

کنترل ژنراتور و باتری در ریزشبكة‌ها با استفاده از PLC

محمود هژیر

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

itshazhir@gmail.com

چکیده:

با گسترش به کارگیری منابع تولید پراکنده، مفهوم ریزشبكة به عنوان راه‌حلی برای تجمیع این منابع و اتصال آن‌ها به سیستم‌های قدرت ارائه شد. از اینرو همانند سیستم‌های قدرت کلاسیک، ریزشبكة‌ها نیز به سیستم کنترلی نیاز دارند که قادر باشد مقادیر ولتاژ و فرکانس را در حالت جزیره‌ای در محدوده مجاز حفظ کرده و توازن بین تولید و مصرف انرژی در ریزشبكة را فراهم سازند. در این مقاله در پاسخ به این نیاز، از PLC که کنترل‌کننده‌ای شناخته شده در فرآیندهای صنعتی می‌باشد، برای کنترل ریزشبكة استفاده می‌گردد و منطق کنترلی باتری و ژنراتور در آن پیاده‌سازی می‌گردد. برای ارزیابی قابلیت کنترل‌کننده در رسیدن به خروجی مطلوب نیز از نرم‌افزار WinCC که یک سیستم مانیتورینگ و اسکادا صنعتی می‌باشد بهره برده می‌شود.

واژگان کلیدی: ریزشبكة، PLC، کنترل ولتاژ و فرکانس، SOC

مقدمه:

گسترش نفوذ منابع پراکنده تجدیدپذیر در محدوده توان های ده تا صد کیلووات در سطح شبکه های فشار ضعیف (Lopes, Kim, Kim et al. 2006)، به دلیل ماهیت ناپایدار آن ها باعث ایجاد نوسان در ولتاژ و فرکانس شبکه می گردد (Moreira et al. 2006، Nguyen, Yoo et al. 2017، Chanda and Srivastava 2016، از اینرو برای تجمیع این منابع پراکنده به همراه بارهای محلی مفهوم ریزشبکه برای اولین بار در (Lasseter 2001، Lasseter 2002) ارائه گردید تا ضمن استفاده بهینه و موثر از منابع پراکنده (Meng, Savaghebi et al. 2015)، به کارگیری آن ها نیز در شبکه های قدرت هموار گردد (Schiffer, Seel et al. 2015).

کنترل ریزش‌بکه به معنای کنترل ولتاژ و فرکانس آن و با هدف ایجاد توازن در توان به ویژه در حالت جزیره‌ای بوده که بر عهده سیستم کنترل مرکزی ریزش‌بکه (MGCC) می‌باشد. با توجه به اینکه ریزش‌بکه در دو حالت متصل به شبکه و جزیره‌ای مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، مهار آن باید شامل رویکردهای کنترل هر دو حالت باشد (Borazjani and Wahab 2014).

با ظهور و توسعه PLC¹ در اوایل دهه 1970، پردازشگرهای میکروپروسسوری جایگزین سیستم‌های رله کنتاکتوری شده و افق جدیدی به روی سیستم‌های کنترلی گشوده شد. PLC که بیشتر در فرآیندهای صنعتی به کار برده می‌شود قابلیت دریافت طیف وسیعی از داده‌ها از دیجیتال تا آنالوگ را دارد و پردازشگر آن قادر خواهد بود با کنترل انواع حلقه‌ها، به اتوماسیون سازی انواع فرآیندهای کنترلی بپردازد.

یکی از مواردی که کنترل ریزش شبکه‌ها را با چالش مواجه می‌کند این است که ریزش شبکه‌ها باید با توجه به انعطاف‌پذیری که دارند قادر باشند در هر لحظه بازیگر جدیدی را اضافه یا کم کنند^۲. این موضوع باعث می‌شود که توپولوژی شبکه مدام تغییر کرده و کنترل ولتاژ و فرکانس دچار مشکل شود. از اینرو کنترل‌کننده باید قابلیت توسعه برای شرایط جدید را داشته باشد به طوری که با توانایی برقراری ارتباط به هنگام با ریزش شبکه اجازه اضافه و کم شدن بازیگران را بدهد (Riverso, Sarzo et al. 2014, Sadabadi 2020).

از جنبه سخت‌افزاری به دلیل ساختار مایولار PLC، این قابلیت فراهم می‌شود که کنترل‌کننده به راحتی توسعه یافته و کارتهای ورودی و خروجی متناسب با حجم فرآیند تحت کنترل، به سیستم اضافه یا کم شود. از جنبه نرم‌افزاری نیز با کدنویسی ساختاریافته این قابلیت فراهم می‌شود که برنامه کنترلی وابستگی به تعداد بازیگران ریزشکه نداشته باشد و به راحتی با شرایط گوناگون تطبیق یابد.

با توجه به اینکه عملکرد موفق ریزشکبه وابسته به سیستمی کارآمد برای ارتباطات می‌باشد (Ray and Biswal 2020) پژوهش‌های مختلفی، درباره سیستمی، که بتواند ریزشکبه را بایش کرده و تصمیمات مقتضی را در شرایط مختلف بگیرد انجام شده است.

¹ Programmable Logic Controller

2 Plug and Play

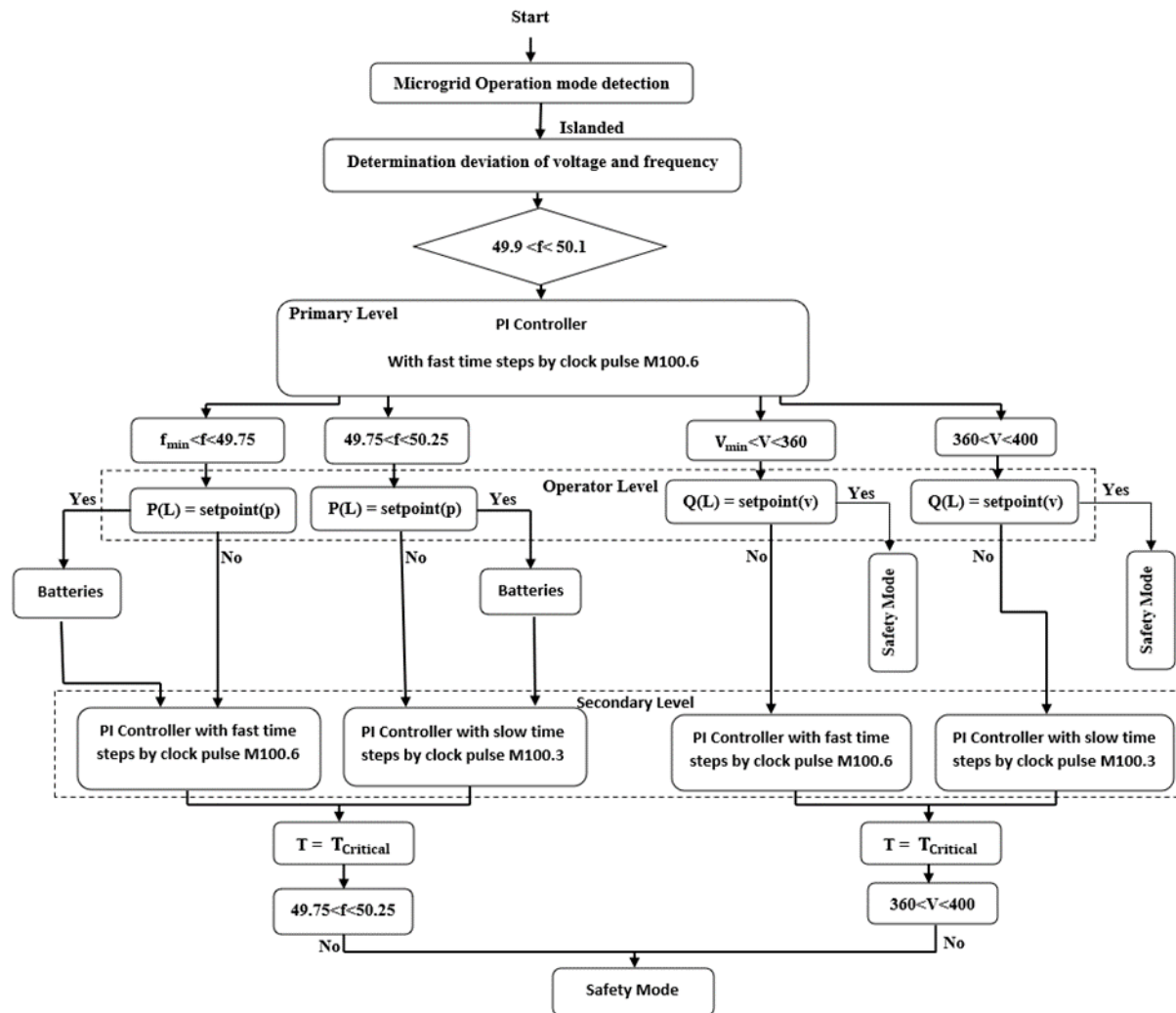
برای نمونه در (Kermani, Carni et al. 2020) برای ریزشبه در حالت جزیره‌ای از پردازشگر PLC استفاده شده و ریزشبه مورد آزمایش در طول سال تقریباً هیچ‌گونه تبادل انرژی با شبکه بالادست ندارد و در (Pal, Parvathy et al. 2021) نیز با استفاده از PLC سیستمی برای مدیریت هوشمند انرژی در نیروگاه مجازی جهت شرکت موثر منابع حاضر در آن در بازار برق می‌باشد.

با توجه به نقش پررنگ ذخیره‌سازها در بهره‌برداری از ریزشبه‌ها پژوهش‌های فراوانی در این زمینه نیز صورت گرفته است که SOC مساله کلیدی در بسیاری از پژوهش‌ها می‌باشد (Sitompul and Fujita 2020).

با وجود پژوهش‌های فراوان در زمینه کنترل ریزشبه، کنترل‌کننده‌ای که قادر به پیاده‌سازی اهداف کنترلی ریزشبه باشد حلقه مفقوده بسیاری از پژوهش‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه PLC دارای قابلیت‌های اثبات شده در فرآیندهای صنعتی می‌باشد، این قابلیت را نیز دارد که برای ریزشبه‌ها نقش کنترل‌کننده را ایفا کند. بر همین اساس در این مقاله از پردازشگر PLC برای کنترل ریزشبه‌های شامل ژنراتور و باتری بهره‌برده می‌شود و توابع کنترلی در نرم‌افزار آن پیاده‌سازی می‌شود و از نرم‌افزار WinCC برای ارزیابی آن استفاده می‌شود.

ساختار کنترلی:

فلوچارت شکل 1 منطق کنترلی پیاده شده در PLC را نشان می‌دهد که مطابق آن دو سطح کنترلی PI در بازه‌های مختلف و با سرعت‌های تند و کند نسبت به بازیابی مقادیر ولتاژ و فرکانس اقدام می‌کنند.



شکل 1 تابع کنترلی پیاده شده در PLC

در سطح اولی کنترلی ابتدا مقادیر ولتاژ و فرکانس ریز شبکه با سرعت بالا توسط منابع به محدوده مجاز رسیده و پس از آن کنترل کننده سطح دوم با دینامیک کندتر جهت بازیابی پارامترها به مقادیر نامی به کار گرفته می شود. در این طرح بر خلاف سیستم های قدرت کلاسیک، بازیگر یا بازیگران مشخصی به کنترل سطح دو اختصاص داده نمی شود و بسته به شرایط کاری منابع در ریز شبکه، یا از خروجی خود آن ها استفاده می شود و یا باتری ها وارد کنترل سطح دوم می گردند. در شرایطی که ژنراتور ظرفیت لازم برای تزریق توان را داشته باشد به عنوان کنترل سطح دوم به کار گرفته می شود و در غیر این صورت باتری فراخوانی می گردد.

برای طراحی کنترل کننده PI از کانترهایی بهره برده می شود که با استفاده از بازخورد مقادیر ولتاژ و فرکانس در سطح فیلد، توان های اکتیو و راکتیو را به صورت پله ای و با سرعت های مختلف تغییر می دهند.

برای ایجاد سرعت های مختلف در بازیابی ولتاژ و فرکانس ریزش شبکه، ابتدا لازم است به تولید پالس هایی با فرکانس و دوره تناوب های متفاوت پرداخته شود.

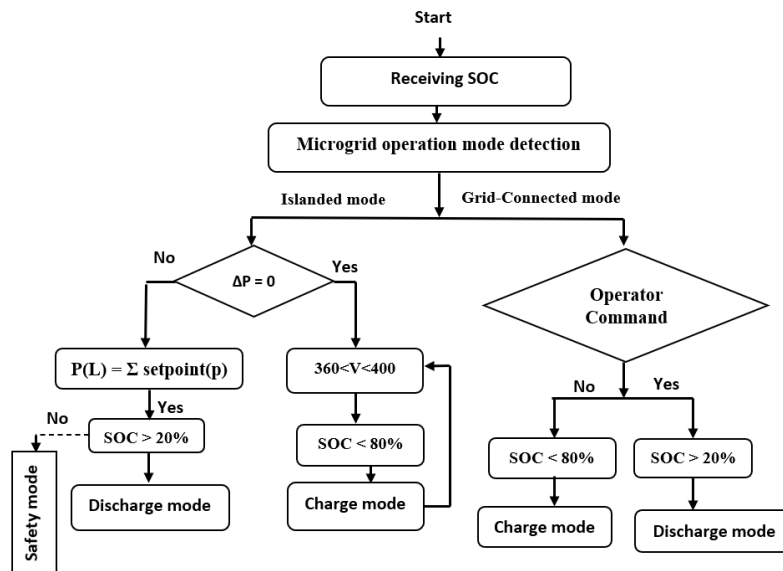
تمام CPU ها در PLC یک بایت در حافظه خود دارند که شامل 8 بیت پالس با فرکانس های مختلف بوده که می توان از آن برای ایجاد دینامیک های کند و تند در کنترل سطح اول و دوم بهره برد. از همین رو با فعال سازی این بایت در تنظیمات سخت افزاری، و اختصاص آدرس M100 به آن می توان مطابق جدول 1 با پله هایی از 0.1 ثانیه تا 2 ثانیه نسبت به تغییر توان ها در کنترل سطح اول و دوم بهره برد.

جدول 1 کلاک پالس های موجود در CPU اختصاص شده به حافظه M100

آدرس	M100.0	M100.1	M100.2	M100.3	M100.4	M100.5	M100.6	M100.7
دوره تناوب (s)	2	1.6	1	0.8	0.5	0.4	0.2	0.1
فرکانس (Hz)	0.5	0.625	1	1.25	2	2.5	5	10

چنانچه با وجود مشارکت منابع، مقادیر ولتاژ و فرکانس در مدت زمان تعیین شده بازیابی نگردند پردازشگر وارد حالت حفاظتی شده و نسبت به بارزدایی از ریزش شبکه اقدام می کند.

شکل 2 فلوچارت کنترلی باتری ها که در PLC برنامه ریزی شده را نشان می دهد که مطابق آن با بهره گیری از سیگنال های SOC و فرکانس دریافتی از ترانسمیترها، خروجی مطلوب تولید شده توسط پردازشگر به باتری ها ارسال گردد. برای راحتی کنترل باتری فرض می گردد باتری مورد استفاده در ریزش شبکه دارای دو مسیر جداگانه شارژ و دشارژ می باشد که هر کدام توسط یک کلید با PLC در سطح کنترل مرتبط می گردند.



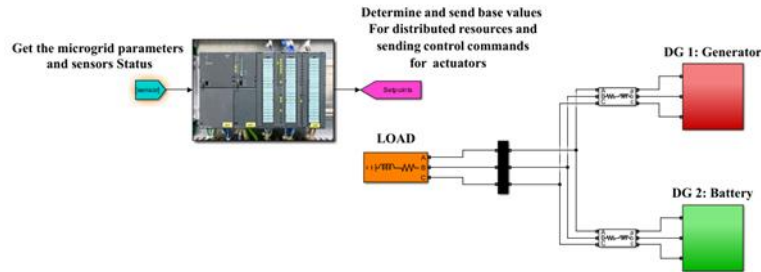
شکل ۲ منطق کنترلی برنامه ریزی شده در PLC برای باتری ها

در حالت متصل به شبکه باتری ها سطح شارژ خود را توسط شبکه بازیابی کنند و همچنین در صورت وجود شارژ کافی می توانند به شبکه انرژی تزریق کنند.

در حالت جزیره ای نیز باتری ها به عنوان پشتیبان سطح دوم فراخوانی می گردند به طوری که چنانچه ژنراتور به دلایل مختلف ناتوان از بازیابی فرکانس به مقدار نامی باشند باتری ها وارد مدار می شوند.

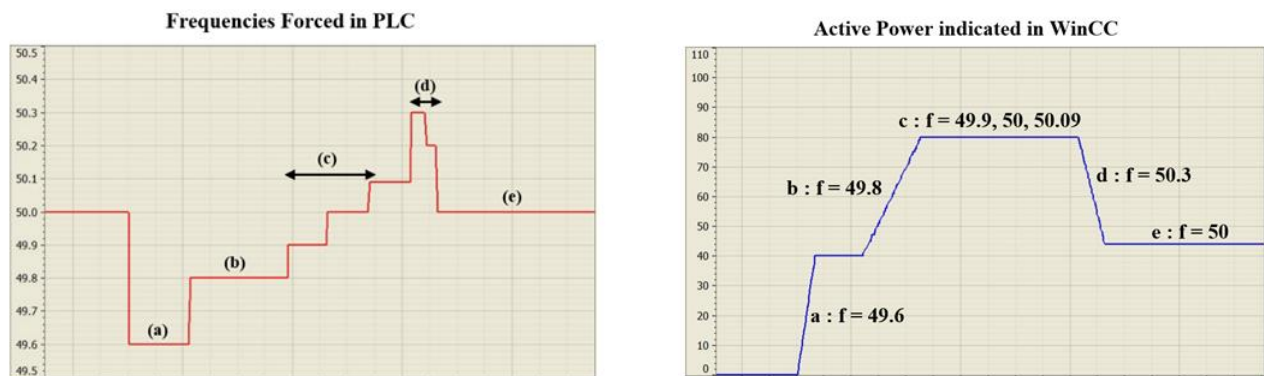
بررسی نتایج:

برای ارزیابی قابلیت PLC از ریزشبه شکل ۳ استفاده می شود که مطابق آن یک ژنراتور در کنار یک باتری به تامین بار ریزشبه می پردازند. با توجه به صنعتی بودن کنترل کننده برای اثبات شایستگی PLC در کنترل ریزشبه از نرم افزار WinCC که یک سیستم مانیتورینگ و اسکادا صنعتی می باشد و قابلیت آن در صنعت مورد پذیرش همگان است و همچنین نرم افزار PLCSIM جهت شبیه سازی خروجی PLC بهره برده می شود. صلاحیت PLC در کنترل ریزشبه به رفتار پردازشگر آن به ازای تغییرات پارامترهای بازیگران آن بستگی داد به طوری که پردازشگر PLC باید خروجی مناسب را در پاسخ به تغییرات ولتاژ و فرکانس ریزشبه تولید نماید.



شکل 3 ریزشبهه آزمایش تحت کنترل PLC

برای بررسی قابلیت PLC و همچنین توابع کنترلی پیاده شده در آن از ریزشبهه نشان داده شده در شکل 3 استفاده می شود که مطابق آن یک ژنراتور در کنار باتری به تامین بار ریزشبهه می پردازد. با توجه به نبود ریزشبهه واقعی و عدم دریافت فیدبک از سنسورهای ولتاژ و فرکانس توسط PLC، این مقادیر به صورت دستی و در پله های مختلف اعمال می شوند (Force) تا واکنش پردازشگر PLC به آن ها مورد سنجش قرار بگیرد.



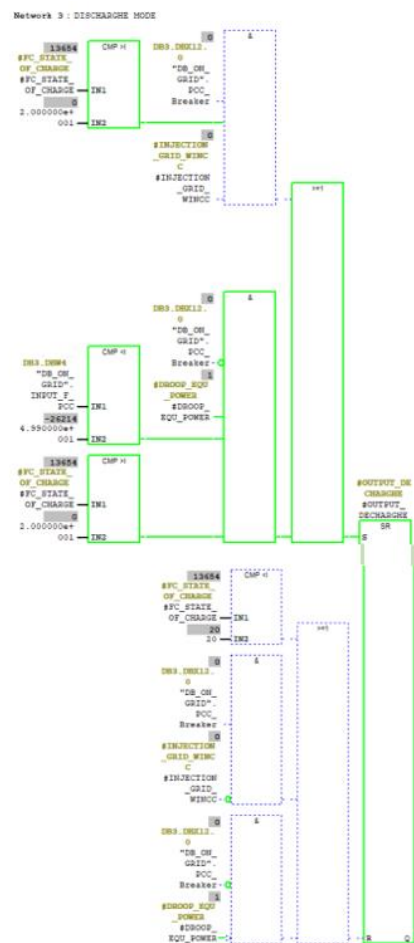
شکل 4 خروجی توان اکتیو کارت خروجی PLC نسبت به تغییرات فرکانس

همانطور که از خروجی نرم افزار WinCC در شکل 4 پیداست توان اکتیو خروجی ژنراتور به تغییرات اعمال شده در فرکانس به سرعت پاسخ می دهد. در گام نخست مقدار فرکانس از مقدار نامی آن به 49.6 هرتز افت پیدا می کند و با توجه به کمتر بودن آن از حد مجاز بهره برداری، پردازشگر PLC مطابق خط (الف) توان اکتیو خروجی منبع را از طریق کنترل PI سریع پیاده شده در تابع FB1، افزایش می دهد. با توجه به اینکه در لایه اپراتوری میزان توان خروجی در 40 درصد تنظیم شده خروجی ژنراتور نیز تا 40 درصد توان نامی خود افزایش می یابد.

در حالت بعدی مقدار فرکانس به 49.8 تغییر می یابد. در این حالت با توجه به اینکه این مقدار فرکانس در محدوده مجاز بهره برداری می باشد، ژنراتور مطابق خط (ب) تزریق توان را با سرعت کمتری نسبت به حالت قبل ادامه می دهد. تا زمانی که مقدار فرکانس به

مقدار نامی آن بازیابی نشده باشد توان ژنراتور تا ظرفیت نامی آن یا مقدار تعیین شده توسط اپراتور افزایش می یابد که در این حالت با توجه به تنظیمات اپراتور توان خروجی ژنراتور تا 80 درصد توان افزایش می یابد.

در این حالت که فرکانس کمتر از مقدار نامی بوده و ژنراتور حداکثر توان نامی خود یا توان مجاز شده از طرف اپراتور را تزریق کرده است لازم است تابع کنترلی مربوط به باتری فراخوانی شده و باتری ها با رعایت قید SOC خود دشارژ گردند. در این حالت مطابق شکل 5 که شبیه سازی تابع کنترلی باتری در نرم افزار Simatic Manager می باشد، با اعمال مقادیر Force شده خروجی دشارژ باتری فعال شده و باتری به ریزشبهه انرژی تزریق می کند.



شکل 5 تزریق انرژی به ریزشبهه توسط باتری

مطابق شکل 4 با Force کردن فرکانس به مقادیر 49.9 و 50 و 50.09 توان خروجی ژنراتور تغییری نکرده و در مقدار قبلی در خط (c) ثابت می ماند.

[illegible]

Voltages Forced in PLC

The graph shows voltage levels on the y-axis (350 to 420) against time. The profile is a step function with levels labeled (f) through (j). A horizontal double-headed arrow labeled (h) indicates a duration between two steps.

Reactive Power indicated in WinCC

The graph shows reactive power on the y-axis (0 to 110) against time. The profile is a trapezoid with levels labeled f through j. The levels are defined as: f : V = 350, g : V = 370, h : V = 380, 390, 399, i : V = 380, j : V = 410.

9

مطابق شکل 7 خروجی توان راکتیو نیز به تغییرات ولتاژ اعمال شده در PLC واکنش نشان داده و تغییر می کند به طوری که با اعمال مقدار ولتاژ به 350، تابع FB1 توان راکتیو را مطابق خط (چ) با سرعت بالا تزریق می کند. با توجه به عدم تغییر ولتاژ و تنظیم دروپ توان راکتیو توان خروجی آن در این پله در 40 درصد ثابت گردیده است.

در گام بعدی مقدار ولتاژ به 370 ولت می رسد. در این حالت نیز توان راکتیو مطابق خط (د) و با توجه به تنظیمات دروپ آن در سطح اپراتوری 40 درصد دیگر افزایش پیدا می کند. در این حالت بر خلاف حالت قبلی با توجه به اینکه مقدار ولتاژ در محدوده مجاز می باشد سرعت تزریق توان در مقایسه با حالت اول کمتر می باشد.

مطابق شکل 5-18 با اعمال ولتاژ به مقادیری در محدوده نامی آن از جمله 380، 390 و 399، مطابق خط (ر) در شکل 5-19 کنترل کننده تغییری در توان راکتیو خروجی ایجاد نمی کند.

با اعمال ولتاژ به مقدار 410 ولت مطابق خط (ژ) توان راکتیو شروع به کاهش کرده و این کاهش تا زمان اعمال مجدد ولتاژ به 380 ولت ادامه یافته و در خط (ه) ثابت می گردد.

نتیجه گیری:

در این مقاله در پاسخ به نیاز ریزش شبکه ها به کنترل کننده های مطمئن، از PLC برای کنترل ژنراتورها در کنار باتری ها در حالت جزیره ای استفاده شد به طوری که کنترل کننده طراحی شده قادر است فرآیند بهره برداری از این ریزش شبکه ها را اتوماسیون سازی می کند. برنامه نویسی در پردازشگر PLC برای کنترل ریزش شبکه به صورت ساختار یافته صورت پذیرفت به طوری که منطق کنترلی ژنراتور و باتری هر کدام در یک تابع جداگانه پیاده سازی گردید که امکان فراخوانی آن ها را بر حسب تعداد و ساختار ریزش شبکه های مختلف فراهم می کند. در تابع کنترلی ژنراتورها با استفاده از کلاک پالس های موجود در CPU دو نوع کنترل PI کند و سریع طراحی گردید به طوری که در انحراف های مجاز ولتاژ و فرکانس کنترل PI کند و در انحراف های فراتر از حد مجاز کنترل PI سریع نسبت به باز یابی مقادیر ولتاژ و فرکانس عمل می کنند. خروجی نرم افزار WinCC که یک سیستم اسکادا صنعتی می باشد نشان داد که زمانی که فرکانس زیر 49.75 و ولتاژ زیر 360 ولت می باشد تغییرات توان های اکتیو و راکتیو با سرعت بالا و در بازه های 0.2 ثانیه صورت می گیرد و زمانی که مقادیر فرکانس و ولتاژ در محدوده نامی می باشد تغییرات توان با سرعت کمتری و در بازه های زمانی 0.8 ثانیه انجام می گیرد. شبیه ساز PLC در نرم افزار سیماتیک منیجر نیز نشان داد که تابع کنترلی باتری ها که در هر دو حالت جزیره ای و متصل به شبکه کارایی دارند زمانی که فرکانس بیشتر و یا مساوی 50.1 می باشد باتری ها را با رعایت قید SOC شارژ کرده و زمانی که اینورترها با تزریق حداکثر توان نامی خود یا حداکثر توان مشخص شده از طرف بهره بردار قادر به باز یابی فرکانس در مدت زمان مشخص نمی باشند باتری ها با رعایت قید سطح شارژ خود به ریزش شبکه انرژی تزریق می کنند.

مراجع

- Borazjani, P. and A. Wahab (2014). "Noor Izzri & Hizam, Hashim & che soh, Azura.(2014)." A review on Microgrid control techniques: 749-753.
- Chanda, S. and A. K. Srivastava (2016). "Defining and enabling resiliency of electric distribution systems with multiple microgrids." IEEE Transactions on Smart Grid **7**(6): 2859-2868.
- Kermani, M., D. L. Carni, S. Rotondo, A. Paolillo, F. Manzo and L. Martirano (2020). "A nearly zero-energy microgrid testbed laboratory: Centralized control strategy based on scada system." Energies **13**(8): 2106.
- Kim, Y.-S., E.-S. Kim and S.-I. Moon (2015). "Frequency and voltage control strategy of standalone microgrids with high penetration of intermittent renewable generation systems." IEEE Transactions on Power systems **31**(1): 718-728.
- Lasseter, B. (2001). Microgrids [distributed power generation]. 2001 IEEE power engineering society winter meeting. Conference proceedings (Cat. No. 01CH37194), IEEE.
- Lasseter, R. H. (2002). Microgrids. 2002 IEEE power engineering society winter meeting. Conference proceedings (Cat. No. 02CH37309), IEEE.
- Lopes, J. P., C. L. Moreira and A. Madureira (2006). "Defining control strategies for microgrids islanded operation." IEEE Transactions on power systems **21**(2): 916-924.
- Meng, L., M. Savaghebi, F. Andrade, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero and M. Graells (2015). Microgrid central controller development and hierarchical control implementation in the intelligent microgrid lab of Aalborg University. 2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), IEEE.
- Nguyen, T.-T., H.-J. Yoo and H.-M. Kim (2017). "A droop frequency control for maintaining different frequency qualities in a stand-alone multimicrogrid system." IEEE Transactions on Sustainable Energy **9**(2): 599-609.
- Pal, P., A. Parvathy, K. Devabalaji, S. J. Antony, S. Ochame, T. S. Babu, H. H. Alhelou and T. Yuvaraj (2021). "IoT-based real time energy management of virtual power plant using PLC for transactive energy framework." IEEE Access **9**: 97643-97660.
- Ray, P. and M. Biswal (2020). Microgrid: operation, control, monitoring and protection, Springer.
- Riverso, S., F. Sarzo and G. Ferrari-Trecate (2014). "Plug-and-play voltage and frequency control of islanded microgrids with meshed topology." IEEE Transactions on Smart Grid **6**(3): 1176-1184.
- Sadabadi, M. S. (2020). "Line-Independent Plug-and-Play Voltage Stabilization and \mathcal{L}_2 Gain Performance of DC Microgrids." IEEE Control Systems Letters **5**(5): 1609-1614.
- Schiffer, J., T. Seel, J. Raisch and T. Sezi (2015). "Voltage stability and reactive power sharing in inverter-based microgrids with consensus-based distributed voltage control." IEEE Transactions on Control Systems Technology **24**(1): 96-109.
- Sitompul, S. and G. Fujita (2020). Implementation of BESS Load Frequency Control in Islanded Microgrid System by Considering SOC. 2020 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe).

Generator and battery control strategy in microgrids using PLC

Mahmoud Hazhir

Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

itshazhir@gmail.com

Abstract:

Expanding the use of distributed generation resources introduced the concept of microgrids as a solution for aggregating these resources and connecting them to power systems. Therefore, like classical power systems, microgrids require a control system that can maintain voltage and frequency values in an island mode within the permitted limits and balance generation and energy consumption in the microgrid. In this paper, in response to this need, PLC, which is a well-known controller in industrial processes, is used to control the microgrid, and the control functions related to the generator and also the battery are implemented in its software. WinCC software, an industrial SCADA and monitoring system, is used to evaluate the controller's ability to achieve the desired output.

Key Words: Microgrid, PLC, Voltage and Frequency control, SOC