

عنوان پروژه: محاسبه قابلیت اطمینان شبکه توزیع با حضور ریز شبکه‌ها

چکیده: با تجدید ساختار سیستم‌های قدرت، نفوذ تولیدات پراکنده از جمله نیروگاه‌های بادی و خورشیدی در شبکه‌های توزیع افزایش چشمگیری پیدا کرده است. تولیدات پراکنده منافع اقتصادی و فنی زیادی برای سیستم‌های قدرت دارد، با این حال افزایش نفوذ این نوع تولیدات مشکلاتی را به همراه خواهند داشت. در سالیان اخیر برای کنترل هرچه بهتر تولیدات پراکنده استفاده از ریز شبکه‌هایی که بتوانند از شبکه جدا شده و بار خود را تغذیه کنند توسط محققین و برنامه‌ریزان سیستم قدرت پیشنهاد شده است. در واقع ریز شبکه‌ها قسمتی از شبکه توزیع بوده که دارای تولیدات پراکنده مختلفی می‌باشند و می‌توانند در زمان رخداد خطا از شبکه جدا شده و بار خود را تامین کنند. به همین دلیل استفاده از ریز شبکه‌ها می‌تواند قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع را افزایش دهد.

محاسبه قابلیت اطمینان ریز شبکه‌ها از مهمترین چالش‌های پیش روی برنامه‌ریزان و طراحان سیستم‌های توزیع می‌باشد. به علت وجود انواع مختلف واحدهای تولید پراکنده با مشخصه‌های خروجی متفاوت، روش‌های مختلف بازیابی¹ ریز شبکه و انعطاف‌پذیری‌های موجود در کنترل و بهره‌برداری ریز شبکه‌ها محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان ریز شبکه‌ها را دشوار نموده است.

تقریباً در تمامی مطالعات صورت گرفته در زمینه قابلیت اطمینان ریز شبکه، فرض شده است که ریز شبکه به سیستم بالا دست متصل بوده و یا از آن ایزوله شده است و قابلیت کلیدزنی بین این دو حالت لحاظ نشده است. در واقع اثر قطع توان در خارج از ریز شبکه و تاثیر کلیدزنی بین دو مد² ایزوله از شبکه و متصل به شبکه در نظر گرفته نشده است. در این پایان نامه سعی بر آن است که یک سری پارامترهای اندازه‌گیری جدید برای محاسبه قابلیت اطمینان ریز شبکه با در نظر گرفتن قابلیت کلیدزنی ریز شبکه معرفی

¹ Restoration

² mod

شود. بدین منظور ابتدا ریز شبکه به صورت یک بار معادل در نظر گرفته شده و شاخصهای قابلیت اطمینان محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از روش مونت کارلو مشخصه‌های مختلف تولیدات پراکنده مدل شده و سیستم توزیع بالا دست به صورت یک ژنراتور متدوال مدل می‌شود تا شاخصهای قابلیت اطمینان محاسبه شود. همچنین یک سری شاخصهای جدید قابلیت اطمینان برای ریز شبکه‌ها معرفی می‌شود. روش پیشنهادی می‌تواند خروج‌های اجباری خارج از ریز شبکه و قابلیت کلیدزنی ریز شبکه که از مهمترین قابلیت‌های ریز شبکه‌ها می‌باشد را در محاسبات قابلیت اطمینان در نظر بگیرد.

1-1- مقدمه

در این فصل، ضرورت استفاده از ریزشبکه‌ها و و کارکرد آنها در دو حالت جزیره‌ای و متصل به شبکه مطرح می‌شود. در واقع با توجه به مسائل زیست محیطی، استفاده از منابع تولید پراکنده و انرژی-های نو گزینه مناسبی برای تولید توان الکتریکی در نزدیکی مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. دلیل گسترش منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع و بالخصوص ریز شبکه، مربوط به مسائل خصوصی سازی و تجدید ساختار سیستم‌های قدرت است.

1-2- دلایل توجه به منابع تولید پراکنده

تولید پراکنده یا تولید محلی به تولیدی اطلاق می‌شود که در سطح توزیع بکار گرفته می‌شود و با نام‌های متفاوت از جمله ژنراتورهای رزرو، سیستم‌های قدرت on-site، مولدهای پراکنده DG، منابع انرژی پراکنده DER و سیستم‌های انرژی پراکنده DER شناخته شده است. بطور کلی هر واحد تولید انرژی غیر متمركز، که دارای حداکثر توان 5 مگاوات باشد می‌تواند در فهرست تولیدات پراکنده قرار بگیرد. بایستی توجه داشت که مولدهای دارای امکانات و مشخصات ویژه‌ای هستند که قیاس آنها با سایر واحدهای تامین کننده برق را امکان پذیر کرده است. در حال حاضر رشد مصرف انرژی برق در اکثر کشورهای جهان بطور متوسط 4/7 درصد برآورد شده است. با توجه به اینکه بازده نیروگاهها (سیکل ترکیبی) در حدود 50 درصد بوده و با مد نظر قرارداد این موضوع که تلفات ناشی از انتقال انرژی و توزیع آن رقمی معادل 10 الی 15 درصد را دارا می‌باشد، تامین مازاد نیاز انرژی به معنای استفاده فراوان از منابع انرژی فسیلی است. جهت رفع نقیصه استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر و همچنین ایجاد یک

الگوی مصرف مناسب به همراه تجدید ساختار در صنعت برق با بهره‌گیری از مولدهای پراکنده، راهکارهای با ارزشی محسوب می‌شوند.

سیستم‌های توزیع موجود بدون در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده طراحی شده‌اند. در نتیجه بکارگیری آنها، می‌تواند امکان بروز شرایط غیرمطلوبی در کیفیت برق، قابلیت اطمینان، بازده، مسائل ایمنی و غیره ایجاد کند. ولی مزایای فنی- اقتصادی بکارگیری منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع موجب شده است که منابع تولید پراکنده مورد توجه شرکت‌های توزیع و مشترکین قرار گیرند. از جمله موارد برجسته در این رابطه عبارتند از:

- هزینه کم توسعه، احداث، نگهداری و بهره‌برداری
 - نیاز به زمان کمتر جهت طراحی و نصب
 - افزایش قابلیت اطمینان و تداوم پایداری و بهبود کیفیت برق
 - قابلیت مدیریت بار- مدیریت مصرف انرژی
 - قطع وابستگی به سوخت‌های فسیلی و نوسانات قیمت آن
 - سازگار با محیط و تولید الکتریکی مدولار
 - کاهش تلفات و افت ولتاژ
 - تولید همزمان حرارت و توان الکتریکی
- قابلیت راهبری کنترل (دیسپاچینگ)، قابلیت دسترس پذیری، راه‌اندازی سریع، زمان پاسخ سریع، و عملکرد جزیره‌ای برخی از قابلیت‌های فنی سیستم‌های تولید پراکنده است.

کاربرد مستقل سیستم‌های تولید پراکنده به صورت جزیره‌ای جهت تامین بار مصرف کنندگان از مزایای عمده آنها محسوب می‌شود. برای صنایع و واحدهایی که قطع برق خسارت فراوانی را برای آنها دربر داشته باشد و یا بطور کلی مکان‌هایی که امکان دسترسی مفید می‌باشد. با گسترش و پیشرفت صنعت برق تکنولوژی‌های جدید و مختلفی ایجاد شده است. اکثر این تکنولوژی‌ها بصورت تجاری و صنعتی در دسترس می‌باشند.

تولیدات پراکنده دارای انواع گوناگونی می‌باشند که از مهمترین آنها می‌توان به توربین‌های گازی، احتراقی، توربین‌های کوچک، توربین‌های بادی، پیل‌های سوختی و سلول‌های ولتاژ نوری اشاره کرد. در کاربرده منابع تولید پراکنده با توجه به عدم پیوستگی تولید و غیر همزمانی در تولید و مصرف معمولاً نیاز به وسایل ذخیره‌سازی انرژی نیز می‌باشد که ساختارهای سیستم ترکیبی در این رابطه ارائه می‌شوند. تولیدات پراکنده را از دیدگاه تکنولوژی می‌توان به سه دسته تقسیم نمود. این سه دسته عبارتند از: تکنولوژی گازی، تکنولوژی انرژی‌های تجدید پذیر و وسایل ذخیره‌سازی انرژی. تکنولوژی گازی شامل توربین احتراقی گازی، توربین‌های کوچک و پیل سوختی می‌باشد. انرژی‌های نو شامل انرژی‌های نهفته طبیعی مثل انرژی بادی و انرژی خورشیدی می‌باشد. انرژی بادی با استفاده از توربین‌های بادی و انرژی خورشیدی با استفاده از سلول‌های ولتاژ نوری تبدیل به انرژی الکتریکی می‌شوند. وسایل ذخیره‌ساز انرژی شامل باتری، ابر خازن‌ها، شده‌های ذخیره آب و غیره می‌باشند.

پشتیبانی ظرفیت شبکه، تعادل پخش بار، کاهش تلفات و کاربرد در ریز شبکه برخی از خدماتی است که تولیدات پراکنده به شبکه‌های توزیع ارائه می‌دهند. در این میان کاربرد به عنوان ریز شبکه بسیار با اهمیت بوده بطوری که در این کاربرد چندین مولد بصورت شبکه کوچک در کنار هم قرار گرفته و در واقع یک شبکه تولید، انتقال و توزیع را تشکیل می‌دهند این شبکه بسیار هوشمند است و قابلیت وصل به شبکه سراسری را دارد.

1-3- مفهوم ریزشبکه

مفهوم ریزشبکه اولین بار توسط موسسه CERTS ارائه شده و در حال حاضر موضوع تحقیقات مختلفی در سراسر دنیا می‌باشد. ریزشبکه قسمتی از شبکه توزیع (ولتاژ متوسط یا ولتاژ ضعیف) است که شامل منابع تولید پراکنده (اعم از انرژی‌های نو و منابع ذخیره‌ساز انرژی) و بارهای الکتریکی داخل آن می‌باشد. ریزشبکه قادر است در دو حالت متصل به شبکه و جدا از شبکه عمل کند. وظیفه انطباق دادن تولید و مصرف در حالت متصل به شبکه بر عهده شبکه اصلی و در حالت جدا از شبکه بر عهده منابع ذخیره‌ساز انرژی داخل ریزشبکه می‌باشد. منابع تولید پراکنده می‌توانند از دو طریق به شبکه وصل شوند: با استفاده از روابط الکترونیک قدرت یا با استفاده از ژنراتور سنکرون یا القایی.

یک مزیت ذاتی ریزشبکه این است که طرح بهتری برای تامین نیازهای بار با تولیدات محلی در انجام پایان نامه مهندسی برق ارائه می‌دهد و هر ریزشبکه می‌تواند دارای یک مالک باشد که بصورت خصوصی وارد بازار شده و با منابع تولید پراکنده خود در تولید و عرضه انرژی شرکت می‌نماید. در کنار مزایای مختلف استفاده از منابع تولید پراکنده، کارکرد این منابع در یک ریزشبکه می‌تواند مزایای فنی و اقتصادی در برداشته باشد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

1-4- مزایای فنی ریزشبکه

مهمترین مزایای فنی ریزشبکه عبارتست از:

- بعضی اوقات بخاطر مسائل فنی و اقتصادی، توسعه شبکه‌های تولید و انتقال بوده و حل مسئله تامین رشد بار با قیمت قابل قبول سخت بوده و لذا در این گونه موارد ریزشبکه 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 افت ولتاژها، تصحیح نامتعادلی و سایر مسائل کیفیت توان در شبکه توزیع به کار گرفته شوند.
- اگر یک ریز شبکه 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 ریز شبکه می‌تواند منابع تولید پراکنده با حداکثر سود دهی را مورد استفاده قرار دهد.
- با بررسی کارکرد و کنترل منابع ریز شبکه، می‌توان منابع مختلف تولید پراکنده را به صورت قابل انعطاف نصب نموده و بصورت موثری در شبکه توزیع بکار گرفت.

1-5- مزایای اقتصادی ریز شبکه

برخی مزایای اقتصادی استفاده از ریز شبکه بصورت زیر می‌باشد.

- قیمت انرژی انتقال داده شده توسط سیستم قدرت کنونی تحت تاثیر مسائلی چون تلفات، خدمات به مشتریان، تعمیر و نگهداری و احداث خطوط انتقال می‌باشد. یک ریز شبکه با توجه به کوچک بودن و نزدیکی منابع تولید به مصرف کننده‌ها می‌تواند هزینه برق تولیدی را کاهش دهد. علاوه بر این، سرمایه‌گذاری‌ها در تاسیسات انتقال و تولید متمرکز جهت پاسخگویی به افزایش تقاضای مصرف باید بسیار سریع انجام گیر و این امر همیشه امکانپذیر نمی‌باشد. در حالی که این سیستم‌ها می‌توانند همگام با افزایش تقاضای مصرف، رشد نمایند.

- منابع تولید پرکنده در ریز شبکه باعث بهبود کیفیت توان و کاهش اغتشاشات و خاموشی برق می‌شوند که با این کار می‌توان هزینه‌های بسیار زیاد از دست رفته در بعضی کارخانجات صنعتی و یا مراکز تجاری را کاهش داد.
- منابع تولیدپراکنده می‌توانند بصورت ترکیبی توان و گرما پرداخته و با بازیافت گرمای حاصل از تولید برق و استفاده مصارف گرمایشی یا آی گرم مصرف‌کننده‌ها هزینه سیستم‌های گرمایشی تاسیسات صنعتی را به طور محسوسی کاهش دهند.

رشد مصرف انرژی در جامعه در صورت تداوم به همراه بهره‌وری پایین تولید، انتقال و توزیع انرژی می‌تواند سبب وقوع آینده‌ای نامطلوبی برای سیستم قدرت باشد، به گونه‌ای که حتی در صورت تحقق کلیه برنامه‌های توسعه بالادستی ظرف مدت چند سال آینده، مصرف انرژی از تولید انواع انرژی اولیه از جمله نفت و گاز فراتر رفته و کشور به وارد کننده انرژی تبدیل گردد.

تولیدات غیر متمرکز (DG) می‌تواند از طریق کاهش موثر و اقتصادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و تمرکززدایی و گوناگونی منابع انرژی اولیه به عنوان جایگزینی برای سوخ‌های فسیلی، نقش بسیار مهمی در سیستم‌های انرژی آینده بازی کنند. در چند دهه اخیر، سیاست گذاران انرژی در دنیا، با توجه به مزایای اقتصادی، زیست محیطی و امنیتی تولید انرژی به صورت غیر متمرکز، توجه روز افزونی به این مقوله نموده‌اند. با این وجود، موانعی مانند ساختار بازار و مسائل فنی، مقرراتی بر سر راه گسترش تولیدات غیر متمرکز وجود دارد.

ریز شبکه ها، نمونه عملی از مفهوم تولید غیر متمرکز می‌باشند. یک ریز شبکه، مجموعه‌ای از منابع انرژی غیر متمرکز است که به صورت هماهنگ جهت فراهم نمودن انرژی (الکتریکی و حرارتی) ارزان، قابل اطمینان و سازگار با محیط زیست مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. ریز شبکه ها معمولاً در حالت متصل به شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، اما در شرایطی که شبکه، به هر علتی توانایی تامین برق برای ریز شبکه را نداشته باشد، می‌توانند به صورت مستقل از شبکه یا جزیره‌ای نیز مورد بهره‌برداری قرار بگیرند. طراحی اجزای سیستم ریز شبکه باید به نحوی باشد که عملکرد مطمئن آن را در هر دو حالت بهره‌برداری متصل و مستقل از شبکه تضمین کند.

برخی از مزایای استفاده از سیستم ریزشبکه که موجب توجه بیش از پیش به این مقوله در انجام پایان نامه گردیده، عبارتند از:

- امکان استفاده از منابع تولید متنوع در اندازه‌های کوچک و متوسط اعم از منابع قابل تنظیم (دیزل ژنراتور، میکرو توربین و ...) و منابع غیر قابل تنظیم (توربین بادی، فتوولتائیک و ...)
- امکان تامین کل بار یا قسمتی از آن در شرایط اضطراری و در زمان عدم دسترسی به شبکه

سراسری

- قابلیت تامین توان با کیفیت بالا
- قابلیت تامین انواع بار اعم از بارهای خانگی، تجاری و صنعتی
- استفاده بهینه از سرمایه و کاهش هزینه بهره‌برداری و نگهداری با استفاده از فناوری اطلاعات و پایش مستمر شبکه

- امکان استفاده از فناوری تولید همزمان برق و حرارت (CHP) در تامین بارهای خانگی، گرمایشی و سرمایشی

- توانایی بهره‌برداری از ریزشبکه به صورت کاملاً مستقل از شبکه و تامین بارهای محلی توسط تولید داخلی

- ایجاد امکان مبادله انرژی میان ریزشبکه با شبکه برق در محیط تجدیدساختار شده

سیستم ریزشبکه، از دو جنبه اصلی قابل بررسی است. از نظر فنی مسائلی چون کنترل فرکانس، کنترل ولتاژ، قابلیت اتصال به شبکه و نحوه کنترل منابع انرژی غیر متمرکز و ... مورد توجه قرار گیرد. از نظر اقتصادی نیز به مسائلی همانند فرآیند کلی توسعه و نصب، تکنیک‌های تحلیل امکان سنجی اقتصادی، بهره‌برداری بهینه از اجزای ریزشبکه و غیره پرداخته می‌شود.

مسئله دیگر در هنگام رویارویی با سیستم ریزش شبکه در حضور منابع تجدیدپذیری مانند انرژی باد، کیفیت توان تحویلی به بار است. برای مطالعه پایداری و کیفیت توان انجام پایان نامه مهندسی برق، بررسی پارامترهایی از قبیل فرکانس سیستم، توان اکتیو و راکتیو، ولتاژ سیستم و هارمونیک‌های شکل موج ولتاژ ضروری است. شرط اصلی پایداری و تامین کیفیت توان کافی، برقراری تعادل میان توان تولیدی (اکتیو و راکتیو) و توان مصرفی (اکتیو و راکتیو) است. برای تحقیق این امر از نظر مدلسازی سیستم در مقیاس‌های زمانی زیر باید صورت پذیرد:

- تحلیل حالت گذرای سیستم در بازه زمانی چند ثانیه و با گام‌های زمانی حدود میلی ثانیه
- تحلیل دینامیکی ماشین‌ها، پایداری شبکه و کیفیت توان در اثر تغییرات حالت سیستم در بازه زمانی حدود یک دقیقه و با گام‌های زمانی حدود 0.01 ثانیه
- تحلیل تنظیم سیستم کنترلی در بازه زمانی چند دقیقه تا یک ساعت و با گام‌های زمانی 0.1 ثانیه تا یک ثانیه
- تحلیل لجستیک توان و انرژی تولیدی در بازه زمانی روزانه، هفتگی، ماهانه، فصلی یا یک سال و با گام‌های زمانی ده دقیقه تا یک ساعت.

2-2- سیستم ریزش شبکه

بنابر تعریف ریزش شبکه ها جزایری هستند که بصورت عمدی در یک مجموعه تاسیسات یا در یک سیستم توزیع الکتریکی شکل می‌گیرند و شامل دست کم یک منبع انرژی پراکنده (DER) و بارهای مربوط باشند.

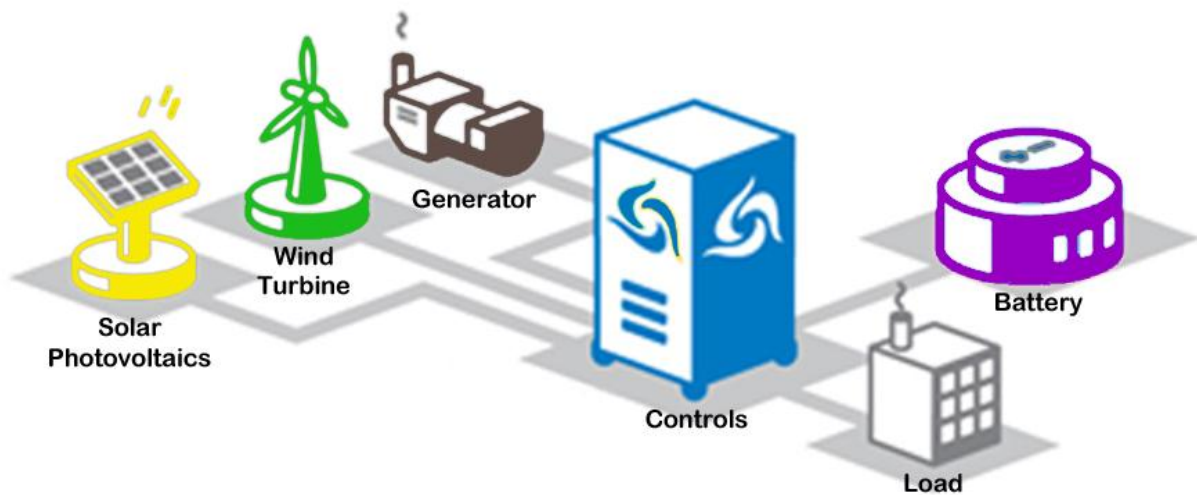
به گفته واحدهای DER شامل واحدهای تولید پراکنده و ذخیره پراکنده با مشخصات و ظرفیت‌های متفاوت می‌باشند. نقطه ارتباط الکتریکی ریزش شبکه به شبکه بالادست، در باس فشار ضعیف

ترانسفورماتور پست، نقطه اتصال مشترک ریزشبهه را تشکیل می‌دهد. یک ریزشبهه قادر است به انواع مشتریان اعم از ساختمان‌های مسکونی، واحدهای تجاری و شهرک‌های صنعتی و دانشگاهی سرویس ارائه کند.

ریزشبهه را یک سیستم قدرت کوچک می‌داند (به طور معمول در مقیاس چندین مگاوات یا کمتر) که دارای سه مشخصه اصلی است

- تولیدات پراکنده
- مراکز بار مستقل
- قابلیت بهره‌برداری متصل یا منفصل از شبکه الکتریکی بالادست

شکل 1-2 شمای کلی یک ریزشبهه نوعی را نشان می‌دهد. ریزشبهه شکل 2-1 به طور معمول از طریق ترانسفورماتور پست، در حالت متصل به شبکه، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. با این وجود انتظار می‌رود در صورتی که ریزشبهه مجبور به قطع اتصال از سیستم بالادست در PCC و عملکرد در حالت جزیره‌ای شود، بتواند استراتژی‌های تولید، کنترل و بهره‌برداری مناسبی را برای تامین حداقل قسمتی از بار فراهم نماید. طراحی اجزای سیستم ریزشبهه باید به نحوی باشد که عملکرد مطمئن آن را در هر دو حالت بهره‌برداری متصل و مستقل از شبکه، تضمین نماید. شبکه‌های قدرت موجود به دلیل حفظ امنیت تجهیزات و انسان‌ها، معمولاً اجازه تصادفی و وصل اتوماتیک ریزشبهه را نمی‌دهند. با این وجود، نفوذ بالای استفاده از منابع تولید پراکنده در ریزشبهه به طور بالقوه موجب می‌شود ریزشبهه قابلیت عملکرد در حالت متصل به شبکه و جزیره‌ای و گذار بین این دو حالت را داشته باشد.



شکل 1-2: شمای کلی یک ریز شبکه

3-2- مقایسه ریز شبکه با شبکه های سنتی

مزایای اقتصادی و زیست محیطی ریز شبکه و در نتیجه میزان پذیرش و استقبال از آن در صنعت و انجام پایان نامه مهندسی برق، در درجه اول با توجه به قابلیت های کنترلی و مشخصات بهره برداری آن تعیین می گردد. بسته به نوع و میزان نفوذ منابع انرژی پراکنده، پروفایل بار و محدودیت های کیفیت توان، استراتژی شرکت در بازار، استراتژی بهره برداری و کنترلی و مشخصات دینامیکی یک ریز شبکه، مخصوصاً در حالت جزیره ای و جدا از شبکه می تواند نسبت به سیستم های قدرت سنتی تفاوت های زیادی داشته باشد.

از جمله دلایل تفاوت این دو می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مشخصات دینامیکی و ماندگار واحدهای تولید پراکنده با واحدهای توربین ژنراتور سنتی تفاوت دارند.

- ریزش شبکه ها به دلیل وجود بار یا واحدهای تولید پراکنده تکفاز به طور ذاتی درگیر نامتعادلی بالایی هستند.
- بخش قابل توجهی از توان تولیدی در ریزش شبکه ها می تواند ناشی از منابعی باشد که ما ترجیح می دهیم کنترل چندانی در میزان تولید آنها نداشته باشیم مانند واحدهای مبتنی بر توان بادی (تولید توان توسط واحدهای غیر قابل کنترل).
- سیستم های ذخیره کننده انرژی (به طور کوتاه مدت و یا بلند مدت) می توانند نقش بسیار مهمی را در کنترل و بهره برداری از یک ریزش شبکه ایفا کنند.
- به دلایل اقتصادی یک ریزش شبکه باید قابلیت قطع و وصل بار و واحدهای تولید پراکنده را به دفعات در حین بهره برداری دارا باشد.
- یک ریزش شبکه ممکن است ملزم به تامین توان با کیفیتی خاص و یا ارائه سرویس های ویژه به برخی از بارها باشد.
- علاوه بر انرژی الکتریکی برخی از ریزش شبکه ها وظیفه تامین تمام یا قسمتی از بارهای حرارتی را نیز دارند.

4-2- واحدهای DER

واحدهای DER در یک طبقه بندی کلی شامل واحدهای تولید پراکنده (DG) و ذخیره پراکنده (DS) با مشخصات و ظرفیت های متفاوت می باشند. سیستم های تولید و ذخیره پراکنده در سطح فشار متوسط یا فشار ضعیف به ریزش شبکه متصل می شوند.

واحدهای DG با توجه به نوع ارتباط با شبکه به دو گروه تقسیم بندی می‌شوند. اولین گروه شامل واحدهای معمولی و دوار می‌باشند که از طریق ماشین‌های دوار به ریزشبکه متصل می‌شوند. دومین گروه شامل واحدهایی می‌باشند که از طریق ادوات الکترونیک قدرت به یک ریزشبکه متصل می‌شوند. مفاهیم کنترلی، استراتژی‌ها و مشخصات مبدل‌های الکترونیک قدرت، نسبت به ماشین‌های دوار معمولی، تفاوت بسیاری دارند. شکل 2-2 یک واحد DG را نشان می‌دهد که از یک منبع انرژی اولیه، تجهیزات واسط و ادوات جدا کننده در نقطه اتصال به شبکه تشکیل شده است. در یک واحد DG معمولی (مانند ژنراتور سنکرون که از طریق موتورهای رفت و برگشتی به حرکت در می‌آید یا یک موتور القایی که توسط توربین بادی با سرعت ثابت کار می‌کند) ماشین دوار نقش‌های ذیل را ایفا می‌کند:

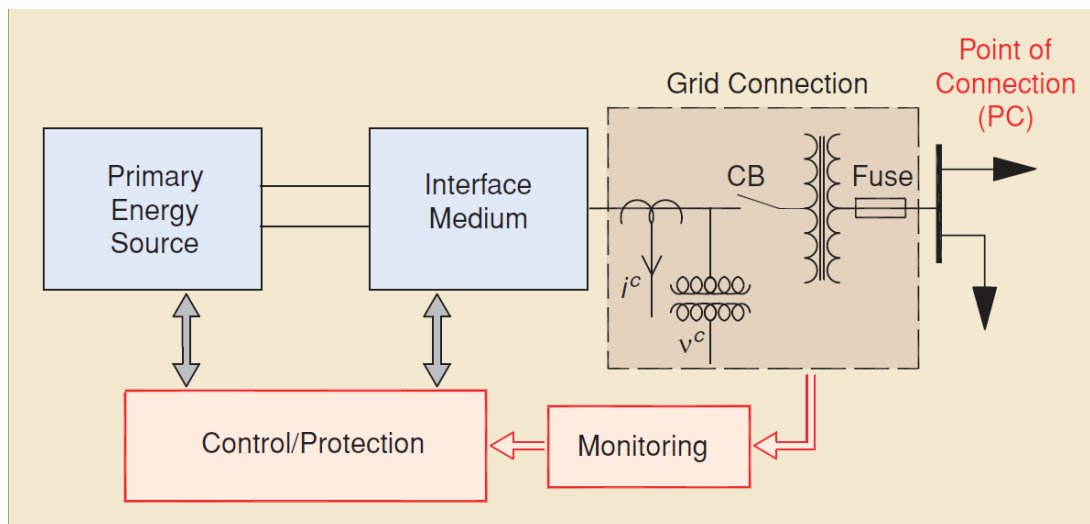
- منبع انرژی اولیه را به توان الکتریکی تبدیل می‌کنند.

- نقش تجهیزات واسط میان منبع اولیه و ریزشبکه را نیز بازی می‌کنند.

برای DG هایی که از طریق مبدل الکترونیک قدرت کار می‌کنند علاوه بر موارد فوق می‌تواند در نقش یک لایه تبدیلی و یا کنترلی دیگر نیز ظاهر شود، مثل کنترل ولتاژ و فرکانس.

توان ورودی به مبدل واسط از سمت منبع می‌تواند AC با فرکانس ثابت یا متغیر و یا DC باشد. مبدل سمت ریزشبکه در فرکانس ثابت 50 یا 60 هرتز کار می‌کند. شکل 2-2 را با جایگزین نمودن منبع انرژی اولیه با ذخیره کننده، برای DS نیز می‌توان به کار برد. جدول 1-2 مشخصات ساختار واسط و روشهای کنترلی پنخس بار واحدهای DG و DS را برای منابع تولید و ذخیره انرژی اولیه که به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند، نشان می‌دهد. باید توجه داشت که در انجام پایان نامه علاوه بر نوع اصلی واحدهای DG و DS، یک DER می‌تواند از نوع هیبرید باشد. یعنی یک واحد DER در عین

حال می‌تواند شامل یک منبع انرژی اولیه و یک ذخیره کننده باشد. یک واحد هیبرید معمولاً از طریق یک مبدل که شامل مبدل‌های دو طرفه DC-AC و DC-DC است، به سیستم ریزشبه متصل می‌شود.



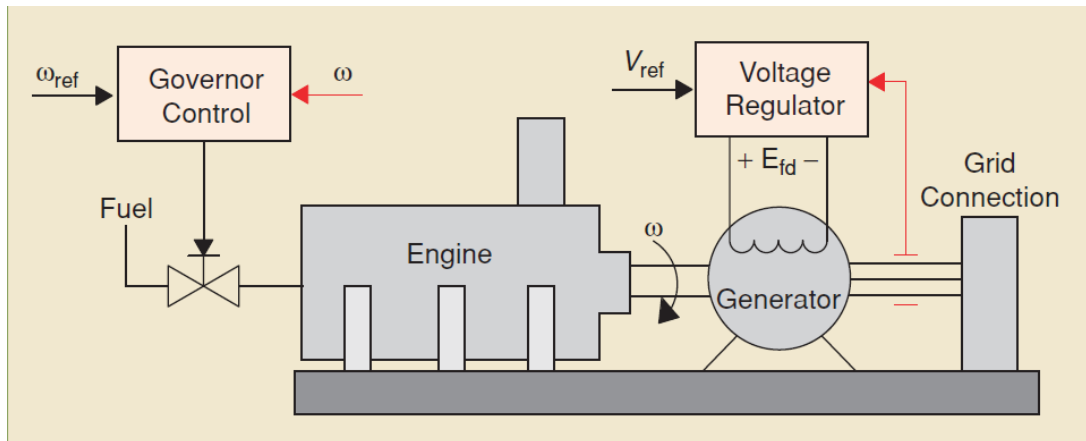
شکل 2-2: شمای کلی یک واحد DG

جدول 1-2: مشخصات واحدهای بکار رفته با DER

	Primary Energy Source (PES)	Interface/Inversion	Power Flow Control
Conventional DG	Reciprocating engines small hydro	Synchronous generator	AVR and Governor control (+P, ±Q)
	Fixed-speed wind turbine	Induction generator	Stall or pitch control of turbine (+P, -Q)
Nonconventional DG	Variable-speed wind turbine	Power electronic converter (ac-dc-ac conversion)	Turbine speed and dc Link voltage controls (+P, ±Q)
	Microturbine		
	Solar PV Fuel cell	Power electronic converter (dc-dc-ac conversion)	MPPT and dc link Voltage controls (+P, ±Q)
Long-Term Storage (DS)	Battery storage	Power electronic converter (dc-dc-ac conversion)	State-of-charge and/or output Voltage/frequency controls (±P/±Q)
Short-Term Storage (DS)	Super capacitor	Power electronic converter (dc-dc-ac conversion)	State-of-charge (±P, ±Q)
	Flywheel	Power electronic converter (ac-dc-ac conversion)	Speed control (±P, ±Q)

از نظر کنترل توان، یک DG می‌تواند قابل تنظیم یا غیرقابل تنظیم باشد. توان خروجی واحدهای قابل کنترل را می‌توان از طریق نقطه تنظیم، که توسط سیستم کنترل مرکزی ریزشبه تعیین می‌شود به صورت خارجی کنترل نمود. پاسخ یک واحد قابل تنظیم بسته به نوع آن، ممکن است سریع یا کند باشد. ساختار یک واحد تولید پراکنده معمولی و قابل تنظیم در شکل 2-3 نشان داده شده است، که از یک موتور رفت و برگشتی به عنوان منبع انرژی اولیه استفاده می‌کند. یک واحد DG مبتنی بر موتور رفت و

برگشتی معمولاً از یک گاورنر برای کنترل سرعت و تنظیم جریان سوخت ورودی استفاده می‌کند. تنظیم کننده ولتاژ (AVR) ولتاژ داخلی ژنراتور سنکرون را کنترل می‌کند و در نتیجه در واحد DG از AVR و گاورنر برای کنترل توان اکتیو و راکتیو خروجی استفاده می‌کند.



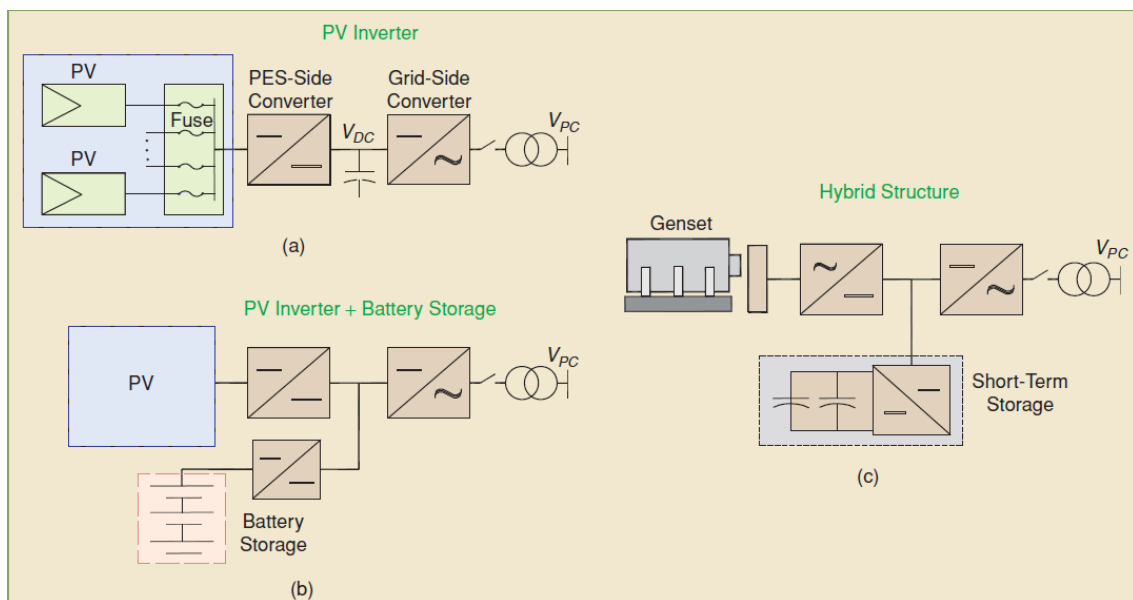
شکل 2-3: یک ژنراتور معمولی به عنوان یک واحد DG قابل تنظیم

در مقابل، توان خروجی یک واحد کنترل DG غیرقابل تنظیم معمولاً بر اساس استراتژی دنبال کردن بیشینه توان کنترل می‌شود. واحدهایی که از منابع تجدیدپذیر استفاده می‌کنند معمولاً غیرقابل تنظیم هستند. برای مثال یک واحد بادی غیرقابل تنظیم با توجه به تغییر سرعت وزش باد، برای استخراج بیشترین توان ممکن از روش MPPT استفاده می‌کند.

شکل 2-4 سه ساختار برای اتصال یک واحد DER که از مبدل الکترونیک قدرت استفاده می‌کند را نشان می‌دهد. شکل xxx یک واحد DG مبتنی بر فتوولتائیک غیر قابل تنظیم را نشان می‌دهد که در آن PV از طریق یک مبدل DC-DC و یک مبدل DC-AC پشت به پشت به ریزشبه متصل شده است. ساختار شکل 2-4 را می‌توان برای واحدهایی که بر خلاف PV تنظیم‌پذیر هستند نیز به کاربرد و به طور مشابه اگر PV را با ذخیره کننده انرژی جایگزین کنیم، یک واحد DS همراه با مبدل الکترونیک قدرت خواهیم داشت.

شکل 2-4 یک واحد DER هیبرید مجهز به ادوات الکترونیک قدرت را نشان می‌دهد، که در آن سیستم مبدل از دو مبدل موازی DC-DC و یک مبدل DC-AC تشکیل شده است. از این آرایش می‌توان برای تبدیل واحدهای غیرقابل تنظیم به واحدهای قابل تنظیم استفاده کرد. به عنوان نمونه، اگرچه توان خروجی آرایه‌های PV غیر قابل کنترل است ولی می‌توان با کنترل مناسب مبدل‌ها، توان خروجی قابل کنترلی در اختیار داشته باشیم. از این طریق می‌توان یک توربین بادی غیرقابل تنظیم را نیز به یک واحد DER هیبرید قابل تنظیم تبدیل نمود.

شکل 2-4 نیز یک سیستم هیبرید، متشکل از سیستم ژنراتور و واحدهای ذخیره خازنی را نشان می‌دهد. یکی از مشکلات اصلی سیستم ژنراتور کند بودن آن در افزایش و کاهش توان می‌باشد. واحد ذخیره خازنی از طریق یک مبدل DC-DC به مبدل DC-AD-AC متصل شده است و می‌تواند مورد نیاز در



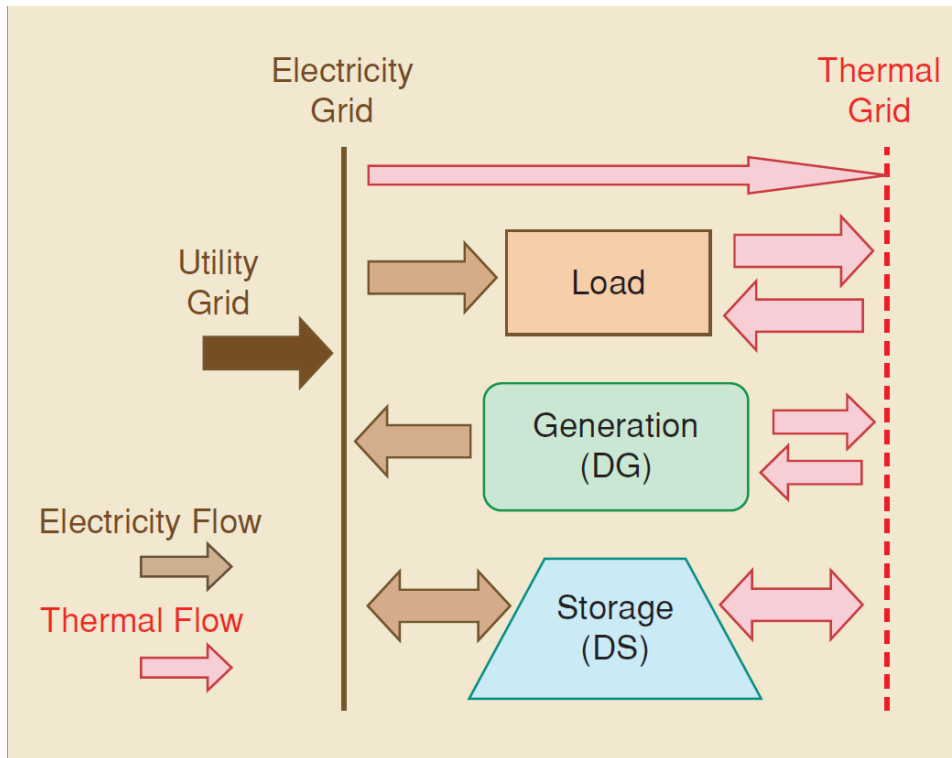
شکل 2-4: ساختارهای معمول برای اتصال DER به ریزشبکه

زمان راه‌اندازی و یا افزایش و یا کاهش توان را برای مدت کوتاهی فراهم کند و مشکل پاسخگویی کند سیستم ژنراتور را حل کند.

یک ریشبکه می‌تواند انواع بارهای الکتریکی و حرارتی را تامین کند. در حالت متصل به شبکه، شبکه توزیع بالادست را می‌توان به عنوان باس بینهایت در نظر گرفت. بدین ترتیب می‌توان، توان اضافی تولید شده را به شبکه بالادست فروخت و در زمان مورد نیاز، کمبود توان را با استفاده از شبکه جبران نمود، به نوعی که تعادل میان تولید و مصرف برقرار گردد. در صورتی که میزان تبادل توان با شبکه دارای محدودیت باشد می‌توان از قطع بار/تولید یا زائد بار برای حفظ تعادل میان تولید و مصرف استفاده نمود.

زمانی که از ریشبکه به صورت جدا از شبکه بهره‌برداری می‌شود، معمولاً قطع بار/تولید و استفاده از بار زائد برای حفظ تعادل میان بار و تولید و در نتیجه حفظ پایداری ولتاژ/زاویه، غیرقابل اجتناب است. در این شرایط باید استراتژی بهره‌برداری به گونه‌ای طراحی شود که بارهای حساس در اولویت سرویس دهی قرار گیرند. به علاوه، ریشبکه باید قابلیت تامین بارهای با قابلیت اطمینان مشخص و کیفیت توان خاص را داشته باشد.

در عمل، قسمتی از بارهای غیر حساس را می‌توان به عنوان بارهای قابل کنترل در نظر گرفت و از آنها برای کاهش پیک بار و هموارسازی پروفایل بار در انجام پایان نامه مهندسی برق استفاده نمود یا حتی در بازه‌های زمانی خاصی که یک واحد DG اضافی در مدار است، به آنها سرویس داد. بارهای غیر حساسی که غیرقابل کنترل هستند نخستین



شکل 5-2: جریان انرژی در یک ریزشبه

گزینه برای قطع محسوب می‌شوند. شکل 5-2 یک شمای کلی از جریان انرژی الکتریکی و حرارتی ریزشبه شامل بار، تولید، ذخیره و شبه الکتریکی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل دو سطح کنترلی می‌توان برای ریزشبه در نظر گرفت که عبارتند از: سطح کنترلی اجزا (component control level) و سطح کنترلی سیستم (system control level).

6-2- کنترل واحدها در ریزشبه

استراتژی کنترلی برای واحدهای DER در یک ریزشبه، بر مبنای عملکرد مورد نیاز و سناریوهای بهره‌برداری ممکن، انتخاب می‌شوند. به علاوه کنترل یک واحد DER با توجه به ماهیت تعامل آن واحد با سیستم و دیگر واحدهای DER تعیین می‌شود. استراتژی اصلی کنترل برای یک واحد DER عبارتند از: کنترل ولتاژ/فرکانس و کنترل توان اکتیو و راکتیو. در جدول xxx طبقه بندی کلی از استراتژیهای کنترلی یک واحد DER نشان داده شده است.

این طبقه بندی شامل دو نوع استراتژی اصلی وابسته (grid-following) و مستقل (grid-forming) بوده که هر کدام به نوبه خود به دو استراتژی غیرتعاملی و تعاملی تقسیم می‌شوند.

رویکرد کنترلی وابسته زمانی که کنترل مستقیم ولتاژ و یا فرکانس در PCC نیاز نباشد به کار می‌رود. در صورتی که توان خروجی واحد DER به صورت مستقل از دیگر واحدها یا بار کنترل شود (همانند واحدهای DER غیرقابل تنظیم) از استراتژی غیرتعاملی استفاده می‌شود. به عنوان مثال کنترل MPPT یک توربین بادی نوعی استراتژی غیرتعاملی به شمار می‌رود. در استراتژی کنترلی تعاملی نقطه کار تولید توان اکتیو/ راکتیو واحدهای DER، به صورت یک فرمان ورودی از سوی کنترل کننده مرکزی ریزشبهه تعیین می‌شود. این نقطه کار ممکن است بر اساس پخش بار و یا جبران توان اکتیو/راکتیو بار یا فیدر گردد.

استراتژی کنترلی غیرتعاملی مستقل یک روش صریح برای کنترل ولتاژ و فرکانس یک واحد DER قابل تنظیم در زمان در دسترس نبودن شبکه بالادست محسوب می‌شود. بر مبنای این استراتژی، در حالت جدا از شبکه، یک واحد DER خاص، وظیفه تامین توان مورد نیاز برای تعامل میان بار و تولید، تنظیم ولتاژ و پایداری فرکانس را برعهده می‌گیرد. در صورتی که دو یا چند واحد DG به صورت مشترک بار مورد نیاز را تامین کرده و به صورت همزمان به تغییرات بار ریزشبهه پاسخ دهند، می‌توان از استراتژی کنترلی تعاملی از طریق تغییر ولتاژ و فرکانس واحدهای DER استفاده نمود.

2-7- مدیریت توان و انرژی در ریزشبهه

بهره‌برداری از یک ریزشبهه در زمان وجود بیش از یک واحد DER، به ویژه در حالت جدا از شبکه، نیازمند داشتن یک استراتژی مدیریت توان (PMS) و یک مدیریت انرژی (EMS) است. پاسخ سریع

یک EMS/PMS در ریزشبهه نسبت به یک سیستم قدرت سراسری بنا به دلایل زیر، از اهمیت بالاتری برخوردار است:

- حضور منابع انرژی پراکنده کوچک و متعدد با ظرفیت و مشخصات توانی بسیار متفاوت
- نبود یک منبع تولیدی انرژی غالب (مانند باس بینهایت) در زمان جدا بودن از شبکه
- امکان ناپایداری ولتاژ/زاویه به دلیل پاسخ سریع منابع انرژی پراکنده دارای تجهیزات الکترونیک قدرت در صورت اتخاذ نمودن تدابیر مناسب

یک EMS/PMS ممکن است به دلایل متفاوتی مقدار توان تولیدی یک DER را تغییر دهد که برخی از این دلایل عبارتند از:

- تقسیم مناسب توان اکتیو و راکتیو بین واحدهای DER
- پاسخ مناسب به اغتشاشات ماندگار و گذرا
- تعیین نقطه تنظیم واحدهای DER جهت تعادل توان در ریزشبهه و حفظ فرکانس
- امکان سنکرون شدن با شبکه سراسری در صورت نیاز

در یک ریزشبهه متصل به شبکه، توان تولیدی واحدهای DER با اهداف مشخصی مانند کمینه‌سازی خرید انرژی از شبکه (پیک سایی) از قبل تعیین می‌شود و هر کدام از واحدها به گونه‌ای کنترل می‌شوند که به صورت یک باس P-Q (توان اکتیو/راکتیو) یا P-V (توان اکتیو/ولتاژ) مورد بهره‌برداری قرار گیرند. بنابراین، شبکه بالادستی، تنها اختلاف توان اکتیو و راکتیو تولیدی را تامین می‌کند.

اما در حالت جدا از شبکه، کل بار باید توسط واحدهای داخلی تامین گردد و در غیر اینصورت، باید از فرآیند قطع بار برای تعادل میان تولید و مصرف استفاده شود. علاوه بر این، وجود استراتژی‌های

کنترلی توان اکتیو/راکتیو انعطاف‌پذیر و سریع برای کمینه‌سازی اثرات دینامیکی ریزش‌بکه نیز لازم است، اثراتی مانند حالات گذرای ناشی از جزیره‌شدن، کاهش توان و نوسان فرکانس.

یک PMS/EMS مطلوب باید الزامات توان در کوتاه مدت و مدیریت انرژی در بلند مدت را مد نظر قرار دهد. تعادل توان در کوتاه مدت باید به گونه‌ای برقرار گردد که امکان:

- دنبال کردن بار، تنظیم ولتاژ و کنترل فرکانس بر اساس تقسیم توان بین واحدهای DER و یا قطع بار، برای مقابله با عدم تعادل بار و توان.
- پاسخ‌دهی دینامیکی مناسب، تنظیم ولتاژ و فرکانس در زمان بروز اغتشاشات پس از آن
- فراهم نمودن توان با کیفیت مناسب برای بارهای حساس
- سنکرونیسم مجدد باشبکه پس از در دسترس قرار گرفتن شبکه

در مدیریت انرژی بلند مدت EMS/PMS موارد زیر را باید مد نظر قرار داد:

- برنامه‌ریزی جهت تامین رزرو مناسب و تعیین میزان تولید واحدهای DER قابل تنظیم، براساس فرآیند بهینه‌سازی مبتنی بر:

- کاهش هزینه تمام شده انرژی تولیدی (کاهش سوخت مصرفی)
- کاهش تلفات توان
- بیشینه کردن توان حاصل از واحدهای مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر
- کنترل توان خالص خریداری شده/فروخته شده از/به شبکه سراسری بالادست

- در نظر گرفتن الزامات و محدودیتهای خاص واحدهای DER شامل نوع واحد، هزینه تولید، وابستگی زمانی منبع انرژی اولیه، بازه‌های زمانی تعمیرات و نگهداری و اثرات زیست

محیطی

- مدیریت کنترل پروفایل بار و قطع و وصل بارهای غیرحساسی در زمان بروز اتفاقات گذرا در ریزشبه.

2-8- کنترل نظارتی در ریزشبه

یک ریزشبه از طریق سیستم کنترلی خود باید وظایفی مانند تامین حرارتی و یا الکتریکی، شرکت در بازار انرژی، ارائه سرویس‌ها خاص به بارهای حساس، فراهم نمودن سرویس‌های جانبی و غیره را تضمین نماید. بنابر سیستم کنترل نظارتی در یک ریزشبه را می‌توان به دو صورت پیاده‌سازی نمود: کنترل نظارتی متمرکز و غیرمتمرکز. این سیستم‌ها معمولاً از سه سطح کنترلی سلسله مراتبی زیر تشکیل شده‌اند:

- متصدی توزیع (DNO^1) و متصدی بازار (MO^2)
- کنترل کننده مرکزی ریزشبه $(MCC)^3$
- کنترل کننده‌های محلی $(LCs)^4$ مربوط به هر واحد DER و بار

DNO در زمان بهره‌برداری از چند ریزشبه از چند ریزشبه در نظر گرفته می‌شود. به علاوه یک یا چند MO مسئولیت اداره‌ی بازار، در هر منطقه خاص را برعهده می‌گیرند. DNO و MO به ریزشبه

¹ Distribution network operator

² Market operator

³ Microgrid central controller

⁴ Local controller

تعلق نمی‌گیرند بلکه نماینده شبکه سراسری هستند. واسط اصلی میان DNO/MO و ریزشبکه، MCC است. MCC وظایف و نقش‌های متفاوتی را برعهده دارد مانند بیشینه کردن سود حاصله از ریزشبکه و هماهنگ‌سازی میان کنترل‌کننده‌های محلی مختلف. کنترل‌کننده‌های محلی، واحدهای DER و بارهای قابل کنترل را در ریزشبکه کنترل می‌کنند.

با توجه به رویکرد کنترلی، هر LC ممکن است دارای سطح خاصی از هوشمندی و قدرت تصمیم‌گیری باشد. در حالت کنترل متمرکز، هر LC تنها دستورات صادر شده از MCC مربوط به خود را اجرا می‌کند. در حالت غیر متمرکز در انجام پایان نامه، هر LC با توجه به شرایط خود و مستقل از MCC تصمیم‌گیری کرده و تصمیمات لازم را به صورت محلی اتخاذ می‌کند. بنابراین، در رویکرد غیرمتمرکز، LCها از استقلال بیشتری برخوردار هستند. در هر دو رویکرد، برخی تصمیمات به صورت محلی اتخاذ می‌شود. به عنوان مثال یک LC برای کنترل ولتاژ، نیازی به دریافت دستور از MCC ندارد. در رویکرد متمرکز، کنترل‌کننده‌های محلی فرامین صادره از MCC را در شرایط متصل به شبکه اجرا کرده و در مواردی درای استقلال هستند، مانند بهینه‌سازی محلی برای تبادل توان واحدهای DER و دنبال کردن بار بلافاصله پس از گذار به حالت جدا از شبکه.

MCC با توجه به استراتژی قیمت دهی و فرآیند بهینه‌سازی، میزان تولید واحدهای DER قابل کنترل را تعیین کرده و در مورد سرویس‌دهس به بارهای غیرحساس با اولویت پایین‌تر تصمیم‌گیری می‌کنند.

در رویکرد غیر متمرکز، تصمیمات کنترلی توسط کنترل‌کننده‌های محلی DER اتخاذ می‌شود (مانند بهینه‌سازی توان تولیدی برای تامین بار و بیشینه کردن فروش توان به شبکه سراسری با توجه به قیمت

(بازار)

MCC از طریق کنترل متمرکز، میزان تولید محلی را با توجه به قیمت بازار و محدودیت‌های امنیتی¹ بهینه کرده و بدین ترتیب تبادل توان ریزشبکه با شبکه سراسری را کنترل می‌کند. این کار با تعیین نقطه کار واحدهای DER و بارهای قابل کنترل در ریزشبکه حاصل می‌شود. لازم به ذکر است که وجود یک ارتباط دوسویه میان MCC و LC الزامی است. MCC تصمیمات لازم را برای بازه‌های زمانی مشخص از پیش تعیین شده اتخاذ می‌کند، به عنوان مثال هر 15 دقیقه برای ساعت یا ساعات بعدی.

بر اساس قیمت بازار و ظرفیت واحدها، کنترل کننده‌های محلی DER پیشنهاد خود را با در نظر گرفتن سطح تولید به MCC ارائه می‌کنند. به طور مشابه، کنترل کننده‌های محلی بار، با توجه به اولویت سرویس‌دهی، میزان مورد نیاز خود را پیشنهاد می‌دهند. MCC با توجه به سیاست بازار و در نظر گرفتن مواردی مانند پیشنهادات DER و بارها، قیمت بازار، محدودیت امنیتی شبکه، پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر و پیش‌بینی بار، با انجام بهینه‌سازی، به تعیین نقطه کار تولید واحدهای DER قابل کنترل، نقطه کار بارهای قابل کنترل و قیمت بازار برای دوره‌های بهینه‌سازی بعدی می‌پردازد. سپس بر اساس سیگنال‌های صادر شده توسط MCC، کنترل کننده‌های محلی میزان بار و سطح تولید خود را تنظیم می‌کنند و پیشنهادات خود را برای دوره بعد آماده می‌کنند.

در رویکرد کنترلی غیرمتمرکز، واحدهای DER و بارها در داخل ریزشبکه، از بیشترین قدرت تصمیم‌گیری و استقلال برخوردارند. مستقل بودن کنترل کننده‌های محلی بدین معناست که آنها به صورت هوشمند عمل کرده و می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و یک نهاد هوشمند بزرگتری را

¹ Security constraints

تشکیل دهند. در انجام پایان نامه و در کنترل غیر متمرکز، وظیفه اصلی هر کنترل کننده، لزوماً بیشینه کردن درآمد یا کمینه کردن هزینه‌های واحد مربوطه نیست بلکه ارتقا کارایی کل ریزشبکه می‌باشد. بنابراین، ساختار کنترلی در این حالت باید به گونه‌ای طراحی شود که فاکتورهای اقتصادی زیست محیطی و فنی را در نظر بگیرد.

این خصوصیات نشان می‌دهد که یک سیستم چندگزاره‌ای (MAS) می‌تواند اولین کاندید برای پیاده‌سازی سیستم کنترلی غیرمتمرکز در ریزشبکه باشد.

به لحاظ مفهومی، MAS صورت تکامل یافته سیستم کنترلی توزیع شده کلاسیک با قابلیت کنترل نهادهای پیچیده و بزرگ کی‌باشد. هر کارگزار از اطلاعات خود برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. روش‌های مبتنی برهوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی یا سیستم‌های فازی می‌تواند در MAS به کار رود.

