Vol. 4, No. 12, Oct-Dec 2024,(13-26)

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

مجله دستاوردهای نوین در برق،کامپیوتر و فناوری

دوره ۴، شماره ۱۲، پاییز ۱۴۰۳ (۲۶-۱۳)

journal homepage: https://jnaect.ir

ارزیابی قابلیت‌های سخت افزاری و نرم افزاری PLC برای بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها

محمود هژیر[۱] کاوه نامووران[۲]

[1]- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کنترل، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، itshazhir@gmail.com

[2]- کاوه نامووران، دانشگاه آزاد واحد تویسرکان، همدان، ایران، Kaveh_namvaran@yahoo.com

چکیده:

با افزایش نفوذ منابع تجدیدپذیر سیستم‌های قدرت در آینده به صورت ریزشبکه‌هایی پراکنده از هم در خواهند آمد که با شبکه بالادست در ارتباط می‌باشند. از همین رو همانند مرکز دیسپاچینگ در سیستم های قدرت کلاسیک، ریزشبکه‌ها نیز به سیستم کنترلی نیاز دارند که قادر باشد فرآیند کنترلی ریزشبکه را هوشمند ساخته و تمام نیازهای بهره‌بردار را در سطوح مختلف برآورده سازد. کنترل کننده ریزشبکه برای بهره برداری موثر از آن باید هم از جنبه سخت افزاری و هم از جنبه نرم افزاری ساختاری ماژولار داشته باشد تا بتواند با شرایط مختلف بهره‌برداری از ریزشبکه تطبیق یابد. با توجه به حساسیت بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها کنترل‌کننده آن باید قادر باشد خطاهای مختلف در فرآیند کنترلی که وقوع آن‌ها اجتناب ناپذیر می‌باشند و موجب خسارت‌های سنگین به بازیگران ریزشبکه می‌شوند را مدیریت کرده و ریزشبکه را به شرایط امن هدایت کند. PLC که بیشتر در فرآیندهای صنعتی به کار برده می‌شود و قابلیت های آن در حوزه صنعتی اثبات شده می باشد قابلیت دریافت طیف وسیعی از داده‌ها را داشته و پردازشگر آن قادر خواهد بود با کنترل انواع حلقه‌ها، به اتوماسیون سازی انواع فرآیندهای کنترلی از جمله کنترل ریزشبکه نیز بپردازد. در این مقاله پردازشگر PLC به عنوان مغز متفکر فرآیند کنترل ریزشبکه مورد بررسی قرار گرفته و قابلیت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن برای کنترل ریزشبکه مورد بررسی می‌گردد.

واژگان کلیدی: ریزشبکه، پردازشگر PLC، شبکه پروفی‌باس، خطا

1- مقدمه

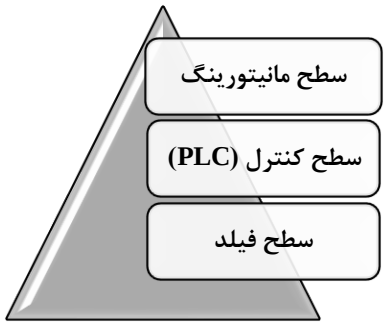
گسترش نفوذ منابع پراکنده تجدیدپذیر در محدوده توان‌های ده تا صد کیلووات در سطح شبکه‌های فشار ضعیف (Lopes et al., 2006) باعث ایجاد نوسان در ولتاژ و فرکانس شبکه می‌گردد (Chanda & Srivastava, 2016; Kim et al., 2015; Nguyen et al., 2017). از اینرو برای تجمیع این منابع پراکنده به همراه بارهای محلی مفهوم ریزشبکه برای اولین بار در (Lasseter, 2001; Lasseter, 2002) ارائه گردید تا ضمن استفاده بهینه و موثر از منابع پراکنده (Meng et al., 2015)، به کارگیری آن‌ها نیز در شبکه‌های قدرت هموار گردد (Schiffer et al., 2015). هرچند تاکنون تعریف مشخصی برای ریزشبکه ارائه نشده است (Guoping et al., 2018) اما ریزشبکه را می‌توان به صورت یک شبکه قدرت کوچک و یا محلی تعریف کرد که قابلیت آن را دارد که هم به صورت متصل به شبکه و هم به صورت جزیره‌ای مورد بهره‌برداری قرار گیرد (Kumar & Tyagi, 2017).

با ظهور و توسعه PLC[3] در اوایل دهه 1970، پردازشگرهای میکروپروسسوری جایگزین سیستم‌های رله کنتاکتوری شده و افق جدیدی به روی سیستم‌های کنترلی گشوده شد(Jack, 2009). 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.

هرچند معماری کلی PLC مشابه پردازشگرهای صنعتی متداول می‌باشد با این حال ساختار PLC دارای ویژگی‌هایی است که آن را با کامپیوترهای صنعتی و دیگر ریزپردازنده‌ها متفاوت می‌کند. نخست آنکه PLC به دلیل ساختار صنعتی که دارد نسبت به سیستم های مبتنی بر کامپیوتر ایمن‌تر می‌باشد. همچنین یکی از ملزومات مهم کنترل‌کننده برای مهار ریزشبکه‌ها امکان اتصال با سیستم‌های جانبی از جمله سیستم اسکادا جهت مدیریت و مانیتور کردن بازیگران و تجهیزات می‌باشد که در همین رابطه PLC می‌تواند دامنه وسیعی از پورت‌ها و پروتکل‌های صنعتی را پوشش دهد.

به طور کلی فرآیند اتوماسیون سازی در هر فرآیند صنعتی و از جمله فرآیند مهار ریزشبکه را می‌توان به سه لایه تقسیم‌بندی کرد. این سه لایه مطابق شکل1 ساختاری شبیه به هرم دارد به طوری که هر کدام از لایه‌ها وابسته به هم بوده و با یکدیگر ارتباط دوسویه دارند و هر چه از سطح پایین‌تر یعنی سطح فیلد به سطح بالاتر می‌رویم تعداد تجهیزات کمتر شده و تمرکز داده‌ها بیشتر می‌شود.

[1] Programmable Logic Controller



شکل1 سطوح سه‌گانه فرآیند اتوماسیون سازی مهار ریزشبکه

پایین‌ترین سطح مربوط به اتوماسیون، سطح فیلد بوده و لایه‌ای است که در آن تجهیزات اندازه‌گیری از جمله سنسورها و عملگرها قرار می‌گیرند. زمان دسترسی به داده‌ها در این سطح در بازه میلی‌ثانیه بوده و از اینرو برای کارآمدی سطح کنترل لازم است این دو سطح توسط شبکه‌ای مرتبط گردند که توانایی جابه‌جایی به‌هنگام داده‌ها را داشته باشد.

لایه بعدی که در بالای سطح فیلد قرار می‌گیرد سطح کنترل بوده که مغز متفکر پیشنهادی آن در این مقاله پردازنده PLC می‌باشد. در این سطح با استفاده از داده‌ها و بازخوردهای سطح فیلد، کنترل‌کننده به تنظیم خروجی‌ها می‌پردازد.

بالاترین لایه مربوط به مانیتورینگ فرآیند و تجهیزات HMI[4] است. در این سطح اپراتور قادر خواهد بود از وضعیت پارامترهای ریزشبکه در هر لحظه با خبر شده و در صورت لزوم نسبت به تغییر وضعیت آن‌ها اقدام کند.

فرآیند اتوماسیون سازی در هر فرآیندی نیازمند دربرگیری تمام این لایه‌ها بوده و اشکال و عدم توجه به هر کدام از این لایه‌ها طرح کنترلی را ناکارآمد می‌کند. از اینرو کنترل‌کننده برای اتوماسیون سازی در کنترل ریزشبکه باید قادر باشد شرایط لازم هر سه لایه را برآورده کرده و با ایجاد هماهنگی بین لایه‌ها، اهداف کنترلی مطلوب را محقق سازد.

2- ادبیات موضوع

ریزشبکه‌ها نیز مانند سیستم‌های قدرت کلاسیک نیاز به داده‌های به هنگام شبکه دارند (Ray & Biswal, 2020) زیرا عملکرد موفق آن‌ها به صورت شبکه توزیع فعال، وابسته به سیستمی کارآمد برای ارتباطات می‌باشد (Ray & Biswal, 2020). بر همین اساس پژوهش‌های مختلفی درباره سیستمی که بتواند ریزشبکه را پایش کرده و تصمیمات مقتضی را در شرایط مختلف بگیرد انجام شده است.

[4] Human Machine Interface

در (Kermani et al., 2020) استفاده از SCADA در ریزشبکه‌ها را راه‌حل مناسبی در مدیریت و حل چالش‌های سیستم‌های توزیع از جمله بهره‌وری پایین معرفی کرده و همچنین موفقیت و گسترش ریزشبکه‌ها را مدیون سیستم‌های SCADA مخابراتی می‌داند. در این مرجع یک ریزشبکه واقعی که در دانشگاه رم نصب شده است را مورد آزمایش قرار می‌دهد و با استفاده از دو طرح کنترلی در حالت‌های متصل به شبکه و جزیره‌ای، توازن انرژی را به خوبی برقرار می‌کند و نشان می‌دهد با این کار بهره‌وری و بازدهی سیستم‌های توزیع فعال افزایش می‌یابد. در این طرح در حالت جزیره‌ای از PLC استفاده شده و ریزشبکه گفته شده با این طرح درطول سال مورد بررسی تقریبا هیچ‌گونه تبادل انرژی با شبکه بالادست ندارد.

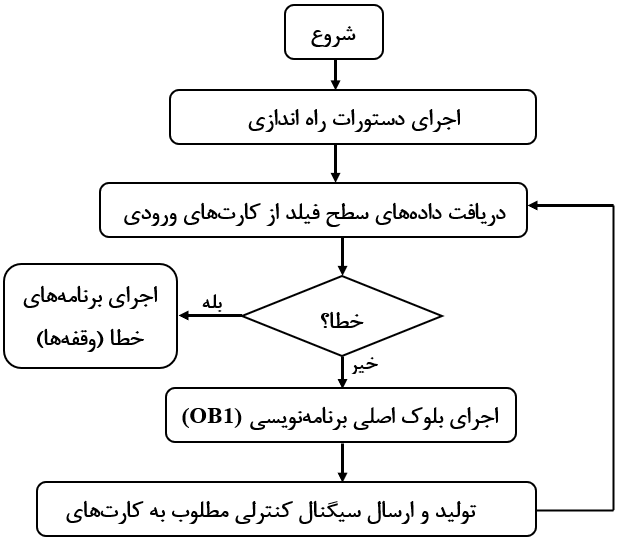
در (Ndukwe et al., 2020) برای یک ریزشبکه کوچک و دوردست یک سیستم SCADA ارزان قیمت معرفی می‌شود که دریافت پارامترهای الکتریکی نظیر جریان و ولتاژ سیستم را دریافت کرده و در بستر کانال‌های مخابراتی به کنترل‌کننده ارسال می‌کند.

در (Pal et al., 2021) با استفاده از PLC سیستمی برای مدیریت هوشمند انرژی در نیروگاه مجازی ایجاد شده است. هدف در این طرح شرکت موثر منابع حاضر در نیروگاه مجازی در بازار برق می‌باشد. دراین طرح توان مبادله شده منابع تولیدی با شبکه در چهار سناریو بررسی شده و در نهایت سودآوری هر یک از این سناریوها اثبات می‌شود. در (Tarnawski et al., 2022) نیز با استفاده از الگوریتم‌های خاص نشان داده می‌شود که منطق‌های کنترلی پیچیده نیز قابلیت پیاده سازی در پردازشگر PLC را دارند و این کنترل‌کننده از لحاظ حافظه و محدودیت‌های زمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با وجود پژوهش‌های فراوان در زمینه کنترل ریزشبکه، کنترل‌کننده‌ای که قادر به پیاده‌سازی اهداف کنترلی ریزشبکه باشد حلقه مفقوده بسیاری از پژوهش‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه PLC بیشتر در فرآیندهای صنعتی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و دارای قابلیت‌های اثبات شده در حوزه فرآیندهای صنعتی می‌باشد، این قابلیت را نیز دارد که برای ریزشبکه‌ها نقش کنترل‌کننده را ایفا کند. از اینرو در این مقاله به بررسی قابلیت‌های PLC در کنترل ریزشبکه‌ها پرداخته شده و ابعاد سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن برای این مهم مورد بحث قرار می‌گیرد.

3- ساختار نرم‌افزاری PLC

منظور از ساختار نرم‌افزاری PLC نحوه پیاده‌سازی کدها و برنامه کنترلی ریزشبکه در آن می‌باشد. به فرآیند دریافت و جمع‌آوری داده‌ها از کارت‌های ورودی، پردازش آن و ارسال سیگنال‌های مطلوب به کارت‌های خروجی، سیکل اسکن پردازشگر گفته می‌شود که در شکل2 نشان داده شده است و مطابق آن در 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 در سطوح مختلف فرآیند، برنامه نوشته شده توسط کاربر اجرا می‌گردد و مطابق آن فرمان‌های کنترلی مطلوب به کارت‌های خروجی PLC ارسال می‌شود.



شکل 2 سیکل اسکن در پردازشگر PLC

زمان سیکل اسکن در پردازشگر PLC به عوامل متعدد از جمله دستورات به کار رفته در برنامه بستگی دارد اما به طور معمول از 10 میلی‌ثانیه تا 100 میلی ثانیه می‌باشد. بر این اساس CPU قادر است ورودی‌هایی که زمان دریافت آن‌ها کمتر از زمان سیکل اسکن گفته شده باشد را دریافت کند و به خروجی‌ها با تاخیر حداقل یک سیکل اسکن فرمان دهد.

ساختار نرم‌افزاری در PLC می‌تواند به سه صورت خطی، تقسیم‌شده و ساختاریافته پیاده‌سازی گردد. در ساختار خطی منطق کنترلی پشت سر هم و در یک بلوک انجام می‌پذیرد. این ساختار مخصوص فرآیندهای کوچک با تعداد کم ورودی و خروجی کاربرد دارد. بنابراین برای فرآیندهای بزرگ مانند کنترل ریزشبکه که منطق کنترلی پیچیده دارند، برنامه‌نویسی به این روش امکان‌پذیر نمی باشد.

در برنامه‌نویسی به روش تقسیم‌شده، برنامه به قسمت‌های مجزایی تقسیم می‌شود و هر قسمت از آن در یک بلوک نگاشته شده و یک‌بار از درون بلوک اصلی فراخوانی می‌گردد. برای فرآیندهایی که شامل قسمت‌های تکراری با منطق کنترلی یکسان هستند و لازم است یک قسمت از برنامه چندین بار اجرا گردد می‌توان از برنامه‌نویسی ساختار یافته بهره برد. در این روش نیز قسمت‌های تکراری فرآیند کنترلی در یک بلوک نگاشته شده و به تعداد دفعات لازم در بلوک اصلی فراخوانی می‌گردد.

یکی از مواردی که کنترل ریزشبکه‌ها را با چالش مواجه می‌کند این است که ریزشبکه‌ها باید با توجه به انعطاف‌پذیری که دارند قادر باشند در هر لحظه بازیگر جدیدی را اضافه یا کم کنند[5]. این موضوع باعث می‌شود که توپولوژی شبکه مدام تغییر کرده و

[5] Plug and Play

کنترل ولتاژ و فرکانس دچار مشکل شود. از اینرو کنترل‌کننده باید قابیت توسعه برای شرایط جدید را داشته باشد به طوری که با برقراری ارتباط به هنگام با سطح فیلد ریزشبکه اجازه اضافه و کم شدن بازیگران را بدهد (Riverso et al., 2014; Sadabadi, 2020). از جنبه سخت‌افزاری به دلیل ساختار ماژولار 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 ریزشبکه نداشته باشد و به راحتی با شرایط گوناگون تطبیق یابد.

قابلیت مهم دیگری که کنترل‌کننده ریزشبکه باید داشته باشد مقاوت آن در برابر خطاهای احتمالی می‌باشد. PLC برای انجام محاسبات دقیق و مطلوب نیاز به دریافت داده‌های درست دارد. هرگونه اشکال در دریافت این داده‌ها منجر به خطا در محاسبات و خسارت‌های بزرگ می‌شود. از طرفی وقوع خطا در دستگاه‌های اندازه‌گیری و ایجاد نویز در سیگنال‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است.

مانند نرم‌افزار تخمین حالت SINAUT در مرکز دیسپاچینگ سیستم‌های قدرت بزرگ که داده‌های نادرست را تشخیص می‌دهد، برای اطمینان از عملکرد صحیح در بهره‌برداری ریزشبکه نیز لازم است کنترل کننده قادر به تشخیص داده‌های غلط و یا نویز دار بوده و در چنین شرایطی قادر باشد ریزشبکه را به شرایط امن هدایت کند و مانع از بروز خسارت‌های احتمالی شود. جهت نیل به این هدف مهم، نقش وقفه‌ها[6] در PLC پررنگ است. وقفه‌ها قادر هستند که تحت شرایط خاص عملکرد CPU را برای مدت زمانی متوقف کنند. استفاده از وقفه‌ها منحصر به PLC نیست بلکه یکی از اجزای مهم در معماری کامپیوتر هستند. توسط وقفه‌ها پردازنده قادر خواهد بود بدون ایجاد اختلال در برنامه و توقف پردازش آن، منطق کنترلی جاری را به طور موقت متوقف کرده و به انجام دستورات از قبل برنامه‌ریزی شده دیگری بپردازد و سیستم را به شرایط امن هدایت کند.

PLC دارای چندین بلوک برنامه‌ریزی با اولویت[7] های مختلفی است. منطق کنترلی پایه‌ای و اصلی ریزشبکه در بلوک با کمترین درجه اهمیت (در بلوک OB1[8])، کد نویسی می‌شود.

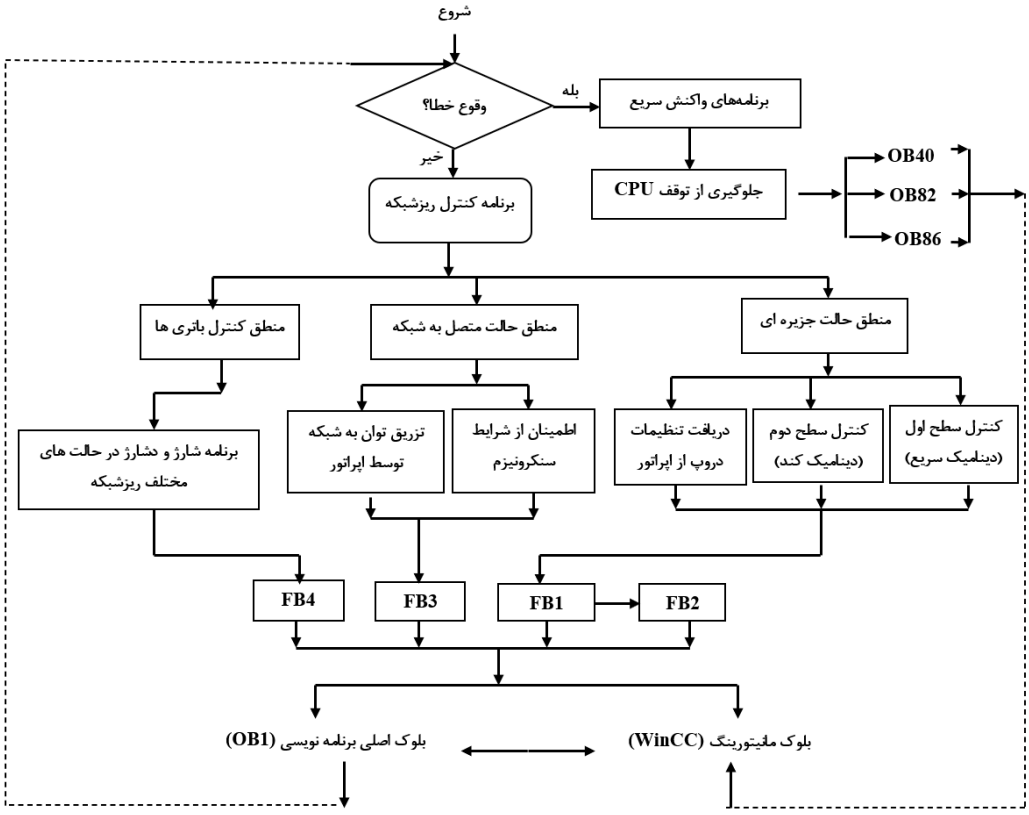
در بلوک‌های دیگر پردازشگر PLC، متناسب با خطا ایجاد شده و مطابق فلوچارت شکل3، منطق کنترلی در شرایط وقوع خطاهای مختلف نوشته خواهد شد. به همین جهت تمام بلوک‌های مربوط به خطا که درجه اهمیت بالاتری دارند قادر خواهند بود برنامه اصلی را متوقف کنند. به این ترتیب پردازشگر قادر خواهد بود در صورت بروز انواع خطاها و اشکال‌ها از آسیب به ریزشبکه جلوگیری کند.

[6] Interrupts
[7] Priority
[8] Organization Block

از اینرو با استفاده از وقفه‌ها می‌توان در موارد متعددی از توقف CPU جلوگیری کرد و قابلیت اطمینان ریزشبکه را افزایش داد. در صورت عدم استفاده از این وقفه‌ها، عیب یابی و راه‌اندازی مجدد ریزشبکه نیازمند صرف زمانی است که هر لحظه آن از لحاظ اقتصادی و امنیتی برای بازیگران ریزشبکه مهم می‌باشد.

با توجه به اینکه ریزشبکه باید انعطاف‌پذیری لازم را در ورود و خروج بازیگران داشته باشد، ساختار نرم افزاری PLC نیز باید مانند سخت افزار آن ماژولار باشد. از اینرو برنامه نویسی باید به صورت ساختاریافته صورت گیرد به طوری منطق کنترلی ریزشبکه به قسمت‌های مختلفی تقسیم بندی شده و هر قسمت آن در یک تابع پیاده‌سازی می‌گردد.

فلوچارت شکل3 ساختار کلی نرم‌افزاری پردازشگر PLC برای کنترل ریزشبکه را نشان می‌دهد و مطابق آن کنترل‌کننده در بخش نرم‌افزاری به لایه‌های کنترلی مختلفی تقسیم‌بندی می‌گردد که در بلوک اصلی برنامه‌نویسی (OB1) با یکدیگر پیوند خورده و مرتبط می‌گردند.



شکل3 رویکرد ساختاریافته برنامه نویسی برای اتوماسیون در فرآیند کنترل ریزشبکه

این تابع ها که برای کنترل ریزشبکه در حالت های مختلف به کار می روند مطابق شکل3 به موارد زیر تقسیم بندی می‌گردند:

1) تابع کنترل در حالت جزیره‌ای

2) تابع کنترل در حالت متصل به شبکه

3) تابع کنترل باتری‌ها

4) تابع سیستمی مدیریت سیگنال‌های آنالوگ

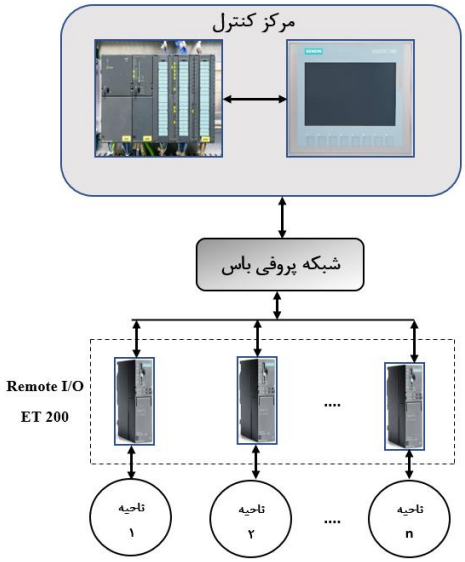
5) تابع کنترلی خطاها

از اینرو برنامه کنترلی ریزشبکه در حالت‌های مختلف بهره‌برداری هر کدام در یک تابع نوشته شده و پس از پیکربندی سیستم به تعداد لازم فراخوانی می‌گردند. با توجه به اینکه بلوک اصلی برنامه‌نویسی در PLC بلوک OB1 بوده و پردازشگر در هر سیکل اسکن به اجرای دستورهای آن می‌پردازد از اینرو تابع‌های کنترلی نگاشته شده در سایر بلوک‌ها در بلوک OB1 فراخوانی می شود و فرآیند اتوماسیون سازی ریزشبکه اجرا می‌گردد.

مطابق فلوچارت شکل3 برنامه‌های مدیریت خطا دارای اولویت اجرای بالاتری نسبت به برنامه کنترلی ریزشبکه بوده در واقع برنامه مهار ریزشبکه تا زمانی اعتبار دارد که خطایی در سطح فیلد یا کنترل رخ نداده باشد و چنانچه خطایی در سطوح سه گانه فرآیند اتوماسیون سازی نشان داداه شده در شکل3 رخ دهد اجرای برنامه کنترلی متوقف شده و متناسب با نوع خطا به بلوک‌های با اولویت بالاتر منتقل می‌گردد و ناحیه خطا از ریزشبکه ایزوله می‌گردد.

4- ساختار سخت افزاری کنترل‌کننده

کنترل‌کننده برای پیاده‌سازی اهداف خود در مهار ریزشبکه نیاز به تبادل به‌هنگام داده با سطح فیلد دارد از اینرو در گام نخست فرآیند طراحی لازم است سطح فیلد با پردازشگر PLC مرتبط و سنکرون گردد. با توجه به اینکه بازیگران ریزشبکه در یک مکان ثابت متمرکز نیستند و نسبت به هم پراکنده هستند می‌توان ریزشبکه را مانند شکل4 به نواحی مختلف تقسیم‌بندی کرد.



شکل4 تقسیم ریزشبکه به نواحی مختلف در سطح فیلد

مطابق شکل4 ریزشبکه شامل چندین ناحیه از هم پراکنده می‌باشد که در هر کدام از ناحیه‌ها می‌تواند بازیگران گوناگونی وجود داشته باشد. بدیهی است با توجه به محدودیت طول کابل‌ها و تجهیزات در انتقال سیگنال، امکان تبادل مستقیم داده با مرکز کنترل وجود ندارد.

از اینرو در هرکدام از نواحی ریزشبکه با بهره‌گیری از کارت ET200، و در بستر شبکه پروفی‌باس، مرکز کنترل و PLC با سطح فیلد مرتبط می‌گردند. به گونه‌ای که با توجه به بازیگران و حجم تجهیزات هر ناحیه در ریزشبکه تحت کنترل، کارت‌های I/O[9] توسط کارت‌های ET200 با مرکز کنترل پیوند داده می‌شوند.

با مرتبط گشتن تجهیزات سطح فیلد با PLC در مرکز کنترل، گام بعد پیکربندی اجزای PLC می‌باشد به گونه‌ای که باید متناسب با سطح فیلد کارت‌های ورودی و خروجی PLC انتخاب گردد. سیگنال‌های دریافتی از سطح فیلد ریزشبکه را می‌توان به دو دسته داده‌های دیجیتال و آنالوگ تقسیم بندی کرد که برای هرکدام از سنسورها و ترانسمیترهای خاص خود استفاده می‌شود. داده‌های آنالوگ شامل سیگنال‌های ولتاژ، فرکانس و توان‌های اکتیو و راکتیو بازیگران از جمله منابع پراکنده و بارها می‌باشند که باید توسط پردازشگر دریافت شود که با توجه به ماهیت پیوسته‌شان دارای سنسور و ترانسمیترهای آنالوگ هستند. کنترل‌کننده همچنین نیاز به اطلاع از وضعیت ورود و خروج هر کدام از بازیگران و همچنین حالت کاری ریزشبکه دارد که این مهم با استفاده از

[9] Input / Output

سنسورهای دیجیتال محقق می‌شود. از این سنسورها که دارای وضعیت صفر و یکی هستند می‌توان برای تشخیص وضعیت بازیگران بهره برد.

پردازشگر کنترل‌کننده با توجه به دریافت‌های خود از ورودی‌ها در سطح فیلد، باید فرمان‌های کنترلی مطلوب را به عملگرها ارسال کند. مهمترین عملگر کنترل کننده که با هدف تنظیم ولتاژ و فرکانس هر کدام از منابع به تنظیم توان‌های خروجی منابع می‌پردازد، ماهیت پیوسته داشته و به PWM اینورتر متصل می‌شود. همچنین کنترل‌کننده باید شامل عملگرهایی از جنس دیجیتال نیز باشد که کنترل کننده را قادر سازد برای حفاظت از ریزشبکه هر کدام از بازیگران را از ریزشبکه خارج کرده و یا حالت کاری ریزشبکه را دگرگون کند.

بنابراین هرکدام از نواحی نشان داده شده در شکل4 نیاز به چهار کارت برای سیگنال‌های ورودی و خروجی از نوع دیجیتال و آنالوگ دارند که باید بر اساس آن کارت‌های I/O انتخاب گردد. در انتها و با مشخص شدن کارت‌های I/O، باید پردازشگر PLC از نظر قدرت پردازش از بین طیف وسیعی از CPUهای موجود به نحوی برگزیده شود که در درجه اول کارت شبکه پروفی‌باس را پشتیبانی کرده و قابلیت مدیریت و کنترل مجموع کارت‌های نواحی ریزشبکه را نیز داشته باشد و همچنین برای لایه مانیتورینگ امکان افزایش حافظه را داشته باشد.

با توجه به اینکه منابع تولید پراکنده در ریزشبکه در یک مکان متمرکز نیستند و نسبت به هم پراکنده می‌باشند، محدودیت طول کابل‌ها امکان ارتباط مستقیم تجهیزات اندازه‌گیری با کنترل‌کننده را غیرممکن می‌کند. ازاینرو سطح فیلد ریزشبکه در بستر شبکه پروفی‌باس به پردازشگر PLC در مرکز کنترل متصل می‌گردد. وظیفه لایه مخابراتی در این سطح ارسال حالت کاری و همچنین سیگنال‌های مرجع الکتریکی به کنترل‌کننده می‌باشد.

برای انتقال سیگنال در شبکه پروفی‌باس از کابل RS485 استفاده می‌شود که در بسترهای فیزیکی مختلفی امکان‌پذیر است که متداول‌ترین آن کابل مسی و بهترین روش آن فیبر نوری می‌باشد. حداقل طول کابل برای انتقال سیگنال 100 متر و حداکثر آن 1200 متر می‌باشد. سرعت انتقال داده نیز متناسب با طول کابل بوده و حداقل 9.6 کیلوبایت بر ثانیه و بیشینه آن نیز 12 مگابایت بر ثانیه می‌باشد.

نقطه کار متداول در بسیاری از فرآیندها 1.5 مگابایت بر ثانیه است که طول 200 متر را پشتیبانی می‌کند. چنانچه فاصله ناحیه فیلد و سطح کنترل بیشتر بوده و طول کابل بیشتری نیاز باشد می‌توان از تقویت‌کننده بهره برد به طوری که می‌توان با به کارگیری حداکثر 9 عدد از این تقویت‌کننده‌ها با حفظ سرعت انتقال داده‌ها طول شبکه را 10 برابر کرد.

همچنین در بستر شبکه پروفی‌باس می‌توان 32 تجهیز ریزشبکه را به هم پیوند زد که با استفاده از تقویت‌کننده‌ها این امکان وجود دارد که این تعداد را دو برابر کرد. البته باید به این نکته توجه داشت که تعداد بالای تقویت‌کننده‌ها ممکن است تاخیر غیرقابل‌قبولی در انتقال داده‌ها ایجاد کند از اینرو بهتر است در فواصل بسیار زیاد از فیبرنوری استفاده گرد.

پروفی‌باس دارای پروتکل‌های متفاوتی است. یکی از این پروتکل‌ها که برای جمع‌آوری سیگنال‌های سطح فیلد از تجهیزاتی که به صورت غیرمتمرکز در سطح فیلد پراکنده شده‌اند، پروتکل DP[10] می‌باشد. اصول عملکرد شبکه پروفی‌باس بر اساس ارتباط بین Master با Slaveها (Remote I/O[11]) می‌باشد. یکی از تجهیزاتی که شرکت زیمنس برای ارتباط از راه دور توسعه داده است کارت‌هایی با نام تجاری (ET200)[12] می‌باشد. این کارت‌ها دارای انواع مختلفی بوده و قابلیت توسعه با توجه به سطح فیلد را دارد. همچنین برخی از این کارت‌ها دارای پردازشگر نیز می‌باشند و می‌توان از آن برای هدف خاصی کار کنترل محلی را انجام داد. بنابراین با نصب کارت‌های I/O در سطح فیلد روی این کارت، می‌توان سطح فیلد ریزشبکه را با مرکز کنترل ارتباط داد.

5- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی قابلیت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری PLC در اتوماسیون سازی فرآیند کنترل ریزشبکه پرداخته شد به طوری که کنترل‌کننده با ارتباط موثر با سطح فیلد قادر به اتوماسیون سازی فرآیند مهار ریزشبکه می‌باشد. در سطح فیلد ریزشبکه با استفاده از کارت ET200 و شبکه پروفی‌باس، بازیگران پراکنده از هم با شعاع 100 متر با مرکز کنترل مرتبط گشتند به طوری که توانایی تبادل به هنگام داده PLC با سطح فیلد برقرار شد. در سطح کنترل نیز PLC با توجه به ساختار ریزشبکه و توپولوژی آن پیکربندی می شود به طوری که با کم و زیاد شدن بازیگران ریزشبکه و تغییر در سیگنال‌های ورودی و خروجی سطح فیلد، پردازشگر PLC به راحتی قابلیت سازگاری با شرایط جدید ریزشبکه را داشته باشد. با توجه به گسترده بودن ابعاد کنترلی ریزشبکه و با هدف طراحی کنترل‌کننده‌ای مستقل از ابعاد و ساختار ریزشبکه، ساختار نرم‌افزاری در پردازشگر PLC به صورت ساختاریافته صورت می پذیرد به طوری که برنامه حالت‌های مختلف بهره‌برداری در کنار برنامه مدیریت باتری‌ها و برنامه خطاها، هر کدام در یک بلوک سیستمی حافظه دار نوشته می شود که در بلوک اصلی برنامه‌نویسی بر حسب ساختار و ابعاد ریزشبکه با هم پیوند می‌یابند. خطری که کنترل‌کننده طراحی شده را در روند مهار ریزشبکه تهدید می‌کند وقوع اجتناب‌ناپذیر خطاها در هر کدام از لایه‌های فرآیند اتوماسیون سازی می‌باشد. وقوع هر کدام از این خطاها باعث می‌گردد CPU به حالت توقف رفته و ریزشبکه بدون کنترل‌کننده رها گردد. در این صورت با برنامه‌نویسی صحیح این حالت‌ها PLC قادر است با شناخت نوع و آدرس خطا از توقف

[10] Distributed Peripherals
[11] Input/Output
[12] Electronic Terminal

پردازشگر جلوگیری کرده و با ایزوله کردن ناحیه خطا از کل ریزشبکه، از سرایت خطا به ناحیه‌های دیگر جلوگیری کرده و بهره‌برداری ایمن از ریزشبکه را ادامه دهد.

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.

Guoping, Z., Weijun, W., & Longbo, M. (2018). An overview of microgrid planning and design method. 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC),

Jack, H. (2009). *Automating manufacturing systems with PLCs*. Lulu. com.

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.

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.

Kumar, M., & Tyagi, B. (2017). A Small Scale Microgrid Planning based on Battery SOC for a Grid-connected Microgrid comprising of PV System. 2017 14th IEEE India Council International Conference (INDICON),

Lasseter, B. (2001). Microgrids [distributed power generation]. 2001 IEEE power engineering society winter meeting. Conference proceedings (Cat. No. 01CH37194),

Lasseter, R. H. (2002). Microgrids. 2002 IEEE power engineering society winter meeting. Conference proceedings (Cat. No. 02CH37309),

Lopes, J. P., Moreira, C. L., & Madureira, A. (2006). Defining control strategies for microgrids islanded operation. *IEEE Transactions on Power Systems*, *21*(2), 916-924.

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),

Ndukwe, C., Iqbal, M. T., & Khan, J. (2020, 4-7 Nov. 2020). Development of a Low-cost LoRa based SCADA system for Monitoring and Supervisory Control of Small Renewable Energy Generation Systems. 2020 11th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON),

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.

Pal, P., Parvathy, A., Devabalaji, K., Antony, S. J., Ocheme, S., Babu, T. S., Alhelou, H. H., & Yuvaraj, T. (2021). IoT-based real time energy management of virtual power plant using PLC for transactive energy framework. *IEEE Access*, *9*, 97643-97660.

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

Riverso, S., Sarzo, F., & Ferrari-Trecate, G. (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 $\mathscr{L}_2$ Gain Performance of DC Microgrids. *IEEE Control Systems Letters*, *5*(5), 1609-1614.

Schiffer, J., Seel, T., Raisch, J., & Sezi, T. (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.

Tarnawski, J., Kudełka, P., & Korzeniowski, M. (2022). Advanced Control With PLC—Code Generator for aMPC Controller Implementation and Cooperation With External Computational Server for Dealing With Multidimensionality, Constraints and LMI Based Robustness. *IEEE Access*, *10*, 10597-10617. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142054

Evaluation of hardware and software capabilities of PLC for the operation of microgrids

Mahmoud Hazhir[1]* Kaveh Namvaran[2]

1- Master's degree, Shahid Beheshty University, Tehran, Iran, itshazhir@gmail.com

2- Azad University, Tuyserkan, Iran, Kaveh_namvaran@yahoo.com

Abstract

By increasing the penetration of renewable sources, the power systems in the future will be turned into microgrids that are connected to the upstream grid. Therefore, like the dispatching center in classic power systems, microgrids also need a control system that can make the microgrid control process intelligent and meet all operator needs at different levels. In order to effectively operate a microgrid, the microgrid controller must have a modular structure, both from a hardware and software point of view, so that it can adapt to different operation conditions of the microgrid. Considering the sensitivity of operating microgrids, its controller must be able to manage inevitable errors in the control process that cause heavy damage to microgrid players and guide the microgrid to safe conditions. PLC, which is mostly used in industrial processes, and its capabilities have been proven in the industrial field, can receive a wide range of data, and its processor can control all types of loops in control processes, including microgrid control. This paper discusses the PLC processor as the mastermind of the microgrid control process, and its hardware and software capabilities for microgrid control are evaluated.

Keywords:

Microgrid, PLC processor, Profibus network, Fault