



بهبود پایداری فرکانسی ریزشبه با ایجاد هماهنگی بین منابع تجدیدپذیر، منابع ذخیره‌ساز انرژی و بار پاسخگو

علی خان احمدی^۱، محمد مهدی برهان علمی^۲

۱- شرکت توزیع برق شهرستان مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشگاه ایدین استانبول، استانبول، ترکیه

چکیده

در زمان اتصال ریزشبه به شبکه سراسری، فرکانس ریزشبه توسط شبکه اصلی کنترل می‌گردد. زمانی که ریزشبه به صورت ناگهانی و در اثر بروز خطا از شبکه اصلی جدا می‌گردد، بخاطر عدم تعادل بین تولید - بار و اینرسی سراسری پایین ریزشبه، تغییرات فرکانسی شدیدی در ریزشبه پدید می‌آید. در این شرایط، توان رزرو کافی با پاسخدهی بالا برای جلوگیری از بروز خاموشی گسترده لازم و ضروری است. از آنجایی که سرعت پاسخدهی منابع تولیدپراکنده و میکروتوربین‌ها از چابکی لازم برخوردار نمی‌باشند، لذا بکارگیری تجهیزاتی با عکس‌العمل سریع مثل منابع ذخیره‌ساز انرژی در این زمینه حیاتی است. در این مقاله، ابتدا دینامیک واحدهای تولیدپراکنده و شبکه سراسری ارزیابی می‌گردد و سپس از کنترل کننده‌های ولتاژ توزیع شده برای بازیابی مقادیر ولتاژ به مقادیر مرجع متناظر خود برای همه واحدهای تولیدی در مدت زمان محدود بهره گرفته شده و از یک کنترل فرکانس توزیع شده مبتنی بر تجمیع واحدها استفاده می‌گردد. در حالت بازیابی فرکانس، یک چالشی وجود دارد که ورودی‌های کنترل باید در حالت پایدار با یکدیگر برابر باشند تا ویژگی اشتراک توان را برآورده کنند. برای این منظور از یک روش تناسبی - انتگرالی توزیع شده برای برقراری چنین شرایطی کمک گرفته شده که در این حالت، بازیابی فرکانسی به مقادیر در نظر گرفته شده نیز تضمین می‌گردد. با بررسی نتایج بدست آمده مشخص می‌گردد که سطح کنترل ثانویه توزیع شده می‌تواند مقادیر تخطی‌های ایجاد شده در حوزه کنترل ولتاژ و فرکانس را از بین ببرد. در واقع در زمانی که سطح کنترل ثانویه فعال می‌گردد، پخش توان اکتیو به خوبی توسط مشارکت منابع مختلف مدیریت می‌گردد.

واژگان کلیدی: پایداری فرکانسی، بهبود هماهنگی، ریزشبه، بار پاسخگو، منابع تجدیدپذیر



مقدمه

ریزشبکه‌ها در واقع متشکل از تعدادی منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی و بارهای محلی هستند که یک سیستم قدرتی را در سطح ولتاژ فشارضعیف (فشار متوسط) در مقیاسی کوچک تشکیل می‌دهند (Nazari et al, ۲۰۱۹). در مقایسه با شبکه‌های برق سنتی مبتنی بر سوخت فسیلی، مزایای ریزشبکه‌ها شامل انتشار آلاینده‌گی کمتر، پاسخ سریعتر به درخواست‌های رسیده از سمت مشترکین و پیاده‌سازی به نسبت ساده‌تر آنها است. به طور کلی، یک ریزشبکه می‌تواند در دو حالت متصل به شبکه سراسری و حالت جزیره‌ای کار کند. در حالت متصل به شبکه، ریزشبکه با بستن کلید جداکننده در نقطه توزیع مشترک به شبکه سراسری برق متصل می‌شود. با توجه به ظرفیت بزرگتر شبکه سراسری، دینامیک ریزشبکه تحت سلطه شبکه اصلی قرار می‌گیرد. بنابراین، وظیفه کنترل ریزشبکه در این شرایط برعهده شبکه اصلی است. هنگامی که کلید جداکننده باز می‌شود و در حالت جزیره‌ای قرار می‌گیرد، نه تنها باید ولتاژ و فرکانس خود را در مقادیر مرجع تعیین شده حفظ کند، بلکه باید توزیع توان اکتیو و راکتیو را بین منابع توزیع شده و بارها مدیریت نماید. در این شرایط، کنترل ریزشبکه با چالش‌های جدی مواجه می‌گردد. در واقع زمانی که ریزشبکه به صورت ناگهانی و در اثر بروز خطا از شبکه اصلی جدا گردد، بخاطر عدم تعادل بین تولید - بار و اینرسی سراسری پایین ریزشبکه، تغییرات فرکانسی شدیدی در ریزشبکه پدید می‌آید (Khodadadi et al, ۲۰۱۸). در (Li et al, ۲۰۱۷)، بیان شده که برای تنظیم مناسب و دقیق ولتاژ - فرکانس و نیز توزیع توان در ریزشبکه جزیره‌ای شده، باید اینورترهای منبع ولتاژ را در مد کنترل شده با ولتاژ بکار گرفت که این امر نیازمند ارتباط بین منابع تولید پراکنده می‌باشد.

در (Shoeiby et al, ۲۰۱۴) از روش کنترل فازی برای بهینه ساختن ضرایب کنترلی روش دروپ استفاده شده تا ولتاژ و فرکانس را در ریزشبکه تنظیم نماید. در (Moutis et al, ۲۰۱۵) از یک رشته پنل‌های خورشیدی بهره گرفته شده که به رله‌هایی با قابلیت قطع/وصل مکرر به منظور کنترل فرکانس مجهز شده‌اند. در این شرایط لازم است در هنگام شرایط اضطراری، بخشی از ظرفیت آرایه‌های خورشیدی از مدار خارج شود که البته منجر به هدر رفتن بخشی از ظرفیت تولید شده و بدلیل نوسان ذاتی انرژی خورشیدی، توان رزرو آن قابل اعتماد نیست. در سال‌های اخیر، مطالعات نشان می‌دهد که سطح نفوذ اینورترهای تاثیرگذار بر شبکه افزایش یافته است (Jones et al, ۲۰۱۸). در این شرایط کنترل این دسته از اینورترها در سیستم قدرت ادغام شده و رفتاری شبیه منبع ولتاژ از خود نشان می‌دهند. در واقع آنها می‌توانند به پایداری سیستم قدرت در ریزشبکه‌ها، کمک شایانی نمایند (Lasseter and Khalsa, ۲۰۱۸ - Razavi and Elmi, ۲۰۲۰). با این حال تاکنون مدل‌سازی رفتار اینورترهای آرایه‌های خورشیدی در ترکیب با منابع ذخیره‌ساز انرژی با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری بار به طور قابل توجهی مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این مقاله، ابتدا دینامیک واحدهای تولید پراکنده و شبکه سراسری ارزیابی، سپس با فرض وجود خطوط انتقال با ظرفیت القایی خالص، یک مدل دینامیکی ساده از ریزشبکه



جزیره‌ای شده ارائه می‌گردد. سپس از کنترل‌کننده‌های ولتاژ توزیع شده برای بازیابی مقادیر ولتاژ به مقادیر مرجع متناظر خود در مدت زمان محدود بهره گرفته شده است. در این راستا، از مهم‌ترین دستاوردهای مقاله مذکور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بکارگیری یک سیستم کنترل فرکانس توزیع شده مبتنی بر تجمیع واحدها جهت تسریع در بازیابی فرکانس
- استفاده از یک روش تناسبی - انتگرالی توزیع شده برای برابر ساختن ورودی‌های کنترل جهت به اشتراک گذاشتن توان خروجی
- تضمین شرایط بازیابی فرکانس با استفاده از یک رویکرد کنترلی دو مرحله‌ای

رویکرد کنترل سلسله مراتبی

الگوی کنترلی سلسله مراتبی مورد نظر شامل دو سطح اولیه و ثانویه می‌باشد. سطح اول کنترل مربوط به مدیریت محلی واحدهای تولیدپراکنده است. در سطح دوم بازیابی انحراف مقدار فرکانس صورت می‌پذیرد. تمرکز اصلی پروژه حاضر بر روی بهبود سطح کیفیت فرکانس می‌باشد به صورتی که هر واحد تولیدکننده توان شامل یک محرک اولیه، یک اینورتر واسط و یک فیلتر LC می‌باشد. در این شرایط، محدوده فرکانس وسیعی برای کنترل‌کننده اولیه قابل تعریف است. از آنجایی که دینامیک عملکرد فیلتر، رابط خروجی و حلقه‌های کنترل ولتاژ و جریان بسیار سریع‌تر از عملکرد کنترل دروپ می‌باشد، به همین خاطر کنترل‌کننده اولیه تنها با در نظر گرفتن دینامیک تابع کنترل دروپ مدل می‌شود. وظیفه کنترل دروپ، تنظیم زاویه فازی (δ_i) و دامنه ولتاژ (V_i) بر اساس مقادیر توان‌های اکتیو و راکتیو اندازه‌گیری شده است. در این حالت، زاویه فازی و دروپ ولتاژ برای واحدهای تولیدپراکنده مورد استفاده طبق روابط (۱) تا (۲) تعیین می‌گردد (Zadeh and Elmi, ۲۰۲۲- Cecati et al, ۲۰۱۱):

$$\dot{\delta}_i = \omega^d - k_{P_i}(P_i^m - P_i^d) \quad (1)$$

$$k_{V_i}\dot{V}_i = (V^d - V_i) - k_{Q_i}(Q_i^m - Q_i^d) \quad (2)$$

ω^d : فرکانس مرجع

V^d : دامنه ولتاژ مرجع

k_{V_i} : بهره کنترل ولتاژ

k_{P_i} : بهره فرکانس

k_{Q_i} : بهره دروپ ولتاژ



مقدار توان اکتیو اندازه گیری شده : P_i^m

مقدار توان راکتیو اندازه گیری شده : Q_i^m

مقدار توان اکتیو مرجع : P_i^d

مقدار توان راکتیو مرجع : Q_i^d

مدلسازی ریز شبکه

در این مقاله، یک ریز شبکه به عنوان شبکه اتصال دهنده منابع تولید پراکنده با بارها از طریق خطوط تعریف می گردد. فرض کنید N تا واحد تولید پراکنده (DG^1) در شبکه وجود داشته باشد. پارامتر Y_{ik} بیانگر ادیتانس بین DG i ام با DG k ام بوده که به صورت رابطه (۳) تعریف می گردد. اگر در بین این دو DG مذکور، هیچ گونه اتصالی وجود نداشته باشد، مقدار ادیتانس برابر صفر می گردد. بارهای محلی هم به صورت متصل شده به DG متناظر خود در نظر گرفته شده که میزان توان مورد تقاضای آنها از طریق رابطه (۴) مشخص می گردد. بر اساس روابط تعادل توان ارائه شده در (Wang et al, ۲۰۱۱)، مقدار توان اکتیو و راکتیو تزریق شده به شبکه از طریق روابط (۵) تا (۶) بدست می آید. توان های اکتیو و راکتیو خروجی DG هم مطابق روابط (۷) تا (۸) تعیین می گردند.

$$Y_{ik} = G_{ik} + jB_{ik} \quad (۳)$$

$$S_{Li} = P_{Li} + jQ_{Li} \quad (۴)$$

$$\hat{P}_i = V_i^2 \cdot G_{ii} - \sum_{k \in N_i} V_i \cdot V_k \cdot |Y_{ik}| \cos(\delta_i - \delta_k - \varphi_{ik}) \quad (۵)$$

$$\hat{Q}_i = -V_i^2 \cdot B_{ii} - \sum_{k \in N_i} V_i \cdot V_k \cdot |Y_{ik}| \sin(\delta_i - \delta_k - \varphi_{ik}) \quad (۶)$$

$$P_i = P_{Li} + \hat{P}_i \quad (۷)$$

$$Q_i = Q_{Li} + \hat{Q}_i \quad (۸)$$

هدایت : G_{ik}

سوسپتانس : B_{ik}

دامنه ولتاژ : V_i

زاویه فاز : δ_i

دامنه ادیتانس : $|Y_{ik}|$

¹ Distributed Generation



زاویه ادمیتانس : φ_{ik}

فرکانس حالت ماندگار سنکرون از طریق رابطه (۹) قابل دستیابی است (Bouattour et al, ۲۰۱۳). از آنجایی که فرکانس به صورت یک حالت سراسری در سیستم تعریف می‌گردد، تابع کنترل دروپ می‌تواند توان اکتیو را از طریق معکوس بهره دروپ به اشتراک بگذارد (رابطه (۱۰)). در این شرایط، قوانین کنترل ثانویه بایستی به صورتی اصلاح گردند که هم ولتاژ و هم فرکانس به مقادیر مطلوب بازیابی شوند. در این راستا، استراتژی کنترل توزیع شده در لایه ثانویه، مطابق با شکل (۱) توسعه یافته است. رویکرد کنترلی ارائه شده به صورت محلی از طریق ارتباط با کنترل‌کننده‌های موجود در همسایگی منطقه مورد نظر پیاده‌سازی می‌گردد. در این شرایط ورودی‌های کنترل ثانویه $u_i = [u_i^\omega \quad u_i^V]^T$ به مدل کنترل اولیه طبق روابط (۱۱) و (۱۲) اعمال می‌گردد.

$$\omega_{SS} = \omega^d + \left(\sum_{i=1}^N (P_i^d - P_i) / \sum_{i=1}^N (1/k_{P_i}) \right) \quad (9)$$

$$k_{P_i}(P_i - P_i^d) = k_{P_k}(P_k - P_k^d) \quad (10)$$

$$\tau_{P_i} \cdot \dot{\omega}_i + \omega_i - \omega^d + k_{P_i}(P_i - P_i^d) + u_i^\omega = 0 \quad (11)$$

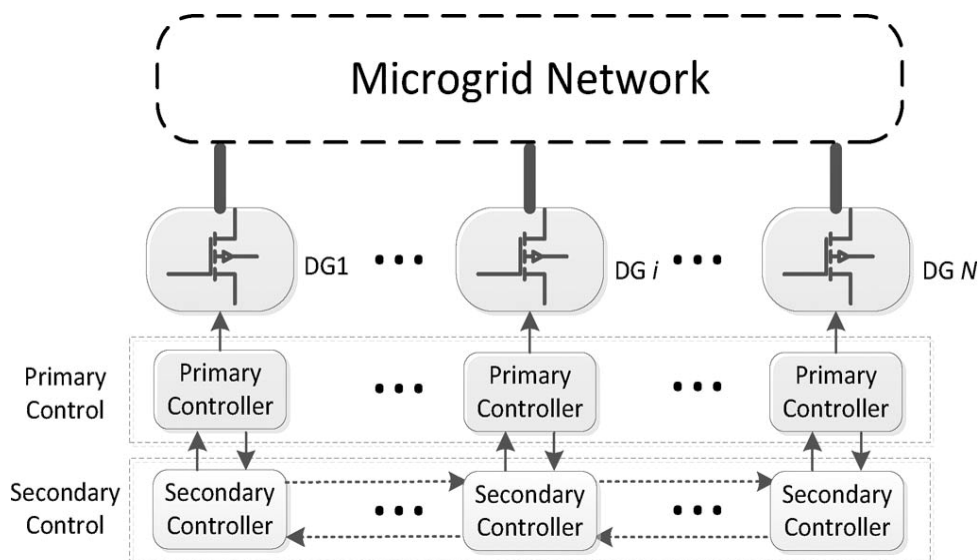
$$\tau_{Q_i} \cdot k_{V_i} \cdot \dot{V}_i + (\tau_{Q_i} + k_{V_i}) \cdot V_i - V^d + k_{Q_i}(Q_i - Q_i^d) + u_i^V = 0 \quad (12)$$

ورودی کنترل فرکانس ثانویه : u_i^ω

ورودی کنترل ولتاژ ثانویه : u_i^V

تابع هدف و قیود مساله

کنترل‌کننده‌های محلی وظیفه تولید سیگنال‌هایی برای اینورترهای واسط DG را بر عهده دارند. این کنترل‌کننده‌ها متشکل از واحدهای کنترل جریان و ولتاژ، حلقه امپدانس مجازی و کنترل‌کننده دروپ توان اکتیو/راکتیو می‌باشند. کنترل‌کننده ثانویه با ارسال سیگنال‌های کنترلی مناسب به کنترل‌کننده‌های محلی DG، میزان عدم تعادل فرکانس را مدیریت می‌نماید. در راستای تثبیت پایداری فرکانس در ریزش‌بکه‌هایی با اینرسی پایین، تابع هدف به صورت رابطه (۱۳) تعریف می‌گردد. طبق رابطه (۱۴)، اینرسی مجازی توسط عوامل تشکیل‌دهنده آن محاسبه می‌گردد.



شکل ۱: شماتیک کنترل کننده ثانویه در یک ریز شبکه (Ziping et al, ۲۰۱۸)

$$\min \Delta f = \frac{1}{2Hs + D} (\Delta P_m + \Delta P_w + \Delta P_{pv} + \Delta P_{inertia} - \Delta P_L) \quad (13)$$

$$\Delta P_{inertia} = \frac{k_{VI}}{1 + sT_{VI}} \left(\frac{d\Delta f}{dt} \right) \quad (14)$$

تغییرات فرکانس شبکه : Δf

اینرسی شبکه : H

ضریب میرایی سیستم : D

تغییرات توان تولیدی منابع تولید پراکنده : ΔP_m

تغییرات توان تولیدی توربین های بادی : ΔP_w

تغییرات توان تولیدی پنل های فتوولتائیک : ΔP_{pv}

تغییرات اینرسی مجازی : $\Delta P_{inertia}$

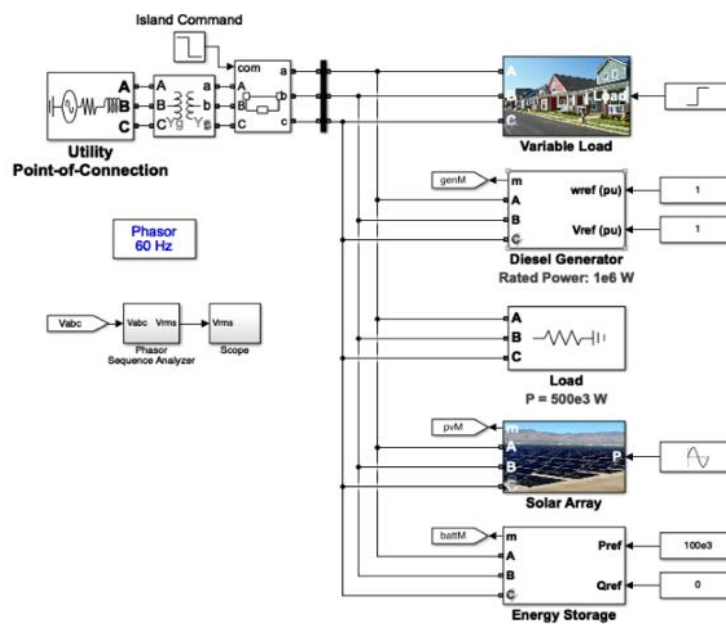
تغییرات بار : ΔP_L

مشخصات شبکه تحت مطالعه



به منظور آزمایش رویکرد کنترل کننده ثانویه طراحی شده، یک ریزشبه در حالت جزیره‌ای در سطح فشار ضعیف نشان داده شده در شکل (۲) به عنوان سیستم تست در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی در محیط MATLAB/Simulink انجام شده و مقادیر پارامترهای سیستم در جداول (۱) و (۲) نمایش داده شده است. در این شرایط، کنترل اولیه در زمان $t = 0$ و کنترل ثانویه در زمان $t = 3$ (S) فعال می‌گردد. شبیه‌سازی‌ها در ۴ مرحله صورت پذیرفته است:

- i. مرحله اول (صفر تا ۳ ثانیه): در این حالت فقط کنترل اولیه فعال می‌گردد.
- ii. مرحله دوم (۳ تا ۵ ثانیه): کنترل ثانویه در این مرحله اعمال می‌گردد.
- iii. مرحله سوم (۵ تا ۷ ثانیه): بار ثابت به مجموعه اعمال می‌گردد.
- iv. مرحله چهارم (۷ تا ۱۰ ثانیه): بار سلفی از کل بار کم می‌گردد.



شکل ۲: شماتیک شبکه طراحی شده

جدول ۱: پارامترهای کنترل اولیه

τ_{P1}	τ_{Q1}	k_{P1}	k_{Q1}	k_{V1}
۰.۰۱۶	۰.۰۱۶	۰.۰۰۰۰۶	۰.۰۰۰۰۴۲	۰.۰۱

جهت اعمال بار مورد تقاضا، از مدل بار بخشی از شبکه توزیع مشهد استفاده شده است. در شکل (۳) جزئیات شبکه به



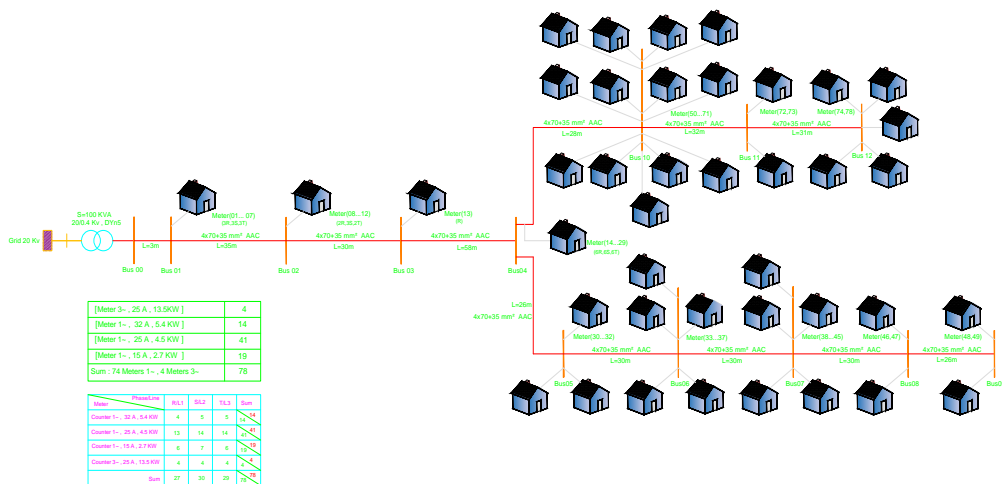
همراه بلوک‌های ساختمانی تعریف شده در نرم‌افزار GIS نشان داده شده است.

جدول ۲: پارامترهای کنترل ثانویه

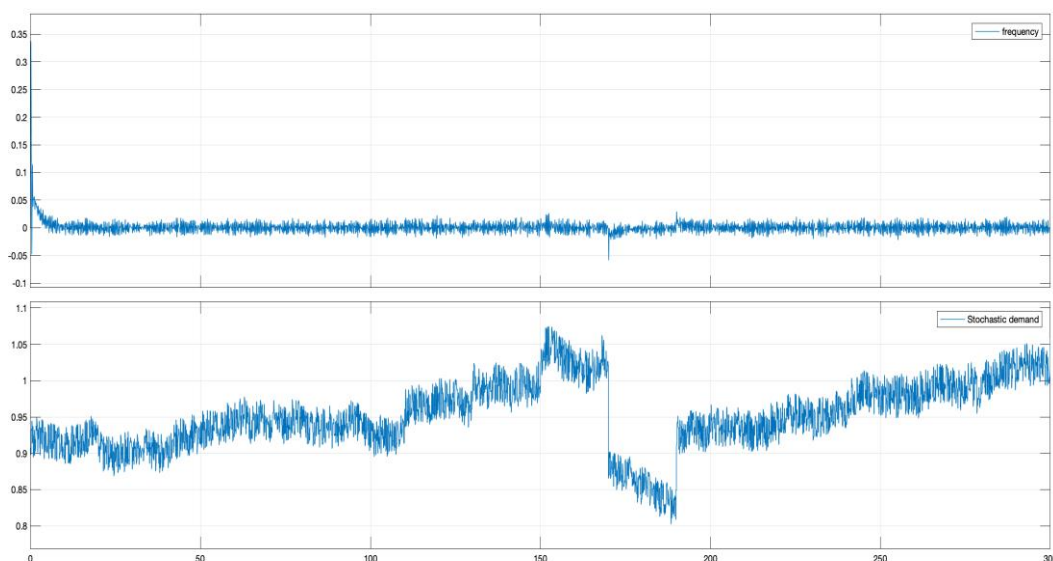
کنترل کننده فرکانس			کنترل کننده ولتاژ			
α_1	β_1	γ_1	k_1	k_2	α_1	α_2
۰.۲	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰	۱۰	۱/۳	1/2

مشخصات شبکه تحت مطالعه

همان‌طور که از نتایج ارائه شده در شکل‌های (۴) و (۵) مشخص است، در طول مرحله اول، بخاطر تابع دروپ در سطح کنترل اولیه، دامنه ولتاژ DG به مقدار زیادی افت یافته در حالی که فرکانس در یک مقدار مشخصی با بار، سنکرون می‌گردد. در این شرایط هم ولتاژ و هم فرکانس با مقادیر مرجع خود، اختلاف محسوسی دارند. بنابراین لازم است، در لایه کنترل ثانویه باز یابی شوند. زمانی که کنترل ثانویه توزیع شده در $t = 3(S)$ ثانیه فعال گردد، هم مقدار ولتاژ و هم مقدار فرکانس به سرعت به مقادیر مرجع خود باز یابی می‌شوند. با اینکه یکسری حالت‌های گذرای در ابتدا مشاهده می‌شود، اما فرکانس در مقدار ماندگار خود تثبیت می‌گردد. برای تبدیل ولتاژهای DG در سمت آرایه خورشیدی و باتری‌های ذخیره‌ساز انرژی از اینورتر استفاده شده که مقدار تغییرات ولتاژ و فرکانس و نحوه رد گیری مقادیر مرجع انتخاب شده برای آنها در شکل‌های (۵) و (۶) به نمایش درآمده است. با بررسی نتایج بدست آمده، مشخص می‌گردد که سطح کنترل ثانویه توزیع شده می‌تواند مقادیر تخطی‌های ایجاد شده در حوزه کنترل ولتاژ و فرکانس را از بین ببرد. در واقع در زمانی که سطح کنترل ثانویه فعال می‌گردد ($t = 3(S)$)، پخش توان اکتیو به خوبی توسط مشارکت منابع مختلف مدیریت می‌گردد، با توجه به اینکه میزان تغییرات بار به چه صورتی می‌باشد.



شکل ۳: مشخصات شبکه توزیع تحت مطالعه



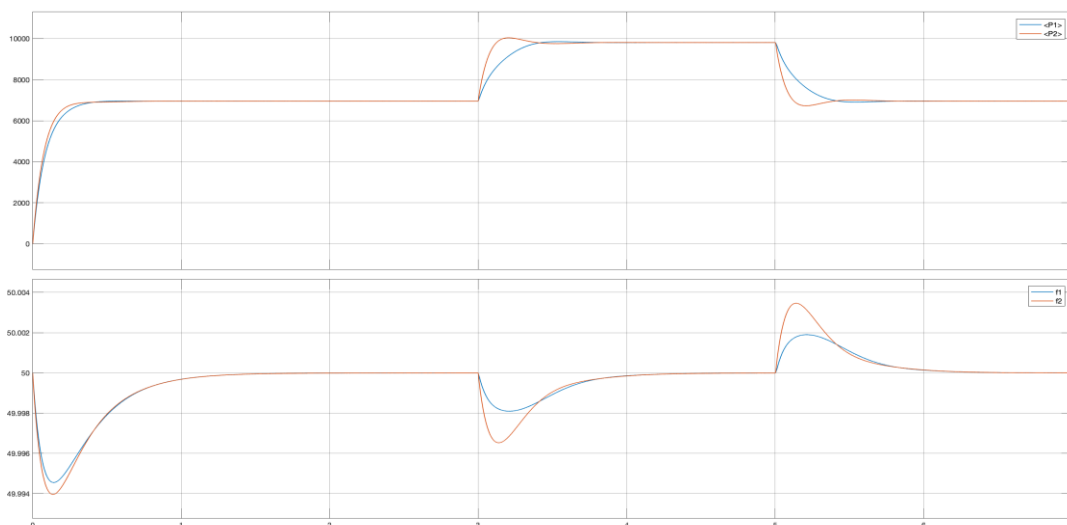
شکل ۴: مقدار تغییرات تقاضا و تثبیت فرکانسی سیستم

نتیجه گیری

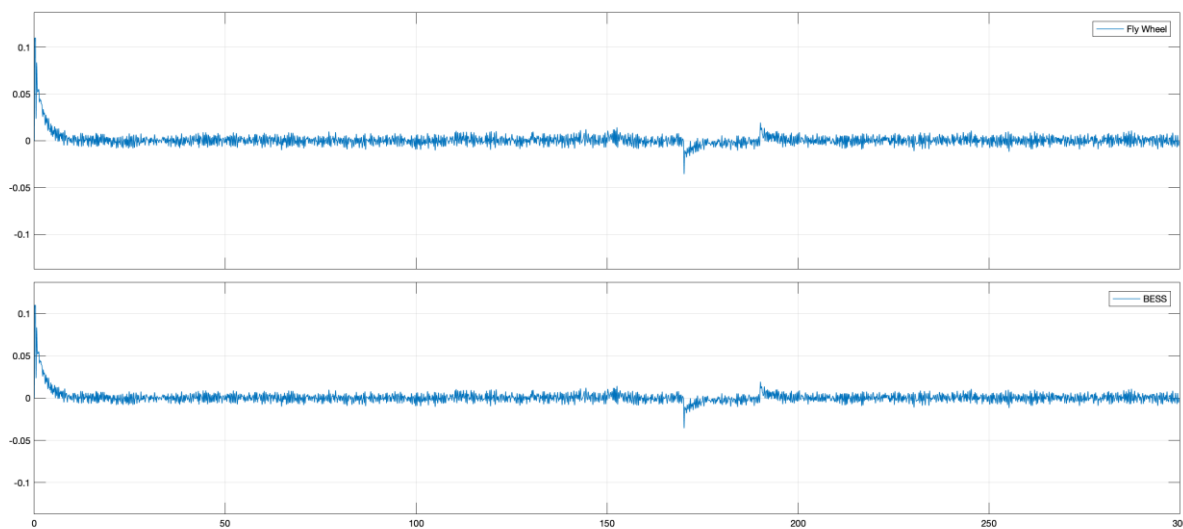
بنگاه‌های الکتریکی به صورت پیوسته بر روی توسعه شبکه‌های الکتریکی در جهت تامین توان مورد تقاضای روز افزون مشترکین خود برنامه‌ریزی می‌کنند. روش کلاسیک مورد استفاده به صورت احداث ایستگاه‌های جدید یا توسعه



زیرساخت‌های موجود می‌باشد. با اعمال سیاست‌های جدید دولت‌ها در زمینه استفاده از منابع تجدیدپذیر، بکارگیری منابع تولید پراکنده از اهمیت مضاعفی برخوردار شده است. این منابع هم می‌توانند به صورت مجزا بارهای محلی را تغذیه کنند و هم می‌توانند میزان توان تولیدی مازاد خود را به شبکه تزریق نمایند.



شکل ۵: تغییرات ولتاژ و فرکانس در ردگیری مقادیر مرجع



شکل ۶: تغییرات انرژی چرخ‌های هرزگرد و باتری‌ها



یکپارچگی منابع تولید پراکنده با شبکه سراسری می تواند باعث گسترش منابع تولیدکننده انرژی، بهبود بازدهی، راحتی نصب و بهره برداری، ارتقای امنیت، افزایش کیفیت توان و قابلیت اطمینان و کاهش آلودگی های زیست محیطی گردد. اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه توزیع باعث ایجاد تغییرات قابل ملاحظه ای در بهره برداری از شبکه و بروز اثرات متعددی بر روی کیفیت توان آن می گردد. اکثر مطالعات صورت گرفته در زمینه اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه سراسری، تنها تبادل توان اکتیو را مدنظر قرار داده و در مورد پتانسیل مشارکت آنها در بهبود سطح ولتاژ و تنظیم فرکانس کمتر مطالعاتی صورت پذیرفته است. در این مقاله، ابتدا دینامیک واحدهای تولید پراکنده و شبکه سراسری ارزیابی و سپس از کنترل کننده های ولتاژ توزیع شده برای بازیابی مقادیر ولتاژ به مقادیر مرجع متناظر خود برای همه واحدهای تولیدی در مدت زمان محدود بهره گرفته شده و از یک تکنیک کنترل فرکانس توزیع شده مبتنی بر تجمیع واحدها استفاده شده تا با کمک روش تناسبی - انتگرالی بازیابی فرکانس به مقادیر در نظر گرفته شده نیز تضمین گردد. با بررسی نتایج بدست آمده مشخص می گردد که سطح کنترل ثانویه توزیع شده می تواند مقادیر تخطی های ایجاد شده در حوزه کنترل ولتاژ و فرکانس را از بین ببرد. در واقع در زمانی که سطح کنترل ثانویه فعال می گردد، پخش توان اکتیو به خوبی توسط مشارکت منابع مختلف مدیریت می گردد.



منابع

- Bouattour, H., Simpson-Porco, J. W., Dörfler, F., & Bullo, F. (2013, December). Further results on distributed secondary control in microgrids. In *52nd IEEE Conference on Decision and Control* (pp. 1514-1519). IEEE.
- Du, W., Lasseter, R. H., & Khalsa, A. S. (2018). Survivability of autonomous microgrid during overload events. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(4), 3515-3524.
- Jones, K. W., Pourbeik, P., Kobet, G., Berner, A., Fischer, N., Huang, F., ... & Patel, M. (2018). Impact of inverter based generation on bulk power system dynamics and short-circuit performance. *Task Force on Short-Circuit and System Performance Impact of Inverter Based Generation, Tech. Rep. PES-TR68*.
- Khodadadi, A., Astero, P., Nazari, M. H., & Hosseinian, S. H. (2018). Small-signal stability improvement of an islanded microgrid with electronically-interfaced distributed energy resources in the presence of parametric uncertainties. *Electric Power Systems Research*, 160, 151-162.
- Li, P., Ji, H., Wang, C., Zhao, J., Song, G., Ding, F., & Wu, J. (2017). Optimal operation of soft open points in active distribution networks under three-phase unbalanced conditions. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(1), 380-391.
- Moutis, P., Vassilakis, A., Sampani, A., & Hatziargyriou, N. D. (2015). DC switch driven active power output control of photovoltaic inverters for the provision of frequency regulation. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(4), 1485-1493.
- Nazari, M. H., Hosseinian, S. H., & Azad-Farsani, E. (2019). Shapley value-based techno-economic framework for harmonic and loss mitigation. *IEEE access*, 7, 119576-119592.
- Razavi, A. B., & Elmi, M. M. B. (2020, December). Improvement of Voltage Profiles in Mashhad Distribution System with Presence of Rooftop PV. In *2020 10th Smart Grid Conference (SGC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Shoeiby, B., Davoodnezhad, R., Holmes, D. G., & McGrath, B. P. (2014, September). Voltage-frequency control of an islanded microgrid using the intrinsic droop characteristics of resonant current regulators. In *2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* (pp. 68-75). IEEE.
- Wang, Z., Xia, M., & Lemmon, M. (2013, June). Voltage stability of weak power distribution networks with inverter connected sources. In *2013 American Control Conference* (pp. 6577-6582). IEEE.
- Wu, Z., Gao, W., Gao, T., Yan, W., Zhang, H., Yan, S., & Wang, X. (2018). State-of-the-art review on frequency response of wind power plants in power systems. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 6(1), 1-16.
- Yu, X., Cecati, C., Dillon, T., & Simoes, M. G. (2011). The new frontier of smart grids. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 5(3), 49-63.
- Zadeh, M. K., & Elmi, M. M. B. (2022). Evaluation of electric vehicle penetration impacts on distribution system under responsive load management.