دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان :

کنترل و تنظیم ولتاژ توسط ترانسفورماتورهای هوشمند در ریز شبکه های قدرت

استاد راهنما: دکتر رضا نوروزیان

نگارش: امیر سلیمانی

بهمن ۹۳

فهرست مطالب

چکیده ۱

۱-فصل اول:ریزشبکه ۳

۲-فصل دوم :ضرورت کنترل ولتاژ در ریزشبکه ۹

۱-۲. کنترل توان اکتیو تولید کننده ها ۱۲

۱-۱-۲.مفهوم ۱۲

۲-۱-۲.مشخصات ۱۵

۲-۲ .کنترل توان راکتیو تولید کننده ها ۱۷

۳-۲ .درخواست دیسپاچینگ در ریز شبکه جزیره شده ۱۷

۴-۲. امپدانس خروجی مجازی ۱۹

۳-فصل سوم:ترانسفورماتور هوشمند ۲۰

۱-۳.کنترل انتقال توان راکتیو از طریق ترانسفورماتور هوشمند ۲۱

۱-۱-۳ .استراتژی کنترل ۲۱

۲-۱-۳.تبادل توان مرجع بین شبکه و ریز شبکه ۲۶

۳-۱-۳. بحث ۲۷

۴- فصل چهارم: مدل سازی و شبیه سازی ۲۹

۵- فصل پنجم: نتیجه گیری ۵۳

۶- مراجع ۵۶

چکیده

با افزایش ضریب نفوذ تولید پراکنده و ضرورت روزافزون استفاده از انرژی های نو و نیاز به مفاهیم جدید و راهکارهای نو برای استفاده بهینه از این نوع انرژی ها موجب ایجاد ریزشبکه ها به عنوان راهکار مناسب برای تولید پراکنده نزدیک به بار با قابلیت اطمینان بالا و صرفه اقتصادی شده است . از ویژگی های اصلی ریزشبکه توانایی عملکرد به عنوان واحد مستقل از شبکه و همچنین به عنوان یک واحد کنترل پذیر توسط شبکه در هنگام اتصال به شبکه است. اصلی ترین چالش در مقابل این ریز شبکه ها کنترل موثر آنها در شبکه برای رسیدن به عملکرد مناسب در حالت متصل به شبکه و همچنین حالت جزیره ای است .برای عملکرد جزیره ای یک ریزشبکه ، استراتژی های کنترلی متنوعی به وجود آمده است. برای مثال ، برای کنترل توان اکتیو تولید کننده ها و کنترل بارهای اکتیو ، کنترل افت بر مبنای ولتاژ [۱] را می توان اجرا کرد.یکی از مزیت های اصلی ریزشبکه ها این است که می توان آن را به عنوان یک نهاد کنترل پذیر در شبکه های الکتریکی اجرا کرد.برای این کار باید شبکه سراسری توانایی کنترل یا تاثیر گذاشتن بر تبادل توان با ریزشبکه با برقراری ارتباط مخابراتی فقط با یک واحد را داشته باشد . با این حال، تحقیقات کمی بر روی کنترل تبادل توان از طریق نقطه اتصال مشترک انجام شده است . این پایان نامه به این موضوع، با معرفی مفهوم یک ترانسفورماتور هوشمند [۲]در نقطه اتصال مشترک می پردازد. این واحد تبادل توان اکتیو بین ریزشبکه و شبکه سراسری را با توجه به شرایط دو شبکه و اطلاعات دیگر رسیده به ترانسفورمانور هوشمند کنترل می کند. برای کنترل توان اکتیو ، ترانسفورماتور هوشمند از تپ بندی هایی که ولتاژ سمت ریزشبکه را در نقطه اتصال مشترک تغییر می دهند استفاده می کند . این کنترل مبتنی بر ولتاژ ترانسفورماتور هوشمند با کنترل افت بر مبنای ولتاژ واحدها در ریزشبکه که در این متن از آن استفاده شده سازگار است .از این رو واحد های ریزشبکه می توانند به صورت خودکار به تغییرات ست پوینت [۳] ترانسفورماتور هوشمند عکس العمل نشان دهند و بالعکس.با استراتژی های در نظر گرفته

---

[۱] voltage-based droop control
[۲] ST : smart transformer
[۳] set point

شده برای کنترل واحد های تولید پراکنده که کاملا با استراتژی های کنترل ترانسفورماتور هوشمند هماهنگ است امکان تبادل توان میان ریز شبکه و شبکه سراسری به وجود می اید که با توجه به مسائل اقتصادی و همچنین پایداری و قابلیت اطمینان شبکه می تواند از سمت شبکه به میکرو گرید یا از میکرو گرید به سمت شبکه باشد. یک مورد شبیه سازی برای نشان دادن طرز کار ترانسفورماتور هوشمند به این پایان نامه اضافه شده اند.

فصل اول

ریز شبکه[1]

مفهوم ریز شبکه شامل گروهی از بار ها و ریز منبع ها[2](زیر صد کیلو وات) که به صورت یک سیستم واحد کنترل پذیر وظیفه تامین توان الکتریکی و (گاها) حرارتی را بر عهده دارد و می تواند به صورت یک سلول واحد از شبکه سراسری مانند یک بار عمل کند و خود را با نیاز های شبکه هماهنگ کند و یا با توجه به نیاز های مشتری خود را هماهنگ کرده و نیاز های محلی بار را تامین کند.

در سیستم توزیع برق، تعداد واحدهای تولید پراکنده [3]با منابع انرژی تجدید پذیر و یا تجدید ناپذیر برای تولید توان محلی در طول سالیان گذشته به طور پیوسته افزایش یافته است. تغییر رویه به سمت تولید نزدیک به بار می تواند موجب افزایش قابلیت اطمینان و کارایی شبکه شود اگر شبکه :

۱) به درستی هماهنگ و اجرایی شود ؛

۲) به طور موثر با چالش های ایجاد شده بر اثر یکپارچه سازی منابع انرژی تجدید پذیر مقابله کند؛

تولید پراکنده شامل دسته‌ی بزرگی از تکنولوژی‌های متحرک شامل موتورهای خود احتراق [4]، توربین های گاز، میکرو توربین ها، فوتو ولتائیک، سلول های سوختی وانرژی بادی است [۱] . در این پایان نامه، مفهوم ریزشبکه تعریف و توسعه داده شده است.

ریزشبکه ها می‌توانند به شبکه برق اصلی متصل شوند یا اگر از شبکه قدرت در یک روش مشابه برای سیستم های قدرت جزیره ای طبیعی جدا شوند بصورت مستقل عمل کنند[۱]. ریزشبکه ها نفوذ واحد تولید پراکنده به شبکه را با ارائه روشی هماهنگ برای یکپارچه سازی آنها با مقابله با رفتار غیر متعارف

---

[1] Microgrid

[2] Microsource

[3] DG : Distributed Generation

[4] Internal Combustion

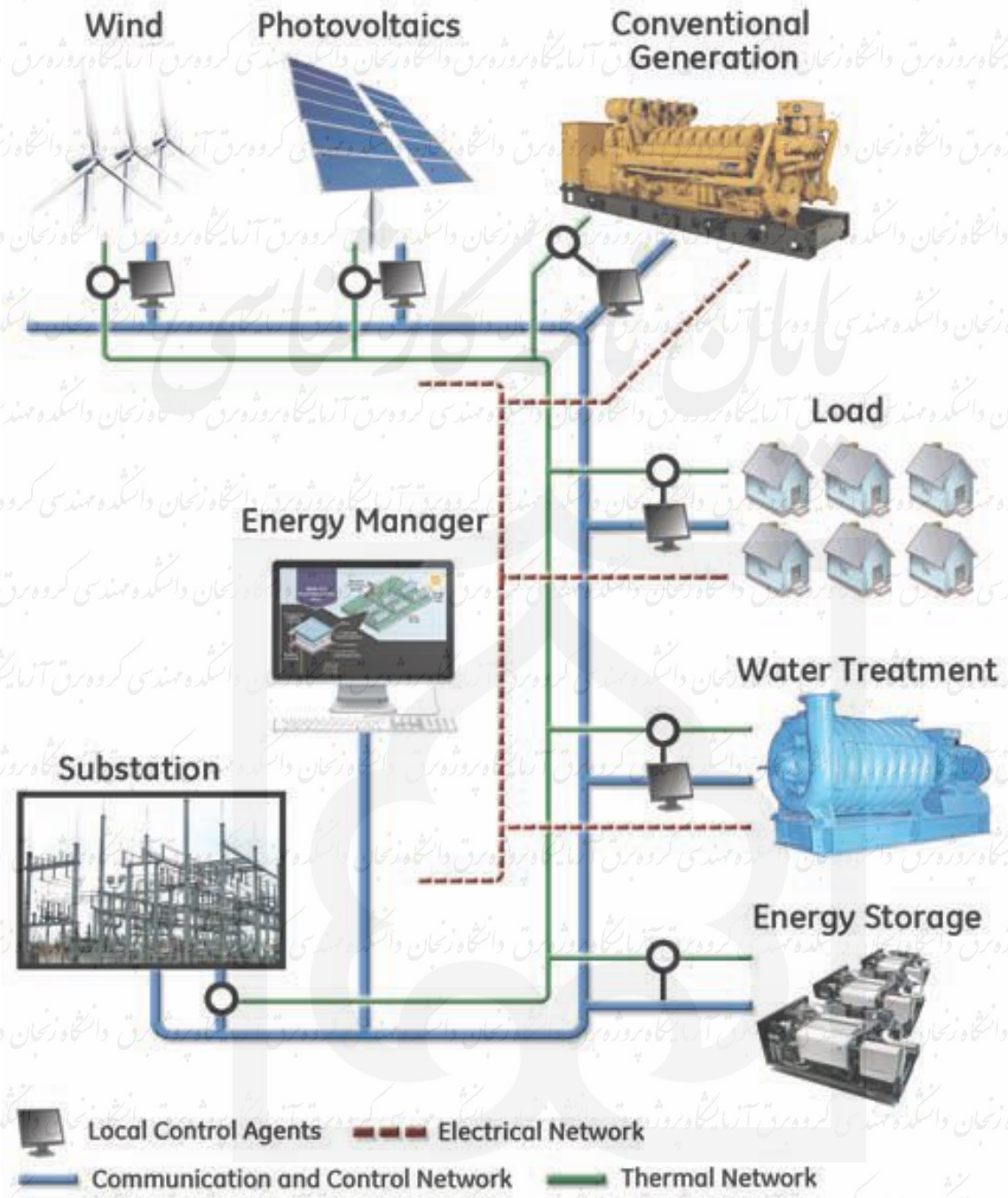
واحد های تولید پراکنده ها تسهیل می کنند[۲]. ریزشبکه ها مزایای قابل توجهی را از دید هردوی شبکه و مصرف کننده ارائه می کند. مزیت اصلی از نقطه نظر شبکه آن است که کل ریزشبکه از نظر شبکه قدرت به عنوان یک واحد قابل کنترل دیده می شود. از نقطه نظر مشتریان ، تاثیر ریزشبکه در قابلیت اطمینان شبکه توزیع مهم است ، مخصوصا در آینده که تولید غیر قابل پیش بینی بیشتر و مصرف بالاتر (پیک بار) است. یکی دیگر از مفاهیم جدید علاوه بر ریزشبکه ها ، شبکه هوشمند [1] است که شبکه الکتریکی را به سوی هوشمندتر و انعطاف پذیر شدن در آینده پیش می برد. ریزشبکه ها به احتمال زیاد نقش کلیدی در تکامل شبکه هوشمند ایفا می کنند [۲] ، زیرا که برای تامین نیاز های آینده و ترغیب به ابداعات جدید نسبت به شبکه الکتریکی مرکزی موقعیت بهتری دارند. در این مفهوم ، شبکه های هوشمند می تواند به عنوان یک سیستم یکپارچه از ریزشبکه های هوشمند پدیدار شوند ، که منجر به افزایش علاقه به ریزشبکه های هوشمند می شود. ریزشبکه می تواند به عنوان بلوک اصلی تشکیل دهنده شبکه های هوشمند در نظر گرفته شود و مورد بهره برداری قرار گیرد [۲] .

ریزشبکه ها و شبکه های هوشمند در حال آزمایش و اثبات در بسیاری از پروژه ها مانند موارد زیر هستند:

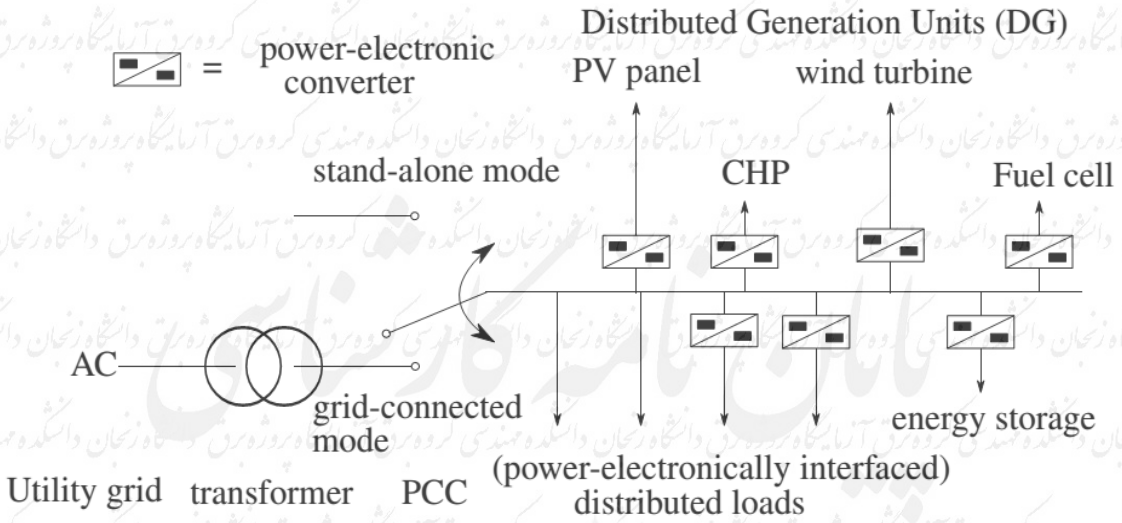
E.U. Microgrid Projects, the U.S. Certs Microgrid, BC Hydro in Canada, the NEDO microgrid projects in Japan and the European SmartGrids Technology Platform.

---

[1] Smart Grid



شکل ۱-۱ شمای کلی ریزشبکه



شکل ۲-۱ تصویر شماتیک ریز شبکه و نحوه اتصال آن به شبکه اصلی

ادغام تعداد زیادی واحد تولید پراکنده (بر اساس منابع تجدید پذیر) موجب برخی چالش ها در شبکه های الکتریکی می شود. چالش فعلی این است که تصمیم گرفته شود که یک واحد می تواند در یک محل خاص قرار بگیرد یا خیر . اگر چه این امر به تعداد بهینه از واحدهای تولید پراکنده منجر نمی شود، مفهوم ریزشبکه تضمین می کند که به وجود آوردن قابلیت کنترل پذیری ریزشبکه توسط شبکه الکتریکی را مورد توجه قرار دهد [۲] .در کل ریز شبکه ها راه حلی مناسب برای رفع مشکلات استفاده از منابع تولید پراکنده کوچک هستند . که با توجه به مزایای بسیار ، آینده تولید پراکنده را شکل می دهند.

از نظر اقتصادی هم با نزدیک شدن تولید به منابع مصرف می تواند مزایای زیر را در بر داشته باشد [۱]:

- بهبود پشتیبانی ری‌اکتیو تمام سیستم به معنی بالا بردن منحنی ولتاژ;
- از بین بردن مشکل انتقال نیرو در مکان های سعب العبور در مقیاس توزیع و انتقال;
- کاهش تلفات در بالادست شبکه های ولتاژ بالا;
- کاهش یا حداقل به تعویق انداختن سرمایه گذاری در انتقال جدید و مقیاس بزرگ سیستم های تولید.

از آنجایی که تلفات خطوط ولتاژ پایین بیشتر از خطوط ولتاژ بالاست ، حداقل کردن فاصله فیزیکی و الکتریکی ، که از مزایای استفاده از ریزشبکه است ، می تواند به کاهش تلفات در حد بسیار بالایی کمک کند . افزایش قابلیت اطمینان سیستم و در کل برای کیفیت توان به غیر متمرکز سازی منابع تولید برای تطبیق بهتر عرضه و تقاضا و برای کاهش پیچیدگی انتقال و وقوع قطعی بزرگ کمک می کند. افزایش سطح قابلیت اطمینان در زمانی که عملکرد سیستم توزیع در بالادست شبکه مختل شده است از طریق اجازه دادن به میکروژنراتورها برای مستقل عمل کردن در حالت های گذرا می تواند بدست بیاید.اگر یک شبکه خارج شده باشد ریزشبکه می تواند بدون مشکل در حالت ایزوله شده به کار خود ادامه دهد[۱].

از دیدگاه اقتصادی هم ریز شبکه دارای مزایای قابل توجهی است .برای مثال قیمت عمده فروشی توان الکتریکی بطور متوسط در حدود ۳۰-۴۰ یورو بر مگا وات است، در حالی که قیمت خرده فروشی در حدود ۹۰-۱۰۰ یورو بر مگا وات است. شبکه توزیع و انتقال عهده دار این تفاوت است و تعادل اقتصادی مناسب بین سرمایه گذاری شبکه و تولید پراکنده می تواند بخش بزرگی از قیمت توان الکتریکی برای آخرین مصرف کننده را (در حدود ۱۰٪) کاهش دهد. کاهش قیمت بیشتر می تواند به وسیله ی بهینه سازی میکرو تولید به وجود بیاید یعنی تولید توان محلی در پیک بارهای پر قیمت و خریداری کردن توان از شبکه زمانی که از نظر اقتصادی بیشتر مورد توجه است[۱]. توسعه ریزشبکه ها هنوز با بسیاری مشکلات مواجه است به عنوان مثال:

-**هزینه ی زیاد منابع انرژی توزیع شده** – این روش در نهایت به برخی از انواع کمکهای مالی حداقل در طی یک دوره ی ناپایدار برای تحریک کردن برای سرمایه گذاری نیاز دارد .گرچه در دراز مدت این عمر موجب تناقض با قوانین فروش منجر شود ;

- **مشکلات فنی** – بدلیل نبود تجربه و ناتوانایی تکنولوژی اخیر برای کنترل تعداد مهمی از ریزمنابع ، نیاز به تحقیق زیاد بر روی انجام شدن مدل واقعی، مدل دینامیک ، شبیه سازی و کنترل عملکرد واقعی و طراحی نقشه ی حفاظتی دارد. زیر بنای ارتباطات خاص و پروتکل های ارتباطی نیاز به توسعه یافتن برای کمک به اداره کردن، عملیات و کنترل کردن ریزشبکه هادارد.

- **نبود استانداردها** – از آنجایی که این یک حوزه با پتانسیل جدید است هنوز استانداردی در دسترس برای چندین موضوع بسیار مهم وجود ندارد به عنوان مثال اطلاعات کیفیت توان برای

چندین میکرومنبع تولیدی ، استانداردها و پروتکل ها برای قادر ساختن یکپارچگی ریزمنابع در بازارهای برق، ایمنی راهنماها و حفاظت راهنماها هنوز ناقص است.

- **موانع اجرایی و قانونی** – بطور کلی قانون و آیین نامه برای طرح کردن عملکرد ریزمنابع وجود ندارد. در برخی کشور ها مثل پرتغال در حال حاضر قوانین خاص مثل ایجاد تعرفه برای پرداخت برای میکروتولیدکننده ها وجود دارد. با این اهمیت، این می تواند اولین قدم برای ارزیابی برای فراهم کردن سرمایه گذاری در این حوزه به نظر برسد. قدم جدید خواهان پذیرفته شدن در آینده است به دلیل این که اگر یکی بخواهد از یکپارچگی ریزمنابع ساده در شبکه های ولتاژ پایین خارج شود -در حقیقت خیلی مشابه یکپارچه سازی تولید جدا از هم در شبکه های ولتاژ متوسط است- به احتمال واقعی ایجاد یک ریزشبکه که وابسته به شبکه های ولتاژ پایین ، ریزمنابع وبارهای الکتریکی است قادر به عمل کردن در حالت به هم متصل شده یا درحالت جداشدن اتوماتیک هستند. از این رو چندین موضوع باید با شرکت توزیع ولتاژ متوسط هماهنگ باشند مثل ارسال استراتژی کنترل ولتاژ بر حسب وار ،مدیریت در زمان واقعی و تدارکات سرویس های کمکی، عملیات بر روی حوادث غیر مترقبه و در طی black start ، تمرینات کاری تجهیزات الکتریکی ایمنی.

تلاش در هماهنگ سازی استانداردها و قوانین برای این موضوع به عنوان نتیجه برای رشد میکرو تولید پیش بینی شده است. سازمان ارتباطات خاص و پروتکل های ارتباطی به توسعه عملکرد مدیریت کمک رساندن و کنترل ریزشبکه هایش نیاز دارد.

سایر فوائد اقتصادی می تواند از رشد میکروتولید بدست بیاید به علت تاثیرات اجتماعی و اقتصادی که ممکن است از ایجاد مشاغل جدید که نیاز به تولید کردن، راه اندازی و نگهداری وسایل تولیدی دارد بدست بیاید[۱].

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

فصل پنجم

نتیجه گیری

با توجه به موضوعاتی که در این متن اشاره شد نیاز روز افزون به استفاده از تولید پراکنده و در راس آن انرژی های تجدید پذیر ضرورتی انکار ناپذیر در صنعت برق سالهای آتی خواهد بود. از اهم دلایل این امر ضرورت تولید نزدیک به بار به جای تولید متمرکز و استفاده از ظرفیت های شبکه های هوشمند و پایه ی اصلی آن ها یعنی ریز شبکه ها برای بالا بردن بهره وری شبکه برق و همچنین افزایش قابلیت اطمینان و صرفه اقتصادی بیشتر این شبکه ها نسبت به وضعیت موجود است .دلیل دیگر این امر بالا رفتن پیک بار مصرفی به صورت روز افزون است که خواستار تولید بیشتر و با انعطاف پذیری بالاتر است. همچنین با پایین آمدن هزینه های استفاده از منابع تجدید پذیر مانند پایین آمدن هزینه پنل های خورشیدی در کنار بالا رفتن بازده این تجهیزات و علاوه بر آن طراحی های جدید برای توربین های بادی و سایر ادوات استفاده از انرژی های نو مهمترین ضعف استفاده از انرژی های نو یعنی بالا بودن هزینه تولید برق در مقایسه با سوخت های فسیلی و انرژی های تجدید نا پذیر را از میان برداشته و تولید برق از انرژی های نو در آینده ای نزدیک از یک کار تحقیقاتی و جایگزین به برنامه اصلی کشور ها مخصوصا کشور های غیر نفت خیز بدل خواهد شد .از این رو نیاز روز افزون به فناوری ها جدید برای استفاده از این انرژی ها احساس می شود .که ریز شبکه ها به عنوان بخش جدایی نا پذیر تولید پراکنده نقش حیاتی در آینده صنعت برق خواهند داشت.از عمده مزیت های شبکه های هوشمند و در کل ریز شبکه ها کاهش تلفات ،کاهش خاموشی های ناشی از قطعی های بزرگ در شبکه های انتقال و فوق توزیع (به دلیل تولید در محل) ، کاهش هزینه ها از طریق تولید در محل و در ساعات که قیمت انرژی در شبکه سراسری پایین تر است تامین انرژی مورد نیاز از آن طریق ، و همچنین کمک به کاهش نگرانی های زیست محیطی به دلیل استفاده از انرژی های عمدتا تجدید پذیر به عنوان منابع اصلی تولید انرژی را میتوان نام برد

برای رسیدن به این اهداف استراتژی های کنترلی متنوعی میتواند مورد استفاده قرار گیرد که دامنه گسترده ای دارند و بنا به کاربرد های مورد نظر میتوانند به عنوان کنترل کننده های اولیه و ثانویه با هم ترکیب شوند .

استراتژی کنترلی مورد استفاده برای ایجاد مفهوم ترانسفورماتور هوشمند استفاده از کنترل کننده های مبتنی بر افت است که با توجه به ولتاژ (همچنین جریان و توان اکتیو) ریز شبکه را کنترل می کنند. در حالت جزیره ای این کنترل کننده ها میتوانند توان مورد نیاز بار ها را در ولتاژ نامی (در یک باند ولتاژی مجاز) تامین کنند . در حالت متصل شبکه نیز هماهنگی بین ترانسفورماتور هوشمند و این استراتژی موجب تحقق هدف ترانسفورماتور هوشمند که تبادل توان بین دو شبکه است را امکان پذیر و عملی می سازد. همانطور که در متنن هم اشاره شد تبادل توان از طریق تغییر در ست پوینت ترانسفورماتور یا همان تپ ترانسفورماتور امکان پذیر می شود .همانند هر سیستم کنترلی این سیستم نیز مزایا و معایبی دارد که به طور خلاصه به آن ها اشاره می شود

مزایا:

۱- استراتژی کنترلی یکسان در حالت جزیره شده و متصل به شبکه

۲- عدم نیاز با ارتباط با تک تک واحد ها

۳- هماهنگی خودکار المان های شبکه با تغییرات شبکه با توجه به استراتژی یکسان برای تمام المان ها

۴- هماهنگی استراتژی با انواع واحد های تولید پراکنده دیسپاچینگ و غیر دیسپاچینگ.

۵- قیمت ارزانتر نسبت به مبدل های الکترونیک قدرتی پشت به پشت

معایب:

۱- عدم وجود استراتژی کنترل توان راکتیو در حالت متصل به شبکه و نیاز به استراتژی کنترل ثانویه توان راکتیو در حالت متصل به شبکه

۲- عدم امکان تنظیم تپ در گام های بسیار کوچک مانند آنچه در شبیه سازی ها انجام شد.

۳- کاهش عمر تجهیزات تپ چنجر به دلیل تغیرات تپ بیشتر از حالت عادی

۴- اثرات تغییرتپ (کلید زنی) برای شبکه و ریز شبکه

۵- عدم تجزیه دینامیکی فرکانس از شبکه و وابسته بودن فرکانس ریز شبکه به شبکه (این مورد به علت کم بودن نوسانات فرکانسی شبکه های سراسری چندان مهم نیست)

در مجموع می توان گفت با توجه به گسترش روز افزون ریز شبکه های هوشمند ، ترانسفورماتور هوشمند می تواند نقش موثری در این زمینه بر عهده بگیرد ولی نیازمند تحقیقات و بررسی های بیشتر و آزمایش عملی دارد .

مراجع:

[۱] رضا نژاد اصل ،احسان:ریزشبکه و کنترل مستقل آن ، دانشگاه زنجان ،۱۳۸۹.

[2]T. L. Vandoorn, J. D. M. De Kooning, B. Meersman, J. M. Guerrero and L. Vandevelde "Voltage-Based Control of a Smart Transformer in a Microgrid", Industrial Electronics, IEEE Transactions on (Volume:60 , Issue: 4) Page**(s):** 1291 - 1305 April 2013.

[3] M. Pipattanasomporn, H. Feroze, and S. Rahman, “Multi-agent systems in a distributed smart. grid: Design and implementation,” in *Power systems conference and exposition (PSCE09)*. Seattle , Washington \, Mar. 2009.

[4] A. Mehrizi-Sani and R. Iravani, “Potential-function based control of a microgrid in islanded and grid-connected modes,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 4, pp. 1883–1891, Nov. 2010.

[5] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. Garcia de Vicuna, and M. Castilla, “Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids - A general approach towards standardization,” *IEEE Trans. Ind.Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158–172, Jan. 2011.

[6] H. Laaksonen, P. Saari, and R. Komulainen, “Voltage and frequency control of inverter based weak LV network microgrid,” in *2005 InternationalConference on Future Power Systems*, Amsterdam, Nov. 18, 2005.

[7] T. Zhou and B. Franc¸ois, “Energy management and power control of a hybrid active wind generator for distributed power generation and grid integration,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 95–104, Jan.2011.

[8] H. Fakham, D. Lu, and B. Francois, “Power control design of a battery charger in a hybrid active PV generator for load-following applications,”*IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 85–94, Jan. 2011.

[9]T. L. Vandoorn, B. Renders, L. Degroote, B. Meersman, and L. Vandevelde, “Active load control in islanded microgrids based on the

grid voltage," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 139–151, Mar. 2011.

[10] P. Siano, P. Chen, Z. Chen, and A. Piccolo, "Evaluating maximum wind energy exploitation in active distribution networks," *IET Generation,Transmission & Distribution*, vol. 4, no. 5, pp. 598 – 608, May 2010.

[11] C. Cecati, C. Citro, A. Piccolo, and P. Siano, "Smart operation of wind turbines and diesel generators according to economic criteria," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. PP, no. 99 (forthcoming), pp. 1–1, 2011, digital Object Identifier: 10.1109/TIE.2011.2106100.

[12] C. Yuen, A. Oudalov, and A. Timbus, "The provision of frequency control reserves from multiple microgrids," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 173–183, Jan. 2011.

[13] R. Majumder, M. Dewadasa, A. Ghosh, G. Ledwich, and F. Zare, "Control and protection of a microgrid connected to utility through back-to-back converters," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 81, no. 7, pp. 1424 – 1435, 2011.