هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران
۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۲

زیر ساخت جامع مخابراتی اتوماسیون سیستم توزیع

علیرضا فریدونیان - سعید افتارنیا - سید محمودعطاری - محبوبه زراعت زاده
گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه تهران- تهران
شرکت توزیع جنوب استان کرمان -کرمان
ایران

کلمات کلیدی : اتوماسیون، توزیع انرژی الکتریکی، مخابرات، TCP/IP

چکیده

درسیستم اتوماسیون توزیع[1] ، دو نیاز اساسی وجود دارد: یکی گردآوری اطلاعات از خطوط و مقادیر مصرف و رله‌ها (مانیورینگ) و دیگری ارسال فرامین (کنترل). شرط لازم برای اجرای هر دو نیاز، یک زیر ساختار استاندارد برای مخابره اطلاعات می‌باشد. سیستم‌های مخابراتی بسیاری برای اتوماسیون توزیع طراحی شده‌اند، اما هر یک از این سیستم‌های مخابراتی، از پروتکل‌های بخصوصی استفاده می‌کنند و برای وظایف بخصوصی از سیستم اتوماسیون توزیع طراحی شده‌اند. لذا نیاز به یک سیستم مخابراتی جامع که قادر به پوشش دادن به تمامی وظایف اتوماسیون توزیع باشد احساس می‌شود. در این مقاله، یک زیر ساختار جدید بنام PS-TCP/IP[2] برای تمام ارتباطات اتوماسیون توزیع، معرفی شده است. در طراحی PS-TCP/IP سه اصل مورد نظر قرار گرفته است: اول اینکه هر عنصر شبکه[3] درگیر در ارتباطات اتوماسیون توزیع دارای آدرس یکتایی در لایه شبکه[4] است که با وضعیت نسبی آن در شبکه توزیع قدرت همخوانی دارد. دوم آنکه، تمام عناصر شبکه (NEها) که اطلاعات آنها با فرمت استاندارد (IP-Datagram) باشد می‌توانند با یکدیگر ارتباط داشته باشند و سوم آنکه هر پروتکل از لایه‌های ۱و۲ استاندارد ISO/OSI می‌تواند براحتی در این سیستم مخابراتی مورد استفاده قرار گیرد.مزایای سیستم ارائه شده طی یک مثال واقعی معرفی، و از دیدگاههای مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۱- مقدمه

بسیاری از وظایف سیستم اتوماسیون توزیع (DA) از سالهای ۱۹۹۰ در سراسر جهان توسط شرکتهای برق منطقه‌ای تحقق یافته‌اند (جدول ۱). سیستم اتوماسیون توزیع، مزایایی از جمله بهینه‌نمودن سیستم توزیع از نظر تلفات انرژی و سرمایه، کاهش مصرف سوختهای فسیلی و حفظ آنها و در نتیجه محیط زیست، کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی در شبکه، افزایش قابلیت اطمینان شبکه توزیع و تداوم خدمات به مشترکین را به ارمغان می‌آورد. این وظایف اتوماسیون توزیع ماهیتا تفاوتهای زیادی با هم دارند و نیازهای ارتباطی آنها هم به همین صورت از هم متفاوت است. بعنوان نمونه، تابع "اتوماسیون فیدر"[5] (FA) که به معنای تغییر ساختار فیدرها[6] با استفاده از کلیدهای کنترل از راه دور است نیازمند این است که اطلاعات بلادرنگ از ده‌ها گره واقع در طول فیدر گردآوری شوند. سیستم‌هایی برای تخمین حالت سیستم توزیع برای پرهیز از خطاهای اندازه‌گیری لازم می‌باشد. کار "خواندن اتوماتیک کنتور"[7] ایجاب می‌کند که هر یک دو یا دو ماه مصرف انرژی از هزاران کنتور واقع در محدوده جمع‌آوری شوند.[1,2,3]

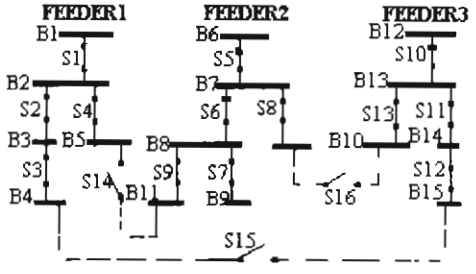
بخاطر این ناهمگونی در ویژگیهای ارتباطی، تاکنون ایجاد یک ساختار واحد و استاندارد که جوابگوی کلیه این نیازها باشد کار مشکلی بوده است.

جدول (۱) توابع و وظایف سیستم اتوماسیون توزیع

توابع مربوط به شرکتهای برق	توابع مربوط به مشترکین
خواندن اتوماتیک کنتور[7] (AMR)	اتوماسیون فیدر (FDIR) یعنی تشخیص، ایزوله کردن و ماریابی خطا و جایجایی بار (I.T)
کنترل ولت/ وار محتمع	سیستم اطلاع رسانی خطا[8] (TCS)
تجدید آرایش فیدر	کنترل مستقیم بار[9] (DLC)

برای تجسم بهتر تجدید آرایش فدر، شکل (۱) را در نظر بگیرید. این سیستم توزیع که در مقالات IEEE به نام شبکه سه فیدری مشهور است دارای ۱۶ کلید می‌باشد و در بیشتر مطالعات بعنوان سیستم توزیع استاندارد مورد بررسی

قرار گرفته است. برای بهره‌برداری بهتر از این شبکه مثلا می‌توان کلید S3 را گشود و کلید S15 را بست. بدینترتیب گره B4 از فیدر ۱ به فیدر ۳ منتقل خواهد شد برای اندازه‌گیری در شبکه و نیز اعمال فرامین قطع و وصل به کلیدهای شبکه، نیاز به یک سیستم مخابراتی قابل اعتماد وجود دارد.[4,5,6]

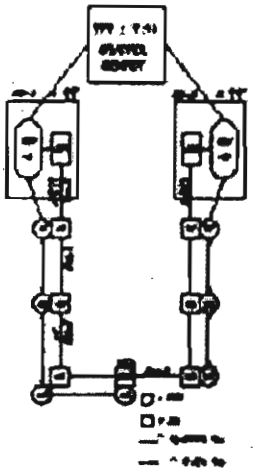


شکل (۱) سیستم توزیع مثال IEEE

۲- مسائل مخابراتی اتوماسیون توزیع

۲-۱- ارسال اطلاعات، نمونه‌ای از مشکلات شرکتهای برق

همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، ساختار یک فیدر اتوماتیک (A یا B) از یک فیدر معمولی با چند کلید خط (LS)[10] اتوماتیک با کنترل از راه دور -که برای تقسیم فیدر به چند بخش استفاده می‌شوند- تشکیل شده است. این کلیدها توسط دستگاهی به نام RTU[11] از راه دور کنترل می‌شوند. این دستگاه در پست توزیع از طریق دستگاه دیگری که FTU[12] نام دارد و در کنار کلیدها قرار می‌گیرد، این عمل را انجام می‌دهد. FTU ها وضعیت فیدرها را (از جمله جریان و ولتاژ و زاویه آنها) طی بازه‌های زمانی مشخصی گزارش می‌دهند. امروزه بیشتر چنین سیستم‌هایی از یک پروتکل نظر خواهی[13] بین RTU و FTU استفاده می‌کنند، در حالیکه در حالت عادی، کنترل ارتباط با RTU است.



شکل (۲) یک سیستم توزیع دو فیدری اتوماتیک نمونه

هدف از اجرای اتوماسیون در این سیستم عملکردی از اتوماسیون توزیع است که بنام FDIR[14] شناخته می‌شود و جزء عملکردهای تجدید آرایش است. برای نمونه، فرض کنید که در بخش ۲ از فیدر A در شکل (۲) خطایی بوجود می‌آید. در اینصورت کلید مدار شکن ۱ (CB1) دچار خطا (قطع) خواهد شد و در همان حال به RTU-A خبر می‌دهد که اشکالی در فیدر بوجود آمده است. سپس RTU-A شروع می‌کند به چک کردن FTU ها، تا تعیین نماید که از کدامیک از آنها اضافه جریان گذشته است. RTU-A تشخیص خواهد داد که قسمت ۲ دچار خطا شده زیرا FTU-a2 بخش ۲، اضافه جریان نشان می‌دهد، در صورتیکه برای FTU-a3 مشکلی بوجود نیامده است. پس از آن RTU-A به FTU-a2 و FTU-a3 فرمان می‌دهد که کلیدهایشان را باز کنند و سپس دوباره CB1 را می‌بندد. بدینترتیب، خطا در بخش ۲ از فیدر A شناسایی و ایزوله می‌شود و سایر قسمتها دارای برق می‌شوند.[1,3]

برای کاستن هر چه بیشتر از ناحیه تحت تاثیر خطا، عملکرد دیگری از اتوماسیون توزیع- عملکرد انتقال بار یا LT[15]- فراخوانی می‌شود. انتقال بار با چک کردن مرکز اطلاعاتی شبکه و اطلاعات مربوط به بارها (که بصورت بلادرنگ در دسترس هستند) می‌تواند تشخیص بدهد که بعنوان مثال بخش ۳ از فیدر A می‌تواند به فیدر B منتقل شود. سپس به RTU-A دستور می‌دهد که کلید LS-a4 را ببندد. وقتی این عمل انجام شد، منطقه تحت تاثیر خطا با این فرآیند FDIR-LT به کمترین مقدار خود می‌رسد.

پس از انتقال بار، مسئله‌ای بوجود می‌آید: وقتی LS-a4 بسته است، FTU-a4 و LS-a4 بخشی از فیدر B خواهند شد. با این وجود، از آنجا که اتصال مخابراتی به FTU-a4 دست نخورده باقی می‌ماند باید روشی توسعه داده شود که اطلاعات بین FTU-a4 و RTU-B (بجای RTU-A) مبادله شوند.

در شرایط معمولی طراحی سیستم، باید در مرکز کنترل (CC) توسط یک برنامه مخصوص که فقط می‌تواند اطلاعات FDIR را ارسال نماید کنترل شبکه انجام شود. اگر لازم باشد که توابع دیگر اتوماسیون توزیع تحقق یابند، تمام سیستم ارتباطی باید مطالعه و طراحی مجدد شود. همچنین اگر شرکتها و سرمایه‌گذاران مختلفی دست‌اندرکار اتوماسیون هستند، مرکز کنترل ممکن است ناچار باشد که تبدیل بین پروتکل‌های مختلف از شرکتهای مختلف را نیز انجام دهد. این کار، بخصوص زمانی که یکی از پروتکل‌ها سنکرون و دیگری آسنکرون است چندان ساده نیست و علاوه بر تغییرات نرم‌افزاری مستلزم طراحی بردهای سخت‌افزاری نیز می‌باشد.

۲-۲- مشکل آدرس‌دهی عناصر شبکه - یک مسئله مربوط به مشترکین

بزرگترین و برجسته‌ترین ویژگی مخابرات در اتوماسیون توزیع که در ارتباط با مشترکین می‌باشد این است که تعداد بسیار زیادی عناصر شبکه (NE) وارد این سیستم می‌شوند و تک‌تک این عناصر شبکه باید قابل تشخیص باشند. بعنوان مثال برای داشتن سیستم اطلاع از خط (TCS) و اتوماسیون خواندن کنتور (AMR)، طراح سیستم باید قادر باشد هر مشترک را بطور یکتا شناسایی می‌نماید. در غیر اینصورت، فرآیند یافتن محل خطا یا صدور قبض دچار اشکال خواهد شد.

باید یک روش آدرس‌دهی موثر توسعه یابد تا اینکه نه تنها به شرکت برق کمک کند که هر مشترک را بشناسد، بلکه تحقق عملکردهای اتوماسیون توزیع را نیز تسهیل نماید. با این وجود بیشتر طرح‌های آدرس‌دهی موجود که استفاده می‌شوند تنها هدف اول را تامین می‌کنند. همچنین، چون شرکتهای مختلف ممکن است از طرح‌های آدرس‌دهی مختلفی استفاده کنند این امر بسیار می‌تواند امر نظارت بر توزیع انرژی را مشکل نماید. بهر حال ممکن است زمان زیادی طول بکشد که همه شرکتها مثل شرکتهای تلفن از یک علامت مشخصه (ID) برای هر مشترک استفاده نمایند.

۲-۳- مشکل دسترسی به عناصر شبکه - یک مشکل مشترک

انواع زیادی از عناصر شبکه هستند که در ارتباطات سیستم اتوماسیون توزیع درگیر هستند مثل RTU، FTU، کنتورهای مشترکین و بارها. بیشتر عناصر شبکه مربوط به توابع و عملکردهای سیستم اتوماسیون توزیع از قبیل RTU ها و FTUها می‌توانند از طریق یک اتصال مستقیم بین مرکز و وسیله مورد نظر، در دسترس باشند. اما ایجاد یک اتصال و ارتباط مستقیم به هر کنتور مشترک و بار، نه ممکن است و نه اقتصادی. بنابراین برای دسترسی به هر عنصر شبکه و گنجاندن آنها در یک ساختار مخابراتی واحد، تلفیقی از لایه‌های اول و دوم پروتکل‌های مختلف باید در این ساختار مخابراتی مجاز شمرده شود. با وجود این نیاز، تا کنون گزارشی از تحقق چنین شرایطی داده نشده است.

۳- تعریف مسئله

در پیاده‌سازی زیر ساخت مخابراتی در یک سیستم عملی واقعی وضعیت بسیار پیچیده‌تری حاکم است. اول آنکه حجم ترافیک اطلاعات خیلی بیشتر است. از جمله اینکه در شهرهای بزرگ، انتقال بار[15] (LT) و در نتیجه ارسال اطلاعات (FDIR) خیلی اتفاق می‌افتد. این امر می‌تواند براحتی باعث شلوغی در ارتباطات مرکز کنترل (CC) شود، مگر اینکه قدرت پردازش و پهنای باند فرکانسی آن بخوبی پیش‌بینی و تعیین شده باشد. همچنین اگر مرکز کنترل وظیفه تبدیل پروتکل یا آدرس‌دهی را انجام دهد، تراکم ترافیک می‌تواند بدتر هم باشد.

دوم آنکه بدلیل همه منظوره نبودن برنامه‌های مسیریابی و ارسال اطلاعات قبلی، تحت پوشش قرار دادن سایر کاربردها با یک آلگوریتم یکسان بسیار مشکل می‌باشد. هر چه تعداد بیشتری از توابع و عملکردهای اتوماسیون توزیع تحقق یابند، مسئله ارسال داده‌ها در مرکز کنترل پیچیده‌تر، غیر قابل کنترل‌تر و کم‌بازده‌تر می‌شود. مسئله سوم این است که برای مجتمع کردن تمامی توابع اتوماسیون توزیع تحت یک ساختار مخابراتی واحد، باید یک طرح آدرس‌دهی ارائه شود که تمامی عناصر شبکه را در برگیرد. این امر شامل تمام RTUها، FTUها، کنتورهای مشترکین، بارهای کنترل شده و غیره را نیز در بر خواهد داشت. اگر تمامی عناصر شبکه مورد توجه قرار گیرند، الگوی آدرس‌دهی می‌تواند خیلی پیچیده و بی‌بازده باشد، در حالیکه هزینه زیادی برای توسعه آن مصرف شده است. چهارمین مسئله این است که کلیه برنامه‌های مسیریابی،

پروتکل‌ها و طرح‌های آدرس‌دهی باید توسط شرکت برق توسعه داده شوند. این موضوع می‌تواند کار را بسیار پرخرج و زمان‌بر سازد.

۴- ارایه یک راه‌حل یکپارچه

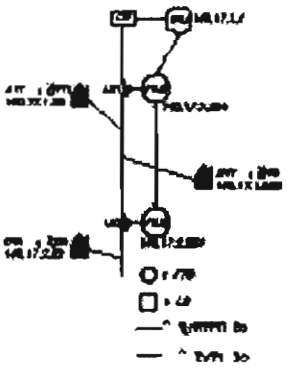
۴-۱- معیارهای طراحی

از بحث ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که یک زیر ساخت مخابراتی مجتمع اتوماسیون توزیع باید بتواند سه معیار طراحی را برآورده سازد: اول، آنکه باید یک الگوی آدرس‌دهی سراسری توسعه یابد تا هر عنصر شبکه درگیر در مخابرات سیستم توزیع بتواند بشکل یگانه‌ای شناسایی شود. دوم، سیستم مخابراتی اتوماسیون توزیع باید از هر یک از عملکردها و توابع اتوماسیون توزیع مجزا گردد. به این معنا که سیستم مخابراتی باید بتواند مستقل از ساختار کنترل عمل نماید تا همه توابع اتوماسیون توزیع تحت پوشش این سیستم قرار گیرد. سوم، زیر ساخت مخابراتی توسعه داده شده باید بتواند لایه‌های اول و دوم پروتکل‌های مختلف را طبق استاندارد ISO/OSI در خود بگنجاند [7,8]. برای یک محیط کاملا اتوماتیک، تعداد عناصر شبکه که با سیستم مخابرات اتوماسیون توزیع در تماسند خیلی زیاد است. اگر ما تعداد FTUها، RTUها، کنتورهای مشترکین، خازنها و بارهای قابل کنترل از راه دور را با هم جمع کنیم، عدد حاصل ممکن است به بزرگی عناصر شبکه اینترنت باشد! بهمین دلیل و نیز بدلیل اینکه نیازهای مخابراتی اتوماسیون توزیع خیلی به نیازهای شبکه اینترنتت شبیه است، می‌توان از یک زیر ساخت ارتباطی مبتنی بر تکنولوژی اینترنت بهره جست.

ساختار ارائه شده PS-TCP/IP از الگوی لایه بندی ISO/OSI استفاده می‌کند. به این معنا که ساختار سیستم مخابراتی از توابع و عملکردهای سیستم اتوماسیون توزیع مستقل است. این امر منجر به ایجاد یک محیط مخابراتی باز و شفاف برای تمام توابع اتوماسیون توزیع می‌شود.

۴-۲- الگوی آدرس‌دهی *IP* شرکت برق (*Utility-IP*)

در وهله اول پیشنهاد می‌شود که یک آدرس U-IP (یعنی آدرس IP شرکت برق) به هر مشترک و هر عنصر شبکه درگیر در سیستم مخابراتی اتوماسیون توزیع اختصاص یابد که با وضعیت نسبی آنها در شبکه توزیع قدرت همخوانی دارد. این آدرس U-IP، همانند آدرس معمولی اینترنت، از ۳۲ بیت تشکیل شده و سلسله مراتب آن، طبق وضعیت نسبی هر عنصر شبکه در سیستم توزیع قدرت تعریف می‌شود. مثلا می‌توان یک آدرس کلاس B (یعنی مثلا 140.17.1.xxx) به فیدر شکل (۳) نسبت بدهیم و به تمامی مشترکین متصل به قطعه خط بین LS1 و LS2 آدرس U-IPی همانند 140.17.1.xxx بدهیم و xxx عددی بین ۱ و ۲۵۵ می‌تواند باشد.



شکل (۳)- مثالی از طرح آدرس‌دهی U-IP

یک آدرس ارسال[16] (xxx=255) به منظور ارائه سرویس ارسال (مثلا DLC) به هر تابع اتوماسیون توزیع (که به این سرویس نیاز دارد) رزرو می‌شود. همچنین یک آدرس مخصوص برای هر بخش مثلا x=254 می‌تواند برای FTU رزرو گردد.

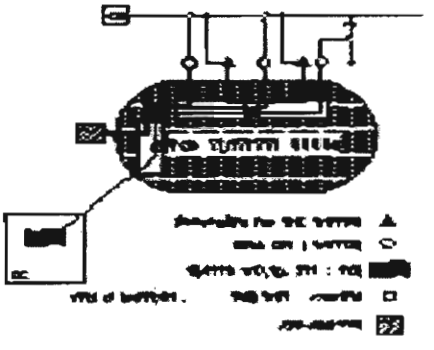
با تخصیص آدرس‌های U-IP با تفصلی که ذکر شد، می‌توان شرکت برق را یاری داد تا یک نسخه پایه از سیستم اطلاع رسانی خطا را بشکل خودکار توسعه دهد. مثلا اگر مشترک‌های A وB در شکل (۳) دچار مشکل قطع برق شوند و شرکت برق را خبر کنند، مسوول تعمیرات می‌تواند براحتی با نگاه کردن به U-IPهای A و B بفهمد که کدام قسمت از شبکه دچار مشکل شده است. ملاحظه می‌شود که این سیستم آدرس‌دهی U-IP می‌تواند مزایایی علاوه بر خود سیستم اتوماسیون توزیع برای شرکت برق داشته باشد.

۴-۳- شبکه *peer-to-peer*[17] و بسته‌بندی[18] اطلاعات

برای بدست آوردن دومین معیار طراحی، پیشنهاد می‌شود که از یک ساختار peer-to-peer استفاده شود که

در آن همه عناصر شبکه می‌توانند زمانی اطلاعاتشان را با هم مبادله نمایند که آنها را در دیتا گرم‌های استاندارد IP[19] بسته بندی کرده باشند. [7,8]

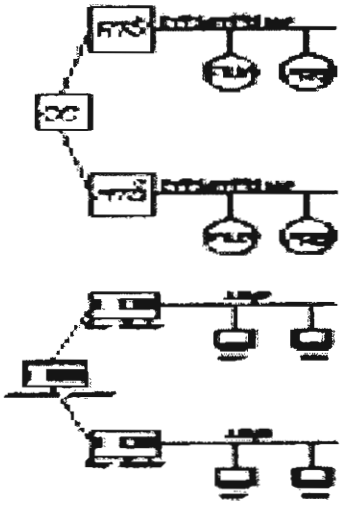
با وجود اینکه توابع اتوماسیون توزیع طبیعتا سلسله مراتبی هستند، بسیار لازم و مهم است که بدانیم ساختار مخابراتی مورد استفاده برای پشتیبانی این توابع و عملکردها لازم نیست خودش سلسله مراتبی باشد. مثلا اگر چه زیر ساخت ارتباطی شکل (۲) بصورت peer-to-peer است، RTU همچنان می‌تواند به شکل موثری عملکردهای FDIR و جمع‌آوری اطلاعات را انجام دهد. اما اکنون از آنجا که FTU ها می‌توانند با هم صحبت کنند، زمانی این ساختار انعطاف‌پذیرتر خواهد بود که، یک تابع رله کردن کامپیوتری (که به مخابرات بین FTUها نیاز دارد) نیز پیاده‌سازی شود. علاوه بر peer-to-peer بودن، شبکه ارتباطی باید همچنین از هر عملکرد سیستم اتوماسیون توزیع مستقل باشد تا اجازه دهد که انواع مختلف اطلاعات به شکل شفافی رد و بدل نوند. مثلا در شکل (۲) از آنجا که ساختار ارتباطی محدود به عملکرد FDIR است (RTU کنترل کامل را اعمال می‌کند)، هیچ تابع دیگری از اتوماسیون توزیع نمی‌تواند از ساختار مخابراتی استفاده کند، مگر اینکه ابتدا با عملکرد FDIR هماهنگ شده باشد. این مسئله باعث می‌شود که طراحی سخت‌افزار و نرم‌افزار سیستم اتوماسیون توزیع به طرز بیهوده‌ای پیچیده شود. در مثال FDIR شکل(۲)، اگر از یک طرف مشخص کنیم که تمام عناصر شبکه (FTUها و RTUها) باید اطلاعات خود را قبل از ارسال، در یک فرمت استاندارد بسته‌بندی (کپسوله) کنند، و از طرف دیگر شبکه مخابراتی را به یک شبکه همه منظوره که مخصوص کار با این نوع بسته‌های استاندارد است تبدیل کنیم، یک سیستم مخابراتی خواهیم داشت که می‌تواند بطور موثری عملیات و توابع بیشتری از DFIR را پشتیبانی نماید.



شکل (۴) یک سیستم مخابراتی مستقل با استفاده از بسته‌بندی داده‌ها

هر تابع اتوماسیون توزیع- بشرط این که پیام خود را در همان بسته‌های استاندارد بسته‌بندی کند- می‌تواند از سیستم ارتباطی استفاده کند. پس یک سیستم ارتباطی کاملا باز و شفاف ایجاد شده است. مثلا در شکل (۴) تمامی توابع اتوماسیون توزیع (از جمله FDIR، رله کردن، کنترل ولت/ وار مجتمع و...) می‌توانند از همان سیستم ارتباطی به طور مستقل و همزمان استفاده کنند.

RTU می‌تواند با استفاده ازپروتکل TCP یک مدار مجازی به هر FTU ایجاد کند تا عملیات FDIR را هنگام رله کردن انجام دهد. سایر دستگاه‌های شبکه نیز می‌توانند مستقیما یک مدار مجازی بین خودشان (و بدون دخالت RTU) برای انجام عمل رله کردن ایجد کنند. تمام این خواسته‌ها می‌تواند بدلیل اینکه شبکه peer-to-peer است و تنها با بسته‌های استاندارد کار می‌کند محقق شود. برای اینکه تحقق شبکه اقتصادی‌تر شود، به استانداردی که انتخاب می‌کنیم، همان دیتا گرم IP است که در اینترنت مورد استفاده قرار می‌گیرد.اگر دیتاگرم IP به عنوان پوشش برای بسته‌بندی (کپسوله) کردن اطلاعات انتخاب شود، شبکه مخابراتی شکل (۲) بسیار شبیه به یک اینترنت خواهد شد.



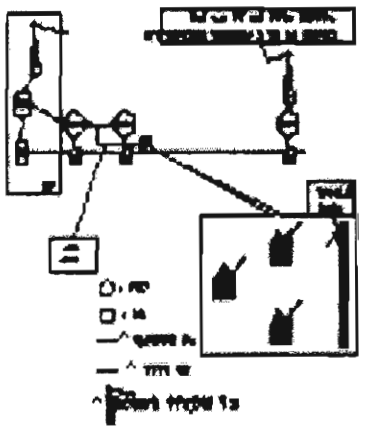
شکل (۵)مشابهت بین PS-TCP/IP و TCP/IP

در شکل (۵) ملاحظه می‌شود که موقعیت جعبه ارتباطی نصب شده مشابه مجموعه "کارت Packet Drivers+LAN" در PC ها می‌باشد.

این "جعبه‌های ارتباطی" می‌توانند عملکردهای مختلفی از اتوماسیون توزیع را که در هر FTU محقق شده‌اند پشتیبانی کنند، بهمان ترتیبی که مجموعه "کارت PacketDrivers+LAN" می‌توانند برنامه‌های مختلف کاربردی مثل "telnet" یا "ftp" و غیره را پشتیبانی نمایند. پس هر عملکرد اتوماسیون توزیع در FTU که به "جعبه‌های ارتباطی" در FTU دسترسی دارد، می‌تواند از شبکه برای تبادل اطلاعات استفاده کند، موقعیت جعبه ارتباطی نصب شده در محل RTU و مرکز کنترل (CC) بترتیب مشابه LAN router و Internet router است. بر خلاف سیستم شکل (۲) که در آن تمام ارتباطات با یک FTU می‌بایستی ابتدا به یک زبان RTU-FTU ترجمه شده و سپس به وسیله RTU کنترل شوند، در اینجا، جعبه‌های ارتباطی در محل‌های RTU و مرکز کنترل (CC) فقط اطلاعات را ارسال می‌کنند، بدون اینکه توجهی به محتوای آنها داشته باشند و در نتیجه انعطاف‌پذیری سیستم بهبود بخشیده می‌شود. یک PC صنعتی استاندارد که از نرم‌افزارهای استاندارد مسیریابی TCP/IP و IP استفاده می‌کند می‌تواند بعنوان "جعبه ارتباطی" در محل‌های RTU و FTU استفاده شود، در حالیکه می‌توان برای مرکز کنترل از یک مسیریاب[۲۰] استاندارد IP اینترنت استفاده نمود.

۴-۴- طرح معماری باز لایه ۱و۲

اینک با ساختار ارتباطی که در بخش قبل پیشنهاد شد، تمام تبادلهای اطلاعات در لایه ۳ و بالاتر آن در استاندارد OSI رخ خواهد داد. این امر به این معناست که هر نوع پروتکل لایه ۱ و لایه ۲ می‌تواند مورد استفاده واقع شود و طراحی شبکه می‌تواند بهترین ترکیب از پروتکل‌های لایه‌های ۱و۲ را به مقتضای در دسترس بودن خدمات و هزینه استفاده نماید.



شکل (۶) یک مثال نمونه از یک فیدر با پروتکل‌های لایه ۱و۲ برای حصول توابع FDIR و AMR از اتوماسیون توزیع

برای مثال، می‌توان از یک اتصال مستقیم برای ارتباط RTUها و FTUها استفاده نمود. زیرا تعداد معدودی از این عناصر هر شبکه در طول یک فیدر وجود دارند. توجه شود که اگر بعضی از FTUها خیلی از پست دور باشند می‌توان آنها را با استفاده از یک لینک رادیویی به شبکه متصل کرد (شکل (۶)) و یا توسط یک لینک مودم. همچنین طراح می‌تواند از PSTN یا ارتباطات رادیویی به عنوان اتصالات پشتیبان برای ارتباط مستقیم استفاده کند.

پس از اینکه مشترکین مصرف کننده نهایی مورد توجه قرار گرفتند، بدلیل اینکه نه ممکن است و نه اقتصادی که یک اتصال مستقیم بین پست و مشترک ایجاد شود، ترکیبی از رادیو، مودم، PLC و غیره می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اینبار، هر یک از پروتکل‌های لایه ۱و۲ استفاده شوند، تاثیری بر عملکرد و پیاده‌سازی توابع اتوماسیون توزیع نخواهد داشت. بعنوان مثال، رادیوی FM می‌تواند برای تابع کنترل مستقیم بار[۹] (DLC) استفاده شود در حالیکه سیستم رادیویی دو سویه بین دو گیرنده آنتن‌دار و اندازه‌گیرها می‌تواند برای تابع خواندن اتوماتیک کنتور[۷] (AMR) استفاده شود. و نیز توجه کنید که در مورد تابع کنترل مستقیم بار، مشخصه سلسله مراتی آدرس‌دهی U-IP می‌تواند تابع کنترل مستقیم بار (DLC) را در انجام ساده‌تر و بهتر وظیفه‌اش یاری رساند.

در مورد تابع خواندن اتوماتیک کنتور، وقتی جمع آورنده داده‌ها تمام اطلاعات اندازه‌گیری شده را جمع کرد،

می‌تواند آنان را مستقیما با دسترسی به "جعبه ارتباطی" و در نزدیک‌ترین FTU به مرکز صدور قبض ftp نماید. (شکل ۶ را ببینید) از آنجایی‌که LAN فیدر (شامل جعبه‌های ارتباطی RTU، FTU و لینک‌های بین آنها) در حکم یک شاهرگ ارتباطی برای تمام ارتباطات اتوماسیون توزیع می‌باشد، توصیه می‌شود برای این شاهرگ شبکه از یک اتصال فیبر نوری استفاده شود.

۵- سیستم پیشنهادی

با ترکیب ویژگیهای پیشنهاد شده در بالا، یک زیر ساخت ارتباطی جدید و بسیار انعطاف‌پذیر برای اتوماسیون توزیع ایجاد می‌شود. به طور خلاصه اول آنکه: به هر عنصر شبکه درگیر در ارتباطات اتوماسیون توزیع یک U-IP یکتا داده می‌شود که کاملا با IP استاندارد اینترنت سازگار است، اما با سلسله مراتب آدرس‌دهی مطابق با وضعیت نسبی‌اش در شبکه توزیع قدرت. دوم آنکه برای تمام تبادل اطلاعات یک دیتاگرام استاندارد انتخاب می‌شود. تمام عملکردها و توابع اتوماسیون توزیع باید اطلاعات خود را در بسته‌های فرمت استاندارد بسته‌بندی (کپسوله) کنند. با این دو شرط، یک شبکه ارتباطی همه منظوره ساخته می‌شود که در آن تمام اطلاعات آزادند و به طور یکسانی تبادل می‌شود. و سوم آنکه چون تمام تبادل اطلاعات در لایه‌های سوم و بالاتر استاندارد OSI رخ می‌دهد، هر پروتکل در لایه ۱و۲ می‌تواند برای دستیابی به عناصر شبکه (از جمله کنتورهای مشترکین) استفاده شود. این زیر ساخت ارتباطی PS-TCP/IP نامیده می‌شود. این نام اشاره یک شبکه ارتباطی سیستم قدرت دارد که کاملا با استاندارد TCP/IP هماهنگی دارد.

از آنجا که تنها کاربردهای مربوط به شرکت برق روی شبکه PS-TCP/IP اجرا می‌شوند، کنترل و برنامه‌ریزی ترافیک شبکه می‌تواند براحتی انجام شود و زمان پاسخ‌دهی شبکه تنظیم شود. همچنین، از آنجا که این شبکه، یک شبکه خصوصی است، هدف امنیت شبکه نیز در آن به راحتی قابل دسترسی است.

۶- مزایای سیستم ارایه شده

۶-۱- الگوی آدرس‌دهی سلسله مراتبی کارآمد

الگوی آدرس‌دهی U-IP، روش کارآمد و ارزانی برای دادن آدرس یکتا و قابل شناسایی به هر عنصر شبکه را فراهم می‌نماید. این روش نه تنها هر عنصر شبکه را به شکل یکتا قابل شناسایی می‌سازد، بلکه استفاده از وسایل استاندارد مسیریاب و پروتکل‌های اینترنت را نیز میسر می‌سازد، که این امر هزینه ایجاد شبکه ارتباطی اتوماسیون توزیع را به طرز چشمگیری کاهش می‌دهد. تکنولوژی استاندارد DNS[۲۱] هم می‌تواند در مورد هر U-IP به کار رود تا آنها را بیشتر در برگیرنده خود سازد .

۶-۲- یک محیط مخابراتی باز

PS-TCP/IP هر گونه ترافیک اطلاعاتی را به شکل شفافی تحت پشتیبانی خود قرار می‌دهد، همانگونه که اینترنت TCP، UDP و HTTP و ... را پشتیبانی می‌نماید. همچنین، از آنجا که اطلاعات شبکه برای هر تابع اتوماسیون توزیع مستقیما قابل دسترسی هستند، عملکردهای اتوماسیون توزیع می‌توانند از این اطلاعات استفاده نمایند. این سیستم همچنین می‌تواند نقشه شبکه را به صورت on-line تهیه نماید، به این روش که از هر FTU بپرسد که به کدام فیدر تعلق دارد و نقشه شبکه را بدلیل انتقال بار تغییر می‌نماید بطور مرتب به روز نماند

با PS-TCP/IP همچنین میسر می‌شود که با یک مرورگراستاندارد مثلا Netscape می‌توان شبکه توزیع را نیز مرور کرد. تنها کاری که لازم است انجام شود این است که داخل هر عنصر شبکه یک برنامه کوچک استاندارد بنام httpd کار گذاشته شود. این کار به آسانی با بار کردن برنامه به عناصر شبکه بوسیله همان شبکه PS-TCP/IP محقق گردد.

۶-۳- خدمات مشترکین انعطاف‌پذیر

هر یک از پروتکل‌های لایه‌های ۱و۲ می‌توانند برای دسترسی به مشترک مورد استفاده واقع شود. توجه کنید که اگر چه تمامی مشترکین دارای آدرس U-IP هستند و می‌توانند با هر عنصر دیگری از شبکه با هم ارتباط برقرار کنند. علیرغم این backbone شلوغ نشده و ارسال اطلاعات ناکارآمد نمی‌شود. دلیل این امر این است که بین عناصر شبکه مشترکین و backbone یک bridge قرار می‌گیرد. مثلا بهنگام انجام خواندن اتوماتیک کنتور (AMR)، دستگاه گردآوری داده‌ها که برای ارتباط با هر کنتور بکار می‌رود نیز یک bridge در شبکه کامپیوتری می‌باشد زیرا ارتباط بین اندازگیرها و خود را از ورود مستقیم به backbone باز می‌دارد. همچنین بهنگام انجام عملیات کنترل مسقیم بار (DLC)، فرستنده HM یا تولید

کننده ریپل نیز می‌تواند مشابه یک پل بین مشترک و backbone عمل نماید. بنابراین امور مربوط به خدمات مشترکین نیز می‌تواند به آسانی و بدون تاثیر گذاشتن بر عملیات مربوط به اتوماسیون توزیع شرکت برق در داخل سیستم PS-TCP/IP گنجانده شود.

۶-۴-مزیت اقتصادی

اقتصاد مهمترین عامل شکل دهنده توسعهٔ صنعت است. هر نوآوری به خودی خود پذیرفتنی نیست، مگر آنکه هزینهٔ توابع و عملکردهایی از سیستم را کاهش دهد و یا بهبود و ارزش اقتصادی (کیفیتی) فراهم آورد که پیش از این با هزینه‌های مشابه بدست نمی‌آمد. این معیار، بهترین مبنای رد یا قبول روشها یا ابزارهای نوین است.

سیستم پیشنهاد شده در این مقاله کاملاً در این تعریف می‌گنجد و می‌تواند خدماتی را عرضه نماید که پیش از این ارائه آنان با این بها میسر نبوده است.

تقریبا تمامی سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای استاندارد اینترنت می‌توانند مستقیما برای شبکه PS-TCP/IP استفاده شوند. بنابراین سیستم پیشنهادی از قابلیت انعطاف و جایگزینی بسیار بالایی برخوردار است که منجر به مزیت اقتصادی آن می‌گردد.

۶-۵- امکان استفاده برای تمام شرکتهای برق

PS-TCP/IP می‌تواند عملا با کلیه جنبه‌های ارتباطی و مخابراتی شرکتهای برق وفق یابد. شرکتهای برق می‌توانند PS-TCP/IP را همراه با اینترنت اولیه خودشان بسازند. به هر حال باید برای حفظ امنیت مخابرات شرکت برق یک دیوار آتشین در نظر گرفته شود. تا امنیت و تداوم خدمات آنان را تضمین کند.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک زیر ساخت مخابراتی جدید و انعطاف‌پذیر برای اتوماسیون سیستم توزیع پیشنهاد شده است. با تخصیص U-IP های استاندارد به تمام عناصر شبکه، بسته‌بندی (کپسوله‌سازی) اطلاعات و peer-to-peer کردن شبکه، یک محیط ارتباطی کاملا شفاف و مجتمع برای کلیه عملکردها و توابع اتوماسیون توزیع مربوط به مشترکین و شرکتهای برق حاصل شده است.در سیستم PS-TCP/IP ارایه شده از یک الگوی آدرس‌دهی سلسله مراتبی کارآمدکه نوعی تقارن و تشابه با توپولوژی شبکه توزیع دارد استفاده شده است. این سیستم مجهز به یک محیط مخابراتی باز و شفاف است که امکان استفاده از تجهیزات ساخت شرکت های مختلف را در آن فراهم می سازد. خدمات مشترکین انعطاف‌پذیر و امکان استفاده از هر یک از پروتکل‌های لایه‌های ۱و۲ برای دسترسی به مشترک دیگر خصوصیت مهم و بارز سیستم PS-TCP/IP است. علاوه بر آن استفاده از این سیستم کاملا اقتصادی بوده و دارای مزایایی است که بهره برداری از آن را توجیه پذیر می سازد. این پروتکل قابل استفاده برای تمام شرکتهای برق بوده و می تواند برای هر شرکت خاص برق به شکل دلخواه Customized شود.

۷- سپاسگزاری

از همکاری آقایان تورج سرمستی و رضا هندوکلایی دانشجویان مهندسی برق دانشگاه تهران سپاسگزاری می کنیم. همچنین لازم می‌دانیم از راهنماییها و تشویش‌های ارزنده آقای دکتر داریوش شیرمحمدی (مشاور ارشد شرکت P.A. Consulting Group در لس آنجلس) تشکر کنیم.

۸- مراجع

[1]His, P.H., Chen, S.L., "Distribution Automatic Communication Infrastructure" IEEE Transactions on PWRD, Vol.13, No.3, Jully 1998

[2] IEEE Working Group on Distribution Automation, "IEEE Tutorial Course Distribution Automation", IEEE, 1998

[3] IEEE Communication Protocols Subcommittee, "IEEE Tutorial Course- Communication Protocols", IEEE, 1995

[4] Shirmohammadi, D., Hong, H.W., "Reconfiguration of Distribution networks for resistive Line Losses Reduction" IEEE Transactions on PWRD, Vol. 4, No. 2, April 1989

[5] Civanlar, S., Granger, J.J., Yin, H., Lee, S.S.H., "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction" IEEE Transactions on PWRD, Vol. 3, No. 3, July 1988
[6] McDermott, T.E., Drezga, I., Broadwater, R.P., "A Heuristic Nonlinear Constructive Method for Distribution System Reconfiguration " IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 2, May 1999
[7] Peterson, D.M., "TCP/IP Networking" , New York, Mc-Graw Hill, 1995
[8] Tanenbaum, A.S., "Computer Networks" 3'rd edition, Prentice- Hall, 1995

واژه نامه

[۱]- Distribution Automation یا DA :اتوماسیون توزیع

[۲]- Power System- Transmission Control Protocol/ Internet Protocol: PS-TCP/IP

[۳]- Network Element یا NE:عنصر شبکه

[۴]- Network Layer:لایه شبکه

[۵]- Feeder Automation:اتوماسیون فیدر

[۶]- Feeder Reconfiguration:تجدید ساختار فیدرها

[۷]- Automatic Meter Reading:خواندن اتوماتیک کنتور

[۸]- Trouble Call System:سیستم اطلاع رسانی خطا

[۹]- Direct Load Control کنترل مستقیم بار

[۱۰]- Line Switch کلید خط

[۱۱]- Remote Terminal Unit: RTU

[۱۲]- Facility Terminate Unit: FTU

[۱۳]- Polling:نظر خواهی

[۱۴]- Fault Detection, Isolation, and Restoration: FDIR

[۱۵]- Load Transfer: LT

[۱۶]- broadcast address:آدرس ارسال

[۱۷] - peer بمعنای همتا و جفت است و peer-to-peer را می‌توان "جفت به جفت" نام نهاد ولی در اینجا ترجیح داده می‌شود از واژه لاتین استفاده شود.

[۱۸]- Encapsulation:بسته‌بندی

[۱۹]- IP- datagram: دیتا گرم‌های استاندارد IP

[۲۰] - Router:مسیریاب

[۲۱]- Domain Name Service: DNS