام برد. شکل ۱۰ یک میکروگرید نمونه که از آن در ترکیب مبدل منابع استفاده شده است را نشان می‌دهد. در اتصال سری تنظیم ولتاژ و جریان خروجی اینورتر سخت تر از اتصال موازی می‌باشد. همچنین در این اتصال جریان‌سری، تلفات در کل مبدل‌ها را بالا می‌برد. در اتصال‌موازی تعداد عناصر اینورتر و در نتیجه هزینه‌ی آن بالا رفته و کنترل مبدل‌ها دشوارتر می‌گردد. یکی دیگر از این گرایشات جدید مبدل‌های چند ورودی (MIC) بوده که بار خروجی خود را از طریق چندین ریزمنبع که به ورودی آن اعمال می‌گردد، تغذیه می‌نماید. شکل ۱۱ یک نمونه MIC با دو ورودی باتری و سلول خورشیدی را نشان می‌دهد. از جمله مزایای مبدل‌های چند ورودی تک طبقه، کاهش تعداد قطعات، کاهش هزینه، کاهش تلفات، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش وزن می‌باشد. از جمله معایب آن نیز کنترل غیر مستقیم P و Q ، عدم ایزولاسیون و نوسانات توان و جابه جایی نقطه کار می‌باشد. همچنین با گسترش استفاده از میکروگرید ها، میکروگرید های ترکیبی و به هم پیوسته پیشنهاد شده اند.(شکل های ۱۲ و ۱۳)



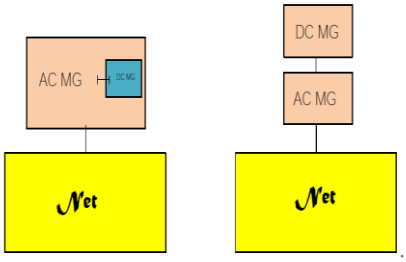
شکل ۱۰: ترکیب سری و موازی مبدل ها در یک میکروگرید نمونه.



شکل۱۱: مبدل های چند ورودی تک طبقه.



شکل ۱۲: میکروگرید های به هم پیوسته.



شکل ۱۳: ترکیب میکروگرید ها.

۱۲- نتیجه گیری

میکروگرید از تعدادی واحد تولید پراکنده نظیر توربین بادی، سیستم فتوولتاییک، دیزل ژنراتور و پیل‌سوختی تشکیل می‌شود که قابلیت کنترل داشته و تامین کننده‌ی توان الکتریکی و در صورت نیاز گرمایی می‌باشد. در این پژوهش به بیان جزئیات و مفهوم میکروگرید، بررسی قسمت‌های کنترلی مربوطه، وظایف کنترل کننده‌ها، مزایای فنی و اقتصادی میکروگرید، مشکلات و محدویت‌های استفاده از میکروگرید، چگونگی عملکرد میکروگرید، منابع ذخیره‌ساز انرژی، بارهای میکروگرید و انواع میکروگریدها پرداخته شد.

۱۳- مراجع

[1] Faisal A. Mohamed, "MICROGRID MODELLING AND ONLINE MANAGEMENT", PHD thesis, Helsinki University of Technology Control Engineering, 2008.
[2] Jiayi H., Chuanwen J., and Rong X. "A review on distributed energy resources and Micro grid", Available online in Renewable and Sustainable Energy Reviews Journal, 2007.
[3] A. Peças Lopes, J.; L. Moreira, C.; G. Madureira, A." Defining control strategies for Micro Grids islanded operation". IEEE Transactions on Power Systems, May2006, vol. 21, no. 2, pp. 916-624.
[4] sumiti lanmichance "improvement stability micro grids by employing storage" master thesis, luisiana tech university, august 2012.
[5] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou, A. Dimes. "Micro grids management," IEEE Power Energy Mag., vol. 6, no.3, pp. 54–65, May-Jun. 2008.
[6] J-Y. Kim, J-H. Jeon, S-K Kim, C. Cho, J. H. Park, H-M Kim, and K-Y Nam, "Cooperative Control Strategy of Energy Storage System and Micro sources for Stabilizing the Micro grid during Islanded Operation," IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 12, pp. 3037-3048, Dec. 2010.
[7] sumiti lanmichance "improvement stability micro grids by employing storage" master thesis, luisiana tech university, august 2012.
[8] A. Etxeberria, I. Vechiu, Member IEEE, H. Camblong, Member IEEE "Hybrid Energy Storage Systems for Renewable Energy Sources Integration in Micro grids: A Review" 978-1-4244-7398- 04/10/2600 -2010 IEEE.
[9] Jong-Yul Kim, Jin-Hong Jeon, Seul-Ki Kim, et al, "Cooperative Control Strategy of Energy Storage System and Micro sources for Stabilizing the Micro grid during Islanded Operation," IEEE transaction on power electronics, vol. 25, no. 12, pp. 3037-3046,December, 2010.
[10] S. Teleke, M. E. Baran, A. Q. Huang, S. Bhattacharya, and L. Anderso,"Control strategies for battery energy storage for wind farm dispatching" IEEE Trans. Energy Convers., vol. 24, no. 3, pp. 725–732, Sep.2009.
[11] C. L. Moreira, and J. A. Peças Lopes," Micro Grids Dynamic Security Assessment" IEEE 2007.
[12] Willis H.L and Scott W.G, Distributed Power Generation Planning and Evaluation, New York, Marcel Dekker-2000.
[13] Peperman G., Driesen J., Haeseldenckx D., Belmans R., Dhaeselecr W., "Distributed Gen. :definition benefits and issues", Elsevier Energy Policy, Vol.33, pp. 787-798,2005.
[14] Y. Zhu, K. Tomsovic," Development of models for analyzing the load-following performance of micro turbines and fuel cells". Elsevier, December2001.
[15] MG BOOK.
[16] ANVAE MG.