Vol. 4, No. 11, Jul-Sep 2024,(1-13)

Journal of New Achievements in Electrical, Computer and Technology (JNAECT)

مجله دستاوردهای نوین در برق،کامپیوتر و فناوری

دوره ۴، شماره ۱۱، تابستان ۱۴۰۳ (۱۳-۱)

journal homepage: https://jnaect.ir

طراحی کنترل‌کننده مقاوم در برابر خطا برای ریزشبکه‌ها با استفاده از PLC

محمود هژیر

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

itshazhir@gmail.com

چکیده:

طراحی کنترل‌کننده برای ریزشبکه‌ها یک موضوع چالش برانگیز است زیرا کنترل ریزشبکه علاوه بر پیچیدگی‌هایی که دارد در مقابل خطاها بسیار حساس بوده و در چنین شرایطی متحمل خسارت‌های سنگین می‌گردد. با توجه به اینکه وقوع خطاها در فرآیندهای کنترلی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد و از طرفی هرگونه خطا در دریافت داده‌ها و اشتباه در انجام محاسبات خسارت سنگینی به بازیگران ریزشبکه وارد می‌کند، کنترل‌کننده آن باید مقاوت لازم در برابر خطاها را داشته باشد و ریزشبکه را به شرایط امن هدایت کند. در همین راستا در این مقاله با استفاده از PLC که قابلیت آن در کنترل فرآیندهای صنعتی مورد پذیرش همگان است،یک سیگنال ACE که شامل دو مجموعه حافظه برای تشخیص نوع خطا و آدرس به وقوع پیوستن آن می‌باشد فرمول بندی و معرفی می‌گردد و توسط آن برنامه کنترلی ریزشبکه به بلوک‌های با اولویت اجرای بالاتر منتقل می‌شود و با اجرای برنامه‌های واکنش سریع از سرایت خطا به قسمت‌های سالم ریزشبکه جلوگیری کرده و از توقف پردازشگر جلوگیری می‌کند. برای ارزیابی قابلیت سیگنال ACE معرفی شده در PLC از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز PLC و همچنین متلب بهره برده می‌شود.

واژگان کلیدی: ریزشبکه، PLC، سیگنال ACE، برنامه‌ریزی خطا.

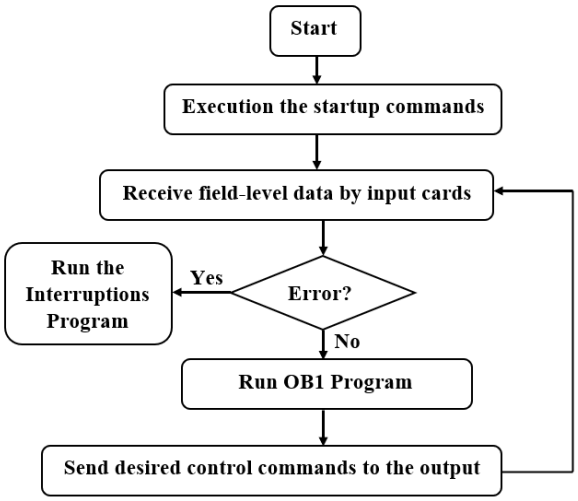
1- مقدمه

گسترش روزافزون تقاضا برای مصرف انرژی در جهان باعث نفوذ گسترده منابع تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت شده است و این منابع به تدریج جایگزین منابع فسیلی خواهند شد. نفوذ روزافزون منابع تجدیدپذیر که خروجی ناپایدار دارند باعث ایجاد نوسان در ولتاژ و فرکانس شبکه می‌گردد (Chanda & Srivastava, 2016; Kim et al., 2015; Nguyen et al., 2017) ازاینرو مفهوم ریزشبکه به عنوان راه‌حلی موثر برای تجمیع این منابع معرفی گردید (Huang et al., 2021) تا ضمن استفاده بهینه و موثر از منابع پراکنده (Meng et al., 2015)، به کارگیری و اتصال آن‌ها در شبکه‌های قدرت نیز هموار گردد (Yang et al., 2021). در کنار قابلیت ریزشبکه در تجمیع منابع پراکنده ریزشبکه‌ها قابلیت اطمینان بالایی نیز ایجاد می‌کنند که این موضوع باعث شده ریزشبکه‌ها به یک موضوع پرطرفدار تبدیل شوند (Ortiz et al., 2020).

با ظهور و توسعه PLC[1] 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 از جمله کنترل ریزشبکه بپردازد.

شکل1 سیکل اسکن پردازشگر PLC را نشان می‌دهد که شامل فرآیند دریافت و جمع‌آوری داده‌ها از کارت‌های ورودی، پردازش آن و ارسال سیگنال‌های مطلوب به کارت‌های خروجی می‌باشد. مطابق شکل1در ابتدا با راه اندازی PLC داده‌های دریافتی از سوییچ‌ها و سنسورهای دیجیتال و آنالوگ که به کارت‌های ورودی متصل هستند خوانده شده و به شرط نبود خطا برنامه ایجاد شده توسط کاربر اجرا می‌گردد و مطابق آن فرمان‌های کنترلی مطلوب به کارت‌های خروجی PLC ارسال می‌شود.

[1] Programmable Logic Controller



شکل 1 سیکل پردازش در PLC

انتخاب کنترل‌کننده برای ریزشبکه یک موضوع حساس و چالش برانگیز می‌باشد زیرا خطری که بازیگران ریزشبکه را تهدید می‌کند وقوع خطاهای مختلف در بخش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌باشد. به طور کلی خطاهایی که کنترل‌کننده ریزشبکه را تهدید می‌کند در 3 ناحیه اتفاق می‌افتدند:

1- تجهیزات اندازه‌گیری

2- پردازشگر

3- اپراتوری

تجهیزات اندازه‌گیری از جمله سنسورها در سطح فیلد ریزشبکه دائما در معرض خرابی بوده و با ارسال داده‌های غلط باعث اشتباه در انجام محاسبات پردازشگر می‌شوند. همچنین خود پردازشگر در سطح کنترل نیز می‌تواند دچار خطاهای گوناگونی شود که باعث توقف پردازش می‌شود. کاربر نیز می‌تواند در برنامه‌ریزی و یا نصب تجهیزات دچار اشتباه شده و باعث توقف پردازشگر شود. وقوع هر کدام از این خطاها که نمونه آن‌ها در جدول 1 آورده شده است باعث توقف CPU شده و در نتیجه ریزشبکه را بدون کنترل‌کننده رها می‌کند و باعث ایجاد خسارت‌های سنگین به بازیگران ریزشبکه می‌شود.

جدول1 خطاهای محتمل در بخش‌های مختلف

	نوع خطا	نمونه
1	خطای زمانی	افزایش زمان سیکل اسکن از حد مجاز
2	خطا در منبع تغذیه	خطا در باتری پشتیبان
3	Diagnostic interrupt	قطعی سیم یا اتصال کوتاه شدن ورودی
4	حذف یا اضافه شدن ماژول	برداشتن ماژول حین بهره‌برداری
5	خطا در سنسورها	ارسال سطح سیگنال غیرقابل قبول
6	خطای پردازشی	بروز اشکال در حافظه
7	خطای ارتباطی	بروز اشکال در شبکه پروفی باس
8	خطای برنامه‌نویسی	اشتباه کاربر در آدرس‌دهی

بنابراین مهمترین نکته در طراحی کنترل‌کننده قابلیت آن در کنترل و مدیریت خطا می‌باشد به طوری که با وقوع خطاها کنترل‌کننده طراحی شده قادر باشد بهره‌برداری امن از ریزشبکه را ادامه دهد.

با توجه به اینکه عملکرد موفق ریزشبکه وابسته به سیستمی کارآمد برای ارتباطات می‌باشد (Ray & Biswal, 2020) ریزشبکه‌ها نیز مانند شبکه‌های قدرت بزرگ برای بهره‌برداری بهینه نیاز به اطلاع از پارامترهای شبکه دارند. بر همین اساس پژوهش‌های مختلفی درباره سیستمی که بتواند ریزشبکه را پایش کرده و تصمیمات مقتضی را در شرایط مختلف بگیرد انجام شده است. برای مثال در (Kermani et al., 2020) برای کنترل ریزشبکه در حالت جزیره‌ای از PLC استفاده شده و ریزشبکه مورد بررسی در طول سال تقریبا هیچ‌گونه تبادل انرژی با شبکه بالادست ندارد. بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه طراحی کنترل‌کننده مقاوم برای ریزشبکه در حوزه‌های حملات سایبری و اهداف کنترلی می‌باشد برای مثال در (Xie & Wu, 2023) به طراحی کنترل‌کننده مقاوم در برابر داده‌های نادرست ناشی از حمله سایبری می‌پردازد به طوری که کنترل‌کننده طراحی شده قادر است در زمان حملات سایبری به اهداف کنترلی خود بپردازد. در (Kilic, 2023) نیز برای ریزشبکه‌های ac در حالت جزیره‌ای کنترل‌کننده مقاوم در برابر خطا معرفی می‌گردد که کنترل توان اکتیو را در شرایط خطا با تولید مقدار مبنا جدید تضمین می‌کند.

با وجود پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه طراحی کنترل‌کننده‌ای که قادر باشد در مقابل خطاهای متداولی که در محیط‌های صنعتی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد، مقاوم باشد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از اینرو در این مقاله به استفاده از PLC که کنترل‌کننده‌ای با قابلیت‌های اثبات شده در صنعت می‌باشد به طراحی کنترل‌کننده‌ای پرداخته می‌شود که در برابر خطاهایی که در تجهیزات اندازه‌گیری و شبکه‌های ارتباطی و همچنین خود پردازشگر رخ دهد مقاوم باشد.

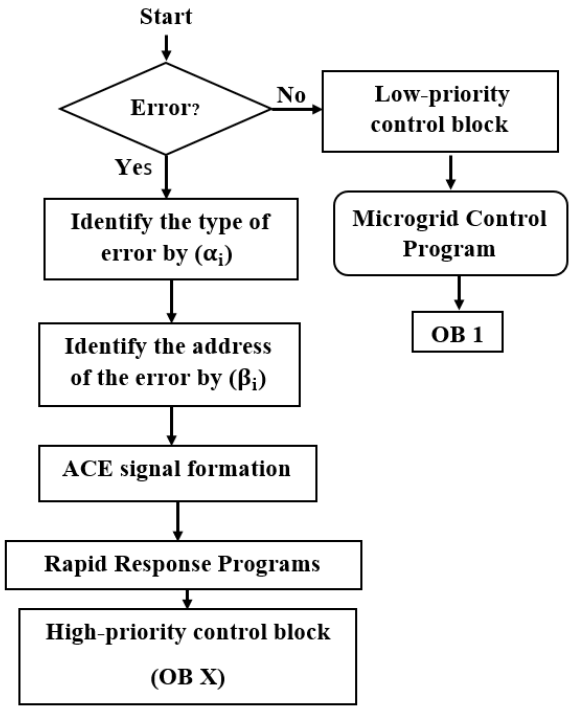
2- برنامه‌ریزی خطا

PLC برای بهره‌برداری و کنترل ایمن ریزشبکه نیاز به دریافت داده‌های درست از سنسورها و تجهیزات اندازه‌گیری دارد و هرگونه داده نادرست می‌تواند باعث تولید خروجی نامطلوب گردد. بعلاوه خود پردازشگر کنترل‌کننده نیز باید در شرایط سالم و بدون خطا کار کند در غیر اینصورت این خطاها که وقوع آن‌ها در بخش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد باعث توقف پردازش کنترل‌کننده می‌گردد. بنابراین مانند نرم‌افزار تخمین حالت SINAUT در مرکز دیسپاچینگ سیستم‌های قدرت بزرگ که داده‌های نادرست را تشخیص می‌دهد، برای اطمینان از بهره‌برداری صحیح ریزشبکه نیز، لازم است کنترل کننده آن قادر به تشخیص داده‌های غلط و شرایط خطا بوده و در چنین شرایطی ریزشبکه را به شرایط امن هدایت کرده و مانع از بروز خسارت‌های احتمالی شود.

برنامه‌نویسی در PLC و طراحی ساختار نرم‌افزاری کنترل‌کننده می‌تواند به صورت خطی و یا ساختاریافته انجام گیرد. در برنامه‌نویسی به روش خطی تمام منطق کنترلی پشت سر هم و در یک بلوک برنامه‌نویسی انجام می‌پذیرد. در ساختارهایی که به این شیوه برنامه‌نویسی می‌شوند در برابر خطا بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند و در نتیجه برای فرآیندهای حساس از جمله کنترل ریزشبکه کاربرد ندارند. در برنامه‌نویسی به روش ساختاریافته منطق کنترلی به قسمت‌های مختلف تقسیم‌بندی شده و هر بخش در یک بلوک جداگانه پیاده‌سازی می‌گردد. در ساختار نرم‌افزاری PLC چندین بلوک برنامه‌نویسی با درجه اولویت‌های متفاوت وجود دارد که هرکدام قادر هستند با وقوع خطای خاصی عملکرد CPU را برای مدت زمانی متوقف کنند. توسط این بلوک‌ها کنترل‌کننده قادر خواهد بود بدون ایجاد اختلال در بهره‌برداری از ریزشبکه، منطق کنترلی ریزشبکه در شرایط عادی را به طور موقت متوقف کرده و به انجام دستورات از قبل برنامه‌ریزی شده دیگری بپردازد و سیستم را به شرایط امن هدایت کند. به این ترتیب ساختار نرم‌افزاری کنترل‌کننده دارای

چندین بلوک با اولویت اجرای مختلف می‌شود که هرکدام در صورت وقوع خطای خاصی فراخوانی شده و به هدف جلوگیری از توقف CPU برنامه کنترلی در حالت عادی را متوقف می‌کنند.

شکل2 ساختار نرم‌افزاری کنترل‌کننده را نشان می‌دهد که مطابق آن برنامه کنترلی ریزشبکه در شرایط عادی بهره‌برداری در بلوک با کمترین درجه اولویت (بلوک OB1) کد نویسی می‌شود و در بلوک‌های با درجه اولویت بالاتر متناسب با نوع خطا برنامه‌های واکنش سریع پیاده‌سازی خواهد شد. از اینرو در صورت بروز خطا در بخش‌های مختلف بلوک‌های مربوط به خطا که درجه اولویت بالاتری دارند قادر خواهند بود برنامه کنترلی ریزشبکه در شرایط سالم را متوقف کنند و از آسیب رساندن به بازیگران ریزشبکه جلوگیری می‌شود و با هدایت ریزشبکه به شرایط ایمن قابلیت اطمینان ریزشبکه را افزایش داد. در صورتی که این بلوک‌ها وجود نداشته باشند، خطاها باعث توقف CPU شده و علاوه بر آسیب رساندن به بازیگران ریزشبکه، فرآیند عیب یابی و راه‌اندازی مجدد ریزشبکه نیازمند صرف زمانی است که هر لحظه آن از لحاظ اقتصادی و امنیتی برای بازیگران ریزشبکه زیان‌بار می‌باشد.



شکل 2 ساختار نرم‌افزاری کنترل‌کننده

مطابق شکل2 برنامه کنترلی ریزشبکه تا زمانی اعتبار دارد که خطایی در تجهیزات اندازه‌گیری ریزشبکه و همچنین خود کنترل‌کننده رخ نداده باشد و چنانچه برای نمونه خطایی در شبکه پروفی‌باس رخ داده و یا سیگنال‌های آنالوگ دریافتی دارای خطا باشند اجرای برنامه کنترلی متوقف شده و با توجه به نوع خطا به بلوک‌های با اولویت بالاتر منتقل می‌گردد و ناحیه خطا از ریزشبکه ایزوله می‌گردد. هدف از مدل سازی و برنامه‌نویسی خطاها دراین مقاله این است که نوع خطا و همچنین ناحیه به وقوع پیوستن آن توسط کنترل‌کننده شناخته شده و از توقف پردازشگر جلوگیری به عمل آمده و از سرایت خطا به قسمت‌های دیگر ریزشبکه جلوگیری شده به طوری که نواحی بدون خطا ریزشبکه بتوانند بدون وقفه مورد بهره‌برداری قرار بگیرند.

به همین منظور در گام نخست لازم است سیگنال ACE تشکیل شود تا با استفاده از آن اطلاعاتی درباره خطا و آدرس به وقوع پیوستن آن در اختیار پردازشگر PLC قرار بگیرد پردازشگر نیز با دریافت این سیگنال مطابق فلوچارت شکل 2، بلوک اصلی برنامه-ریزی (OB1) که دارای پایین‌ترین اولویت اجرا می‌باشد را کنار زده و به اجرای بلوک‌های از قبل برنامه‌ریزی شده مربوط به خطاها که اولویت اجرای بالاتری دارند می‌پردازد.

تمام بلوک‌های برنامه نویسی موجود در PLC دارای متغیرهای محلی می‌باشند که در شرایط های مختلف از جمله خطا کدهایی خاص را تولید می‌کنند. برای تشکیل سیگنال ACE از کدهای برگردان شده از متغیرهای محلی این بلوک‌ها بهره برده می‌شود به طوری که سیگنال ACE تولید شده شامل حافظه‌ای می‌باشد که مطابق رابطه 1 از دو مجموعه کد $F(\alpha_i)$ و$G(\beta_i)$ تشکیل می‌شود که در آن α_i و β_i متغیرهای محلی در بلوک‌های مربوط به خطاها می‌باشند که به ترتیب مجموعه‌ای از کدها را در ارتباط با نوع خطا iام و آدرس به وقوع پیوستن آن‌را برمی‌گردانند.

$$ACE = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} [(F(\alpha_i) + G(\beta_i)]_j \times \rho_{ij} \quad (1)$$

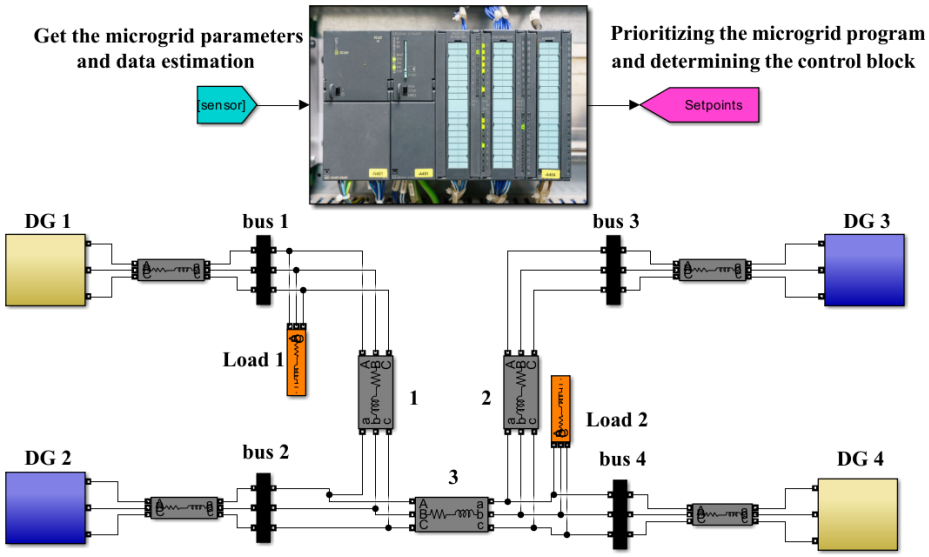
$$\rho_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{وقوع خطای iام در ناحیه jام} \\ 0 & \text{عدم وقوع خطای iام در ناحیه jام} \end{cases} \quad (2)$$

$$j = [1,2,3,\ldots, n] \quad (3)$$

$$i = [1,2,3,\ldots, m] \quad (4)$$

3- بررسی نتایج

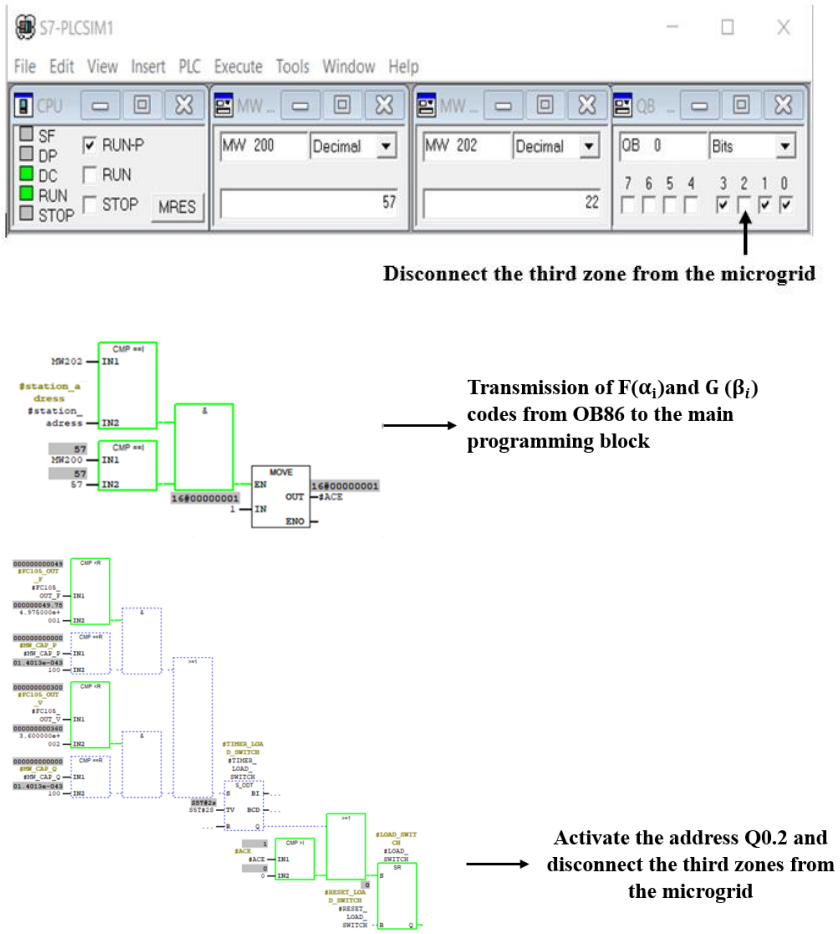
برای بررسی کارآمدی کنترل‌کننده و سیگنال ACE تعریف شده در این مقاله از ریزشبکه نشان داده شده در شکل 3 استفاده می‌شود که مطابق آن چهار منبع تولید پراکنده از طریق سه خط به یکدیگر متصل شده‌اند. یکی از خطاهای متداولی که برای کنترل‌کننده‌های متمرکز رخ می‌دهد و در واقع نقطه ضعف این نوع کنترل‌کننده‌ها می‌باشد وقوع خطای ارتباطی بین مرکز کنترل و بازیگران ریزشبکه می‌باشد از اینرو فرض می‌گردد ناحیه سوم از ریزشبکه آزمایش در لحظه $t = 0.5s$ دچار خطا در شبکه پروفی‌باس شده و تبادل داده بین منبع موجود در ناحیه سوم با PLC دچار اشکال می‌گردد.



شکل 3 ریزشبکه آزمایش

در این حالت چنانچه خطا توسط پردازشگر تشخیص داده نشود و رویکرد کنترلی مشخصی در مواجه با آن وجود نداشته باشد پردازشگر PLC به حالت توقف رفته و ریزشبکه بدون هیچ کنترل‌کننده‌ای رها می‌شود و یا کل ریزشبکه بی‌برق می‌گردد که این موضوع آسیب بزرگی به بازیگران ریزشبکه وارد می‌کند. در این مقاله اما مطابق شکل4 که شبیه سازی انجام شده در نرم‌افزار Simatic Manager می‌باشد با وقوع خطای پروفی‌باس در ناحیه سوم بلوک OB86 که مربوط به خطای ارتباطی است و دارای اولویت اجرای بالاتری نسبت به برنامه کنترلی در حالت عادی می‌باشد، فراخوانی شده و تابع $F(\alpha_i)$ کد 57 را از متغیر محلی خود به حافظه MW200 در OB1 انتقال داده و تابع $G(\beta_i)$ نیز کد22 که معرف آدرس ایستگاه سوم ریزشبکه آزمایش می‌باشد را به حافظه MW202 در OB1 انتقال داده و با تشکیل سیگنال ACE ناحیه خطا توسط پردازشگر از ریزشبکه آزمایش جدا می‌گردد.

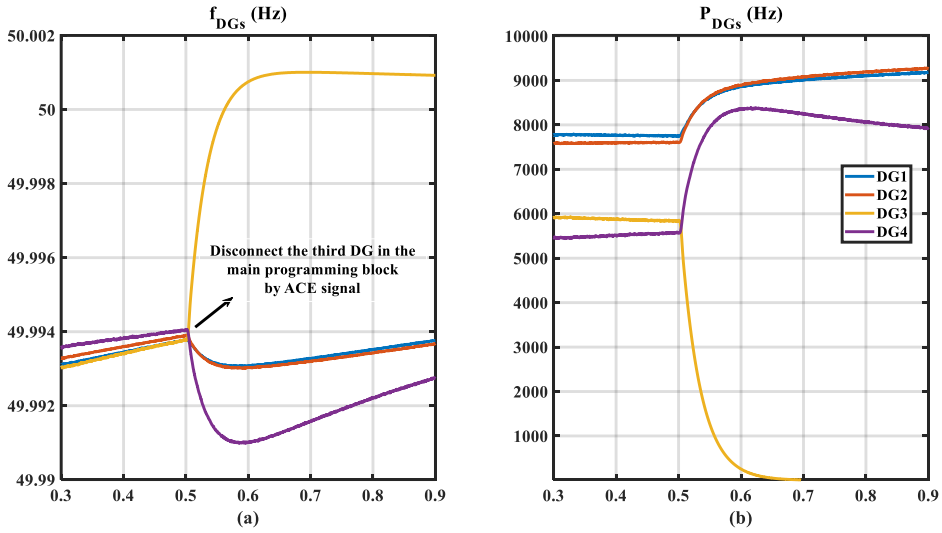
$$F(\alpha_i) = \begin{cases} 56 & \text{رفع خطا} \\ 57 & \text{وقوع خطا} \end{cases} \qquad (5)$$



شکل 4 قطع ناحیه سوم از ریزشبکه توسط PLC با تشکیل سیگنال ACE

شکل5 واکنش بازیگران ریزشبکه را در زمان وقوع خطای پروفی‌باس نشان می‌دهد که مطابق آن با ایجاد خطا در ناحیه سوم، اینورتر موجود در ناحیه سوم از ریزشبکه ایزوله شده و فرکانس آن به مقدار نامی خود رسیده و منتظر دریافت کد56 و وصل مجدد به ریزشبکه آزمایش می‌گردد. با خطای ایجاد شده در شبکه پروفی‌باس و خروج ناحیه سوم در لحظه $t = 0.5s$ توسط سیگنال ACE سه ناحیه دیگر ریزشبکه مطابق نمودار شکل 5 نسبت به جبران کمبود توان ازدست رفته با توجه به ضریب دروپشان اقدام می‌کنند. بر همین اساس کنترل کننده با تشخیص خطای ایجاد شده در ناحیه سوم بدون توقف در بهره‌برداری از ریزشبکه توان هر کدام از سه ناحیه دیگر که بدون خطا هستند را مطابق نمودار6 افزایش می‌دهد به طوری که توانی که تا قبل از

$t = 0.5s$ توسط ناحیه سوم که تامین می‌شد بعد از آن توسط سه ناحیه دیگر تامین می‌شوند. بنابراین با اضافه کردن سیگنال ACE معرفی شده به رویکرد سلسله مراتبی در کنترل ریزشبکه می‌توان با استفاده از PLC کنترل‌کننده‌ای مقاوم برای ریزشبکه طراحی کرد به طوری که با وقوع خطا کنترل‌کننده آن همچنان قادر به بهره‌برداری امن از آن باشد.



شکل 4 واکنش بازیگران به خروج ناحیه سوم از ریزشبکه: الف) تغییرات فرکانس ب) تغییرات توان اکتیو

نتیجه‌گیری:

در این مقاله با بهره‌گیری از PLC به طراحی کنترل‌کننده مقاوم در برابر خطا پرداخته شد به طوری که وقوع خطا در ناحیه‌های مختلف ریزشبکه باعث توقف پردازشگر PLC نشده و بهره‌برداری امن از ریزشبکه ادامه یابد. برای این کار ساختار نرم‌افزاری کنترل‌کننده به چندین بلوک با اولویت اجرای متفاوت تقسیم‌بندی گردید و برنامه کنترلی در شرایط عادی بهره‌برداری در بلوک با کمترین اولویت اجرا قرار گرفت به طوری که بلوک‌های مربوط به برنامه خطاها که دارای اولویت اجرای بالاتری هستند قادر هستند برنامه کنترلی عادی ریزشبکه را متوقف کنند. برای این کار یک سیگنال ACE با استفاده از

متغیرهای محلی موجود در بلوک‌های مربوط به خطاها معرفی گردید که قادر است نوع خطا و آدرس به وقوع پیوستن آن در ریزشبکه را برای پردازشگر شناسایی کرده و با ارجاع برنامه عادی کنترلی به برنامه‌های واکنش سریع ناحیه خطا از ریزشبکه را ایزوله کند.

یکی از خطاهای محتمل در فرآیند کنترلی ریزشبکه وقوع خطای در شبکه پروفی‌باس می‌باشد که ارتباط بین ناحیه‌های ریزشبکه را با مرکز کنترل دچار اشکال می‌کند. نتایج شبیه‌سازی انجام شده نشان داد که سیگنال ACE تعریف شده خطا و آدرس آن را برای کنترل‌کننده مشخص کرده و PLC نیز با ایزوله کردن ناحیه خطا از ریزشبکه از توقف CPU جلوگیری کرده و بهره‌برداری از ریزشبکه را با منابع دیگر ادامه می‌دهد و توانی که قبلا توسط ناحیه خطا تامین می‌شد توسط ناحیه‌های سالم جبران می‌گردد.

مراجع

Chanda, S., & Srivastava, A. K. (2016). Defining and enabling resiliency of electric distribution systems with multiple microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *7*(6), 2859-2868.

Huang, M., Ding, L., Li, W., Chen, C.-Y., & Liu, Z. (2021). Distributed observer-based H∞ fault-tolerant control for DC microgrids with sensor fault. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, *68*(4), 1659-1670.

Kermani, M., Carnì, D. L., Rotondo, S., Paolillo, A., Manzo, F., & Martirano, L. (2020). A nearly zero-energy microgrid testbed laboratory: Centralized control strategy based on scada system. *Energies*, *13*(8), 2106.

Kilic, H. (2023). Distributed cooperative fault tolerant optimal active power control in AC microgrid. *ISA transactions*, *142*, 98-111.

Kim, Y.-S., Kim, E.-S., & Moon, S.-I. (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.

Meng, L., Savaghebi, M., Andrade, F., Vasquez, J. C., Guerrero, J. M., & Graells, M. (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),

Nguyen, T.-T., Yoo, H.-J., & Kim, H.-M. (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.

Ortiz, L., González, J. W., Gutierrez, L. B., & Llanes-Santiago, O. (2020). A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids. *Heliyon*, *6*(8).

Ray, P., & Biswal, M. (2020). *Microgrid: operation, control, monitoring and protection*. Springer.

Xie, Z., & Wu, Z. (2023). Distributed fault-tolerant secondary control for DC microgrids against false data injection attacks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *144*, 108599.

Yang, Y., Yang, P., Lin, W., Li, Z., & Lu, G. (2021). A decentralized control for Non-error frequency regulation in an islanded microgrid containing multiple VSGs. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *133*, 107337. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107337

Fault-tolerant controller design for microgrids using PLC

Mahmoud Hazhir

Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

itshazhir@gmail.com

Abstract:

Designing a microgrid controller is challenging because microgrid control and its complexity are susceptible to errors. In such conditions, microgrid players are exposed to damage. Considering that the occurrence of errors in control processes is inevitable and on the other hand, any faults in receiving data and miscalculation cause heavy damage to microgrid players, its controller should have resistance against faults and guide the microgrid to safe conditions. In this paper, by using a PLC processor, whose ability to control industrial processes is accepted by everyone, an ACE signal, which includes two sets of memory to detect the type of error and the address of its occurrence, is formulated and introduced. By that microgrid control program under normal operations is transferred to the blocks with higher execution priority, and by executing rapid response programs, it prevents the spread of the error to the other parts of the microgrid and prevents the processor from stopping. To evaluate the introduced ACE signal, PLC simulator software as well as MATLAB are used.

Keywords: Microgrid, PLC, ACE Signal, Error Programming