

بررسی رفتار دینامیکی و حالت دائمی منابع پراکنده در یک ریز شبکه جزیره ای

ناهید رستاقی^۱، هادی ثقفی^۲

^۱ دانشجوی رشته برق - قدرت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی‌شهر، اصفهان، ایران، Nahid_rastaghi68@yahoo.com

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، گروه مهندسی برق و الکترونیک، اصفهان ایران، h.saghafi@khuif.ac.ir

چکیده - ریز شبکه ها بخشی از شبکه توزیع هستند که شامل منابع پراکنده بوده و می‌توانند بصورت جزیره‌ای و مستقل از شبکه کار کنند. به منبع انرژی الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع و سمت مصرف کننده وصل می‌گردد تولید پراکنده می‌گویند. به طور کلی هدف از استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع تأمین تمام یا قسمتی از توان مصرفی شبکه می‌باشد. در حالت جزیره ای وجود منابع ذخیره انرژی به منظور برقراری تعادل بین تولید و مصرف در ریز شبکه ضروری است. در یک ریز شبکه دو روش کنترلی شامل کنترل مرکزی و کنترل محلی وجود دارد. در این مقاله برخی از مسائل مرتبط با ریز شبکه مثل پایداری یا تقسیم توان مطرح می‌شود که بخاطر شرایط جزیره بودن و مطلوب نبودن کنترل مرکزی حل آنها در کنترل محلی جذاب می‌باشد. کنترل کننده مورد استفاده در کنترل محلی منابع پراکنده معرفی شده و با ارائه نتایج شبیه‌سازی، عملکرد دینامیکی و حالت دائمی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلید واژه - ریز شبکه، عملکرد جزیره‌ای، کنترل محلی، منابع پراکنده

۱- مقدمه

الکتریکی بسیار مورد توجه هستند. مایکروگرید معمولاً به عنوان دسته‌ای از بارهای محدود، منابع ذخیره‌ای پراکنده و ژنراتورهای کوچک (500kW) تعریف می‌شود و می‌تواند در دو حالت متصل به شبکه یا جزیره ای فعالیت کند.

این شبکه های مستقل به شبکه ی سراسری توزیع متصل میشوند. از آنجایی که خروجی بسیاری از منابع تولید پراکنده شامل توربین های بادی، سلول های سوختی و ذخیره سازهای انرژی دارای ولتاژ پایین با فرکانسی غیر از 50/60Hz می باشد، برای اتصال آنها معمولاً از مبدل های الکترونیک قدرت استفاده می‌شود. از آنجایی که این مبدل ها دارای اینرسی پایین می باشند، سبب می گردند که مایکروگرید به اختلالات حساس باشد، از سوی دیگر وجود این مبدل های واسط سبب می شود عملکرد مولد متصل شده به مایکروگرید دارای انعطاف بیشتری باشد.

مرجع [۱] به توسعه ی مدلسازی و تحلیل عملیات مستقل مبتنی بر اینورتر می پردازد، مدل دینامیک کامل شبکه (به جای یک مدل امپدانس) استفاده می شود. مدل کامل در اطراف نقطه‌ی عملیاتی خطی سازی شده است.

در دهه‌های اخیر، تجدید ساختار صنعت برق در برخی کشورها اعمال گشته است. طی این مدت، به خاطر بالا بردن بازده بهره‌برداری و تشویق سرمایه‌گذاران، صنعت برق دستخوش تغییرات اساسی از لحاظ مدیریت و مالکیت گردیده است.

این تحولات از یک طرف و عواملی همچون آلودگی محیط زیست، مشکلات احداث خطوط انتقال جدید و پیشرفت فناوری در زمینه اقتصادی نمودن ساخت واحدهای تولیدی در مقیاس کوچک در مقایسه با واحدهای تولیدی بزرگ از طرف دیگر، باعث افزایش استفاده از واحدهای تولیدی کوچک تحت عنوان "تولیدات پراکنده" (DG) که به طور عمده به شبکه‌های توزیع متصل شده و نیازی به خطوط انتقال ندارند، گردیده است. انرژی الکتریکی تولیدی توسط تولیدات پراکنده در اکثر کشورهای پیشرفته، تحول عظیمی در سیستم‌های تولید و انتقال انرژی بوجود آورده که تمام نیازها و مزایای پایه تولید و انتقال در موارد فنی، آکادمیک و بازرگانی را برآورده می‌کند.

مایکروگریدها به دلیل وارد کردن منابع تولید پراکنده مانند تولیدکنندگان همزمان برق و حرارت (CHP) به شبکه‌ی

۱- پیشرفت‌های صنعتی چشمگیر در ساخت و بکارگیری تکنولوژی‌های مرتبط

۲- محدودیت‌ها موجود در احداث خطوط انتقال نیرو

۳- ورود بحث بازار برق و مسائل مرتبط با آن در سیستم قدرت

۴- افزایش تقاضای مشترکین برای سرویس با قابلیت اطمینان بالا

۵- حساسیت بالا در خصوص آلودگی‌های محیط زیست مزایای استفاده از تولید پراکنده:

بکارگیری تولیدات پراکنده در سیستم توزیع مزایای زیست محیطی، اقتصادی و فنی بسیار زیادی را به دنبال دارد. برای رسیدن به این مزایا تولیدات پراکنده باید دارای اندازه مناسب بوده و در مکان‌های مناسب نصب شوند. بطور کلی استفاده از نیروگاه‌های با تولید پراکنده در شبکه قدرت مزایای زیر را به همراه دارد:

۱- کم کردن هزینه مربوط به تجهیزات قدرت

۲- کاهش تلفات انتقال قدرت

۳- سهولت امکان بازیافت گرما در این نیروگاه‌ها

۴- زمان نصب و بهره‌برداری کوتاه این نیروگاه‌ها

۵- تحقق خصوصی سازی واقعی با تبدیل سرمایه‌گذاران بزرگ به سرمایه‌گذاران کوچک

۶- کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و صوتی نیروگاه‌های بزرگ

۷- کاهش تلفات با جابجایی بهینه نیروگاه‌های تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع

۸- آزاد شدن ظرفیت سیستم‌های انتقال و توزیع اعم از خطوط و پست‌ها

۹- استفاده بعضی از منابع تولید پراکنده از منابع تجدیدپذیر

۱۰- امکان کاربرد مجزا یا متصل به شبکه

انواع پرکاربرد این منابع سلول‌های خورشیدی، توربین‌های بادی، سلول‌های سوختی، میکروتوربین‌ها و ژنراتورهای همراه با موتورهای احتراق داخلی می‌باشد.

۳- ریز شبکه

ریز شبکه از به هم پیوستن تولیدات کوچک و گاهی منابع ذخیره انرژی در سیستم‌های ولتاژ پایین یا متوسط شکل می‌گیرد.

مرجع [۲] به خطی سازی سیستم کنترل یک ریز شبکه دارای دو منبع پراکنده پرداخته که قادر به در نظر گرفتن هر نسبت X/R در امپدانس شبکه می‌باشد.

در [۳] یک مشخصه افتی ولتاژ جدید برای عملکرد موازی مبدل‌های منبع ولتاژ در یک ریز شبکه چند باسی جزیره ای ارائه شده است تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد این طرح دارای یک رفتار برتر نسبت به روش افتی معمولی از نظر واکنش به اشتراک گذاری توان و بارهای کنترل ولتاژ تحت شرایط بارگذاری است، شبیه سازی نشان می‌دهد که عملکرد خوبی از این روش برای سه VSC به موازات هم در یک ریز شبکه چند باسی بدست می‌آید.

در [۴] عملکرد جزیره‌ای یک ریز شبکه معرفی و بررسی شده است. در [۵] استفاده از یک مدل ریاضی بهبود یافته به منظور حل مساله طراحی سیستم توزیع در حضور منبع خاصی از واحد‌های تولید پراکنده (DG) در بخش توزیع سیستم‌های الکتریکی پیشنهاد می‌شود.

در این مقاله ریز شبکه و حالت‌های مختلف کنترلی آن معرفی شده، پایداری و تقسیم توان سیستم مورد نظر در حالت جزیره‌ای و با در نظر گرفتن کنترل محلی برای منابع پراکنده مبتنی بر اینورتر شرح داده شده و رفتار دینامیکی و حالت گذرای آن بررسی می‌گردد.

۲- منابع تولید پراکنده

منابع تولید پراکنده منابع کوچکی هستند که در نزدیک نقطه مصرف نصب می‌شوند. محرک اولیه این منابع می‌تواند انرژی‌های نو و تجدید پذیر یا سوخت‌های فسیلی باشد. تولیدات پراکنده دارای انواع مختلفی می‌باشند که بسته به نوع آن، ظرفیت نامی و نیز قیمت آن متفاوت است. توربین‌های گازی کوچک با ظرفیت حدود ۵۰۰ کیلووات تا ۲۰ مگاوات و بازده حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد و پیل‌های سوختی با ظرفیت حدود ۵۰ کیلووات تا ۳ مگاوات و بازده حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد به تدریج در شبکه‌های توزیع و مصارف صنعتی و تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عوامل محرک فراوانی باعث افزایش تمایل به بکارگیری سیستم‌های تولید پراکنده شده است که به طور کلی این عوامل را می‌توان در پنج گروه به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود:

بوده یا نیاز به اطلاعات وسیعی از شبکه داشته که در روش کنترل محلی مطلوب نیست.

یکی از مسائل کلیدی دیگر در طراحی کنترل کننده ها در نظر گرفتن پایداری سیستم است، سیستمی پایدار است که قطب های تابع تبدیل در صفحه s در سمت چپ محور موهومی باشد و بخاطر شرایط جزیره بودن و مطلوب نبودن کنترل مرکزی حل آنها در کنترل محلی جذاب می باشد.

ورودی منبع پراکنده مورد نظر توان حقیقی و راکتیو بوده و خروجی آن مقادیر مرجع برای فرکانس و دامنه ولتاژ منبع است. شکل ۱- شمای کلی سیستم مورد نظر می باشد.

این سیستم از دو DG مبتنی بر اینورتر تشکیل شده است و با استفاده از یک فیدر واقعی، توان حقیقی و راکتیو را کنترل می کند و رفتار دینامیکی آن با نرم افزار psim شبیه سازی می شود. توان نامی شبکه ۱۰۰ کیلو ولت آمپر و ولتاژ شبکه ۴۰۰ ولت می باشد. بلوک محاسبه توان حقیقی و راکتیو تولیدی با استفاده از روابط زیر محاسبه می شوند.

$$p = \frac{3}{2}(v_d i_d + v_q i_q) \quad (1)$$

$$q = \frac{3}{2}(v_d i_q - v_q i_d) \quad (2)$$

مقادیر بالا را از فیلتر پایین گذر عبور می دهیم تا مقادیر لحظه ای (p و q) به مقادیر متوسط (P و Q) تبدیل شوند. مشخصه های P-ω و Q-V طبق رابطه های زیر محاسبه می شوند.

$$\omega = \omega_{\max} - m_p(P - P_{\min}) \quad (3)$$

$$V = V_{\max} - n_q(Q - Q_{\min}) \quad (4)$$

که m_p شیب مشخصه P-ω و n_q شیب مشخصه Q-V از روابط زیر بدست می آیند:

$$m_p = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{P_{\max}} \quad (5)$$

$$n_q = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{Q_{\max}} \quad (6)$$

گیرد و از طریق یک نقطه ی اتصال مشترک به شبکه ی توزیع متصل می شود. ویژگی مهم ریزشبهه این است که هنگام بروز مشکل در سیستم قدرت به جای خارج شدن از منابع پراکنده از بارهای نزدیکشان از شبکه اصلی جدا شده و به اصطلاح به صورت جزیره ای و خودگردان به کار خود ادامه دهند. بدین ترتیب قابلیت عملکرد جزیره ای قابلیت اطمینان تامین بار مصرف کننده ها را افزایش می دهد. وظایف کلی منابع در یک ریزشبهه جزیره ای عبارتند از: تامین بار مصرف کنندگان، کنترل ولتاژ، کنترل فرکانس و تقسیم بار بطور مناسب بین تمام منابع پراکنده.

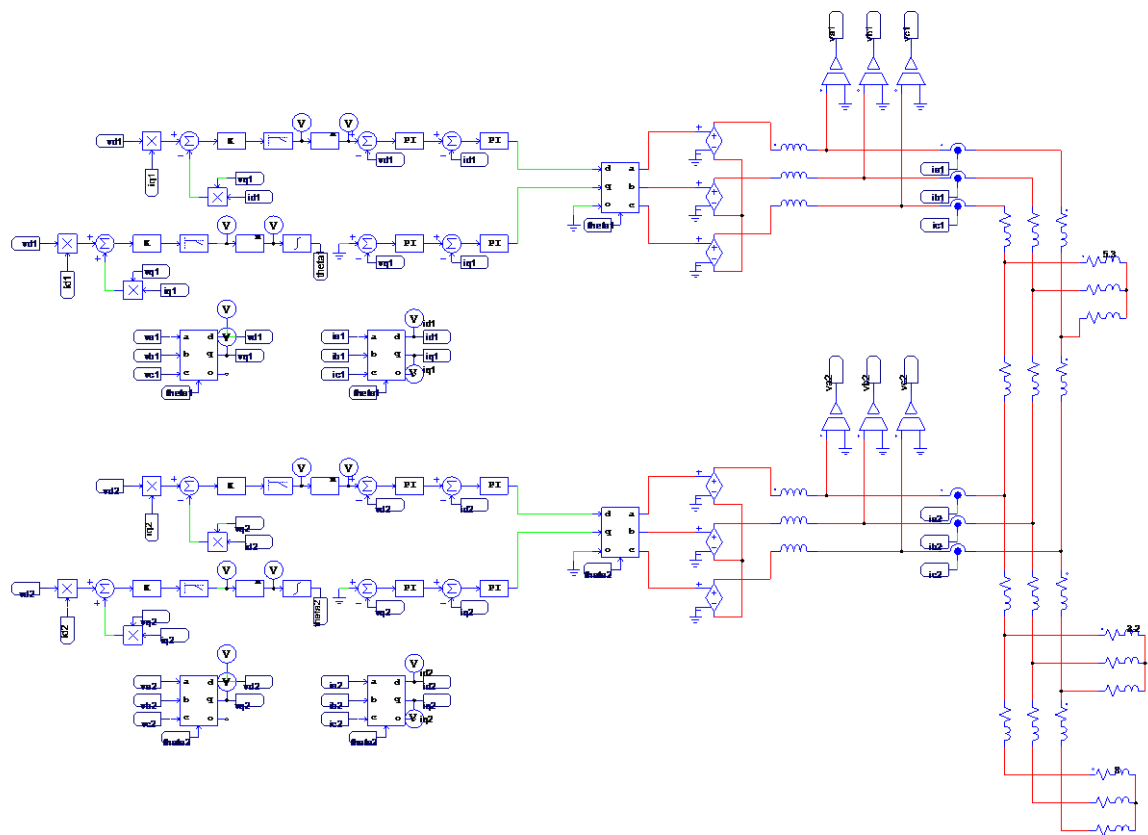
در حالت جزیره ای معمولاً وجود منابع ذخیره ی انرژی به منظور برقراری تعادل بین تولید و مصرف در ریز شبکه ضروری است. استفاده از ریز شبکه دارای محاسن متعددی نظیر افزایش قابلیت اطمینان شبکه، بهبود کیفیت توان، کاهش تلفات می باشد. در حالت جزیره ای بطور کلی دو روش کنترلی وجود دارد: کنترل مرکزی و کنترل محلی

در کنترل مرکزی اطلاعات همه منابع انرژی پراکنده به کنترل کننده مرکزی ارسال می شود. سیستم کنترل مرکزی با دانستن اطلاعات منابع پراکنده بار اضافه شده را بین همه آنها تقسیم می کند. با داشتن این روش کنترلی، نیاز به ارتباط مخابراتی باپهنای باند وسیع بین منابع با کنترل کننده مرکزی است که این خود باعث کم شدن قابلیت اطمینان سیستم می گردد.

در کنترل محلی طراحی سیستم کنترل غیرمتمرکز می باشد، در این حالت هیچ منبعی به عنوان منبع مرجع وجود ندارد و همه منابع از نظر کنترلی هم ارز هستند؛ لازمه پیاده شدن چنین روشی این است که منابع تولید پراکنده بتواند در محدوده ظرفیت خود هر میزان توان حقیقی و راکتیوی که سیستم کنترل مشخص می کند تامین نمایند.

برخی از مسائل اساسی مرتبط با ریزشبهه های جزیره ای که بیشتر مورد توجه محققان قرار دارد عبارتند از کم کردن هزینه سوخت، مدیریت انرژی، جداسازی ریزشبهه از شبکه سراسری، بهبود پایداری و تقسیم توان.

حل مشکل تقسیم توان یکی از موضوعات مهم در ریزشبهه است ولی راه حل های ارائه شده عمدتاً محدود به ریزشبهه های خاص



شکل ۱: شمای کلی سیستم

جدول ۱- امپدانس های بار فیدر

مقدار مقاومت	مقدار راکتانس
$R1=5.3(\Omega/km)$	$X1=4(\Omega/km)$
$R2=3.2(\Omega/km)$	$X2=2.4(\Omega/km)$
$R3=8(\Omega/km)$	$X3=6(\Omega/km)$

جدول ۲- امپدانس های خط فیدر

مقدار مقاومت	مقدار راکتانس
$R1=0.03852(\Omega/km)$	$X1=0.06238(\Omega/km)$
$R2=0.05778(\Omega/km)$	$X2=0.09357(\Omega/km)$

در مشخصه توان حقیقی - فرکانس ($P-\omega$) هر چه توان خروجی منبع بیشتر باشد، فرکانس ولتاژ خروجی کمتر است و در مشخصه توان راکتیو - ولتاژ ($Q-V$) هر چه توان راکتیو خروجی منبع بیشتر باشد افت ولتاژ خروجی بیشتر است.

در این ریز شبکه از یک فیدر حقیقی با امپدانس مختلط (ترکیب مقاومت اندوکتانس) برای کم شدن توزیع توان های حقیقی و راکتیو از مشخصه های $P-\omega$ و $Q-V$ کمک گرفتیم جدول ۱- مقادیر این امپدانس های بار که روی فیدر تقسیم شده نشان می دهد و در جدول ۲- امپدانس های خط فیدر نشان داده شده است. نشان داده شد توان حقیقی به طور مستقیم به وسیله ولتاژ و توان راکتیو به وسیله ی فرکانس قابل کنترل است.

پایداری توان ها به وضوح مشخص می باشد. توان های حقیقی و راکتیو و جریان منابع با مشخصه های افقی مناسب است.

۴- نتایج شبیه سازی

۵- نتیجه گیری

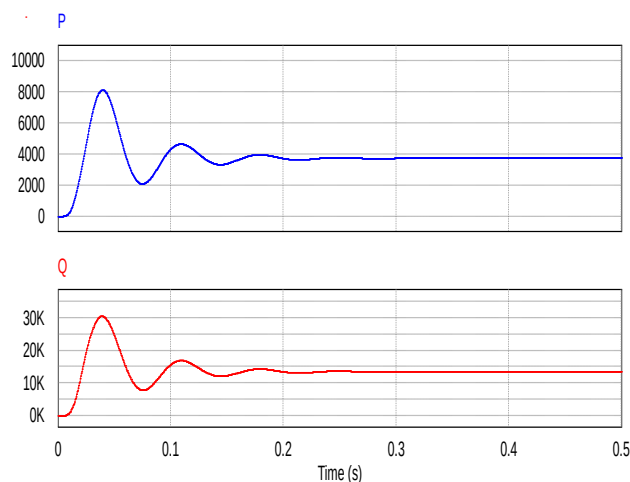
در این مقاله ساختار یک ریزشبه جزیره ای معرفی شد و نحوه کار مشخصه های افقی $P-\omega$ و $Q-V$ بررسی گردید. پایداری و تقسیم توان سیستم مورد نظر مطرح شد. با ورود بار جدید به سیستم، در مشخصه ی $Q-V$ هر چه توان راکتیو خروجی منبع بیشتر باشد افت ولتاژ خروجی بیشتر است. در مشخصه ی $P-\omega$ هر چه توان خروجی منبع بیشتر باشد، فرکانس ولتاژ خروجی کمتر است. شیب مشخصه ها در هر منبع متناسب با عکس توان نامی آنها است. این مساله باعث می گردد تقسیم توان در هر منبع متناسب با اندازه آن منبع صورت گیرد.

۶- مراجع

- [1] Nagaraju Pogaku, Milan Prodanovic, and Timothy C. Green, "Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Microgrid" IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 22, NO. 2, MARCH 2007.
- [2] Christopher N. Rowe, Terrence J. Summers, Robert E. Betz, David J. Cornforth, and Timothy G. Moore, "Arctan Power-Frequency Droop for Improved Microgrid Stability", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 28, NO. 8, AUGUST 2013.
- [3] E. Rokrok M.E.H. Golshan, "Adaptive voltage droop scheme for voltage source converters in an islanded multibus microgrid" iet-gtd.2009.0146 .
- [4] Paolo Piagi, Robert H. Lasseter "Autonomous Control of Microgrids" IEEE.
- [5] R.H.Lasseter, "MicroGrids", IEEE Trans.

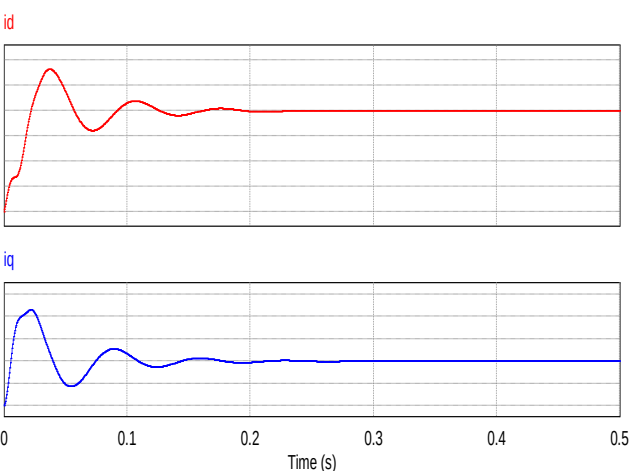
[۶] مرتضی شعبان زاده، علیرضا لطفی و مهرداد ستایش نظر، "برنامه ریزی توسعه شبکه ثانویه توزیع در حضور واحد های تولیدی موتور ژنراتور گازسوز کوچک"، انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران، اولین کنفرانس، ۱۳۸۸

روش طرح شده در این مقاله برای محاسبه پایداری ولتاژ و فرکانس در شبکه توزیع بر روی سیستم ۱۰۰ کیلو ولت آمپری و فیدری با طول خط 1km که در شکل (۱) نشان داده شده است، اجرا شد. مقدار بار کل سیستم Ω/km $(0.1926+j0.3119)$ می باشد. در شکل (۲) نمودار توان حقیقی (p) و راکتیو (Q) را نشان داده شد.



شکل (۲): نمودار توان حقیقی و توان راکتیو

در شکل (۳) نمودار جریان های ورودی سیستم بر حسب زمان نشان داده شد.



شکل (۳): جریان های ورودی سیستم