بسم الله الرحمن الرحيم

پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد مهندسی برق

گرایش قدرت

بهبود امنیت سیستم قدرت با استفاده از اتوماسیون و بارزدایی ولتاژی هوشمند
مطالعه موردی: بخشی از شبکه خراسان

مهدی ایرانی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر مصطفی رجبی مشهدی

اساتید دفاع:

جناب آقای دکتر محسن قاینی

سرکار خانم دکتر نجمه اقبال

زمستان ۹۳

چکیده

در حال حاضر اتوماسیون و هوشمندسازی شبکه برق، یکی از اولویت‌های صنعت برق است. اتوماسیون سیستمی است که انجام عملیات کنترل، مانیتورینگ و حفاظت را در شبکه قدرت با استفاده تجهیزات و سیستم ارتباطی بر عهده دارد و هدف از اتوماسیون و هوشمندسازی در یک پست فشارقوی افزایش قابلیت اطمینان، افزایش قابلیت مانور و کاهش انرژی توزیع نشده است. با ظهور پروتکل IEC 61850 تحول بزرگی در حوزه ارتباطات سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی ایجاد شد و همچنین با بکارگیری تجهیزات و سنسورهای هوشمند زمینه مناسبی برای ارتقاء اتوماسیون و هوشمندسازی در شبکه‌های قدرت بوجود آمد.

در سیستم‌های قدرت، پایداری ولتاژ اهمیت ویژه‌ای دارد و در شرایطی که سیستم‌ها در ناحیه مرزی پایداری کار کنند با بروز حادثه بایستی بارهای موجود در شبکه با الگوریتمی از مدار خارج شوند تا سیستم مجددا به حالت پایداری خود برگردد. روشهای حذف بار سنتی تا حدی زمانبر، غیردقیق و دارای منطق‌های مختلفی هستند و باعث افزایش انرژی توزیع نشده و در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان شبکه می‌شوند. با ظهور روشها و الگوریتم‌های هوشمند در زمینه بارزدایی و وجود یک سری زیرساخت‌های جدید در این خصوص بیشتر مشکلات روشهای سنتی حل شد.

هدف از این پایان‌نامه معرفی برخی از قابلیت‌های اتوماسیون برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه است. در شبکه‌های فوق‌توزیع چند موضوع منجر به کاهش قابلیت اطمینان می‌شود که در ادامه هر یک از این موضوعات بیان می‌شود و راهکارها و نوآوری‌های پیشنهادی هم ارائه خواهد شد.

در شبکه‌های فوق توزیع به منظور بهبود قابلیت اطمینان از دو ترانس موازی استفاده می‌شود. این در حالی است که استفاده از یک ترانس علاوه بر کاهش تلفات شبکه، هزینه‌های سرمایه‌گذاری را تا حدود ٤٠ درصد کاهش می‌دهد. اگرچه قابلیت اطمینان را به مخاطره می‌اندازد(افزایش خاموشی). یکی از تهدیدهای پست‌های تک ترانس با قابلیت مانور، قطع ترانس پست در اثر خطا در سیستم قدرت است که منجر به اضافه بار ترانس پست مجاور خواهد شد. در این پایان‌نامه به منظور بهبود قابلیت اطمینان یک روش حذف بار هوشمند با اولویت خروج بارهای غیرحساس برای جلوگیری از اضافه بار ترانسفورماتور پست ارائه شده است. نتایج حاصله از پیاده‌سازی این الگوریتم بر روی شبکه نمونه نشان می‌دهد که میزان انرژی توزیع نشده به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای Dig Silent PF و MATLAB انجام شده است.

در حال حاضر در اغلب پست‌های فشارقوی با دو ترانسفورماتور موازی، با قطع یکی از ترانس‌های پست در اثر وقوع خطا چنانچه مجموع بار دو ترانس بیش از ظرفیت ترانس دوم باشد پست به علت اضافه بار از مدار خارج می‌شود. یک راهکار برای جلوگیری از خروج ترانس دوم، اینترلاکینگ رله ترانس دوم و همچنین حذف بار سریع و هوشمند به میزان اضافه بار است. برای اجرایی کردن این راهکار وجود یک زیرساخت مخابراتی و بکارگیری پروتکل‌های IEC 61850 در سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی الزامی است. در این پایان‌نامه یک سیستم کاربردی حذف بار و همچنین پروتکل IEC 61850 بر روی سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی شبکه نمونه پیاده‌سازی شده که نتایج آن نشان می‌دهد نه تنها می‌توان از خروج ترانس دوم پست به علت اضافه بار جلوگیری

کرد بلکه زمان عملکرد سیستم اتوماسیون نیز حداقل از ۲۰۰ میلی‌ثانیه به حدود ۲۵ میلی‌ثانیه کاهش می‌یابد و میزان بار خروجی هم متناسب با ظرفیت باقیمانده، طبق اولویت‌بندی بارها حذف خواهد شد.

فهرست مطالب

فصل اول:

مقدمه ۷

فصل دوم:

امنیت در سیستم قدرت ۱۰

۲-۱- مفهوم امنیت در سیستم قدرت ۱۰

۲-۲- شاخص‌ها و روش‌های ارزیابی امنیت و قابلیت اطمینان سیستم قدرت ۱۰

فصل سوم:

معرفی تجهیزات و پروتکل‌های هوشمند در سیستم اتوماسیون پستهای فشارقوی ۱٤

۳-۱- مقدمه ۱٤

۳-۲- معرفی پروتکل IEC 61850 در سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی ۱٤

۳-۳- استفاده از سنسورهای مختلف در سطح پست ۱۹

۳-٤- CT و VT هوشمند ۲۱

۳-۵- ترانس هوشمند ۲۲

۳-٦- رله‌های حفاظتی هوشمند ۲۲

۳-۷- سایر تجهیزات هوشمند ۲٤

۳-۸- مانیتورینگ ترانسفورماتور ۲٤

۳-۹- مانیتورینگ بریکر ۲٤

فصل چهارم:

بهبودامنیت سیستم قدرت با استفاده از اتوماسیون و سیستم بارزدایی پیشنهادی ۲۵

٤-١- مقدمه ٢٥
٤-٢- مروری بر روش‌های حذف بار و اتوماسیون و محدودیت‌ها و مشکلات آنها ٢٥
٤-٣- ساختار پیشنهادی برای حذف بار سریع هوشمند ٢٦
٤-٤- ارائه یک الگوریتم جدید حذف بار هوشمند برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه دارای پست‌های تک ترانسفورماتور ٢٨
٤-٥- حذف‌بار و اینترلاکینگ سریع هوشمند برای جلوگیری از خروج ترانس دوم پستهای فوق‌توزیع به علت اضافه بار با استفاده از پروتکل ارتباطیIEC61850 ..... ٢٩

فصل پنجم:

نتایج شبیه‌سازی ٣١
٥-١- مقدمه ٣١
٥-٢- پیاده‌سازی الگوریتم جدید حذف بار هوشمند بر روی شبکه دارای پست‌های تک ترانسفورماتور برای بهبود قابلیت اطمینان ٣٢
٥-٣- پیاده‌سازی یک سیستم کاربردی حذف بار و همچنین پروتکل IEC 61850 بر روی سیستم اتوماسیون پست‌های فوق‌توزیع برای جلوگیری از خروج ترانس دوم ٣٣
٥-٤- پیاده‌سازی الگوریتم جدید حذف بار هوشمند بر روی شبکه دارای پست‌های تک ترانسفورماتور و ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه بوسیله شبیه‌سازی مونت‌کارلو در نرم‌افزار MATLAB ٣٦

فصل ششم:

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ٣٨

فصل اول

مقدمه

اتوماسیون و هوشمندسازی شبکه برق، بدلیل بهبود سطح کیفی فعالیت‌ها و کاهش ضایعات و هزینه‌ها یکی از اولویت‌های اصلی صنعت برق است. در یک پست فشارقوی، افزایش قابلیت اطمینان، افزایش قابلیت مانور و کاهش انرژی توزیع نشده از اهداف اصلی اتوماسیون است. در حال حاضر با ظهور فن‌آوری‌های جدید سخت‌افزاری و نرم‌افزاری قابلیت‌های جدیدی در نحوه جمع‌آوری اطلاعات تجهیزات و ارسال آن با سرعت بیشتر فراهم شده و به علاوه با بکارگیری تجهیزات و حسگرهای نوین، زمینه مناسبی برای ارتقاء اتوماسیون و هوشمندسازی بوجود آمده است. سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی انجام عملیات کنترل، مانیتورینگ و حفاظت در شبکه قدرت را با استفاده از فن‌آوری‌های نیومریک و سیستم ارتباطی بر عهده دارد. حداقل تجهیزات مورد نیاز برای راه‌اندازی یک سیستم اتوماسیون پست عبارتند از:

- داشتن حداقل یک ایستگاه کاری یا Client یا Operating Station در اتاق کنترل
- داشتن حداقل یک سرور یا Engineering Station
- داشتن بستر ارتباطی
- داشتن تجهیزات الکترونیکی هوشمند یا IED
- داشتن GPS

ایستگاه کاری، امکان مانیتورینگ و اعمال فرامین را برای اپراتور فراهم می‌نماید. ایستگاه مهندسی رایانه‌ای است که نرم‌افزار طراحی و مهندسی سیستم روی آن نصب می‌شود. در معنای کلی یک بستر ارتباطی برای تبادل داده بین تجهیزات مختلف یک سیستم می‌باشد این بستر ارتباطی از یک سوئیچ و کابل‌های شبکه، فیبر نوری و کابل‌های سریال تشکیل می‌شود. تجهیزات الکترونیکی هوشمند، تجهیزاتی هستند متشکل از یک یا چند پردازشگر که توانایی تبادل اطلاعات و انجام پردازش بر روی آنها را دارا می‌باشد. زمان ایجاد آلارمها و هشدارها برای مباحث حفاظتی از اهمیت خاصی برخوردار بوده و همچنین همزمان نمودن IED ها برای انجام محاسبات و یا اجرای توابع منطقی دارای اهمیت می‌باشد که این اعمال توسط GPS انجام می‌گیرد.

بهبود مانیتورینگ و حفاظت باعث بهبود امنیت و کاهشی خاموشی در شبکه قدرت می‌شود. با استفاده از سنسورهای هوشمند در بخش انتقال و پست‌های فشارقوی بهبود سیستم مانیتورینگ را خواهیم داشت و همچنین با استفاده از پروتکل ارتباطی IEC 61850 و کاربردهای چندگانه آن در مباحث مانیتورینگ، حفاظت و بطور خاص حذف بار هوشمند می‌توان کاهش خاموشی‌ها در شبکه قدرت را داشت. پروتکل به مجموعه‌ای از قوانین که ساختار، اندازه و نحوه انتشار اطلاعات را معین می‌کند و به عبارت دیگر به قوانین توافقی بر چگونگی انتقال داده‌ها بین فرستنده و گیرنده در یک شبکه گفته می‌شود. استفاده از کنترل‌کننده‌های منطقی، رله‌های حفاظتی هوشمند و ترانس‌های ولتاژ و جریان حفاظتی هوشمند باعث بهبود بخش حفاظتی سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی شده

است.

در سیستم‌های قدرت، پایداری ولتاژ اهمیت ویژه‌ای دارد و در شرایطی که سیستم‌ها در ناحیه مرزی پایداری کار کنند با بروز حادثه بایستی بارهای موجود در شبکه با الگوریتمی از مدار خارج شوند تا سیستم مجددا به حالت پایداری خود برگردد. روشهای حذف بار سنتی تا حدی زمانبر و غیردقیق و دارای منطق‌های مختلفی هستند و باعث افزایش انرژی توزیع نشده و در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان شبکه می‌شوند با ظهور روشها و الگوریتم‌های هوشمند در زمینه بارزدایی و وجود یک سری زیرساخت‌های جدید در این خصوص بیشتر مشکلات روشهای سنتی حل شد.

در [۱] الگوها، روش‌ها و کاربردهای ارزیابی ریسک در سیستم‌های قدرت بطور کامل بیان می‌شود. مدل‌سازی و ارزیابی ریسک در یک سیستم قدرت یکی از چالش‌های اساسی بهره‌برداری و برنامه‌ریزی آن است. یکی از مهمترین مسائل اقتصادی مبتلابه بازارهای برق، بررسی و تعیین قابلیت اطمینان شبکه و برنامه‌ریزی و بهره‌برداری شبکه با توجه به شاخص‌های قابلیت اطمینان است. ارزیابی ریسک، یکی از چالش‌های اساسی صنعت برق است. ارزیابی کمی ریسک، تعیین راهکارهایی برای کاهش ریسک و توجیه یک سطح ریسک قابل قبول، از اساسی‌ترین جنبه‌های ارزیابی کمی ریسک‌اند. در [۲] به معرفی مفاهیم قابلیت اطمینان، شاخص‌ها، روش‌ها و استانداردهای مطرح در زمینه ارزیابی سطح قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت پرداخته شده است. در [۳] به معرفی مفاهیم قابلیت اطمینان، شاخص‌ها، روش‌ها و استانداردهای مطرح در زمینه ارزیابی سطح قابلیت اطمینان سیستم قدرت، تجربه دیگر کشورها در ارزیابی‌های سطح قابلیت اطمینان در فرآیند برنامه‌ریزی و در نهایت مطالعه سطح قابلیت اطمینان شبکه ٤۰۰ کیلوولت خراسان پرداخته شده است.

در [٤] به هوشمندسازی سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی در مباحث حفاظت، کنترل و مانیتورینگ پرداخته شده است. در [۷-۵] یک سری تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری هوشمند بویژه در زمینه مانیتورینگ سیستم قدرت معرفی شده است. در [۱۲-۸] مسائل مرتبط با اتوماسیون و معماری پست‌های فشارقوی را بیان می‌کنند. در [۱۵-۱۳] هوشمندسازی سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی در بخش حفاظت صورت گرفته است و رله‌های هوشمند معرفی شده‌اند. در [۱٦] مسائل مربوط به هزینه‌های سرمایه‌گذاری و دوره بازگشت سرمایه برای هوشمندسازی پست‌های فشارقوی مورد بررسی قرار گرفته است. در [۱۷] ارزیابی ریسک در یک شبکه نمونه با هوشمندسازی اتوماسیون توزیع انجام شده است. در [۲۰-۱۸] نیز مسائل مرتبط با استفاده از سنسورهای هوشمند در سیستم اتوماسیون بیان شده است و همچنین به استفاده از تکنولوژی سنسورهای بی‌سیم در سطح پست و خطوط انتقال و مسائل مرتبط با آن پرداخته شده است. در [۲۱] سنسورهای هوشمند مختلفی معرفی شده‌اند که با بکارگیری آنها می‌توان از پست‌های تک ترانس با قابلیت اطمینان بالا در شبکه استفاده کرد. در [۲۲و۲۳] سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی با بکارگیری پروتکل IEC 61850 با قابلیت پیغام گوس معرفی شده است. در [۲٤] سیستم اتوماسیون و معماری پست‌های فشارقوی و سطوح و تجهیزات مختلف آن به طور کامل تشریح شده است و کاربردهای آن بیان شده و همچنین پروتکل‌های مختلفی که در سیستم اتوماسیون پستهای فشارقوی بکار گرفته می‌شوند همراه با جزئیات مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در [۲۵و۲٦] به ترتیب کاربردهای پروتکل IEC 61850 در تغییر خودکار تپ ترانس و جایابی خطا مطرح شده است. در [۲۹-۲۷] یک سری از مهمترین کاربرهای پروتکل IEC 61850 در صنعت اتوماسیون پست‌های فشارقوی از جمله بهبود مباحث حفاظتی و حذف بار هوشمند بیان می‌شود.

در [۳۱] یک روش حذف بار هوشمند ارائه شده است در این روش هسته مرکزی سیستم(Engine) اطلاعات مربوط به شبکه را دریافت می‌کند و محاسبات لازم را انجام می‌دهد و میزان دقیق بار خروجی را در شرایطی که شبکه نیاز به حذف بار دارد مشخص می‌کند. این اطلاعات توسط یک سیستم مانیتورینگ پیشرفته مانیتور و دسته بندی می‌شوند میزان بار خروجی و همچنین اولویت‌بندی بارها به منظور خروج تشکیل یک واحد اطلاعاتی برای حذف بار را می‌دهند این واحدهای اطلاعاتی توسط کنترلرهای هر ناحیه دریافت شده و محاسبات لازم انجام می‌گردد و سپس دستور حذف بار توسط کنترلر برای بریکرهای بارهای همان ناحیه ارسال می‌شود و حذف بار صورت می‌گیرد. در [۳۲] یک برنامه جامع به منظور حذف بار در شرایط اضطراری که شبکه دچار اضافه بار و افت فرکانس شده ارائه گردیده است. در [۳۳و۳٤] با استفاده از الگوریتم ژنتیک مقدار بارزدایی براساس هزینه مینیمم می‌شود. این روش طی چندین مرحله انجام می‌شود در هر مرحله بعد از انجام بارزدایی، حاشیه امنیت ولتاژ سیستم محاسبه شده و اگر مقدار قابل قبولی داشته باشد بارزدایی متوقف می‌شود در غیر اینصورت ادامه می‌یابد تا به مقدار قابل قبولی برسد. در هر مرحله درصد ثابتی از مجموع بار شینه‌های ضعیف را از شبکه جدا می‌کنیم. در [۳۵] یک روش حذف بار تطبیقی سریع، بهینه و دقیق مبتنی بر IEC 61850 ارائه شده است این سیستم براساس نرخ کاهش فرکانس و ولتاژ و افزایش اضافه بار بر روی هر ترانس و محاسبه توان اکتیو، راکتیو و جریان خروجی از هر BAY به عنوان پارامترهای تشخیص و تصمیم‌گیری در حذف فیدرهای خروجی عمل خواهد کرد. این الگوریتم با حذف هوشمندانه بارها میتواند تاثیر مطلوبی بر پایداری سیستم داشته باشد. در [۳٦] الگوریتم جدیدی جهت حذف بار هوشمندانه بواسطه اضافه بار شدن خطوط بحرانی ارائه گردیده است. با شناسایی خطوط بحرانی و بارهای حساس در هنگامی که این خطوط در معرض اضافه بار شدن قرار می‌گیرند با حذف بارهای حساس از اضافه بار شدن آنها و به تبع از ادامه یافتن حوادث پی در پی جلوگیری به عمل می‌آوریم. در [٤۲-۳۷] نیز یک سری روشها و الگوریتمهای جدید و هوشمند در زمینه حذف بار به منظور اولویت‌بندی بارها، کاهش زمان حذف بار و انجام محاسبات دقیق ارائه شده است.

در فصل دوم مفهوم امنیت در سیستم قدرت و روش‌های ارزیابی امنیت و قابلیت اطمینان شبکه بیان می‌شود. در فصل سوم تجهیزات و پروتکل‌های هوشمند در سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی به منظور بهبود امنیت شبکه معرفی می‌شوند. در فصل چهارم یک الگوریتم جدید حذف بار هوشمند برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه دارای پست‌های تک ترانسفورماتور ارائه می‌شود و در ادامه به موضوع حذف‌بار و اینترلاکینگ سریع هوشمند برای جلوگیری از خروج ترانس دوم پستهای فوق‌توزیع به علت اضافه بار با استفاده از پروتکل ارتباطی IEC 61850 پرداخته شده است. در فصل پنجم نتایج حاصل از شبیه‌سازی تحلیل شده و در فصل ششم مطالب جمع‌بندی و نتیجه‌گیری شده است.

فصل دوم

امنیت در سیستم قدرت

۲-۱- مفهوم امنیت در سیستم قدرت

قابلیت اطمینان شبکه قدرت به دو بخش امنیت و کفایت یا شایستگی تقسیم می‌شود. بـه توانـایی یـک سیسـتم برای تامین کلیه تقاضاهای انرژی صورت گرفتـه از طـرف تمـامی مشـترکین سیسـتم، شایسـتگی آن سیسـتم گفتـه می‌شود. برای حصول اطمینان از شایستگی یک سیستم، سه شرط اساسی باید برقرار باشد:

- میزان ظرفیت تولید انرژی در شبکه باید از مجموع میزان تقاضا و نیز میزان تلفات شبکه بیشتر باشد.
- شبکه باید قابلیت انتقال انرژی تولید شده به مصرف‌کنندگان را داشته باشد.
- توان تحویلی به مشترکین باید در محدوده ولتاژ و فرکانس مورد قبول قرار داشته باشد به عبارت دیگر باید کارهای لازم برای رضایتمندی مصرف کننده از انرژی تحویل گرفته شده انجام شود.

در بیان مفهوم امنیت، به شبکه‌ای ایمن می‌گویند که از یک دید بالا دستی، کل مجموعه تولیـد، انتقـال و توزیـع بتواند در مقابل خطاهای غیر منتظره، در یک تعامل خوب با هم‌دیگر، پایداری خود را حفظ کرده و بـدون وقفـه بـه مصرف‌کنندگان برق‌رسانی کند. و همچنین امنیت با معیارهـای n-1 و n-2 و ... سـنجیده مـی‌شـود بـه عنـوان مثـال شبکه‌ای که دارای معیار n-1 است یعنی با خروج یک المان از شبکه باز هم شبکه قدرت بدون وقفـه بـه کـار خـود ادامه دهد.

۲-۲- شاخص‌ها و روش‌های ارزیابی امنیت و قابلیت اطمینان سیستم قدرت[۲]

محاسبات ارزیابی قابلیت اطمینان، دربرگیرنده تعداد، مدت زمان و اهمیت خاموشـی‌هـای تجربـه شـده توسـط مشترکین، مولفه‌های از کار افتاده سیستم و تقاضاهای مختلف بار می‌باشد. ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه را مـی‌تـوان برای محاسبه فرکانس قطعی مورد انتظار و محاسبه هزینه‌های قطعی سالانه یا به منظور مقایسـه طـرح‌هـای متفـاوت شبکه مورد استفاده قرار داد. مهمترین روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه قدرت عبارتند از:

- آنالیز حوادث (Contingency Analysis)
- برشمردن حالات سیستم (System State Enumeration)
- شبیه‌سازی مونت‌کارلو (Monte Carlo Simulation)

۲-۲-۱- آنالیز حوادث

آنالیز حوادث به معنای ارزیابی غیراتفاقی ماکزیمم یا مینیمم بارگذاری و ولتاژها برای ترکیب‌های خاص از قطعی المان‌ها است. آنالیز حوادث محاسبات پخش بار را برای مجموعه‌ای که در آن برخی از المان‌ها توسط کاربر

از مدار خارج شده‌اند محاسبه می‌کند. هر تعریف قطعی یک یا چند جزء را از مدار خارج خواهد کرد، بسته به اینکه کدام محاسبه پخش بار شروع شده است، آنالیز حوادث نتایج تمام این محاسبات پخش بار را ترکیب می‌کند.

همچنین یک شبیه‌سازی قطعی (خاموشی) "n-1" یا "n-2" برای المان‌های انتخابی می‌تواند مهیا گردد. به صورت گزینه‌ای خطوط، کابل‌ها، ترانسفورماتورها یا ژنراتورها می‌توانند به المان‌های انتخاب شده اضافه شوند.

۲-۲-۲- برشمردن حالات سیستم

با انتخاب این روش تمام حالات سیستم، یک به یک مورد آنالیز قرار می‌گیرند، و نتایج این تحلیل‌ها با استفاده از آمارهای قطعی با یکدیگر جمع می‌شوند. این روش از توپولوژی سریعی استفاده می‌کند که مطمئن شود هر حالت ممکن سیستم، فقط یک بار آنالیز می شود. فرکانس‌های حالت واقعی (متوسط رویدادها در سال) بوسیله فقط ملاحظه انتقال از حالت سالم به یک حالت غیرسالم و برگشت دوباره عملیات محاسبه می‌شوند. مهم است که حالات سیستم منحصر به فرد به صورت یک به یک آنالیز شوند و بنابراین (به صورت تسلسلی) ارتباط بین آنها قطع شود.

روش محاسبه شمارش، به اندازه کافی برای بررسی، شبکه‌های توزیع بزرگ سریع است در صورتیکه دقت آنچنانی را به کار نمی‌گیرد. متوسط‌های تحلیلی واقعی محاسبه می‌شوند. به طور کلی توزیع‌های اندیس‌های اطمینان نمی‌توانند محاسبه گردند. متوسط غیرقابل دسترس بودن سالانه بر حسب ساعت یا سال می‌تواند محاسبه شود الگوریتم حالت شمارش دربرگیرنده چندین خرابی مستقل مد عادی و طرح‌های تعمیرات است که با هم همپوشانی دارند.

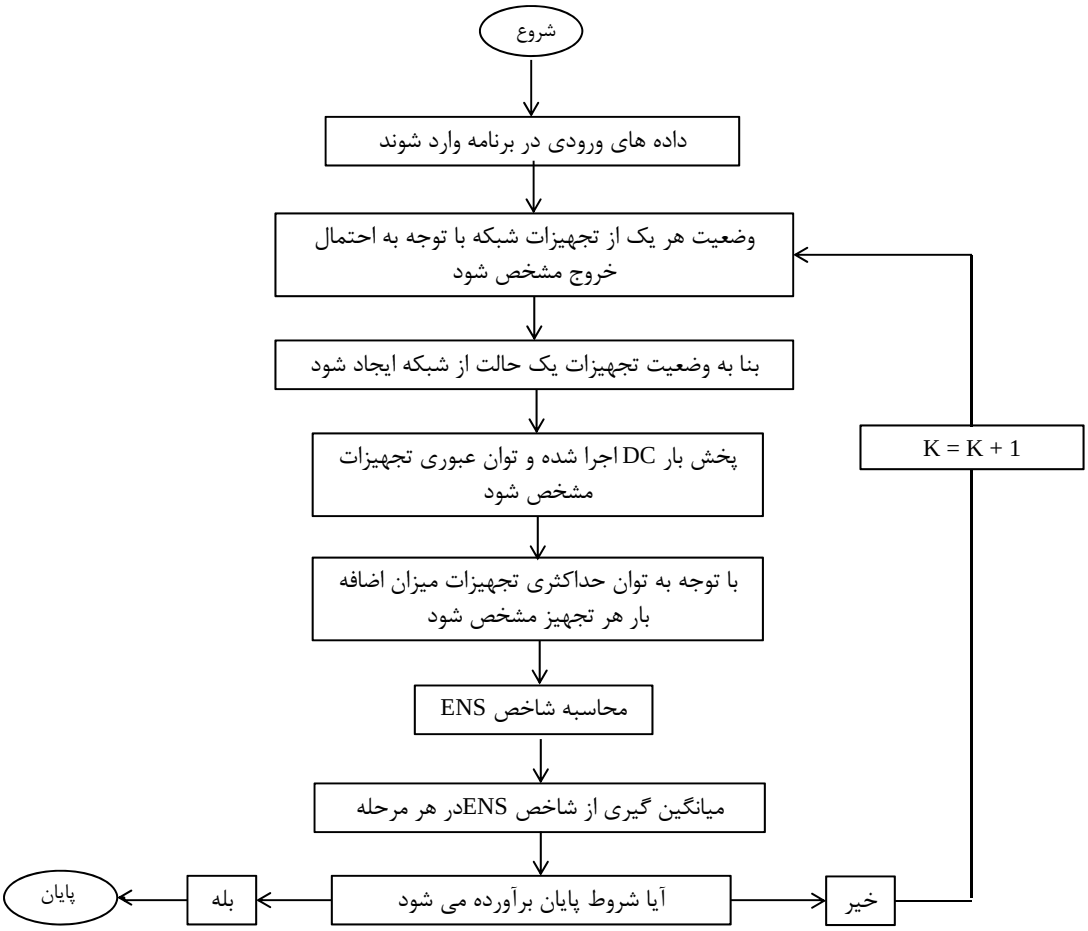
۲-۲-۳- شبیه‌سازی مونت‌کارلو

ایده اصلی شبیه‌سازی مونت‌کارلو، ایجاد یک سری از نمونه‌های تجربی با استفاده از دنباله تصادفی از اعداد است. یک شبیه‌سازی متوالی از شبکه است و در ضمن معرفی قطعی‌ها به صورت تصادفی شروع خواهد شد. تمام حالات قابل شمارش سیستم تحلیل می‌گردند. با استفاده از مدت هر حالت سیستم نتایج با یکدیگر جمع می‌شوند. شبیه‌سازی تا زمان حصول یک دقت آماری تکرار می‌شود.

شبیه‌سازی مونت‌کارلو یک شبیه‌سازی سلسله‌وار از خرابی‌ها در سیستم را با استفاده از یک تعداد تصادفی ژنراتور اجرا می‌کند. با طرح تعدادی از این ژنراتورها، زمان اتفاقی از خرابی‌های اخیر تعیین می‌گردد، و شبیه‌سازی از زمان خرابی به زمان خرابی دیگر پیش می‌رود، در ضمن اینکه اعداد تصادفی جدید خرابی آتی بعد از تعمیر را تعیین می‌کنند، و نهایتا الگوریتم پایان می‌پذیرد. بعد از هر خرابی، حالت سیستم به همان روشی که در ضمن روش شمارش حالات آنالیز شد، تحلیل می‌شود. در واقع هیچ تفاوتی بین یک حالت سیستم بدست آمده در ضمن یک شمارش حالات یا در ضمن شبیه‌سازی مونت‌کارلو وجود ندارد.

شبیه‌سازی مونت‌کارلو دارای سرعت کمتری نسبت به حالت شمارشی است، اما دارای این مزیت می‌باشد که نتایج توزیع شده قابل دستیابی است.

الگوریتم مونت‌کارلو برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت در شکل(۲-۱) نشان داده شده است. روابط در پیوست پایان‌نامه آمده است.



شکل ۲-۱- الگوریتم مونت‌کارلو برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت

۲-۲-٤- شاخص متوسط انرژی تامین نشده[1] (EENS)

این شاخص، میزان انرژی که با بالاتر رفتن مقدار بار از تولید، تامین نمی‌شود را نشان می‌دهد. این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر اطلاعات بیشتری را در اختیار قرار می‌دهد زیرا که اهمیت و بزرگی میزان قطع بار را نیز نشان می‌دهد. بدین ترتیب خطر و ریسک حاصل از قطع بار بیشتر نمایانده می‌شود. به نظر می‌رسد با رشد سیستم قدرت و اهمیت آن به عنوان یک سیستم تامین انرژی به جای تامین بار این شاخص بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد[۱].

$$EENS = \sum_{i=1}^{NL} \left(\sum_{s \in F_i} P(s) \cdot C(s) \right) \cdot T_i \qquad (۱-۲)$$

[1] Expected Energy Not Supplied(EENS)

که P(s) احتمال وقوع حالت s، F_i مجموعه حالات مشکل‌دار سیستم در سطح بار i، T_i تداوم سطح بار i برحسب ساعت و NL تعداد سطوح بار است و C(s) بار قطع شده برحسب مگاوات در حالت s است. T طول کل بازه زمانی برحسب ساعت است اغلب برای برنامه‌ریزی توسعه سیستم از دوره یک ساله استفاده می‌شود.

۲-۲-۵- شاخص‌های احتمال و امید فرکانس قطع بار

شاخص‌های دیگری هم وجود دارند که هر یک از آنها یک سری اطلاعات را از سطح امنیت سیستم بیان می‌کنند. از جمله آنها می‌توان به PLC[1] و EFLC[2] اشاره کرد. PLC احتمال قطع بار در یک بازه زمانی مشخص را بیان می‌کند و EFLC امید فرکانس قطع بار برحسب خرابی را در یک بازه زمانی مشخص بیان می‌کند[۱].

۲-۲-٦- شاخص‌های انرژی کفایت سیستم و عدم کفایت سیستم و وقفه سیستم

شاخص‌های انرژی کفایت سیستم(Energy Index of Reliability) و عدم کفایت سیستم(Energy Index of unreliability) برای سنجش سطح کفایت سیستم به کار می‌روند. و شاخص وقفه سیستم(System Minutes) مدت زمان وقفه سیستم برحسب دقیقه را بیان می‌کند.

۲-۲-۷- شاخص ASAI

این اندیس معرف متوسط دسترسی یک مشترک به سرویس برق است. در واقع این اندیس بیانگر این موضوع است که مشترک مورد نظر چند درصد از زمان‌های مورد تقاضای خود را برق‌دار بوده است.

۲-۲-۸- شاخص CAIDI

این اندیس بیانگر متوسط مدت زمان خاموشی یک مشترک است. به عبارت دیگر متوسط زمان لازم برای سرویس‌دهی مجدد به یک مشترک پس از قطعی بار توسط این اندیس بیان می‌شود.

---

[1] Probability of Load Curtailment(PLC)
[2] Expected Frequency of Load Curtailment(EFLC)

فصل سوم

معرفی تجهیزات و پروتکل‌های هوشمند در سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی

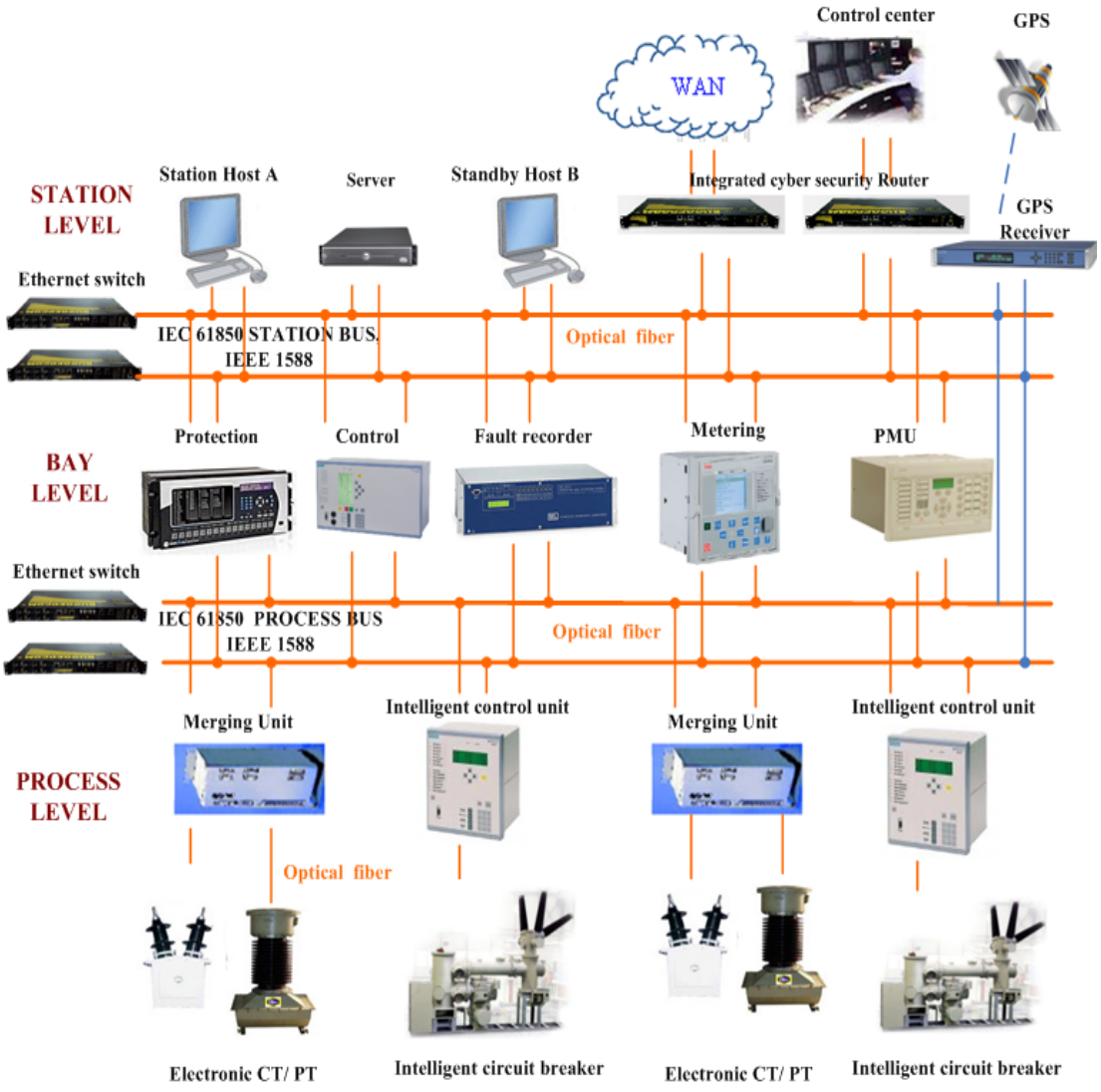
۳-۱- مقدمه

سیستم اتوماسیون مجموعه‌ای از تجهیزات آنالوگ و یا نیومریک و رایانه‌ای است که وظیفه کنترل، نظارت(مانیتورینگ) و حفاظت در سیستم قدرت را بر عهده دارد. بکارگیری تجهیزات و پروتکل‌های هوشمند در سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی باعث بهبود بخش‌های کنترل، مانیتورینگ و حفاظت در سیستم اتوماسیون می‌شود و این امر می‌تواند تاثیر بسزایی در کاهش خاموشی‌ها و بهبود امنیت شبکه قدرت داشته باشد. در بخش اول این فصل پروتکل IEC 61850 با قابلیت ارسال پیغام گوس در سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی معرفی شده است و معماری پست با بکارگیری این پروتکل نشان داده شده است. در بخش بعدی سنسورهای هوشمند در سطح پست و خطوط انتقال معرفی می‌شوند. در ادامه یک سری تجهیزات هوشمند در سطح پست‌های فشارقوی معرفی می‌شوند و نهایتا مسائل مرتبط با مانیتورینگ مهمترین تجهیزات پست بیان می‌شود.

۳-۲- معرفی پروتکل IEC 61850 در سیستم اتوماسیون پست‌های فشارقوی[٢٤]

استاندارد IEC 61850 یک استاندارد بین‌المللی تایید شده برای برقراری ارتباطات در پست‌های فشارقوی می‌باشد که فرصت جدیدی را برای تحول در حوزه کنترل، مانیتورینگ و حفاظت سیستم‌های قدرت ایجاد کرده است. مجموعه پروتکل‌های ارتباطی مورد استفاده در سطح پست، یکی از موضوعات مهم در طراحی سیستم اتوماسیون پست است. این پروتکل باید تمامی خدمات مورد نیاز که امکان اجرای بهینه توابع مختلف پست را می‌دهد ارائه کند.

در طراحی مدرن، اتوماسیون پست‌های فشارقوی براساس استاندارد IEC 61850 به سه سطح یا لایه، سطح پردازش، سطح بی و سطح ایستگاه تفکیک می‌شود. شکل(۳-۱) معماری پست را با بکارگیری پروتکل ارتباطی IEC 61850 نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- معماری پست با بکارگیری پروتکل ارتباطی IEC 61850، [٤]

سطح ایستگاه، عموما شامل تجهیزات اتاق فرمان، سرورهای اصلی شبکه و سیستم‌های SCADA و DCS می‌باشد. سطح بی نیز شامل تجهیزات حفاظتی، کنترل‌کننده‌ها، تجهیزات اندازه‌گیری و PMU است. تجهیزات سطح پردازش شامل ورودی خروجی‌های راه دور و سنسورهای هوشمند می‌باشد. کلیه سیگنال‌های دریافتی از سطح پست وارد واحدهای ادغام کننده[1] شده و ساده می‌گردند تا هر تجهیز الکترونیکی هوشمند[2] بتواند داده‌های ورودی و دریافت شده از واحدهای ادغام چندگانه را به صورت کاملا خودکار همتراز کرده و در یک ردیف قرار دهد و سپس داده‌ها را پردازش کند.

ارتباط بین سطوح و تجهیزات مختلف پست با استفاده از تجهیزی به نام اترنت سوییچ محقق می‌گردد که توانایی ایجاد ترافیک مناسب بر روی شبکه با سرعت بالا و همچنین اولویت‌بندی پیغام‌ها را دارد.

برخی از مزایای بکارگیری پروتکل IEC 61850 در سیستم اتوماسیون پست عبارتند از:

- استفاده از سرعت ۱۰۰ mb/s به جای سرعت ۱۰kb/s
- انعطاف‌پذیری ارتباط Server-Client نسبت به روش‌های مخابراتی قدیمی پایه و پیرو
- کاهش سیم‌کشی به خاطر استفاده از یک شبکه اترنت قوی در معماری پست

[1] Merging Unit(MU)
[2] Intelligent Electronic Device(IED)

- افزایش قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری و پشتیبانی کامل از تجهیزات با هر برندی
- ایجاد ترافیک مناسب بر روی شبکه
- قابلیت ارسال مکرر پیغام گوس[1] در صورت ایجاد مشکل برای یک پیغام و اولویت‌بندی پیغام‌ها

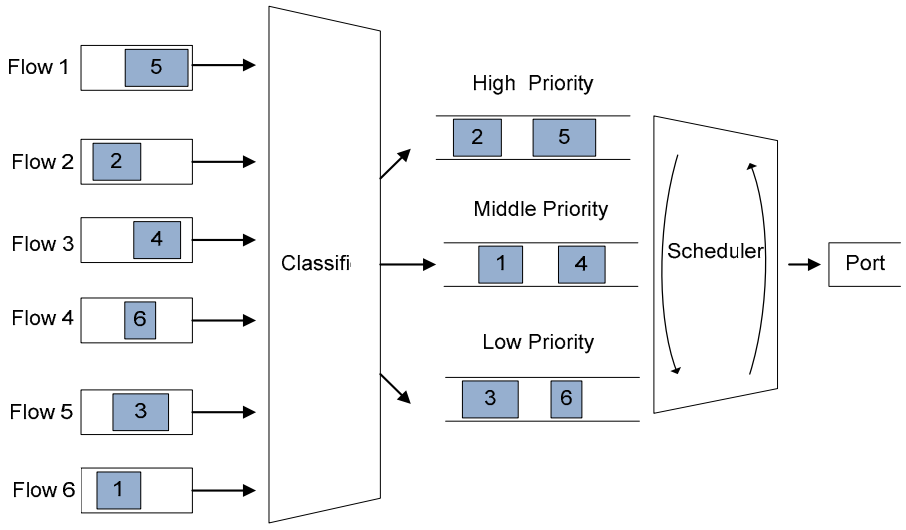
۳-۲-۱- پیغام گوس و الگوهای ارسال آن

پیغام گوس در واقع یک مکانیزم برای ارسال سریع رویدادهای پست مانند فرمان ها، هشدارها، وضعیت ها به عنوان پیام است. یک پیام گوس فرستاده شده توسط تجهیز الکترونیکی هوشمند می تواند توسط چندین گیرنده دریافت و استفاده شود.

همچنین میتوان برای مواردی مانند زمان توقف سوئیچگیرها، شروع ثبت خطاها، نشان دهنده وضعیت برای اینترلاکینگ از پیغام گوس بهره گرفت. یک سری الگوها و روشهایی برای تبادل پیغام گوس بر روی شبکه پست وجود دارد تا ترافیک مناسب بر روی شبکه LAN پست ایجاد گردد و پیغام‌هایی که دارای اهمیت بیشتری هستند دارای اولویت باشند[۲۳]. دو مورد از مهمترین این الگوها عبارتند از:

- بر اساس اولویت‌بندی
- روش چرخشی

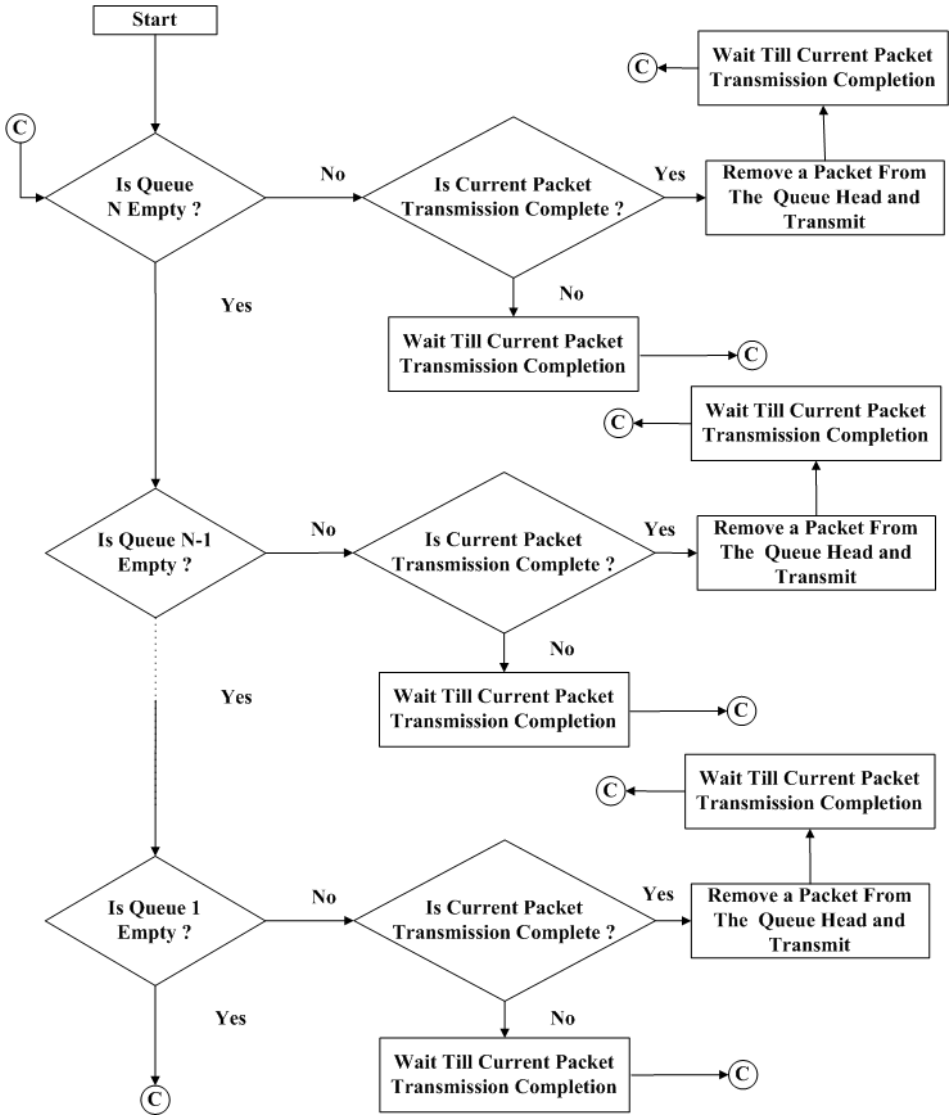
براساس اولویت‌بندی: در این روش ابتدا توسط یک Classifier پیغام‌ها اولویت‌بندی می‌شوند و در سه دسته‌ی اولویت بالا، متوسط، پایین جای می‌گیرند سپس پیغام‌هایی که دارای اولویت بالاتری هستند ارسال می‌شوند و سپس نوبت ارسال اولویت‌های پایین‌تر است. شکل(۳-۲) نمایی از این طرح را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲- الگو ارسال پیغام‌ها در روش اولویت‌بندی،[۲۳]

شکل(۳-۳) الگوریتم این روش را نمایش می دهد.

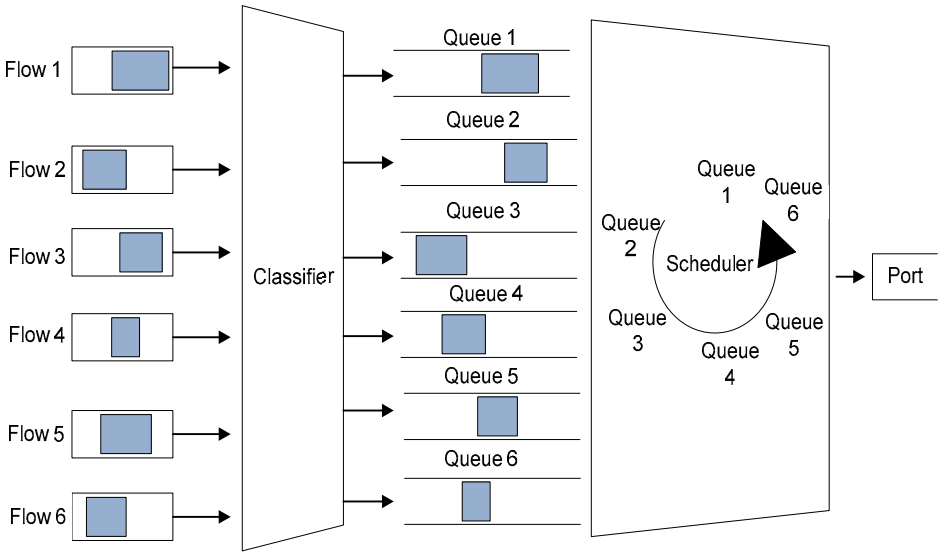
[1] GOOSE Message



شکل ۳-۳- الگوریتم ارسال پیغام در روش اولویت بندی،[۲۳]

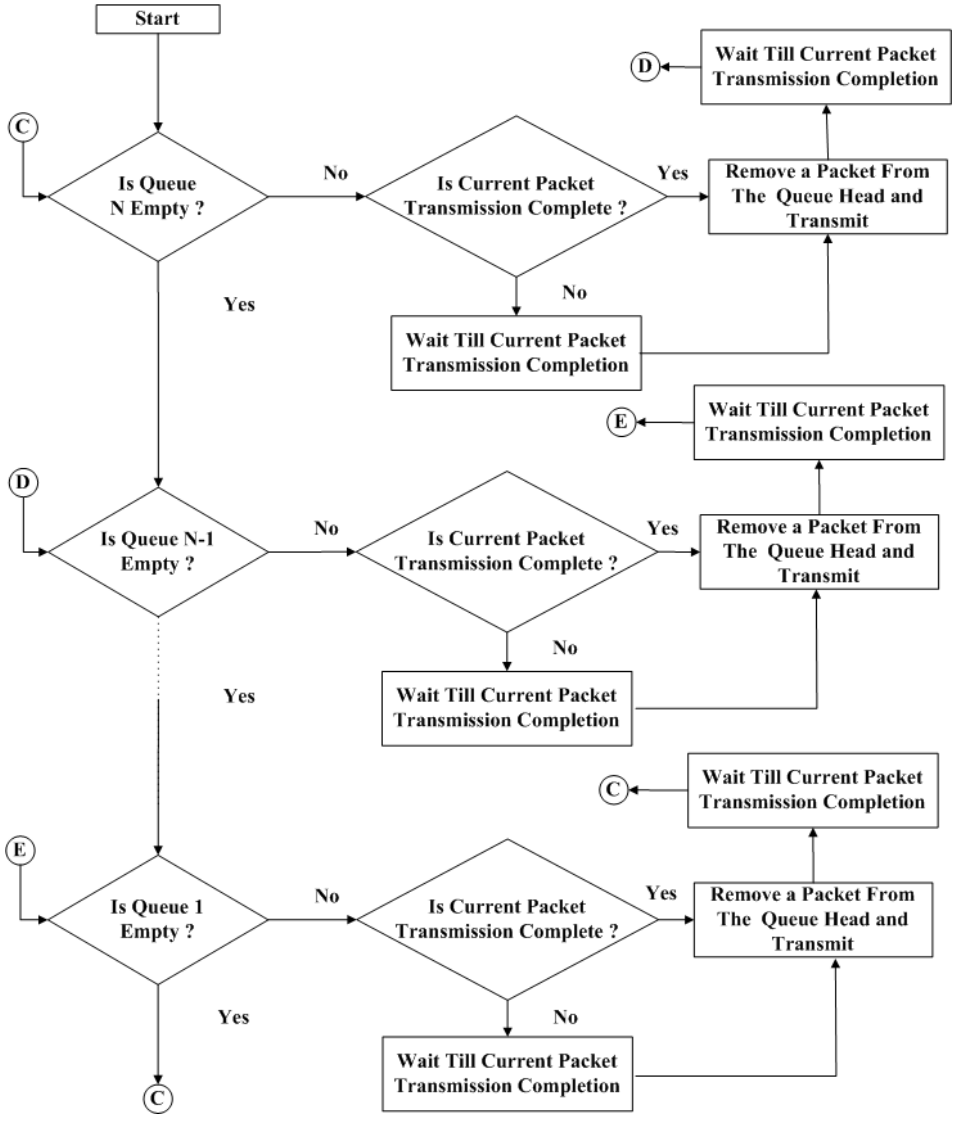
مشکلی که این روش دارد. این است که تا زمانیکه پیغام‌های دارای اولویت بالاتر ارسال نشده‌اند پیغام‌های با اولویت پایین‌تر فرصت برای ارسال پیدا نمی‌کنند این مشکل در روش چرخشی برطرف می‌شود. البته این روش نیاز به پهنای باند بیشتری هم دارد.

روش چرخشی: در این روش هم ابتدا تمامی پیغام‌ها طبقه‌بندی می‌شوند اما تفاوتی که این روش با روش قبلی دارد این است که پیغام ها به صورت چرخشی ارسال می‌شوند و اگر زمانی ترافیک پیغام‌های با اولویت بالاتر زیاد باشد این روش یک پهنای باند بیشتر برای ارسال سایر پیغام‌ها هم در نظر می‌گیرد. شکل(۳-٤) نمایی از این طرح را نشان می‌دهد.



شکل ۳-٤- الگو ارسال پیغام‌ها در روش چرخشی،[۲۳]

شکل(۳-۵) الگوریتم این روش را نشان می دهد.

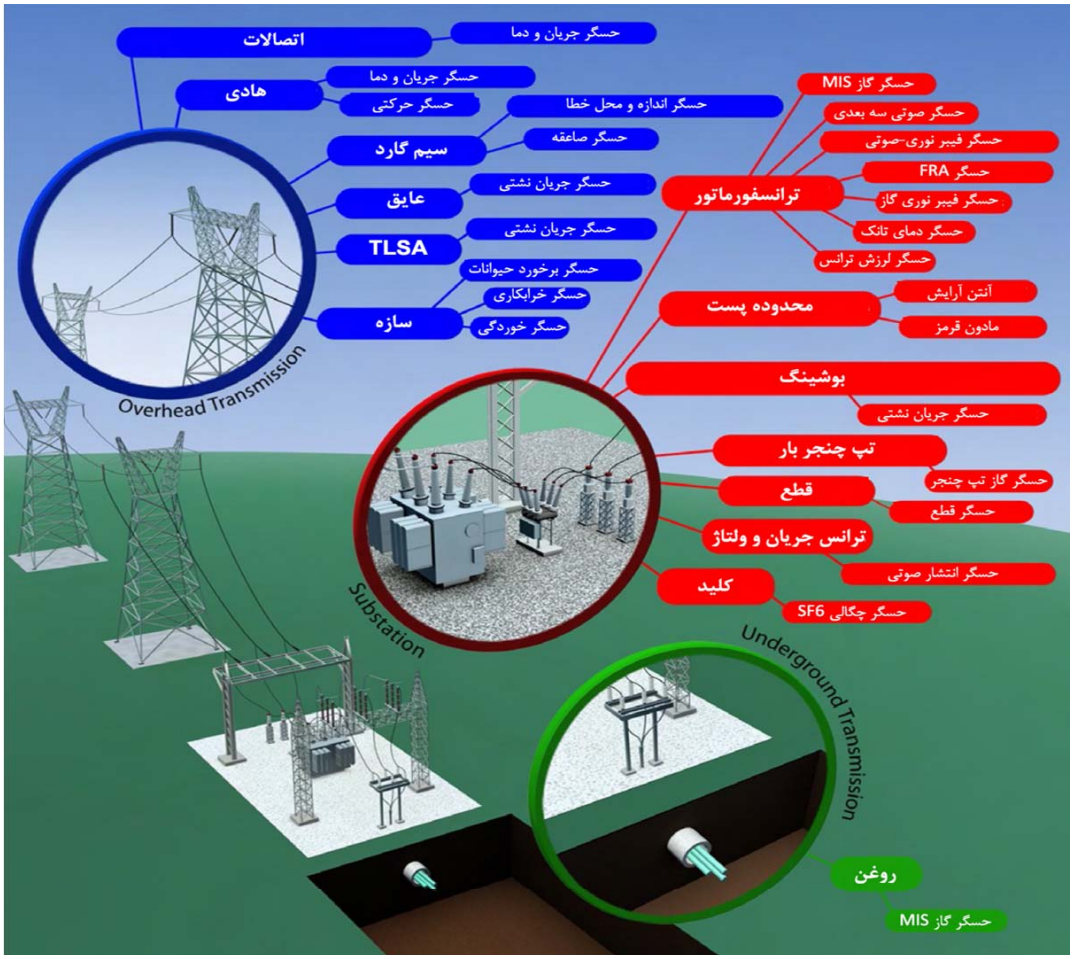


شکل ۳-۵- الگوریتم ارسال پیغام در روش چرخشی،[۲۳]

۳-۳- استفاده از سنسورهای مختلف در سطح پست

استفاده از سنسورها در پست باعث افزایش کیفیت مانیتورینگ و کنترل در پست می‌شود و به عبارت دیگر تمامی پارامترهای مربوط به تجهیزات را کاملا زیر نظر می‌گیریم تا از خروج ناگهانی آنها جلوگیری کنیم و هم عمر مفید تجهیزات را افزایش می‌دهیم که این امر باعث کاهش خاموشی‌ها در شبکه قدرت و بهبود امنیت سیستم می‌شود استفاده از سنسورها تاثیر بسزایی هم در کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و هم هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه دارد[۲۱-۱۸].

بسیاری از پست‌های فوق‌توزیع موجود در شبکه قدرت ایران هم اکنون از دو ترانس موازی به جهت افزایش قابلیت اطمینان استفاده می‌کنند اما با وجود سنسورها در سطح پست دیگر نیازی به استفاده از دو ترانس نیست. شکل(۳-۶) تعدادی از سنسورهای استفاده شده در سطح پست و خطوط انتقال را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶- تعدادی از سنسورهای استفاده شده در سطح پست و خطوط انتقال

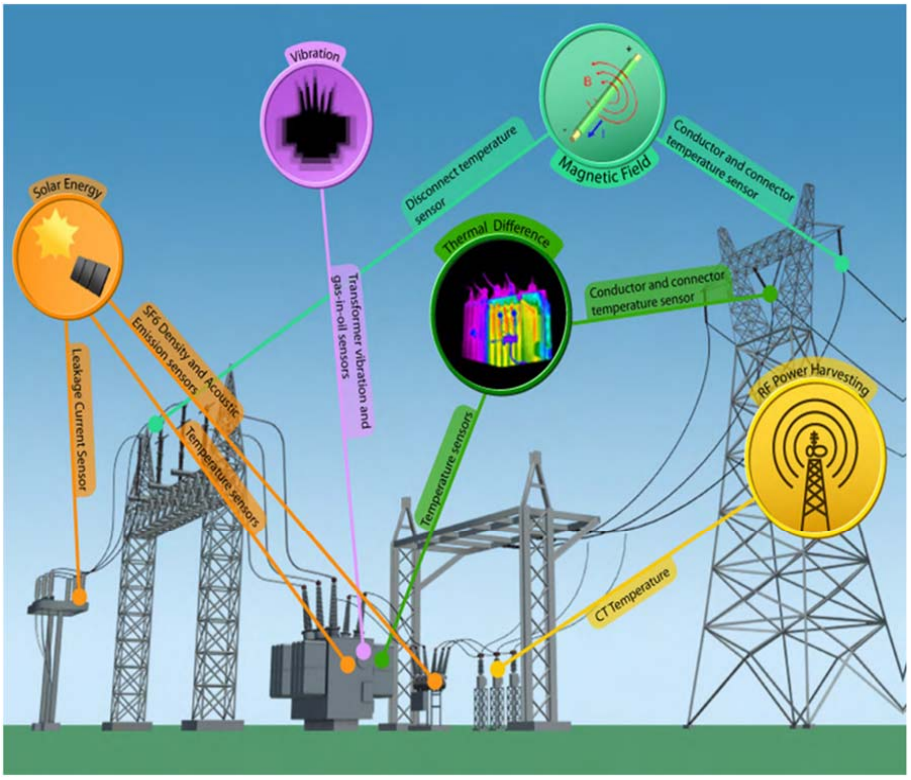
مسائل مرتبط با سنسورها:

- هزینه بالای سنسورها
- مشکل سیم کشی
- هماهنگی سنسورها با بقیه تجهیزات
- تامین انرژی سنسورها
- عملکرد سنسورها در شرایط خطا

تامین انرژی سنسورها:

- خورشیدی
- لرزش
- میدان مغناطیسی
- اختلاف دما
- و ...

شکل(۳-۷) تعدادی از روش‌های تامین انرژی سنسورها را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷- تعدادی از روش‌های تامین انرژی سنسورها

۳-۳-۱- سنسورهای Stick-on

استفاده از این سنسورها برخی از مشکلات از جمله هزینه سنسورها، مشکل سیم کشی و تامین انرژی را حل می‌کند[۱۸].

برخی از مزایای سنسورهای Stick-on:

- هزینه پایین
- سایز بسیار کوچک
- Wireless
- مقاوم در برابر تاثیرات الکترومغناطیسی
- قابلیت خودتنظیمی
- تامین انرژی خود