

IEC-61850

امکان سنجی کاربردها و قابلیت‌های جدید سیستم اتوماسیون پست و استاندارد IEC-61850 در شبکه برق ایران

مانند شین، ترانسفورماتور، بریکر، خطوط انتقال و فیدرهای توزیع در ارتباط است. سیستم اتوماسیون در تهیه مقادیر اندازه‌گیری، اطلاعات و وضعیت‌ها با لایه‌های بالاتر شبکه قدرت در ارتباط است. این سیستم هرگونه وضعیت غیر طبیعی را تشخیص داده و از گسترش حادثه یا خرابی تجهیزات جلوگیری می‌کند. برای یکسان‌سازی و افزایش سازگاری سیستم و تجهیزات مختلف مورد استفاده در سیستم اتوماسیون پست استاندارد IEC-61850 معرفی گردید [۱].

نخستین ویرایش استاندارد IEC-61850 در سال ۲۰۰۴ به‌عنوان پروتکل و زبان ارتباطی مشترک بین IEDها و تجهیزات حفاظتی پست برق فشارقوی معرفی شد. این استاندارد به جهت ویژگی‌ها و قابلیت‌های آن محبوبیت زیادی در سراسر جهان کسب نموده است. در حال حاضر قلمرو استفاده از این استاندارد از پست‌های برق فشارقوی نیز فراتر رفته است.

با گسترش استفاده از استاندارد IEC-61850 در شبکه‌های برق، قابلیت‌ها و کاربردهای جدیدی برای آن در زمینه‌های مختلف از جمله حفاظت، کنترل، قابلیت اطمینان، انرژی‌های تجدیدپذیر و دیگر حوزه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد.

در بخش دوم این مقاله قابلیت‌ها و کاربردهای جدید استاندارد IEC-61850 ارایه شده و در بخش سوم قابلیت‌های جدید سیستم‌های اتوماسیون پست توصیف می‌گردد. در بخش چهارم زمینه‌های استفاده از این استاندارد و همچنین قابلیت‌های جدید اتوماسیون با نیازمندی‌های شبکه برق ایران مقایسه شده و در نهایت در بخش پنجم مطالب جمع‌بندی و نتیجه‌گیری شده است.

۲- کاربردهای جدید استاندارد IEC-61850

معرفی آخرین دستاوردها و یافته‌های محققین در خصوص توسعه

نفیسه قاسمی / دانشگاه صنعتی سجاد مشهد / شرکت برق منطقه‌ای خراسان،

ghasemi.nafise@gmail.com

مصطفی رجیبی مشهدی / دانشگاه صنعتی سجاد مشهد / شرکت مدیریت شبکه

برق ایران، m.rajabimashhadi@ieec.org

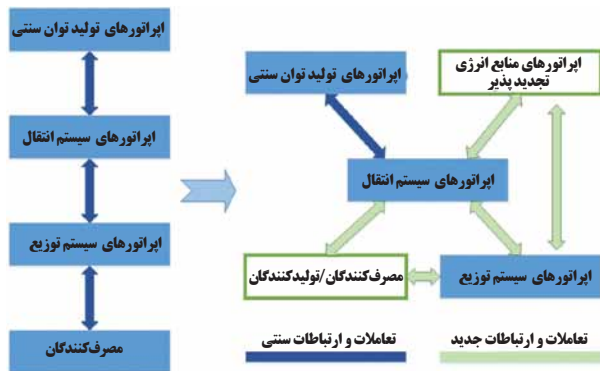
چکیده

گسترش روزافزون قابلیت‌های اتوماسیون در شبکه‌ی برق و مزایای جایگزینی آن به جای روش‌های سنتی، استفاده از سیستم‌های اتوماسیون را در پست‌های فشار قوی امری اجتناب‌ناپذیر کرده است. همچنین به کارگیری سیستم‌های اتوماسیون پست مبتنی بر استاندارد IEC-61850 نگرانی‌هایی در زمینه تضمین قابلیت اطمینان و انتقال صحیح داده‌ها و نیز عملکرد صحیح حفاظت و انواع کنترل‌ها ایجاد نموده است. از طرفی این سیستم‌ها قابلیت‌های جدیدی در شبکه‌های قدرت مانند بهبود سیستم‌های حفاظتی با حضور تولیدات پراکنده و جلوگیری از جریان گردشی ترانسفورماتورهای موازی ایجاد کرده است. در این مقاله ضمن معرفی این قابلیت‌های جدید، امکان به‌کارگیری آن‌ها در شبکه برق ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: اتوماسیون پست، استاندارد IEC-61850، تولید پراکنده، قابلیت GOOSE، کنترل تپ‌چنجر

۱- مقدمه

یکی از اساسی‌ترین اجزاء سیستم‌های کنترل و حفاظت پست‌های فشار قوی، سیستم اتوماسیون پست است که با تجهیزات اولیه پست



شکل ۱: برهم‌کنش بین بازیگران سیستم قدرت [۳]

در این راستا توجه به جلوگیری از تراکم و نیز مدیریت شبکه HV، بازبینی تنظیمات قدرت راکتیو/ولتاژ و بازبینی برنامه‌های حذف بار ضروری است [۳]:

عملیات شبکه، کنترل و دیسپاچینگ معمولاً توسط اپراتورهای SCC انجام می‌شود. سیستم اتوماسیون پست با دریافت دستورات کلی، تجزیه آن‌ها به دستورات تکی، امکان‌سنجی آن‌ها، اجرا کردنشان و ارسال سیگنال به مرکز کنترل راه دور، نقش رابط بین SCC و پست را بازی می‌کند. حفاظت نیز در SAS است. در سناریو جدید، اتوماسیون پست نقش مهمی در اجرا سرویس‌های موثر جدید برای عملکرد سیستم قدرت ایفا می‌نماید. نیروگاه‌های تجدیدپذیر متنوع و با ضریب نفوذ زیاد در شبکه به سیستم‌های اتوماسیون دیجیتال محلی که خود در شبکه قدرت پراکنده‌اند، متصل می‌شوند و در اجرا توابع دیسپاچینگ، همکاری بین مراکز راه دور صورت می‌پذیرد. ساختار سیستم کنترل از حالت عمودی به عمودی-افقی تکامل می‌یابد [۳]. برای اتصال پست‌های یک ناحیه بین خودشان و نیز اتصال به پست‌های تولید پراکنده نیاز به تسهیلات تله‌پروتکشن وجود دارد. با در نظر گرفتن این موضوع که پیاده‌سازی سرویس‌های مخابرات از راه دور با لینک‌های نظیر به نظیر بسیار هزینه‌بر است، می‌توان از زیربنای سیستم مرکزی موجود برای اتصال دو یا چند پست رویت‌پذیر استفاده نمود. علاوه بر آن برای سازگاری بین مولفه‌های مختلفی که در پیاده‌سازی توابع اتوماسیون و بالانس توزیع مورد نظر نقش دارند، نیازمند استفاده از یک استاندارد بین‌المللی برای ارتباطات می‌باشد [۳].

۲-۲- تست رله‌های حفاظتی بر مبنای IEC-61850 در سیستم های اتوماسیون پست

استاندارد IEC-61850 در زمینه ارتباطات در پست‌های اتوماسیون امکان اعمال ارتباط نظیر به نظیر با سرعت بالا، که خود مبنای کاربردهای حفاظتی، کنترلی و اندازه‌گیری در سیستم اتوماسیون پست می‌باشد، پیشرفت بسیاری کرده است. با این حال نیاز به یک روش صحیح برای تست کارایی IEC-61850 در سیستم حفاظت پست‌های اتوماسیون ضروری است. تست اتصالات داخلی که بخشی از تست‌های حفاظتی است، قابلیت تجهیز را برای تبادل اطلاعات بررسی می‌کند [۴]. همچنین نیاز به انجام تست‌های عملکردی برای تضمین برآورده شدن نیازمندی‌های سیستم توسط مولفه‌های طراحی شده وجود دارد.

ارزیابی عملکرد زمان انتقال پیام‌های GOOSE برای تضمین استفاده صحیح از آن‌ها در کاربردهای حفاظتی زمان واقعی بسیار حیاتی است.

استاندارد IEC-61850 می‌تواند زمینه مناسبی را برای بهره‌گیری از کاربردهای این استاندارد فراهم نماید. در این بخش مروری بر تکامل احتمالی سیستم اتوماسیون پست برای مدیریت تولید پراکنده که مبحثی در حال گسترش است، تست رله‌های حفاظتی بر مبنای IEC-61850 و نیز استفاده از سرویس GOOSE این استاندارد برای کنترل پیشرفته تپ‌چنجر ترانسفورماتورهای موازی شده است.

۲-۱- تکامل احتمالی سیستم اتوماسیون پست برای مدیریت تولید پراکنده

افزایش تولیدات پراکنده و منابع انرژی تجدیدپذیر متصل به شبکه انتقال و توزیع تأثیر زیادی بر پایداری و امنیت سیستم قدرت گذاشته و می‌تواند باعث عکس شدن جهت جریان انرژی، تراکم یا گرفتگی و ناپایداری ولتاژ گردد. در گذشته الگوی جریان انرژی از شبکه انتقال به توزیع بوده است. در حالی که با حضور تولیدات پراکنده در زمان‌هایی خاص، توان از شبکه توزیع به انتقال هدایت می‌شود. و این در حالی است که شبکه توزیع برای جریان یک‌سویه‌ی توان طراحی شده است [۲].

در حال حاضر شبکه انتقال با ساختار حلقوی و شبکه توزیع با ساختار شعاعی اجرا می‌شود. ساختار حلقوی نیازمندی‌های قابلیت اطمینان سطح انتقال را که نسبت به سطح ولتاژ پایین تر قوی تر است، برآورده می‌کند. ساختار شعاعی برای شبکه توزیع وقتی که جهت جریان انرژی یک‌سویه است بهترین انتخاب است. زیرا عملیات آسان شده و برخی ساده‌سازی‌ها ممکن می‌شود.

هم‌اکنون تولیدات پراکنده و انرژی‌های تجدیدپذیر به هر دو شبکه انتقال و توزیع با پراکندگی جغرافیایی مختلف متصل هستند. تعداد زیاد تاسیسات تولید پراکنده در یک سیستم قدرت، تولید غیر قابل برنامه‌ریزی و مشخصات تکنیکی متفاوت آن‌ها ممکن است تحت شرایط خاص منجر به تراکم محلی و مشکلات ولتاژی در شبکه فشار متوسط و فشار ضعیف شود. لذا نیاز به مدیریت و پیش‌گیری از تراکم در نقاط خاصی از شبکه و نیز بازبینی فرآیندهای تنظیم ولتاژ/توان راکتیو وجود دارد. ایده اصلی این است که حداقل بخشی از مشکلات به‌صورت محلی برطرف شود [۲].

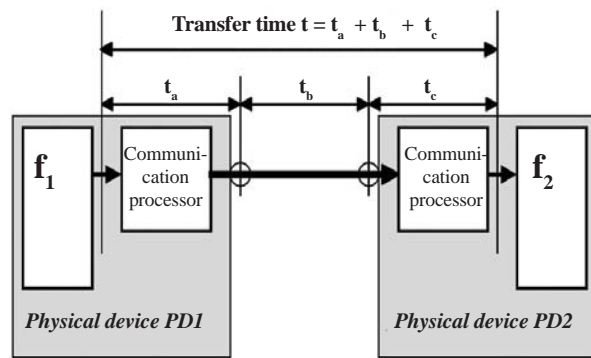
در گذشته در زمان ناپایداری فرکانسی یا ولتاژی گذرا، حتی در مقادیر کم، ارتباط نیروگاه‌ها با شبکه از دست می‌رفت ولی امروزه آستانه‌ها تغییر یافته است و نیروگاه‌های تولید پراکنده و تجدیدپذیر حتی در زمان ناپایداری به شبکه متصل می‌مانند [۳]. لذا نیازمند همکاری همه جانبه بین کلیه بازیگران سیستم قدرت که شامل اپراتورهای سیستم انتقال (TSO)، اپراتورهای سیستم توزیع (DSO) و اپراتورهای منابع انرژی تجدید پذیر (RES) است، می‌باشد. زیرا هر تصمیم و عمل یکی از آن‌ها سایر بازیگران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در شکل (۱) اثر تولیدات پراکنده در مدیریت سیستم قدرت آمده است. به این منظور هر یک از سیستم‌های گفته شده نیاز به برخی تغییرات دارند [۳].

الف- به‌روزرسانی شدن سیستم‌های کنترلی RES جهت دریافت نقاط تنظیم از سیستم کنترل مرکزی خارجی و نیز ارسال کلیه اطلاعات مورد نیاز به آن سیستم

ب- امکان مدیریت اطلاعات دریافتی برای DSO‌ها جهت اجرا عملیات مورد نیاز با استفاده از منابع در دسترس واحدهای تولیدی متصل به شبکه LV و MV

ج- ارتقاء تجهیزات TSO و تهیه استراتژی جدید برای سیستم‌های کنترلی (مرکزی و محلی)

شکل ۲ زمان تبادل اطلاعات بیت دو تجهیز را نمایش می‌دهد [۵].



شکل ۲: زمان کلی انتقال پیام GOOSE

الکتريکی کاملاً یکسان محدود می‌شود. در این روش یک AVR به‌عنوان پایه انتخاب می‌شود. این AVR براساس ضابطه مشخصی ولتاژ باسبار را کنترل می‌نماید. AVRهای پیرو تصمیمات پایه را در ارتباط با افزایش و کاهش تپ دنبال می‌کنند.

برای اجرای صحیح این روش به سیستم پس‌خورد پیچیده‌ای، جهت تضمین صحت عملیات اجرا شده توسط هر AVR پیرو نیاز است. به‌عنوان مثال AVR پایه لازم است وضعیت خود را به‌عنوان پایه برای دیگر AVRهای متصل به شین اعلام نماید. همچنین پیروها باید وضعیت کنونی تپ خود و موفقیت در اعمال فرامین را به پایه اعلام نمایند. خطا در این سیستم منجر به عملیات اشتباه می‌شود. سیگنال‌های اساسی تبادل شده در روش پایه-پیرو در جدول (۱) نمایش داده شده است [۶].

جدول ۱: سیگنال‌های مورد نیاز روش پایه-پیرو

| سیگنال | توضیحات |
|-----------------------------|--|
| درمدار بودن پایه | AVR ای که به‌عنوان پایه انتخاب شده این سیگنال را فعال می‌کند. |
| بلاک | زمانی که AVR بلاک شود این سیگنال فعال می‌شود. اگر پیرو بلاک شود، از این سیگنال برای بلاک کردن پایه استفاده می‌شود. |
| حالت پایه-پیرو کنترل خودکار | وقتی AVR در مد پایه-پیرو باشد فعال می‌شود. |
| گروه موازی ۱، ۲، ... | اطلاعات بر مبنای موقعیت کلیدهای قدرت و سکسیونرها توسط هر AVR تولید می‌شود. |
| وضعیت قطع | اگر ترانسفورماتور مربوط به AVR قطع باشد این سیگنال را تولید می‌کند. |
| حالت خودکار | هر AVR براساس دستی یا خودکار بودن کنترل خود این سیگنال را تولید می‌کند. |
| فرمان افزایش / کاهش تپ | فرمان از پایه به پیرو جهت افزایش/کاهش یک تپ. |
| موقعیت کنونی تپ | موقعیت تپ کنونی AVR پایه. |

۲-۳-۲- روش جریان گردش

حوزه کاری روش جریان گردش از روش پایه-پیرو گسترده‌تر است. این روش برای ترانسفورماتورهای قدرت نسبتاً غیر یکسان نیز کاربرد دارد. روش جریان گردش با استفاده از محاسبات عددی و مقادیر آنالوگ صورت می‌گیرد و لذا نیاز به IEDهای نیومریک دارد.

به دلایل مختلف ممکن است ولتاژ بی‌باری سمت فشار ضعیف ترانسفورماتورها متفاوت باشد. این امر منجر به تولید جریان گردش بین ترانسفورماتورهای موازی می‌شود. جریان گردش جریانی با ماهیت راکتیو است و نمایانگر توان راکتیوی است که بین آن‌ها گردش می‌کند [۷]. سیگنال‌های اساسی تبادل شده در روش جریان گردش در جدول (۲) نمایش داده شده است [۶].

در شکل (۲) زمان الگوریتم پردازش ارتباطی برای ارسال پیام GOOSE در IED1 است. همچنین f_1 شامل توابع نمونه تشخیص، پردازش و برچسب زمانی ورودی فیزیکی IED1 است. t_b زمان انتقال واقعی پیام از ارسال‌کننده به دریافت‌کننده در طول شبکه است. زمان t_c زمان پردازش ارتباطی در IED2 برای دریافت و پردازش پیام GOOSE از IED1 است. و تابع f_2 نماینده محتوای پیام دریافت شده از IED1 است. پس زمان انتقال پیام در حین تولید و تحویل آن بین IEDها برابر $t = t_a + t_b + t_c$ است. زمان انتقال اطلاعات از ارسال داده در IED1 تا اجرا آن در IED2 پس از تحویل پیام، برابر $t_{transfer} = t + t_f$ است [۵].

زمان انتقال پیام GOOSE به فاکتورهای مختلفی از جمله پارامترهای شبکه ارتباطی، وضعیت شبکه و توانایی پردازش تجهیزات مورد استفاده وابسته است. همچنین عملکرد اندازه‌گیری شده GOOSE به پهنای باند، نرخ داده، شرایط بار شبکه، پیکربندی شبکه و فاکتورهای دیگر بستگی دارد.

در استاندارد IEC-61850 زمان انتقال برای فرمان تریپ GOOSE کمتر از ۳ میلی‌ثانیه تعیین شده است. پس از شبیه‌سازی و محاسبه زمان ارسال پیام و زمان عملکرد بریکر، زمان هر پیام GOOSE برابر ۲،۵ میلی‌ثانیه محاسبه گردید که مقدار قابل قبولی است [۵]. تست تابع بر مبنای IEC-61850 اثبات نموده است که GOOSE روشی بسیار منعطف، سریع، قابل اطمینان و با اولویت بالا برای تبادل حوادث پست بین IEDها، جهت اهداف اینترنت لاک و حفاظت می‌باشد. به علاوه در حین تست مشاهده گردید ابزار پیکربندی نرم‌افزار نقش مهمی ایفا می‌کند. که شامل تهیه شمای کلی از سیستم پست، بارگذاری فایل‌های پیکربندی از هر IED، ترسیم توابع منطقی در IEDها، ساختن ارتباطات منطقی و اجرا عملیات سیستمی کامل است. در نهایت می‌توان گفت رله مدرن تحت پروتکل IEC-61850 زمان کمتری برای پردازش داده دریافتی صرف می‌کند. بنابراین پاسخ‌رسانی به‌عنوان پیام، نیاز به تاخیر زمانی کوتاه‌تری دارد.

۲-۳-۳- کنترل پیشرفته تپ چنجر ترانسفورماتورهای موازی بر مبنای سرویس GOOSE استاندارد IEC-61850

ترانسفورماتورها در حالت کار موازی نیازمند برنامه‌ریزی و توجه به خصوصی هستند. دو روش بسیار متداول برای کنترل تپ‌چنجر دو یا چند ترانسفورماتور موازی، روش پایه-پیرو و روش جریان گردش است.

۲-۳-۱- روش پایه-پیرو

حوزه کاربرد این روش به ترانسفورماتورهای قدرت با مشخصات

| سیگنال | توضیحات |
|-------------------------------|--|
| بلاک | زمانی که AVR بلاک شود فعال می‌شود. از این سیگنال برای بلاک کردن بقیه AVRها استفاده می‌شود |
| حالت جریان‌گردشی کنترل خودکار | وقتی AVR در مد جریان‌گردشی باشد فعال می‌شود |
| گروه موازی ۱، ۲، ... | اطلاعات بر مبنای موقعیت کلیده‌های قدرت و سکسیونرها توسط AVR تولید می‌شود |
| وضعیت قطع | اگر ترانسفورماتور مربوط به AVR قطع باشد این سیگنال را تولید می‌کند |
| حالت خودکار | هر AVR بر اساس دستی یا خودکار بودن کنترل خود این سیگنال را تولید می‌کند |
| جریان ترانسفورماتور | هر AVR باید از جریان دیگر ترانسفورماتورها اطلاع داشته باشد |
| در حال تغییر تپ | زمانی که AVR شروع به تغییر تپ نماید جهت جلوگیری از تغییر تپ همزمان چند ترانسفورماتور این سیگنال تولید می‌شود |

سیم‌ی منجر به صرفه‌جویی زیادی در سیم‌کشی و نیز ساده‌سازی مهندسی و نگهداری سیستم می‌شود. به‌علاوه روش ذکر شده علاوه بر پست‌های SAS بر مبنای IEC-61850 برای پست‌های غیر SAS یا بر مبنای پروتکل‌های قدیمی‌تر نیز قابل اجراست.

۳- قابلیت‌های جدید سیستم‌های اتوماسیون پست مبتنی بر استاندارد IEC-61850

در این بخش قابلیت‌های جدید معرفی شده از اتوماسیون پست‌های فشارقوی مبتنی بر IEC-61850 از جمله مانیتورینگ داده‌های از دست‌رفته برخط سیستم اتوماسیون پست و معماری‌های جدید برای ارتباطات با یکدیگر معرفی شده است.

۳-۱- مانیتورینگ داده‌های از دست‌رفته برخط در سیستم‌های اتوماسیون پست

سیستم اتوماسیون پست از تجهیزات جمع‌آوری داده نیومریک پراکنده در شبکه ارتباطی تشکیل شده است. اصلی‌ترین هدف این سیستم انتقال ساده و مطمئن داده‌ها و ثبت اتفاقات درون پست است. بروز هر خطا در سیستم اتوماسیون پست به دلیل قطع ارتباطات داده‌ها، ممکن است منجر به از دست‌رفتن داده گردد [۸]. برای کاهش اثر خطاها در شبکه‌های دیجیتال استفاده از شبکه‌های با قابلیت دسترسی بالا مرسوم است. شبکه با قابلیت دسترسی بالا شبکه دیجیتالی است که با استفاده از چند مسیر و تجهیز افزونه، اثر خطاهای تکی در آن حداقل شده است [۹].

مانیتورینگ داده در یک سیستم SAS به دو بخش داده‌های از دست‌رفته دائمی (PDL) و داده‌های از دست‌رفته برخط (ODL) تقسیم می‌شود. با بروز خطایی در سیستم اتوماسیون پست که باز یافتن اطلاعات را غیر ممکن نماید، داده به شکل دائمی از دست‌رفته و از دست‌رفتن داده دائم اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر خطاهای ODL منجر به از دست رفتن داده به صورت موقت، تا زمانی که خطا وجود دارد می‌شود. با برطرف شدن خطا داده‌ها بازیابی می‌شوند.

شاخص‌های قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری سیستم، ارتباطات فیزیکی بین المان‌های شبکه را بررسی کرده ولی مشخصات تجهیزات شبکه را لحاظ نمی‌نمایند. با مانیتورینگ داده از دست‌رفته برخط برخی از پارامترهایی که بررسی نشده‌اند را می‌توان مدل نمود. سیستم مانیتورینگ داده‌های از دست‌رفته برخط به معماری و توپولوژی شبکه وابسته است و محاسبه این شاخص نیازمند شناسایی مشخصات فیزیکی المان‌های سیستم اتوماسیون پست است.

۳-۱-۱- مدل‌سازی ریاضی

هر توپولوژی شبکه با ماتریس گراف ارتباطات متناظر خود مدل می‌شود. بروز خطا در شبکه SAS منجر به تغییر توپولوژی شبکه و ماتریس معادل آن می‌شود. یکپارچگی یک گراف با متصل بودن دو گره از طریق یک یا چند ارتباط در دسترس تعریف می‌شود. یکپارچگی یک گره در SAS در صورتی برقرار است که حداقل یک مسیر برای انتقال داده موجود باشد. گره‌های REQ نقاط بحرانی شبکه هستند که انتقال صحیح داده نیازمند کار صحیح آن‌ها است. هرگونه خرابی در چنین تجهیزاتی یکپارچگی شبکه را تقلیل می‌دهد. مدل ریاضی استفاده شده به شکل تابع حداکثر یکپارچگی بار است. جهت محاسبه داده‌های از دست‌رفته برخط به شکل یک شاخص ریاضی، حالات مختلف خطا در سیستم اتوماسیون بررسی و مدت زمان حضور داده‌های از دست‌رفته برخط محاسبه می‌گردد [۱۰].

۳-۱-۲- مورد مطالعاتی

شکل (۳) سیستم اتوماسیون پستی با توپولوژی ستاره افزونه شامل پنج سویچ اترنت، چهار کنترل‌کننده (NLI) و یک سرور افزونه است. سطح بی و سطح پست از شبکه اترنت مشتری با پروتکل RSTP و زمان کلیدزنی

۲-۳- موازی کردن ترانسفورماتورها با استفاده از سرویس GOOSE استاندارد IEC-61850

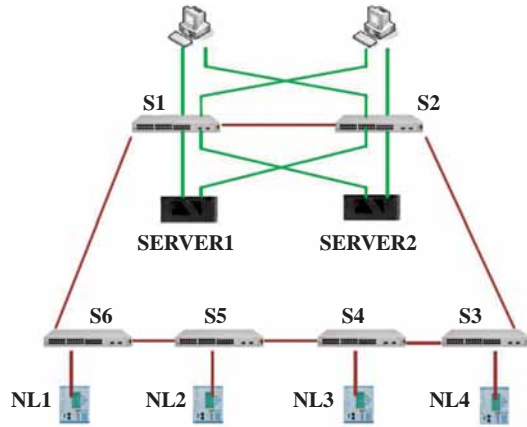
در این روش هر AVR داده‌ی مورد نیاز را ارسال کرده و پیام‌های GOOSE ارسالی توسط دیگران را دریافت می‌کند. این مجموعه داده که ساختار آن برای تمام AVRها یکسان است شامل تمام داده‌های مورد نیاز برای اجرا روش پایه-پیرو و یا روش جریان‌گردشی است. مجموعه داده به یک بلاک کنترلی GOOSE با نام GoCB تخصیص داده شده و پارامترهای عملیاتی سرویس GOOSE آن پیکربندی می‌شود. با این روش هر AVR داده‌هایش را ارسال کرده و پیام‌های دیگران را که شامل اطلاعات مورد نیاز روش کنترلی است، دریافت می‌نماید [۶].

در اختیار داشتن اطلاعات توپولوژی شین و ترانسفورماتورها برای استفاده از هر یک از روش‌های کنترلی بسیار ضروری است. با این اطلاعات AVR تشخیص می‌دهد کدام AVR دیگر در حال کار موازی است و بنابر آن توسط لاجیک داخلی خود تصمیم می‌گیرد که کدام داده دریافتی GOOSE باید استفاده شود. اطلاعات توپولوژی که همان وضعیت بریکرها و سکسیونرها است، توسط پیام‌های GOOSE دریافتی از دیگر IEDهای موجود مثلاً BCUها در اختیار قرار می‌گیرد.

مکانیزمی در سرویس GOOSE برای اطمینان از دریافت اطلاعات وجود دارد که با تکرار پیام حاصل می‌شود. علاوه بر آن مکانیزمی در سرویس GOOSE است که ردیابی خرابی ارتباطات هر یک از AVRها را ممکن می‌کند. از آنجایی که این نوع خرابی‌ها ممکن است منجر به عملکرد نادرست دیگر AVRها شود، در این حالت بقیه AVRهای متعلق به آن گروه کاری موازی، بلاک می‌گردند. که در نهایت منجر به افزایش قابلیت اطمینان کلی سیستم می‌شود [۶].

یکی از مزیت‌های بزرگ این سیستم این است که برای ارتباط کلیه AVRها جهت تبادل داده، تنها به یک شبکه اترنت نیاز است. به علاوه سیستم بر مبنای پروتکل باز است به شکلی که سازه‌های مختلف AVR می‌توانند با یکدیگر کار کنند. این مزایا با کاهش ارتباطات

رفع خطای ۶ ثانیه استفاده می کنند. اتصالات سبز و قرمز به ترتیب نماینده اتصال مسی CAT-6e و فیبر نوری هستند. برای سادگی نرخ صحبت برابر ۱ فریم بر ثانیه فرض شده است. همچنین زمان کلیدزنی بین سرورهای فعال و جایگزین برابر ۱ دقیقه، زمان تعمیر هر تجهیز غیرافزونه برابر ۳۰ دقیقه و زمان تعمیر هر اتصال ۱۵ دقیقه فرض شده است [۱۰].



شکل ۳: سیستم اتوماسیون پست نمونه

داده‌های ازدست‌رفته برخط برای ۶ سناریو مختلف بررسی شده و مقدار داده از دست رفته بر حسب بیت برای هر سناریو در جدول (۳) نمایش داده شده است [۱۰].

جدول ۳: خلاصه نتایج

| سناریو | توصیف | داده ازدست‌رفته (Mbit) |
|--------|---------------------------|------------------------|
| ۱ | خرابی سرور ۱ | ۰,۰۵۷ |
| ۲ | خرابی NL3 | ۰,۴۲۲ |
| ۳ | خرابی ارتباط بین S3 و NL4 | ۰,۲۱۱ |
| ۴ | خرابی S4 | ۰,۴۲۷ |
| ۵ | قطع ارتباط بین S4 و S3 | ۰,۰۱۱ |
| ۶ | خرابی NL3 و سرور ۱ | ۰,۴۶۵ |

مشاهده می شود سناریو ۶ بزرگترین مقدار داده‌های ازدست‌رفته برخط را تجربه می کند زیرا هر دو خطای این سناریو منجر به حذف سوئیچ می گردد. نیز می بینیم که خرابی سرور منجر به غیرقابل دسترس شدن کلیه داده‌های سیستم می شود، اما به دلیل کوچک بودن زمان کلیدزنی بین سرورهای افزونه، داده‌های ازدست‌رفته برخط به مقدار قابل توجهی کمتر از دیگر حالات است [۱۰]. در واقع افزونگی داده‌های ازدست‌رفته برخط را از بین نمی برد بلکه مقدار آن را کاهش می دهد.

۲-۳- قابلیت اطمینان معماری‌های مختلف ارتباطات سیستم اتوماسیون پست

استفاده از سوئیچ‌های اترنت که توپولوژی‌های مختلف ارتباطی سیستم قدرت را پشتیبانی می کنند بهترین مزیت استفاده از استاندارد IEC-61850 است. این استاندارد آزادی‌های فراوانی به طراحان سیستم برای انتخاب تجهیزات، توپولوژی و پارامترهای سیستم می دهد. اما نتیجه نهایی باید به گونه‌ای باشد که زمان انتقال داده مورد نیاز سیستم اتوماسیون پست برآورده شود.

بنابراین قبل از پیکربندی توپولوژی‌های ارتباطی لازم است قابلیت

اطمینان، دسترس پذیری و انتقال پیام زمان واقعی آنالیز شود. معماری‌های ارتباطی متداول شبیه‌سازی شده و قابلیت اطمینان و میانگین زمان خطا آن‌ها محاسبه شده است [۱۱].

۳-۲-۱- توپولوژی آبخاری

در توپولوژی آبخاری هر IED به IED دیگر با لینک مستقیم متصل شده و پیکربندی به شکل زنجیره‌ای و با حلقه‌ای باز است. این توپولوژی ساده و کم هزینه است. اگرچه تاخیر زمانی آن به صورت قابل توجهی زیاد است.

۳-۲-۲- توپولوژی حلقوی

معماری حلقوی مانند معماری آبخاری است با این تفاوت که حلقه بین اولین و آخرین سوئیچ بسته می شود. لذا برای جلوگیری از گردش پیام‌های تکراری در حلقه، از سوئیچ‌هایی استفاده می شود که حلقه را پشتیبانی می نمایند. این معماری گران تر و پیچیده تر است و زمان تاخیر آن از توپولوژی آبخاری کمتر است.

۳-۲-۳- توپولوژی ستاره

یک توپولوژی ستاره نمونه شامل ۴ شبکه یکپارچه با IED 60، ۴ هاب شبکه، یک گیت‌وی و یک سرور بررسی شده است. قابلیت اطمینان محاسبه شده از آبخاری بیشتر و از حلقوی کمتر است.

۳-۲-۴- توپولوژی حلقوی افزونه

این توپولوژی از اتصال دو حلقه به یکدیگر ساخته می شود. این دو حلقه خود از طریق چند سوئیچ اترنت تشکیل حلقه‌ای بزرگتر می دهند. این معماری نرخ انتقال داده بهتری دارد. اما نتایج شبیه‌سازی نشان می دهد که مقداری تلفات در انتقال داده وجود دارد.

۳-۲-۵- توپولوژی ستاره-حلقوی

هر سوئیچ اترنت سطح بی مستقیماً به دو سوئیچ اصلی اترنت متصل است. سوئیچ‌های اصلی اترنت نیز به صورت حلقه به یکدیگر متصل هستند که منجر به افزونگی بیشتر و تاخیر کمتر می شود. عملکرد تاخیر زمانی در معماری ستاره-حلقوی بسیار بهتر از آبخاری و حلقوی است. اما نیاز به دو سوئیچ اضافه برای پیکربندی شبکه داریم.

۳-۲-۶- توپولوژی ترکیبی

در این توپولوژی هر IED به یک سوئیچ متصل است که خود به سوئیچ اترنت اصلی متصل دارد. نرخ انتقال داده بین IEDها و سوئیچ‌ها بسیار سریع تر و تاخیر حداقل می گردد. اما به دلیل تعداد زیاد تجهیزات مورد استفاده، قابلیت اطمینان آن از توپولوژی‌های ستاره-حلقوی و حلقوی افزونه بسیار کمتر است.

از محاسبات انجام گرفته می توان دریافت که توپولوژی آبخاری بدترین و حلقوی افزونه قابل اطمینان ترین است. توپولوژی‌های آبخاری و حلقوی بیشترین تاخیر در انتقال داده و توپولوژی‌های ترکیبی و ستاره-حلقوی کمترین تاخیر را دارند [۱۱]. از این رو می توان نتیجه گرفت با مقایسه کلی همه توپولوژی‌ها با یکدیگر از لحاظ انتقال داده، زمان تاخیر، قابلیت اطمینان و دسترس پذیری، توپولوژی‌های ترکیبی، ستاره-حلقوی و حلقوی افزونه کارآمدترین هستند.

۴- امکان‌سنجی به‌کارگیری قابلیت‌های جدید استاندارد IEC-61850 و اتوماسیون پست در شبکه برق ایران

با افزایش تعداد پست‌های اتوماسیون در شبکه برق ایران، توجه به قابلیت‌های استاندارد IEC-61850 و اتوماسیون پست اهمیت فراوانی یافته است. در این بخش زمینه‌های به‌کارگیری قابلیت‌های معرفی شده در بخش‌های گذشته مطابق با نیازهای شبکه برق ایران معرفی شده است.

۴-۱- امکان‌سنجی به‌کارگیری قابلیت‌های جدید برای اتصال تولیدات پراکنده و منابع تجدیدپذیر به شبکه

در حال حاضر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و تولیدات پراکنده در دستور کار صنعت برق قرار گرفته است. توسعه این منابع تولید

پست‌های برق فشارقوی مورد بررسی قرار گرفته است. با رشد روزافزون انرژی‌های تجدیدپذیر و تولیدات پراکنده در کشور، استفاده از قابلیت‌های سیستم اتوماسیون و پروتکل IEC-61850 در بهبود مدیریت شبکه بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر با وجود گسترش پست‌های اتوماسیون در شبکه برق کشورمان، بسیاری از قابلیت‌ها و کاربردهای آن در پست بدون استفاده باقی مانده است. تست موفقیت‌آمیز فرمان تریپ ارسالی از طریق پیام GOOSE در رله‌های حفاظتی یکی از کاربردهای این پروتکل در پست‌های اتوماسیون می‌باشد. همچنین در صورت استفاده از پیام‌های GOOSE برای کنترل ترانسفورماتورهای قدرت موازی، ضمن کاهش حجم کابل‌کشی در پست می‌توان ترانسفورماتورهای قدرت با برندهای مختلف رله AVR را نیز با یکدیگر موازی نمود. با بررسی میزان داده‌های از دست‌رفته بر خط از می‌توان از صحت عملکرد و قابلیت اطمینان سیستم اطمینان حاصل نمود. بررسی‌های انجام شده حول مقوله قابلیت اطمینان و تاخیر انتقال داده، استفاده از توپولوژی‌های ستاره-حلقوی، حلقوی افزونه و یا ترکیبی را برای سیستم اتوماسیون پست توصیه می‌کند.

رونمایی از نرم‌افزار بومی اتوماسیون پست در برق منطقه‌ای خراسان، فرصت مناسبی برای استفاده از قابلیت‌ها و کاربردهای اتوماسیون ایجاد نموده است. طراحی این نرم‌افزار و بومی‌سازی دانش آن، ضمن فراهم نمودن بستری مناسب برای مدیریت طرح‌های تولید پراکنده، کنترل تپ‌چنجر و همچنین پیاده‌سازی سایر طرح‌های کاربردی در حوزه اتوماسیون، سبب اشتغال‌زایی و صرفه‌جویی میلیاردی خروج ارز از کشور می‌شود.

مراجع

- [1] مصطفی رجبی مشهدی، محمدرضا حسین‌زاده، داوود محمدی سوران، هاتیه اسماعیلی و زهرا کبیری، سیستم اتوماسیون پستهای فشار قوی پروتکل و کاربردهای آن، شرکت برق منطقه‌ای خراسان، چاپ اول بهمن ۹۱
- [2] R. Das, V. Madani, F. Aminifar, J. McDonald, S.S. Venkata, D. Novosel, A. Bose, M. Shahidehpour, «Distribution Automation Strategies: Evolution of Technologies and the Business Case» IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, Volume: 6, Issue: 4
- [3] M. Petrini, E. Casale, P. Cuccia, R. Gnudi, F. Bassi, G. Giannuzzi, C. Coluzzi, G. Bruno, L. Campisano, L. Zretti, V. Agnetta, C. Sabelli, «A possible evolution of substation automation systems for the management of the distributed generation» AEIT Annual Conference, 2013
- [4] داوود صالحی و مصطفی رجبی مشهدی، «توسعه و ارتقاء قابلیت‌های حفاظتی یک پست فوق توزیع با استفاده از امکان goose message»، اولین کنفرانس اتوماسیون صنعت برق، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۱
- [5] M. Daboul, J. Orsagova, T. Bajaneck, V. Wasserbauer, «Testing protection relays based on IEC 61850 in Substation Automation Systems» 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), 2015
- [6] J.M. Yarza, R. Cimadevilla, «Advanced tap changer control of parallel transformers based on IEC 61850 GOOSE service» T&D Conference and Exposition, 2014 IEEE PES, 2014
- [7] Z. Gajic, S. Aganovic, J. Benovic, G. Leci, S. Gazzari, «Using IEC 61850 analogue goose messages for OLTC control of parallel transformers» Developments in Power System Protection (DPSP 2010). Managing the Change, 10th IET International Conference, 2015
- [8] مصطفی رجبی مشهدی، محمدرضا حسین‌زاده و فرشید فریدونی فروزنده، «سیستم اتوماسیون پست‌های برق فشار قوی و چالش‌های پیش رو»، اولین کنفرانس اتوماسیون صنعت برق، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۱
- [9] M.S. Thomas, I. Ali, «Reliable, Fast, and Deterministic Substation Communication Network Architecture and its Performance Simulation» IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, Volume: 25, Issue: 4
- [10] B. Falahati, M. Vakilian, Fu Yong, «Online data loss in substation automation systems» Power & Energy Society General Meeting 2015 IEEE, 2015
- [11] N. Das, H. Modi, S. Islam, «Investigation on architectures for power system communications between substations using IEC 61850» Power Engineering Conference (AUPEC), 2014 Australasian Universities, 2014

پراکنده بر عدم قطعیت‌های تعادل تولید و مصرف و پیچیدگی‌های حفاظتی شبکه‌ی برق خواهد افزود. از این رو می‌تواند منجر به افزایش خاموشی‌های شبکه و گسترش حوادث گردد. لذا به نظر می‌رسد لازم است از هم‌اکنون نیازمندی‌های اطلاعاتی و عملکردی شبکه و نیز قابلیت‌های ارتباطی و کنترلی پروتکل IEC-61850 برای راهبری شبکه و همچنین پست انتقال و یا فوق توزیع نزدیک به این منابع مشخص گردد. این نکته به خصوص در بخش‌هایی از شبکه که حضور تولید پراکنده و منابع تجدیدپذیر گسترده می‌شوند ضروری است.

مطالعات اولیه نشان می‌دهد در مقیاس وسیع احداث نیروگاه‌های بادی در منطقه‌ی شرق کشور رو به گسترش است و اجرای حفاظت ویژه تولید و بار برای این واحدها امری ضروری است. در این خصوص در صورتی که در پست‌های بلافصل نیروگاهی و واحدهای آن این کاربردها از هم‌اکنون پیش‌بینی گردد از اجرای پرهزینه حفاظت‌های شبکه و یا عدم امکان اجرای برخی از آن‌ها جلوگیری خواهد شد.

۲-۴- به کارگیری قابلیت ارسال پیام GOOSE بر کنترل تپ‌چنجر ترانسفورماتورهای موازی در ایران

سرویس GOOSE استاندارد IEC-61850 امکان خوبی برای جلوگیری از تلفات جریان گردشی ناشی از متفاوت بودن ولتاژ سمت فشار ضعیف ترانسفورماتورهای موازی فراهم کرده است. به نظر می‌رسد از این قابلیت به خوبی می‌توان در شبکه برق ایران استفاده نمود. سالیانه در کشور نیاز به احداث حدود ۱۰۰ پست فوق توزیع و انتقال می‌باشد. با توجه به کاهش منابع مالی صنعت برق و مقرون به صرفه بودن توسعه پست‌های موجود با افزودن یک ترانسفورماتور، احتمال ایجاد جریان‌های گردشی در سمت ثانویه ترانس افزایش یافته است. به کارگیری قابلیت معرفی شده در بخش ۲-۳ می‌تواند با استفاده از پیام‌های ارسالی از طریق سرویس GOOSE کمک زیادی به حل این موضوع نماید. این روش مزایایی مانند صرفه‌جویی در هزینه‌های کابل‌کشی پست، ساده‌سازی مهندسی و نگهداری سیستم و امکان پیاده‌سازی در پست‌های اتوماسیون و غیر اتوماسیون را فراهم می‌کند.

۳-۴ از دست‌رفتن داده‌های برخط و بهترین توپولوژی ارتباطاتی از آن جایی که استقرار سیستم‌های اتوماسیون پست بر مبنای IEC-61850 در کشور رو به فزونی است، دغدغه از دست‌رفتن داده‌ها در بخش‌های مختلف از جمله داده‌های کنترلی و حفاظتی یکی از موضوعات اساسی است. قابلیت اخیر که در بخش ۳-۱ معرفی گردید می‌تواند بخشی از این نگرانی‌ها را پوشش دهد. همچنین با توجه به محاسبات صورت بر روی قابلیت اطمینان و زمان تاخیر در انتقال داده در بخش ۳-۲، توصیه می‌شود در طراحی توپولوژی سیستم‌های اتوماسیون پست جدید از معماری ستاره-حلقوی و حلقوی افزونه استفاده شود.

۴-۴ به کارگیری برخی از قابلیت‌های بلااستفاده در اتوماسیون پست همان‌طور که اشاره شد استقرار سیستم‌های اتوماسیون پست بر مبنای IEC-61850 در کشور روند روبه رشدی یافته است لذا به کارگیری قابلیت‌ها و کاربردهای بلااستفاده آن موضوع حائز اهمیت است. از آن جمله می‌توان به محدود شدن استفاده از سرویس GOOSE استاندارد IEC-61850 به فرامین کنترلی مانند اینتراک‌ها اشاره کرد. در بخش ۲-۳ تست ارسال فرمان تریپ با سرویس GOOSE مطالعه شده است که در جهت افزایش اطمینان به این سرویس مفید خواهد بود. استفاده از پیام‌های GOOSE برای ارسال فرامین تریپ توسط رله‌های حفاظتی با کاهش حجم کابل‌کشی در پست منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله قابلیت‌ها و کاربردهای جدید سیستم‌های اتوماسیون در