مقاله مروری

مروری کوتاه بر کاربرد راهبرد کنترل افتی در ریزشبکه مبتنی بر اینورتر در حالت جزیره‌ای

غضنفر شاهقلیان[۱،۲]

۱- استاد، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، shahgholian@iaun.ac.ir
۲- مرکز تحقیقات ریزشبکه‌های هوشمند، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۹

چکیده: کنترل افت یکی از روش‌های مرسوم و پرکاربرد برای کنترل ریزشبکه است. کنترل افتی در سطح اول کنترل سلسله مراتبی قرار دارد و در ریزشبکه برای تنظیم ولتاژ و فرکانس به صورت مستقل استفاده می‌شود و نیازی به ارتباط ندارد. این روش قابلیت اطمینان بالایی ارائه می‌دهد و معمولاً در اینورترهای تشکیل دهنده ریزشبکه استفاده می‌شود. ریزشبکه‌ها در دو حالت متصل به شبکه و حالت جزیره‌ای می‌توانند کار کنند. در این مقاله مروری بر کاربرد راهبرد کنترل افتی در ریزشبکه‌های جزیره‌ای مبتنی بر اینورتر با توجه به مطالعات انجام شده ارائه می‌شود. کنترل افتی یک نمونه از کنترل غیرمتمرکز است و اهمیت کنترل افتی در حالت عملکرد جزیره‌ای وقتی آشکار خواهد شد که امکان اشتراک انرژی در تمام واحدها بدون نیاز به ارتباط با واحدهای دیگر وجود داشته باشد. در روش کنترل افتی تنظیم فرکانس و ولتاژ با توجه به تقاضای بار و تعادل توان در شبکه انجام می‌شود. این مطالعه مروری اهمیت کاربرد کنترل افت و بهبود آن در ریزشبکه‌ها را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اینورتر منبع ولتاژ، ریزشبکه، حالت‌های عملکرد، جزیره‌ای، کنترل افتی

۱- مقدمه

انرژی یک نیاز اساسی برای استمرار توسعه اقتصادی، رفاه اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و امنیت جامعه است. همزمان با گسترش مراکز صنعتی[۱] و تقاضای انرژی الکتریکی، تامین انرژی قابل اعتماد[۲] از نظر اقتصادی با رعایت مسائل زیست محیطی اهمیت زیادی پیدا کرده است [۱،۲]. انرژی برق در مقیاس وسیع با راندمان زیاد قابل ذخیره-سازی نیست و لذا یکی از شرایط اصلی بهره‌برداری ایجاد تعادل بین تقاضا و مصرف شبکه در هرلحظه است. نیاز جهان به انرژی در طی سال‌های اخیر افزایش چشم‌گیری داشته است و منابع سوخت‌های فسیلی[۳] پاسخ‌گوی این نیاز برای تکامل و توسعه در آینده نیستند. از مسائل مهم می‌توان به گستردگی نیاز انسان به منابع انرژی اشاره کرد به‌طوری‌که تلاش برای دستیابی به منابع دائمی انرژی از اهداف دیرینه انسان محسوب می‌شود [۳،۴].

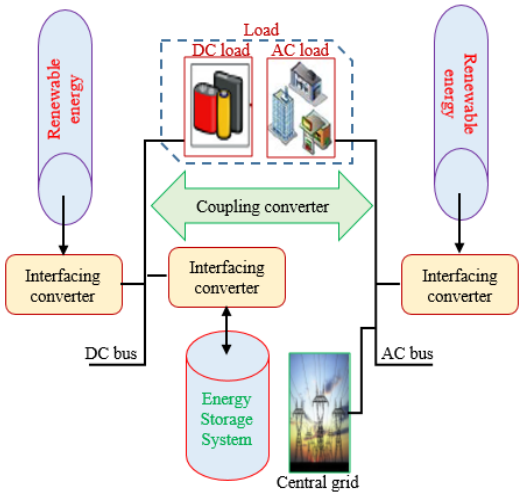
با نظر گرفتن پارامترهای زیست محیطی و اقتصادی تولید انرژی باید دور از مراکز مصرف انجام شود و وظیفه حمل آن بر عهده سیستم انتقال است [۵،۶]. با توجه به مشکلات انتقال انرژی، منابع انرژی تجدیدپذیر[۴] و منابع انرژی تولید پراکنده[۵] مورد توجه قرار گرفته‌اند [۷،۸].

با افزایش نفوذ منابع تولید پراکنده به سیستم‌های توزیع، مفهوم ریزشبکه[۶] (میکروگرید) در حوزه سیستم‌های انرژی الکتریکی مطرح شده است. ریزشبکه به عنوان مجموعه‌ای از منابع پراکنده و بارهای نزدیک آنها که از طریق یک سیستم نوریع به هم متصل می‌شوند و

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

قابلیت جداشدن از شبکه اصلی را دارند، در نظر گرفته شده است [۹،۱۰].

ریزشبکه از تعدادی واحد تولید پراکنده (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر)، ذخیره‌کننده انرژی[۷] و بارها تشکیل می‌شود که قابلیت کنترل دارد و تامین‌کننده توان الکتریکی و در صورت نیاز گرمایی است [۱۱،۱۲]. قرار گرفتن ریزشبکه در نزدیکی بارها باعث می‌شود که توان الکتریکی با حداقل تلفات به مصرف کننده ارائه شود. منابع انرژی تجدیدپذیر از طریق اینورترهای منبع ولتاژ به شبکه اصلی متصل می‌شوند و امنیت تامین انرژی بهتری فراهم می‌شود [۱۳،۱۴]. در شکل (۱) نمودار شماتیک کلی یک ریزشبکه با استفاده از سیستم‌های تغذیه مختلف نشان داده شده است. ریزشبکه‌ها منبع تغذیه پایدار را فراهم می‌کنند و در زمان اوج تقاضا از شبکه اصلی پشتیبانی کرده و با متعادل کردن عرضه و تقاضا، از خاموشی و بی‌ثباتی شبکه جلوگیری می‌کنند [۱۵،۱۶].



شکل (۱): معماری کلی از یک ریزشبکه

مبدل‌های قدرت از اجزء کلیدی سیستم برای اتصال سیستم‌های تولید پراکنده به شبکه برق هستند و بهبود عملکرد کنترل مبدل‌های قدرت در ریزشبکه اهمیت دارد. برای افزایش ظرفیت سیستم از اینورترهای موازی در ریزشبکه‌ها استفاده می‌شود در حالی که مشکل نوسان‌های جریان در گردش و خطاهای توزیع توان در عملکرد اینورترهای موازی وجود دارد [۱۷،۱۸].

مشخصات فیزیکی منابع تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر کاملاً با ژنراتورهای سنکرون معمولی متفاوت است [۱۹،۲۰].. به عنوان نمونه می‌توان به وجود جرم چرخشی و اینرسی زیاد در ژنراتورهای معمولی برای اطمینان از پایداری شبکه با فرکانس شبکه اشاره کرد ولی عدم وجود اینرسی و جرم چرخشی در منابع تولید پراکنده باعث ایجاد چالش‌های فنی مانند نیاز به ظرفیت ذخیره‌سازی و انجام روش کنترلی مناسب برای اطمینان از پایداری می‌شود [۲۱،۲۲]. واحدهای تولید پراکنده مبتنی بر منابع انرژی تجدیدپذیر به دلیل ماهیت متناوبی که دارند، توان اکتیو نوسانی تولید خواهند کرد [۲۳،۲۴].

به علت توانایی قرار دادن انواع مختلفی از انرژی‌های تجدیدپذیر، ریزشبکه‌های مبتنی بر اینورتر[۸] اهمیت بیشتری نسبت به ریزشبکه‌های دیگر دارند. تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه ریزشبکه‌های مبتنی بر اینورتر در حالت جزیره‌ای توسط محققان انجام شده است. بهبود عدم تعادل ولتاژ در طول اتصال کوتاه خط به خط [۲۵]، مطالعه ناپایداری حالت‌های فرکانس پایین [۲۶]، بازیابی ولتاژ و فرکانس با در نظر گرفتن نوع بار و ضریب توان [۲۷]، کنترل‌کننده فرکانس مبتنی بر تنظیم مجدد آهسته مرجع توان اکتیو هر اینورتر [۲۸]، اشتراک بار توسط کنترل غیرمتمرکز با استفاده از ردیابی فرکانس[۹] [۲۹] و استفاده از الگوریتم کاهش میانگین وزنی[۱۰] برای امنیت سایبری[۱۱] [۳۰] از مطالعات انجام شده در ریزشبکه‌های مبتنی بر اینورتر در حالت جزیره‌ای است.

یک مدل کنترل پیش‌بینی برای پاسخ فرکانس سریع در یک ریزشبکه جریان متناوب مبتنی بر اینورتر در حالت عملکرد جزیره‌ای در [۳۱] ارائه شده است. کنترل‌کننده با استفاده از مفهوم تقسیم‌کننده فرکانس طراحی شده و در این حالت به صورت یک واحد کنترل ثانویه کار می‌کند. کنترل‌کننده فوق تنظیم فرکانس را بدون خطا در سراسر سیستم و در شرایط عملیاتی مختلف مانند تغییرات بار و نسبت‌های راکتانس به مقاومت متفاوت تضمین می‌کند.

کنترل‌کننده متمرکز بهینه مقاوم برای کاهش ناپایداری سیگنال کوچک ناشی از تعامل بین حلقه‌های کنترل بارهای اکتیو متصل به یکسوکننده و منابع تولید پراکنده متصل شده از طریق اینورتر در [۳۲] ارائه شده است. کنترل‌کننده مبتنی بر یک تنظیم‌کننده درجه دوم خطی مقاوم با درجه پایداری است. برای کاهش بار سیستم ارتباطی و بهبود انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان کنترل‌کننده از یک تخمین زن حالت کالمن استفاده شده است.

معمولاً همه واحدهای تولید پراکنده در یک فرکانس کار می‌کنند و اشتراک گذاری توان اکتیو آسان است ولی به علت متفاوت بودن ولتاژ واحدهای تولید پراکنده، تنظیم اشتراک توان راکتیو پیچیده‌تر خواهد بود. یکی از چالش‌های اصلی در ریزشبکه‌های مبتنی بر اینورتر منبع ولتاژ، کنترل اشتراک توان و یا به عبارت دیگر متعادل کردن توان اکتیو و توان راکتیو است [۳۳]. بسیاری از پژوهشگران به طور پیوسته در حال بررسی روش‌های کنترلی جدید برای دستیابی به عملکرد بهتر در ریزشبکه‌ها هستند. روش کنترل افتی یکی از روش‌های کنترلی رایج در ریزشبکه‌های جزیره‌ای برای اشتراک گذاشتن توان بین منابع است [۳۴،۳۵]. تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه کاربرد این روش و بهبود آن انجام شده است [۳۶،۳۷].

در این مقاله مروری کوتاه بر راهبردهای کنترل افتی برای هماهنگ کردن واحدهای تولید پراکنده در یک ریزشبکه ارائه شده است. در ادامه مقاله به این شرح سازماندهی شده است. در قسمت ۲ تقسیم‌بندی ریزشبکه براساس حالت‌های عملکردی و راهبردهای کنترلی بیان شده است. در قسمت ۳ مزایا و معایب روش کنترل افتی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

اشاره شده است. در قسمت ۴ تعدادی از مطالعات انجام شده در زمینه کنترل افتی در ریزشبکه‌های مبتنی بر اینورتر آمده است. در نهایت نتیجه‌گیری در قسمت ۵ بیان شده است.

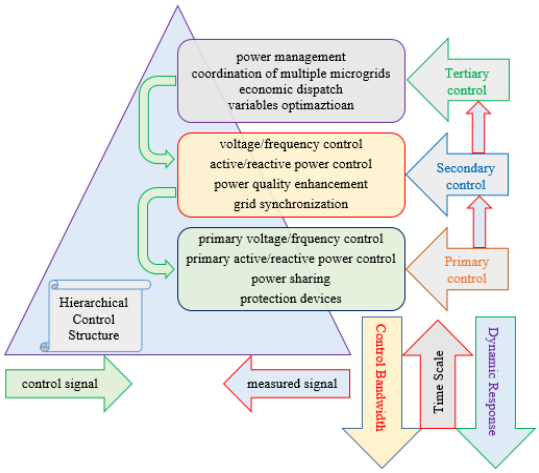
۲- حالت‌های عملکرد ریزشبکه

ریزشبکه یک شبکه الکتریکی محلی است و بر اساس مشخصات الکتریکی سیستم به سه گروه ریزشبکه‌های جریان مستقیم [۳۸،۳۹]، ریزشبکه‌های جریان متناوب [۴۰،۴۱] و ریزشبکه‌های هیبریدی[۱۲] [۴۲،۴۳] تقسیم‌بندی می‌شوند. ریزشبکه از طریق یک نقطه اتصال مشترک به شبکه توزیع متصل است و در دو حالت متصل به شبکه[۱۳] و حالت مستقل (جزیره‌ای[۱۴]) می‌تواند کار کند [۴۴،۴۵]. در حالت عملکرد متصل به شبکه، دینامیک ریزشبکه تحت تاثیر شبکه اصلی است و ریزشبکه باید توان اکتیو و توان راکتیو برنامه‌ریزی شده را به شبکه اصلی تحویل دهد. بنابراین کنترل ولتاژ و فرکانس عملیاتی کل سیستم در حالت عملکرد متصل به شبکه بر عهده شبکه اصلی است. در حالت عملکرد جزیره‌ای کنترل بسیار پیچیده‌تر است و باید ولتاژ و فرکانس را در مقادیر خاص نگهداری کند و کنترل آنها بر عهده اینورتر منبع ولتاژ است [۴۶،۴۷]. پایداری و کنترل عملیاتی از عواملی هستند که به دلیل ملاحظاتی مانند فرکانس، ولتاژ، انتقال بهینه توان و تشخیص جزیره‌ای در هر دو حالت کار ریزشبکه از اهمیت زیادی برخوردار هستند [۴۸،۴۹].

همزمان با گسترش صنعت برق و کاربرد ریزشبکه‌ها به منظور کاهش مشکلات، سیستم‌های کنترل نیز اهمیت پیدا کرده‌اند [۵۰،۵۱]. تاکنون ساختارهای کنترل سلسله مراتبی[۱۵] (کنترل سه سطحی) مختلفی برای همگام سازی ولتاژ و فرکانس ریزشبکه جزیره‌ای ارائه شده است [۵۲،۵۳]. شکل (۲) ساختار کلی سلسله مراتبی را همراه با وظایف هر سطح نشان می‌دهد. در سطح اولیه برای حفظ پایداری ولتاژ و فرکانس از روش کنترل افتی استفاده می‌شود و اشتراک گذاری توان سریعتر با ضرایب افتی بالاتر امکان‌پذیر است که تخریب پایداری را به همراه دارد. سطح دوم کنترل برای از بین بردن انحرافات ناشی از کنترل افتی اولیه و رساندن ولتاژ و فرکانس به مقادیر نامی لازم است، بنابراین به توسعه راهبردهای کنترلی جدید با حاشیه پایداری بیشتر نیاز است [۵۴،۵۵]. برای بهینه‌سازی هزینه عملیاتی و توان عبوری از سطح سوم کنترل استفاده می‌شود [۵۶،۵۷]. در یک ریزشبکه مبتنی بر اینورتر، اینورترهای متصل به شبکه مسئول حفظ یک نقطه عملیاتی پایدار هستند [۵۸،۵۹].

براساس نوع توپولوژی‌های ریزشبکه سه روش کنترلی وجود دارد که عبارتند از متمرکز، توزیع شده[۱۶] و غیرمتمرکز[۱۷] [۶۰،۶۱].

در روش کنترل متمرکز، یک کنترل‌کننده مرکزی وجود دارد که مسئول جمع‌آوری تمام اطلاعات از تمام کنترل‌کننده‌های محلی است و سپس محاسبات را انجام می‌دهد و در انتها دستورات را به هر کنترل کننده محلی باز ارسال می‌کند. در روش کنترل غیرمتمرکز معمولاً کنترل بر اساس افت‌های f-P و U-Q هستند. در این حالت بار ریزشبکه بین واحدهای تولید پراکنده با توجه به قابلیت‌های هر تولید پراکنده از طریق یک پیوند فیزیکی تقسیم می‌شود. در این روش از کانال‌های ارتباطی استفاده نمی‌شود و و قطعاً برای اجرای سیستم‌های کنترل سطح دوم و سطح سوم چالش ایجاد خواهد کرد. در روش کنترل توزیع شده نیازی به کنترل‌کننده مرکزی نیست زیرا تلاش کنترل همراه با ریزشبکه توزیع می‌شود. در این روش فقط اطلاعات محدودی بین عامل‌های مجاور مبادله می‌شود، بنابراین پهنای باند ارتباطی می‌تواند به میزان بیشتری کاهش پیدا کند [۶۲،۶۳].



شکل (۲): ساختار کنترل سلسله مراتبی در سه سطح

۳- کنترل افتی

کنترل افتی نمونه‌ای از کنترل غیرمتمرکز است و بر اساس ویژگی‌های افتادگی ژنراتورهای سنکرون طراحی شده و اشتراک گذاری مناسب توان اکتیو را ممکن می‌سازد [۶۴،۶۵]. در این روش فرکانس و ولتاژ با توجه به تقاضای بار و تعادل توان در شبکه تنظیم می‌شود. از ویژگی‌های ریزشبکه‌های مبتنی بر اینورتر می‌توان به انعطاف‌پذیر بودن عملکرد، کیفیت توان بالا، تامین قابل اعتماد بارهای بحرانی و یکپارچه سازی کارآمد منابع انرژی تجدیدپذیر اشاره کرد [۶۶،۶۷]. ریزشبکه‌های جزیره‌ای با رابط اینورتر منبع ولتاژ برای تامین بارهای بحرانی همزمان با حفظ فرکانس و ولتاژ در محدوده‌های عملکردی استفاده می‌شوند [۶۸،۶۹]. عدم تطابق تولید و بار مصرفی به دلیل ماهیت متناوب منابع انرژی تجدیدپذیر، عدم یکسان بودن ظرفیت مبدل‌های قدرت، وجود بارهای نامتعادل و غیرخطی و همچنین عدم تطابق امپدانس خروجی معادل مبدل‌های قدرت باعث ایجاد مشکل در اشتراک توان بین مبدل‌های قدرت می‌شود [۷۰،۷۱].

کنترل افتی برای تنظیم توان اکتیو و توان راکتیو خروجی مبدل‌های متصل موازی در سیستم‌های تولید پراکنده مانند ریزشبکه‌ها به کار برده می‌شود [۷۲،۷۳]. کنترل افتی در ریزشبکه‌ها امکان انتقال مستقل و بدون مشکل بین حالت‌های عملکردی آن را فراهم می‌کند و همچنین ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر و سیستم‌های

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

ذخیره انرژی را آسان می‌گرداند. از روش کنترل افتی زمانی استفاده می‌شود که فاصله خطوط کم است و نیازی به پهنای باند مخابراتی بالایی نیست. اهمیت توانایی کنترل افتی در حالت عملکرد ریزشبکه به صورت جزیره‌ای زمانی آشکار می‌شود که امکان اشتراک انرژی در تمام واحدها بدون نیاز به ارتباط با واحدهای دیگر وجود داشته باشد [۷۴،۷۵]. همچنین در این روش مبدل‌ها بدون نیاز به کنترل‌کننده مرکزی یا پیوندهای ارتباطی می‌توانند توان را بین واحدها به اشتراک قرار دهند. کنترل‌کننده افتی در ریزشبکه‌ها در سطح اول کنترل سلسله مراتبی قرار دارد که برای هر اینورتر منبع ولتاژ به منظور تنظیم توان اکتیو و توان راکتیو از طریق فرکانس مرجع و مقدار ولتاژ خروجی اینورتر پیاده‌سازی می‌شود [۷۶،۷۷].

مدل ساده یک اینورتر از یک منبع ولتاژ مرجع با اندازه U_S و فاز δ با امپدانس خروجی با اندازه Z_O و فاز θ تشکیل شده است. ولتاژ ترمینال U_O با فاز صفر در نظر گرفته می‌شود. توان اکتیو و توان راکتیو که از طریق امپدانس خروجی به ترمینال ارسال می‌شود برابرند با:

$$\begin{cases} P = \left(\frac{U_S U_O}{Z_O}\cos\delta - \frac{U_O^2}{Z_O}\right)\cos\theta + \frac{U_S U_O}{Z_O}\sin\delta\sin\theta \\ Q = \left(\frac{U_S U_O}{Z_O}\cos\delta - \frac{U_O^2}{Z_O}\right)\sin\theta - \frac{U_S U_O}{Z_O}\sin\delta\cos\theta \end{cases} \quad (۱)$$

اختلاف فاز بین ولتاژ منبع تغذیه و ولتاژ ترمینال برابر δ است. با فرض θ برابر صفر و کوچک بودن زاویه δ، توان‌های اکتیو و راکتیو ارسالی به ترمینال برابرند با:

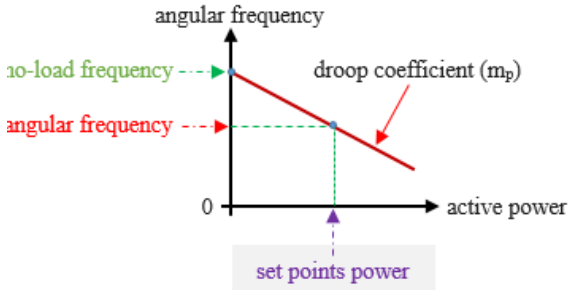
$$\begin{cases} P \approx U_O \\ Q \approx -\delta \end{cases} \quad (۲)$$

رابطه‌های کنترل افتی متداول به صورت زیر بیان می‌شوند [۷۸]:

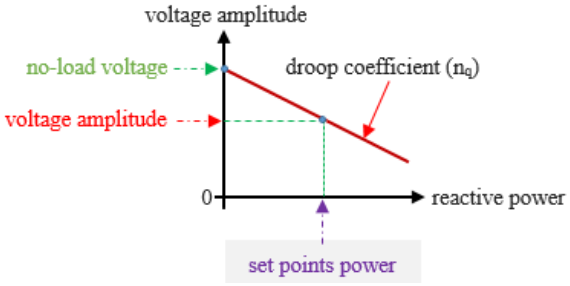
$$\omega = \omega_n - m_p P \quad (۳)$$

$$U = U_n - n_q Q \quad (۴)$$

که در آن ω فرکانس زاویه‌ای و مقدار نامی آن ω_n است. U اندازه ولتاژ و مقدار نامی آن U_n است. شیب‌های افتی توان اکتیو و توان راکتیو به ترتیب با m_p و n_q نشان داده می‌شوند. برای مبدل‌های مّد کنترل ولتاژ با اتصال موازی، توزیع توان و مدیریت با اختصاص ضریب افتی مناسب برای هر مبدل بدست می‌آید. شکل (۳) رابطه بین فرکانس و توان اکتیو و شکل (۴) رابطه بین توان راکتیو و اندازه ولتاژ را نشان می‌دهد [۷۹].



شکل (۳): مشخصه افتی توان اکتیو-فرکانس



شکل (۴): مشخصه افتی توان راکتیو-ولتاژ

اساس کنترل افتی وابستگی فرکانس و ولتاژ خروجی یک مبدل به ترتیب به توان اکتیو و توان راکتیو است. با تنظیم شیب افتی (ضریب افت) برای هر مبدل، فرکانس و ولتاژ مبدل در پاسخ به تغییرات توان عبوری توسط مبدل تغییر داده می‌شود [۸۰،۸۱]. در کنترل افتی برای به اشتراک گذاشتن توان اکتیو و توان راکتیو به طور معمول فرکانس و دامنه ولتاژ را کاهش می‌دهند. به طور خلاصه مزایای کنترل افتی عبارتند از [۸۲]:

- عدم نیاز به محاسبات پیچیده یا هماهنگی بین مبدل‌ها
- قرار دادن انواع و اندازه‌های مختلف مبدل‌ها و بارها
- سازگار شدن با تغییرات در پیکربندی یا عملکرد سیستم
- حفظ کردن تعادل قدرت و کیفیت خدمات
- همکاری با سایر روش‌ها یا دستگاه‌های کنترلی
- عدم نیاز به الزامات قابلیت اطمینان سیستم نظارتی

با وجود مزایای فوق، کنترل افتی دارای چالش‌هایی خواهد بود که مهمترین آنها عبارتند از:

- نیاز به تنظیم دقیق و بهینه‌سازی ضرایب افت
- عدم تعادل بین دقت تقسیم توان و انحرافات ولتاژ
- امکان ایجاد نوسانات یا ناپایداری در اثر بارهای غیرخطی یا نامتعادل
- ایجاد نوسان یا ناپایداری در برخی حالت‌ها
- وابستگی به امپدانس خروجی اینورتر
- امکان نیاز به کنترل سطح سوم برای بهبود تنظیم فرکانس و ولتاژ

۴- مروری بر مطالعات

راهبردهای کنترل افتی بر اساس اندازه‌گیری محلی متغیرهای حالت شبکه است. روش‌های کنترل افت توان ذاتاً دارای دینامیک کندی هستند. برای ریزشبکه‌های جریان متناوب، کنترل افتی معمولاً بر اساس ویژگی افتی توان اکتیو-فرکانس (f-P) و ویژگی افتی ولتاژ-توان راکتیو (U-Q) است، ولی برای ریزشبکه‌های جریان مستقیم کنترل افتی معمولاً بر اساس ویژگی افتی ولتاژ-جریان (U-I) و یا ویژگی افتی ولتاژ-توان (U-P) است [۸۳،۸۴].

در [۸۵] برای افزایش استحکام پایداری سیستم نسبت به ضرایب افتی و عدم قطعیت دینامیکی[۱۸] شبکه، یک جبران پیشخور[۱۹] تطبیقی پیشنهاد شده که جفت دینامیکی بین یک واحد منبع توزیع‌شده و ریزشبکه میزبان را تغییر می‌دهد. در این روش حالت پایداری در اثر

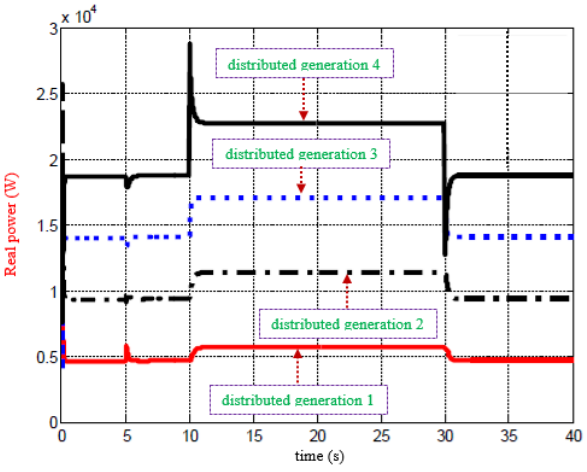
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

مکانیسم افت معمولی حفظ می‌شود و لذا فرم اشتراک توان حالت پایدار ریزشبکه تغییری نمی‌کند.

یک روش کنترل افتی توان اکتیو تطبیقی و کنترل نقطه تنظیم ولتاژ در [۸۶] برای ریزشبکه‌های جزیره‌ای به منظور پاسخ فرکانسی بهینه و پایداری پس از اغتشاشات پیشنهاد شده است. در این طرح بهره‌های افت توان اکتیو و نقاط تنظیم ولتاژ منابع انرژی توزیع شده به طور مرتب به منظور حفظ فرکانس سیستم در محدوده قابل قبول تنظیم می‌شود.

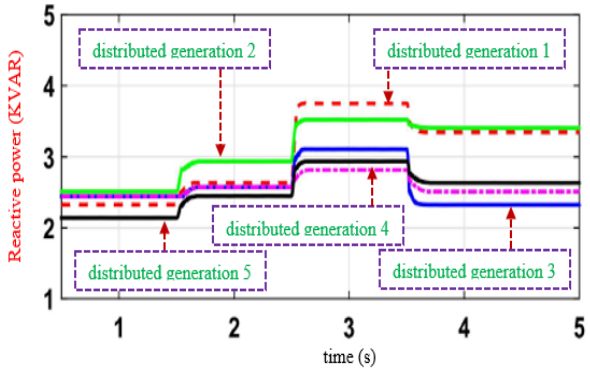
یک روش کنترل بر اساس ویژگی‌های V/I برای بهره‌برداری از انعطاف‌پذیری و دینامیک سریع منابع انرژی توزیع شده مبتنی بر اینورتر در [۸۷] ارائه شده است. در این روش مولفه‌های ولتاژ در محورهای d و q با جریان‌های مربوطه مطابق یک تابع افت خطی تنظیم می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که این روش نسبت به کنترل افت معمولی دارای دینامیک سریع‌تر و میرایی بهتر است.

ترمیم‌های ولتاژ و فرکانس در ریزشبکه جزیره‌ای مبتنی بر اینورتر در [۸۸] بررسی شده است. راهبردهای کنترلی بر روی منابع تولید پراکنده محلی پیاده‌سازی شده‌اند و نیازی به کنترل‌کننده مرکزی نیست. یک سیستم ریزشبکه جزیره‌ای متشکل از چهار تولید پراکنده در متلب شبیه‌سازی شده است. خروجی توان اکتیو چهار منبع تولید پراکنده در ریزشبکه مورد آزمایش در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، قبل از فعال شدن کنترل ثانویه (مرحله ۱)، اشتراک گذاری توان اکتیو به خوبی توسط کنترل اولیه تحقق پیدا کرده است. بعد از لحظه ۵ ثانیه، کنترل ثانویه فعال می‌شود و توان اکتیو همچنان با توجه به بهره‌های افت طراحی شده بدون توجه به افزایش بار در مرحله ۳ یا کاهش بار در مرحله ۴، به خوبی تقسیم می‌شود.



شکل (۵): توان اکتیو خروجی چهار واحد تولید پراکنده در یک ریزشبکه جزیره‌ای

یک الگوی کنترل کاملاً توزیع شده برای کنترل ثانویه ریزشبکه جریان متناوب مبتنی بر اینورتر جزیره‌ای در [۸۹] ارائه شده است. ریزشبکه دارای واحدهای تولید پراکنده کنترل شده با خطوط انتقال عمدتا القایی است. خطوط ارتباطی بین واحدهای تولید پراکنده با همسایگان برقرا است. طرح کنترلی ارائه شده برای بازیابی سریع ولتاژ و فرکانس استفاده می‌شود ولی اشتراک توان دقیق با وجود اختلال‌ها برقرار است. در الگوریتم به کار برده شده نیازی به کنترل‌کننده مرکزی نیست. توان راکتیو خروجی پنج واحد تولید پراکنده با روش کنترل توزیع شده در شکل (۶) نشان داه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود کنترل‌کننده در برابر گنجاندن بار به اجماع دست پیدا می‌کند. در این روش کنترلی ولتاژ و فرکانس ریزشبکه دقیقاً همگام می‌شود.



شکل (۶): توان راکتیو خروجی پنج واحد تولید پراکنده در یک ریزشبکه جزیره‌ای

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری کوتاه بر کاربرد روش کنترل افتی در ریزشبکه‌های مبتنی بر اینورتر در حالت جزیره‌ای ارائه شده است. پایداری ریزشبکه هنگام کار در حالت متصل به شبکه وابسته به شبکه اصلی است. در حالت جزیره‌ای با توجه به اینکه منابع تولید پراکنده از طریق اینورتر به هم متصل هستند، پایداری اهمیت پیدا می‌کند. کنترل افتی یک کنترل‌کننده متناسب غیرمتمرکز است که در آن ضرایب افتی توزیع توان در حالت پایدار شبکه را تعیین می‌کند. این روش یک روش کنترلی مستقل است و نیاز پیوند ارتباطی در سطح کنترل اولیه ندارد. در کنترل افتی مبادله ولتاژ و فرکانس بر اساس توان اکتیو و توان راکتیو تزریق شده به وسیله اینورترها در ریزشبکه است. اشتراک گذاری توان سریع و پایداری سیستم با هم در ارتباط هستند. ضرایب افت بالا باعث سرعت دادن به اشتراک‌گذاری توان می‌شود در حالی که افزایش ضرایب افتی حاشیه پایداری سیستم را کاهش می‌دهد.

مراجع

[1] A. Fathollahi and B. Andresen, "*Deep deterministic policy gradient for adaptive power system stabilization and voltage regulation*", e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, vol. 9, Article Number: 100675, Sept. 2024.

[2] M.A. Beygi, et al., "*Presenting a comprehensive management plan for the operation of a multiple microgrid based on economic and environmental considerations with a game theory approach*", vol. 11,

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[17] A. Memarian, et al., "*A high step-down converter with low voltage stress on power switches and leakage inductance energy recovery*", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 12, no. 2, pp. 29-37, Sept. 2023.

[18] G. Shahgholian, et al., "*A novel approach in automatic control based on the genetic algorithm in STATCOM for improvement power system transient stability*", Proceeding of the IEEE/ICIS, vol. 1, pp.14-19, Varna, Sep. 2008.

[19] G. Shahgholian and N. Izadpanahi, "*Improving the performance of wind turbine equipped with DFIG using STATCOM based on input-output feedback linearization controller*", Energy Equipment and Systems, Vol. 4, No. 1, pp. 65-79, June 2016.

[20] E. Jafari, et al., "*Designing an emotional intelligent controller for IPFC to improve the transient stability based on energy function*", Journal of Electrical Engineering and Technology, vol. 8, no. 3, pp. 478-489, 2013.

[21] M.R. Ghodsi, et al., "*Improving the stability of microgrids clusters using virtual inertial control by the Mu-synthesis method*", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 12, no. 4, pp. 71-84, March 2023.

[22] S. Harasis, "*Controllable transient power sharing of inverter-based droop controlled microgrid*", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 155, Article Number: 109565, Jan. 2024.

[23] M.A. Ebrahim, et al., "*Real-time implementation of self-adaptive salp swarm optimization-based microgrid droop control*", IEEE Access, vol. 8, pp. 185738-185751, 2020.

[24] G. Shahgholian, "*Power system stabilizer application for load frequency control in hydro-electric power plant*", Engineering Mathematics, vol. 2, no. 1, pp. 21-30, Feb. 2017.

[25] P. Martí, et al., "*Analysis of the effect of clock drifts on frequency regulation and power sharing in inverter-based islanded microgrids*", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 33, no. 12, pp. 10363-10379, Dec. 2018.

[26] M.H. Andishgar, et al., R. Hooshmand, "*An overview of control approaches of inverter-based microgrids in islanding mode of operation*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 80, pp. 1043-1060, Dec. 2017.

[27] M. Castilla, et al., "*Improving voltage imbalance in inverter-based islanded microgrids during line-to-line short circuits*", IET Power Electronics, vol. 16, no. 11, pp. 1889-1901, Aug. 2023.

[28] A. Firdaus, et al., "*Dynamic power flow based simplified transfer function model to study instability of low frequency modes in inverter-based microgrids*", IET Generation, Transmission and Distribution, vol. 14, no. 23, pp. 5634-5645, Dec. 2020.

[29] S. Rahmani, et al., "*Voltage and frequency recovery in an islanded inverter-based microgrid considering load type and power factor*", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 10, no. 6, pp. 6237-6247, Nov. 2019.

[30] M. Zholbaryssov and A.D. Domínguez-García, "*Distributed enforcement of phase-cohesiveness for frequency control of islanded inverter-based microgrids*", IEEE Trans. on Control of Network Systems, vol. 5, no. 3, pp. 868-878, Sept. 2018.

[31] M.R. Nabatirad, et al., "*Load sharing by decentralized control in an islanded inverter-based microgrid using frequency tracking*", Indian Journal of Science and Technology, vol. 8, no. 27, pp. 1-11, 2015.

no. 4, pp. 33-40, Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, Dec. 2023.

[3] T. Ahmad and D. Zhang, "*A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far*", Energy Reports, vol. 6, pp. 1973-1991, Nov. 2020.

[4] N.A. Kamarzaman and C.W. Tan, "*A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 37, pp. 585-598, Sept. 2014.

[5] S.N.H. Mousavi, H. Barati, "*Direct power control simultaneously in the rotor side converter and grid side converter of DFIG for wind turbines with elimination of network current harmonics*", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 8, no. 3, pp. 37-51, Dec. 2019.

[6] E. Aghadavoodi and G. Shahgholian, "*A new practical feed-forward cascade analyze for close loop identification of combustion control loop system through RANFIS and NARX*", Applied Thermal Engineering, vol. 133, pp. 381-395, March 2018.

[7] S.F. Zarei, et al., "*Fault detection and protection strategy for islanded inverter-based microgrids*", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 9, no. 1, pp. 472-484, Feb. 2021.

[8] H. Fayazi, et al., "*Coordination of protection equipment in synchronous generator-based microgrids with regard to maintaining first swing stability*", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 14, no. 53, pp. 1-14, June 2023.

[9] A.M. AbdelAty, et al., "*Improving small-signal stability of inverter-based microgrids using fractional-order control*", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 156, Article Number: 109746, Feb. 2024.

[10] P.E.S.N. Raju and T. Jain, "*Development and validation of a generalized modeling approach for islanded* inverter-based microgrids *with static and dynamic loads*", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 108, pp. 177-190, June 2019.

[11] J. Schiffer, et al., "*Conditions for stability of droop-controlled* inverter-based microgrids*",* Automatica, vol. 50, no. 10, pp. 2457-2469, Oct. 2014.

[12] A. Soleimanisardoo, et al., "*Differential frequency protection scheme based on off-nominal frequency injections for inverter-based islanded microgrids*", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 10, no. 2, pp. 2107-2114, March 2019.

[13] M. Poursaberi and H. Barati, "*Optimal reconfiguration of radial distribution system with the aim of reducing losses and improving voltage profiles using the improved lightning search algorithm*", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 10, no. 1, pp. 1-12, June 2021.

[14] S.A. Shirmardi, et. Al., "*Flexible-reliable operation of green microgrids including sources and energy storage-based active loads considering ANFIS-based data forecasting method*", Electric Power Systems Research, vol. 210, Article Number: 108107, Sept. 2022.

[15] G. Shahgholian, et al., "*The Impact of DFIG based wind turbines in power system load frequency control with hydro turbine*", Journal of Iranian Dam and Hedroelectric, vol. 1, no. 3, pp. 38-51, Dec. 2015,

[16] E. Hosseini and G. Shahgholian, "*Partial- or full-power production in WECS: A survey of control and structural strategies*", European Power Electronics and Drives, Vol. 27, No. 3, pp. 125-142, Dec. 2017.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[48] A.S. Satapathy, et al., "*Emerging technologies, opportunities and challenges for microgrid stability and control*", Energy Reports, vol. 11, pp. 3562-3580, June 2024.

[49] Z. Shuai, et al., "*Microgrid stability: Classification and a review*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 58, pp. 167-179, May 2016.

[50] S. Farhang, et al., "*Analysis and simulation of inverter-based microgrid droop control method in island operation mode*", Signal Processing and Renewable Energy, *vol.* 6, no. 1, pp. 65-81, March 2022.

[51] R. Ghobadi and G. Shahgholian, "*Providing improved structure and adaptive control strategy for solar system with the ability to improve power quality in islanded microgrid*", Technovations of Electrical Engineering in Green Energy System, vol. 2, no. 4, pp. 19-37, March 2024.

[52] P. Martí, et al., "*Performance evaluation of secondary control policies with respect to digital communications properties in inverter-based islanded microgrids*", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 9, no. 3, pp. 2192-2202, May 2018.

[53] H. Moon, et al., "*Frequency-based decentralized conservation voltage reduction incorporated into voltage-current droop control for an inverter-based islanded microgrid*", IEEE Access, vol. 7, pp. 140542-140552, Sept. 2019.

[54] F. Feng and P. Zhang, "*Enhanced microgrid power flow incorporating hierarchical control*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 35, no. 3, pp. 2463-2466, May 2020.

[55] J.M. Guerrero et al., "*Hierarchical control of droop-controlled ac and dc microgrids- A general approach toward standardization*", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 58, no. 1, pp. 158-172, Jan. 2011.

[56] R. Dadi, et al., "*A review on secondary control methods in dc microgrid*", Journal of Operation and Automation in Power Engineering, vol. 11, no. 2, pp. 105-112, Aug. 2023.

[57] S. Li, et al. "*Hierarchical control for microgrids: A survey on classical and machine learning-based methods*", Sustainability, vol. 15, Article Number: 8952, June 2023.

[58] F. Mohammadzamani, et al., "*Adaptive control of nonlinear time delay systems in the presence of output constraints and actuator's faults*", International Journal of Control, vol. 96, no. 3, pp. 541-553, March 2023.

[59] G. Shahgholian, "*An overview of hydroelectric power plant: Operation, modeling, and control*", Journal of Renewable Energy and Environment, vol. 7, no. 3, pp. 14-28, July 2020.

[60] B. Modu, et al., "*DC-based microgrid: Topologies, control schemes, and implementations*", Alexandria Engineering Journal, vol. 70, pp. 61-92, May 2023.

[61] L. Zhang, et al., "*A review of control strategies in dc microgrid*", Journal of Physics: Conference Series, vol. 1087, no. 4, 2018.

[62] A. Firdaus and S. Mishra, "*Mitigation of power and frequency instability to improve load sharing among distributed inverters in microgrid systems*", IEEE Systems Journal, vol. 14, no. 1, pp. 1024-1033, March 2020.

[63] M. Castilla, et al., "*Local secondary control for inverter-based islanded microgrids with accurate active power sharing under high-load conditions*", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 66, no. 4, pp. 2529-2539, April 2019.

[64] M. Ding, et al., "*Parallel operation strategy of inverters based on an improved adaptive droop control and*

[32] A. Bidram, et al., "*Resilient and cybersecure distributed control of inverter-based islanded microgrids*", IEEE Trans. on Industrial Informatics, vol. 16, no. 6, pp. 3881-3894, June 2020.

[33] T. Heins, et al., "*Centralized model predictive control for transient frequency control in islanded inverter-based microgrids*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 38, no. 3, pp. 2641-2652, May 2023.

[34] E.S.N. Raju and T. Jain, "*Robust optimal centralized controller to mitigate the small signal instability in an islanded inverter based microgrid with active and passive loads*", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 90, pp. 225-236, Sept. 2017.

[35] M. Alzayed, et al., "*Droop-controlled bidirectional inverter-based microgrid using cascade-forward neural networks*", IEEE Open Journal of Circuits and Systems, vol. 3, pp. 298-308, 2022.

[36] A.M. Bouzid, et al., "*Simulation of droop control strategy for parallel inverters in autonomous ac microgrids*", Proceeding of the IEEE/ICMIC, pp. 701-706, Algiers, Algeria, Nov. 2016.

[37] K. Yu, et al., "*Analysis and optimization of droop controller for microgrid system based on small-signal dynamic model*", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 695-705, March 2016.

[38] S.M. Hosseinimoghadam, et al., "*Improving the sharing of reactive power in an islanded microgrid based on adaptive droop control with virtual impedance*", Automatic Control and Computer Sciences, vol. 55, pp. 155–166, March 2021.

[39] V. Nougain, et al., "*Fault location algorithm for multi-terminal radial medium voltage dc microgrid*", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 38, no. 6, pp. 4476-4488, Dec. 2023.

[40] B. Keyvani-Boroujeni, et al., "*A distributed secondary control approach for inverter-dominated microgrids with application to avoiding bifurcation-triggered instabilities*", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 8, no. 4, pp. 3361-3371, Dec. 2020.

[41] P.A. Cárdenas, et al, "*Development of control techniques for ac microgrids: A critical assessment*", Sustainability, vol. 15, Article: 15195, Oct. 2023.

[42] C.B. Ndeke, et al., "*Energy management strategy for dc micro-grid system with the important penetration of renewable energy*", Applied Sciences, vol. 14, no. 6, Article Number: 2659, Marcg 2024.

[43] M.S. Toularoud, et al., "*A hierarchical control approach to improve the voltage and frequency stability for hybrid microgrids-based distributed energy resources*", Energy Reports, vol. 10, pp. 2693-2709, Nov. 2023.

[44] D.A. Memon, et al., "*Comparative analysis and implementation of dc microgrid systems versus ac microgrid performance*", Frontiers in Energy Research, vol. 12, Article Number: 1370547, May 2024.

[45] E. Aprilia, et al., "*Unified power flow algorithm for standalone ac/dc hybrid microgrids*", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 10, no. 1, pp. 639-649, Jan. 2019.

[46] S. Augustine, et al., "*Adaptive droop control strategy for load sharing and circulating current minimization in low-voltage standalone dc microgrid*", IEEE Trans. on Sustainable Energy, vol. 6, no. 1, pp. 132-141, Jan. 2015.

[47] H. Karimi, et al., "*A protection strategy for inverter interfaced islanded micro¬grids with looped configuration*", Electrical Engineering, Vol. 101, No. 3, pp. 1059-1073, Sept. 2019.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[82] A. Mahmoudi, et al., "*A new linear model for active loads in islanded* inverter-based microgrids*",* International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 81, pp. 104-113O, ct. 2016.
[83] H. Lai, et al., "*Droop control strategy for microgrid inverters: A deep reinforcement learning enhanced approach*", Energy Reports, vol. 9, no. 8, pp. 567-575, Sept. 2023.
[84] I. Jendoubi and F. Bouffard, "*Data-driven sustainable distributed energy resources' control based on multi-agent deep reinforcement learning*", Sustainable Energy, Grids and Networks, vol. 32, Article Number: 100919, Dec. 2022.
[85] G. Shahgholian, "*A brief review of the performance and control of direct current microgrids in power systems*", Energy Engineering and Management, vol. 14, no. 1, pp. 2-29, July 2024.
[86] Z. Lu, et al., "*Review of voltage control strategies for dc microgrids*", Energies, vol. 16, no. 17, Article Number: 6158, Aug. 2023.
[87] M.B. Delghavi and A. Yazdani, *"An adaptive feedforward compensation for stability enhancement in droop-controlled inverter-based microgrids*", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 26, no. 3, pp. 1764-1773, July 2011.
[88] B. Alghamdi and C.A. Cañizares, "*Frequency regulation in isolated microgrids through optimal droop gain and voltage control*", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 12, no. 2, pp. 988-998, March 2021.
[89] M.S. Golsorkhi and D.D.C. Lu, "*A control method for inverter-based islanded microgrids based on V-I droop characteristics*", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 30, no. 3, pp. 1196-1204, June 2015.
[90] F. Guo, et al., "*Distributed secondary voltage and frequency restoration control of droop-controlled inverter-based microgrids*", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 62, no. 7, pp. 4355-4364, July 2015.
[91] S. Shrivastava, et al., *"Distributed voltage and frequency synchronisation control scheme for islanded inverter-based microgrid*", IET Smart Grid, vol. 1, no. 2, pp. 48–56, July 2018.

زیرنویس‌ها

[1] Industrial centers
[2] Reliable energy
[3] Fossil fuels
[4] Renewable energy sources
[5] Distributed energy resources
[6] Microgrid technology
[7] Energy storage
[8] Inverter-based microgrids
[9] Frequency tracking
[10] Weighted average reduction algorithm
[11] Cyber security
[12] Hybrid microgrids
[13] Grid-connected mode
[14] Islanded mode
[15] Hierarchical control
[16] Distributed
[17] Decentralized
[18] Dynamic uncertainties
[19] Feedforward compensation

equivalent input disturbance approach", Electronics, vol. 13, no. 3, Article Number: 486, Jan. 2024.
[65] F. Li, et al., "*An improved nonlinear droop control method applied to dc microgrid*", Proceeding of the IEEE/IAS, pp. 1-6, Nashville, TN, USA, Oct./Nov. 2023.
[66] V. Nasirian, et al., "*Distributed cooperative control of dc microgrids*", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 30, no. 4, pp. 2288-2303.
[67] E. Espina, J. Llanos, C. Burgos-Mellado, R. Cárdenas-Dobson, M. Martínez-Gómez, D. Sáez, "*Distributed control strategies for microgrids: An overview*", IEEE Access, vol. 8, pp. 193412-193448, Oct. 2020.
[68] B. Fani, et al., "*Inverter-based islanded microgrid: A review on technologies and control*", e-Prime- Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, vol. 2, Article Number: 100068, 2022.
[69] G. Shahgholian, "*A brief overview of microgrid performance improvements using distributed FACTS devices*", Journal of Renewable Energy and Environment, vol. 10, no. 1, pp. 43-58, Jan. 2023.
[70] M. Castilla, et al., "*Impact of clock drifts on communication-free secondary control schemes for inverter-based islanded microgrids*", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 65, no. 6, pp. 4739-4749, June 2018.
[71] S. Farhang, et al., "*Dynamic behavior improvement of control system in inverter-based island microgrid by adding a mixed virtual impedance loop to voltage control loop*", International Journal of Smart Electrical Engineering, vol. 11, no. 1, pp. 27-34, March 2022.
[72] L. Luo and S.V. Dhople, "*Spatiotemporal model reduction of inverter-based islanded microgrids*", IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 29, no. 4, pp. 823-832, Dec. 2014.
[73] M.A. Ebrahim, et al., "*Whale inspired algorithm based MPPT controllers for grid-connected solar photovoltaic system*", Energy Procedia, vol. 162, pp. 77-86, April 2019.
[74] B. Keyvani, et al., "*Improved droop control method for reactive power sharing in autonomous microgrids*", Journal of Renewable Energy and Environment, vol. 9, no. 3, pp. 1-9, Sept. 2022.
[75] J. Hu, et al., "Overview of power converter control in microgrids-Challenges, advances, and future trends", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 37, no. 8, pp. 9907-9922, Aug. 2022.
[76] U.B. Tayab, et al., "*A review of droop control techniques for microgrid*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.76, pp. 717-727, Sept. 2017.
[77] A. Khaledian and M.A. Golkar, "*Analysis of droop control method in an autonomous microgrid*", Journal of Applied Research and Technology, vol. 15, no. 4, pp. 371-377, Aug. 2017.
[78] G. Shahgholian, et al., "*An improve in the reactive power sharing by uses to modify droop characteristics in autonomous microgrids*", Energy Engineering and Management, vol. 9, no. 3, pp. 64-71, Oct. 2019.
[79] G. Shahgholian, "*A brief review on the application of the virtual impedance method in islanded alternating current microgrids to control reactive power sharing*", Hydrogen, Fuel Cell and Energy Storage, vol. 11, no. 3, Sept. 2024.
[80] A. Rashwan, et al., "Modified droop control for microgrid power-sharing stability improvement", Sustainability, vol. 15, Article Number: 11220, July 2023.
[81] J.F. Patarroyo, et al., *"A linear quadratic regulator with optimal reference tracking for three-phase inverter-based islanded microgrids*", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 36, no. 6, pp. 7112-7122, June 2021.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Review Article

A Short Review on Application of Droop Control Strategy in Inverter-Based Microgrid in Island Mode

Ghazanfar Shahgholian[1,2]

1- Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, shahgholian@iaun.ac.ir
2- Smart Microgrid Research Centre, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abstract: Drop control is one of the conventional and widely used methods for microgrid control. Drop control is in the first level of hierarchical control, and it is used in microgrid to adjust voltage and frequency independently, and it does not need to be connected. This method offers high reliability, and is usually used in inverters that form microgrids. Microgrids can work in two modes connected to the network and island mode. In this article, an overview of the application of the drop control strategy in inverter-based island microgrids is presented according to the studies. Droop control is an example of decentralized control, and the importance of droop control in the islanded mode of operation will become apparent when it is possible to share energy among all units without the need to communicate with other units. In the drop control method, the frequency and voltage are adjusted according to the load demand and power balance in the network. This review study shows the importance of using drop control and its improvement in microgrids.

Keywords: Droop control, Islanded, Microgrid, Operation modes, Voltage source inverter

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]