Archive of SID

روشی جدید جهت کنترل توان راکتیو در ریزشبکههای جزیره شده

عباس کچویی، جواد انصاری

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران
kachooei@elec.iust.ac.ir, javad_ansari@elec.iust.ac.ir

چکیده — در شبکههای فشار قوی، به دلیل بالا بودن مقدار راکتانس نسبت به مقاومت اهمی، رابطه بین ولتاژ با توان راکتیو برقرار است. در نتیجه جهت کنترل ولتاژ از توان راکتیو استفاده میشود. مطابقاً توان حقیقی نیز با فرکانس ارتباط دارد که در نتیجه آن از توان حقیقی جهت کنترل فرکانس استفاده میکنند. برخلاف سیستمهای ولتاژ بالا، در شبکه - های فشار ضعیف، بهدلیل مقاومتی بودن شبکه، ارتباط بین توان حقیقی و توان راکتیو به ترتیب با ولتاژ و فرکانس بر قرار است. نتیجتاً سیستمهای کنترلی مورد استفاده در شبکههای ولتاژ بالا نتیجه مناسبی در شبکههای فشار ضعیف نخواهد داشت. بنابراین، نیاز به استفاده از روشهای نوین و سازگار با این نوع شبکه ها (از جمله ریز شبکهها) جهت کنترل فرکانس و ولتاژ ، احساس میشود. در این مقاله با استفاده از رابطه بین توان راکتیو و فرکانس و راهبرد کنترل دروپی توان راکتیو–فرکانس، سازوکار کنترلی به کار گرفته شده است که نهایتاً تغییرات فرکانس را در بازهای از پیش تعیین شده محدود میکند. سیستم کنترلی مورد نظر جهت ارزیابی، روی یک ریزشبکه سه فاز با دو منبع تولید پراکنده و تعدادی بار پیاده سازی شد که در بخش شبیهسازی نتایج مربوط به آن بررسی شده است.

واژههای کلیدی — ریزشبکه؛ کنترل دروپی؛ فرکانس؛ توان راکتیو؛ اینورتر منبع ولتاژ

۱. مقدمه

توسعه شگرف علم و فنآوری در جهان امروز ظاهراً آسایش و رفاه زندگی بشر را موجب شده است. لیکن این توسعهیافتگی، مایه بروز مشکلات تازهای نیز برای انسانها شده است که از آن جمله میتوان به آلودگی محیط زیست، تغییرات گسترده آب و هوایی در زمین و غیره اشاره نمود. به ویژه میدانیم که نفت و مشتقات آن از سرمایههای ارزشمند ملی و حیاتی کشور میباشند که مصرف غیر بهینه از آنها گاهی زیانهای جبران ناپذیری را ایجاد میکند. انرژیهای تجدیدپذیر به ویژه برای کشورهای در حال توسعه از جاذبه بیشتری برخوردار است؛ لذا در برنامهها و سیاستهای بینالمللی از جمله در برنامههای سازمان ملل متحد در راستای توسعه پایدار جهانی، نقش ویژهای به منابع تجدیدپذیر انرژی محول شده است. از این رو صاحب نظران و کارشناسان به دنبال منابعی هستند که به تدریج جایگزین سوختهای فسیلی شود [۱ و ۲].

اقتصاد، فناوری و مشوقهای محیط زیستی در حال تغییر دادن چهره تولید و انتقال برق میباشند. امروزه شبکههای انتقال ولتاژ بالا قابل اطمینان و قابل کنترل میباشند، اما از خطاهای سلسلهای یا آبشاری رنج میبرند. بازدهی و استفاده آنها از منابع نیز ضعیف میباشد. یکی از راههای موجود جهت نزدیک شدن به رفع مشکلات سیستم، تفکر مجدد در مورد سیستم توزیع جهت به کار گیری منابع انرژی تولید پراکنده در مقیاس بالا در قالب مفهوم ریزشبکه میباشد. اهداف اصلی این طرح، بهبود قابلیت اطمینان ، افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر، جزیره سازی پویا و بهبود بازدهی تولید از طریق استفاده از حرارت اتلافی میباشد. مدیریت سطوح مهم منابع انرژی توزیع شده همراه با دامنهای وسیع از منابع و نقاط کنترلی، مضمحل کننده میباشد. بهترین راه جهت مدیریت این چنین سیستمی، شکستن آن به دستههای

www.SID.ir

Archive of SID

کوچک‌تر یا ریزشبکه‌ها است [۳]. در منابع معتبر عمدتاً ریزشبکه را مجموعه ای از منابع مقیاس کوچک، ولتاژ پایین و پراکنده همراه با بارهای گوناگون شامل بارهای خطی و غیر خطی فرض می‌کنند که به عنوان یک سیستم قابل کنترل مجزا هستند که با توجه به دارار بودن ژنراتورها و ذخیرهسازها برای منطقه محلی خود، توان و حرارت را فراهم می‌کند[۴-۷].

ویژگی‌های ریزشبکه با شبکه‌های انتقال ولتاژ بالای سنتی، از نظر کنترلی، بسیار متفاوت می‌باشد. اولاً، در شبکه‌های سنتی کنترل فرکانس بر اساس اینرسی چرخشی در سیستم می‌باشد، در حالی که در ریزشبکه‌های جزیره شده، به دلیل اینکه بیشتر عناصر از طریق واسط‌های الکترونیک قدرت متصل شده‌اند، کمبود اینرسی وجود دارد. ثانیاً، شبکه‌های توزیع برخلاف شبکه‌های انتقال که عمدتاً اندوکتانسی هستند، ویژگی مقاومتی دارند[۸].

ریزشبکهها فرصتهایی را در زمینه شبکههای هوشمند ایجاد میکنند، چرا که از شبکههای هوشمند انتظار میرود که در یک مسیر تکاملی ظاهر شوند، و ابتداً، مانند ریزشبکههای هوشمند باید با شبکه فعلی همزیستی داشته باشند [۹].

ریزشبکهها میتوانند بصورت متصل به شبکه و جزیرهای عمل کنند و فواید فنی، اقتصادی و زیستمحیطی را در سیستمهای قدرت مدرن ایجاد کنند [۱۰]. مقدار رو به افزایش منابع توان مقیاس کوچک مانند مزارع بادی و نیروگاهای خورشیدی که مستقیماً قابل وصل به شبکه نیستند، نیاز به توسعه ریزشبکههای مبتنی بر اینورتر دارد. بنابراین، کنترل ریزشبکه متمرکز بر کنترل این اینورترها استوار است [۱۱].

کنترل ریزشبکهها با توجه به نحوه بهره برداری از آنها متفاوت است. در حالت متصل به شبکه، واحدهای تولید پراکنده مجهز به یک کنترل تعقیب کننده شبکه میباشند که معمولاً کنترل جریانی است [۱۲-۱۴]. وظیفه اولیه این کنترل کنندهها تزریق مقدار مشخصی از توان به داخل شبکه است. در حالت جزیرهای، حدأقل یک واحد شکلدهنده شبکه، که کنترل شده با ولتاژ است، بهخاطر عدم اتصال به شبکه سراسری باید وجود داشته باشد. کنترل کنندههای شکلدهنده شبکه موظف به کنترل ولتاژ (دامنه و فرکانس) و تسهیم توان هستند. یک راهبرد کنترلی شناخته شده که بصورت فراگیر استفاده می‌شود، کنترلکننده مبتنی بر دروپ است. کنترلکنندههای مبتنی بر دروپ به جهت جلوگیری از ایجاد یک زیربنای اطلاعاتی حساس و مسائل قابلیت اطمینان، بدون ارتباط مخابراتی عمل میکنند. این نوع کنترلکنندهها به دو گروه توان حقیقی- فرکانس (دروپ سنتی) [۱۵-۱۸] و توان حقیقی-ولتاژ (دروپ جدید) [۱۹-۲۱] تقسیم میشوند، که البته متقابلاً میتوان توان اکتیو-ولتاژ و توان راکتیو-فرکانس را نیز درنظر گرفت.

هدف اصلی این مقاله کنترل حالت ماندگار فرکانس در ریزشبکه جزیره شده عمدی با استفاده از توان راکتیو میباشد. حالت جزیرهای میتواند در شرایط ویژه مانند خطاهای شبکه یا خاموشی یک منبع توان بزرگ رخ دهد.

در بخش ۲ این مقاله، روشهای کنترلی مورد استفاده شرح داده شدهاند. این روشها با توجه به خصوصیت ریزشبکه که شامل مقاومتی بودن آن، کمبود اینرسی دورانی در حالت جزیرهای و تزریق بالای منابع پراکنده می‌باشد، انتخاب شدهاند. در بخش۳، نتایج مربوط به شبیهسازی ارائه شده است که کارآمدی روش مورد استفاده را تأیید میکند و در پایان نیز نتیجهای از مقاله ارائه شده است.

۲. کنترل ریزشبکه

در این روش کنترلی با توجه به ویژگیهای خاص ریزشبکه مانند کمبود اینرسی چرخشی، مقاومتی بودن خطوط فشار ضعیف و تزریق بالای منابع تجدیدپذیر که نسبت به منابع متمرکز کمتر کنترلپذیر هستند، یک کنترل دروپی جدید ارائه شده است که نیاز به هیچگونه ارتباط مخابراتی ندارد. در این نوع کنترل کننده توان حقیقی از طریق یک کنترل دروپی ولتاژ مؤثر ریزشبکه به ولتاژ ارتباط دی.سی (V_g/V_{dc}) که ولتاژ مؤثر ریزشبکه را براساس تغییرات ولتاژ ارتباط دی.سی تغییر میدهد، متعادل میشود. این کار باعث میشود که توان تزریقی به ریزشبکه تغییر کند در عین اینکه ولتاژ تولیدی منبع پراکنده ثابت میماند. بعلاوه، در موردی که ولتاژ از محدوده مجازش خارج شود، ، یک کنترل کننده دروپی توان حقیقی به ولتاژ مؤثر ریزشبکه (P/Vg)، فعال میشود که توان خروجی منبع تولید پراکنده را تغییر میدهد تا ولتاژ در محدوده مجاز خود باقی بماند. محدوده توان ثابت مورد نظر، وابسته به طبیعت منبع توان میباشد تا بتواند بطور کامل از انعطاف پذیری توانی واحدهای کنترلپذیر بهره ببرد درحالی که خروجی منابع توان تجدیدپذیر را نیز بتواند بهینه کند. این اعمال در شرایطی انجام میشود که هنوز توان خروجی واحدها میتواند تغییر کند [۱۹]. نمای کلی از کنترل کنندههای بهکار گرفته شده در ریزشبکه مورد بررسی در شکل () نشان داده شده است. در بخش بعد نشان داده خواهد شد که با ترکیب دو راهبرد کنترل دروپی فوق الذکر یعنی (Vg/Pdc و P/Vg)، یک بهره برداری کاملاً توزیع شده و توازن توانی و تقسیم توانی مناسب بدست خواهد آمد. همچنین لازم به ذکر است که عمل تقسیم توان راکتیو بین منابع تولید پراکنده با استفاده از

www.SID.ir

Archive of SID

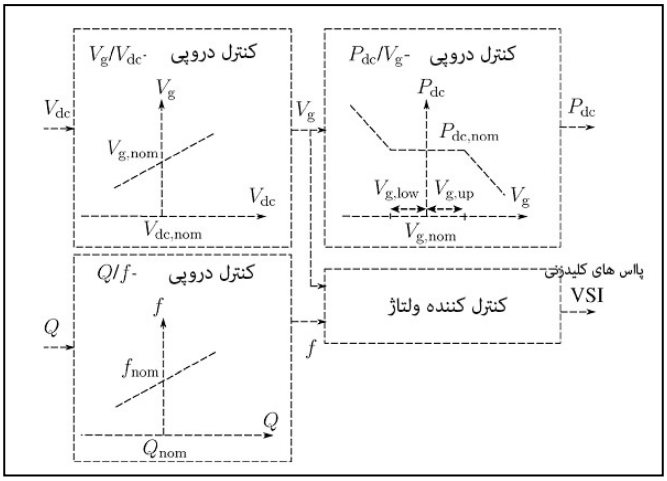
تنظیم ضرایب دروپی کنترل کننده دروپی توان راکتیو به فرکانس (Q/f) انجام خواهد شد.

۲.۱ کنترل ولتاژ و توان حقیقی

کنترل توان حقیقی ژنراتورها بر دو نوع راهبرد کنترلی استوار است. بهره برداری از آنها نیز با توجه به ولتاژ مؤثر ریزشبکه صورت میگیرد. در یک باند ولتاژی در حدود ولتاژ نامی ریزشبکه، تنها راهبرد کنترل دروپی (V_g/V_{dc}) به کار گرفته میشود، که توان تولیدی را در جایی که ولتاژ مؤثر ریزشبکه (V_g) متناسب با ولتاژ ارتباط دی.سی (V_{dc}) تغییر میکند، ثابت نگه میدارد. اگر ولتاژ مؤثر ریزشبکه از این باند ولتاژی مجاز خارج شود، یک کنترلکننده دروپی (P_{dc}/V_g) فعال میشود که توان منبع (P_{dc}) را تغییر می-دهد و از خروج ولتاژ مؤثر از باند مجاز جلوگیری میکند. الگوریتم کنترلی با ویژگیهای خاص ریزشبکه مانند کمبود اینرسی و خطوط مقاومتی به خوبی کار میکند و کاملاً توزیع شده میباشد. از آنجایی که بیشتر تولیدات پراکنده با واسطهای الکترونیک قدرت به شبکه متصلاند، از نظر اینرسی شدیداً ضعیف هستند ، در حالیکه کنترل دروپی سنتی توان حقیقی فرکانس (P/f) براساس این اینرسی کار میکند. کنترلکنندههای دروپی مورد استفاده از ولتاژ ارتباط دی.سی (V_{dc}) جهت ارتباط با توان حقیقی استفاده میکنند که در اینصورت دیگر نیازی به اینرسی وجود ندارد. همچنین، ولتاژ ارتباط دی.سی یک متغیر محلی میباشد در حالی که، فرکانس در سیستم قدرت سنتی برای تمامی تولید –کنندهها برابر است. ویژگی مقاومتی خطوط فشار ضعیف باعث ایجاد ارتباط توان حقیقی با ولتاژ میشود که اصل پایهای این کنترل کنندههاست. این نوع کنترل هیچگونه ارتباط مخابراتی ندارد و از خطاهای تک نقطهای مانند از دست دادن کنترلکنندههای مرکزی یا اصلی جلوگیری میکند. همچنین، از آنجایی که خیلی از واحدهای تولید پراکنده با استفاده از اینورترهای منبع ولتاژ به ریزشبکه متصلاند، ظرفیت ذخیره توان خازنهای ارتباط دی.سی، برای کنترل بصورت فعال ارائه میشود [۱۹] .

۲.۱ کنترل فرکانس و توان راکتیو

کنترل سیستم قدرت سنتی عمدتاً براساس جداسازی توان حقیقی و توان راکتیو؛ و براساس ارتباط بین توان راکتیو و ولتاژ استوار است. بنابراین، کنترل دروپی Q/V مورد استفاده قرار میگیرد. اگرچه در ریزشبکه، این ارتباط معتبر نیست، چرا که خطوط عمدتاً مقاومتی هستند. «روابط (۱) و (۲)» چگونگی جاری شدن توان حقیقی و راکتیو را بین دو شین نشان میدهد. ارتباط بین توان راکتیو (Q) و زاویه اختلاف فاز (δ) در قالب «روابط (۳) و (۴)» نشان داده شده است.

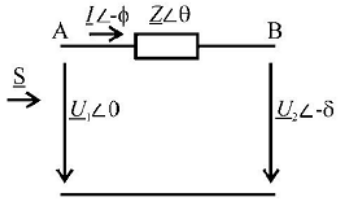


شکل 1: نمای کلی از کنترل کنندههای مورد استفاده در ریزشبکه

«رابطه (۱) و (۲)» نشان دهنده توان حقیقی و راکتیو جاری بین دو شین، از شین ۱ به ۲ میباشند:

$$P=\frac{U_1}{R^2+X^2}[R.(U_1 - U_2.\cos\delta)+X.U_2.\sin\delta] \qquad (۱)$$

$$Q=\frac{U_1}{R^2+X^2}[-R.U_2.\sin\delta+X.(U_1 - U_2.\cos\delta)] \qquad (۲)$$



شکل 2: نمایش انتقال توان بین دو شین

با توجه به این فرض که زاویه توان بسیار کوچک است میتوان نوشت: $\sin\delta=\delta$ و $\cos\delta=1$، برای ریزشبکهها که در آنها خطوط بیشتر مقاومتی هستند تا اندوکتانسی داریم (R>>X) [۲۳]:

$$P \approx \frac{U_1^2}{R}-\frac{U_1.U_2}{R} \qquad (۳)$$

$$Q \approx -\frac{U_1.U_2}{R}\delta \qquad (۴)$$

همچنین فرکانس نیز بطور پویا زاویه فاز δ را مشخص میکند. بنابراین، یک کنترل کننده دروپی Q/f به کار گرفته شده است که به کنترلکننده دروپی Q/V مرتبط میباشد. «شکل ۳» اساس کنترل کننده دروپی Q/f را نشان می-دهد که مقدار توان راکتیو را اندازه گیری کرده و جهت تولید فرکانس آن را اعمال میکند.

www.SID.ir

Archive of SID

با استفاده از این کنترلکننده دروپی برای توان راکتیو و فرکانس، بهره برداری پایدار از چند ژنراتور بدون نیاز به هیچگونه زیربنای مخابراتی، تضمین میشود. بعلاوه، با تنظیم ضرایب کنترلکننده دروپی، میتوان تقسیم توان راکتیو را نیز بین منابع انجام داد[۱۹].

۲.۲. روش کنترل مورد استفاده جهت محدود کردن تغییرات فرکانس

با استفاده از استراتژی کنترل دروپی Q/f، یک روش کنترلی جهت نگه - داشتن فرکانس در یک بازه از پیش تعیین شده ارائه شد. در این روش در زمان افزایش فرکانس از حد بالایی و در زمان کمتر شدن فرکانس از حد پایین بازه مورد نظر، از یک TCS استفاده میشود.

روش کار این سیستم کنترلی به این ترتیب است: در حالت اول، اگر فرکانس از محدوده بالایی تجاوز کند، با توجه به کنترل دروپی که با کاهش توان راکتیو، فرکانس را نیز کاهش میدهد، نیاز است که توان راکتیو تزریقی به ریزشبکه با تزریق توان راکتیو (مثلاً از طریق بانک خازنی) کاهش یابد. در این بخش نیز با توجه به سازوکار اتخاذ شده در تعیین سیگنال کنترلی مناسب برای کنترل بانکهای خازنی، آنها به ترتیب وارد مدار میشوند تا اینکه فرکانس به حد مطلوب برسد و در داخل بازه مورد نظر قرار گیرد. در حالت دوم، اگر فرکانس از محدوده پایینی مجاز تجاوز کند، با توجه به کنترل دروپی نیاز است که توان راکتیو بیشتری به ریزشبکه تزریق گردد تا فرکانس افزایش یابد. با استفاده از خروجی کنترل دروپی Q/f، سیگنال Δf که همان اختلاف فرکانس است، مشخص میگردد. با استفاده از این اختلاف فرکانس و ضریب دروپی مربوط به Q/f، این اختلاف فرکانس به توان راکتیو تبدیل میشود. در نهایت با استفاده از مقدار توان راکتیو بدست آمده و رابطه بین سوسپتانس و زاویه هدایت تریستورها (σ) در TCR «رابطه (۶)»، زاویه آتش مناسب برای تریستورها با استفاده از «روابط (۵) و (۶)» تعیین میشود.

$$B_L = \frac{\sigma - \sin(\sigma)}{\pi X_L} \qquad (۵)$$

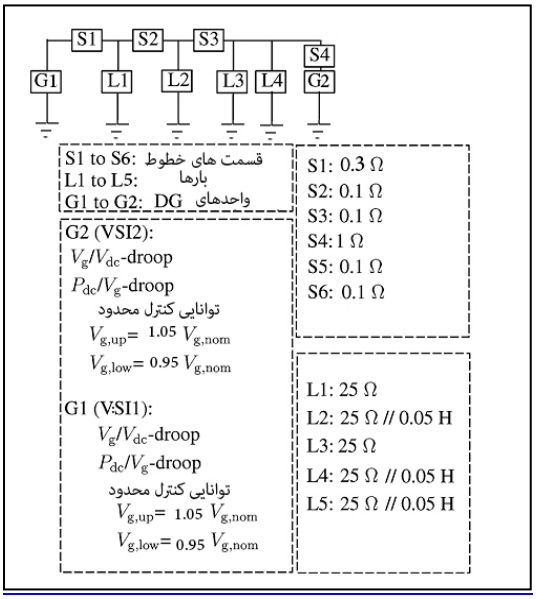
$$a + \frac{\sigma}{2} = p \qquad (۶)$$

جاییکه

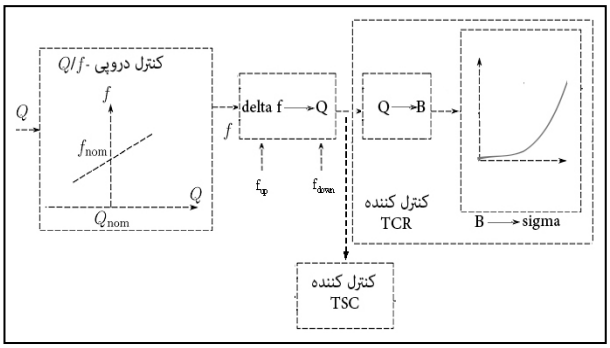
B_L سوسپتانس TCR، α زاویه آتش و σ زاویه هدایت میباشد.

۳. شبیهسازی

شبکه مورد استفاده، یک ریزشبکه سه فاز (۴۰۰ ولت) مطابق با «شکل ۴» میباشد. این ریزشبکه تشکیل شده است از ۲ منبع تولید پراکنده که هرکدام با استفاده از اینورتر منبع ولتاژ به ریزشبکه متصل هستند و توسط یک منبع با جریان ثابت و از طریق خازن ارتباط دی.سی، تغذیه میشوند.



شکل 4: نمایی از ریزشبکه مورد بررسی همراه با بارها و منابع تولید پراکنده



شکل 5: نمایش مربوط به کنترل کننده TCR و TSC

سازوکار کنترلی ارائه شده در کنترل توان حقیقی و راکتیو که در بخش قبل توضیح ارائه شد، در این مدار به کار گرفته شد. نتایج بدست آمده از شبیهسازی بدون وجود کنترلکننده فرکانس در «شکل ۶» نشان داده شده است. اگر محدوده مجاز تغییرات فرکانس را ۰/۵ هرتز در نظر بگیریم، مشاهده میشود که حالت ماندگار فرکانس از حد مجاز بالاتر رفته است. این

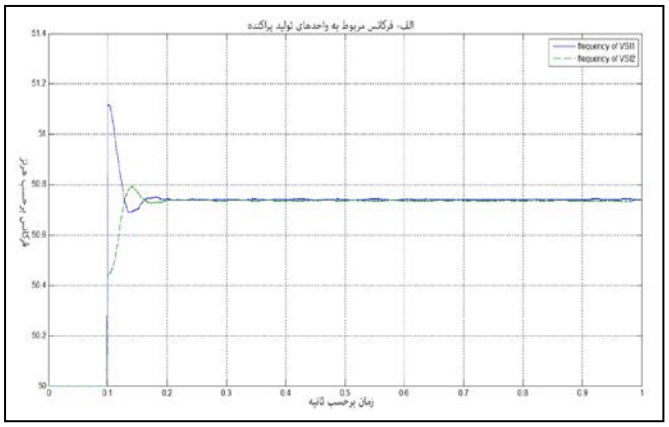
www.SID.ir

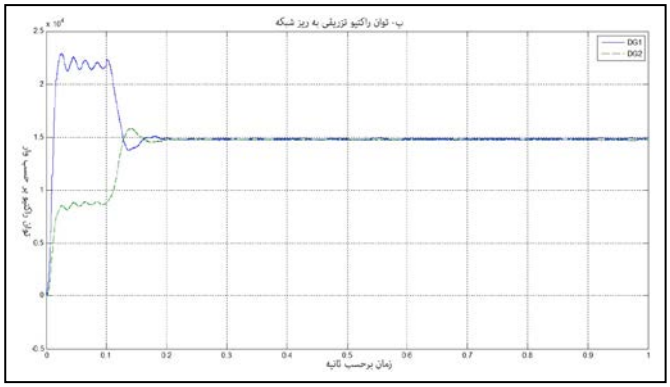
Archive of SID

امر به خاطر تزریق زیاد توان راکتیو از منابع تولید پراکنده است. در نتیجه، برای کاهش فرکانس نیاز است که توان راکتیو به نحوی به مدار تزریق شود تا منابع تولید پراکنده مقدار کمتری توان راکتیو تولیدکنند تا فرکانس این منابع، در محدوده مجاز قرار گیرد. با استفاده از روش کنترلی معرفی شده در «شکل ۵» خازنها یکی یکی به مدار میآیند تا اینکه فرکانس در محدوده مجاز قرار گیرد. نتایج این حالت در «شکلهای ۷–الف و ۷–ب» قابل مشاهده است.

در حالت عدم استفاده از کنترل کننده فرکانس، در حالت ماندگار فرکانس هر دو منبع در مقدار ۵۰/۷۳ هرتز همگرا شده است، که این مقدار از مقدار مجاز آن بیشتر میباشد. در مرحله بعد که از کنترل کننده فرکانس استفاده شده است، مطابق با «شکل ۷»، فرکانس منابع در ۵۰/۴۸ هرتز همگرا شده است که این مقدار در محدوده مجاز قرار دارد. با انتخاب مقادیر بزرگتر برای خازنها میتوان این مقدار را به فرکانس نامی (۵۰ هرتز) نزدیکتر کرد که البته این عمل هزینه بیشتری را در بردارد. این نتایج، عملکرد مناسب کنترل کننده را ثابت میکند.

در حالت کاهش فرکانس، باید توان راکتیو مصرفی در ریزشبکه را افزایش داد تا راهبرد کنترل دروپی Q/f، فرکانس را افزایش دهد. برای این منظور از راکتور سوئیچ شونده با تریستور استفاده میشود. زاویه آتش مناسب جهت کلیدزنی راکتور، با استفاده از خروجی کنترلکننده دروپی Q/f و منحنی مربوط به TCR استخراج میشود.





شکل 6: نتایج مربوط به شبیهسازی در حالت عدم وجود کنترل کننده فرکانس(واحد1=_____ واحد2=- - - -). الف) فرکانس واحدها ب) توان راکتیو تزریقی به ریزشبکه

۴. نتیجهگیری

در این مقاله شیوهای نوین جهت کنترل فرکانس در ریزشبکه جزیرهای ارائه شد. روش کنترلی مورد استفاده، مبتنی برروش کنترل دروپی جدیدی است که با توجه به ویژگیهای خاص ریزشبکه، از قبیل مقاومتی بودن آن، تزریق بالای منابع تجدید پذیر و کمبود اینرسی دورانی انتخاب شده است. توان حقیقی با استفاده از کنترل دروپی ولتاژ ریزشبکه به ولتاژ خازن ارتباط dc (V_g/V_{dc}) متوازن میشود که تغییر توان را به تأخیر میاندازد و درصورت تجاوز ولتاژ از محدوده مشخص، با کنترل دروپی (P_{dc}/V_g) ترکیب میشود، که نهایتاً توان dc ورودی به ریزشبکه را افزایش میدهد تا سطح ولتاژ را زیاد کند. توان راکتیو نیز که بحث اصلی این مقاله بود، با استفاده از راهبرد کنترل دروپی توان راکتیو–فرکانس (Q/f) کنترل میشود و با استفاده از پسخوری که از این کنترلکننده دریافت میشود، اقدامات لازم در جهت نگهداشتن فرکانس در محدوده مورد نظر انجام میشود. در این نوع روش به دلیل استفاده نکردن از ارتباط مخابراتی، مسائل مربوط به قابلیت اطمینان و هزینه این نوع ارتباطها نیز حذف شد. در این مقاله نشان داده شد که با استفاده از راهبردهای کنترلی ارائه شده جهت کنترل ولتاژ و فرکانس، بدون نیاز به هیچگونه ارتباط مخابراتی، میتوان از ظرفیت بالاتری از منابع تجدیدپذیر با قابلیت اطمینان مناسب بهره برد.

www.SID.ir

Archive of SID

algorithmsOct.2004 [Online]. Available: www.microgrids.eu/micro2000.

[8] Tine L. Vandoorn, Bert Renders, Bart Meersman, Lieven Degroote and Lieven Vandevelde," Reactive Power Sharing in an Islanded Microgrid", UPEC2010, 31st AUG - 3rd SEPT 2010.

[9] H. Farhangi, “The path of the smart grid,” *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 18–28, Jan./Feb. 2010.

[10] A. Vaccaro, M. Popov, D. Villacci, and V. Terzija, “An integrated framework for smart microgrids modeling, monitoring, control, communication, and verification,” *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 119–132, Jan. 2010.

[11] T. C. Green and M. Prodanovíc, “Control of inverter-based microgrids, ”*Elect. Power Syst. Res.*, vol. 77, no. 9, pp. 1204–1213, Jul. 2007.

[12] L. R. Limongi, R. Bojoi, G. Griva, and A. Tenconi, “Digital currentcontrol schemes,” *IEEE Ind. Electr.Mag.*, vol. 3, no. 1, pp. 20–31, Mar. 2009.

[13] M. P. Kazmierkowski and L. Malesani, “Current control techniques for three-phase voltage-source pwm converters: A survey,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 45, no. 5, pp. 691–703, Oct. 1998.

[14] B. Meersman, B. Renders, L. Degroote, T. Vandoorn, and L. Vandevelde, “Three-phase inverter-connected DG-units and voltage unbalance,” *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 81, no. 4, pp. 899–906, 2011.

[15] H. Lasseter and P. Paigi, “Microgrid: A conceptual solution,” presented at the IEEE Power.

[16] M. C. Chandorkar, D. M. Divan, and R. Adapa, “Control of parallel connected inverters in standalone ac supply systems,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 29, no. 1, pp. 136–143, Jan./Feb. 1993.

[17] J. M. Guerrero, J. Matas, L. G. de Vicuna, M. Castilla, and J. Miret, “Wireless-control strategy for parallel operation of distributed-generation inverters,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 5, pp. 1461–1470, Oct. 2006.

[18] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, “Defining control strategies for microgrids in islanded operation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 916–924, May 2006.

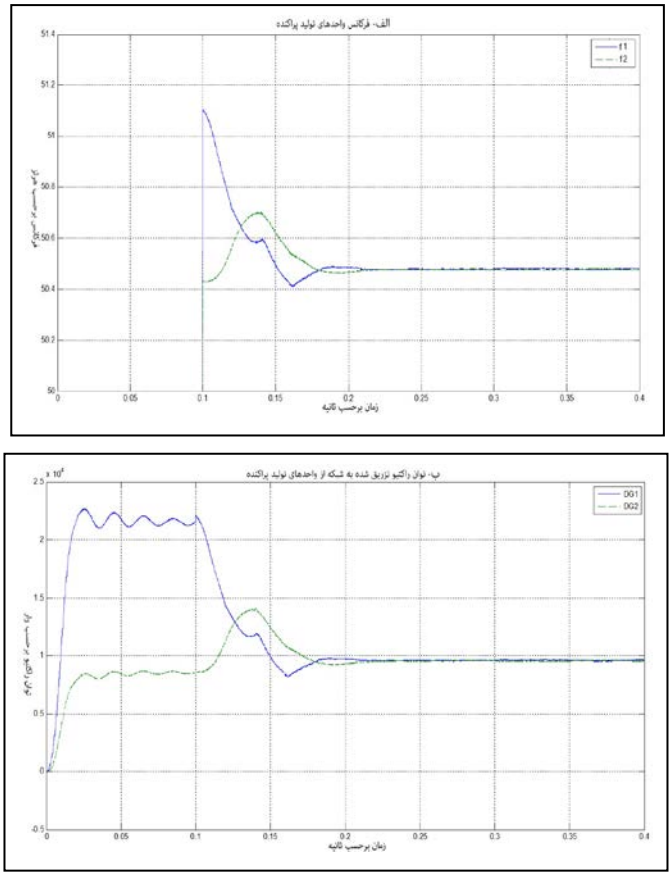
[19] Tine L. Vandoorn, Bert Renders, Lieven Degroote, Bart Meersman, and Lieven Vandevelde, " Active Load Control in Islanded Microgrids BasedontheGridVoltage", IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 2, NO. 1, MARCH 2011.

[20] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, “Defining control strategies for microgrids in islanded operation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 916–924, May 2006.

[21] H. Laaksonen, P. Saari, and R. Komulainen, “Voltage and frequency control of inverter based weak LV network microgrid,” presented at the Int. Conf. Future Power Syst., Amsterdam, The Netherlands, Nov. 18, 2005.

[22] European Commission, New ERA for electricity in Europe.Distributed generation: Key issues, challenges and proposed solutions. [Online]. Available: http://www.smartgrids.eu 2003.

[23] H. Laaksonen, P. Saari, and R. Komulainen, “Voltage and frequency control of inverter based weak LV network microgrid,” presented at the 2005 Int. Conf. Future Power Syst., Amsterdam, The Netherlands,Nov. 18, 2005.



شکل 7: نتایج مربوط به شبیهسازی در حالت وجود کنترل کننده فرکانس(واحد1=____ واحد2=- - - -). الف) فرکانس واحدها ب) توان راکتیو تزریقی به ریزشبکه

منابع

[1] U.S. department of energy, “20% wind Energy by 2030,” 2008. [Online]. Available: http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/41869.pdf.

[2] Department of Energy & Climate Change (DECC), “Smarter grids: the opportunity,” Available online at http://www.decc.gov.uk.

[3] By Robert H. Lasseter," Smart Distribution: Coupled Microgrids", Proceedings of the IEEE | Vol. 99, No. 6, JUNE 2011.

[4] H. Jiayi, J. Chuanwen, X. Rong, "A review on distributed energy resources and MicroGrid" Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, Volume 12, Issue 9, DECEMBER 2008.

[5] R. H. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson,A. Meliopoulous, R. Yinger, and J. Eto, Cal. Energy Commission,Office of Power Technol., The CERTS microgrid concept, WhitePaper on integration of distributed energy resources U.S. Dept. Energy,Apr. 2002.

[6] S. Barsali,M. Ceraolo, P. Pelacchi, and D. Poli, “Control techniques of dispersed generators to improve the continuity of electricity supply,” in *Proc. IEEE PES Winter Meet.*, 2002, pp. 789–794.

[7] J. A. Peças Lopes, C. Moreira, A. Madureira, F. Resende, P. G. Abia, X.Wu, N. Jayawarna, Y. Zhang, N. Jenkins, F. Kanellos, N. Hatziargyriou, and C. Duvauchelle, Microgrids large scale integration of microgeneration to low voltage grids: Dd1 emergency strategies and

www.SID.ir