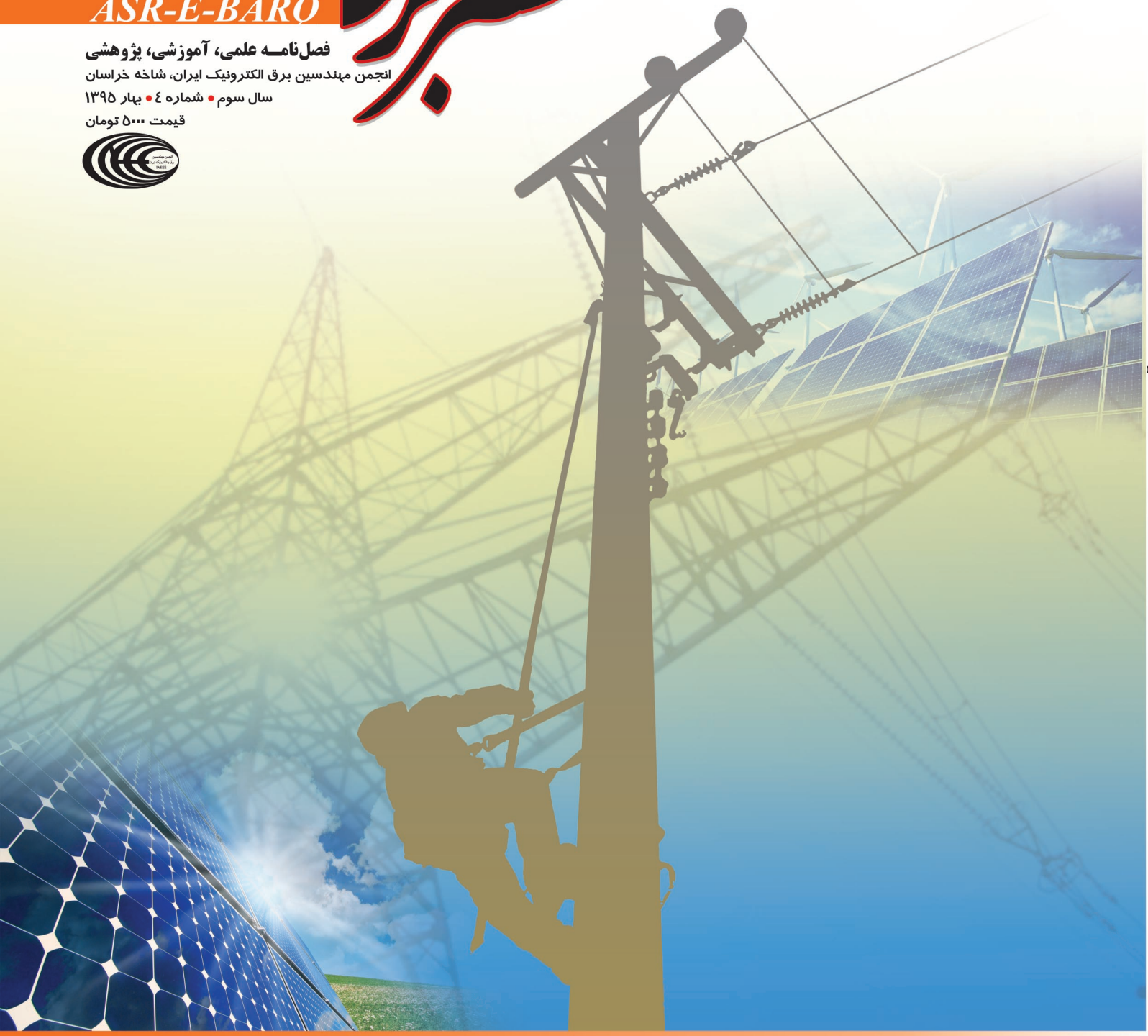
عصر برق ۴

ASR-E-BARQ

فصل‌نامــه علمی، آموزشی، پژوهشی
انجمن مهندسین برق الکترونیک ایران، شاخه خراسان
سال سوم • شماره ٤ • بهار ۱۳۹۵
قیمت ۵۰۰۰ تومان



نگاهی به فعالیت‌ها و چشم‌اندازهای شرکت توزیع نیروی برق مشهد/ ترانسفورماتور حالت جامد
نقش ایمنی در سرعت عمل شرکت توزیع برق/ ارگونومی (مهندسی انسانی) و آنترو پومتری دراتاق کنترل و مراکز دیسپاچینگ
طراحی ریزشبکه برای یک ساختمان اداری دارای نیروگاه خورشیدی/ فناوری سلول خورشیدی رکتنی از تئوری تا عمل

عصر برق • سال سوم • شماره ٤
فصل‌نامــه علمی، آموزشی، پژوهشی انجمن مهندسین برق الکترونیک ایران

شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد
Mashhad Electric Energy Distribution Co.

چشم انداز ما ۵ ۰ ۱۴ در سال ۱۴۰۵ می باشد، یعنی اینکه:

- در سال ۱۴۰۵ متوسط خاموشی سالیانه هر مشترک را به ۱۴ دقیقه خواهیم رساند.
- در سال ۱۴۰۵ میزان مراجعه حضوری برای اخذ خدمات را به ۰ (صفر) خواهیم رساند.
- در سال ۱۴۰۵ میزان تلفات انرژی در شبکه های توزیع برق را به ۵ درصد خواهیم رساند.

گام بزرگ دیگری، ... و شاید آخرین گام برای رسیدن به ۱۴

تبدیل سیم های ۲۰kv فاقد روکش به سیم های روکش دار،

بدون اِعمال خاموشی

www.meedc.ir

عصر برق ۴
ASR-E-BARQ
فصل‌نامه تحلیلی، آموزشی، پژوهشی
انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران
شاخه خراسان
سال سوم • شماره ۴ • بهار ۱۳۹۵

به نام دوست

فهرست مطالب

یادداشت سردبیر	۲
نگاهی به فعالیت‌ها و چشم‌اندازهای شرکت توزیع نیروی برق مشهد در ...	۳
ترانسفورماتور حالت جامد	۷
نقش ایمنی در سرعت عمل شرکت توزیع برق	۱۴
ارگونومی (مهندسی انسانی) و آنترو پومتری دراتاق کنترل و مراکز دیسپاچینگ	۱۸
ارایه روشی نوین برای تعیین ظرفیت پانل‌های خورشیدی در طراحی ...	۲۲
طراحی ریزشبکه برای یک ساختمان اداری دارای نیروگاه خورشیدی	۲۷
فناوری سلول خورشیدی رکتنی از تئوری تا عمل	۳۳
امکان‌سنجی کاربردها و قابلیت‌های جدید سیستم اتوماسیون پست و ...	۳۷
تصفیه شیمیایی روغن ترانسفورماتور	۴۳
مدل‌سازی و توسعه مدولاسیون مبدل ماتریسی و تحلیل پایداری (چکیده رساله دکتری)	۴۷
کنترل بهینه مسئله راهبر-پیرو در مدل بازی‌های گرافی ... (چکیده رساله دکتری)	۴۸
تصویرسازی در سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه با ... (چکیده رساله دکتری)	۴۸
طراحی مدارهای مجتمع کارآمد برای نمونه‌برداری فشرده (چکیده رساله دکتری)	۴۹
ارایه راه‌کارهایی جهت احداث پست‌های انتقال و فوق‌توزیع به‌صورت زیرزمینی ...	۵۰
حذف بار جریانی هوشمند در پست‌های شعاعی متصل به یک پست با استفاده ...	۵۵

صاحب امتیاز: انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران
مدیر مسوول: دکتر حبیب رجبی مشهدی
سردبیر: دکتر جواد ساده

شورای سیاست‌گذاری:
دکتر ایمان احدی اخلاقی، مهندس حسن اروجی، مهندس محمد علی چمنیان، دکتر حبیب رجبی مشهدی، دکتر مصطفی رجبی مشهدی، دکتر جواد ساده، دکتر مهرداد شکوه صارمی، دکتر مهدی علومی بایگی، مهندس محمد فاضل نسب، مهندس سید محمدرضا فخر نبوی، مهندس مهدی کارگر راضی، دکتر محمد مولوی، مهندس مجید مهدیزاده، مهندس غلامرضا یزدانی شواکند

شورای نویسندگان:
دکتر محمدرضا اکبرزاده توتونچی، دکتر سید هاشم اورعی میرزمانی، دکتر حمید تولیت، دکتر سید حسین حسینی، دکتر حبیب رجبی مشهدی، دکتر مصطفی رجبی مشهدی، دکتر جواد ساده، دکتر مهرداد شکوه صارمی، دکتر امیررضا عطاری، دکتر مهدی علومی بایگی، دکتر حسن غفوری‌فرد، دکتر گئورگ قره‌پتیان، دکتر خلیل مافی‌نژاد، دکتر محمد منفرد، دکتر محمد مولوی

مدیر اجرایی:
مهندس غلامرضا یزدانی شواکند

روابط عمومی:
مهندس فریده سعادت، مهندس سمیراء شمس

مدیر برنامه‌ریزی:
دکتر مصطفی رجبی مشهدی

صفحه آرایی و امور گرافیک:
امواج برتر(۰۵۱-۳۸۹۴۰۱۲۰)
لیتوگرافی: آفاق شرق (۰۵۱-۳۳۴۳۶۹۰۶)
چاپ : زبرجد (۰۵۱-۳۶۰۸۰۴۲۵)
صحافی : حافظ (۰۵۱-۳۳۹۲۹۱۱۱)

نشانی:
مشهد، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی دفتر گروه مهندسی برق
تلفن دبیرخانه انجمن: ۷-۳۶۱۰۳۸۵۶-۰۵۱
نمابر: ۳۶۱۰۳۸۵۸-۰۵۱
وب سایت انجمن: www.kiaeee.ir
پست الکترونیک: asrebarq@kiaeee.org

● از مطالب و نوشته‌های شما استقبال می‌کنیم:
– «عصر برق» در استفاده، ویرایش و کوتاه کردن مطالب ارسالی آزاد بوده و مطالب ارسالی شما نزد ما به یادگار می‌ماند.
– نظرات و عقاید نویسندگان مطالب لزوما دیدگاه «عصر برق» نیست.
– استفاده از مطالب «عصر برق» با ذکر منبع آزاد است.
– ترتیب آثار چاپ شده بر حسب ملاحظات فنی و رعایت تناسب بوده و به معنای درجه‌بندی نیست.
– مقاله های ارسالی از طریق پست الکترونیک و حتما به دو صورت PDF و Word باشد.
–ترجمه‌ها همراه با نسخه اصلی ارسال شود.
–مسوولیت حقوقی آثار ارسالی بر عهده نویسندگان مقاله‌ها می‌باشد.

ضرورت توسعه و اصلاح شبکه‌های توزیع

یادداشت سردبیر

شبکه‌های توزیع نیروی برق که در واقع نقطه اتصال چرخه تولید و انتقال انرژی الکتریکی به مصرف‌کننده است، به لحاظ گستردگی و پیچیدگی‌های خاص خود یکی از مهم‌ترین قسمت‌های سیستم‌های قدرت می‌باشند. احداث، تعمیر و نگهداری، اصلاح و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع به‌ویژه در کلان شهرها به یک کار تخصصی گروهی با تکیه بر دانش روز تبدیل شده است.

با ورود فناوری‌های نوین به زندگی مردم، سطح توقع از سیستم تامین انرژی الکتریکی که شرکت‌های توزیع در پیشانی آن قرار دارند افزایش قابل توجهی یافته است. مشترکان امروزی علاوه بر نیاز به تامین انرژی الکتریکی بدون خاموشی از وسایل و تجهیزاتی استفاده می‌نمایند که به کیفیت انرژی الکتریکی دریافتی نیز حساس هستند و در صورتی که از پارامترهای کیفی مناسبی برخوردار نباشد عملکرد دستگاه با مشکل مواجه می‌شود. همین‌طور کمیت توزیع انرژی الکتریکی به‌ویژه در کلان شهرها با توسعه و رشد روزافزونی همراه است و علاوه بر این که مشترکان قبلی انرژی الکتریکی بیشتری طلب می‌کنند، هر روز بر شمار مشترکان جدید نیز افزوده می‌شود و این در حالی است که شبکه‌های فرسوده قدیمی ظرفیت تامین تقاضای جدید را ندارند و اضافه بار بر روی آن‌ها مشکلات فراوانی مانند افزایش تلفات و کاهش پایداری شبکه را به‌دنبال خواهد داشت.

در این شرایط بحث‌های نوینی در مورد ساختار شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی در جهان دنبال می‌شود که هوشمندسازی شبکه‌ها و تبدیل شبکه‌ی فعلی به یک شبکه هوشمند یکی از آن‌هاست و به‌عنوان زیر بنای سایر اقداماتی که قرار است بر روی شبکه انجام شود مطرح است اما تبدیل شبکه‌ی در حال کار به یک شبکه هوشمند به‌مراتب سخت‌تر و مشکل‌تر از احداث یک شبکه هوشمند است چرا که مشترکان، انرژی الکتریکی را بدون خاموشی می‌خواهند و از طرف دیگر هماهنگی تجهیزات جدید با تجهیزات قدیمی بسیار سخت است. اما این چیزی از ضرورت‌های هوشمندسازی کم نمی‌کند صرف‌نظر از پیچیدگی‌هایی که برای تبدیل شبکه‌ی فعلی به شبکه هوشمند وجود دارد، مسایل اقتصادی آن نیز بسیار مهم است. تامین مالی پروژه‌هایی با این وسعت به‌ویژه با شرایط اقتصادی فعلی وزارت نیرو بسیار سخت است البته در چند سال گذشته مشکل تحریم‌ها نیز ورود بعضی از تجهیزات شبکه را مشکل نموده بود که بعضی از آن‌ها با ساخت داخل برطرف شده‌است.

اقتصاد نابه‌سامان برق در سال‌های نزدیک مشکلات فراوانی را به‌دنبال داشته است که بدهی‌های وزارت نیرو به بخش خصوصی به‌عنوان شاهدی بر ضعف اقتصادی صنعت برق قابل ذکر است. اما در حال حاضر یکی از اولویت‌های مهم صنعت برق علاوه بر ایجاد ظرفیت‌های جدید، اصلاح ساختار فرسوده شبکه‌های برق به‌ویژه در بخش توزیع نیروی برق است که سیاست‌های مختلف انرژی کشور در آن نمود پیدا می‌کند و در چنین وضعیتی بی‌توجهی به اقتصاد برق و عدم تامین مالی پروژه‌ها که بی‌شک باعث ناهماهنگی شتاب رشد مصرف با به‌سازی و به‌روز نمودن شبکه‌ها خواهد شد، مشکلات پرتعدادی را برای آینده انرژی و شبکه رقم خواهد زد. مشکلاتی که تبدیل وضعیت شبکه‌ها را به هزینه‌ی چند برابری بر صنعت برق و جامعه تحمیل خواهد نمود.

شاید نخستین گام برای ساماندهی به وضعیت اقتصادی صنعت برق، تجدید نظر در قیمت‌های انرژی و برقراری توازن بین هزینه‌های تولید، قیمت تمام شده انرژی و قیمت فروش انرژی الکتریکی به مشترکان است. معادله‌ای که صنعت برق در تمام دنیا از آن استفاده نموده و به‌جواب رسیده است. اگر قیمت خرید و فروش انرژی برق مانند بسیاری از کشورهای توسعه یافته به‌شکل رقابتی درآید، بسیاری از مشکلاتی که در حال حاضر صنعت برق با آن دست‌و پنجه نرم می‌کند به خودی خود حل خواهد شد از آن جمله می‌توان به مدیریت و بهینه‌سازی مصرف، مشکلات ساعت‌های اوج بار و کاهش تلفات اشاره نمود و از همه مهم‌تر هم‌خوانی درآمدها و هزینه‌ها در صنعت برق خواهد بود. صنعتی که درآمد و هزینه‌کرد آن با هم، هم‌خوانی پیدا کند، با آسایش خاطر به برنامه‌های توسعه‌ای خواهد پرداخت.

جواد ساده
سر دبیر

***

نگاهی به فعالیت‌ها و چشم‌اندازهای شرکت توزیع نیروی برق مشهد

- ✓ تعویض سیم‌های بدون روکش ۲۰ کیلوولت با سیم‌های روکش‌دار
- ✓ اتوماسیون توزیع با خودکفایی در تولید تجهیزات
- ✓ دولت الکترونیک و شفاف سازی در ارایه خدمات
- ✓ نصب کنتورهای AMI و قرائت بر خط کنتورها
- ✓ فعالیت‌های شرکت توزیع نیروی برق مشهد رویاهای تحقق یافته

در گفت و گو با مهندس علی سعیدی

شبکه‌های توزیع برق در دنیای امروز از شریان‌های مهم جوامع بشری به‌شمار می‌آیند و از حساسیت خاصی برخوردار هستند. تامین انرژی الکتریکی مطمئن و دایم که به‌عنوان یکی از شاخصه‌های مهم عملکردی شرکت‌های توزیع نیروی برق به‌شمار می‌رود جز با پیش‌بینی صحیح عیب‌ها و پیشگیری به‌موقع از بروز حوادث ممکن نیست و برنامه‌ریزی مناسب سرویس و نگهداری شبکه‌های توزیع نیروی برق که با پایداری و قابلیت اطمینان شبکه‌ها پیوند مستقیم دارد و در کاهش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم ناشی از خاموشی‌ها برای مشترکان و شرکت‌های توزیع اثر گذار است جز بر مبنای مطالعه و بررسی دقیق و علمی استوار نخواهد ماند.

شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد با ایجاد مدیریت دانش‌بنیان به‌عنوان شرکتی پیشرو در سال‌های اخیر به جامعه مهندسی برق و صنعت برق کشور معرفی شده است که با عملکرد مناسب خود توانسته است ضمن کاهش معضلات مربوط به شبکه‌های توزیع در کلان شهر مشهد، در راستای سیاست‌های اقتصاد مقاومتی حرکت نموده و شعارهای اقتصاد مقاومتی را محقق کند.

اقدامات زیربنایی مهمی که در زمینه تامین و توسعه شبکه‌های برق در این شرکت انجام شده است، ساماندهی مناسب و مهندسی شبکه‌ها را بر مبنای استانداردهای روز دنیا و نگاه منطقه‌ای در پی داشته است و هوشمندسازی شبکه و اتوماسیون خطوط توزیع نیروی برق علاوه بر ایجاد امکان مدیریت مصرف بار و بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی به کاهش تلفات انرژی الکتریکی، کاهش خاموشی‌ها، حفظ محیط‌زیست و حفاظت از شبکه‌ها در برابر ناپایداری‌های جوی انجامیده است و انتظارات مردم و مسوولان را برآورده کرده است. آن‌چه در ادامه خواهید خواند، حاصل گفت‌وگو با مهندس علی سعیدی مدیرعامل شرکت توزیع نیروی برق مشهد در باره فعالیت‌ها و برنامه‌های این شرکت موفق است.

موفقیت حاصل برنامه‌ریزی بلند مدت و کوتاه مدت است

بی‌شک آن‌چه امروز به‌عنوان عملکرد موفق شبکه توزیع نیروی برق کلان شهر مشهد با ۳,۵ میلیون جمعیت و یک میلیون و ۵۰۰ هزار مشترک مطرح می‌شود نتیجه و ثمره برنامه‌ریزی و آینده‌نگری است که در سال‌های گذشته مورد توجه قرار گرفته است. مهندس علی سعیدی در این زمینه می‌گوید: «ما ۱۲ سال پیش به این نتیجه رسیدیم که مسایل مربوط به شبکه برقی که آن روزها یک میلیون مشترک داشت را نمی‌شود به شکل سنتی اداره کرد و باید برنامه‌ریزی علمی صورت گیرد. اما برای این منظور باید کارها و مقدماتی فراهم می‌شد و بزرگ‌ترین کاری که در آن زمان انجام شد جهت‌دار کردن تفکر دوستان بود. به‌عبارتی باید یک تفکر خاصی شکل می‌گرفت. به قول مولانا باید مطالبه‌ای در ذهن دوستان ایجاد می‌شد که همه آن مطالبه را قبول می‌نمودند و در راستای آن مطالبه که همان استراتژی شرکت توزیع بود تلاش می‌کردند و توانایی و افکار خود را در همان راستا هدایت می‌کردیم تا موانع برداشته شود: «کین طلب‌کاری مبارک جنبشی است، این طلب در راه حق مانع کشی است» و خوشبختانه این اتفاق افتاد».

مدیر عامل شرکت توزیع نیروی برق مشهد در مورد این مطالبه و استراتژی چنین توضیح می‌دهد: «در نخستین گام تصمیم گرفته شد

> اقتصاد مقاومتی حرف خوب و منطقی است و اگر کسی بخواهد در راستای آن حرکت کند باید استراتژی مشخصی داشته باشد. شرکت توزیع نیروی برق از برنامه‌ریزی و استراتژی خاصی برخوردار بود و به همین دلیل در حقیقت به نوعی از سال‌ها قبل در مسیری گام گذاشت که از مصادیق واضح و روشن اقتصاد مقاومتی است

که باید شاخص‌های بین‌المللی در نظر گرفته شود و در این راستا از مشاوره استفاده شد تا کار به‌صورت علمی بررسی شود. در این بررسی‌ها کشورهای پیشرفته مورد توجه قرار گرفت. براساس معیارهای بین‌المللی در سال ۲۰۲۵ میلادی که مصادف با سال ۱۴۰۵ خورشیدی است باید میزان خاموشی‌ها در حد معقولی باشد که برای یک شبکه توزیع خوب بین ۵ تا ۱۲ دقیقه است و با عبارتی به نام SAIDI تعریف می‌شود. از سوی دیگر تلفات هم با توجه به معیارهای جهانی و بحث‌های زیست محیطی در راستای کاهش آلاینده‌ها باید بسیار کم شود. هم‌چنین در عصر ارتباطات و فناوری اطلاعات مراجعه حضوری مردم به شرکت توزیع باید کاهش یابد و به صفر برسد. بر این اساس بود که استراتژی شرکت چهارده صفر پنج (۱۴۰۵) تعریف شد که با سال ۱۴۰۵ تطابق دارد و در این استراتژی باید انشاا... در سال ۱۴۰۵ میزان متوسط خاموشی برای هر مشترک به ۱۴ دقیقه، مراجعات حضوری به صفر و تلفات به ۵ درصد برسد. این مطالبه منطقی باعث ایجاد جنب و جوش و تحرک سازمانی شد تا منابع محدود سازمان در مسایل معدود متمرکز شود و به این ترتیب باعث شد موانع از میان برداشته شوند. البته به صورت دوره‌ای این استراتژی مورد نقد قرار می‌گیرد و در صورت لزوم بازنگری و اصلاح می‌شود».

میزان خاموشی‌ها در شروع برنامه شرکت توزیع نیروی برق مشهد به‌طور متوسط برای هر مشترک حدود ۷۰۰ دقیقه بود که در سال ۱۳۹۴ به گفته مهندس سعیدی به ۷۶ دقیقه رسیده است در صورتی که در بسیاری از نقاط کشور در حال حاضر این میزان ۱۰۰۰ دقیقه در سال برای هر مشترک است. هم‌چنین در حالی که متوسط تلفات در کشور نزدیک به ۱۱,۳ درصد است در شرکت توزیع نیروی برق مشهد تلفات از ۱۵ درصد در نقطه شروع اکنون به ۷ درصد رسیده است و قرار است تا پایان سال جاری به ۶ درصد برسد، عددی که اگر محقق شود کار بزرگی در صنعت برق به‌شمار می‌رود. مدیر عامل شرکت توزیع نیروی برق مشهد این موفقیت‌ها را نتیجه داشتن استراتژی و هدف مشخص می‌داند که از حرکت زیگزاکی و به شکل کور که باعث هدر رفتن منابع و به نتیجه نرسیدن کارها می‌شود جلوگیری می‌کند.

■ اقتصاد مقاومتی بدون استراتژی و هدف محقق نمی‌شود

در شرایطی که منابع مالی وزارت نیرو با محدودیت‌هایی روبه‌رو بود و بسیاری از پروژه‌ها به دلیل کمبود منابع مالی معطل مانده بودند و بسیاری از شبکه‌ها به همین دلیل از توسعه باز ماندند، شرکت توزیع نیروی برق مشهد طرح‌های بسیاری را اجرا نمود. باید پرسید منابع مالی این پروژه‌ها از کجا تامین شده است؟ پاسخ این پرسش را مهندس سعیدی می‌گوید:« اقتصاد مقاومتی حرف خوب و منطقی است و اگر کسی بخواهد در راستای آن حرکت کند باید استراتژی مشخصی داشته باشد. شرکت توزیع نیروی برق از برنامه‌ریزی و استراتژی خاصی برخوردار بود و به همین دلیل در حقیقت به نوعی از سال‌ها قبل در مسیری گام گذاشت که از مصادیق واضح و روشن اقتصاد مقاومتی است. این شرکت همان بودجه‌ای را دریافت کرد که سایر شرکت‌ها دریافت کردند و وضعیت درآمدی آن هم با سایر شرکت‌ها تفاوتی نداشت. ما یک اصل را در شرکت تعریف کرده بودیم؛ چهارده- صفر- پنج(۱۴۰۵) و برای تحقق ۱۴۰۵برنامه‌ریزی شد. باید برای رسیدن به متوسط ۱۴ دقیقه خاموشی برای هر مشترک برنامه‌ریزی می‌شد. برای رسیدن به این هدف نیاز به عملیات خط گرم بود تا برای تعمیرات ۲۰ کیلوولت نیاز به اعمال خاموشی نباشد و بودجه‌ها در این راستا به‌صورت هدفمند هزینه شد. ما در بخش ۲۰ کیلوولت به ۹۷ درصد از اهداف تعریف شده دست پیدا کردیم. یکی از دلایل خاموشی‌ها انجام تعمیرات شبکه بود و یکی دیگر از دلایل آن توپولوژی و ساختار حاکم بر شبکه‌های موجود بود.

هادی‌های شبکه‌ی فشار ضعیف ما سیم مسی لخت بود که هم برای مردم مشکل ایمنی داشت و هم مشکل سرقت سیم‌های مسی وجود داشت از طرفی در برابر عوامل جوی مانند طوفان و رعد وبرق و همین‌طور سقوط درختان و اشیاء مختلف ناپایدار بود و باعث قطع شبکه می‌شد. با ایده کارشناسان شبکه توزیع نیروی برق مشهد هفت هزار کیلومتر شبکه فشار ضعیف شهرستان مشهد بدون این‌که پولی از جایی دریافت شود با تدبیر و رعایت ضوابط و تشریفات قانونی اصلاح شد. سیم‌های مسی را قبل از این‌که سرقت شوند خودمان برداشتیم و از محل فروش آن منابعی ایجاد کردیم که علاوه بر اصلاح ساختار شبکه، صنایع مشهد مانند صنایع سیم و کابل به‌مدت چهار سال برای شرکت توزیع کابل خودنگهدار تولید می‌کردند و در چهار سال مداوم بدون اعمال خاموشی، روزانه ۱۰۰ گروه پیمانکاری ۵ نفره در مشهد مشغول تعویض سیم‌های مسی بودند تا توانستیم بدون این که مبلمان شهر به هم بخورد ۷ هزار کیلومتر شبکه فشار ضعیف را به یک شبکه با ایمنی ۱۰۰ درصد تبدیل کنیم که حتی در صورت لمس شبکه کسی دچار برق گرفتگی نشود. به این ترتیب علاوه بر اصلاح و نوسازی شبکه فشار ضعیف، خاموشی‌های ناشی از حوادث جوی به شدت کاهش پیدا کرد، سرقت برق و سرقت سیم‌ها به صفر رسید، شاخه‌زنی درختان از بین رفت و سیم‌ها از وسط شاخ و برگ درختان بدون هیچ خطری عبور می‌کنند. به این ترتیب بدون نیاز مستقیم به پول هم اشتغال مستقیم و غیرمستقیم ایجاد شد، هم ایمنی مردم و شبکه افزایش یافت، هم از آثار بهسازی شبکه بهره‌مند شدیم و هم از هدر رفت اموال عمومی ناشی از سرقت تجهیزات و سیم‌های شبکه جلوگیری شد».

بنابراین با انجام یک کار علمی اقتصاد مقاومتی به معنای واقعی در این بخش از فعالیت‌های شرکت توزیع نیروی برق مشهد تحقق یافته است. کاری که برای دیگر شرکت‌های توزیع نیروی برق نیز می‌تواند به‌عنوان یک الگو مورد استفاده قرار گیرد. البته در بعضی از شرکت‌های توزیع نیروی برق کشور این کارها با اعمال خاموشی صورت گرفته است و تفاوت و مزیت کاری که در شرکت توزیع برق مشهد انجام شده است این بود که بدون اعمال خاموشی این کار بزرگ صورت پذیرفته است و در واقع یک میلیون و پانصد هزار مشترک در مشهد با خاموشی ناشی از تعویض سیم‌ها روبه‌رو نشدند چرا که شرکت توزیع نیروی برق مشهد قبل از شروع این پروژه مهم به شکل اصولی و عملی برای تمام پیمانکاران دوره‌های آموزشی رایگان را برگزار نموده بود و پیمانکاران از

آمادگی کافی در این زمینه برخوردار بودند.

تحرک اقتصادی در تعویض سیم‌های بدون روکش ۲۰ کیلوولت با سیم‌های روکش‌دار

ایـن که بخواهیم بعضی از کارها را فقط به‌صورت عدد و رقم به مردم گزارش بدهیم در بسـیاری از موارد عمق کاری که انجام شـده است مشـخص نمی‌شود. حتی گاهی اوقات متخصصان ما هم از کنار اعداد و ارقام و گزارش‌های آماری به سـادگی عبور می‌کنند اما کسـانی که از نزدیـک با اجرای یک پـروژه مانند تعویض هادی‌های شـبکه ۲۰ کیلوولـت آشـنایی دارند می‌دانند که تعویض ایـن هادی‌ها در حالی کـه مردم در خیابان رفت و آمد دارند، گروه‌های مختلف مشـغول به کار هسـتند و موانع مختلفی در سطح شـهر وجود دارند که برای هر یک باید چاره‌ای اندیشیده شود، چقدر سخت است و به همه‌ی این‌ها باید برقدار ماندن شـبکه را هم اضافـه نمود. اما همه این کارها بدون کوچک‌ترین حادثه‌ای در شـهر مشهد انجام شد و شاهکاری دیگر در صنعت برق شـکل گرفت. مهندس سـعیدی مدیرعامل شرکت توزیع نیروی برق مشهد درباره روند بهسازی و تعویض هادی‌های شبکه ۲۰ کیلوولت مشهد و ضرورت تعویض آن‌ها می‌گوید:

«ده درصد شـبکه‌های ۲۰ کیلوولت مشـهد زمینی بود و مشکلی در مورد آن‌ها وجود نداشـت. ۹۰ درصد بقیه شبکه هوایی است و پاشنه آشـیل خاموشی‌های شبکه بود. به‌علت سـاخت وسازهای فراوانی که در سـطح شهر بود و تعداد زیاد داربسـت‌های فلزی یا بناهایی که در مجاورت شـبکه وجود داشت، امکان برخورد عوامل خطرساز با شبکه وجود داشـت و با هر برخورد علاوه بر خطر جانی بخشـی از شبکه از مدار خارج می‌شـد و خاموشـی اتفاق می‌افتاد به تجربه دریافتیم که در کلان شـهر مشـهد، هر خاموشی گذرایی ناشی از یک حادثه است و برای جلوگیری از حادثه جانی باید به صورت منطقی مدتی شـبکه را قطع نگه‌داریم و ریکلوزرها به سـرعت شبکه را وصل نکنند. به این ترتیب با سـاختار قبلی شبکه ۲۰ کیلو ولت تحقق متوسط ۱۴ دقیقه خاموشـی برای هر مشترک در سـال امکان‌پذیر نبود. بنابراین باید به فکـر چاره و راهکار عملـی می‌بودیم. یکی از راه‌کارها تبدیل شـبکه هوایی به شـبکه کابلی زمینی است که هم در اجرا مشکل است و هم هزینه بسـیار بالایی دارد. از سوی دیگر شـبکه‌ی ۲۰ کیلوولت سیم مسی نداشت که بخواهیم با تبدیل آن به سیم آلومینیومی هزینه‌های اجرای طرح را تامین کنیم. بنابراین به بررسـی شبکه برق کشورهای مختلف پرداختیم تا شـبکه هوایی موجود به‌گونه‌ای تغییر آرایش پیدا کند که مزایای شـبکه زمینی را داشـته باشـد.

کره، ژاپن و حتی آمریکا دارای شـبکه‌های فشار متوسط با سیم روکش‌دار هستند و این روکش‌ها اگرچه عایق نیسـتند اما از بـروز خطاهای گذرا جلوگیـری می‌کننـد. بنابراین بـا کارخانه‌های کابل‌سـازی برای تولید سیم روکش‌دار سه لایه صحبـت کردیم تا در زمینه تامین سـیم از نظر تولید داخل با مشـکلی مواجه نشـویم، اما بحث مالی و خاموشی ناشی از تعویض سیم‌ها و رعایت ایمنی مجریـان هم‌چنان به قوت خود باقی بود. چرا که در ۲۰ کیلوولت سطح ایمنی بسیار مهم است و ریسـک ایمنی آن برای ما پذیرفته شده نبود. اما بالاخره پس از دو سـال مطالعه علمی و بررسی کارشناسانه روشی برای تعویض هادی‌های ۲۰ کیلوولت بدون اعمال خاموشـی فراهم شـد که ایمنی مجریان هم در آن لحاظ شده بود».

> تعویض سـیم‌های بدون روکش ۲۰ کیلوولت با استفاده از مدلی مطمئن و سـاده و بـدون اعمال خاموشـی صورت گرفته است و با این کـه کار در ارتفاع با ولتاژ ۲۰ کیلوولت بسیار حساس است اما هیـچ مزاحمت فیزیکی برای مـردم نـدارد و بحمدا... سـطح ایمنـی هـم رعایت شـده و در ظـل توجهات حضـرت رضا (ع) تاکنون حادثـه‌ای در این رابطه نداشته‌ایم.

در حـال حاضر در سـه ناحیـه ۲، ۳ و ۱۰ برق مشـهد به‌طور کامل سـیم‌های بدون روکش ۲۰ کیلوولت با سـیم‌های روکش‌دار تعویض شـده است یا به زودی عملیات تعویض آن به پایان می‌رسد. در حالی که بخشی از هزینه اجرای طرح، از محل تواتر بدهی شرکت‌های بزرگ فولاد، سـیمان و آلومینیوم فراهم شـده اسـت و پیش‌دستی شرکت توزیـع نیـروی برق مشـهد در این طرح باعث تامین بخشـی مهم از هزینه‌ها و تجهیزات مورد نیاز پروژه گردید این پیش دسـتی به دلیل این بود که شـرکت‌ها به دلیل داشـتن اهداف اسـتراتژیک سرگردان نبوده و توانایی استفاده سریع از فرصت‌های نادر را دارا شد.

تعویض سیم‌های بدون روکش ۲۰ کیلوولت با استفاده از مدلی مطمئن و سـاده و بدون اعمال خاموشـی صورت گرفته اسـت و با این که کار در ارتفاع با ولتاژ ۲۰ کیلوولت بسـیار حسـاس است اما هیچ مزاحمت فیزیکی برای مردم ندارد و به‌حمدا... سطح ایمنی هم رعایت شده و در ظل توجهات حضرت رضا (ع) تاکنون حادثه‌ای در این رابطه نداشته‌ایم.

اتوماسیون توزیع با خودکفایی در تولید تجهیزات

شـبکه گسـترده توزیع نیروی برق به‌عنوان پیشـانی وزارت نیرو در تامین برق مصرف کنندگان به‌شـمار مـی‌رود. هیچ یک از بخش‌های تولید و انتقال به اندازه شـبکه توزیع در کشـور گسترده نشده است. شـبکه‌ای با این گستردگی الزامات مخصوص به خود را دارد و باید در سطح اسـتانداردهای دنیا ارتقا یابد. اتوماسیون شبکه‌های توزیع یکی از این الزامات اسـت. خدمات دهی در شـبکه‌ی توزیع کلان شـهرها بدون اتوماسیون و خودکارسـازی تجهیزات و امکان فرمان از راه دور بـا چالش همراه اسـت و باعث کنـدی در انجام مانورهـای مرتبط با شبکه می‌شود. گستردگی شبکه از یک سو و محدودیت‌های ترافیکی و طولانی بودن شبکه از سـوی دیگر دسترسی به تمامی نقاط شبکه را با مشـکل همراه می‌نماید و بدون اسـتفاده از تجهیزات هوشمند و قابل کنترل از راه دور محقق شـدن خدمات‌رسانی مطلوب و رسیدن به نقطه بهره‌برداری بهینه و کاهش خاموشـی‌ها اگر نگوییم ناممکن، دسـت کم می‌توانیم بگوییم بسـیار سخت اسـت و اتوماسیون شبکه توزیع برق مشـهد یکی دیگر از اقدامات شـرکت توزیـع نیروی برق شهرستان مشـهد است. شـرکت توزیع نیروی برق مشهد هم اکنون به‌عنوان شـرکتی پیشرو در زمینه اتوماسـیون توانسته است بیش از ۷۰۰ نقطه را در شـهر مشـهد بـه قطع و وصل خودکار قابل کنترل از مرکز دیسپاچینگ مجهز نمایـد عـددی که تا پایـان تابسـتان ۱۳۹۵ به ۱۰۰۰ نقطه خواهد رسید و به‌عنوان تحولی مهم در سـاختار شـبکه‌های توزیع و الگویی مناسب برای سایر شرکت‌ها مطرح خواهد شد.

با اقدامات مناسـب شـرکت توزیـع نیروی برق مشـهد و بررسـی کارشناسـانه طرح بسیاری از تجهیزات مربوط به اتوماسیون از قبیل کلیدهای اتوماسـیون، RTU و مودم براساس تعریف طرح تحقیقاتی با همـکاری بخش خصوصی به‌صورت ساخت داخل تولید و در اختیار صنعت برق قرار گرفت. ایـن تجهیزات هم در کنـار تولید بومی

کابل‌هـای خودنگهـدار و هادی‌هـای روکش‌دار باعـث ارتقاء صنایع داخلی و تحقق اقتصاد مقاومتی شد.

■ دولت الکترونیک و شفاف سازی در ارایه خدمات

یکی از اهداف دولت الکترونیک حذف مراجعه حضوری به سازمان‌ها و ادارات دولتی در راستای روان‌سازی و شفاف‌سازی کارها و سالم‌سازی روال اداری اسـت. انجام بعضـی از کارهای اداری مانند صدور گواهی یـا ارجاع یک نامه از یک سـازمان به سـازمان دیگـر از طریق دفاتر پیشـخوان دولت الکترونیک کمی سـهل و سـاده به‌نظر می‌رسد. اما فرآیند پیچیده‌ای مانند نصب کنتور و خرید انشعاب با حذف مراجعه حضوری کاری در خور تقدیر اسـت. شهروندانی که اکنون با استفاده از فضای مجازی تا تماس تلفنی روند خرید اشتراک و نصب کنتور را بدون مراجعه حضوری طی می‌کننـد، از پیچیدگی فرآیند اداری آن که در یک روند ده‌ساله به نتیجه رسیده است بی‌خبر می‌مانند.

فرآیند خرید اشـتراک با یک بار مراجعه مشـترک به اینترنت یا یک تماس تلفنی یا مراجعه به دفاتر پیشـخوان شـروع می‌شود و پس از آن به‌وسـیله پیامک‌هایی که از طریق سیستم برایش ارسال می‌شود بـا رونـد کار در ارتباط اسـت. هزینه‌ها به‌صورت سیسـتمی در یک فضای شـفاف پرداخت می‌شـود و پیمانکار کوچک‌ترین دخالتی در رونـد کارهای اداری ندارد. کاغذ حذف شـده اسـت و هـر مرحله از کار به‌صورت سیسـتمی انجام و به مرحله بعد ارجاع می‌شود و حتی پیمانـکار از طریق تبلت در سیسـتم ERP دسـتور کار را دریافت و گزارش انجام کار را ارسـال می‌کند و دستمزدها نیز از طریق صورت وضعیتی که به‌صورت سیسـتمی ارسال شده است پرداخت می‌شود و تمامی مراحل کار به‌صورت پیامک به مشترک اطلاع‌رسانی می‌شود.

■ نصب کنتورهای AMI و قرائت بر خط کنتورها

شبکه‌ی توزیع برای هوشمندی نیازمند یک حرکت همه جانبه است. اگر چه نصب کنتورهای هوشمند و سیستم‌های اتوماسیون به معنای هوشـمندی شـبکه ها نیسـت اما گامی بزرگ در هوشـمند نمودن شـبکه‌های توزیع اسـت. با نصب سیسـتم‌های اتوماسـیون می‌توان بسـیاری از پارامترهای شـبکه را از راه دور کنترل نمود و فرمان‌های قطع و وصل را بدون حضور در محل صادر نمود و پایداری شـبکه را افزایش داد. با نصب کنتورهای هوشمند مدیریت سمت بار و تقاضا را می‌توان کنترل نمود و به‌صورت برخط (online) از میزان پارامترهای شبکه در سمت بار مانند سـنجش پارامترهای ولتاژ، جریان و THD آگاهی پیدا نمود و به این ترتیب گام مهمی در راسـتای بهینه سازی مصرف در سمت تقاضا (DSM) برداشت. گام مهمی که شرکت توزیع نیروی برق مشهد به‌خوبی آن را برداشته و به عنوان نخستین شرکت توزیع نیروی برق در کشـور توانسته تمامی مشترکان دیماندی خود را بـه کنتورهـای AMI مجهز نمایـد و به اهداف اسـتراتژیک خود نزدیک‌تر شـود. از ویژگی‌های کنتورهای هوشـمند می‌توان به قرائت از راه دور کنتور، کسـب اطلاعات در تمامی زمینه‌های فنی، اتصال بر خط مشترک به سیسـتم، در اختیار گرفتن نحوه پرداخت بهای برق توسط مشترک، بهبود فنی برای کاهش قیمت برق و ارتقای بهره‌وری اشـاره نمود. در این سیسـتم می‌توان رفتار و منحنی بار مشـترکان را به‌صـورت بر خط رصد نمود و این مهـم در انعقاد تفاهم‌نامه برای کاهش مصرف برق در ساعات اوج مصرف بسیار مهم است و به همین دلیل با پایان نصب موفقیت آمیز کنتورهـای دیماندی، شـرکت توزیع نیـروی برق مشهد در اجرای پیک‌سایی سـال ۱۳۹۵ عملکـرد موفقیت‌آمیـز و مطلوبـی با همکاری و تعامل با صنایع بزرگ داشـته است، تعاملی کـه هم بـرای شـبکه برق کشـور و هم بـرای صنایع در طـرح ذخیـره عملیاتی سودمند بوده است.

اگـر چـه نیمـی از انرژی برق مصرفی شـهر مشـهد بـه مشـترکان دیمانـدی اختصـاص دارد اما در بحث نصـب کنتورهـای AMI شـرکت توزیع نیـروی برق شهرسـتان مشـهد فقط به مشترکان دیماندی اکتفا نکرده است بلکه این موضوع برای مشـترکان سـاختمان‌های بلند مسـکونی و تجاری هم پیگیری شـده اسـت و هم‌اکنون بیش از ۱۱ هزار مشـترک در ایـن بخش هم از کنتورهای هوشـمند اسـتفاده می‌کنند آماری که در آینده به عدد قابل توجهی تبدیل خواهد شد تا الزامات یک شبکه هوشمند واقعی فراهم شود. از آثار نصب کنتورهای AMI در بخش مشترکان عادی می‌توان به نصب ۲۰۰۰ کنتور هوشـمند برای یک منطقه مسکونی در مشهد به‌عنوان یک طرح پایلوت اشاره کرد که کاهش تلفات قابل توجهی را به‌دنبال داشته است. به‌طوری که از تلفات ۹/۲ درصدی پیش از اجرای طرح، اکنون تلفات مشترکان منطقه به ۲/۹۳ درصد کاهش یافته است.

> اگـر چـه نیمـی از انـرژی برق مصرفی شهر مشهد به مشترکان دیماندی اختصـاص دارد اما در بحـث نصـب کنتورهـای AMI شـرکت توزیـع نیـروی بـرق شهرسـتان مشـهد فقـط بـه مشترکان دیماندی اکتفا نکرده اسـت بلکـه این موضـوع برای مشـترکان سـاختمان‌های بلند مسـکونی و تجاری هم پیگیری شده است و هم‌اکنون بیش از ۱۱ هزار مشـترک در این بخش هم از کنتورهای هوشـمند استفاده می‌کننـد آمـاری کـه در آینده به عـدد قابـل توجهـی تبدیل خواهد شد تا الزامات یک شبکه هوشمند واقعی فراهم شود.

■ فعالیت‌های شـرکت توزیع نیروی برق مشهد رویاهای تحقق یافته

هـر یک از پروژه‌ها و فعالیت‌های شـرکت توزیع نیروی برق مشـهد می‌تواند به‌عنوان الگویی مناسـب جهت تعمیم به سـایر نقاط کشور مورد اسـتفاده قرار گیرد. فعالیت‌ها و پروژه‌هایـی که اگر چه به نظر مهندس سـعیدی مدیر عامل این شـرکت آغاز راهی است که کسب مقام نخسـت منطقه را به‌دنبال خواهد داشـت اما هر یک می‌تواند به عنوان تحولی در صنعت برق تلقی گردد. اجرای عملیات خط گرم ۲۰ کیلو ولت، کاهش خاموشی‌ها به ۱۴ دقیقه در سال برای هر مشترک، کاهش تلفات شـبکه به ۵ درصد، نصب کنتورهای هوشمند، تعویض سیم‌های مسـی فشـار ضعیف با کابل خودنگهدار، تعویض سیم‌های شـبکه‌ی ۲۰ کیلوولت با هادی روکش‌دار، اتوماسـیون شبکه توزیع، حذف مراجعه حضوری مردم به شرکت برق و بسیاری از فعالیت‌های دیگر این شـرکت رویاهای محقق شده در کلان‌شهر مشهد است که در کمتر از یک دهه تحقیق و مطالعه و تلاش و کوشـش و مجاهدت علمی و عملی حاصل شـده است. این تلاش‌ها پیش و بیش از آن‌که بخواهد آثار علمی و فنی خود را نشـان دهد، خودباوری را در صنعت برق ایران شکوفا نموده است.

***

ترانسفورماتور حالت جامد

جاوید خراسانی/ موسسه آموزش عالی خراسان، مشهد، ایران

مرتضی شفیعی / موسسه آموزش عالی خراسان، مشهد، ایران

حامد ملااحمدیان/ موسسه آموزش عالی خراسان، مشهد، ایران

محمد حسینی ابرده/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود، ایران

مهدی علومی/ شرکت برق منطقه‌ای خراسان

چکیده

با توسعه شبکه‌های برق و ورود مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان متنوع، لزوم استفاده از مبدل‌های توان بالا در کاربردهای مختلف، روز به‌روز بیشتر می‌گردد. مبدل‌های نسل جدید می‌بایست توانایی کار با انواع توان اعم از جریان مستقیم و متناوب را دارا باشند. منابع تولید پراکنده، انرژی‌های تجدیدپذیر و حمل و نقل ریلی نمونه‌ای از این کاربردها می‌باشند. یکی از مبدل‌های توان پیشنهادی جهت رفع چالش‌های جدید شبکه قدرت، ترانس حالت جامد است. این ترانس‌ها با استفاده از ادوات نیمه‌هادی قدرت و ترانس فرکانس بالا قابلیت تبدیل سطح ولتاژ و کنترل توان را دارا می‌باشند. کاهش حجم و وزن، رگولاسیون آنی و لحظه‌ای ولتاژ، جداسازی خطا، اصلاح ضریب توان، امکان کنترل پخش توان‌های اکتیو و راکتیو، کنترل جریان خطا در سمت فشار قوی و فشار ضعیف، قابلیت بالای رگولاسیون ولتاژ، امکان تفاوت فرکانس خروجی با ورودی و تعدد فازهای خروجی، امکان داشتن ورودی یا خروجی DC و رفع مشکل عدم توازن بار از جمله مزایای ترانسفورماتورهای حالت جامد بر ترانسفورماتورهای متداول است. در این مقاله، ترانسفورماتور حالت جامد و کاربردهای عمده آن به‌عنوان یک فناوری جدید در شبکه قدرت معرفی و مزایا و محدودیت‌های این فناوری بررسی و تحلیل می‌گردند.

کلمات کلیدی: ترانسفورماتور حالت جامد، ترانسفورماتور الکترونیکی، کیفیت توان، روتر انرژی.

۱- مقدمه

ترانسفورماتورهای سنتی فرکانس پایین از زمان معرفی سیستم‌های AC برای تبدیل ولتاژ و ایزوله‌سازی مورد استفاده قرار می‌گرفته است. با وجود استفاده فراگیر، این تجهیزات دارای معایبی هستند:

- اندازه بزرگ و وزن زیاد دارند.
- روغن ترانسفورماتور برای محیط‌زیست مضر است.
- به دلیل اشباع هسته، هارمونیک تولید می‌کنند، که نتیجه آن جریان هجومی بزرگ است.
- تغییرات ناخواسته در طرف ورودی، مانند افت ولتاژ، شکل موج خروجی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.
- هارمونیک‌های جریان خروجی بر روی ورودی تاثیر دارند. بسته به نوع اتصال ترانسفورماتور، هارمونیک می‌تواند در شبکه منتشر شود و منجر به افزایش تلفات در سیم‌پیچ اولیه گردد.
- در متوسط بار، تلفات بالا دارند. ترانسفورماتورها معمولا طوری طراحی می‌شوند که در نزدیکی بار کامل بالاترین راندمان را داشته باشند. این در حالی است که ترانسفورماتورهای توزیع دارای متوسط بار نامی در حدود ۳۰ درصد می‌باشند.
- تمام ترانسفورماتورهای فرکانس پایین دارای مشکل عدم تنظیم ولتاژ کامل هستند. ترانسفورماتورهای توزیع معمولا کوچک هستند و تنظیم ولتاژ آن‌ها خیلی خوب نیست [۱].
- تلفات بی‌باری دارند.
- به آفست DC بارهای نامتقارن حساس می‌باشند.
- حفاظت اضافه بار ندارند.

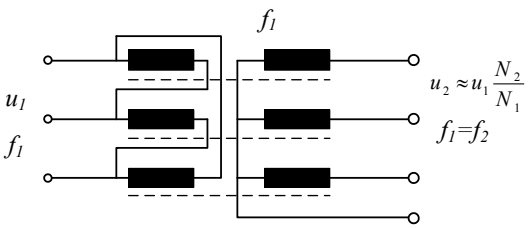
• احتمال آتش‌سوزی در آنها وجود دارد [۲].

از جمله مزایای ترانسفورماتورهای سنتی نیز می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

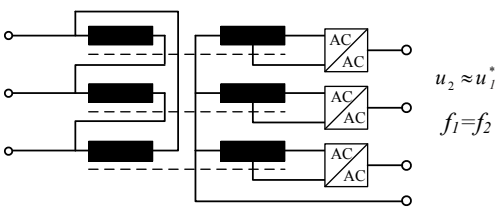
• نسبتا ارزان هستند.
• بسیار مقاوم و قابل اطمینان می‌باشند.
• راندمان بسیار بالا در حدود ۹۸/۵% تا ۹۹/۵% دارند [۳].

در سال‌های اخیر با توجه به افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و سایر انواع تولیدات پراکنده، پیچیدگی شبکه‌های الکتریکی افزایش یافته است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها وجود منابع متعدد با خروجی در سطوح مختلف ولتاژ DC و یا AC با فرکانس‌های متنوع می‌باشد. در برخورد با این پیچیدگی، استفاده از تکنولوژی‌های جدید در راستای کنترل و بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌ها اجتناب‌ناپذیر است. بر همین اساس و مطابق شکل ۱، چهار ساختار برای ترانسفورماتورها پیشنهاد شده است.

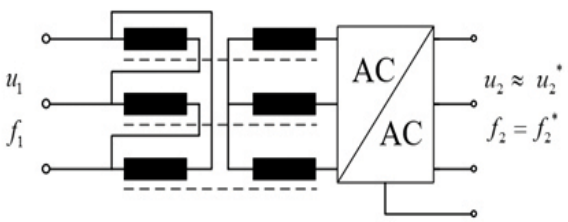
a) ترانسفورماتور غیرفعال یا ترانسفورماتور فرکانس پایین[۱] (LFT)
b) ترانسفورماتور با جبران‌سازی ولتاژ سری
c) ترانسفورماتور برش گر AC سری: از یک برش گر AC برای تغییر فرکانس ولتاژ ثانویه استفاده شده است.
d) ترانسفورماتور حالت جامد با طبقه فعال ورودی و خروجی: در این ساختار، اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور فرکانس بالا[۲] (HFT) به دو مبدل الکترونیک قدرت فعال متصل است. فرکانس ثانویه کاملا قابل کنترل می‌باشد. فرکانس ولتاژ ثانویه به‌صورت مستقل از فرکانس اولیه کنترل می‌شود، اما دامنه ولتاژ ثانویه وابسته به دامنه ولتاژ ورودی (اولیه) است.



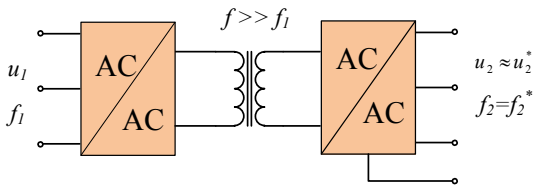
(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۱: انواع ساختارهای ترانسفورماتورها (a) کاملا غیرفعال، (b) جبران‌ساز ولتاژ سری، (c) برش‌گر AC سری و (d) طبقه فعال ورودی و خروجی [۴].

ساختار (d) معمولا با نام ترانسفورماتور حالت جامد[۳] (SST) خوانده می‌شد. این تجهیز علاوه بر SST با نام‌های زیر نیز معرفی شده است [۴]:

• ترانسفورماتور الکترونیکی: در سال ۱۹۶۸ به‌وسیله McMurray
• ترانسفورماتور حالت جامد: در سال ۱۹۸۰ توسط Brooks
• ترانسفورماتور یونیورسال هوشمند: به‌وسیله شرکت EPRI[۴]
• ترانسفورماتور الکترونیک قدرت: توسط شرکت ABB
• مرکز کنترل انرژی: به‌وسیله Borojevic
• روتر انرژی: توسط Wang

۲- کارکردها، فواید و محدودیت‌های SST

ترانسفورماتور حالت جامد، یک تجهیز گران‌قیمت با توانایی‌های عملکردی گسترده است. ترانسفورماتور SST کنترل مسیر شارش توان الکتریکی و اتصال انعطاف‌پذیر منابع تولید پراکنده را به شبکه امکان‌پذیر می‌سازد. همچنین پخش توان که در بهره‌برداری امن و پایدار شبکه حایز اهمیت است به‌وسیله این تجهیز قابل کنترل می‌باشد. البته این قابلیت‌ها طبیعتا با هزینه و پیچیدگی بیشتری نسبت به سیستم‌های متداول همراه خواهد بود. به‌طور کلی می‌توان گفت ترانسفورماتور حالت جامد دارای کارکردها و مزایای زیر است:

• کنترل سطح ولتاژ
• کاهش حجم و وزن
• رگولاسیون آنی و لحظه‌ای ولتاژ
• جداسازی خطا
• اصلاح ضریب توان
• کنترل پخش توان‌های اکتیو و راکتیو
• کنترل جریان خطا در سمت فشار قوی و فشار ضعیف
• قابلیت بالای رگولاسیون ولتاژ
• امکان تفاوت فرکانس خروجی با ورودی و تعدد فازهای خروجی
• امکان داشتن ورودی یا خروجی DC
• رفع مشکلات افت ولتاژ (در صورت دارا بودن ذخیره‌ساز)
• رفع مشکل عدم توازن بار و حل مشکل جریان سیم نول و تلفات ناشی از این مساله و همچنین حذف یا کاهش پدیده عدم تعادل در شبکه توزیع

برخی محدودیت‌های ترانسفورماتور حالت جامد عبارتند از:

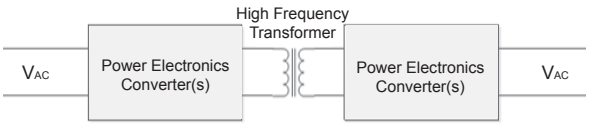
• طراحی پیچیده
• هزینه بالای پیاده‌سازی
• عدم اطمینان در مورد بهره‌وری مناسب در مقایسه با ترانسفورماتور فرکانس پایین سنتی

در سال‌های اخیر هزینه تجهیزات الکترونیک قدرت کاهش یافته و قطعات با قابلیت اطمینان بالاتر، تلفات کم، توان بالا و فرکانس بالاتر تولید شده‌اند. کاهش قیمت‌ها و این حقیقت که SST می‌تواند جایگزین برخی تجهیزات شبکه از قبیل ترانسفورماتورهای متداول

شود، مقبولیت بالقوه استفاده از SST را از نظر اقتصادی افزایش داده است [۱].

۳- مفاهیم اساسی SST

ترانسفورماتورهای فرکانس خط (LFT) مدت‌هاست مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده گسترده از آن‌ها باعث ارزانی، کارایی بالا، تکنولوژی رشد یافته و قابلیت اطمینان بالای آن‌ها شده و هرگونه بهبود در کارایی آن‌ها نیازمند هزینه زیاد است [۴]. ترانسفورماتور SST که مطابق شکل ۲ از تجهیزات الکترونیک قدرت و یک ترانسفورماتور فرکانس بالا برای تغییر سطح ولتاژ و ایزولاسیون استفاده می‌کند، جایگزینی برای LFT می‌باشد. ذکر این نکته بسیار مهم است که SST دقیقا جایگزین LFT نمی‌شود؛ بلکه SST یک وسیله چندکاره است که تنها یکی از کارایی‌های آن تبدیل یک سطح ولتاژ AC به سطحی دیگر است. سایر کارکردها و مزایای SST عبارتند از [۵] و [۶]:



شکل۲: ساختار کلی SST [۱۹]

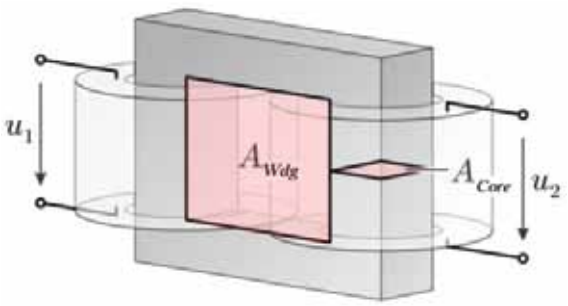
- کنترل‌پذیری بالا با توجه به استفاده از ادوات الکترونیک قدرت
- ضریب توان واحد: از آنجایی که طبقه AC/DC می‌تواند به‌عنوان یک تصحیح‌کننده ضریب توان عمل کند، SST ضریب توان واحد خواهد داشت. در نتیجه، توان اکتیوِ در دسترس تا ۲۰% افزایش می‌یابد.
- عدم تاثیرپذیری از افت ولتاژ یا اضافه ولتاژها با توجه به‌وجود لینک DC در سیستم SST
- قابلیت حفظ ولتاژ خروجی برای مدت چند سیکل در صورت قطع ورودی با توجه به دارا بودن ذخیره‌ساز خازنی
- قابلیت عملکرد به‌عنوان یک مدار شکن: هنگامی که بخش الکترونیک قدرت در SST خاموش شود، شارش الکتریسیته متوقف می‌شود و مدار قطع خواهد شد.
- قابلیت تشخیص خطا و حفاظت
- تأمین درگاه‌های AC و DC جهت استفاده و اتصال مناسب منابع تولید پراکنده و عناصر ذخیره‌ساز و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان سیستم توزیع
- فراهم کردن امکان پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند توزیع برق از طریق یک شبکه امن مخابراتی برای تضمین پایداری و بهره‌برداری بهینه سیستم‌های توزیع
- مدیریت ذخیره‌سازها: در هنگام گذراها، زمانی‌که توان اکتیو شبکه برای تأمین بار کافی نیست، SST فرمان تولید توان اکتیو را به یکی از منابع تولید پراکنده [۵] (DES) می‌دهد. این کار به SST کمک می‌کند که از افت ولتاژهای گذرای شبکه عبور کند. در حالت دائمی، SST به شارژ/دشارژ DES مطابق برنامه قبلی ادامه می‌دهد.
- توانایی عملکرد جزیره‌ای
- حجم و وزن کمتر با توجه به استفاده از ترانسفورماتور فرکانس بالا. حجم ترانسفورماتور با فرکانس آن نسبت عکس دارد.

به‌منظور بررسی تاثیر فرکانس بر حجم ترانسفورماتور، شکل ۳ در نظر گرفته شده است. در این شکل داریم:

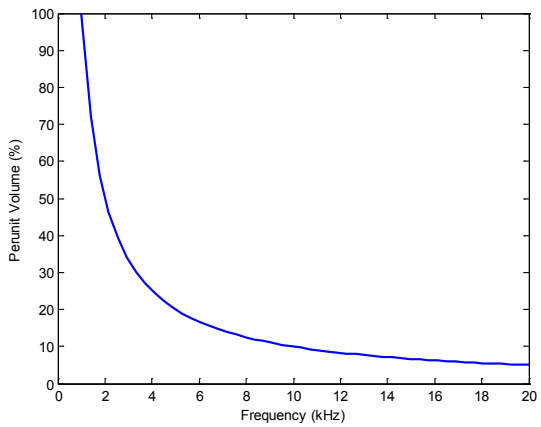
$$A_{Core}A_{Wdg} = \frac{\sqrt{2}}{\pi}\frac{P_t}{k_W J_{rms}\hat{B}_{\max} f} \qquad (1)$$

که در این رابطه P_t توان نامی، k_W ضریب استفاده از پنجره، B_{max} دامنه چگالی شار، J_{rms} چگالی جریان پنجره و f فرکانس است.

برای یک ترانسفورماتور ۲۵ kW، رابطه فرکانس کار با حجم در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، با افزایش فرکانس تا مرز ۲۰kHz می‌توان حجم را به کمتر از ۱۰% نسبت به فرکانس ۱kHz کاهش داد.



شکل۳: ساختار کلی هسته ترانسفورماتور



شکل۴: حجم هسته در فرکانس‌های کاری مختلف نسبت به فرکانس ۱ kHz

۴- برخی کاربردهای عمومی SST

همان‌طور که پیش از این گفته شد، SST نسبت به LFT دارای کارکردها و قابلیت‌های بیشتری است. بدین ترتیب کاربرد SST در برخی زمینه‌ها بسیار جذاب‌تر از LFT می‌باشد. چند نمونه از این کاربردها عبارتند از [۹]-[۷]:

۴-۱- لوکوموتیوها و سایر سیستم‌های کششی

ترانسفورماتورهای مورد استفاده در لوکوموتیوهای کنونی در فرکانس ۱۶,۷ هرتز کار می‌کنند و حدود ۱۵% از کل وزن لوکوموتیو را تشکیل می‌دهند. استفاده از SST می‌تواند کاهش قابل توجهی در وزن لوکوموتیو ایجاد کند. همچنین، SST می‌تواند کارایی را افزایش داده، هارمونیک و آلودگی صوتی را کاهش دهد [۱۰].

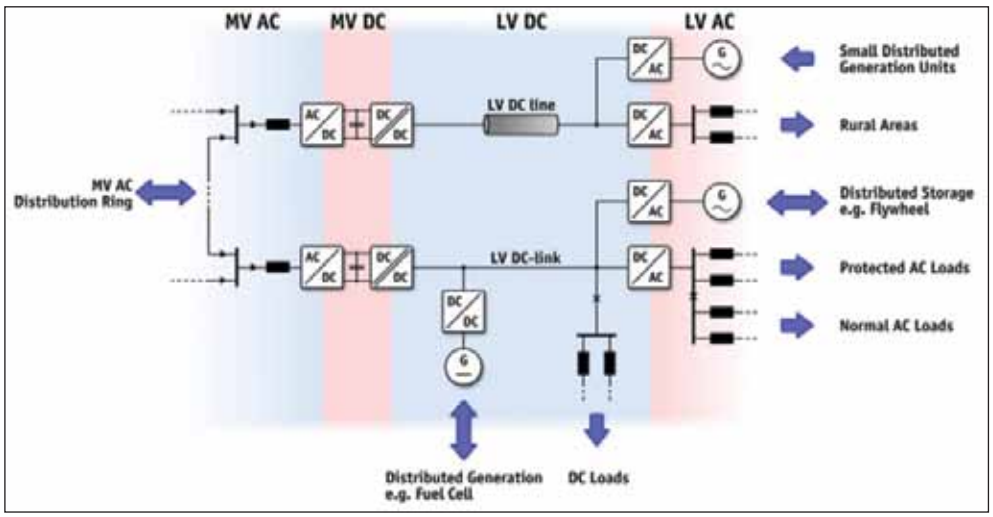
۴-۲- تولید انرژی در دریا

تولید انرژی در دریا، خواه از باد، جذر و مد یا هر منبع دیگری، در صورت استفاده از SST از مزیت کاهش حجم و وزن آن سود خواهد برد. این کاهش، تأثیر مستقیم بر کاهش ابعاد سکوها دارد. امکان

تامین ضریب توان واحد توسط SST، باعث افزایش ظرفیت و کارایی خط انتقال می‌شود که این خود مزیت دیگری در استفاده از SST در این سیستم‌ها می‌باشد.

۴-۳- شبکه‌های هوشمند

در سیستم‌های قدرت آتی، استفاده از تولید تجدیدپذیر افزایش خواهد یافت و نیاز به روشی متفاوت از روش‌های موجود در مدیریت انرژی را آشکار می‌سازد. به‌منظور مدیریت سریع و کارای تغییرات و اغتشاشات ایجاد شده توسط بارها و منابع، SST را می‌توان در جهت تنظیم پویای توزیع انرژی در شبکه مورد استفاده قرار داد. کارکرد SST در این حالت مشابه یک روتر مخابراتی است با این تفاوت که به‌جای پردازش داده، شارش توان را کنترل می‌کند (شکل۶). به همین دلیل، گاه به SST، روتر انرژی هم گفته می‌شود [۱۱].



شکل۵: شبکه‌های هوشمند [۴]

۵- کاربردهای SST در شبکه قدرت [۱۲]

شکل ۵ کاربردهای SST را در شبکه قدرت نشان می‌دهد. این کاربردها عبارتنداز:

۵-۱- اتصال بین منبع و بار یا شبکه توزیع

تامین ولتاژ و فرکانس ثابت در خروجی SST در صورت تغییرات ورودی، مهم‌ترین وظیفه SST در این حالت است. همچنین ایجاد ضریب توان واحد که باعث استفاده بهتر از خطوط انتقال می‌شود و نیز بهبود و جبران نوسانات سیستم در شرایط گذرا از دیگر فواید SST در این کاربرد است.

۵-۲- اتصال بین دو شبکه توزیع

یکی از ویژگی‌های مثبت SST عدم نیاز به یکسان بودن ولتاژ و فرکانس و یا همزمانی دو شبکه متصل به آن است. ترانسفورماتور SST را می‌توان برای کنترل توان اکتیو انتقالی بین دو شبکه به‌کار گرفت. یکی از کاربردهای خاص این اتصال در بازار برق است. زمانی که انرژی در شبکه ۲ ارزان‌تر از شبکه ۱ باشد، بهره‌بردار شبکه ۱ می‌تواند تولید خود را کاهش دهد و از شبکه ۲ برق را خریداری نماید [۱۳].

۵-۳- اتصال بین شبکه‌های فشار متوسط و فشار ضعیف

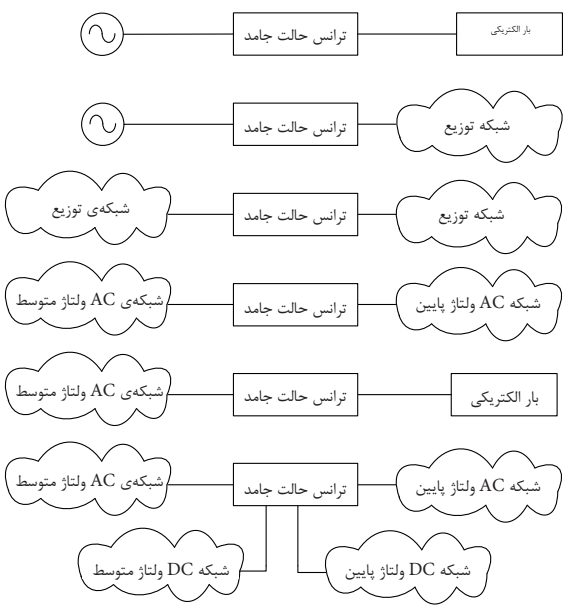
در مقایسه با LFT، SST می‌تواند با دقت خوبی شارش توان انتقالی از شبکه فشار متوسط به شبکه فشار ضعیف را کنترل نماید. این قابلیت، به خصوص در زمانی که شبکه LV دارای منابعی از قبیل پنل‌های فتوولتاییک است می‌تواند مورد توجه خاص قرار گیرد. با هدف جلوگیری از اضافه‌بار شدن خطوط انتقال با ظرفیت محدود، SST می‌تواند مقدار توانی را که بین بخش‌های مختلف شبکه رد و بدل می‌شود، محدود نماید.

۵-۴- اتصال بین شبکه فشار متوسط و بارها

بارهای فشار ضعیف اغلب دارای عدم تعادل هستند و می‌توانند باعث اغتشاشات هارمونیکی در ولتاژ و نیز ایجاد عدم تقارن ولتاژ شوند. در شرایطی که عدم تعادل بار زیاد است یا حجم بارهای غیر خطی بالاست، حتی اضافه کردن سیم نول هم نمی‌تواند به‌طور کامل اغتشاش‌ها را خنثی نماید. در این شرایط، SST، با تولید ولتاژی که تاثیرپذیری اندکی از بارهای نامتعادل و غیرخطی دارد، می‌تواند به رفع این مشکل کمک نماید.

۵-۵- اتصال بین تولید پراکنده و شبکه‌های هوشمند

منابع انرژی پراکنده مانند آرایه‌های فتوولتاییک و توربین‌های باد، منابع متنوعی برای انرژی الکتریکی فراهم کرده‌اند. این منابع اغلب ولتاژها یا فرکانس‌های متغیری دارند و گاه ممکن است خروجی آن‌ها DC باشد. در حال حاضر SST قابلیت انعطاف کافی برای فراهم کردن شرایط اتصال این منابع به شبکه‌های قدرت کنونی را دارد.



شکل۶: کاربردهای SST در شبکه قدرت

۶- موانع استفاده وسیع از SST

- با وجود کاربردها و مزایای وسیع SST هنوز مشکلاتی در سر راه پذیرش عمومی آن وجود دارد. اغلب این مشکلات از نوظهور بودن این تکنولوژی نشات می‌گیرد و انتظار می‌رود که رفته‌رفته و با رشد تکنولوژی SST مرتفع شود. معایب کنونی SST در قیاس با LFT در شکل (۶) نشان داده شده است. این معایب را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود [۴] :
- هزینه های LFT نسبت به SST پایین‌تر است. البته این مساله به نسل اول SST بر می‌گردد و با کاهش قیمت نیمه هادی‌ها و مدارهای کنترلی، قیمت SST نیز کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر، قیمت رو به افزایش مواد اولیه‌ای مانند مس و فریت در ساخت LFT، تاثیر مثبتی بر پذیرش SST خواهد داشت.
- طبیعت پیچیده SST، آن را به سیستمی بدل کرده که قابلیت اطمینانش نسبت به LFT چندان بالا نیست. با این حال، طراحی ماژولار SST امکان جداسازی و عبور از خطاها را فراهم می‌سازد. همچون تمام سیستم‌ها، انتظار می‌رود قابلیت اطمینان SST هم با رشد تکنولوژی افزایش یابد.

راندمان SST را به سختی می‌توان با LFT قیاس نمود. تاکنون چندان مشخص نشده است که بازدهی SST های نسل‌های بعد به چه میزان خواهد رسید. در مقالات مختلف مقادیری بین ۹۰ تا ۹۸,۱ درصد برای راندمان SST بیان شده است. راندمان LFT ها البته بیش از ۹۷,۳ % می‌باشد. اگر چه بازدهی کلی LFT از SST بیشتر است، خصوصیاتی همچون کاهش هارمونیک و ضریب توان واحد می‌تواند باعث برتری SST نسبت به LFT در عملکرد باشد. نگاه به مساله راندمان به‌صورت جزء نگر منجر به برتری ترانس سنتی می‌گردد، وگرنه داشتن یک نگاه کل نگر و سیستمی یعنی نگاه به شبکه همراه با بار و ترانس حالت جامد و محاسبه راندمان مجموعه ممکن است به نتیجه‌ای متفاوت منتهی گردد.

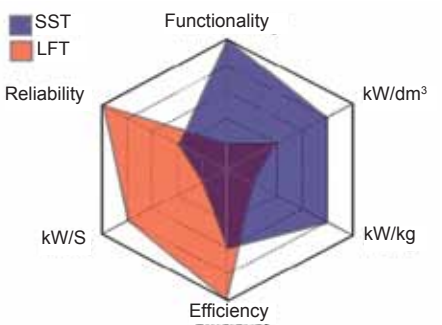


Figure 2.6: Comparison between LFT and SST[6]

شکل۷: مقایسه بین LFT و SST [۶]

با وجود این معایب، بهبود عملکرد و کارایی یک شبکه توزیع با حضور SST، صرفه اقتصادی SST را در آینده نزدیک رقم خواهد زد.

۷-بررسی نمونه‌های ساخته شده

ایـن تکنولوژی به دلیل نو ظهور بودن دارای نمونه‌های تحقق یافته‌ی محدودی در صنعت می‌باشد. از طرفی به دلیل جذابیت این موضوع برای پژوهشگران، کارهای تحقیقاتی متعددی در حال انجام بود . نمونه‌های تحقیقاتی مختلفی تاکنون ارایه شده است. در این بخش تنها نمونه‌های تحقق یافته‌ی صنعتی و نیمه‌صنعتی بررسی می‌گردند. چند نمونه از SSTهای ساخته شده برای کاربردهای مختلف شامل موارد زیر است:

۱. در پروژه UNIFLEX یک SST با سه پورت ساخته شده است که دو پورت آن برای اتصال بین شبکه‌های ۳,۳kV و پورت سوم برای اتصال به شبکه فشار ضعیف در نظر گرفته شده است [۱۴].

۲. ABB در حال حاضر به استفاده از SST در کاربردهای حمل و نقل ریلی به جهت افزایش کارایی و چگالی توان توجه کرده است [۱۵] و [۱۶].

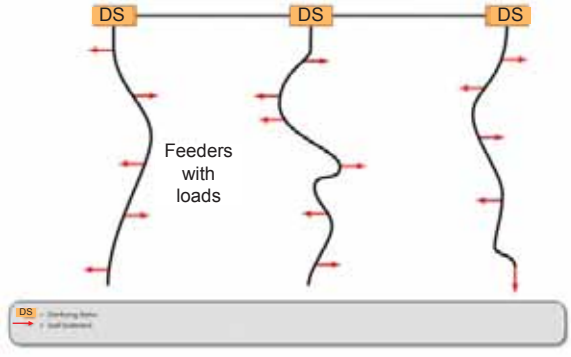
انواع ساختارهای ارایه شده برای SST با توجه به ادوات مختلف سویچینگ بکار گرفته شده در آن‌ها به‌صورت زیر است:

- استفاده از سویچ‌های SiC[۱۶]
- شرکت EPRI یک SST با عنوان ترانسفورماتور یونیورسال هوشمند[۶] ساخته و در آن بجای IGBT یا MOSFET از SGTO در یک مبدل DC-DC رزونانسی با هدف کاهش تلفات سویچینگ استفاده کرده است [۱۷] و [۱۸].

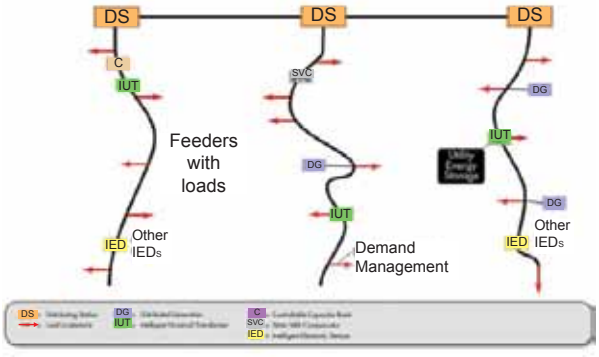
به دلیل ملاحظات شرکت‌های دارنده‌ی این تکنولوژی اطلاعات محدودی در زمینه‌ی ترانس حالت جامد در اختیار می‌باشد، در ادامه در خصوص ترانس‌های حالت جامد معرفی شده توسط EPRI و ABB توضیحاتی ارایه شده است.

۷-۱- ترانس یونیورسال هوشمند EPRI

در سال ۲۰۰۶ میلادی موسسه‌ی تحقیقات توان الکتریکی (EPRI) اقدام به معرفی ترانس یونیورسال هوشمند (IUT) نمود. جهت مشخص نمودن دلیل استفاده از IUT در شبکه‌ی توزیع برق نمودار شکل (۸) و شکل (۹) ارایه شده است. در شکل (۸) شبکه‌ی برق سنتی و در شکل (۹) شبکه‌ی برق هوشمند در حضور ادوات هوشمند از قبیل SVC، IUT[۷] و IED[۸] نشان داده شده است. با استفاده از IUTها امکان مانور و کنترل راحت‌تر شبکه فراهم می‌گردد.

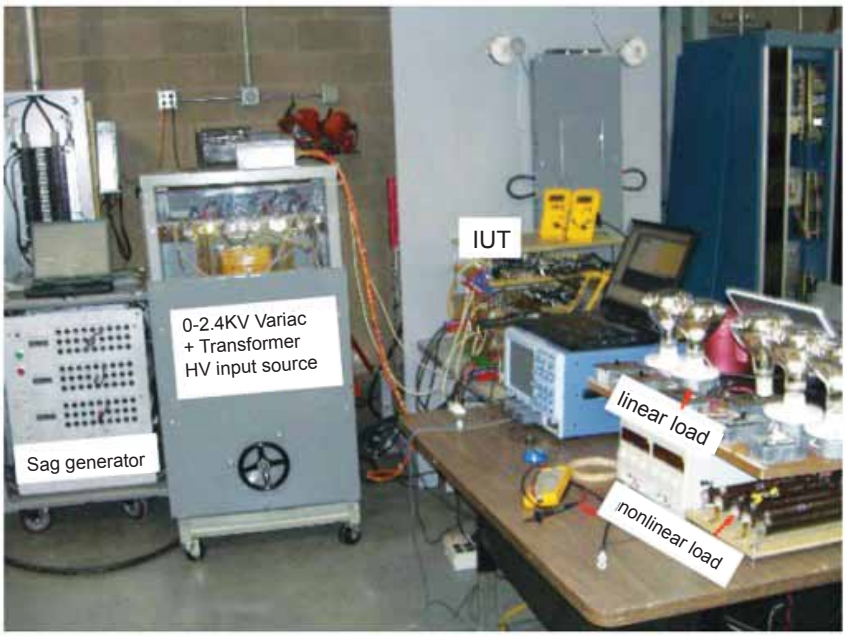


شکل۸: نمایش مفهومی شبکه توزیع برق سنتی [۱۸]



شکل۹: نمایش مفهومی شبکه توزیع برق هوشمند [۱۸]

در حال حاضر این پروژه در فاز ساخت نمونه‌ی آزمایشگاهی قرار دارد. شـکل (۱۰) تصویری از نمونه‌ی آزمایشـگاهی سـاخته شده را نشان می‌دهد. این نمونه دارای ساختار سه طبقه بوده و ولتاژ ورودی حداکثر ۲٫۴ کیلوولـت و ولتـاژ خروجـی ۲۲۰ ولت می‌باشـد. اطلاعات فنی



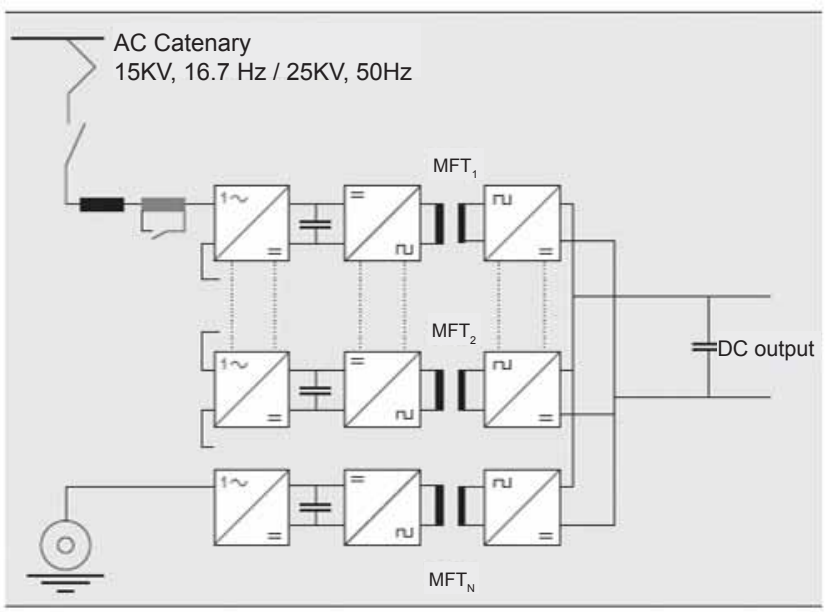
شکل ۱۰: نمونه آزمایشگاهی IUT ساخته شده توسط EPRI [۱۸]

بیشتری از نمونه‌ی ساخته شده منتشر نشده است. بنا بر گزارش‌های EPRI، توسـعه‌ی نمونه‌ی آزمایشـگاهی به نمونه‌ی صنعتی با قابلیت تحمل خطا و حفاظت، هنوز به انجام نرسیده است [۱۸].

۷-۲- ترانس الکترونیکی ویژه قطار برقی

از ترانس الکترونیکی ویژه قطار برقی یا PETT[۹] نموده است. در شکل (۱۱) ساختار بلوکی ترانس پیشنهادی نشان داده شده است. در این ساختار، برق AC ورودی پس از یکسوسـازی به فرم AC فرکانس بالا تبدیل شده و از ترانس فرکانس بالا عبور می‌کند و در نهایت تبدیل به برق DC می‌شود.

به‌منظور مقایسـه ترانس سـنتی با ترانس فرکانس بـالا در مواردی چون محـدوده توان عملکـردی، چگالی توان، راندمـان، وزن روغن خنک‌کننده و وزن مس بکار رفته برای سـیم‌پیچی، جدول (۱) ارایه شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است ترانس فرکانس



شکل ۱۱- ساختار بلوکی ترانس پیشنهادی ABB[۱۵]

شرکت ABB با بررسـی ساختار قطارهای برقی فعلی که از سال ۱۸۸۴ میلادی دارای تغییرات قابل توجهی نبوده است، اقدام به پیشنهاد استفاده

بالا از چگالی توان بالاتر و حجم و وزن کمتری نسبت به ترانس سنتی برخوردار می‌باشد [۱۵].

جدول۱: مقایسه ترانس سنتی و ترانس فرکانس بالا [۱۵]

	ترانس فرکانس متوسط		ترانس فرکانس پایین	
محدوده توان (KVA) ۷۵۱-۲۲۱۱	- ۱۰KHz	- ۵KHz	۲۵KV ۵۰Hz	۱۵KV ۱۶/۷Hz
چگالی توان (VA/Kg)	۳۵۰۰	۲۶۰۰	۵۳۰-۴۵۰	۳۵۰-۲۲۰
راندمان در توان نامی و حداکثر دما	۹۹/۳%	۹۹/۳%	۹۵%**	۹۲%*
وزن روغن (gr/KVA)	۹۰	۹۰	۲۵۰-۵۵۰	۵۰۰-۶۰۰
وزن مس (gr/KVA)	۴۰	۶۰	۲۵۰-۴۵۰	۴۵۰-۵۵۰

۸- جمع بندی

در این مطالعه، ترانسفورماتور حالت جامد معرفی و مزایا و معایب آن مورد بررسی قرار گرفت. حجم کمتر و قابلیت‌های کنترلی این تجهیز، از مهم‌ترین مزایای آن نسبت به ترانسفورماتورهای فرکانس پایین سنتی است.

با وجود عملکرد و ویژگی‌های قابل توجه، SST در حالت کلی به دلیل محدودیت‌هایش، جایگزین ترانسفورماتورهای فرکانس پایین معمولی نمی‌شود. با این حال، استفاده از SST در شرایط کاربری خاص مورد توجه قرار می‌گیرد.

به‌نظر می‌رسد با استفاده از SST در شبکه توزیع و با تکیه بر قابلیت‌های کنترلی آن، بتوان تلفات کلی توان را در شبکه به میزان قابل توجهی کاهش داد. این مساله در کارهای آینده مورد توجه قرار خواهند گرفت.

***

پی‌نوشت‌ها

1-Low Frequency Transformer
2-High Frequency Transformer
3-Solid State Transformer
4-Electric Power Research Institute
5-Distribution Energy Storage
6- Intelligent Universal Transformer (IUT)
7-Static Var Compensator
8-Intelligent Electrinic Device
9-Power Electronic Traction Transformer

مراجع

[1]L. Heinemann, G. Mauthe, "The Universal Power Electronics Based Distribution Transformer, An Unified Approach," 32nd IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC 2001), Vancouver, Canada, June 17-21, 2001, pp. 504–509

[2] Y. W. Lu, W. Zhang, Y. Liu, "A large signal dynamic model for single-phase AC-to-DC converters with power factor correction" IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, 2004. (PESC 04). 20-25 June 2004, Vol.2, pp. 1057 – 1063.

[3] G. Nirgude, R. Tirumala, N. Mohan "A new, large-signal average model for single-switch DC-DC converters operating in both CCM and DCM" IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference, 2001. (PESC. 2001), vol. 3, pp. 1736 - 1741.

[4] "The solid-state transformer concept: A new era in power distribution", AFRICON 2009, 23-25 Sept. 2009, pp. 1-6.

[5] H. d. T. Mouton, J. W. van der Merwe "Solid-state transformer topology selection", *IEEE International Conference on Industrial Technology*, Feb. 10-13, 2009, pp. 1-6.

[6] S. Bhattacharya, T. Zhao, G. Wang, S. Dutta, "
Design and development of Generation-I silicon based Solid State Transformer", 25th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010, Feb. 21-25, pp. 1666-1673.

[7] J. W. Kolar "Intelligent Solid State Transformers (SSTs), A Key Building Block of Future Smart Grid Systems" The MEGA Cube Project, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich

[8] J.W. Kolar, G.I. Ortiz, "Solid State Transformer Concepts in Traction and Smart Grid Applications" Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich

[9] J.W. Kolar, "Next Generation Power Electronics Infrastructure System", The EEnergy Internet, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich

[10] M. Claessens, D. Dujic, F. Canales, P. Stefanu, "Traction transformation" Energize, March 2013, pp. 49-52

[11] S. Bhattacharya, A. Juneja, "Energy router: Architectures and functionalities toward Energy Internet" 2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), Oct. 17-20, 2011, pp. 31-36.

[12] D. Wang, C. Mao, J. Lu "Operation and control mode of electronic power transformer", 2009 IEEE PES/IAS Conference on Sustainable Alternative Energy (SAE), Sept. 28-30, 2009, pp. 1-5,

[13] SIEMENS, "Power Transmission and Distribution Solutions" Siemens Energy Sector, Power Engineering Guide

[14] S. Bifaretti, P. Zanchetta, A. Watson, L. Tarisciotti, "Advanced Power Electronic Conversion and Control System for Universal and Flexible Power Management" IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.2, no. 2, pp. 231-243.

[15] ABB, "ABB Special Report Transformers", 2012.

[16] D. Grider , M. Das, A. Agarwal, J. Palmour "10 kV/120 A SiC DMOSFET half H-bridge power modules for 1 MVA solid state power substation", 2011 IEEE Electric Ship Technologies Symposium, April 10-13, 2011, pp. 131-134.

[17] A. Maitra, A. Sundaram, M. Gandhi, S. Bird, S. Doss, "Intelligent Universal Transformer design and applications", 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, CIRED 2009. June 8-11, pp. 1-7

[18] F. Goodman, "EPRI Intelligent Universal Transformer" December, 2006

نقش ایمنی در سرعت عمل شرکت توزیع برق

مجتبی فتحی/ mr_fathi65 @yahoo.com
جواد صفری توج/ safari.tooj@gmail.com
محسن جلیلوند/ mohsenjalilvand80 @yahoo.com
شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد

چکیده
توانایی‌ها و پشتیبانی‌های مورد نیاز سازمان به‌منظور آمادگی در برابر تغییر خواسته‌های طرف‌های ذی‌نفع و فرایند بهبود مستمر توسعه می‌یابند. برای دستیابی به اهداف ایمنی سازمان باید انسان‌ها، سیستم‌ها، راهبردها، منابع و ساختار لازم را شناسایی و به‌کار گیرد. در این مقاله سعی بر این شده است، که بتوانیم با رعایت کامل ایمنی در کارها باعث افزایش سرعت عمل شود. برای این منظور از یکصد پرسنل موجود در شرکت توزیع برق شهرستان مشهد در این مورد نظرسنجی شده و نتایج کامل آن در شرح مقاله آورده شده است.

کلمات کلیدی: ایمنی، سرعت عمل، برق، بهره‌وری، چشم‌انداز

۱- مقدمه

منتظر نمانید، زمانی مناسب‌تر از اکنون وجود ندارد. از همین نقطه ای که ایستاده‌اید با همین ابزار و امکاناتی که در اختیار دارید کار را ادامه دهید. همین‌طور که پیش می‌وید ابزارها و امکانات بهتر و مناسب‌تر را پیدا می‌کنید. (ناپلئون هیل)

ایمنی، یکی از پرکاربردترین کلماتی است که در رابطه با انسان و در زمینه‌هایی چون صنعت برق و مواردی از این قبیل استفاده می‌شود. ایمنی شاخه‌ای از علم است که به تجزیه و تحلیل عوامل مخاطره‌آمیز می‌پردازد و آن‌را آنالیز کرده و راه کارهای کنترل و کاهش آن‌را پیگیری می‌کند.

تاکنون تعاریف بسیاری برای واژه ایمنی به‌کار رفته شده، برخی از این تعاریف به شرح زیر است:

- وضعیتی است که در آن ریسک‌های ارزیابی شده، مورد قبول واقع می‌شوند.
- عبارت است از میزان یا درجه دور بودن از خطر.
- رهایی از ریسک غیر قابل قبول یک خطر.

سازمان باید منابع ضروری برای اجرا و کنترل سیستم ایمنی را فراهم نماید، این منابع شامل منابع انسانی، مهارت‌های تخصصی، فن‌آوری و منابع مالی می‌باشد. برای اجرای اثربخش سیستم ایمنی لازم است سازمان توانایی‌ها و سازوکارهای پشتیبانی لازم جهت دستیابی به خط‌مشی و اهداف ایمنی ایجاد کند و به‌طور مستمر بهبود دهد.

۲- چشم‌انداز ۱۴۰۵ در ۱۴۰۵ شرکت توزیع برق شهرستان مشهد

شرکت‌های توزیع برق در چند سال اخیر با تغییرهای متعددی مواجه بوده‌اند. این تغییرات فضای کاری آن‌ها را به‌شدت دگرگون کرده است. همین امر باعث شده است که در سال‌های اخیر برنامه‌ریزی استراتژی «که هدف آن اتخاذ رویکردی فعال در شرایط متلاطم محیط کسب و کار است» مورد اقبال مدیران شرکت‌های توزیع قرار بگیرد. از جمله مهم‌ترین عواملی که استراتژی را در کانون توجه شرکت‌های توزیع قرار داده است، می‌توان به موارد زیر

اشاره کرد:

۱-۱- استقلال شرکت‌های توزیع

با اســتقلال شــرکت‌های توزیع «درجه آزادی» مدیران توزیع بیشتر شده و همچنین انتظار از آنان نیز افزایش یافته است.

۱-۲- مشکلات مالی صنعت برق

استقلال شرکت‌های توزیع همراه با تثبیت تعرفه‌ها و دوچندان شدن دشــواری‌های مالی صنعت برق بــود. افزایش بدهــی صنعت برق به پیمانکاران و کمبود منابع مالی در صنعت برق، مســاله «تمرکز منابع محدود» بر «مسایل معدود» را پررنگ‌تر از گذشته ساخته است.

۱-۳- خصوصی‌سازی شرکت‌های توزیع

واگذاری شــرکت‌های توزیع به بخــش خصوصی، توجه جدی به اداره اقتصادی شرکت‌های توزیع را می‌طلبد.

عــلاوه بر دلایل ســه‌گانه بالا، شــرکت توزیع نیروی برق مشــهد در بزرگ‌ترین کلان شــهر مذهبی منطقه فعالیــت می‌کند و همواره در زمره برترین شــرکت‌های توزیع کشور بوده است. تداوم خدمت‌رسانی مناســب با اســتانداردهای جهانی و حفظ جایگاه برتر، مستلزم اتخاذ رویکردی فعال و بلندمدت نسبت به تغییرهای محیطی است.

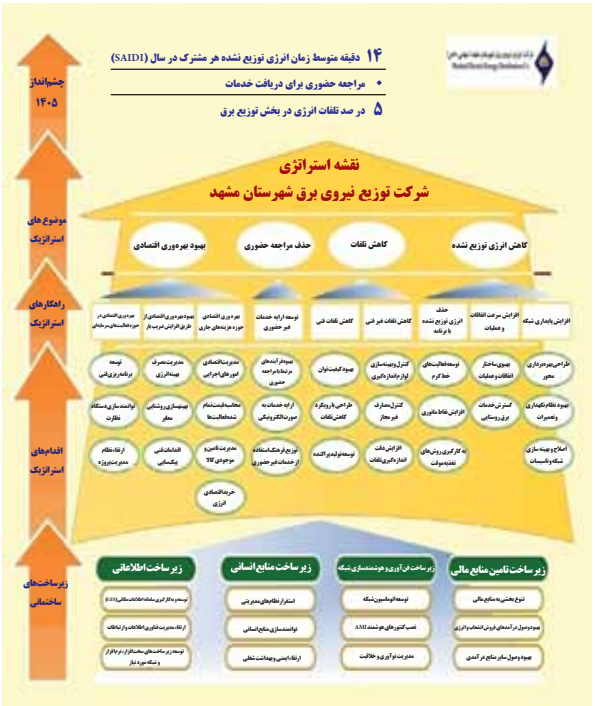
مدیران شــرکت توزیع نیروی برق مشــهد با درک این شــرایط «که تغییرهــای عمده و مهمی به‌طــور هم‌زمان در صنعت برق و توزیع در حال رخ دادن است» نسبت به تدوین برنامه استراتژی و مهم‌تر از آن اجرایی کردن آن گام برداشته‌اند.

از این رو، چشــم‌انداز شــرکت توزیع برق شهرســتان مشهد در سال ۱۴۰۵ به‌صورت ((به سوی ۱۴۰۵)) انتخاب شد.

این چشم‌انداز به معنای:

- در ســال ۱۴۰۵، میزان متوســط ســالیانه خاموشــی هر مشترک (SAIDI) خود را به ۱۴ دقیقه خواهیم رساند.
- در سال ۱۴۰۵، میزان مراجعه حضوری مردم برای دریافت خدمات خود را به ۰ «صفر»خواهیم رساند.
- در سال ۱۴۰۵، میزان تلفات انرژی در شبکه‌های توزیع برق خود را به ۵ درصد خواهیم رساند.

از طرفی یکی از شــاخص‌های چشــم انداز ۱۴۰۵ شرکت توزیع برق شهرستان مشهد، ارتقاء ایمنی و بهداشت شغلی می‌باشد.



شکل ۱: سند چشم انداز ۱۴۰۵ شرکت توزیع برق شهرستان مشهد

شکل ۲: مسیر تعالی سند چشم‌انداز ۱۴۰۵

امـروزه یکـی از عوامل موثـر در افزایش کارایی فـرد در زمینه‌های مختلف، مسـاله سرعت عمل است. سـرعت عمل با تاثیری که روی اسـتفاده بهینه از زمان می‌گذارد نقش بسیار مهمی در پیشرفت امور و افزایش ایمنی در کارها به‌شـمار می‌رود. از این جهت بسـیار مفید خواهد بود یاد بگیریم چگونه سـرعت خـود را در انجام فعالیت‌های مختلـف افزایش دهیـم. بطوری که با سـرعت بیشـتری فعالیتی با کیفیتی مناسـب داشته باشیم. نکته‌ای که در این‌جا وجود دارد و در بالا اشـاره شد همان سرعت عملی اسـت که منجر به افزایش سطح ایمنی می‌شود اما:

- آیا واقعا نیاز است سرعت انجام فعالیت خود را افزایش دهیم؟
- آیا افزایش سرعت عمل باعث کاهش سطح ایمنی نمی‌شود؟
- چگونه می توان سرعت عمل وایمنی را با هم جمع نمود.؟
- آیا داشـتن سـرعت عمل بالا صرفا به معنای گذاشتن انرژی و توان بیشتر در حین اجرای فعالیت می‌باشد؟

این‌ها سوالاتی هستند که شاید بهتر باشد قبل از اینکه تصمیم بگیریم راه‌های افزایش سـرعت فعالیت خـود را یاد بگیریم، روی آن‌ها تفکر، تحقیق و بررسی نماییم و برای آن‌ها پاسخ مناسبی داشته باشیم.
برخی افراد بطور کلی افرادی هسـتند که آهستگی بیشتری در رفتار و اعمـال خود دارنـد، بطوری که خیلـی آهسـته و آرام و با کندی فعالیت‌هـای خـود را انجام می‌دهند. هیچ‌گونه شـتاب و عجله‌ای در کار این افراد نیست و معمولا با آرامشی که دارند شناخته می‌شوند.
دسـته دیگری از افراد گویا همیشه در حال اضطراب هستند، همیشه نگران هسـتند و دائما احسـاس کمبـود وقت دارند، دوسـت دارند همیشـه بر سـرعت کارهای خود بیافزایند، و دسـته دیگری از افراد هسـتند که بدون هیچگونه ناراحتی و اضطراب و نگرانی در حالی که از آرامش درونی برخوردارند سـرعت مفیدی را در انجام تکالیف خود رعایت می‌کنند.
برای این منظور «فرم نظرسنجی» تهیه شد و از یکصد نفر از پرسنل شرکت توزیع برق شهرستان مشـهد نظرخواهی شد که فرم مربوطه مطابق شکل (۳) می‌باشد:

پرسشنامه

با سلام و احترام خدمت همکاران محترم شرکت توزیع برق شهرستان مشهد

با عنایت به ضرورت بررسی، تحلیل و بهبود ارایه فعالیت‌های شرکت توزیع برق شهرستان مشهد با سرعت عمل و ایمنی بالا و رسیدن موفقیت‌آمیز به سمت چشم‌انداز ۱۴۰۵، خواهشمند است فرم زیر را پر نمایید و با ارایه نظرات خود، ما را در ارایه هر چه بهتر خدمات یاری فرمایید.

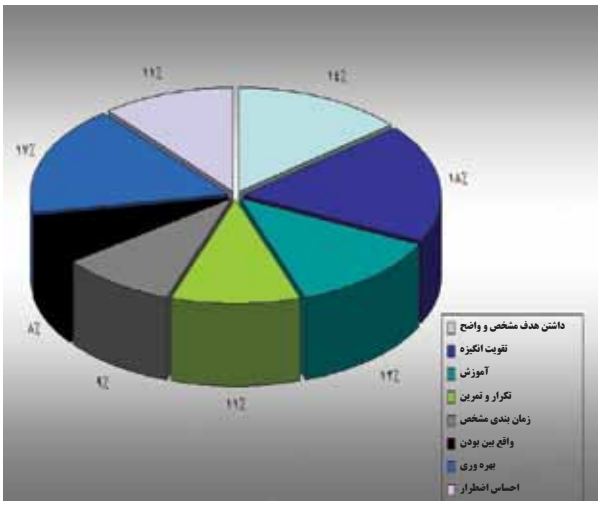
نظر سنجی: عوامل افزایش بهمراه افزایش سرعت عمل در فعالیت‌ها

۱	آیا برای هر کاری شما هدف مشخصی دارید(داشتن هدف مشخص و واضح) بلی خیر
۲	آیا برای هر کاری به پاداش مالی آن توجه می‌نمایید؟ (تقویت انگیزه) بلی خیر
۳	آیا برای هر کاری آموزش دیده‌اند؟ (آموزش) بلی خیر
۴	آیا بعد از آموزش، تکرار و تمرین می‌کنید؟ (تکرار و تمرین) بلی خیر
۵	آیا زمانبندی مشخصی برای هر کاری دارید؟ (زمانبندی مشخص) بلی خیر
۶	آیا با حذف فعالیت‌های زاید در حین انجام کارها باعث افزایش سرعت عمل می‌شود؟ (واقع بین) بلی خیر
۷	آیا قبل انجام کار، اولیت‌های کاریتان را مشخص می‌نمایید؟ (بهره‌وری) بلی خیر
۸	آیا شوق و تمایل برای اتمام سریع کار را دارید؟ (احساس اضطرار) بلی خیر

شکل۳: نمونه فرم نظرسنجی

۲- عوامل افزایش سرعت کار

طی نظرسـنجی انجـام گرفته، عواملی که باعث افزایش سـرعت کار می‌گردد به شرح زیر می‌باشد: [شکل (۴)]



شکل۴: عوامل افزایش سرعت کار

۲-۱- داشتن هدف مشخص و واضح

تا زمانی که اهداف دقیق، معین و مشـخصی نداشته باشید بی‌خود و بی‌جهت وقت خود را از دست خواهید داد. از شاخه‌ای به شاخه دیگر پریدن، نشانه نداشـتن هدف مشخص است، به این ترتیب وقت شما تلف خواهد شد. در مورد تکالیف خود اهداف خود را با در نظر گرفتن اهمیت آنها مشـخص کنید. می‌توانید آنهـا را در دفترچه روزانه خود یادداشت کنید.

۲-۲- تقویت انگیزه

انگیزش انسـان موتور حرکتی او به‌شمار می‌رود. هر چه انگیزه انسان قوی‌تر باشد سرعت عمل او افزایش خواهد یافت؟ از خود بپرسید، چرا می‌خواهید این تکالیـف را انجام دهید و این تکالیف چه امتیازاتی را برای شما به‌دنبال داشته باشد. در مورد تکالیف کسل کننده می‌توانید خلاقانه عمل کنید. می‌توانید با خود قرار بگذارید که در صورت اتمام تکلیف مورد نظر از فلان پاداش بهره‌مند خواهید شد.

۲-۳- جدی گرفتن آموزش

آموزش‌هایی که در زمینه کارهایتان می‌بینید، جدی بگیرید. بارها به نکات جزیی در آموزش توجه کنید چون بایستی ابتدا کارهای کوچک را به‌خوبی انجام دهید تا از پس کارهای بزرگ برآیید.

۲-۴- تکرار وتمرین

گاهـی اوقـات انسـان‌های باهوش تا حـدی عجیب و غریـب به‌نظر می‌رسـند. اگر شـما هم دوسـت دارید در زمره افراد باهوش باشید، تلاش کنید با خود حرف بزنید. نتایج مطالعات اخیر حاکی از آن است که تکرار کردن کلمات منجر به تمرکز بیشـتر مغز می‌شـود. در یک تسـت ساده محققان نشان دادند که، افراد هنگامی که نام شیء مورد نظر را به دفعات برای خود تکرار می‌کنند، آن را راحت تر و سـریع‌تر پیدا می‌کنند، برای انجام کارهایتان نیز این روند را انجام بدهید.

۲-۵- زمان‌بندی مشخص

تکالیـف خود را با نظم و برنامه‌ریـزی زمانی انجام دهید. می‌توانید از یک دفترچه یادداشـت یا یک برنامه که روی دیـوار اتاق مقابل دید

خود نصب می‌کنید کمک بگیرید. باید برای خودتان مشخص کنید که سر چه ساعتی می‌خواهید انجام تکالیف را شروع کنید و سر چه ساعتی باید تمام کنید.

۲-۶- واقع بین بودن

در تعیین زمان برای انجام تکالیف عوامل مختلف را در نظر بگیرید. مثلا تکلیف دشوار به‌مدت زمان بیشتری نیاز دارند، به توانایی خودتان نیز توجه کنید.
فعالیت‌های اضافی را در حین انجام تکلیف حذف کنید.
برخی از افراد در حین انجام تکالیف کارهای دیگری انجام می‌دهند.

۲-۷- بهره‌وری

انسان‌های کارآمد و دارای بهره‌وری بالا ابتدا زمانی را صرف برنامه‌ریزی و تعیین اولویت‌ها می‌کنند. سپس سریع و با تمام توان برای رسیدن به هدف‌های خود کار را شروع می‌کنند. آنها مرتب، بدون تعجیل و بی‌وقفه کار می‌کنند و در همان مدتی که افراد معمولی مشغول معاشرت با دیگران، اتلاف وقت و یا انجام کاری کم اهمیت هستند، بسیاری از کارهای اصلی خود را به اتمام می‌رسانند.

۲-۸- وضعیت مَد

هنگامی‌که با حداکثر توان و به‌طور مستمر روی کارهای مهم و اصلی کار می کنید، ذهن شما وارد وضعیتی می شود که آن را «مَد» می‌نامند.
تقریبا هر کس زمانی این حالت را تجربه کرده است. افرادِ واقعا موفق کسانی هستند که می توانند بسیار بیشتر از افراد عادیِ ذهن را در این وضعیت نگه دارند. در وضعیت «مَد» که کارایی و بهره‌وری انسان در بالاترین حد خود است، چیزی شبیه معجزه برای ذهن و احساسات اتفاق می‌افتد. در این وضعیت شما احساس خوشحالی و انرژی فراوان می‌کنید، کارها بی عیب و نقص و بی‌دردسر انجام می‌شوند و احساس آرامش زیاد همراه با خرسندی از کار به فرد دست می‌دهد. در وضعیت «مَد» که قرن‌ها از شناسایی و بررسی آن می‌گذرد، عملکردتان بسیار بهتر، خلاقیت‌تان بیشتر و کارایی‌تان بالاتر، آگاهی و حساسیت‌تان افزون تر و دقت، بصیرت و شهودتان باورنکردنی است. پیوند خود با انسان‌ها و شرایط اطراف را به‌خوبی حس می‌کنید و اغلب در این وضعیت ایده‌های بسیار خوبی به ذهنتان می‌رسد که پیشرفت شما را بسیار تسریع می‌کند.

۲-۹- احساس اضطرار

یکی از راه‌های ایجاد چنین وضعیتی برای ذهن تقویت «احساس اضطرار» است: این احساس همان تمایل و شوق ذاتی برای انجام و اتمام سریع کار است. این تمایل درونی نوعی بی‌صبری است که به انسان انگیزه می‌دهد تا کار را شروع کند و ادامه دهد. حس اضطرار بسیار شبیه مسابقه دادن با خود است. با ایجاد احساس اضطرار عمیق، «عمل‌گرایی» را در خود تقویت می‌کنید. به جای اینکه مدام در مورد کارهایی که می‌خواهید انجام دهید صحبت کنید، اهل عمل می‌شوید. روی مراحلی از کار که می‌توانید فورا آنها را شروع کنید تمرکز می‌کنید. به‌منظور رسیدن به نتایج و هدف‌هایی که خواهان آن هستید روی کارهایی متمرکز می‌شوید که هم‌اکنون می‌توانید انجام دهید.

۲-۱۰- رسیدن به موفقیت

به‌نظر می‌رسد که رسیدن به یک موفقیت بزرگ در گرو داشتن سرعت در انجام کار است. برای این منظور باید کار را شروع کنید و با سرعتی یکنواخت ادامه دهید. هنگامی که اهل عمل می‌شوید، در واقع اصل اینرسی حرکت را برای موفقیت فعال می‌کنید. این اصل می‌گوید که گرچه در ابتدای حرکت ممکن است انرژی زیادی صرف غلبه بر سکون شود، اما پس از شروع حرکت انرژی بسیار کمتری برای ادامه حرکت لازم است. جالب آن است که هر چه سریع‌تر حرکت کنید، انرژی بیشتری کسب می‌کنید. هر چه سریع‌تر حرکت کنید کار بیشتری انجام می‌دهید و احساس سودمندی بیشتری می‌کنید. هر چه سریع‌تر حرکت کنید تجربه و اطلاعات بیشتری به‌دست می‌آورید، و هرچه سریع‌تر حرکت کنید تواناتر و کارآمدتر می‌شوید. احساس اضطرار به‌طور خودکار سرعت شما را در انجام کارها افزایش می‌دهد. هر چه سریع‌تر کار کنید و کار بیشتری انجام دهید، میزان عزت نفس، احترام به خود و غرور فردی خود را بالا می‌برید. یکی از ساده‌ترین و قدرتمندترین روش‌های تشویق خود برای شروع کار این است که این جمله را بارها و بارها پیش خود تکرار کنید: (همین الان کار را انجام بده، همین الان کار را انجام بده).
اگر احساس می‌کنید که سرعت‌تان در انجام کارها پایین می‌آید و یا کارهایی مانند حرف زدن با دیگران به هنگام کار یا امور کم اهمیت در انجام کارهای مهم شما اختلال ایجاد می‌کنند، به هنگام بروز اختلال همیشه این جمله را با خودتان تکرار کنید: «برگردیم سر کار خودمان». در پایان به خاطر داشته باشید که برای موفقیت در کار هیچ‌چیز به اندازه اینکه به‌عنوان فردی معروف شوید که کارهای اصلی و مهم را دقیق و سریع انجام می‌دهد مهم نیست. این شهرت، شما را در حوزه کاری‌تان به یکی از با ارزش‌ترین و محترم‌ترین افراد تبدیل می‌کند.

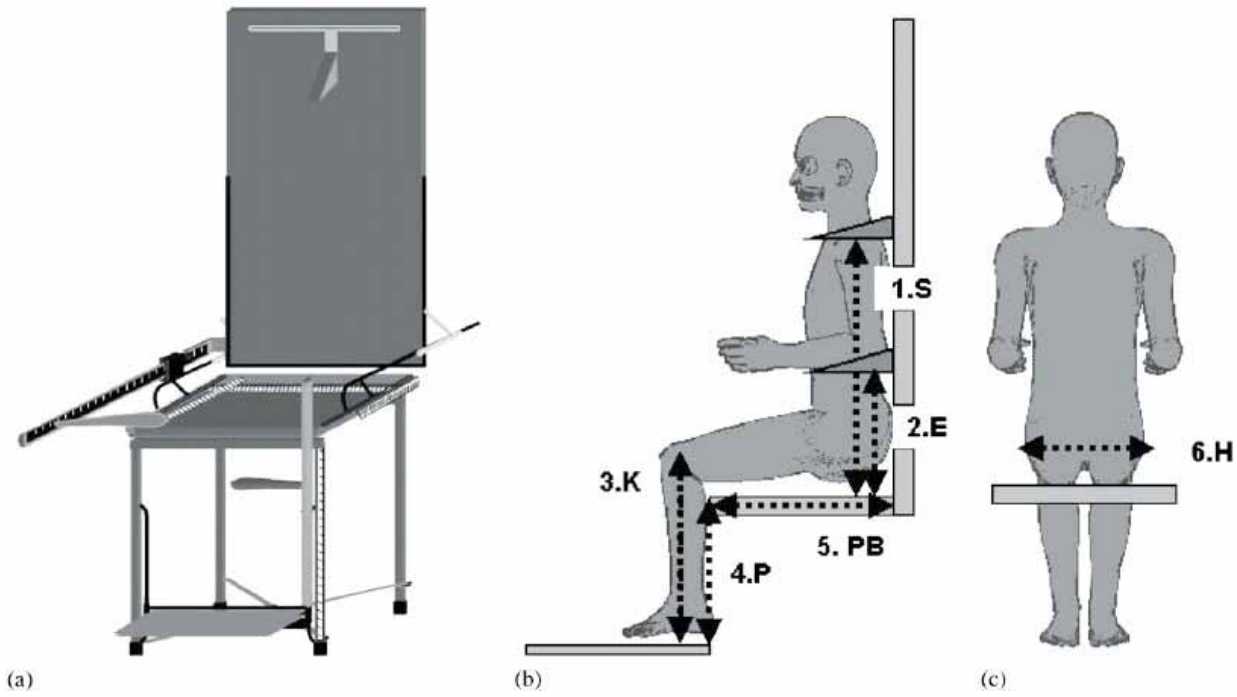
۳- نتیجه گیری

از امروز تصمیم بگیرید برای هر کاری که انجام می‌دهید در خودتان «احساس اضطرار» ایجاد کنید. یکی از کارهایی را که معمولا در انجام آن تنبلی می‌کنید در نظر بگیرید، اراده کنید که عادت سریع انجام دادن آن کار را در خود تقویت کنید.
هم در مواقعی که فرصتی پیش می‌آید و هم وقتی که مشکلی رخ می‌دهد فورا وارد عمل شوید. هنگامی‌که کار یا مسئولیتی را به شما می‌سپارند، سریع آن را به انجام برسانید و نتیجه کار را اطلاع دهید. در تمام مسائل مهم زندگی‌تان سریع عمل کنید. آنگاه از اینکه می‌بینید چقدر کارهای بیشتری انجام می‌دهید و احساس بهتری دارید تعجب خواهید کرد.

***

منابع

[۱]. (آر راس، راندال) ۱۳۷۷): استرس شغلی، ترجمه خواجه‌پور، چاپ اول، انتشارات سازمان مدیریت صنعتی، تهران)
[۲]. حقیقی، محمد علی. ۱۳۷۹. نظام روابط کار در سازمان. تهران: ترمه.
[۳]. میرسپاسی. ناصر. ۱۳۷۵. مدیریت منابع انسانی و روابط کار نگرشی راهبردی. تهران: شروین.
[4] Bruner JMR. Hazards of electrical apparatus.Anaesthesiology.1967; 28: 396-425.



ارگونومی (مهندسی انسانی) و آنترو پومتری در اتاق کنترل و مراکز دیسپاچینگ

سید حسین ابوالفضلی
محمد مهدی عطاری نواب
موسی‌الرضا نجاری
علی درگاهی
شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد

چکیده

حفظ و ارتقاء بهره‌وری نیروی انسانی در بهره‌برداری صنعت برق، محصول متغیرهای متعددی شامل پارامترهای انسانی و فیزیکی می‌باشد. ارگونومی تلاش می‌کند تا با بازبینی سیستم‌های کاری، آنها را در جهت کاهش استرس‌های حرفه‌ای تغییر دهد. در این مقاله با بررسی کلی طراحی اتاق کنترل، روند برنامه‌ریزی و طراحی معماری ساختمان‌های کنترل و دیسپاچینگ نیز مورد توجه قرار گرفته است و به‌صورت خاص، این مطلب، فعالیت‌های لازم برای برنامه‌ریزی معماری و چیدمان تجهیزات ساختمان را مورد توجه قرارداده و طراحی مهندسی جزئیات اتاق کنترل، فضاهای کاری و تعامل انسان و رایانه در قسمت‌های مختلف در جهت ارتقاء سلامت روحی و روانی پرسنل توضیح داده شده است.

کلمات کلیدی: آنترو پومتری، ارگونومی، اتاق کنترل، بازدید کنندگان، پوسچر، دسی‌بل، دیسپاچینگ

۱- مقدمه

ارگونومی یک لغت یونایی است که درتفسیر مهندسی و کمی ملاحظات نیروی انسانی، سهولت فرآیند بهره‌برداری و ... در طراحی محیط‌های کاری و با هدف بهبود کارآیی، بهره‌وری و کیفیت بکار می‌آید. ارگونومیک در طراحی فضاهای کاری نظیر دیسپاچینگ شبکه، نه تنها موجب سهولت بهره‌برداری از شبکه می‌گردد، بلکه در شرایط بحرانی موجب عملکرد منحصر به‌فرد و هوشیارانه عوامل انسانی نیز می‌شود و در تضمین سلامت عوامل بهره‌برداری نیز تاثیر چشم‌گیری دارد. شایان به ذکر است اعمال این ملاحظات در طراحی اولیه طرح‌ها، تاثیر هزینه‌ای قابل توجهی در هزینه احداث ندارد اما نتایج فوق‌العاده چشم‌گیر و متفاوتی در دستاوردهای پروژه‌ها در زمان بهره‌برداری، ایمنی، سلامت افراد و کاهش هزینه‌های درمانی خواهد داشت.

۲- تعریف و کلیات اتاق کنترل

اتاق کنترل محلی است که به‌عنوان یک مرکز عملیات، فرایندهای تولید، پایش و توزیع کنترل می‌شوند. در طراحی اتاق‌های کنترل دو فاکتور اصلی باید مد نظر باشد:

الف- حفاظت ساختمان اتاق کنترل در برابر خطرات احتمالی
ب- جانمایی اتاق کنترل و ترتیب پانل‌ها، نمایشگرها و غیره

۳- ارگونومیک در طراحی ساختمان اتاق کنترل

پیشبرد کلی طراحی سامانه کاری باید مطابق ISO6385، و EN614-1 باشد. هدف استانداردهای مذکور طراحی سامانه‌های کاری در ارتباط با قابلیت‌های انسانی، محدودیت‌ها و احتیاجات می‌باشد، و در پی آن تجزیه و تحلیل وضعیت موجود یا وضعیت مشابه آن مورد نیاز است.

موارد ارگونومیکی که در زمان طراحی چیدمان ساختمان اتاق کنترل حائز اهمیت می‌باشد به‌شرح ذیل می‌باشد:

۳-۱- ارتباطات

موارد زیر می‌بایست در نظر گرفته شود:

- ارتباط‌های نا مرتبط با ساختمان اتاق کنترل نباید مزاحم پرسنل شود.
- دسترسی کافی باید در سراسر اتاق کنترل فراهم باشد.
- فضاهای کاری که افراد به‌طور متناوب با هم مکالمه دارند، می‌بایست در جوار یکدیگر قرار گیرند.
- اتاق‌ها و فضاهای با عملکرد متفاوت می‌بایست جدا از یکدیگر قرار گیرند.

۳-۲- ورود و خروج و مسیرها

موارد زیر می‌باسیت در نظر گرفته شوند:

- فواصل رفت و آمد و ارتباطات باید به حداقل ممکن برسد.
- هرگونه مانعی که برای جلوگیری از دسترسی افراد غیر مجاز به کار گرفته می‌شود، نباید خللی در دسترسی افراد مجاز ایجاد نماید.
- فضایی برای نظارت بر ورودی‌ها باید در نظر گرفته شود.
- دسترسی به وسایل کمک‌های اولیه، لوازم اضطراری و همچنین خروجی‌های اضطراری می‌بایست فراهم گردد.
- بهتر است کاربر در حالت عادی بتواند با حداقل اختلال حواس ورود افراد را کنترل نماید.

۳-۳- اطلاعات پشتیبان

برخی از اطلاعاتی که دیسپچرها استفاده می‌کنند به‌صورت سند می‌باشند مانند نقشه‌ها، کتاب‌ها و دفتر وقایع که به‌صورت الکترونیکی هم نگهداری می‌گردد و بایستی موارد زیر تدارک دیده شوند:

- اطلاعاتی که بیشتر مورد استفاده است می‌بایست به‌سرعت قابل دسترسی باشد.
- تسهیلات نگهداری و ذخیره اطلاعات باید برای حجمی که پیش بینی می‌گردد مناسب باشد.
- تمهیدات لازم برای دسترسی سریع به اسناد و اطلاعاتی که در مواقع اضطراری مورد نیاز است، باید فراهم گردد.

۳-۴- شرایط محیطی

رعایت موارد زیر حائز اهمیت می‌باشد:

- مصالح کف‌ها، دیوارها و سقف‌ها باید از نوعی باشد که ایجاد خیرگی، انعکاس و کنتراست شدید ننماید.
- موقعیت اتاق کنترل باید به نحوی انتخاب گردد، که تاثیر اختلال‌های ناشی از صداها به کمترین حد ممکن برسد و یا با روش‌های مناسب به حداقل برسند.
- اتاق کنترل باید در موقعیتی در نظر گرفته شود که از خطرهایی نظیر مواد سمی، آلودگی و تشعشع در امان باشد.
- مصالح ساختمانی در نظر گرفته شود که به حداقل نظافت احتیاج داشته و به سادگی تمیز گردد.
- پیش‌بینی‌های لازم برای به‌حداقل رسانیدن گرد و خاک و آلودگی در اتاق کنترل باید به‌عمل آورد.

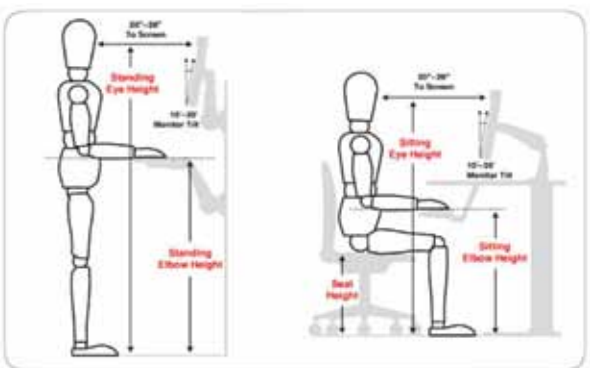
۳-۵- بازدید کنندگان

در طراحی اتاق کنترل باید فضایی جهت بازدیدکنندگان در نظر گرفته شود. لازم است به تفاوت بین بازدیدکنندگان حرفه‌ای و افراد عادی توجه گردد و هر دو گروه مورد مطاله قرار گیردتا نیازهای آنها مشخص گردد.

- تسهیلاتی باید طراحی شود تا بازدیدکنندگان حرفه‌ای بدون مزاحمت و اختلال در فعالیت‌های کاربران اتاق کنترل، بتوانند نمایشگر را ببینند.
- بازدید کنندگان عادی باید به نحوی در اتاق کنترل راهنمایی و عبور داده شوند که کمترین اختلال و جلب توجه را ایجاد نمایند. فعالیت‌های کاربران نباید تحت تاثیر بازدیدکنندگان قرار گیرد.
- تسهیلاتی جهت پذیرش و پذیرایی بازدیدکنندگان عادی در خارج از اتاق کنترل باید فراهم گردد.

۴-آنترو پومتری

طراحی از دیدگاه آنتروپومتری شامل انطباق و هماهنگی و ابعاد و اندازه‌های بدن با ابعاد و اندازه‌های محل کار یا ابزار وسیله مورد استفاده است. آنتروپومتری در واقع بخشی از دانش ارگونومی و شاخه‌ای از فیزیکال آنتروپومتری است که موضوع آن سنجش و اندازه‌گیری ابعاد و اندازه‌های ظاهری قسمت‌های مختلف بدن انسان است. چون دانستن ابعاد و اندازه‌های اعضای مختلف بدن برای طراحی ارگونومیکی بسیاری از وسایل زندگی ضروری است دانش آنتروپومتری نیز با اندازه‌گیری و ارایه اندازه‌های مختلف بدن (مانند طول دست و پا عرض شانه و کتف‌ها و...) و تعیین میدان حرکتی یا محدوده حرکت آن‌ها به طراح کمک می‌کند تا به میزان زیادی بر ایمنی، سلامت و کارایی بازده طرح خود بیافزاید و از هر جهت یک طرح مناسب ارایه دهد. شکل (۱) نمایانگر استفاده کاربر با نمایشگر را در دو حالت ایستاده و نشسته نشان می‌دهد.



شکل ۱: کاربر در دو حالت ایستاده و نشسته

از نظر رعایت اصول آنتروپومتری (تطابق تجهیزات با ابعاد بدن) موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

۴-۱ - دسترسی

میزها، نمایشگرها باید مطابق فواصل دسترسی صدک پنجم اپراتورها باشد. در طراحی میز، ارتفاع میز، عمق میز، مساحت سطح روی میز، نوع مواد ساخت میز از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.
سطح صفحه کلید، هم ارتفاع با دسته صندلی و آرنج باشد.

۴-۲- نشیمنگاه

- نشیمنگاه باید به وسیله صدک ۵ و ۹۵ اپراتورها قابل تنظیم باشد.
- حالت انحنای قوس کمر در هنگام نشستن حفظ نماید.
- برای راحتی اپراتور، صندلی باید قابل تنظیم باشد.

در طراحی صندلی باید به این نکته توجه نمود که وضعیت نشسته با کمر راست و پاها از قسمت ساق در یک امتداد قرار داشته باشد.

۴-۳- وضعیت بدن (پوسچر)

ایستگاه کاری باید به گونه‌ای طراحی شود که به اپراتور اجازه تغییر پوسچر در اتاق کنترل را بدهد.

۵- فاکتورهای محیطی

شرایط محیطی تاثیر مستقیم بر عملکرد کاربران داشته و به شرح ذیل می‌باشد:

۵-۱- شرایط دمایی

- دما و جریان هوا باید قابل کنترل باشد.
- فشار هوای داخل اتاق کنترل باید مثبت باشد.
- دمای هوا می‌تواند بین ۱۸ الی ۲۵ درجه سانتیگراد و جریان هوا بین ۰/۱۱ الی ۰/۱۵ باشد.

۵-۲- روشنایی

- نوع و میزان روشنایی باید متناسب با نوع وظیفه شغلی باشد.
- منابع روشنایی نباید چشمک‌زن باشند.
- روشنایی نباید باعث ایجاد انعکاس بر روی نمایشگرها و سایر مانیتورهای موجود شود.
- باید از تابش مستقیم نور خورشید به داخل اتاق کنترل جلوگیری شود.
- در صورت لزوم از روشنایی غیرمستقیم استفاده گردد.
- بهتر است در اتاق کنترل، روشنایی قابل تنظیم باشد زیرا اغلب در شیفت شب میزان روشنایی کمتر می‌شود.

۵-۳- صدا

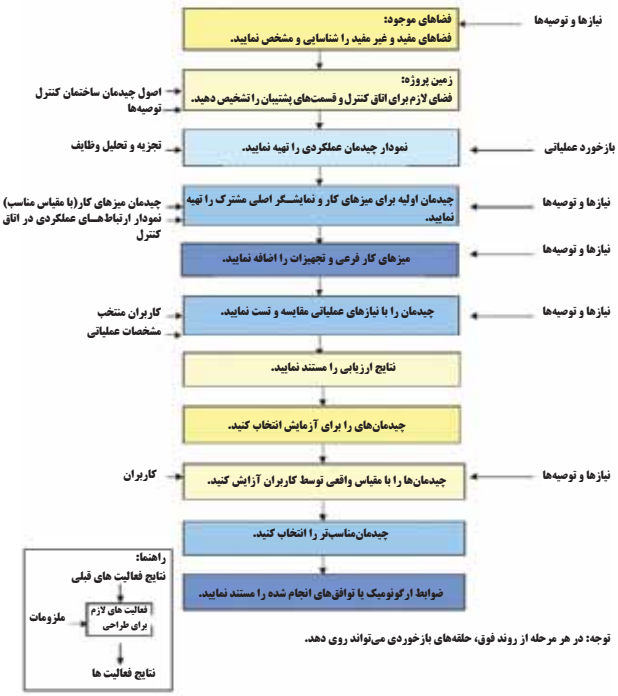
میزان صدا باید به گونه‌ای باشد که باعث تداخل در ارتباطات، سیگنال‌های صوتی و عملکرد ذهنی اپراتور نشود. به این منظور میزان صدا در اتاق‌های کنترل باید ۵۵ دسی‌بل باشد. همچنین از صداهای با فرکانس خیلی پایین یا خیلی بالا باید اجتناب گردد.

۵-۴- رنگ

رنگ‌ها هر کدام بر فرد اثر خاص و متفاوتی دارند که به‌دنبال آن رفتار کار و عملکرد فرد را تحت‌تاثیر قرار می دهد. روانشناسی کار، رنگ را در محیط کار به‌عنوان یک متغیر فیزیکی در نظر دارد که می‌تواند بر میزان بازدهی کارکنان تاثیرگذار باشد. بنابراین باید محیط اتاق کنترل را به رنگی درآوریم که برای اغلب اپراتورها محیطی آرام بخش و مطلوب باشد.

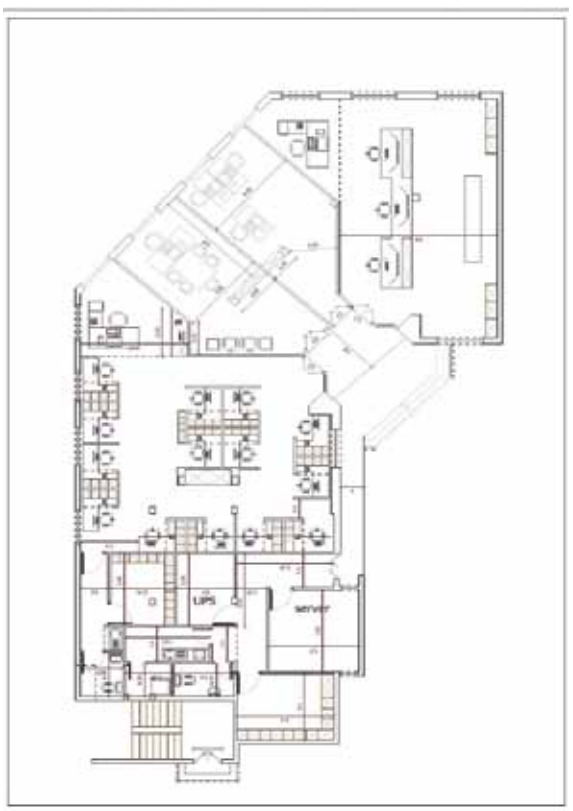
۶- روند چیدمان اتاق کنترل امور دیسپاچینگ توزیع مشهد

برای طراحی چیدمان اتاق کنترل فرض بر این است که خصوصیات آن به‌عنوان یک داده برای این روند، نهایی شده است. این خصوصیات ارگونومیکی شامل تعریف مشاغل، مشخصات پرسنل، مشخصات تجهیزات و روند کلی عملیات می‌باشد. اطلاعات مربوطه و خصوصیات ارگونومیکی نهایی می‌بایست قبل از طراحی، مستندسازی و نگهداری شوند. شکل (۲) روند کلی چیدمان اتاق کنترل با توجه به فعالیت‌های اصلی را نشان می‌دهد. این شکل شامل تعداد میزهای کار(work station) و چیدمان آنها می‌باشد. گروه‌بندی‌ها باید براساس ارتباطات عملکردی، تجهیزات مشترک و امکان مکالمه مستقیم انجام شود. براساس نیازهای عملیاتی که قبلا آنالیز شده است، چیدمان میزهای کار، درفضای مربوطه شکل می‌گیرد.



شکل ۲: روند کلی چیدمان اتاق کنترل

این چیدمان باید ارتباطات عملکردی مانند ارتباط‌های رودررو، دید داشتن به نمایشگرهای مشترک و غیره را آنچنان که در آنالیز مربوطه مشخص شده، در نظر بگیرد. همچنین طراحی باید تا حدودی دارای چیدمان منظمی باشد. شکل (۳) نمای شماتیک از ساختمان امور دیسپاچینگ توزیع برق مشهد می‌باشد.



شکل ۳: نمای شماتیک ساختمان دیسپاچینگ مشهد

در شـکل فـوق مکان اتاق سـرور، اتاق بـرق، اتاق کنتـرل و دیگر محیط‌های طراحی شـده در دیسـپاچینگ توزیع مشـهد مشخص گردیده اسـت. شکل (۴) دید کلی از اتاق کنترل دیسپاچینگ توزیع مشهد را نشان می‌دهد.

شکل ۴: نمای کلی از اتاق کنترل

همانگونه که در شـکل مشـخص می باشـد در طراحی اتاق کنترل تمامی موارد ذکر شده (ارتفاع میز کار، ارتفاع نشیمنگاه (D) ، مصالح بکار رفته (C) و روشنایی اجرا شده (A)، همچنین فاصله و وضعیت نمایشگر و مانیتورها (E و B) و ... رعایت شده است.

۷- نتیجه‌گیری

براسـاس مطالب ارایه شـده، کاربرد ارگونومـی در طراحی معماری، به‌دنبـال آن اسـت که با ترکیـب کارایی و ملاحظـات بهره‌برداری، شایسـته‌ترین فضا را جهت سـلامت و ایمنی افراد و فضاهای کاری فراهم آورد. اعمال ملاحظات در طراحی اولیه طرح‌ها، تاثیر هزینه‌ای قابل توجهی در هزینه احداث ندارد، اما نتایج فوق‌العاده چشـمگیر و متفاوتی در دسـتاوردهای پروژه در زمان بهره‌برداری خواهد داشت. شایان ذکر است که فضاهای موجود و در حال بهره‌برداری در صنعت برق نیز قابل بهسـازی و اصلاح بوده و پیاده‌سـازی طرح‌های اشـاره شده در مراکز کنترل و دیسپاچینگ، می‌تواند نتایج درخشان خود را با صرف هزینه‌های اندک نمایان نماید.

***

مراجع

۱-مجموعه دستورالعمل‌های بهداشت صنعتی در شرکت ملی صنایع پتروشیمی

2- http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeascontrol.htm -

3- http://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/office/purchase.html

ادامه از صفحه ۲۶

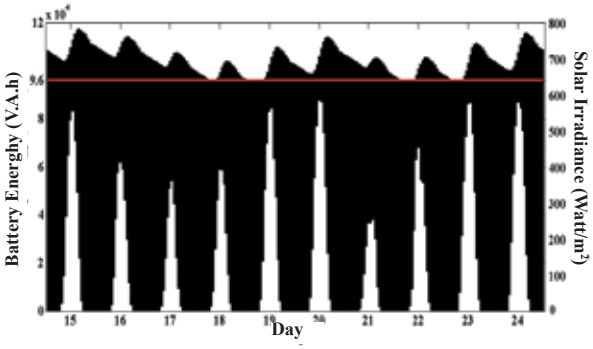
(۱۰)، منحنی انرژی ذخیره شده در باتری بر حسب آمپر ساعت (سطح سـیاه‌رنگ) و میزان تابش نور خورشید بر حسب وات بر مترمربع برای روزهای مشـابه شکل ۹، بدون احتساب ضریب اصلاح پنل‌ها (یعنی به ازای نصب ۸/۸ کیلووات پنل فتوولتاییک) رسم شده است.

همانطور که در این شـکل مشاهده می‌شود، به علت کمبود تابش و در نتیجه کمبود انرژی تولیدی توسط پنل‌ها نسبت به بار مصرفی، سیستم خورشـیدی تنها در سـاعات آفتابی امکان تامین بار را دارد و در سایر ساعت‌ها شبانه‌روز خاموش شده است.

۴- نتیجه‌گیری

در سیستم‌های فتوولتاییک جدا از شبکه ، انتخاب صحیح ظرفیت پنل و باتری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار اسـت. به‌همین دلیل در این مقاله روشـی نوین برای بهبود روند طراحی این سیسـتم‌ها ارایه شده است. در این راسـتا ابتدا یک سیسـتم فتوولتاییک جدا از شـبکه برای یک روستا با ۵ خانوار طراحی و سپس باتوجه به‌عدم درنظر گرفتن روزهای پشـتیبانی در تعیین ظرفیت پنل، یـک الگوریتم برای اصلاح ظرفیت پنل پیشـنهاد شد. خروجی الگوریتم نشان داد که با پذیرفتن حداکثر ۳۰ سـاعت خاموشی در طول سال، ضریب اصلاحی برای افزایش توان پنل‌های فتوولتاییک برابر ۵۳٪ می‌باشد.

به‌عبـارت دیگر لازم اسـت کـه در این سیسـتم ۱۳/۵ کیلووات پنل فتوولتاییک در نظر گرفته شـود تا شرایط مورد نظر برای بهره‌برداری مطلوب از سیستم تحقق یابد.



شکل ۱۰: منحنی انرژی ذخیره شده در باتری (سطح سیاه‌رنگ) و میزان تابش نور خورشید (سطح سفیدرنگ) بدون در نظر گرفتن ضریب اصلاحی پنل

***

مراجع

[1]. www.suna.org.ir

[2]. M. Zamoa, O. Mestre, P. Arbogast and O. Pannekoucke, “A benchmark of statistical regression methods for short-term forecasting of photovoltaic electricity production, part I: Deterministic forecast of hourly production,” Solar Energy, Vol 105, pp. 792-803, July 2014.

[3]. D. Thevenard and S. Pelland, “Estimating the uncertainty in long-term photovoltaic yield predictorecast of hourly production,” Solar Energy, Vol 91, pp. 432-445, May 2013.

[4]. W. Brooks, J. Dunlop, “Photovoltaic Installer Resource Guide”, The North American Board of Certified Energy Practitioners (NABCEP), October 2011.

[5]. www.nrel.gov/midc/solpos

[6]. R. Mayfield, “Photovoltaic Design and Installation”. John Wiley & Sons, 2010.

[7]. R. Bakhshi, J. Sadeh and H. Mosaddegh, “Optimal economic designing of grid-connected photovoltaic systems with multiple inverters using linear and nonlinear module models based on Genetic Algorithm,” Renewable Energy, Vol. 72, pp. 386–394, December 2014.

[8]. R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, J. Michalsky and R. Stewart. «Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance.» Solar energy, Vol. 44, pp. 271-289, 1990.

ارایــه روشــی نوین بــرای تعیین ظرفیــت پنل‌های خورشــیدی در طراحی سیستم‌های فتوولتاییک جدا از شبکه

حمیدرضا مصدق

امیر خزاعی

مهران قاسم‌پور

حسین هوشمندی

شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد

چکیده

اســتفاده از سیســتم‌های فتوولتاییک جدا از شبکه، راهکاری مناســب برای تامین بــرق مورد نیــاز در مناطق دور از شــبکه سراســری برق می‌باشــد. در طی روند طراحی این سیســتم‌ها، انتخــاب ظرفیت آرایه‌ها بایــد به‌گونه‌ای انجام شــود که تامین پایــدار انرژی در طی روزهای غیرآفتابی تضمین شــود. با توجه به اینکه در الگوریتم‌های مرســوم طراحی سیســتم‌های جدا از شبکه، تعداد روزهای ابری در تعیین ظرفیت آرایه فتوولتاییک دیده نمی‌شــود، در این مقاله روشــی نوین برای تعیین ظرفیت پنل‌ها در سیســتم‌های فتوولتاییک جدا از شبکه ارایه می‌شود. این روش ضمن ســادگی، توانایی انتخــاب یک ضریب اصلاحی برای تعیین ظرفیت آرایه فتوولتاییک را خواهد داشت.

کلمات کلیدی: سیستم فتوولتاییک جدا از شبکه؛ پنل فتوولتاییک؛ باتری، روزهای پشتیبانی ابری

۱- مقدمه

تامیــن بــرق از خورشــید، یکــی از به‌روزتریــن فن‌آوری‌های حال حاضــر در جهان می‌باشــد. فرآیند تبدیل انرژی تابشــی خورشــید به انــرژی الکتریکــی که تحت نام فتوولتاییک شــناخته می‌شــود به‌عنوان جایگزینی مناســب برای تولید برق به شیوه سنتی شناخته می‌شــود. این راهکار نوین، ضمن حذف آلودگی‌های ناشی از مصرف ســوخت‌های فسیلی، نگرانی‌های ناشی از وابستگی روزافزون به این ســوخت‌ها را کاهش می‌دهد. در این میان کشور ایران با قرارگیری در کمربند تابشــی، بــا تابش ســالیانه در حــدود ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ســاعت بر مترمربع، ظرفیتی اســتثنایی برای بهره‌گیری از سیســتم‌های فتوولتاییک برای تامین برق مورد نیاز خود در اختیار دارد[۱].

اســتفاده از انــرژی خورشــید در قالــب سیســتم‌های فتوولتاییک گونه‌هــای مختلفــی دارد کــه دو نــوع پرکاربرد آن سیســتم‌های فتوولتاییک متصل به شــبکه و جدا از شبکه است. عملکرد نوع اول به این صورت اســت که انرژی تولیدی توســط پنل خورشیدی پس از عبور از یک مبدل، توســط بار محلی مصرف و مازاد آن به شــبکه تزریق می‌شود. مزیت این روش آن است که انرژی تزریقی به شبکه توسط شــرکت‌های برق خریداری شــده و در نتیجه درآمد حاصله باعث بازگشــت سریع‌تر سرمایه و به‌تبع توجیه‌پذیر شدن استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک می‌شود.

در نوع دوم، انرژی تولیدی توســط پنل خورشیدی در باتری ذخیره شــده و انرژی مورد نیاز بار را تامین می‌کند. بدیهی اســت استفاده از این روش در شــرایطی مناســب‌تر اســت که دسترســی به شبکه سراســری برق دشوار و یا ناممکن باشــد. مزیت این روش نسبت به روش اول آن است که امکان تامین انرژی بار در شبانه‌روز وجود دارد درحالیکه در سیســتم‌های متصل به شبکه، تامین انرژی بار صرفا در طول روز و ســاعاتی که خورشــید از تابش مناسبی برخوردار است، امکان‌پذیر می‌باشد.

با وجود مزایای فراوان اســتفاده از سیســتم‌های فتوولتاییک، یکی از معایب این سیســتم‌ها ناشــی از تفاوت و تغییر نور خورشید در فصول مختلف ســال می‌باشــد. درحالی‌که خورشــید، به‌عنوان منبع لایزال انرژی شــناخته می‌شود اما در واقع تغییرات تابش خورشید در اختیار بشــر نمی‌باشد. این طبیعت متغیر باعث ایجاد چالشی همیشگی برای مالکان و بهره‌برداران سیستم‌های فتوولتاییک می‌شود. این موضوع به خصوص در سیســتم‌های فتوولتاییک جدا از شبکه جدی‌تر می‌باشد، زیرا در این حالت انتخاب ظرفیت اجزاء سیستم با دشواری‌هایی مواجه خواهد شــد[۲]. هرچند در طراحی سیســتم‌های فتوولتاییک جدا از شــبکه تعیین میزان بار مصرفی بســیار مهم می‌باشد اما تعیین تعداد روزهای پشــتیبانی برای انتخاب ظرفیت پنل و باتری موضوعی جدی برای طراح سیستم می‌باشد. انتخاب صحیح تعداد روزهای پشتیبانی، تامین مداوم انرژی موردنیاز مصرف‌کننده را تضمین می‌کند[۳].

در این مقاله روشــی نوین برای انتخاب ظرفیت پنل در سیســتم‌های فتوولتاییک جدا از شــبکه ارایه می‌شــود. در این روش ضمن مطالعه وضعیت تابش و دما در یک ســال در شــهر مشــهد، با محاسبه انرژی اســتحصالی از یک سیســتم فتوولتاییک نمونه، یک ضریب اصلاحی برای تعیین ظرفیت آرایه فتوولتاییک بدســت می‌آید. بدیهی است با کمک ایــن ضریب می‌توان همزمان با انتخاب مناســب ظرفیت آرایه فتوولتاییــک، از تامیــن پایدار انرژی مورد نیاز بار در شــرایط مختلف تابش اطمینان حاصل کرد.

۲- طراحی سیستم‌های فتوولتاییک جدا از شبکه

بــرای تامیــن انــرژی الکتریکی مورد نیــاز مناطق خارج از شــبکه و جلوگیری از گسترش بیش از حد شبکه سراسری برق، از سیستم‌های فتوولتاییک جدا از شــبکه اســتفاده می‌شــود. در ایــن روش، انرژی الکتریکی مورد نیاز با اســتفاده از پنل‌های فتوولتاییک و سیستم‌های ذخیره کننده و کنترل‌کننده نســبتا ســاده، قابل تامین می‌باشد. بازه توانی این سیستم از چند وات تا چندین مگاوات قابل نصب و راه‌اندازی می‌باشد و به‌عنوان یک واحد نیروگاهی با طول عمر مناسب حدود ۲۵ سال می‌تواند با قابلیت اطمینان بالا جهت تامین برق مورد نیاز به‌ویژه در مناطق دور از شبکه سراسر برق استفاده شود.

طراحی یک سیســتم فتوولتاییک جدا از شبکه بر مبنای بیشینه توان نامی مصرفی بار، تعداد ساعات مصرف برق در شبانه‌روز و نیز براساس بدترین شــرایط آب‌وهوایی منطقه صورت می‌پذیرد. عملکرد مطلوب سیســتم فتوولتاییک جدا از شبکه در گرو طراحی مناسب و دقیق آن می‌باشــد. اندازه‌ی باتری‌ها براساس میزان و مدت زمان تغذیه بارهای الکتریکی، میانگین عمق دشارژ روزانه و نیز تعداد روزهای ذخیره‌سازی تعیین می‌شود. تعداد روزهای ذخیره‌سازی براساس اهمیت بارها و نیز میانگین عمق دشــارژ روزانه مطلوب برای باتری مشخص می‌شود[۴]. به‌منظور در نظر گرفتن شــرایط آب‌وهوایــی غیرآفتابی، باید ظرفیت باتری‌ها متناســب با تعداد روزهای پشتیبانی افزایش یابد. روند تعیین ظرفیت باتری در شــکل (۱) نمایش داده شــده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود ظرفیت باتری باید با توجه به تعداد روزهای ابــری افزایــش یابد. در ادامه ایــن بخش روند تعیین تعــداد روزهای پشتیبانی با توجه به الگوی تابش در شهر مشهد ارایه می‌شود.

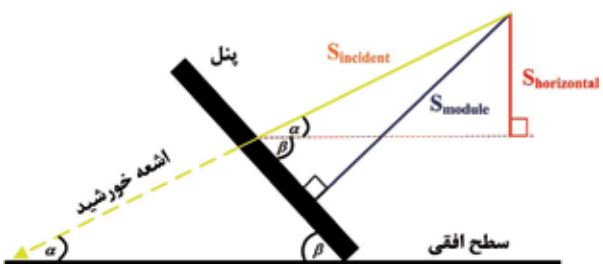
به منظور افزایش عمر باتری‌ها نیز عمق دشارژ باتری (DOD) ۵۰ درصد درنظر گرفته شــده اســت. همچنین ضریب جبــران دمایی باتری که معمولا توسط سازندگان باتری ارایه می‌شود، ۰/۹ انتخاب شده است.

روند تعیین ظرفیت پنل در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشــاهده می‌شــود، در رونــد تعیین ظرفیت پنل، تعــداد روزهای پشتیبانی درنظر گرفته نشده اســت. با توجه به تغییر وضعیت تابش، ایــن موضوع باعث عدم تامین انرژی موردنیاز بار در تمام طول ســال می‌شــود. هدف از این مقاله برطرف کردن این نقص و افزایش ظرفیت مجموعه پنل‌های فتوولتاییک با تعیین یک ضریب اصلاحی اســت، به گونــه‌ای که تا از بروز قطعی‌های ناخواســته در طول ســال جلوگیری گردد. به‌منظور درنظر گرفتن سایه‌اندازی موضعی بر روی سطح پنل

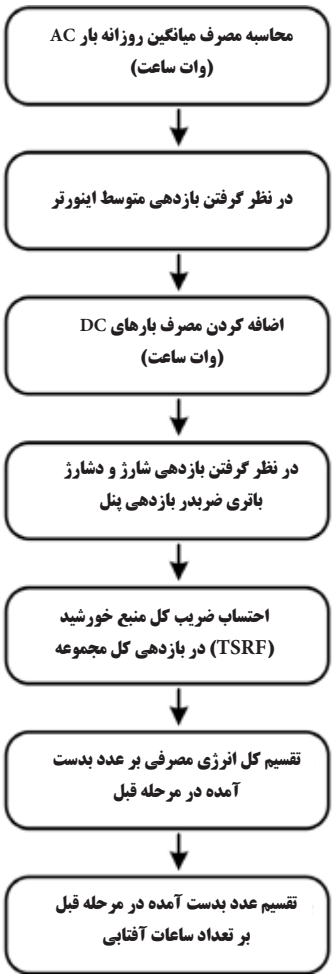
شکل ۱: روند تعیین ظرفیت باتری [۶]

و نیز تغییر زاویه ارتفاع خورشید در طول سال، یک ضریب کوچکتر از یک تحت عنوان ضریب کل منبع خورشــیدی (TSRF) درنظر گرفته شــده است. بدیهی اســت با اعمال این ضریب، توان مجموع پنل‌ها از حالت ایده‌آل بیشتر می‌شود.

اطلاعات تابش موجود در مراجع مختلف برحسب تابش بر روی سطح افقی می‌باشد[۵].



شکل۲: تابش خورشید بر روی سطح افقی



شکل ۳: روند تعیین ظرفیت پنل [۶]

برای آنکه بتوان تابش بر روی سطح شیبدار را محاسبه نمود باید از رابطه (۱) استفاده کرد:

$$S_{\mathrm{mod}\,ule} = \frac{S_{horizontal} \times \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \qquad (۱)$$

در این رابطه، $S_{\mathrm{mod}\,ule}$ تابش بر روی سطح شیبدار، $S_{horizontal}$ تابش بر روی سطح افقی، β زاویه نصب پنل نسبت به افق و α زاویه ارتفاع خورشید می‌باشد. در این معادله برای تعیین شدت تابش بر روی سطح شیبدار، زاویه β برابر با ۳۵ درجه انتخاب شده است (زاویه‌ای مناسب برای نصب پنل در شهر مشهد) و سایر پارامترها ($S_{horizontal}$ و α) به‌صورت ساعتی برای شهر مشهد استخراج و در رابطه فوق جایگذاری شده است.

شکل ۴: شماتیک یک سیستم فتوولتاییک جدا از شبکه

برای محاسبه توان تولیدی پنل از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$P_{Pv} = P_{PV-STC} \cdot \frac{S_{\mathrm{module}}}{S_{STC}} \left[1 - \gamma_{P_{mpp}} \cdot (T_{\mathrm{module}} - T_{STC})\right] \qquad (۲)$$

در این رابطه S_{STC} و T_{STC}، تابش خورشید بر روی سطح شیبدار و دمای پنل در شرایط تست استاندارد (STC) می‌باشد که به ترتیب ۱۰۰۰ وات بر متر مربع و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. همچنین $\gamma_{P_{mpp}}$ ضریب دمایی در نقطه بیشینه توان (MPP) و $P_{PV\,STC}$ توان نامی پنل می‌باشد. به منظور محاسبه توان تولیدی پنل (P_{PV})، دمای پنل (T_{cell}) از روی دمای محیط (T_{amb}) تخمین زده می‌شود. در حالت کلی این رابطه به جنس پنل، نوع ساختار نصب پنل و ... وابسته است. تاکنون روابط گوناگونی برای تعیین این رابطه ارایه شده است. در برخی از مراجع از رابطه (۳) برای تخمین دمای پنل استفاده شده است[۷]:

$$T_{cell} = T_{amb} + 30 \qquad (۳)$$

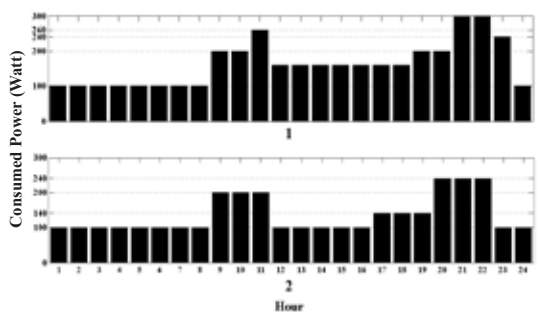
در این مقاله نیز به دلیل سادگی رابطه فوق و همچنین وابستگی کم توان تولیدی پنل و به تبع آن انرژی تولیدی سالیانه به دمای پنل، از این رابطه برای تعیین دمای پنل استفاده شده است.

با توجه به اطلاعات مربوط به تابش و دما که به صورت ساعتی ثبت شده است، بدیهی است برای محاسبه انرژی سالیانه، باید عدد بدست آمده از رابطه (۲) را در ۲۴ ساعت و ۳۶۵ روز ضرب کرد.

در ادامه این بخش با توجه به روند ارایه شده برای طراحی سیستم فتوولتاییک جدا از شبکه، یک روستا با ۵ خانوار درنظر گرفته شده و یک سیستم نمونه برای آن طراحی می‌شود. برای تعیین بارهای مصرفی، الگوی بار مطابق با جدول (۱) درنظر گرفته می‌شود. به‌منظور کاهش ظرفیت سیستم، تنها بارهای ضروری انتخاب شده و از سایر بارها چشم‌پوشی شده است.

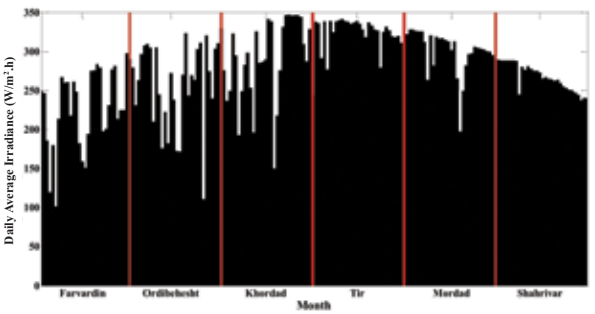
جدول ۱: الگوی بار برای ۵ خانوار روستایی

ردیف	تجهیز برقی	توان مصرفی	تعداد	ساعات بهره‌برداری در طول روز	وات ساعت مصرفی
۱	یخچال	۱۰۰	۵	۲۴	۱۲۰۰۰
۲	تلویزیون	۱۰۰	۵	۶	۳۰۰۰
۳	پنکه	۶۰	۵	۱۲	۳۶۰۰
۴	لامپ LED	۴۰	۵	۵	۱۰۰۰
	مجموع انرژی روزانه				۱۹،۶۰۰

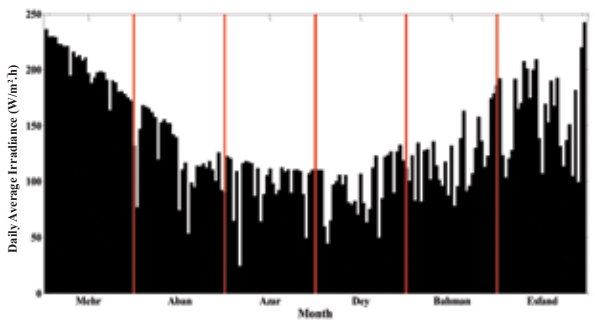


شکل ۵: الگوی بار مصرفی ۵ خانوار روستایی؛ ۱) ۶ماهه اول ۲) ۶ماهه دوم

در مرجع[۸]، به‌منظور تعیین تعداد روزهای ابری متوالی، روشی پیشنهاد شده است که براساس آن، تابش مورد انتظار روزانه در بازه یک‌ماهه محاسبه شده و درصورتی که میانگین تابش روز مورد نظر از ۷۰ درصد عدد به‌دست آمده فوق کمتر باشد آن روز به‌عنوان روز ابری در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن این شاخص و با توجه به‌شکل‌های (۶) و(۷)، حداکثر تعداد روزهای ابری متوالی در یکسال برابر ۳ روز به‌دست می‌آید. بنابراین برای طراحی سیستم فتوولتاییک نمونه در این مقاله،



شکل ۶: میانگین تابش روزانه در ۶ماهه اول سال



شکل ۷: میانگین تابش روزانه در ۶ماهه دوم سال

۳ روز پشتیبانی برای روزهای ابری متوالی در نظر گرفته شده است. طراحی سیستم فتوولتاییک جدا از شبکه با توجه به روندهای ارایه شده در شکل (۱) و (۳) انجام می‌گیرد. نتایج طراحی در جدول (۲) ارایه شده است.

جدول ۲: مشخصات سیستم فتوولتاییک جدا از شبکه

میانگین تعداد ساعات آفتابی در طول روز	۴/۳
تعداد روزهای پشتیبان برای روز های ابری	۳
سطح ولتاژ بانک باتری	۴۸ ولت
عمق دشارژ بانک باتری	۵۰ درصد
پنل مورد نیاز (توان پیک)	۸۸۰۰ وات
باتری موردنیاز	۴۰۰۰ آمپر ساعت

همانگونه که اشاره شد، در تعیین ظرفیت باتری، ۳ روز پشتیبانی در نظر گرفته شده است. اما ظرفیت پنل موردنیاز بدون توجه به تعداد روزهای پشتیبانی به‌دست می‌آید. این موضوع باعث می‌شود تا در روزهای ابری به‌خصوص روزهای ابری متوالی، بانک باتری ذخیره کافی برای تامین انرژی موردنیاز بار را نداشته باشد.

با در نظر گرفتن ۸/۸ کیلووات پنل فتوولتاییک برای این سیستم نمونه، در مجموع ۱۰۵۸ ساعت خروج نیروگاه از مدار در طی یک سال رخ می‌دهد که عدد قابل توجهی (حدود ۱۲% سال) است. این میزان خاموشی با توجه به عدم در نظرگرفتن روزهای ابری در روند تعیین ظرفیت پنل (شکل۳) قابل پیش‌بینی می‌باشد. بدین منظور برای رفع این معضل، در بخش بعدی الگوریتمی ارایه می‌شود که با کمک آن می‌توان یک ضریب اصلاحی برای ظرفیت پنل‌ها به‌دست آورد بطوری‌که تعداد ساعات خاموشی سیستم و زمان‌های وقوع آن در طول شبانه‌روز قابل کنترل می‌شود.

۳- الگوریتم پیشنهادی و تحلیل نتایج

الگوریتم پیشنهادی برای تعیین ضریب اصلاح پنل مطابق شکل (۸) می‌باشد. روند اجرای الگوریتم پیشنهادی به شرح ذیل می‌باشد:

۳-۱- ورود اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی و تحلیل سیستم فتوولتاییک شامل اطلاعات تابش، دما، زاویه ارتفاع خورشید، میزان بار و سایر اطلاعات لازم جهت طراحی سیستم مانند عمق دشارژ باتری‌ها، سطح ولتاژ باتری‌ها، بازدهی اینورتر، ضریب TSRF، ضریب جبران دمایی باتری‌ها و غیره. بدیهی است هرچه میزان دقت و تفکیک داده‌ها بیشتر باشد، دقت طراحی سیستم نیز افزایش می‌یابد. اما با این حال با داشتن اطلاعاتی با دقت کمتر (مثلا اطلاعات میانگین ماهانه به جای اطلاعات ساعتی) نیز امکان اجرای الگوریتم میسر است. ضمن اینکه عدم وجود اطلاعاتی مثل دما و زاویه ارتفاع خورشید، صرفا دقت تحلیل نتایج را کاهش می‌دهد و بدون وجود آن‌ها نیز می‌توان الگوریتم را اجرا نمود. پردازش اطلاعات ورودی و طراحی یک سیستم مستقل از شبکه فتوولتاییک مطابق روند شکل (۱) و (۳). خروجی این پردازش باید منجر به تعیین ظرفیت باتری‌های سیستم با در نظر گرفتن تعداد روزهای پشتیبانی مورد نیاز و نیز تعیین توان پنل‌های فتوولتاییک (P_{PV-STC}) گردد. همانطور که ذکر شد، در روند طراحی سیستم مطابق شکل (۳)، توان به دست آمده برای پنل‌های فتوولتاییک، ارتباطی با تعداد روزهای پشتیبانی سیستم ندارد و نهایتا هدف از اجرای این الگوریتم، مشخص نمودن ضریبی برای اصلاح توان پنل‌های فتوولتاییک برای در نظر گرفتن تعداد روزهای پشتیبانی می‌باشد.

۳-۲- ضریب اصلاح پنل‌های فتوولتاییک (ΔPV) را برابر صفر قرار بده.

۳-۳- با توجه به میزان تفکیک اطلاعات ورودی به الگوریتم (مثلا اطلاعات ساعت به ساعت برای تمام روزهای سال) انرژی تولیدی پنل‌های فتوولتاییک را مشخص کن. برای روز i و ساعت h، انرژی تولیدی پنل‌ها مطابق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$E_{PV}^{i,h} = P_{PV-STC}\frac{S_{module}^{i,h}}{S_{STC}}\left[1-\gamma_{P_{mpp}}.(T_{module}^{i,h}-T_{STC})\right] \quad (۴)$$

که در آن P_{PV-STC} مقدار اولیه ظرفیت پنل‌های فتوولتاییک است که در مرحله ۲ به دست آمد. سایر پارامترها در بخش دوم، ذیل رابطه (۲) معرفی شده‌اند.

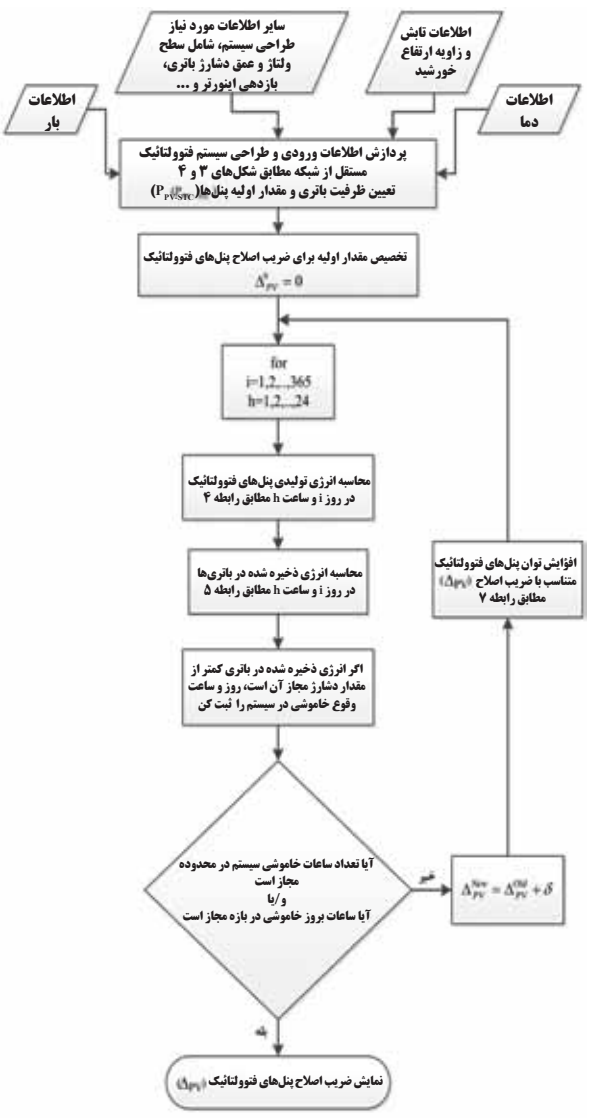
۳-۴- محاسبه انرژی ذخیره شده در باتری‌ها با توجه به میزان تفکیک اطلاعات ورودی به الگوریتم. برای روز i و ساعت h، انرژی ذخیره

شـــده در باتری‌ها با توجه به انرژی موجود در باتری در ساعت قبل (h-1) و اختـــلاف تولید انرژی پنل‌ها و انرژی مصرفیِ بارها، مطابق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$E_{BAT}^{i,h} = E_{BAT}^{i,h-1} + E_{PV}^{i,h} - E_{Load}^{i,h} \qquad (۵)$$

۳-۵- در صورتی که انرژی به‌دســـت آمده برای باتری از مرحله قبل، کمتر از مقدار دشـــارژ مجاز آن اســـت، روز و ساعت وقوع خاموشی در سیستم را ثبت کن. در این شرایط با توجه به عدم وجود انرژی کافی در باتری‌ها، سیســـتم دچار خاموشـــی می‌شود تا عمق دشارژ باتری‌ها از عدد تعیین شـــده بیشتر نشـــود. بنابراین در این ساعت، انـــرژی باقی مانده در باتری مطابق رابطـــه (۶)، برابر ظرفیت نامی باتری ضربدر عمق دشارژ مجاز (α_{DOD})آن خواهد بود.

$$E_{BAT}^{i,h} = E_{BAT,Nominal} \times \alpha_{DOD} \qquad (۶)$$



شکل ۸: الگوریتم پیشنهادی برای تعیین ضریب اصلاح پنل

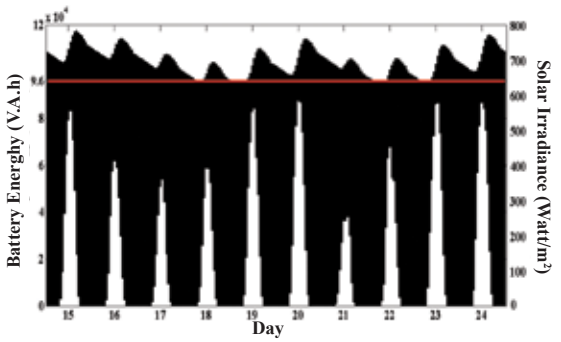
۳-۶- در صورتی که مجموع ســـاعات خاموشی سیستم از مقدار مجاز تعیین شده بیشتر است و / یا زمان‌های بروز خاموشی در بازه تعیین شـــده‌ای از شبانه‌روز قرار ندارد، ضریب اصلاح پنل‌های فتوولتاییک را بـــا پله δ افزایش بده. در غیر این صورت ضریب اصلاح به‌دســـت آمده را نمایش بده.

۳-۷- توان نامی پنل‌های فتوولتاییک را در ضریب اصلاح بدست آمده از مرحله قبل ضرب کن:

$$P_{PV}^{New} = (1+\Delta_{PV}^{New}).P_{PV-STC} \qquad (۷)$$

با وارد کردن اطلاعات سیستم نمونه در الگوریتم پیشنهادی و در نظر گرفتن حداکثر ۳۰ ســـاعت خاموشـــی در طول سال و همچنین وقوع خاموشـــی در محدوده ســـاعت ۲۴:۰۰ تا ۶:۰۰، ضریب اصلاحی توان پنل‌های فتوولتاییک برابر ۵۳٪ به‌دست می‌آید. بنابراین لازم است که در این سیســـتم ۱۳/۵ کیلووات پنل فتوولتاییک در نظر گرفته شـــود تا شـــرایط مورد نظر برای بهره‌برداری از سیســـتم تحقق یابد. در این سیســـتم نمونه، با احتساب این مقدار پنل فتوولتاییک، تعداد ساعات خاموشـــی سیستم به ۲۰ ساعت در ســـال کاهش پیدا می‌کند و تمام خاموشی‌ها نیز در بازه زمانی مذکور قرار می‌گیرد.

درشـــکل (۹) بـــا در نظـــر گرفتـــن ضریـــب اصلاحی بـــرای پنل‌های فتوولتاییک (برابر ۵۳٪)، منحنی انرژی ذخیره شده در باتری بر حسب آمپر ساعت (سطح ســـیاه رنگ) و میزان تابش نور خورشید بر حسب وات بر متر مربع (ســـطح سفید رنگ) به صورت ساعتی برای روزهای ۱۵ تا ۲۴ دی ماه رســـم شده است. در این شکل، خط قرمزرنگ، حد مجاز عمق دشـــارژ باتری (در اینجا ۵۰٪ ظرفیت نامی باتری) که برابر با ۹۶ کیلوولت آمپر ساعت می‌باشد، را نشان می‌دهد. با توجه به این



شکل۹: منحنی انرژی ذخیره شده در باتری (سطح سیاه‌رنگ) و میزان تابش نور خورشید (سطح سفیدرنگ) با در نظر گرفتن ضریب اصلاحی پنل

شکل، به علت وجود سه روز ابری متوالی در روزهای ۱۶ تا ۱۸ دی‌ماه، سیســـتم خورشیدی در ساعت ۶ روز ۱۸ام و ساعات ابتدایی روز ۱۹ام دی‌مـــاه به علت کاهـــش انرژی باتـــری به کمتر از حد عمق دشـــارژ، خاموش شده اســـت. انرژی ذخیره شده در باتری‌ها، در روزهای ۱۹ و ۲۰ دی‌ماه مجددا شروع به افزایش می‌کند اما به علت ابری شدن هوا در روز ۲۱ام و عدم وجود زمان کافی در روزهای قبل برای شارژ شدن مناســـب باتری‌ها، سیستم مجددا در ســـاعات اولیه روزهای ۲۲ و ۲۳ دی ماه دچار خاموشی شده است. با توجه به افزایش ظرفیت پنل‌های فتوولتاییک متناسب با ضریب اصلاحی به‌دست آمده، در سایر روزهای سال، هیچگونه خاموشی در این سیستم رخ نمی‌دهد.

به‌منظور مقایســـه تاثیر اســـتفاده از ضریب اصلاحی پنل‌ها، درشـــکل

ادامه در صفحه ۲۱ ≪

طراحی ریزشبکه برای یک ساختمان اداری دارای نیروگاه خورشیدی

(مطالعه موردی: نیروگاه خورشیدی الهیه)

مهدی علومی بایگی

محمد مهدی عربشاهی

محمود مهربان خمارتاش

شرکت برق منطقه‌ای خراسان

چکیده

امروزه نیاز به قابلیت اطمینان بالا در بسیاری از بارهای تجاری و صنعتی، ضرورت ایجاد ریزشبکه برای تامین بار مورد نظر در شرایط جزیره‌ای[1] را ایجاد کرده است. انرژی خورشیدی به علت پاک بودن، عدم آلودگی صوتی و همچنین برخورداری از حمایت‌های دولت به‌عنوان یک گزینه مناسب برای تامین برق ریزشبکه مدنظر است. برای ساخت یک ریزشبکه، دو گام مهم نیازسنجی فنی و اقتصادی باید در نظر گرفته شود. در این مقاله نیاز سنجی فنی و اقتصادی برای بهره‌برداری از نیروگاه فتوولتاییک الهیه مشهد به‌صورت ریزشبکه فتوولتاییک انجام می‌شود. در حال حاضر نیروگاه خورشیدی الهیه مشهد به‌صورت متصل به شبکه[2]، توان تولیدی خود را به شبکه برق شهر تحویل می‌دهد؛ اما در صورت قطعی برق این نیروگاه از مدار خارج می‌شود. در این طراحی هدف این است که با اضافه کردن تجهیزات مورد نیاز، این نیروگاه خورشیدی به همراه سیستم ذخیره‌ساز در شرایط قطعی برق بتواند به کار خود ادامه دهد و بخشی از بار ساختمان شرکت برق منطقه‌ای خراسان را تامین کند. نیازسنجی فنی شامل معرفی مبدل‌های مورد نیاز، سیستم باتری و همچنین سایر تجهیزات جانبی برای بهره‌برداری از نیروگاه خورشیدی به صورت ریزشبکه است. همچنین برای بررسی اقتصادی نیز تعداد تجهیزات مورد نیاز براساس شرایط ریزشبکه مورد نظر معرفی می‌شود.

۱- مقدمه

امروزه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به‌دلیل روند رو به رشد قیمت سوخت‌های فسیلی و هم چنین مسایل زیست‌محیطی در بازار انرژی جهان رو به افزایش است. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، وضعیت سیستم‌های فتوولتاییک از یک بازار کوچک، به سمت بازاری عمده در جهان در حال تغییر است[۱]. در حال حاضر سیستم‌های فتوولتاییک یک درصد از انرژی الکتریسیته جهان را تولید می‌کنند[۲].

مهمترین دلیل گسترش سیستم‌های فتوولتاییک، قوانین دولت‌ها و همچنین تعرفه‌های موجود برای حمایت از سیستم‌های فتوولتاییک است[۳]. قیمت اجزای سیستم‌های فتوولتاییک، به عبارتی مبدل‌های خورشیدی و ماژول‌ها، به شدت در حال کاهش است و از این رو این سیستم‌ها قابلیت رقابت در بازار را پیدا خواهند کرد. براساس داده‌های آماری، ایران در میان ۲۰ کشور اول جهان در تولید گازهای گلخانه‌ای قرار دارد[۳]. همچنین این کشور بین عرض جغرافیایی ۲۵/۱ تا ۴۰/۱ شمالی قرار دارد و از این رو در منطقه‌ای مناسب از نظر دریافت انرژی خورشیدی واقع شده است[۳]. با توجه به این ویژگی جغرافیایی مهم ایران، طرح‌های بسیاری در زمینه سیستم‌های خورشیدی در حال انجام است. یکی از این طرح‌ها، طراحی سیستم خورشیدی در شرکت برق منطقه‌ای خراسان در شهر مشهد است.

۲- طراحی ریزشبکه فتوولتاییک

تبدیل یک نیروگاه فتوولتاییک به یک ریزشبکه نیازمند دو مرحله طراحی و بررسی عملکرد سیستم است. در مرحله طراحی، تجهیزات مورد نیاز باید مشخص و برای هر یک ظرفیت مناسبی پیشنهاد شود. مهمترین موضوع در مرحله طراحی، تعیین تعداد باتری و

اینورتر مشخص برای اضافه شدن به نیروگاه فتوولتاییک است. بعد از مشخص شدن ظرفیت سیستم بانک باتری، مرحله بهره‌برداری مطرح میشود. به این معنی که در شرایط قطعی برق و اتصال به شبکه ریزشبکه چگونه عمل میکند.

به منظور طراحی یک سیستم خورشیدی برای یک بار همچون ساختمان اداری، فازهای مشخصی برای طراحی وجود دارد که باید انجام شود. اولین مرحله به‌دست آوردن اطلاعات دقیق در مورد آب و هوا و محیط مورد نظراست. در[۴]، از اطلاعات ساعتی آب و هوای یک منطقه در عمان که در طی دو سال جمع‌آوری شده، استفاده شده است. به‌جای اطلاعات ساعتی می‌توان از اطلاعات متوسط روزانه یا ماهانه نیز استفاده کرد که این نوع داده‌ها برای طراحی سیستمی در یونان استفاده شده است[۵].

گام دوم در طراحی سیستم خورشیدی تحلیل الگوی بار مصرفی است که مشابه اطلاعات آب و هوایی می‌توان از اطلاعات متوسط و یا ساعتی استفاده کرد[۶]،[۷]و [۸].

اضافه کردن باتری و اینورتر آخرین گام در طراحی سیستم فتوولتاییک است. برای به دست آوردن ظرفیت مناسب باتری، دو راه وجود دارد. راه اول فرایند حسی[۳] یا به‌عبارت بهتر تخمینی است. در[۹]،[۱۰]،[۱۱]،[۱۲] از این روش برای به‌دست آوردن ظرفیت مناسب باتری استفاده می‌شود. در این روش از مقادیر متوسط داده‌ها برای محاسبات استفاده می‌شود. این روش به‌علت سادگی و استفاده از مقادیر متوسط برای محاسبات سرانگشتی و همچنین ایجاد دیدگاه مناسب برای طراحی اولیه، بسیار مفید است. اما ایراد آن این است که نتیجه آن برای طراحی دقیق قابل استفاده نیست. لازم به‌ذکر است در شرایطی که داده‌های کافی در دسترس نباشد این روش بیشتر استفاده می‌شود. راه دیگر در تعیین ظرفیت باتری استفاده از شبیه‌سازی عددی است. در این روش وضعیت شارژ باتری و تامین بار به واسطه سیستم فتوولتاییک برای هر دوره زمانی که معمولا ساعت و یا روز می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود. در [۱۳]، با در نظر گرفتن اطلاعات دقیق مدل باتری شامل وضعیت شارژ و طول عمر باتری، اطلاعات بار و آب و هوا، ظرفیت باتری مشخص شده است. با این حال در این روش قطعی برق در نظر گرفته نشده است. در نظر نگرفتن قطعی برق به این معنا است که سیستم همیشه به شبکه متصل است و وضعیت اضطراری هیچگاه رخ نمی‌دهد که طبیعتا فرض مناسبی نیست. مرجع [۱۴] قطعی برق را نیز در نظر می‌گیرد و ظرفیت باتری را برای سیستمی با بار ساختمان تجاری، با در نظر گرفتن حداقل قابلیت اطمینان به‌دست می‌آورد. این کار برای ظرفیت‌های مختلف آرایه خورشیدی انجام شده و از بین آنها اقتصادی‌ترین گزینه انتخاب می‌شود. اما نکته مهم این است که برای هر ظرفیت آرایه خورشیدی باتری به‌دست آمده هرچند حداقل قابلیت اطمینان را ارایه می‌دهد اما لزوما برای آن آرایه خورشیدی اقتصادی‌ترین گزینه نیست. علت این موضوع این است که هر چند با افزایش قابلیت اطمینان هزینه اولیه سیستم بالاتر می‌رود اما هزینه‌های ناشی از قطعی برق که به ساختمان شرکت برق منطقه‌ای وارد می‌شود کاهش می‌یابد. از این رو هر چقدر هزینه‌های ناشی از قطعی برق بالاتر باشد، از نظر اقتصادی به صرفه‌تر است که سیستم باتری بزرگتر باشد تا قابلیت اطمینان سیستم بالاتر بشود.

در این طرح برای یک مجموعه آرایه خورشیدی ۱۱۰ کیلوواتی به همراه یک ساختمان اداری، یک سیستم باتری با ظرفیت مشخص و در نظر گرفتن تمام قیود عملی طراحی شده است. مسایلی همچون در دسترس بودن تجهیزات در ایران، نوع مناسب باتری و اینورتر و تامین برق به هر قیمتی در ساعات قطعی برق برای ساختمان برق منطقه‌ای خراسان در این مقاله در نظر گرفته شده است.

۳- نیروگاه خورشیدی الهیه

شکل (۱) نمایی از نیروگاه الهیه را نشان می‌دهد.

شکل۱: نمایی از نیروگاه الهیه

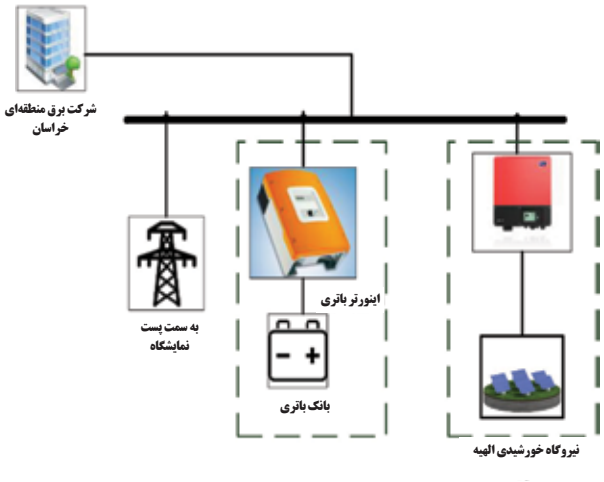
ساختار این نیروگاه به این صورت است که هر دوازده ماژول سری یک آرایه را تشکیل داده‌اند و این نیروگاه شامل ۴۵ آرایه است. هر سه آرایه که تقریباً دارای توان نامی ۷ کیلووات هستند، به یک اینورتر تک‌فاز از نوع SMC7000TL متصل شده‌اند. از این رو ۱۵ اینورتر در نیروگاه وجود دارد. این نوع اینورتر در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل۲: اینورتر متصل به شبکه نیروگاه الهیه

پنل خورشیدی از نوع AS-M200L است که توان نامی آن ۲۰۰ وات است. توان خروجی این نیروگاه حداکثر به حدود ۱۱۰ کیلووات می‌رسد.

۴- معرفی تجهیزات مورد نیاز

همانطور که در مقدمه اشاره شد یکی از اهداف این مقاله نیازسنجی فنی است. به عبارتی باید تمام تجهیزات مورد نیاز برای بهره‌برداری از نیروگاه الهیه به‌صورت ریزشبکه معرفی شود. تجهیزات اصلی برای بهره‌برداری از نیروگاه فتوولتائیک به‌صورت ریزشبکه در شکل (۳) اشاره شده است. تجهیزات اصلی عبارتند از: کلید انتقال خودکار[۴]، اینورتر باتری، بانک باتری.



شکل۳: ساختار کلی برای اضافه کردن سیستم باتری

۴-۱- اینورتر باتری

اینورتر Sunny Island 8.0 h ساخت شرکت SMA برای این طرح پیشنهاد می‌شود. شکل (۴) تصویر این اینورتر را نشان می‌دهد.

شکل۴: اینورتر Sunny Island 8.0 h [۱۵]

۴-۲- کلید انتقال خودکار

مهمترین وظیفه این تجهیز این است که در هنگام قطعی برق، با فرمان اینورتر Sunny Island 8.0h، ریزشبکه را از شبکه اصلی جدا کند. پس از آن سیستم باتری را متصل کرده و سپس اینورتر خورشیدی را نیز به ریزشبکه متصل نماید[۱۵].

۴-۳- سیستم باتری

باتری پیشنهادی برای این طرح مدل 6FM200D، است که توسط شرکت vision تولید می‌شود. جدول (۱) شامل مشخصات عمده این باتری است.

جدول ۱: مشخصات باتری مورد استفاده [۱۶]

پارامتر	مقدار
ظرفیت نامی باتری	۲۰۰ آمپر ساعت برای ۲۰ ساعت دشارژ ۱۸۷ آمپرساعت برای ۱۰ ساعت دشارژ ۱۷۹آمپرساعت برای ۵ ساعت دشارژ ۱۲۶ آمپر ساعت برای ۱ساعت
ولتاژ نامی	۱۲ ولت
خودتخلیه شدن	۳درصد در ماه

۵- نیازسنجی فنی و اقتصادی تجهیزات مورد نیاز

در این بخش تعداد تجهیزات و هزینه مورد نیاز برای طراحی ریزشبکه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. به این منظور باید تخمین درستی از بار در دسترس باشد. ریزشبکه خورشیدی باید بتواند بار ساختمان شرکت برق منطقه‌ای به‌جز سیستم تهویه را تامین کند. به عبارتی بار کامپیوترها، سیستم‌های روشنایی و غیره، بارهای مدنظر در این طراحی هستند.

براساس داده‌های موجود بار کلی ساختمان (شامل سیستم تهویه) در دسترس است. اما این مقدار بار مجموع بار سیستم تهویه و سایر تجهیزات است. در این طراحی هدف تامین بار سیستم تهویه نیست. بنابراین باید به‌نحوی مقدار بار بدون در نظر گرفتن سیستم تهویه محاسبه شود. هرگاه سیستم تهویه ساختمان خاموش باشد، بار کل ساختمان معادل با بار مورد نظر است. سیستم تهویه ساختمان در ایام خاصی از سال کاملا خاموش است. بنابراین کافی است میزان بار در این روزها در نظر گرفته شود. بارهای دیگر تقریبا در تمام ایام سال یکسان است چرا که مصارف آن مطابق با ساعات اداری و مستقل از آب و هوا است. بنابراین کافی است در یکی از روزهای سال که سیستم تهویه خاموش باشد مقدار بار مصرفی اندازه‌گیری شود. این کار با کمک پروفیل بار مصرفی ساختمان و تولید نیروگاه خورشیدی انجام شد. برای به‌دست آوردن میزان‌بار مصرفی کافی است در یک یا چند ساعت که سیستم تهویه خاموش باشد بار کل را اندازه‌گیری کرد. برای این کار از داده‌های اندازه‌گیری شده فیدرها و تولید خورشیدی استفاده شده است و در نهایت بار مصرفی مورد نظر ساختمان در حدود ۱۰۰ کیلووات است.

۵-۱- تعداد اینورترها

تعداد اینورترها براساس توان مورد نیاز برای تامین بار مشخص می‌شود. به این معنا که برای پایداری سیستم در حالت جزیره‌ای باید مجموعه‌ی اینورترها بتواند توان مورد نیاز بار را تحویل دهد. در این طراحی همانطور که قبلا ذکر شد اینورتر Sunny Island 8.0h استفاده شده است. توان بیشینه این اینورتر ۵/۴ کیلووات است. برای تامین‌بار استفاده از ۱۸ عدد اینورتر حدود ۱۰۰ کیلووات توان می‌دهد. همانطور که ذکر شد بار مصرفی در حدود ۱۰۰ کیلووات است که به نظر همین تعداد اینورتر می‌تواند بار را تامین کند. علت تاکید بر روی همین تعداد و اضافه نکردن اینورتر این است که در صورت اضافه کردن اینورتر برای سه فاز باید سه عدد اینورتر دیگر اضافه کرد که با توجه به قیمت این نوع اینورتر هزینه بسیار زیادی را تحمیل می‌کند.

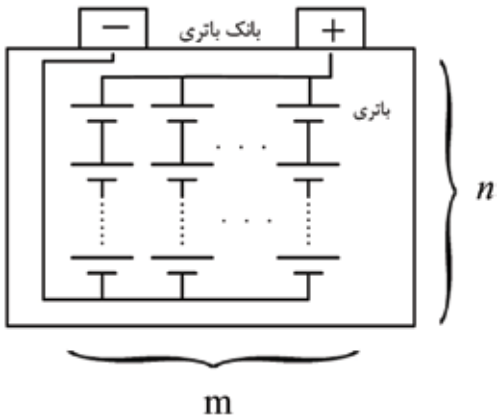
۵-۲- تعداد کلید انتقال خودکار

کلید انتقال خودکار قابلیت اتصال به یک مجموعه سه فاز اینورتر باتری یعنی سه اینورتر را دارد. بنابراین برای اتصال ۱۸ اینورتر باید از ۶ کلید انتقال خودکار استفاده کرد. در طراحی این ریزشبکه کلید انتقال خودکار با مدل 3ph battery backup G59 switch box ساخت شرکت SMA پیشنهاد می‌شود.

۵-۳- تعداد باتری

تعداد باتری بر اساس مدت زمان قطعی برق مشخص می‌شود چرا که باید انرژی مورد نیاز بار را در مدت قطعی برق و در بدترین حالت، یعنی زمانی که نیروگاه خورشیدی تولیدی نداشته باشد، تامین کند. از این رو به ازای هر ۱۵ دقیقه قطعی برق تعداد باتری‌های مورد نیاز را به‌دست خواهیم آورد. ذکر این نکته ضروری است که بار مصرفی روشنایی چون در طول روز به دما و ... وابسته نیست، تقریبا پروفیل مسطحی دارد و میزان بار به‌طور ثابت ۱۰۰ کیلووات در نظر گرفته

شده است. نکته قابل توجه دیگر این است که تعداد باتری‌ها به ولتاژ ورودی اینورتر باتری نیز وابسته است. به این معنا که بانک باتری مطابق با شکل (۵) از مجموعه سری و موازی باتری‌های 6FM200D تشکیل شده است. مساله مورد نظر به‌دست آوردن تعداد باتری‌های سری و موازی است. تعداد سری باتری‌ها از این محدودیت به‌دست می‌آید که ولتاژ ورودی اینورتر باید با ولتاژ بانک باتری یکسان باشد. ولتاژ ورودی Sunny Island 8.0h 48 ولت و ولتاژ باتری نیز مطابق با جدول(۱)، ۱۲ ولت است. بنابراین تعداد باتری سری (n) باید ۴ باشد. تعداد باتری موازی (m) نیز براساس انرژی مورد نیاز در شرایط قطعی برق به‌دست می‌آید.



شکل۵: شکل ساده شده بانک باتری متشکل از باتری‌های سری و موازی

هزینه کل

در این بخش به ازای هر مدت زمان قطعی برق تجهیزات مورد نیاز معرفی شده است. لازم به‌ذکر است که تعداد اینورتر به توان بار وابسته است، پس ثابت است. تعداد کلید انتقال خودکار نیز براساس تعداد اینورترها مشخص می‌شود و به قطعی برق ارتباطی ندارد و تعداد آن ثابت است. تنها تجهیز مهم همان باتری است که براساس قطعی برق تغییر می‌کند.

برای محاسبه تعداد باتری به ازای هر ۱۵ دقیقه قطعی برق ظرفیت باتری مورد نیاز محاسبه شده و تعداد باتری‌ها به‌دست می‌آید. تعداد باتری بر اساس مدت قطعی برق به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

(۱)

$$N=(T\times Load)/(Cap\times DOD_{max}\times\eta\times(1-Caploss))$$

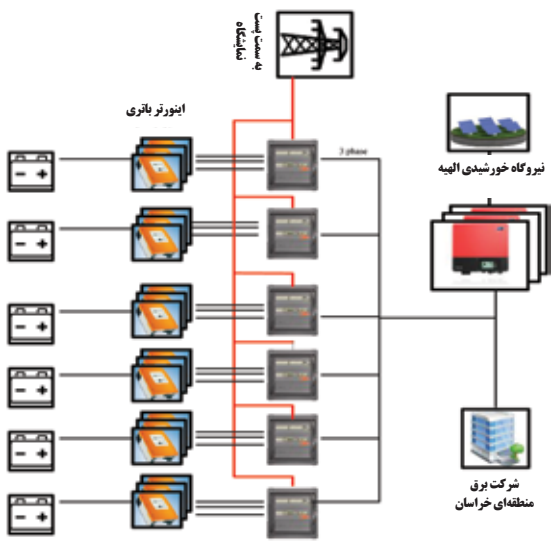
که در آن T مدت زمان قطعی برق، Load مقدار بار مصرفی ساختمان، Cap ظرفیت باتری و η نیز بازدهی اینورتر باتری، Caploss میزان کاهش ظرفیت باتری به خاطر طول عمر باتری است؛ DOD_{max} حداکثر مقدار مجاز از ظرفیت باتری برای دشارژ کردن است. این مقدار معمولا برای هر باتری توسط تولیدکننده آن ارایه می‌شود تا از دشارژ کردن بیش از حد باتری که باعث آسیب رسیدن به آن می‌شود جلوگیری شود. نهایتا N تعداد باتری مورد نیاز است. لازم به ذکر است Caploss در محاسبات همان مقدار کاهش ظرفیت نامی باتری است که به صورت متوسط ۵ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به نوع باتری مورد استفاده DOD_{max} نیز ۹۵ درصد درنظر گرفته شد. با توجه به توضیحات ارایه شده در نهایت هزینه تمام تجهیزات مورد نیاز در جدول (۲) نشان داده شده است. در این جدول قیمت تجهیزات با در نظر گرفتن مالیات و هزینه حمل و نقل محاسبه شده است.

۶- عملکرد ریزشبکه

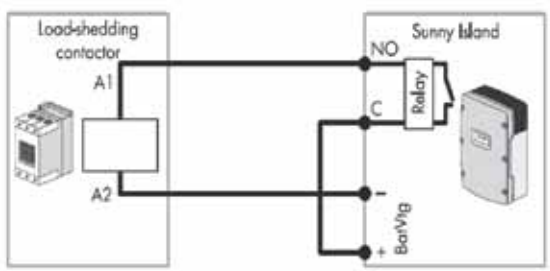
مطابق با تجهیزات معرفی شده و تعداد آنها، ساختار ریزشبکه به صورت شکل (۶) است. همانطور که در شکل دیده می‌شود شش گروه اینورتر دوطرفه در ریزشبکه است که هر گروه شامل سه اینورتر تک‌فاز است. در هر گروه یک اینورتر به‌صورت پایه [۵] و دو اینورتر دیگر به‌صورت پیرو[۶] است. در حالت متصل به شبکه اینورتر دوطرفه Sunny Island 8.0h از طریق اتصال به کلید انتقال خودکار ولتاژ لحظه‌ای شبکه را پایش می‌کند و در صورتی که اندازه و فرکانس ولتاژ از محدوده‌ای خارج شود رله‌ی موجود در اینورتر عمل کرده و دستور ایزوله شدن ریزشبکه از شبکه برق شهر را می‌دهد.

در شرایط جدا از شبکه اینورتر دوطرفه پایه ولتاژ سینوسی تولید می‌کند. اینورترهای پیرو به واسطه کابل مخابراتی به اینورتر پایه متصل هستند. در نتیجه این سه اینورتر با هماهنگی یکدیگر ولتاژ سه فاز متعادل و متقارن ایجاد میکنند. با این کار مرجع سه فاز سنکرون برای اینورتر SMC7000TL که به صورت متصل به شبکه کار می‌کند، ایجاد می‌شود. در واقع اینورتر باتری با ایجاد مرجع سنکرون از خاموش شدن اینورتر نیروگاه جلوگیری می‌کند. در شرایط جدا از شبکه اگر میزان توان تولیدی از مصرف بیشتر باشد، اینورتر دوطرفه باتری به‌صورت یکسوساز عمل کرده و شروع به شارژ باتری می‌کند. اگر میزان مصرف از تولید نیروگاه بیشتر باشد اینورتر شروع به تخلیه باتری می‌کند.

در صورتی‌که وضعیت شارژ باتری از حدی کمتر شود مطابق با شکل (۷) رله اینورتر دوطرفه عمل کرده و در نتیجه کنتاکتور، بارهای با اولویت پایین‌تر را قطع می‌کند.

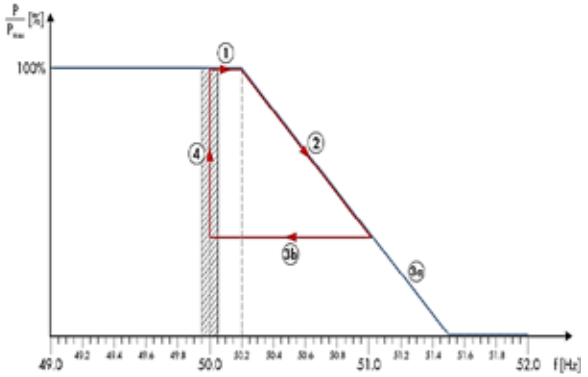


شکل۶: ساختار ریزشبکه



شکل۷: حذف بار در ریزشبکه

اگر شارژ باتری باز هم کاهش یابد اینورتر باتری برای محافظت به‌صورت خودکار خاموش می‌شود.
در شرایط جدا از شبکه، در صورتی که شارژ باتری به‌حداکثر خود رسیده باشد و از طرف دیگر میزان تولید از مصرف بیشتر باشد، باید توان تولیدی نیروگاه کاهش یابد. برای اینکار اینورتر دوطرفه باتری فرکانس ریزشبکه را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر اینورتر SMC7000TL می‌تواند برحسب فرکانس شبکه توان خود را تغییر دهد. شکل (۸) منحنی تغییرات توان خروجی اینورتر نیروگاه برحسب فرکانس را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود با افزایش فرکانس توان تولیدی آن کاهش می‌یابد. بنابراین از شارژ شدن بیش از حد باتری جلوگیری شده و مانع آسیب رسیدن به آن می‌شود.



شکل ۸: تغییرات توان نسبت به فرکانس در اینورتر نیروگاه

نحوه عملکرد این منحنی به‌شرح ذیل است:
تا زمانی که فرکانس ۵۰Hz باشد اینورتر نیروگاه در حداکثر توان خود کار می‌کند. این موضوع تا زمانی که فرکانس به ۵۰/۲ Hz نرسیده باشد برقرار است. این مقدار فرکانس نیز قابل تنظیم است. (قسمت ۱ منحنی). از فرکانس ۵۰/۲ Hz توان خروجی اینورتر با شیب ۷۷% توان نامی بر هرتز کاهش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که فرکانس به‌صورت لحظه‌ای توسط این اینورتر پایش می‌شود. شیب کاهش توان نیز قابل تنظیم است (قسمت ۲ منحنی). اگر فرکانس همچنان افزایش یابد اینورتر نیروگاه نیز توان خروجی خود را کاهش می‌دهد تا جایی که توان آن به صفر در فرکانس ۵۱/۵ Hz می‌رسد (قسمت a۳ منحنی). اگر فرکانس سیستم در مقداری بیشتر از ۵۰/۲ Hz ثابت بماند یا پس از مدتی از این مقدار شروع به کاهش کند، توان اینورتر نیروگاه ثابت باقی می‌ماند (قسمت b۳ منحنی). به محض این که فرکانس سیستم به ۵۰/۰۵ Hz برسد، اینورتر توان خود را با نرخ ۱۰% توان نامی بر دقیقه افزایش می‌دهد. شیب افزایش توان نیز قابل تغییر است.

۷- زیرساخت ارتباطی مورد نیاز

یکی از مهمترین ویژگی‌های یک ریزشبکه هوشمند امکان فروش برق به‌صورت برنامه‌ریزی شده است. در حال حاضر پیاده‌سازی بازار برق از اهداف این طراحی نیست؛ چرا که قیمت برق در ایران بسیار پایین است و حتی سیاست‌های حمایتی سال‌های اخیر دولت از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز این کار را توجیه نمی‌کند. از این رو شارژ و دشارژ کردن مداوم باتری در طول شبانه‌روز برای فروش برق برنامه‌ریزی شده صرفه اقتصادی ندارد.
هرچند در حال حاضر موضوع بازار برق مدنظر نیست، اما پیش‌بینی این مساله برای ریزشبکه موضوعی حیاتی به‌نظر می‌رسد؛ زیرا انتظار می‌رود در آینده قیمت برق به‌مقدار واقعی خود نزدیک‌تر شود و حمایت‌های دولت نیز از انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش یابد. برای این موضوع اولا نیازمند یک اندازه‌گیر بانام SMA Bidiectional Energy Meter در محل اتصال ریزشبکه به شبکه برق شهر است تا میزان انرژی ورودی به ریزشبکه و یا خروجی از آن به‌صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری شود. ثانیا برای مدیریت انرژی و بازار برق باید از دستگاه Sunny Home Manager ساخت شرکت SMA استفاده کرد. عملکرد این دستگاه به این صورت است که با استفاده از کابل ارتباطی به‌صورت لحظه‌ای میزان انرژی مبادله شده با شبکه را از اندازه‌گیر در ابتدای ریزشبکه دریافت می‌کند. از طرف دیگر با استفاده از پروفیل بار تخمینی در ساعات آینده و همچنین اطلاعات آب و هوایی، برای میزان شارژ و دشارژ باتری تصمیم‌گیری می‌کند. پروفیل بار با استفاده از مصرف بار در روزهای گذشته در همان ساعت تخمین زده می‌شود که برای این پروژه منطقی است؛ چرا که نوع بار به وضعیت آب و هوایی وابسته نیست و تقریبا در تمام سال پروفیل مصرفی مشابه‌ی دارد. برای به‌دست آوردن وضعیت آب و هوایی نیز این دستگاه از طریق اینترنت از مرجعی که شرکت SMA فراهم کرده است استفاده می‌کند. میزان تولید نیز با استفاده از نوع ماژول و اطلاعات آن و با استفاده از داده‌های به‌دست آمده تخمین زده می‌شود.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله نیاز سنجی فنی و اقتصادی برای بهره‌برداری از نیروگاه فتوولتاییک الهیه به‌صورت ریزشبکه انجام شد. با بررسی تعداد تجهیزات مورد نظر براساس شرایط موجود هزینه مورد نیاز تخمین زده شد. این کار با ارایه سناریوهای مختلف براساس مدت زمان قطعی برق انجام شد. با بررسی‌های انجام شده، تجهیزات اصلی شامل ۱۸ اینورتر Sunny Island 8.0h و ۶ کلید انتقال خودکار شد. تعداد باتری‌ها در سناریوهای مختلف از ۳۲ باتری vision تا ۲۴۰ باتری تغییر می‌کند. سپس عملکرد ریزشبکه هوشمند در حالت متصل به شبکه و جدا از شبکه مورد بررسی قرار گرفت. نهایتا زیرساخت ارتباطی مورد نیاز برای بهره‌برداری از نیروگاه به‌صورت ریزشبکه هوشمند معرفی شد تا در آینده بتوان موضوعاتی مانند بازار برق را در ریزشبکه پیاده‌سازی کرد.

***

پی‌نوشت‌ها:

1- Islanded mode
2- On-grid
3- Intuitive
4- Automatic transfer switch
5- Master
6- Slave

مراجع:

[1] [Online]. Available: http://www.epa.org.
[2] [Online]. Available: http://www.iea-pvps.org.
[3] Alamdari, Pouria, Omid Nematollahi, and Ali Akbar Alemrajabi, «Solar energy potentials in Iran: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 21, pp. 778-788, 2013.
[4] Kazem, Hussein A., Tamer Khatib, and K. Sopian, «Sizing of a standalone photovoltaic/battery system at minimum cost for remote housing electrification in Sohar, Oman," *Energy and Buildings,* vol. 61,pp. 108-115, 2013.
[5] Soras, C., and V. Makios, «A novel method for determining the optimum size of stand-alone photovoltaic systems,» *Solar Cells,* vol. 25, no. 2, pp. 127-142, 1988.
[6] Gokcol, Cihan, and Bahtiyar Dursun, «A comprehensive economical and environmental analysis of the renewable power generating systems for Kırklareli University, Turkey," *Energy and*

[11] J. CHAMBERLAIN, «IEEE Recommended Practice for Sizing Lead Acid Batteries in Photovoltaic Systems," Institute of Electrical and Electronics Engineers.
[12] McEvoy, Augustin, et al., eds, Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications, Elsevier, 2003.
[13] Aichhorn, Andreas, et al, «A cost effective battery sizing strategy based on a detailed battery lifetime model and an economic energy management strategy,» in *Power and Energy Society General Meeting*, 2012.
[14] Tan, Chee Wei, Tim C. Green, and Carlos A. Hernandez-Aramburo, «A stochastic method for battery sizing with uninterruptible-power and demand shift capabilities in PV (photovoltaic) systems,» *Energy,* vol. 35, no. 12, pp. 5082-5092, 2010.
[15] [Online]. Available: http://www.sma.de
[16] [Online]. Available: http://www.vision-batt.com
[17] [Online]. Available: http://www.amazon.com
[18] [Online]. Available: http://www.windandsun.co.uk

Buildings, vol. 64, pp. 249-257, 2013.
[7] W. X. Shen, «Optimally sizing of solar array and battery in a standalone photovoltaic system in Malaysia," *Renewable energy,* vol. 34, no. 1, pp.348-352,.2009
[8] Tan, Chee Wei, Tim C. Green, and Carlos A. Hernandez-Aramburo, «A stochastic method for battery sizing with uninterruptible-power and demand shift capabilities in PV (photovoltaic) systems," *Energy,* vol. 35, no. 12, pp. 5082-5092, 2010.
[9] Sharma, Vinod Kumar, Antonio Colangelo, and Giuseppe Spagna,»Photovoltaic technology: basic concepts, sizing of a stand alone photovoltaic system for domestic applications and preliminary economic analysis," Energy conversion and management, vol. 36, no. 3, pp. 161-174, 1995.
[10] Al-Ismaily, Hilal A., and Douglas Probert, «Photovoltaic electricity prospects in Oman," Applied energy, vol. 59, no. 2, pp. 97-124, 1998. McEvoy, Augustin, et al., eds, Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications, Elsevier, 2003.

جدول۲: تجهیزات مورد نیاز بر اساس زمان قطعی برق

ردیف	تجهیز مورد نیاز	باتری	اینورتر	جعبه سوییچ	هزینه کل به دلار
	نوع تجهیز مورد استفاده	Vision 6FM200D	Sunny island 8.0h (شامل تجهیزات جانبی)	Automatic Transfer 3ph battery) Switch backup G59 switch (box	
	قیمت تجهیز	۴۲۸ دلار [۱۷]	۴۳۰۰ دلار [۱۸]	۱۸۰۰ دلار [۱۸]	
۱	۱۵ دقیقه	۳۲	۱۸	۶	۱۰۲۰۰۰
۲	۳۰ دقیقه	۴۸	۱۸	۶	۱۰۹۰۰۰
۳	۴۵ دقیقه	۶۴	۱۸	۶	۱۱۶۰۰۰
۴	۱ ساعت	۷۶	۱۸	۶	۱۲۱۰۰۰
۵	۷۵ دقیقه	۸۸	۱۸	۶	۱۲۶۰۰۰
۶	۹۰ دقیقه	۱۰۰	۱۸	۶	۱۳۱۰۰۰
۷	۱۰۵ دقیقه	۱۱۲	۱۸	۶	۱۳۶۰۰۰
۸	۲ ساعت	۱۲۰	۱۸	۶	۱۴۰۰۰۰
۹	۱۳۵ دقیقه	۱۳۲	۱۸	۶	۱۴۵۰۰۰
۱۰	۱۵۰ دقیقه	۱۴۰	۱۸	۶	۱۴۸۰۰۰
۱۱	۱۶۵ دقیقه	۱۵۲	۱۸	۶	۱۵۳۰۰۰
۱۲	۳ ساعت	۱۶۰	۱۸	۶	۱۵۷۰۰۰
۱۳	۱۹۵ دقیقه	۱۷۲	۱۸	۶	۱۶۲۰۰۰
۱۴	۲۱۰ دقیقه	۱۸۰	۱۸	۶	۱۶۵۰۰۰
۱۵	۲۲۵ دقیقه	۱۹۲	۱۸	۶	۱۷۰۰۰۰
۱۶	۴ ساعت	۲۰۰	۱۸	۶	۱۷۴۰۰۰
۱۷	۲۵۵ دقیقه	۲۱۲	۱۸	۶	۱۷۹۰۰۰
۱۸	۲۷۰ دقیقه	۲۲۰	۱۸	۶	۱۸۲۰۰۰
۱۹	۲۸۵ دقیقه	۲۳۲	۱۸	۶	۱۸۷۰۰۰
۲۰	۵ ساعت	۲۴۰	۱۸	۶	۱۹۱۰۰۰

فناوری سلول خورشیدی رکتنی از تئوری تا عمل

وحید خوشدل/ دانشجوی دکتری مخابرات میدان، دانشگاه فردوسی مشهد
v.khoshdel3380@gmail.com،
مهرداد شکوه صارمی/ دانشیار گروه مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد،
m_saremi@um.ac.ir

چکیده
تقاضا برای استفاده از فن‌آوری‌های جمع‌آوری انرژی خورشیدی به شکل روز افزونی در حال افزایش است. یکی از این فن‌آوری‌ها، سلول‌های خورشیدی هستند که از آنها برای جمع‌آوری انرژی خورشیدی و تولید الکتریسیته استفاده می‌شود. از اصلی‌ترین معایب این فن‌آوری، راندمان پایین و وابستگی شدید آن به نور روز و تغییرات شرایط آب و هوایی است. علاوه بر این، آنها به یک سیستم مکانیکی ردیاب خورشیدی جهت افزایش راندمان خود نیاز دارند. طی سالیان اخیر اقدامات قابل توجهی برای جایگزینی پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک با نانوآنتن‌های نوری برای غلبه بر معایب سلول‌های خورشیدی فعلی صورت گرفته است. ایده جمع‌آوری انرژی خورشیدی و تشعشعات زمینی با استفاده از نانوآنتن‌ها بر این اساس است که هنگامی‌که موج الکترومغناطیسی خورشیدی به یک نانوآنتن برخورد می‌کند، یک جریان متغیر با زمان بر روی سطح نانوآنتن ایجاد شده و در نتیجه ولتاژی در محل تغذیه آن تولید می‌شود، از این رو با جایگذاری یکسوسازی مناسب در محل تغذیه نانوآنتن، توان DC مطلوب تولید می‌گردد. به این گونه سیستم‌های جمع‌آوری انرژی خورشیدی که شامل یک آنتن و یک یکسوساز است، رکتن می‌گویند. با توجه به فراهم بودن فناوری لازم برای ساخت ساختارهای با ابعاد نانو، امروزه امکان ساخت نانوآنتن‌ها امکان‌پذیر شده است. در این مقاله ما به بررسی و معرفی سیستم رکتن خورشیدی جهت جمع‌آوری انرژی خورشیدی می‌پردازیم.

کلمات کلیدی: رکتن، نانوآنتن، یکسوساز

۱- مقدمه

در طی سال‌های اخیر شاهد افزایش روزافزون وابستگی بشر به انرژی بوده‌ایم، در حالی که انرژی اصلی مصرفی انسان‌ها سوخت‌های فسیلی بوده، اما با توجه به تجدیدناپذیر بودن و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از این سوخت‌ها، انسان همواره به دنبال سوختی پاک و تمام نشدنی بوده است. یکی از این گزینه‌ها استفاده از انرژی خورشید است. انرژی خورشیدی که بزرگترین منبع انرژی می‌باشد، پس از عبور از جو به سطح زمین می‌رسد. انرژی‌ای که از طریق خورشید به زمین می‌رسد ۱۰۰۰۰ بار بیشتر از انرژی مورد نیاز انسان است. مصرف انرژی در سال ۲۰۵۰ یعنی سال ۱۴۲۹ خورشیدی (۳۴ سال دیگر) ۵۰ تا ۳۰۰ درصد بیشتر از مصرف امروزی آن خواهد بود. با این حال اگر فقط ۰/۱ درصد از سطح زمین با مبدل‌های انرژی خورشیدی پوشیده شوند و تنها ۱۰ درصد بازده داشته باشند، انرژی مورد نیاز بشر تامین می‌شود. چگالی توان تشعشعی تابش خورشیدی که وارد جو زمین می‌شود تقریبا برابر $1370\ W/m^2$ می‌باشد[۱]. این طیف تشعشعی خورشید دارای باند فرکانسی بسیار وسیعی است که به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

تابش فرابنفش با طول موج‌های $\lambda < 400\ nm$ (فرکانس‌های بیشتر از ۷۵۰ تراهرتز) که شامل ۹ درصد طیف فرکانسی می‌باشد، نور مرئی با طول‌موج $400\ nm < \lambda < 700\ nm$ (فرکانس‌های بین ۴۲۸ تا ۷۵۰ تراهرتز) که شامل ۳۹ درصد طیف و بالاخره فروسرخ با طول موج $700\ nm < \lambda < 1000\ \mu m$ (فرکانس‌های بین ۰/۳ تا ۴۲۸ تراهرتز) که شامل ۵۲ درصد طیف فرکانسی تابش خورشیدی است. هرچند همه تابش خورشیدی به زمین نمی‌رسد اما تابش‌هایی که به زمین می‌رسند شامل مقدار زیادی انرژی هستند. این انرژی

توسط هر شی بر روی کره‌زمین جذب و به گرما تبدیل می‌شود. از زمان شناخت پدیده فتوولتاییک در اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی رشد و توسعه این فناوری با سرعت بسیار بالایی ادامه داشته است. در حال حاضر دو فناوری عمده براساس استفاده از سیلیکون و لایه‌های نازک در ساخت سلول‌های خورشیدی رواج دارند. سلول سیلیکون بلوری که نخستین نسل از سلول‌های خورشیدی است به دو صورت تک بلوری و چند بلوری تولید می‌شود. این فناوری هر چند امروزه بیشترین استفاده را در بازار سیستم‌های فتوولتاییک دارد اما از معایب آن می‌توان به هزینه تولید بسیار زیاد آن اشاره کرد. در فناوری سلول خورشیدی لایه نازک هر چند هزینه تولید کاهش یافته است اما به نسبت فناوری سیلیکونی از بازدهی کمتری برخوردار است، طوریکه بهترین بازده آزمایشگاهی به‌دست آمده از این روش از ۲۰ درصد فراتر نمی‌رود. با توجه به اینکه این نوع فن‌آوری سلول‌های خورشیدی به‌علت راندمان پایین به خوبی پوشش دهنده نیازهای تجاری نبوده است، صنعت فتوولتاییک در حوزه تجاری نیاز به فن‌آوری‌هایی با بهره بالاتر و قیمت ارزان‌تر پیدا کرده است. راه حلی که در این حوزه جهت افزایش بهره‌وری در فناوری سلول‌های خورشیدی پیشنهاد شده است، استفاده از نانوآنتن‌های نوری به همراه یکسوسازی مناسب در محل تغذیه نانوآنتن می‌باشد که تشکیل دهنده یک مجموعه به نام رکتن (rectifier+antenna = rectenna) است. راندمان سلول‌های خورشیدی معمولی در بهترین حالت حدود ۳۰ درصد است، در حالی که با استفاده از این نانوآنتن‌ها راندمان تئوری تا بیش از ۸۵ درصد قابل دسترسی است[۲].

ایده تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته اولین‌بار در سال ۱۹۷۲ توسط دانشمندی به نام بیلی(Bailey) مطرح گردید[۳]. این ایده تا سال ۲۰۰۵ به دلیل عدم توانایی ساخت ساختارهای با ابعاد نانو در مقیاس تجاری مورد توجه قرار نگرفت. اما در طی سالیان اخیر با توجه به پیشرفت فناوری نانو و امکان ساخت آنتن‌ها و یکسوکننده‌های نانومتری، سیستم رکتن خورشیدی به‌عنوان جایگزینی برای پنل‌های فتوولتاییک فعلی جهت تولید الکتریسیته پیشنهاد شده است. میلیون‌ها عدد نانوآنتن به همراه یکسوساز مناسب در سیستم رکتن خورشیدی در کنار یکدیگر به‌صورت آرایه‌ای قرار می‌گیرند تا توان DC مطلوب تولید گردد، در شکل (۱) یک سیستم رکتن خورشیدی با استفاده از نانوآنتن‌های دوقطبی نشان داده شده است.

سیستم رکتن خورشیدی با جذب انرژی تابیده شده از طرف زمین (تشعشعات زمینی) در طول موج‌های نزدیک ۱۰ میکرومتر، در طی شب هم می‌تواند کارایی داشته باشد. علاوه بر این از آنجایی که نانوآنتن‌ها ویژگی جذب زاویه وسیعی دارند، به سیستم ردیاب خورشیدی جهت تعقیب کردن مسیر خورشید نیازی ندارند.

در این مقاله به معرفی سلول خورشیدی رکتنی و نحوه عملکرد آن پرداخته شده است.

۲- ساختار و تئوری عملکرد

همانند آنتن‌های رادیویی و مایکروویوی، نانوآنتن‌های نوری به موج الکترومغناطیسی (نور مرئی و فروسرخ) پاسخ می‌دهند. با تحریک یک جریان AC بر روی سطح آنتن یک میدان الکتریکی در محل حفره تغذیه آنتن متمرکز می‌شود، این میدان بزرگ در محل حفره آنتن به‌وسیله یک یکسوساز می‌تواند به یک توان DC تبدیل گردد. هنگامی‌که یک میدان الکتریکی تابشی E^i به سطح آنتن برخورد می‌کند، کل میدان الکتریکی مماسی E^t برابر است با:

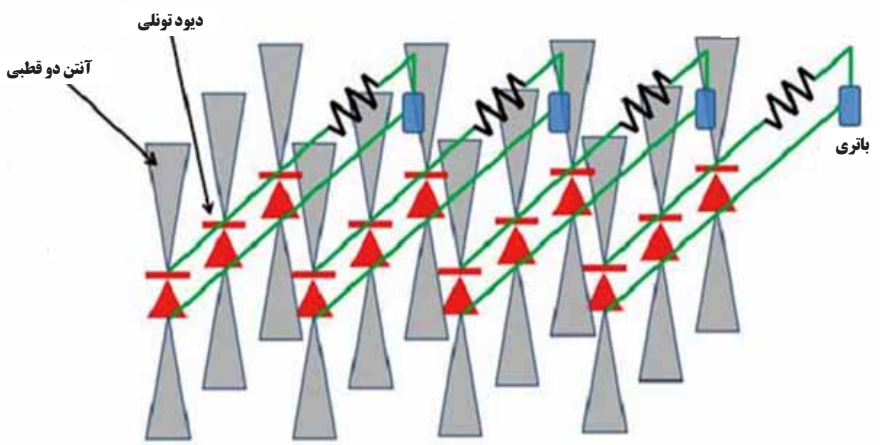
$$E^t = E^i + E^s$$

که در این رابطه E^s میدان الکتریکی پراکنده شده می‌باشد. براساس قانون شرایط مرزی الکترومغناطیس، میدان الکتریکی مماسی روی سطح آنتن صفر است، یعنی $E^t = 0$. این قاعده برای آنتن‌های معمولی که در فرکانس‌های رادیویی و مایکروویوی کار می‌کنند برقرار است چرا که در این حالت فلزات رساناهای کاملی در نظر گرفته می‌شوند و داریم $E^s = -E^i$. اما این قاعده برای آنتن‌های نوری که در فرکانس‌های نوری و فروسرخ کار می‌کنند به‌دلیل اینکه فلزات در این فرکانس‌ها رساناهای کاملی نیستند دیگر برقرار نیست. فلزات در این فرکانس‌ها رسانندگی کمتری از خود نشان داده و ویژگی‌های دی‌الکتریک وابسته به فرکانس دارند. گذردهی الکتریکی نوری فلزات در این حالت مشابه سیستم‌های رادیویی و مایکروویوی نبوده و طبق مدل درود (Drude model) به صورت رابطه (۲) بیان می‌گردد[۲]:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_\infty - \frac{f_p^{\,2}}{\left(f^2 + jf_p\Gamma\right)} \qquad (۲)$$

در این رابطه ε_∞ بیانگر ثابت دی‌الکتریک در فرکانس‌های بالا، f_p فرکانس پلاسماو Γ فرکانس میرایی است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود ثابت دی‌الکتریک ε_r وابسته به فرکانس می‌باشد.

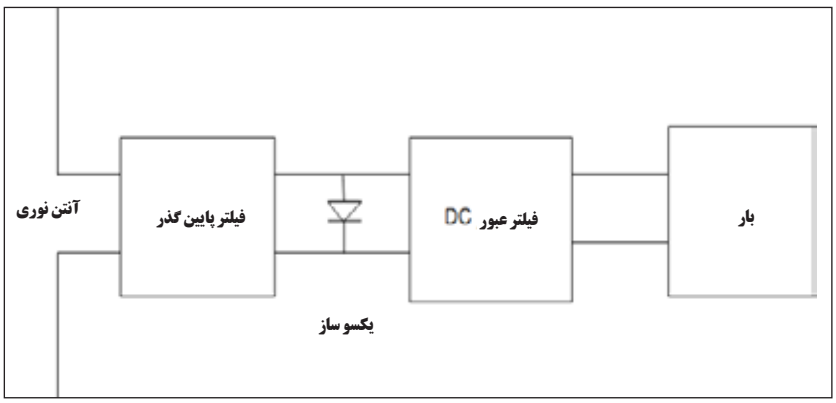
بلوک دیاگرام یک نمونه سیستم رکتن خورشیدی در شکل(۲) نشان داده شده است. در این سیستم، نانوآنتن وظیفه دریافت موج الکترومغناطیسی خورشیدی در یک باند فرکانسی مشخص و تحویل



شکل ۱: طرح شماتیک یک مجموعه رکتن خورشیدی متشکل از نانوآنتن‌های دوقطبی

آن به یک فیلتر پایین‌گذر را دارد. فیلتری که بین نانوآنتن و یکسوساز قرار دارد سیگنال‌های تراهرتزی تولیدی را عبور داده و با جلوگیری از تابش مجدد هارمونیک‌های بالاتر تولیدی توسط فرآیند یکسوسازی، موجب کاهش تلفات می‌شود. سیگنال یکسو شده پس از عبور از فیلتر عبور DC به سمت بار منتقل می‌شود.

انتخاب یکسوساز مناسب برای سیستم رکتنی براساس فرکانس کاری آن می‌باشد. در فرکانس ۳۵ گیگا هرتز دیودهای شاتکی (Schottky) گالیم آرسنایدطراحی شده‌اند. هرچند این دیودها در فرکانس‌های ابعاد نانومتر نیاز است. از آنجایی که استفاده از نانوآنتن‌های نوری برای جمع‌آوری انرژی خورشیدی ارایه دهنده یک راه‌حل عملی با راندمان بالا نسبت به سایر فناوری‌های فتوولتاییک رایج مثل پنل‌های خورشیدی است، منجر به توسعه سریعی در صنعت نانو و مواد نوری گشته است. نانوآنتن‌ها کاربرد های زیادی در ناحیه فرکانسی نور مرئی و فروسرخ دارند به همین دلیل توانایی افزایش بر هم کنش بین امواج نوری با مواد با مقیاس نانو را فراهم می‌سازند[۴]. آنتن‌های نوری یا همان نانوآنتن‌ها ایده‌ای نو در فیزیک نوری هستند،

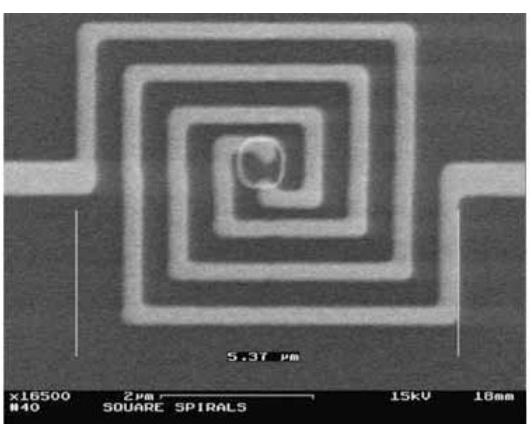


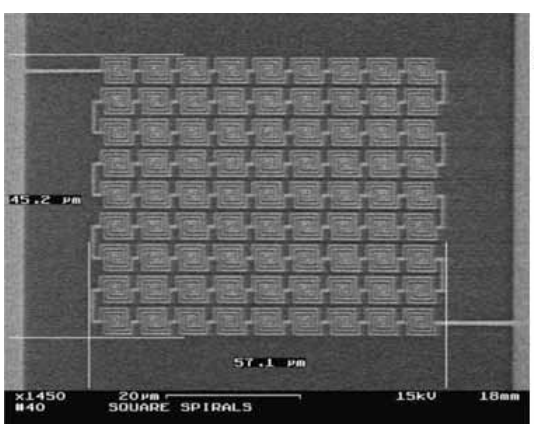
شکل۲: بلوک دیاگرام یک سیستم رکتن خورشیدی

فروسرخ و تراهرتز هم به کار می‌روند. برای فرکانس‌های بیش از ۱۲ تراهرتز دیودهای پاسخ سریع MIM (Metal-Insulator-Metal) پیشنهاد شده‌اند. دیود MIM یک قطعه فیلم نازک متشکل از یک لایه عایقی با ضخامت چند نانومتر که بین دو الکترود فلزی پیچیده شده، می‌باشد. جهت تطبیق امپدانسی و در نتیجه افزایش راندمان سیستم، مقاومت آنتن نزدیک به مقاومت دیود در نظر گرفته می‌شود. حال به تفکیک به بررسی هر یک از قسمت های سیستم رکتن خورشیدی می‌پردازیم.

۲-۱- نانوآنتن

آنتن وسیله‌ایست که می‌تواند موج الکترومغناطیسی موجود در فضا را دریافت کند. جهت دریافت موج الکترومغناطیسی خورشیدی توسط آنتن بایستی ابعاد آنتن در مرتبه‌ای از اندازه طول‌موج ورودی به سطح آن باشد لذا جهت دریافت تابش‌های خورشیدی که طول‌موج‌های ناحیه فروسرخ، مرئی و فرابنفش را شامل می‌شوند به آنتنی با و عملکردشان مشابه آنتن‌های رادیویی و مایکروویوی است. هدف در آنتن‌های نوری تبدیل انرژی تشعشع فضای آزاد به یک انرژی محلی شده و برعکس است. در شکل(۳) یک نوع از نانوآنتن‌ها نشان داده شده است. از آنجایی که استفاده از آنتن‌های نوری برای جمع آوری انرژی خورشیدی ارایه دهنده یک راه حل عملی با راندمان بالا نسبت به سایر فناوری‌های فتوولتاییک رایج مثل پنل‌های خورشیدی است، منجر به توسعه سریعی در صنعت نانو و مواد نوری گشته است. آنتن‌های نوری کاربردهای زیادی در ناحیه فرکانسی نور مرئی و فروسرخ دارند به همین خاطر توانایی افزایش بر هم کنش بین امواج نوری با مواد با مقیاس نانو را فراهم می‌سازند. آنتن نوری ایده‌ای نو ظهور در فیزیک نوری است. مشابه آنچه درآنتن‌های رادیویی و مایکروویوی وجود دارد، هدف در آنتن‌های نوری یا نانوآنتن ها تبدیل انرژی تشعشع فضای آزاد به یک انرژی محلی شده و برعکس است. آنتن نوری شباهت زیادی با همتای رادیویی خود دارد، اما در کنار





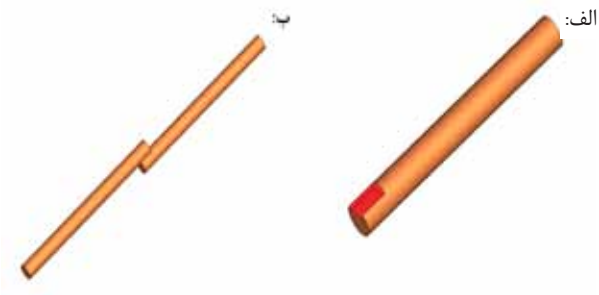
شکل۳: (الف) نانوآنتن مارپیچی متصل به یکسوساز و (ب) آرایه‌ی دو بعدی نانوآنتن‌های مارپیچی جهت جمع‌آوری انرژی خورشیدی[۵]

این شباهت‌ها تفاوت‌های زیادی مثل تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی و ابعاد با یکدیگر دارند. اکثر این تفاوت‌ها بر گرفته از این حقیقت است که فلزات، رساناهای کاملی در فرکانس‌های نوری نیستند.

۲-۲- یکسوساز نانومتری

همان‌طور که ذکر شد، جهت تبدیل سیگنال ورودی از نانوآنتن به توان DC بایستی یکسوساز مناسبی به نانوآنتن متصل گردد. در حال حاضر یکسوسازی که بتواند در فرکانس‌های خیلی بالا (بیش از ۳۰ تراهرتز) کار کند، وجود ندارد. دیود شاتکی (Schottky diode)که یک دیود نیمه‌هادی با افت ولتاژ پایین و سرعت پاسخ‌دهی به نسبت سریع می‌باشد، توانایی یکسوسازی و آشکارسازی سیگنال‌های با فرکانس تا ۵ تراهرتز را دارد[۶]. متداول‌ترین یکسوساز مورد استفاده در سلول خورشیدی رکتنی دیود MIM (Metal-Insulator-Metal) است، این دیود شامل یک لایه‌ی عایقی نازک به ضخامت چند نانومتر است که بین دو صفحه‌ی الکترود فلزی قرار گرفته است[۶]. یکسوسازی سیگنال‌های ورودی بر اساس فرآیند تونل‌زنی الکترون در طول لایه‌ی عایقی اتفاق می‌افتد. دیود MIM به دلیل زمان تونل‌زنی فمتوثانیه‌ی یک الکترون در طول یک سد و افزایش چشم‌گیر سرعت پاسخ‌دهی می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای دیود شاتکی در ناحیه‌ی فرکانسی فروسرخ و مرئی به کار رود[۶]. دیودهای MIM عملکرد قابل قبولی را در تبدیل سیگنال‌های تراهرتزی به خروجی DC از خود نشان داده‌اند.

جهت ساخت چنین دیودی، در یک بازوی نانوآنتن دوقطبی یک خراشیدگی به اندازه‌ی ۵۰×۵۰ نانومتر مربع جهت ایجاد فضایی برای قرارگیری دیود MIM طبق شکل (۴- الف) ایجاد شده است. دو بازوی دوقطبی بر روی یک ناحیه به مساحت ۵۰×۵۰ نانومتر مربع طبق شکل (۴- ب) هم‌پوشانی دارند. اگر فضای ایجاد شده بین دو بازوی نانوآنتن دوقطبی توسط یک ماده‌ی عایقی با ثابت دی‌الکتریک ۸ و ضخامت ۲۰ نانومتر پر گردد، ساختار ایجاد شده یک رکتن خورشیدی متشکل از نانوآنتن‌های دوقطبی و یکسوساز دیودی MIM است.



شکل۴: (الف) خراشیدگی به وجود آمده بر روی بازوی نانوآنتن دوقطبی جهت ایجاد فضایی برای دیود MIM، (ب) نانوآنتن دوقطبی روی هم افتاده به

۳- مزایا و برتری سلول خورشیدی رکتنی به نسبت فناوری‌های امروزی

مهمترین مزیت و برتری فناوری سیستم رکتن خورشیدی به نسبت فناوری‌های امروزی بازده بالاتر آن می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد بازده یک سلول خورشیدی رکتنی به‌صورت تئوری تبه مقدار بیش از ۸۵ درصد قابل دسترسی است در حالی که این مقدار برای فناوری‌های امروزی از ۳۰ درصد فراتر نمی‌رود. از آنجایی که نانوآنتن‌ها توانایی جذب زاویه‌ای وسیعی دارند به سیستم ردیاب خورشیدی جهت تعقیب کردن مسیر خورشیدی نیازی ندارند به همین دلیل حتی در صورت تابش مایل خورشیدی به سطح صفحه خورشیدی میزان بازده آنها تا حد قابل توجهی حفظ می‌شود. این سیستم همچنین می‌تواند انرژی تابیده شده از طرف زمین یا همان تشعشعات زمینی که ناشی از تابش‌های روزانه خورشید به سطح زمین هستند و در طول‌موج‌های ۱۰ میکرومتر (در فرکانس‌های ۳۰ تراهرتز) رخ می‌دهند را جذب کند، به همین دلیل نانوآنتن‌های سیستم رکتن خورشیدی با جمع‌آوری این تشعشعات در طی شب و یا در شرایط آب و هوایی بد هم می‌تواند به تولید انرژی الکتریکی بپردازد. سلول خورشیدی رکتنی پتانسیل لازم برای کم هزینه‌تر بودن به نسبت سلول‌های خورشیدی معمولی فعلی را دارد. لایه‌های فلزی و عایقی به کار رفته در این سیستم به فرم فیلم‌های بسیار نازکی هستند که هزینه بالایی ندارند، همچنین زیرلایه‌های به کار رفته اغلب از جنس شیشه یا پلاستیک هستند که امکان ساخت آنها با هزینه پایین وجود دارد. در حال حاضر ساختارهای دیودی و آنتنی به کار رفته در رکتن خورشیدی با استفاده از روش طرح نگار الکترونی (Electron beam lithography) ساخته می‌شوند. هرچند این روش ساخت برای تولید در مقیاس‌های آزمایشگاهی و تحقیقاتی پر هزینه و وقت گیر است اما اگر این ساختارها در حجم وسیع و با روش مناسب تولید گردند، موجب کاهش هزینه و سرعت در فرآیند ساخت می‌شوند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله ما با اصول و تئوری عملکرد سیستم رکتن خورشیدی جهت تولید الکتریسیته از نور خورشید آشنا شدیم، هر چند این فن‌آوری همچنان در مرحله تحقیقاتی و مطالعاتی قرار دارد و تا تجاری سازی شدن آن راه زیادی باقی است اما با توجه به پوشش مناسب معایب سلول‌های خورشیدی فعلی از جمله راندمان پایین آنها توسط این فناوری و از طرفی پیشرفت فناوری نانو در جهت ساخت و تولید آنتن ها و یکسوکننده های نانومتری بایستی در آینده‌ای نه چندان دور شاهد جایگزینی سلول‌های خورشیدی رایج امروزی با سلول خورشیدی رکتنی باشیم.

***

مراجع:

[1] Z. Zhu, S. Joshi, B. Pelz and G. Moddel, “Overview of optical rectennas for solar energy harvesting,” SPIE Proceedings: Next Generation (Nano) Photonic and Cell Technologies for Solar Energy Conversion IV, vol. 8824, pp. 1-11, 2013.

[2]A. M. A. Sabaawi, C. C. Tsimenidis and B. S. Sharif, “Infra-red nano-antennas for solar energy collection,” Loughborough Antennas and Propagation Conference (LAPC), pp. 1-4, 14-15 Nov. 2011.

[3] Z. Ma and A. Vandenbosch, “Optimal solar energy harvesting efficiency of nano-rectenna systems”, SolarEnergy, vol. 88, pp. 163-174, 2013.

[4] P. Biagioni, JS. Huang, and B. Hecht, “ Nanoantennas for visible and infrared radiation”, Rep Prog Phys, 75(2012), pp. 24-40.

[5] A. M. A. Sabaawi, C. C. Tsimenidis and B. S. Sharif, “Analysis and modeling of infra-red solar rectennas,”IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., vol. 19, no. 3, 2013.

[6] G. Moddel and S. Grover, Rectenna Solar Cells, New York: Springer, 2013, pp. 231-257

IEC- 61850

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

نفیسه قاسمی/ دانشگاه صنعتی سجاد مشهد/شرکت برق منطقه‌ای خراسان،
ghasemi.nafise@gmail.com
مصطفی رجبی مشهدی/ دانشگاه صنعتی سجاد مشهد/شرکت مدیریت شبکه برق ایران، m.rajabimashhadi@ieee.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 به‌کارگیری 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 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

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 تاثیر 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 حالی‌که 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 پایین‌تر قوی‌تر 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].

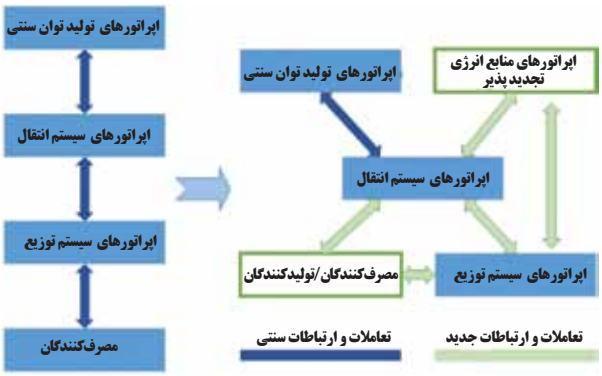
در گذشته در زمان ناپایداری فرکانسی یا ولتاژی گذرا، حتی در مقادیر کم، ارتباط نیروگاه‌ها با شبکه از دست می‌رفت ولی امروزه آستانه‌ها تغییر یافته است و نیروگاه‌های تولید پراکنده و تجدیدپذیر حتی در زمان ناپایداری به شبکه متصل می‌مانند[۳]. لذا نیازمند همکاری همه جانبه بین کلیه بازیگران سیستم قدرت که شامل اپراتورهای 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 تاثیر 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- به‌روز 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 MV و LV

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



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]:

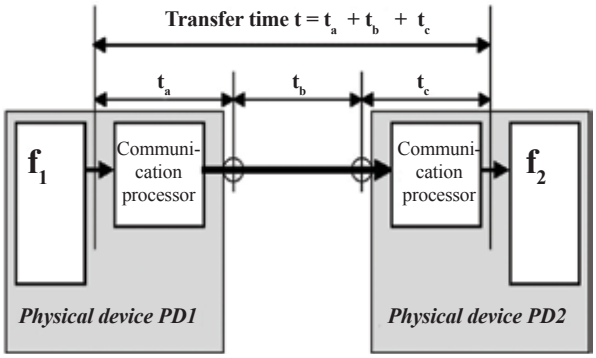
عملیات شبکه، کنترل و دیسپاچینگ معمولا توسط اپراتورهای SCC انجام می‌شود. سیستم اتوماسیون پست با دریافت دستورات کلی، تجزیه آن‌ها به دستورات تکی، امکان‌سنجی آن‌ها، اجرا کردنشان و ارسال سیگنال به مرکز کنترل راه دور، نقش رابط بین SCC و پست را بازی می‌کند. حفاظت نیز در SAS است. در سناریو جدید، اتوماسیون پست 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 راه‌دور 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 با 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.

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



شکل ۲: زمان کلی انتقال پیام GOOSE

در شکل (۲) ta زمان الگوریتم پردازش ارتباطی برای ارسال پیام GOOSE در IED1 است. همچنین f1 شامل توابع نمونه تشخیص، پردازش و برچسب زمانی ورودی فیزیکی IED1 است. tb زمان انتقال واقعی پیام از ارسال‌کننده به دریافت‌کننده در طول شبکه است. زمان tc زمان پردازش ارتباطی در IED2 برای دریافت و پردازش پیام GOOSE از IED1 است. و تابع f2 نماینده محتوای پیام دریافت شده از IED1 است. پس زمان انتقال پیام در حین تولید و تحویل آن بین IEDها برابر t=ta+tb+tc است. زمان انتقال اطلاعات از ارسال داده در IED1 تا اجرا آن در IED2 پس از تحویل پیام، برابر ttransfer=t+tf2 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 اینترلاک 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 پاسخ ارسالی به‌عنوان پیام، نیاز به تاخیر زمانی کوتاه‌تری دارد.

۲-۳- کنترل پیشرفته تپ‌چنجر 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 گردشی است.

۲-۳-۱- روش پایه-پیرو

حوزه کاربرد این روش به ترانسفورماتورهای قدرت با مشخصات الکتریکی کاملا 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].

جدول۱: سیگنال‌های مورد نیاز روش پایه-پیرو

سیگنال	توضیحات
درمدار بودن پایه	AVRای که به‌عنوان پایه انتخاب شده این سیگنال را فعال می‌کند.
بلاک	زمانی‌که 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
فرمان‌افزایش / 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 گردشی

حوزه کاری روش جریان گردشی از روش پایه-پیرو گسترده‌تر است. این روش برای ترانسفورماتورهای قدرت نسبتاً غیر یکسان نیز کاربرد دارد. روش جریان گردشی 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 گردشی بین ترانسفورماتورهای موازی می‌شود. جریان گردشی جریانی با ماهیت راکتیو است و نمایانگر توان راکتیوی است که بین آن‌ها گردش می‌کند[۷]. سیگنال‌های اساسی تبادل شده در روش جریان گردشی در جدول (۲) نمایش داده شده است[۶].

جدول۲: سیگنال‌های مورد نیاز روش جریان گردشی

سیگنال	توضیحات
بلاک	زمانی‌که AVR بلاک شود فعال می‌شود. از این سیگنال برای بلاک کردن بقیه AVRها استفاده می‌شود
حالت‌جریان‌گردشی کنترل‌خودکار	وقتی AVR در مد جریان گردشی 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 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	زمانی‌که AVRای شروع به تغییر تپ نماید جهت جلوگیری از تغییر تپ همزمان چند ترانسفورماتور این سیگنال تولید می‌شود

۲-۳-۳- 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 جریان گردشی 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 آنجایی‌که این نوع خرابی‌ها ممکن است منجر به عملکرد نادرست دیگر AVRها شود، در این حالت بقیه‌ی 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 سازنده‌های مختلف AVR می‌توانند با یکدیگر کار کنند. این مزایا با کاهش ارتباطات 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 برمبنای پروتکل‌های قدیمی‌تر نیز قابل اجراست.

۳- قابلت‌های 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 ازدست‌رفته برخط سیستم اتوماسیون پست و معماری‌های جدید برای ارتباطات با یکدیگر معرفی شده است.

۳-۱- مانیتورینگ داده‌های ازدست‌رفته 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 به‌دلیل قطع ارتباطات داده‌ها، ممکن است منجر به ازدست‌رفتن 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 ازدست‌رفته دائمی (PDL) و داده‌های ازدست‌رفته برخط (ODL) تقسیم می‌شود. با بروز خطایی در سیستم اتوماسیون پست که بازیافتن اطلاعات را غیر ممکن نماید، داده به شکل دائمی از دست رفته و ازدست‌رفتن داده دائم اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر خطاهای ODL منجر به از دست رفتن داده به صورت موقت، تا زمانی‌که 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 ازدست‌رفته برخط برخی از پارامترهایی که بررسی نشده‌اند را می‌توان مدل نمود. سیستم مانیتورینگ داده‌های ازدست‌رفته برخط به معماری و توپولوژی شبکه وابسته است و محاسبه این شاخص نیازمند شناسایی مشخصات فیزیکی المان‌های سیستم اتوماسیون پست است.

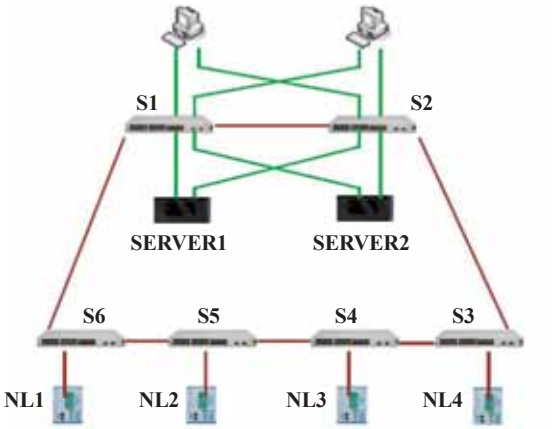
۳-۱-۱- مدل‌سازی ریاضی

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 تجهیزی یکپارچگی شبکه را تقلیل می‌دهد. مدل ریاضی استفاده شده به شکل تابع حداکثر یکپارچگی بار است. جهت محاسبه داده‌های ازدست‌رفته برخط به شکل یک شاخص ریاضی، حالات مختلف خطا در سیستم اتوماسیون بررسی و مدت زمان حضور داده‌های ازدست‌رفته برخط محاسبه می‌گردد[۱۰].

۳-۱-۲- مورد مطالعاتی

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

رفع خطای ۶ ثانیه استفاده می‌کنند. 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 NL4 و S3	۰,۲۱۱
۴	خرابی S4	۰,۴۲۷
۵	قطع ارتباط بین S3 و S4	۰,۰۱۱
۶	خرابی NL3 و سرور ۱	۰,۴۶۵

مشاهده می‌شود سناریو ۶ بزرگترین مقدار داده‌های ازدست‌رفته برخط را تجربه می‌کند زیرا هر دو خطای این سناریو منجر به حذف سویچ می‌گردد. نیز می‌بینیم که خرابی سرور منجر به غیرقابل دسترس شدن کلیه داده‌های سیستم می‌شود، اما به‌دلیل 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 نمی‌برد بلکه مقدار آن را کاهش می‌دهد.

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

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

بنابراین قبل از پیکربندی توپولوژی‌های ارتباطی لازم است قابلیت اطمینان، دسترس‌پذیری 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 آبشاری

در توپولوژی آبشاری هر IED به IED دیگر با لینک مستقیم متصل شده و پیکربندی به‌شکل زنجیره‌ای و با حلقه‌ی باز است. این توپولوژی ساده و کم هزینه است. اگرچه تاخیر زمانی آن به‌صورت قابل توجهی زیاد است.

۳-۲-۲- توپولوژی حلقوی

معماری حلقوی مانند معماری آبشاری است با این تفاوت که حلقه بین اولین و آخرین سویچ بسته می‌شود. لذا برای جلوگیری از گردش پیام‌های تکراری در حلقه، از سویچ‌هایی استفاده می‌شود که حلقه را پشتیبانی می‌نمایند. این معماری گران‌تر و پیچیده‌تر است و زمان تاخیر آن از توپولوژی آبشاری 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 آبشاری بیشتر و از حلقوی کمتر است.

۳-۲-۴- توپولوژی حلقوی افزونه

این توپولوژی از اتصال دو حلقه به یکدیگر ساخته می‌شود. این دو حلقه خود ار طریق چند سویچ اترنت تشکیل حلقه‌ای بزرگتر می‌دهند. این معماری نرخ انتقال داده بهتری دارد. اما نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مقداری تلفات در انتقال داده وجود دارد.

۳-۲-۵- توپولوژی ستاره-حلقوی

هر سویچ اترنت سطح بی مستقیما به دو سویچ اصلی اترنت متصل است. سویچ‌های اصلی اترنت نیز به‌صورت حلقه به یکدیگر متصل هستند که منجر به افزونگی بیشتر و تاخیر کمتر می‌شود. عملکرد تاخیر زمانی در معماری ستاره-حلقوی بسیار بهتر از آبشاری و حلقوی است. اما نیاز به دو سویچ اضافه برای پیکربندی شبکه داریم.

۳-۲-۶- توپولوژی ترکیبی

در این توپولوژی هر IED به یک سویچ متصل است که خود به سویچ اترنت اصلی اتصال دارد. نرخ انتقال داده بین IEDها و سویچ‌ها بسیار سریع‌تر و تاخیر حداقل می‌گردد. 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 می‌توان دریافت که توپولوژی آبشاری بدترین و حلقوی افزونه قابل اطمینان‌ترین است. توپولوژی‌های آبشاری و حلقوی بیشترین تاخیر در انتقال داده و توپولوژی‌های ترکیبی و ستاره-حلقوی کمترین تاخیر را دارند[۱۱]. از این رو می‌توان نتیجه گرفت با مقایسه کلی همه توپولوژی‌ها با یکدیگر از لحاظ انتقال داده، زمان تاخیر، قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری، 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 دستورکار صنعت برق قرار گرفته است. توسعه این منابع تولید

پراکنده بر عدم قطعیت‌های تعادل تولید و مصرف و پیچیدگی‌های حفاظتی شبکه‌ی برق خواهد افزود. از این‌رو 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 فوق‌توزیع 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 درصورتی‌که در پست‌های بلافصل نیروگاهی و واحدهای آن این کاربردها از هم‌اکنون پیش‌بینی گردد از اجرای پر هزینه حفاظت‌های شبکه و یا عدم امکان اجرای برخی از آن‌ها جلوگیری خواهد شد.

۴-۲- به‌کارگیری 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 به‌خوبی 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 به‌صرفه بودن توسعه پست‌های موجود با افزودن یک ترانسفورماتور، احتمال ایجاد جریان‌های گردشی در سمت ثانویه ترانس افزایش یافته است. به‌کارگیری 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.

۴-۳- از دست‌رفتن داده‌های برخط و بهترین توپولوژی ارتباطاتی

از آن‌جایی‌که 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 بخش۳-۲، توصیه می‌شود در طراحی توپولوژی سیستم‌های اتوماسیون پست جدید از معماری ستاره-حلقوی و حلقوی افزونه استفاده شود.

۴-۴- به‌کارگیری 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 به‌کارگیری قابلیت‌ها و کاربردهای بلا استفاده آن موضوع حائز اهمیتی است. از آن جمله می‌توان به محدود شدن استفاده از سرویس GOOSE استاندارد IEC-61850 به فرامین کنترلی مانند اینترلاک‌ها اشاره کرد. در بخش ۳-۲ 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 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 ازدست‌رفته برخط 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 نرم افزار 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

[۱] مصطفی رجبی مشهدی، محمدرضا حسین‌زاده، داوود محمدی سوران، هانیه 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

[۴] داوود صالحی و مصطفی رجبی مشهدی، «توسعه و ارتقاء قابلیت‌های حفاظتی یک پست فوق‌توزیع با استفاده ازامکان goose message»، اولین کنفرانس اتوماسیون صنعت برق، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۱

[5] M. Daboul, J. Orsagova, T. Bajanek, 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

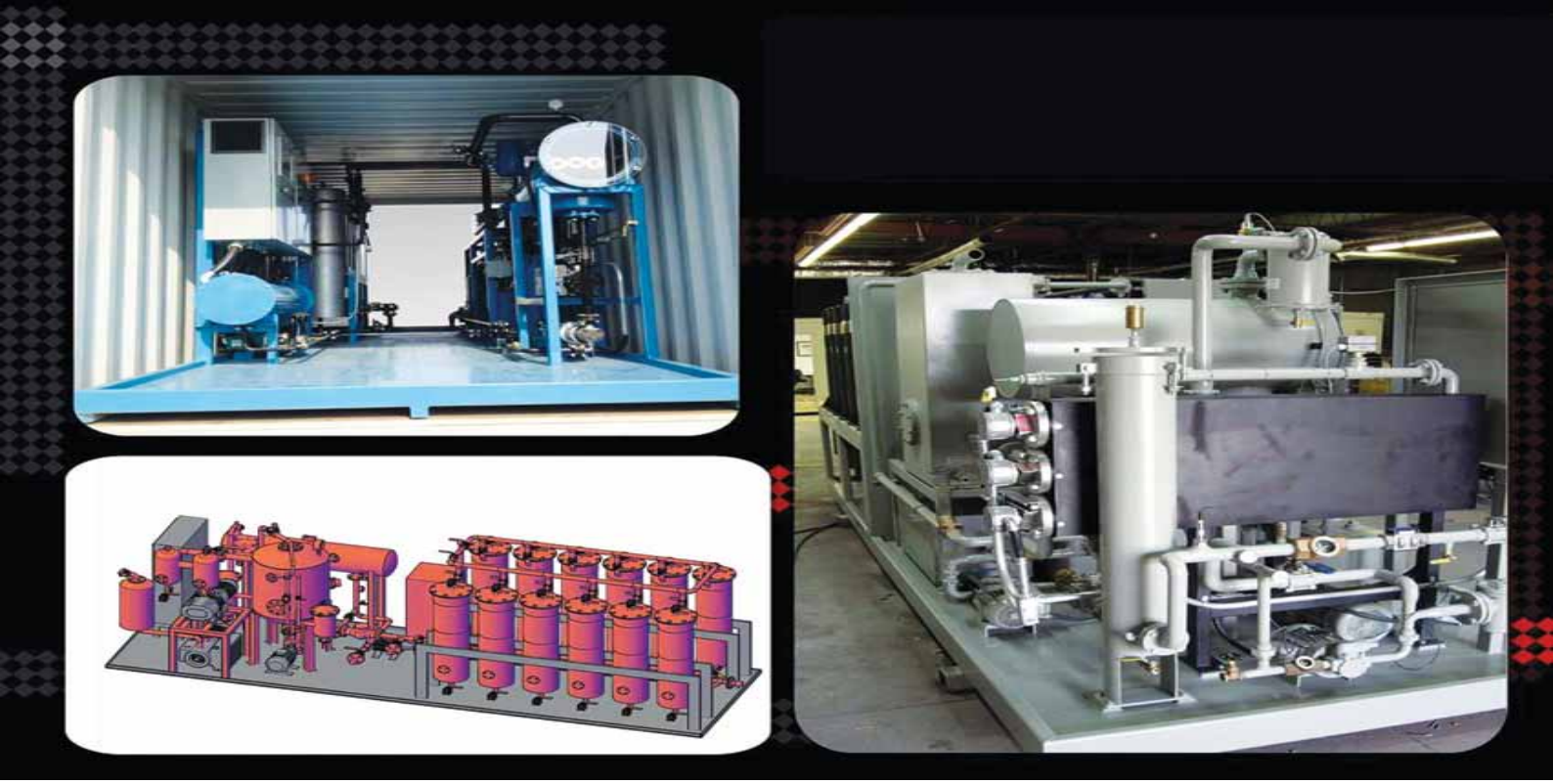
[7] Z. Gajic, S. Aganovic, J. Benovic, G. Leci, S. Gazzari, «Using IEC 61850 analogue goose messages for OLTC control of parallel transformers» Developments in Power System Protection (DPSP 2010). Managing the Change, 10th IET International Conference, 2015

[۸] مصطفی رجبی مشهدی، محمدرضا حسین زاده 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



تصفیه شیمیایی روغن ترانسفورماتور

محسن محسنی/ شرکت آذرخش انتقال نیرو پاژ
رضا اکبری/ شرکت آذرخش انتقال نیرو پاژ
عبادالله کامیاب/ شرکت برق منطقه‌ای خراسان

چکیده

یکی از عواملی که به خرابی ترانسفورماتور و در نتیجه خاموشی ناخواسته منجر می‌شود فرسودگی عایقی ترانسفورماتور است. این فرسودگی به‌عوامل مختلفی از جمله رطوبت و دما و اکسیژن موجود در ترانسفورماتور بستگی دارد. به مرور زمان این عوامل باعث ایجاد لجن در روغن می‌شود. از آنجا که ماهیت تشکیل لجن تغییر در ترکیب شیمیایی روغن است برای لجن زدایی و بازگرداندن روغن به حالت اول نیاز به تصفیه شیمیایی می‌باشد. در این مقاله ابعاد مختلف تصفیه شیمیایی روغن ترانسفورماتور بررسی شده و همچنین چند نمونه نتایج عملی آورده شده است.

۱- مقدمه

ترانسفورماتور مهمترین و گران‌ترین تجهیز در سیستم‌های قدرت محسوب می‌شود. خروج ترانسفورماتور از مدار در اثر بروز عیب باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری خواهد شد. اهمیت و جایگاه ترانسفورماتور در سیستم قدرت ایجاب می‌کند که در کلیه مراحل طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری ترانسفورماتور دقت بسیار بالایی لحاظ شود. امروزه بحث نگهداری در سیستم قدرت بخصوص در مورد ترانسفورماتورها بسیار مورد توجه قرار گرفته و به‌عنوان عاملی که می‌تواند در بهبود عمر تجهیز، قابلیت اطمینان تجهیز و قابلیت اطمینان کل سیستم موثر باشد قلمداد می‌شود [۱]. همچنین با گذشت بیش از ۴۰ سال از نصب ترانسفورماتورها در کشور و افزایش بار سیستم، پیری ترانسفورماتورهای قدرت یکی از نگرانی‌های اصلی شبکه می‌باشد. مهمترین قسمت ترانسفورماتورها که عامل اصلی پیری است عایق آنها می‌باشد. که معمولا از اجزای سلولزی و روغن تشکیل می‌شوند[۲]. در این میان روغن ترانسفورماتور وظایف گوناگونی از جمله ایزولاسیون، خنک کنندگی، آغشته نمودن اجزا سلولزی و اطلاعات در مورد وضعیت پیری و کار ترانسفورماتور بعهده دارد[۳]. در اثر عوامل مختلف از جمله رطوبت، اکسیژن و حرارت،سرعت پیر شدن عایق ترانسفورماتور افزایش یافته و باعث ایجاد پراکساید، آب، اسید و در نهایت لجن می‌شوند که این پدیده به نوبه خود باعث کاهش خنک‌کنندگی و کاهش بارگیری ترانسفورماتور و موجب پیری زودرس سلولز و در نهایت مرگ ترانسفورماتور می‌شود[۴]. لازم به ذکر است که افزایش دما و رطوبت روغن ترانسفورماتور تاثیر چشمگیری بر کاهش عمر آن دارد [۵]. در پایان چند نمونه عملی از روغن تصفیه شده در پست های چاهک و نجفی در برق منطقه‌ای خراسان به همراه نتایج پارامترهای روغن قبل و بعد از تصفیه آورده شده است.

۲- لزوم انجام تصفیه شیمیایی

عمر ترانسفورماتور با عمر عایق کاغذ آن یکسان است؛ بنابراین برای افزایش عمر ترانسفورماتور باید عمر عایق کاغذی را افزایش داد [۶]. بنابر اصل هماهنگی عایقی، روغن زودتر از کاغذ روند فرسوده شدن را آغاز می‌کند بنابراین برای جلوگیری از فرسودگی کاغذ، می‌بایست از فرسودگی روغن جلوگیری به عمل آید. برای جلوگیری از فرسودگی روغن و همچنین بازیافت روغن فرسوده انجام تصفیه شیمیایی لازم است. این نوع تصفیه به بهبود رنگ،

اسـدیته، کشش سطحی روغن ترانسـفورماتور و حذف آلودگی‌های قطبـی روغـن می‌انجامد [۷]. جـدول (۱)، دو پارامتر اسـیدیته و عمر روغـن، افزایش عمر کاغـذ ترانسـفورماتور و در نتیجه افزایش عمر ترانسفورماتور اشـاره کرد. این روش دارای مزیت‌هایی نسبت به

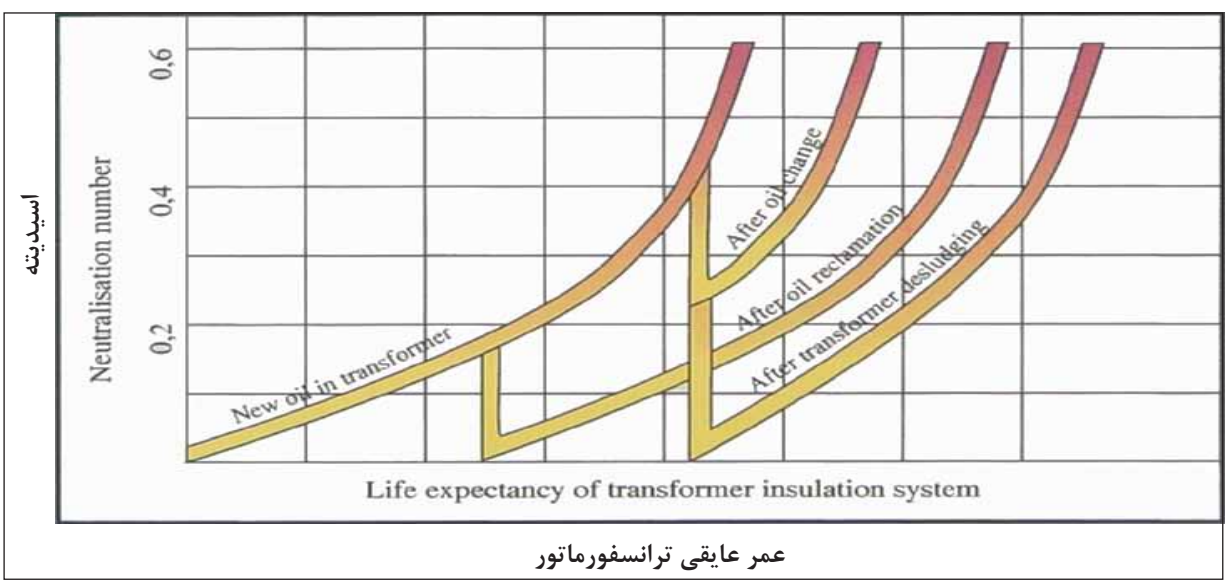
جدول ۱: رابطه اسیدیته و کشش سطحی و وضعیت ترانسفورماتور

وضعیت اسفبار	خیلی خیلی بد	خیلی بد	بد	حاشیه‌ای	متوسط	روغن خوب
تاثیر روی ترانس						
پوشیده شدن اکتیوپارت با لجن جامد	مسدود شدن بال‌های خنک‌کن توسط لجن	سفت شدن و محکم شدن لجن	ته‌نشین شدن لجن روی سیم‌پیچی‌ها	تولید لجن در روغن	افت کشش بین سطحی با پیدایش آلودگی‌های قطبی	۱- خنک کردن موثر ۲- حفظ عایق
اسیدیته						
1.5 and higher	0.66-1.5	0.41- 0.65	0.16-0.4	0.11-0.15	0.05-0.1	0.03-0.1
کشش سطحی						
6-9	19-14	14-18	18-24	24-27	27-29	30-45

کشش سطحی روغن ترانسـفورماتور را به ازای کیفیت‌های مختلف روغن بیان می‌کند.

۳- مزایای تصفیه شیمیایی

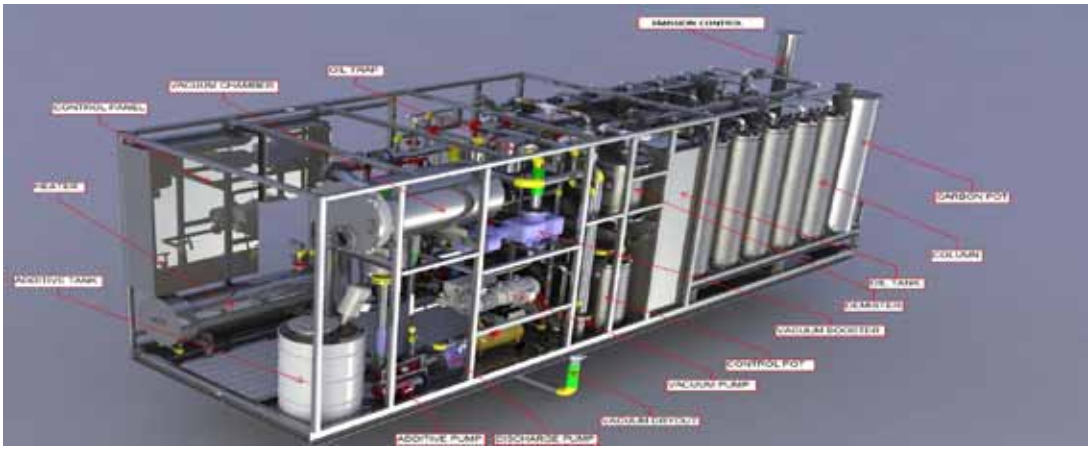
هـدف تصفیـه، بازگرداندن روغن کارکرده و فرسـوده بـه روغنی با ویژگی‌های روغن نو و در حد روغن نو اسـت. به طوری‌که روغن پس از تصفیه، ملاک‌ها و شـرایط توصیف شده در استاندارد IEC 60296 را بـرآورده کند. از جمله مزایای تصفیه به‌طورکلی می‌توان به افزایش تعویض می باشـد که عبارت از هزینه مناسب، جلوگیری از هدررفتن روغن با بازیافت روغن، عدم نیاز به نگهداری روغن آلوده و فرسـوده، حفظ محیط‌زیسـت با انبار نکردن روغن آلوده، جلوگیری از خاموشی شـبکه با تصفیه آنلاین، عملکرد بهتر نسبت به حالت تعویض روغن، عدم نیاز به بازکردن درپوش ترانسفورماتور اشاره نمود. در شکل (۱)، سـه حالت تعویض، تصفیه فیزیکی و شـیمیایی با هم مقایسـه شده اسـت. همانطورکه در شکل مشخص اسـت تصفیه شیمیایی بهترین نتیجه را در پی دارد.



شکل ۱: مقایسه تصفیه شیمیایی و تعویض و تصفیه فیزیکی

۴- ساختار دستگاه تصفیه شیمیایی

دستگاه تصفیه شـیمیایی دارای سه بخش متفاوت تصفیه عبارت از تصفیه شـیمیایی و فیزیکی و فیلتراسیون می‌باشد. مدت زمان لازم بـرای تصفیه آنلاین یک ترانس بسـتگی به اسـیدیته و حجم روغن متفاوت اسـت. هر چه اسـیدیته روغن بیشتر باشـد تعداد دورهای سـیرکوله روغن افزایش می‌یابد. شکل (۲) یک نمونه دستگاه تصفیه رو به‌طور کامل بدون حفاظ نشان می‌دهد.



شکل ۲ : یک نمونه دستگاه تصفیه

۵- بخش تصفیه شیمیایی دستگاه

این بخش دارای ستون‌های حاوی خاک رنگبر کاتالیز شده می‌باشد. برای انجام این نوع تصفیه ابتدا دمای روغن توسط هیتر به ۷۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و سپس از درون ستون‌های حاوی خاک رنگبر عبور داده می شود. در اثر برهم کنش‌های شیمیایی بین روغن با این ماده، آلودگی‌های شیمیایی روغن توسط خاک رنگبر جذب می‌شود. با گذشت مدت زمانی از شروع تصفیه این ماده از آلودگی اشباع شده و در یک پروسه موسوم به احیای خاک رنگبر، این خاک عاری از آلودگی می‌شود. گفتنی است سابق بر این، شرایط احیا پس از آلودگی برای خاک رنگبر وجود نداشت و پس از هر بار آلودگی، خاک تعویض می‌شد. در حالیکه برای دستگاه مورد بحث به تعداد ۵۰۰ بار می توان این خاک را احیا نمود. به‌عنوان مثال در گذشته برای انجام تصفیه شیمیایی به حجم ۵۰۰۰۰ لیتر روغن ۵۰۰۰ کیلوگرم خاک رنگبر لازم بود که این خاک پس از تصفیه ۳۰۰۰ کیلوگرم روغن را به خود جذب نموده و همچنین قابل استفاده برای بار دوم نبود.

۶- بخش تصفیه فیزیکی

این بخش دستگاه شامل محفظه و پمپ خلا می‌باشد. به این ترتیب که ابتدا روغن پس از گرم شدن تا دمای ۷۰ درجه، از درون یک محفظه خلا با مقدار خلا نیم تور عبور داده شده که طی آن گازها و رطوبت حل شده در روغن از آن جدا می‌شود.

۷- حالت تصفیه آنلاین (ترانسفورماتور برقدار)

برای انجام تصفیه آنلاین نخست باید هواگیری به‌صورت دقیق و کامل انجام گیرد. هنگام انجام تصفیه آنلاین، برای بالابردن سطح قابلیت اطمینان تصفیه، می‌بایست ارتفاع روغن ترانسفورماتور اندازه گیری می‌شود. در صورتی که این ارتفاع از این محدوده مشخص شده خارج گردد دستگاه آلارم داده و به‌صورت خودکار روند تصفیه را متوقف می‌نماید. از مزایای این نوع تصفیه می‌توان به کاهش خاموشی اشاره کرد. علاوه بر آن وایبریشن‌ها و دمای روغن در حالت آنلاین کمک می‌کند که آلودگی‌های درون ترانسفورماتور بهتر در روغن حل شده و وارد دستگاه تصفیه گردند. به همین دلیل تصفیه در حالت آنلاین همواره عملکرد بهتری را نسبت به تعویض روغن دارا می‌باشد.

نتایج چند نمونه تصفیه با دستگاه

۸-۱- پست چاهک(خراسان رضوی)

در این پست دو ترانس T_1 و T_2 به‌صورت آنلاین تصفیه شد. ترانس T_1 دارای ۴/۶ تن روغن و ظرفیت ۱۵ مگاولت آمپر و ترانس T_2 دارای ۱۱/۵ تن روغن و و ظرفیت ۱۵ مگاولت آمپر است. نتایج قبل و بعد از تصفیه برای ترانسفورماتور T_1 و T_2 این پست به ترتیب به شرح جداول (۲) و (۳) است. تصفیه T_1 سه روز و T_2چهار روز به طول انجامید.

جدول ۲: نتایج قبل و بعد از تصفیه برای ترانسفورماتور T۱

S.No	TEST PARAMETER	ASTM TEST	UNIT	BEFORE RE-GEN	AFTER RE-GEN	AFTER REGEN+ 0.08 inhibitor	LIMITS
1	Color	D - 1500	L	4.5	0.5	1	Max 2.0
2	Breakdown voltage	IEC 156	KV	45	75 <	75 <	Min 30
3	Gas content	D - 3612	%	15	0.1	0.1	Max 2.0
4	Viscosity at 40	D-88	mm2/s	7	7.2	7.2	Max 11
5	Interfacial Tension	D - 971	Dynes/cm	13.9	34	31	Min 30
6	Neutralization Number	D - 974 e	mgKOH/g	0.12	0.003	0.003	Max 0.05
7	Oxidation Inhibitor %wt	D - 2668	by wt %	_	_	0.08	Min 0.1
8	M.I.N	_	_	116	11333	10333	Min 1500
9	Tan delta at 90	IEC 247	_	0.062	0.005	0.005	Max 0.1
10	Resistivity at 90	IEC 248	GΩ.M	3.51	61.2	55.7	.Not spec
11	Watter content at 20	D - 974	ppm	13	4	4	Max5

جدول ۳: نتایج قبل و بعد از تصفیه برای ترانسفورماتور T۲

S.No	TEST PARAMETER	ASTM TEST	UNIT	BEFORE RE-GEN	AFTER RE-GEN	AFTER REGEN+ 0.08 inhibitor	LIMITS
1	Color	D - 1500	L	4.5	0.5	1	Max 2.0
2	Breakdown voltage	IEC 156	KV	64.1	71.9	68.9	Min 30
3	Gas content	D - 3612	%	15	0.1	0.1	Max 2.0
4	Viscosity at 40	D-88	mm^2/s	8.1	7.8	7.88	Max 11
5	Interfacial Tension	D - 971	Dynes/cm	23.6	39.5	35	Min 30
6	Neutralization Number	D - 974 e	mgKOH/g	0.088	0.003	0.002	Max 0.05
7	Oxidation Inhibitor %wt	D - 2668	by wt %	_	_	0.08	Min 0.1
8	M.I.N	_	_	268	--	17500	Min 1500
9	Tan delta at 90	IEC 247	_	0.014	0.003	0.004	Max 0.1
10	Resistivity at 90	IEC 248	GΩ.M	15.6	122	110	.Not spec
11	Watter content at 20	D - 974	ppm	5.5	1.4	2.4	Max5

جدول ۴: نتایج قبل و بعد از تصفیه

S.No	TEST PARAMETER	ASTM TEST	UNIT	BEFORE RE-GEN	AFTER REGEN	AFTER REGEN+ 0.08 inhibitor	LIMITS
1	Color	D - 1500	L	4.5	0.5	1	Max 2.0
2	Breakdown voltage	IEC 156	KV	60	72.6	75 <	Min 30
3	Gas content	D - 3612	%	15	0.1	0.1	Max 2.0
4	Viscosity at 40	D-88	mm^2/s	9.3	8.7	7.2	Max 11
5	Interfacial Tension	D - 971	Dynes/cm	15	34.6	30.8	Min 30
6	Neutralization Number	D - 974 e	mgKOH/g	0.22	0.003	0.003	Max 0.05
7	Oxidation Inhibitor %wt	D - 2668	by wt %	_	_	0.25	Min 0.1
8	M.I.N	_	_	68	11546	10267	Min 1500
9	Tan delta at 90	IEC 247	_	0.072	0.005	0.005	Max 0.1
10	Resistivity at 90	IEC 248	GΩ.M	2.5	73.8	71	.Not spec
11	Watter content at 20	D - 974	ppm	8	1.3	1.3	Max5

۸-۲- پست نجفی (خراسان رضوی)

در این پست یک ترانس با وزن روغن ۱۲/۴ تن و ظرفیت ۳۰ مگاولت آمپـر به‌صورت آنلاین تصفیه شـد. نتایج قبل و بعـد از تصفیه برای ترانسـفورماتور این پست به شرح جدول (۴) است. تصفیه این ترانس ۵ روز به‌طول انجامید.

شکل های (۳) و (۴) نمونه های روغن قبل تصفیه و در حین تصفیه و پس از تصفیه به ترتیب از چپ به راست نشان داده شده است.

شکل ۳ : نمونه پست چاهک

شکل ۴ : نمونه پست نجفی

۱۰- نتیجه گیری

در ایـن مقاله به ابعاد مختلف تصفیه شـیمیایی روغن ترانس پرداخته شد. همانطور که مشاهده می‌شـود به‌وسیله دستگاه تصفیه شیمیایی می توان روغن فرسـوده را به حالت اولیه بازگرداند. به‌طوریکه این عمل علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی دارای مزایای زیست‌محیطی نیز می‌باشد. هزینه لازم برای انجام تصفیه شیمیایی حدود ۲۷ درصد هزینه لازم برای تعویض روغن است. علاوه بر این تصفیه شیمیایی دارای مزایی از جمله جلوگیـری از هدررفتن روغن با بازیافت روغن، جلوگیری از خاموشـی شبکه با تصفیه آنلاین، عملکرد بهتر نسبت به حالت تعویض روغن، عدم نیاز به بازکردن درپوش ترانسفورماتور اشاره نمود.

***

منابع

[1] T. Waugh, D. Muir, "Improving the life cycle management of power transformers transforming data to life," IEEE Conference publication. 2015.

[2] W. Ziomek; K. Vijayan; D. Boyd; K. Kuby; M. Franchek. “High voltage power transformer insulation design,”IEEE Conference publication. 2011.

[3] C. Krause, “Power transformer insulation – history, technology and design,”IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2012.

[4] J. Nicho, I. Fofana ; A. Beroual ; T. Aka-Ngnui. “Aged oils reclamation: Facts and arguments based on laboratory studies,”IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2012.

[5] B. W. Ward, T. V. Oommen and J. A. Thompson, “Moisture estimation in transformer insulation”, technical presentation for the IEEE/PES Transformers Committee, Spring 2004 Meeting

[6] D. Martin, R. Dee; G. Buckley; S. Chinnarajan; G. Caldwell; J. Bin Zhou; G. Russell. “ Determining water in transformer paper insulation: analyzing aging transformers Determining water in transformer paper insulation: analyzing aging transformers,”.

[7] J. Sabau, “ On line reclamation of aged transformer oils,”Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, pp. 557 – 565. 2001.

رساله دکتری مهندسی برق قدرت

مدل‌سـازی و توسـعه مدولاسـیون مبدل ماتریسی و تحلیل پایداری

مهدی علومی بایگی

استاد راهنما: دکتر رضا قاضی

استاد مشاور: دکتر محمد منفرد

گروه برق/ دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

هدف اصلی این تحقیق کنترل مبدل ماتریسی مبتنی بر استراتژی کوچک‌ترین تصویر با توجه به ویژگی‌های حائز اهمیت این مبدل می‌باشد. مبدل‌های الکترونیک قدرت مورد مطالعه شامل اینورتر سه فاز متصل به شبکه، مبدل ماتریسی مستقیم متصل به بار و شبکه و مبدل ماتریسی غیرمستقیم می‌باشد. برای تحقق این روش، ابتدا مبدل‌های فوق به‌صورت سیستم‌های سویچینگ خطی مدل‌سازی و سپس شرط پایداری روش کنترلی پیشنهادی محاسبه شده است. جهت پیاده‌سازی استراتژی پیشنهادی، نیاز به یک قانون کنترلی مناسب است که در این تحقیق برای هر مبدل، یک قانون کنترلی مستقل از پارامترهای سیستم و بار ارایه شده است. برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی، سیستم‌های مورد مطالعه به کمک نرم‌افزار PSCAD/EMTDC شبیه‌سازی گردیده و با توجه به سیگنال کلیدزنی بدست آمده و روش CBH پایداری اثبات و نتایج به‌دست آمده با روش‌های رایج کنترل ولتاژگرا و کنترل پیش‌بین مقایسه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به نحوه مطلوب قادر به کنترل مناسب مبدل‌های الکترونیک قدرت مورد مطالعه در حالت دائم و گذرا بوده و حساسیت آن به تغییر پارامترهای سیستم بسیار کم است. در این رساله همچنین استراتژی کوچک‌ترین تصویر برای کنترل ژنراتور القایی تغذیه دوگانه در واحدهای بادی استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که عملکرد این استراتژی در مقایسه با روش‌های رایج به‌خصوص در حالت گذرا دارای برتری است. در ادامه روش کنترل و مدولاسیون پیشنهادی بر روی مدار آزمایشگاهی مبدل ماتریسی اعمال و نتایج به‌دست آمده با نتایج شبیه‌سازی مقایسه و عملکرد روش پیشنهادی مورد تائید قرار گرفته است.

کلمات کلیدی:

مبدل ماتریسی، استراتژی کوچکترین تصویر، کنترل پیش‌بین، مدولاسیون

***

رساله دکتری مهندسی: برق-کنترل

کنترل بهینه مسئله راهبر-پیرو در مدل بازی‌های گرافی دیفرانسیلی به‌صورت برخط با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی

فرزانه تاتاری
استاد راهنما: دکتر محمد باقر نقیبی سیستانی
استاد مشاور: دکتر ومووداکیس
گروه برق/ دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

این رساله به بحث پیرامون کنترل بهینه توزیع شده همکارانه و تکنیک‌های یادگیری تقویتی در بازی‌های گرافی دیفرانسیلی چند عاملی می‌پردازد. بازی گرافی دیفرانسیلی شامل یک سیستم چند عاملی می‌باشد که هدف مطلوب این بازی، همزمان سازی حالت عامل‌ها به حالت عامل رهبر (فرمانده) می‌باشد. تعامل بین عامل‌ها توسط ساختار یک گراف ارتباطی توصیف می‌شود. همزمان‌سازی در یک تیم همکارانه، به عامل‌ها این اجازه را می‌دهد که با پروتکل‌های کنترلی محلی و طراحی تصمیم‌گیری مناسب به یک حالت یکسان دست پیدا کنند. حل مساله همزمان سازی بازی‌های گرافی دیفرانسیلی چندعاملی خطی و غیرخطی با استفاده از رهیافت کنترل بهینه توزیع شده همکارانه، مستلزم حل معادلات همیلتون-جاکوبی تزویج شده است. حل این معادلات بسیار مشکل یا غیر ممکن بوده و ممکن است حتی در موارد ساده فاقد حل تحلیلی همه جایی باشند. اکثر روش های ارایه شده برای حل این معادلات، روش‌های تقریبی برون خطی هستند که در آنها دینامیک سیستم کاملا معین می‌باشد، در حالی که برخی از سیستم‌ها دارای عدم قطعیت پارامتری و یا دینامیک نامشخص هستند. حل معادلات همیلتون-جاکوبی تزویج شده با استفاده از تکنیک‌های برخط و زمان-حقیقی، به جای تکنیک‌های برون خط، زمینه را برای حضور روش‌های کنترل همکارانه تطبیقی فراهم می‌آورد. به این ترتیب می‌توان الگوریتم‌های کنترل بهینه همکارانه تطبیقی را برای همزمان‌سازی سیستم‌های چندعاملی دارای دینامیک نامعلوم یا عدم قطعیت پارامتری ارایه کرد. به‌علاوه استفاده از روش‌های برخط برای کنترل بهینه همکارانه سیستم‌های چندعاملی با دینامیک معلوم نیز این امکان را فراهم می‌کند تا سیستم‌های چندعاملی بتوانند اهداف و معیارهای بهینگی خود را به صورت برخط تغییر دهند و بتوانند سیاست‌های متناسب با موقعیت جدید را محاسبه نمایند. در نتیجه این رساله با به کارگیری قابلیت‌های کنترل بهینه، یادگیری تقویتی، بازی‌های دیفرانسیلی و سیستم‌های چندعاملی به حل بازی‌های گرافی دیفرانسیلی سیستم‌های خطی و غیرخطی خطی تبار تحت دینامیک‌های معلوم و نامعلوم پرداخته است. به‌علاوه برخط بودن کلیه الگوریتم‌های ارایه شده و تضمین همگرایی به حل تعادل نش بازی از نقاط قوت این رساله می‌باشد. از آنجایی که پایداری سیستم‌های کنترلی از اهمیت حیاتی برخوردار است ضمن اجرای الگوریتم‌ها به‌صورت زمان حقیقی، پایداری سیستم حلقه بسته نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی:
بازی‌های گرافی دیفرانسیلی، دینامیک نامعلوم، ساختار عملگر-نقاد، سیستم‌های چندعاملی، شبکه‌های عصبی

***

رساله دکتری مهندسی: برق- مخابرات

تصویرسازی در سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه با استفاده از منابع مجازی

جواد تقی زاده بالونی
استاد راهنما: دکتر سیدین
گروه برق/ دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

تصویربرداری از اهداف متحرک زیر آب با الهام از رادار روزنه مصنوعی معکوس و با استفاده از سونار روزنه مصنوعی معکوس امکان‌پذیر است اما علاوه بر مشکلات کاربردی که در به‌کارگیری رادارهای روزنه مصنوعی معکوس هم موجود است، شرایط خاص محیط آب و انتشار امواج صوتی در آن، تصویربرداری را به امری دشوار و پرچالش تبدیل کرده است. در این رساله ابتدا سونار روزنه مصنوعی معکوس تک‌پایه و چالش‌های بکارگیری آن بررسی شده است. سپس روشی پیشنهاد شده که با استفاده از ایده سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه و با فرض قرارگیری در آب‌های کم‌عمق که منجر به ایجاد منابع مجازی می‌شود، می‌توان تصویر مناسبی از اهداف متحرک زیر آب ایجاد کرد. کیفیت بهتر تصاویر به دلیل دستیابی به چندگانگی مکانی ناشی از چندپایه کردن سونارها با استفاده از منابع مجازی است که با استفاده از خاصیت آب‌های کم‌عمق و چندمسیرگی موجود در آن و با استفاده از تنها یک فرستنده واقعی ایجاد گشته است. به‌منظور دستیابی به الگوریتمی مناسب، روابط تصویرسازی با استفاده از روش‌های قالب‌بندی قطبی و پستابش فیلترشده برای سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه استخراج شده است. با بررسی و شبیه‌سازی این دو روش، نشان داده شده که الگوریتم تصویرسازی پستابش فیلترشده پیشنهادی در شرایط در نظر گرفته‌شده با توجه به معیارهای کیفیت تصویر، دارای کارایی و عملکرد بهتری است و به فاصله هدف بستگی ندارد. سپس به بررسی تحلیلی عوامل موثر بر تصویرسازی از اهداف متحرک زیر آب مانند ابعاد، عمق، فاصله و نحوه حرکت هدف، مشخصات و عمق قرارگیری سونار و پارامترهای مختلف کانال آب پرداخته شده و شرایط و محدودیت‌های تصویرسازی در شرایط عملی استخراج گشته است. با انجام شبیه‌سازی‌ها در شرایطی مشابه با منطقه خلیج فارس از امکان‌پذیر بودن پیاده‌سازی در شرایط مشابه واقعیت اطمینان حاصل شده است. همچنین تاثیر تغییرات عوامل موثر در تصویر ایجادی از هدف و نتایج تحلیل‌های صورت گرفته با شبیه‌سازی ارزیابی و صحه‌گذاری شده است.

کلمات کلیدی:
سونار، انتشار امواج صوتی، الگوریتم‌های تصویرسازی

***

رساله دکتری مهندسی برق - الکترونیک

طراحی مدارهای مجتمع کارآمد برای نمونه‌برداری فشرده

پروین بهمن‌یار
اساتید راهنما: آقایان دکتر میمندی نژاد و دکتر حسینی خیاط
گروه برق/ دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

نمونه‌برداری فشرده (CS) روش جدیدی در جهت فشرده‌سازی داده‌های اخذ شده از فرآیندهای طبیعی (آنالوگ) است. امروزه در اکثر پردازش‌های دیجیتال که بر روی سیگنال‌های آنالوگ (با باند فرکانسی محدود) انجام می‌گیرد ابتدا بر اساس قضیه نمونه‌برداری نایکوئیست- شانون از این سیگنال‌ها بطور متناوب با نرخ نایکویست نمونه‌برداری می‌شود. این نحو نمونه‌برداری معمولاً منجر به تولید حجم بیش از حدی داده می‌شود. زیرا در مشخصه بسیاری از سیگنال‌های طبیعی مقدار زیاد افزونگی اطلاعاتی می‌باشد. لذا یکی از پردازش‌های لازم و متداول قبل از ارسال یا ذخیره سازی این گونه داده‌ها فشرده‌سازی آن‌ها است. فشرده‌سازی باعث صرفه جویی در پهنای باند کانال، تقلیل توان مصرفی در فرستنده و صرفه جویی در حافظه مورد نیاز می‌شود.
در این رساله یک سیستم نمونه بردار فشرده نوین در فرکانس کاری ۲۵ تا ۲۰۰ کیلوهرتز پیاده‌سازی شده است. این مدار از یک ساختار شبکه خازنی کم مصرف بهره گرفته و بر اساس توزیع بار کار می‌کند. عمل فشرده‌سازی به صورت آنالوگ و در دو مرحله کاری انجام می‌گیرد. در مرحله اول، با استفاده از شبکه خازنی و انتگرال‌گیر نمونه برداری فشرده انجام می‌گیرد و در مرحله دوم کاری نمونه فشرده شده آنالوگ به کد دیجیتال تبدیل می‌شود. در طراحی مدار نمونه‌بردار فشرده پیشنهادی، علاوه بر بهینه‌سازی توان و کیفیت بازسازی در سطح سیستم، بهینه‌سازی در سطح مداری هم صورت گرفته است. از جمله بهینه‌سازی سیستمی می‌توان به انتخاب و بکارگیری ماتریس نمونه‌بردار تصادفی باینری در مدار CS پیشنهادی اشاره نمود. در رابطه با بهینه‌سازی مداری، از تکنیک انتگرال‌گیر سوئیچ شونده استفاده شده‌است. با این روش توان کل سیستم به اندازه ۳۳٪ کاهش یافته است. همچنین یک مقایسه‌گر دینامیکی کم‌توان با عملکرد بهبود یافته از نظر توان مصرفی، سرعت و نویز kick-back نسبت به مقایسه‌گرهای دینامیکی دوطبقه متداول پیشنهاد شده است.
مدار CS پیشنهاد شده، در تکنولوژی TSMC، ۰/۱۸ میکرومتر طراحی و شبیه‌سازی شده است. نتایج بدست آمده از Post-layout نشان می‌دهند که این مدار در منبع تغذیه ۱ ولت، فرکانس کلاک ۱۰۰ کیلوهرتز، ضریب فشرده‌سازی ۴ و سیگنال ورودی سینوسی با فرکانس ۲۵۰ هرتز و دامنه ۰/۲ ولت، کمتر از ۲۵ میکروواوت توان مصرف می‌کند و دارای سیگنال به نویز ۳۰ دسی‌بل می‌باشد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی به ازای یک ورودی سینوسی با دامنه ۱ ولت، PRD سیگنال بازسازی شده در مدار نمونه‌بردار فشرده پیشنهادی نسبت به ضریب فشرده‌سازی بین ۲ تا ۷، تقریباً ثابت و کمتر از ۲٪ است. همچنین، مقدار سیگنال به نویز در مدار نمونه‌بردار پیشنهادی به ازای یک نمونه ورودی ECG، ۱۹/۷۶ دسی‌بل بدست آمده‌است. مقدار سیگنال به نویز بدست آمده تقریبا ۲ دسی بل بیشتر از حالتی است که نمونه‌برداری فشرده در حوزه دیجیتال انجام گیرد. مساحت تخمینی مدار پیشنهادی ۱۹۹ µm× mµ۳۰۳ می‌باشد.
بر اساس نتایج شبیه‌سازی Post-layout، توان الکتریکی در مقایسه‌گر پیشنهادی در ولتاژ تغذیه ۰/۶ ولت به میزان ۶۵٪ نسبت به مقایسه‌گر دینامیکی متداول با ولتاژ آفست یکسان و برابر با ۷/۵ میلی ولت، کاهش یافته است. همچنین نویز kick-back در مقایسه‌گر پیشنهادی به اندازه ۲۲٪ کمتر از مقایسه گر متداول است. مساحت تخمینی مقایسه‌گر پیشنهادی ۱۹ mµ×۱۱µm می‌باشد. از جمله کاربردهای مدار طراحی شده می‌توان به حسگرهای پزشکی با ذخیره انرژی محدود اشاره نمود.

کلمات کلیدی: نمونه‌برداری فشرده، فشرده‌سازی، مبدل آنالوگ به‌دیجیتال

***

ادامه از صفحه ۵۸

فوق‌توزیع مشهد پیاده‌سازی گردیده است. با توجه به وجود اتوماسیون در شبکه فوق‌توزیع مشهد و به‌کارگیری تجهیز RTU-PLC انتخاب همزمان فیدرهای خروجی چند پست جهت کاهش بارگذاری یکی از ترانس‌های پست‌های ۱۳۲/۶۳/۲۰ کیلوولت در صورت خروج ترانس دیگر امکان‌پذیر می‌باشد، لذا روش ارایه شده بهره‌وری بالاتری نسبت به حذف بار جریانی موجود دارد. نتایج مطالعات حاکی از کارایی و بهینه بودن روش پیشنهادی در شبکه نمونه می‌باشد، همچنین با توجه به وجود اتوماسیون در شبکه و امکان برقراری ارتباط با پست‌های پایین دست، کاربرد روش پیشنهادی با کمترین هزینه در شبکه فوق‌توزیع میسر خواهد بود.

***

مراجع

[1] U. G. Knight, Power Systems in Emergencies From Contingency Planning to Crisis Management, John Wiley & Sons Ltd. 2001
[2] Leonard L. Grigsby, Power System- Electric Power Engineering Handbook, 2nd Edition, CRC Press, 2006
[۳] ون یوان لی، مترجم: محمود فتوحی، داوود فرخزاد، صابر نوری‌زاده، ارزیابی ریسک در سیستم‌های قدرت- الگوها، روش‌ها و کاربردها، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۰
[4] "Remedial Action Scheme -Definition Development Background and Frequently asked Questions", North American Electric reliability Corporation (NERC), October 2014
[5] Shervin Shokooh, Tanuj Khandelwal, Farrokh Shokooh, "Intelligent Load Shedding Need for a Fast and Optimal Solution", IEEE PCIC, Europe 2005
[۶] سایت اینترانت شرکت برق منطقه‌ای خراسان، دفتر فنی انتقال، ۱۳۹۴
[۷] سایت اینترانت شرکت برق منطقه‌ای خراسان، امور دیسپاچینگ، گزارش پیک، ۱۳۹۴
[8] "RTU32: A Universal Controller", Brodersen design and manufacture, RTU32 Series Product Presentation, 2013
[۹] گزارش پروژه «کاهش میزان انرژی توزیع نشده در شبکه خراسان با استفاده از قابلیت‌های اتوماسیون و هوشمندسازی»، شرکت برق منطقه‌ای خراسان، ۱۳۹۴

ارایه راه‌کارهایی جهت احداث پست‌های انتقال و فوق‌توزیع به‌صورت زیرزمینی در ایران (مطالعه مداری پست میدان شهدا مشهد)

رضا سبزواری/ شرکت برق منطقه‌ای خراسان

هومن سبزواری / شرکت منیران

مهدی ستوده/ شرکت منیران

حسین اسفرقی/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائنات

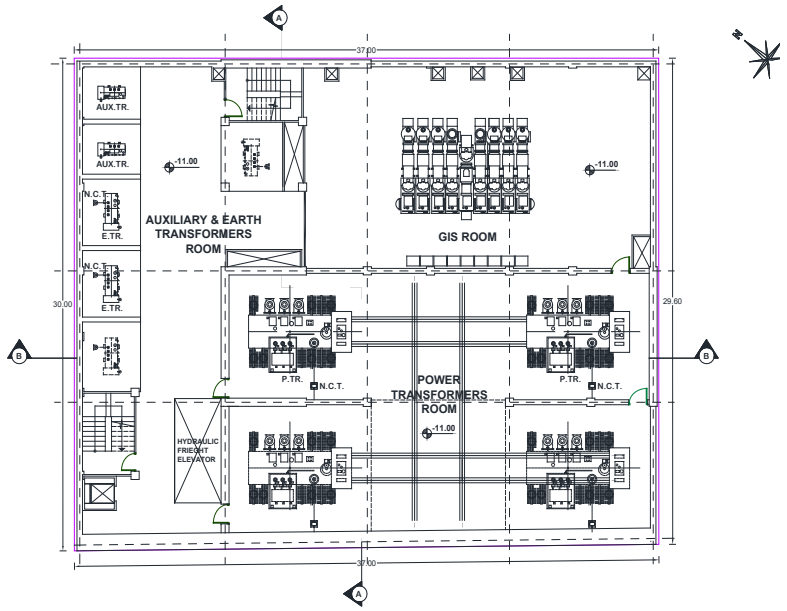
چکیده

با توجه بـه افزایش نیاز به انرژی الکتریکـی در مناطق مرکزی شهرها، انتقال برق با سطح ولتاژ بالا به درون شهر اجتناب‌ناپذیر اسـت؛ اما به دلیل بافت شهری متراکم این مناطق، تامین زمین با ابعاد مناسب برای احداث پست‌های فوق‌توزیع و انتقال جدید به سختی میسر بوده و مستلزم صرف هزینه‌های هنگفتی است. در چنین شـرایطی انتقال این پسـت‌ها به زیر سـطح زمین، با توجه به امکان اسـتفاده از فضای روی آن برای سایر کاربردها، از هزینـه کلی احداث پسـت به شـکل قابل توجهی کاسـته و محدودیـت در جایابی آن را نیز کاهش می‌دهد. اما پسـت‌های فوق‌توزیـع و انتقال زیرزمینی در مقایسـه با انـواع متداول، با چالش‌های تکنیکـی جدید و متفاوتی روبه‌رو هسـتند. در این مقاله جنبه‌های مختلف این چالش‌ها بررسی شده و ضمن توجه به تجربیات جهانی، با در نظر گرفتن شرایط کشور راهکارهایی برای رفع آن‌ها پیشـنهاد گردیده است. این راهکارها به‌منظور استفاده در طراحی بخش‌های ساختمانی، الکتریکی و مکانیکی پسـت زیرزمینی 132/20kV میدان شـهدا مشـهد تطبیق داده شده‌اند.

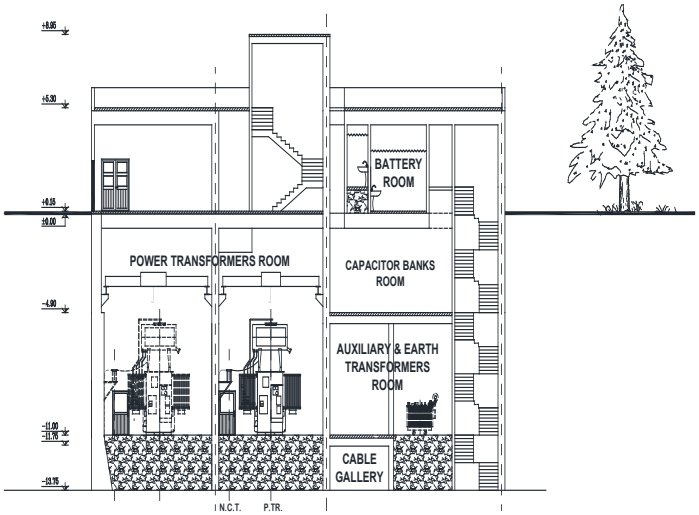
۱- مقدمه

با افزایش روزافزون تراکم جمعیت در شـهرها و اسـتفاده بیشـتر از تجهیـزات و سیسـتم‌های برقی، نیاز به انـرژی الکتریکی در مناطق شـهری پیوسـته افزایش می‌یابد؛ بهترین راه برای تامین این نیاز، به صورت مطمئن و با هزینه قابل قبول، برق‌رسانی با استفاده از سطوح ولتاژی بالاتر بوده که مستلزم احداث خطوط و پست‌های فوق‌توزیع و انتقال است. اما به علت تراکم بافت شهری، تامین زمین برای احداث پست‌های جدید در مراکز شهرها به‌سختی میسر است، چرا که زمین مورد نیاز برای پسـت‌های فوق‌توزیـع و انتقال (حتی به‌صورت GIS) مسـاحت قابل توجهی دارد، ضمن اینکه بایـد مجموعه‌ای از الزامات فنی را برآورده سـازد. یافتن چنین زمینی در کلان‌شهرها به سادگی میسـر نیسـت، علاوه بر آن با توجه به قیمت بالای زمین، تملک آن هزینـه زیادی در بر دارد که بخـش قابل‌توجهی از کل هزینه احداث پست را تشـکیل می‌دهد. با توجه به موارد فوق چنانچه بتوان پست فوق‌توزیع یا انتقال را به زیر سطح زمین منتقل کرد امکان استفاده از فضای بالای سطح برای سایر کاربری‌های شهری (فضای سبز، تقاطع ترافیکی و ...) یا ادغام پست با مجتمع‌های مسکونی، اداری و تجاری، پارکینگ‌های طبقاتی، ورزشگاه‌ها و ... فراهم می‌گردد. این روش ضمن حذف یا کاهش هزینه تملک زمین، از محدودیت‌های جایابی پسـت نیز می‌کاهد، در نتیجه می‌توان پست فوق‌توزیع را نزدیک‌تر به مراکز بار احداث کرد که منجر به کاهش طول شبکه فشار متوسط و تلفات برق‌رسانی می‌شـود. علاوه بر موارد فوق با احداث پست در زیرزمین از تبعـات محیطی آن (تاثیر نامطلوب بصری، سـروصدا، میدان‌های الکترومغناطیسی، تاثیرات انفجار یا آتش‌سوزی احتمالی و ...) به شکل قابل توجهی کاسـته شـده و سـطح حفاظت امنیتی آن، چه از نظر پدافند غیرعامل و چه از نظر ورود افراد غیرمجاز، افزایش می‌یابد.

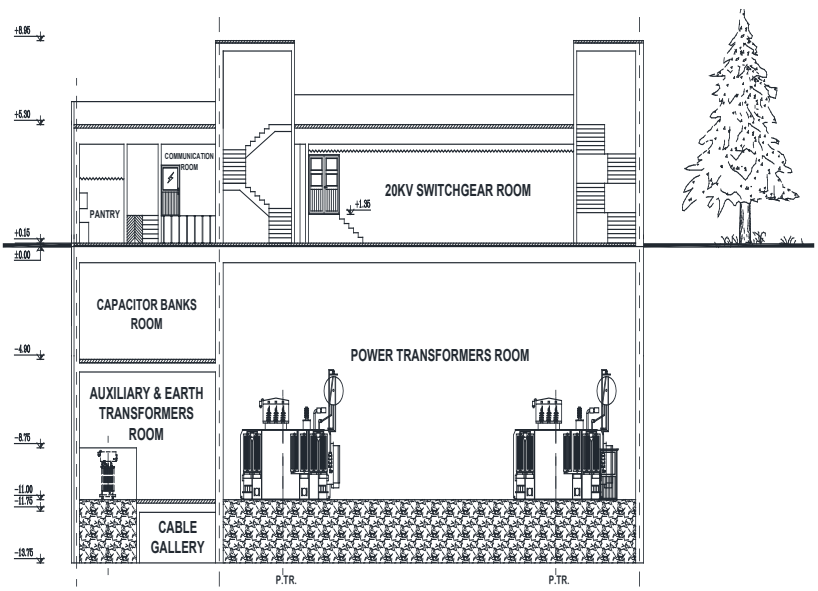
با وجود مزایای پیش‌گفته، احداث پسـت‌های فوق‌توزیع و انتقال در زیر سـطح زمین با چالش‌های تکنیکی متعددی روبروست. در این مقاله چالش‌های مذکور و راهکارهای غلبه بر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و برای استفاده در پسـت زیرزمینی 132/20kv میدان شهدا مشـهد، که در حال احداث می‌باشـد، تطبیق داده می‌شوند. جهت آشـنایی با سـاختار این پست، نقشـه‌های پلان طبقه ۲- و مقاطع عرضـی و طولی آن به ترتیب در شـکل‌های (۱)، (۲) و (۳) نشـان داده شده‌اند.



شکل ۱: پلان طبقه ۲- پست 132/20kV میدان شهدا مشهد (۲ ترانس قدرت و ۲ ترانس زمین به‌صورت توسعه در نظر گرفته شده‌اند)



شکل ۲: مقطع عرضی (A–A) پست 132/20kV میدان شهدا مشهد



شکل ۳: مقطع طولی (B–B) پست 132/20kV میدان شهدا مشهد

۲- چالش‌های فنی پست‌های زیرزمینی و راه‌کارهای غلبه بر آن‌ها

با توجه به تفاوت ساختار پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی با انواع متداول، مسایل و مشکلات جدید و متفاوتی در احداث و بهره‌برداری آن‌ها مطرح می‌شوند که باید در مرحله طراحی و اجرای بخش‌های ساختمانی، الکتریکی و مکانیکی پست، تمهیداتی برای رفع این مشکلات اندیشیده شوند.

۲-۱- حفاظت غیرفعال و ایمنی در برابر حریق

نخستین گام برای حفاظت در برابر آتش‌سوزی، استفاده از تجهیزات با سطح ایمنی بالاتر است. در بین تجهیزات متداول در پست‌های فوق‌توزیع و انتقال بیشترین خطر آتش‌سوزی ناشی از ترانسفورماتورهای قدرت، کمکی، زمین روغنی و سپس کابل‌های مورد استفاده در پست است.

برای کاهش خطر آتش‌سوزی و انفجار ناشی از ترانس‌ها در برخی پست‌های زیرزمینی مانند پست Haymarket 330kV در سیدنی استرالیا از ترانسفورماتورهای گازی استفاده شده، که با توجه به تراکم‌پذیری و غیرقابل اشتعال بودن گاز SF_6 عملا امکان انفجار و اشتعال آن‌ها وجود ندارد [۱]، در بعضی از پست‌های زیرزمینی ترانسفورماتور با روغن کمتر اشتعال‌پذیر (با نقطه آتش بالاتر از 300°C) به کار رفته و در برخی دیگر مانند پست Cathedral Square در ونکوور کانادا نیز کل ترانس قدرت درون محفظه CO_2 تحت فشار قرار گرفته است [۳].

با توجه به خاص بودن تکنولوژی ساخت ترانسفورماتورهای قدرت گازی، تولید آن‌ها در سطح جهان در انحصار چند شرکت محدود است، ضمن اینکه بسیار گران‌تر از ترانس‌های روغنی هستند. ترانس‌های با روغن کمتر اشتعال‌پذیر در مقایسه با ترانس‌های گازی قیمت مناسب‌تری دارند، هرچند که با توجه به قیمت روغن‌های کمتر اشتعال‌پذیر که چند برابر روغن معدنی معمولی است کماکان از ترانس‌های روغنی معمولی گران‌ترند. علی‌رغم تفاوت‌های فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی روغن‌های کمتر اشتعال‌پذیر با روغن معدنی معمولی، تکنولوژی ساخت ترانس‌های حاوی آن‌ها تا حد زیادی مشابه ترانس‌های روغنی معمولی است از این رو امکان ساخت آن‌ها در داخل کشور در آینده نزدیک وجود دارد. روغن‌های کمتر اشتعال‌پذیر خود شامل چند گروه: استرهای مصنوعی، استرهای طبیعی، روغن سیلیکون، هیدروکربن‌های با وزن مولکولی بالای طبیعی و مصنوعی هستند.

با توجه به اینکه در حال حاضر ترانسفورماتورهای قدرت گازی و با روغن کمتر اشتعال‌پذیر در کشور تولید نمی‌شوند، با در نظر گرفتن زمان‌بندی پروژه پست میدان شهدا مشهد، دو ترانس قدرت فعلی (و ترانس‌های کمکی و زمین آن‌ها) از نوع روغنی معمولی، به همراه حفاظت‌های تکمیلی (سیستم‌های پایش برخط گاز و رطوبت محلول در روغن و ...)، در نظر گرفته شده‌اند ولی دو ترانس قدرت بعدی (و ترانس‌های زمین آن‌ها) که در آینده تامین خواهند شد از نوع کمتر اشتعال‌پذیر با استر مصنوعی پیش‌بینی شده‌اند که برای این کاربرد مشخصات فنی آن (گران‌روی، مقاومت در برابر اکسیداسیون، تجزیه‌پذیری زیستی و ...) در مقایسه با سایر انواع روغن‌های کمتر اشتعال‌پذیر مناسب‌تر است.

برای کابل‌های پست می‌توان از انواع متداول یا LSZH استفاده کرد که نوع اخیر فاقد ترکیبات هالوژنه بوده و در هنگام آتش‌سوزی دود و گازهای سمی کمتری تولید می‌کنند. با توجه به اینکه قیمت کابل‌های LSZH چند برابر کابل‌های متداول است، استفاده از آن‌ها منحصر به فضاهای عمومی بسته، با تهویه ضعیف و مسیرهای فرار محدود می‌باشد. با در نظر گرفتن اینکه در فضاهای زیرزمینی پست میدان شهدا در شرایط عادی کسی حضور ندارد و حضور افراد در هنگام تعمیر و نگهداری نیز محدود و کنترل شده است، استفاده از کابل‌های LSZH در این پست از نظر فنی- اقتصادی توجیه‌پذیر نبوده و کلیه کابل‌ها از نوع متداول در نظر گرفته شده‌اند.

به منظور محدود کردن آتش‌سوزی و تاثیرات آن بر کارکنان و تجهیزات پست زیرزمینی، فضاهای داخلی آن باید به مناطق حریق جداگانه تفکیک گردند. در پست میدان شهدا این مناطق شامل اتاق هر یک از ترانسفورماتورهای قدرت، اتاق مشترک ترانسفورماتورهای کمکی و زمین، اتاق بانک‌های خازنی، اتاق GIS، گالری کابل، اتاق کنترل و اتاق مخابرات، اتاق سویچ‌گیر 20kV، باتری‌خانه و راه‌پله‌هاست. در این پست علاوه بر در نظر گرفتن حوضچه روغن با پوشش سنگ‌ریزه برای کلیه ترانسفورماتورهای قدرت، کمکی و زمین، یک لبه چند سانتی‌متری در کف پیرامون فضای استقرار بانک‌های خازنی به‌منظور محدود کردن روغنی که احتمال نشت آن از واحدهای خازنی وجود دارد، در نظر گرفته شده است. ضمناً با توجه به فاصله اندک ترانسفورماتورهای قدرت، کمکی و زمین (و همچنین بانک‌های خازنی و کابل‌ها) از سازه و دیوارهای ساختمان پست، اعضای باربر بنا با استفاده از پوشش ضدحریق با ضخامت مناسب در برابر آتش‌سوزی محافظت می‌شوند.

پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی در تمام طبقات باید دارای مسیرهای فرار مضاعف باشند [۵]، برای این منظور در پست میدان شهدا مشهد دو راه پله مجزا (با حداکثر فاصله ممکن بر مبنای طرح جانمایی) در نظر گرفته شده است که از کلیه سطوح زیرزمین امکان دسترسی به هر دوی آن‌ها وجود دارد؛ علاوه بر آن به منظور حذف بن‌بست‌های به وجود آمده از دریچه‌ها و نردبان‌های فرار استفاده شده؛ ضمناً کلیه فضاهای زیر سطح زمین دارای دو در خروجی با حداکثر فاصله از هم هستند.

در پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی باید برای خارج کردن موج اضافه فشار ناشی از وقوع انفجار یا قوس داخلی، دریچه‌های تخلیه فشار تعبیه شوند که در حالت عادی بسته بوده (برای جلوگیری از رسیدن اکسیژن به حریق احتمالی در داخل پست، نفوذ برف و باران و سیل، وارد شدن حیوانات کوچک و ...)، به ازای اضافه فشار حداکثر 10 mbar باز شده و موج اضافه فشار را به صورت ایمن به محلی از فضای بیرون پست که معمولا افراد حضور ندارند تخلیه نموده و مجددا بسته شوند [۵]. در پست میدان شهدا دریچه‌های تخلیه فشار اتاق‌های ترانس‌های قدرت بر روی در اصلی آن‌ها و نیز دریچه انتقال راهروی مشترک در نظر گرفته می‌شوند و برای تعبیه دریچه‌های تخلیه فشار اتاق مشترک ترانس‌های کمکی و زمین و اتاق بانک‌های خازنی، از بازشوهای در نظر گرفته شده برای بالابر صنعتی در سقف طبقات استفاده می‌گردد.

۲-۲- حفاظت فعال در برابر حریق

پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی، با توجه به مخاطرات موجود در آن‌ها، علاوه بر کپسول‌های آتش‌نشانی دستی باید به سیستم اعلام و اطفا حریق خودکار نیز مجهز باشند. در پست Cathedral Square ونکوور از آشکارسازهای حریق یونیزاسیون، استنشاقی و

فروسرخ استفاده شده است [۴] و اطفا حریق هم توسط ترکیبی از سیستم‌های خودکار آب‌فشان، CO_2 و گاز هالون 1301 انجام می‌گیرد [۲]، در حالی که در پست Hiawatha West 115kV در مینیاپولیس ایالات متحده [۶] صرفا سیستم‌های اطفا حریق آب‌فشان و CO_2 در نظر گرفته شده‌اند.

از بین انواع سیستم‌های اعلام حریق (متعارف، آدرس‌پذیر و هوشمند) برای پست میدان شهدا مشهد با توجه به حساسیت آن، سیستم هوشمند در نظر گرفته شده است. در این پست با توجه به نوع حریق احتمالی، ارتفاع سقف، فضای تحت پوشش، سطح آلودگی محیطی و ... ، برای اتاق‌های ترانس‌های قدرت، راهروی مشترک آن‌ها و اتاق GIS آشکارساز پرتوافکن و برای اتاق مشترک ترانس‌های کمکی و زمین، اتاق بانک‌های خازنی و گالری کابل آشکارساز دودی نوری (نقطه‌ای) پیش‌بینی شده و برای سایر فضاها که مشابه پست‌های متداول هستند، به تناسب آشکارسازهای دودی، حرارتی و گاز (نقطه‌ای) در نظر گرفته شده‌اند. علاوه بر آن توصیه می‌شود که برای کلیه مسیرهای کابل در داخل پست از آشکارساز حرارتی خطی استفاده گردد.

سیستم اطفا حریق این پست با توجه به نوع حریق احتمالی و با در نظر گرفتن شرایط خاص آن مانند بسته بودن فضا، قرار گرفتن در زیر سطح زمین، احتمال حضور افراد، مشکل تخلیه آب و با مقایسه سیستم‌های اطفا حریق مختلف از نظر قدرت خاموش‌کنندگی، سمی بودن، تاثیرات زیست‌محیطی، نیاز به لوله‌کشی و کپسول‌های تحت فشار و ... از نوع سیلندرهای نصب ثابت ایروسل در نظر گرفته شده است.

۲-۳- خنک‌سازی و تهویه

منشاء اصلی تولید حرارت در پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی ترانسفورماتورهای قدرت هستند، انتقال این حرارت به فضای آزاد می‌تواند به دو صورت مستقیم یا غیرمستقیم (به وسیله مبدل‌های حرارتی و از طریق مایع واسط) انجام پذیرد. در بسیاری از پست‌های زیرزمینی مانند: Haymarket سیدنی [۱] و Cathedral Square ونکوور [۲] سیستم خنک‌کننده ترانسفورماتورهای قدرت از نوع غیرمستقیم است هرچند که در برخی دیگر مانند پست Hiawatha West مینیاپولیس [۶] از روش انتقال مستقیم استفاده شده است.

با توجه به پیچیدگی، هزینه بالاتر و عدم وجود سابقه بهره‌برداری از سیستم خنک‌کننده غیرمستقیم در برق منطقه‌ای خراسان، از روش انتقال مستقیم برای ترانسفورماتورهای قدرت (و کمکی و زمین) پست میدان شهدا مشهد استفاده شده که حرارت تولیدی توسط ترانس را به هوای اطراف آن منتقل می‌کند. در این پست خارج کردن حرارت ناشی از ترانسفورماتورها، کابل‌ها و سایر تجهیزات مستقر در زیرزمین با استفاده از تهویه این فضاها انجام می‌شود، برای این منظور کانال‌ها و فن‌هایی در نظر گرفته شده که هوای خنک‌تر را از بیرون پست به پایین‌ترین سطح فضای مورد نظر دمیده و هوای گرم شده را از بالاترین سطح می‌مکند و از پست خارج می‌کنند. برای جلوگیری از گسترش حریق و اطفا موثرتر آن و همچنین کاهش تاثیر بروز آتش‌سوزی در یک منطقه بر روی مناطق مجاور، سیستم تهویه مناطق حریق مختلف پست به طور مستقل و مجزا از هم پیش‌بینی شده‌اند. سیستم تهویه در هر منطقه مجهز به دمپرهای آتش بوده که در صورت بروز آتش‌سوزی تهویه آن منطقه را قطع می‌کند.

با توجه به سنگین‌تر بودن گاز SF_6 موجود در محفظه‌های GIS نسبت به هوا و قرارگیری پست در زیر سطح زمین، برای اجتناب از خفگی افراد حاضر در آن، برای اتاق GIS و گالری کابل زیر آن حس‌گرهای SF_6 و سیستم تهویه اضطراری در نظر گرفته شده تا در صورت نشت گاز SF_6 ضمن اعلام هشدار، از پایین‌ترین سطح اقدام به تهویه فضا نماید. با توجه به اهمیت این تهویه، تغذیه الکتریکی آن باید از منبع قابل اطمینانی که در همه شرایط در دسترس است، انجام پذیرد.

۲-۴- حمل و نقل تجهیزات

با توجه به پایین‌تر بودن سطح نصب تجهیزات نسبت به جاده دسترسی بیرونی، حمل و نقل تجهیزات در پست‌های فوق‌توزیع و انتقال زیرزمینی مستلزم چندین متر جابجایی در ارتفاع است. این مساله به ویژه برای ترانسفورماتورهای قدرت که بیشترین وزن جابجایی را در بین تجهیزات پست دارند اهمیت مضاعفی پیدا می‌کند، برای این منظور در بعضی پست‌های زیرزمینی مانند پست Cathedral Square ونکوور، که در آن امکان استفاده ایمن از جرثقیل متحرک بیرونی وجود نداشته، از بالابر هیدرولیک فوق سنگین استفاده شده [۲] ولی در برخی دیگر مانند پست Hiawatha West مینیاپولیس [۶] و پست Expo 500kV در شانگهای چین [۷] این امر با استفاده از جرثقیل متحرک بیرونی و از طریق دریچه انتقال تعبیه شده در سقف انجام می‌گردد. برای انتقال سایر تجهیزات در اکثر پست‌های زیرزمینی آسانسور باری و دریچه انتقال در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه تعبیه سطح شیب‌دار نیاز به فضای قابل توجهی دارد در هیچ یک از پست‌های زیرزمینی بررسی شده از این روش برای انتقال تجهیزات استفاده نشده است.

با توجه به طرح پست میدان شهدا مشهد که در آن طول مسیر انتقال ترانسفورماتورهای قدرت حدود ۱۱ متر بوده که در ۳ طرف فاقد دیواره است و همین طور به دلیل عدم ساخت بالابر هیدرولیک فوق سنگین در ایران و هزینه بالای تامین آن و با در نظر گرفتن تعداد دفعات اندک انتقال ترانسفورماتورهای قدرت در طول عمر پست، استفاده از جرثقیل متحرک بیرونی با ظرفیت ۳۰۰ تن و دریچه انتقال با ابعاد ۸/۵×۷/۵ مترمربع (مشترک برای هر ۴ ترانس) پیش‌بینی شده و برای انتقال بی‌های GIS، ترانسفورماتورهای کمکی و زمین و تجهیزات بانک‌های خازنی نیز یک بالابر کششی - هیدرولیک ۵ تن با طول مسیر حرکت ۱۱ متر و ۳ توقف در نظر گرفته شده است. در این پست به‌منظور تسهیل در جابه‌جایی ترانسفورماتورهای قدرت در زیرزمین، در طول اتاق‌های ترانس‌های قدرت و راهروی مشترک آن‌ها به صورت متقاطع ریل‌گذاری می‌شود.

۲-۵- مونتاژ تجهیزات

تجهیزاتی که مونتاژ آن‌ها در محل پست انجام می‌گیرد شامل ترانسفورماتورهای قدرت، بی‌های GIS و بانک‌های خازنی هستند. برای این منظور در برخی پست‌های زیرزمینی مانند پست Cathedral Square ونکوور علاوه بر اتاق GIS برای هر یک از ترانسفورماتورهای قدرت نیز جرثقیل سقفی دروازه‌ای مستقل در نظر گرفته شده [۱] ولی در برخی دیگر مانند پست Hiawatha West مینیاپولیس از جرثقیل سقفی صرفا در اتاق GIS استفاده شده و برای مونتاژ ترانسفورماتورهای قدرت در زیر سقف اتاق هر یک از آن‌ها یک تیر I شکل پیش‌بینی شده است [۴].

در پست میدان شهدا مشهد، با توجه به نحوه چیدمان ترانسفورماتورهای قدرت، برای هر دو ترانسی که روبروی هم قرار می‌گیرند یک جرثقیل

سقفی دروازه‌ای در نظر گرفته شده (با احتساب اتاق GIS مجموعاً ۳ جرثقیل) و برای تسهیل مونتاژ بانک‌های خازنی، که تجهیزات سبک‌تری داشته و سقف اتاق آن‌ها نیز کوتاه‌تر است، صرفا قلاب‌هایی در زیر سقف تعبیه می‌شود.

۲-۶- جلوگیری از نفوذ آب و تخلیه آن

با توجه به پایین‌تر بودن کد ارتفاعی پست‌های زیرزمینی نسبت به محیط اطراف و احاطه شدن آن‌ها توسط خاک طبیعی، این پست‌ها به شدت در معرض هجوم و نفوذ آب قرار دارند.

در پست Cathedral Square ونکوور برای جلوگیری از نفوذ آب کلیه دیوارهای خارجی پست با بتن ضد آب اجرا شده‌اند ولی با توجه به ضخامت این دیوارها و لایه شاتکریت سازه نگهبان پشت آن‌ها، ترکیب خاص بتن مورد استفاده و تعبیه یک سیستم زهکشی دائمی در اطراف پست که آب‌های زیرزمینی را از پشت دیوارها جمع‌آوری می‌کند و به منظور صرفه‌جویی اقتصادی و زمانی، از اجرای لایه ضدآب صرف نظر شده است. علاوه بر آن در این پست تعدادی مخزن تعبیه شده‌اند که آب وارد شده از طرق مختلف و همچنین آب ناشی از عملکرد سیستم اطفا حریق آب‌فشان را جمع‌آوری کرده و به سیستم فاضلاب ترکیبی شهر ونکوور منتقل می‌کنند [۱].

در پست میدان شهدا مشهد، با توجه به محدودیت‌های تکنولوژیک موجود و همچنین عدم امکان اجرای سیستم زهکش دائمی بیرونی، علاوه بر اجرای کف و دیوارهای خارجی با بتن ضدآب، یک لایه عایق رطوبتی نیز برای آن‌ها در نظر گرفته شده است. با توجه به بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و نوع خاک محل پست، هیچ نوع چاه جذبی یا منفذی در کف آن تعبیه نشده و بجای آن در پایین‌ترین سطح پست یک مخزن در نظر گرفته می‌شود که آب وارد شده از تمام طبقات زیرزمین به درون آن هدایت شده و سپس به نزدیک‌ترین کانال جمع‌آوری آب‌های سطحی میدان شهدا پمپاژ می‌گردد. علاوه بر موارد فوق به منظور کاهش حجم آب ورودی به پست کلیه بازشوهای خارجی تعبیه شده در آن و همه مسیرهای منتهی به زیرزمین مجهز به دریچه‌ها، درپوش‌ها و درهای ضدآب می‌گردند که در حالت عادی بسته هستند، ضمن اینکه کد ارتفاعی همکف حدود 15cm بالاتر از سطح پیاده‌روی مجاور در نظر گرفته شده تا یک حاشیه اطمینان در برابر سیل‌گرفتگی ایجاد نماید، بدون اینکه برای تردد افراد یا انتقال تجهیزات به پست مشکلی به وجود آورد. ضمناً با توجه به بالاتر بودن کد ارتفاعی بخش اصلی تونل خطوط کابلی 132kV نسبت به پایین‌ترین سطح پست، قبل از شروع شیب منفی تونل به سمت پست، برای آن دیواره جداکننده مجهز به در ضدآب پیش‌بینی شده است.

۲-۷- کنترل نویز و ارتعاشات

منابع اصلی ایجاد سر و صدا و ارتعاشات در پست میدان شهدا مشهد ترانسفورماتورهای قدرت و فن‌های تهویه هستند. به منظور محدود کردن انتشار ارتعاشات ناشی از ترانس‌های قدرت، بین مخزن و فونداسیون آن‌ها پدهای لاستیکی لرزه‌گیر پیش‌بینی شده است. برای کاهش سر و صدای فن‌های تهویه، که بر روی بام ساختمان نصب می‌شوند، این فن‌ها از نوع کم صدا تامین می‌شوند؛ ضمن اینکه می‌توان آن‌ها را درون محفظه‌های جاذب صدا و مجهز به صداگیر نصب کرد. علاوه بر آن با نصب دیواره‌های جاذب صوت بر روی بام امکان محصور کردن فضای قرارگیری فن‌های تهویه نیز وجود دارد.

۳- نتیجه‌گیری

احداث پست‌های انتقال و فوق‌توزیع به صورت زیرزمینی راه‌حل مناسبی برای کاهش هزینه کلی و محدودیت جایابی این پست‌ها در مناطق مرکزی کلان‌شهرهاست، با این وجود پست‌های زیرزمینی در مقایسه با انواع متداول با چالش‌های تکنیکی جدید و متفاوتی مانند حفاظت و ایمنی در برابر حریق، خنک‌سازی و تهویه، حمل و نقل و مونتاژ تجهیزات، جلوگیری از آب‌گرفتگی و کنترل نویز و ارتعاشات روبه‌رو هستند. در این مقاله جنبه‌های مختلف این چالش‌ها بررسی شده و ضمن توجه به تجربیات جهانی، با در نظر گرفتن شرایط کشور راهکارهایی برای رفع آن‌ها پیشنهاد گردیده که در طراحی و اجرای بخش‌های ساختمانی، الکتریکی و مکانیکی پست زیرزمینی 132/20kV میدان شهدا مشهد اعمال شده‌اند.

***

منابع

[1] Fitzgerald, C. & others, “A compact, high capacity 330kV substation for the sydney central business district”, CIGRÉ Session 2004, B3-203

[2] Dos Remedios, C.A., Hahn, J., Trousdell, R.B. and LO, K.K., “Cathedral square: a major 230/12 kV urban underground substation. Part 1: civil and mechanical design”, IEE proc. C, Gen. Trans. & distrib., 1987, 134, (1), pp. 52-60

[3] Peelo, D.F. & others, “Cathedral square: a major 230/12 kV urban underground substation. Part 2: 230 kV electrical design features”, IEE proc. C, Gen. Trans. & distrib., 1987, 134, (1), pp. 61-67

[4] Peelo, D.F. & others, “Cathedral square: a major 230/12 kV urban underground substation. Part 3: 12 kV electrical and other general design features”, IEE proc. C, Gen. Trans. & distrib., 1987, 134, (1), pp. 68-74

[5] Liang, X., Da-yong, T., Zhi-fu, L., “Research on large scale equipment hoisting for underground substation”, Journal of Electric Power Science and Technology, 2010-02

[6] Sargent & Lundy LLC, “Final Hiawatha underground substation study paper”, 2009

[7] Perrier, C., Beroual, A., “Experimental investigations on insulating liquids for power transformers: mineral, ester, and silicone oils”, IEEE Electrical Insulation Magazine, 2009

[8] ABB, Doble, “Life of a transformer”, Seminar February 7, 2012

[9] Nynas, “Transformer Oil Handbook”, Nynas Naphthenics AB, Sweden, 2004

[10] CIGRE, Working Group A2-35, “Experiences in service with new insulating liquids”, October 2010

[11] Wang, Z.D. & others, “Ester insulating liquids for power transformers”, CIGRE 2012, A2-209

[12] Lashbrook, M., Kuhn, M., “The use of ester transformer fluids for increased fire safety and reduced costs”, CIGRE 2012, A2-210

[13] Hellebuyck, D., “Functional performance criteria for comparison of less flammable transformer oils with respect to fire and explosion risk”, 2013, Lund

[14] Pawel, R. , “Properties of new environmentally friendly biodegradable insulating fluids for power transformers”, 1st Annual International Interdisciplinary Conference, AIIC 2013, 24-26 April, Azores, Portugal

[15] Martin, D., Khan, I., Dai, J., Wang, Z.D., “An overview of the suitability vegetable oil dielectrics for use in large power transformers”, Euro TechCon 2006

[16] IEEE Std C57.155, “IEEE guide for interpretation of gases generated in natural ester and synthetic ester-immersed transformers”, 2014

[17] Toshiba, “Solution against various substation requirement with gas insulation technologies”, CIGRE Romania, April, 2008

[18] ABB, “Switchgear Manual”, Edition 12, 2012, ABB Calor Emag Schaltanlagen AG, Mannheim

[19] Siemens, “Power Engineering Guide”, Edition 7.1, 2014, Siemens Aktiengesellschaft, Munich and Berlin

[20] IEC 61936-1, “Power installations exceeding 1 kV a.c. - Part 1: common rules”, Edition 2.0, 2010

[21] IEEE Std 979, “IEEE guide for substation fire protection”, 2012

[۲۲] سلطان‌دوست، محمدرضا، ((سیستم‌های اعلام حریق))، چاپ اول، ۱۳۸۵، پورزند وکیل، تهران

حذف بار جریانی هوشمند در پست‌های شعاعی متصل به یک پست با استفاده از تجهیز RTU-PLC

رضا زابلی/ کارشناس مسوول شیفت دیسپاچینگ شمال شرق، شرکت برق منطقه‌ای خراسان/r_zaboli@yahoo.com

تکتم شریفیان عطار/ کارشناس مطالعات سیستم، شرکت برق منطقه‌ای خراسان/t.sharifian@ieee.org

مصطفی رجبی مشهدی/ معاون راهبری شبکه، شرکت مدیریت شبکه برق ایران/m.rajabimashhadi@ieee.org

محمدحسین جاویدی/ استاد گروه برق، دانشگاه فردوسی مشهد/ h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

امروزه یکی از مهم‌ترین اهداف شرکت‌های برق منطقه‌ای، حداقل نمودن میزان خاموشی‌های مشترکین می‌باشد. لذا کاهش انرژی توزیع نشده از اهم وظایف شرکت‌های تامین کننده انرژی الکتریکی بوده و یکی از اهداف استراتژیک آنها نیز به شمار می‌آید. عدم وجود منابع مالی کافی در صنعت برق و نتیجتا عدم سرمایه‌گذاری مورد نیاز در بازه‌های زمانی خاص، منجر به بارگذاری بالای پست‌های ۱۳۲/۶۳/۲۰ کیلوولت شبکه شهر مشهد گردیده است. در پیک بار معمولا ضریب بهره‌برداری این پست‌ها بیشتر از ۷۵٪ می‌باشد. با توجه به‌وجود دو سطح ولتاژ ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت در شبکه فوق توزیع مشهد و وجود ترانس‌های سه هسته جهت تامین بخشی از بار شبکه ۶۳ کیلوولت و همچنین بهره‌برداری شعاعی از شبکه ۶۳ کیلوولت پایین دست و اتوماسیون بودن کلیه این پست‌ها علاوه بر وجود امکان حذف بار از باسبار ۲۰ کیلوولت پست‌های ۱۳۲/۶۳/۲۰ کیلوولت، امکان قطع بار در پست‌های شعاعی متصل به آنها جهت کاهش بارگذاری ترانس سه هسته نیز فراهم است. با توجه به اولویت‌های قطع متفاوت فیدرهای خروجی یک پست و امکان انتخاب قطع بار از میان فیدرهای خروجی چند پست، در این مقاله با استفاده از تجهیز RTU-PLC جهت افزایش هوشمندی سیستم، روشی برای حداقل نمودن میزان انرژی توزیع نشده در فیدرهای نیمه‌حساس شبکه ارایه شده است. متذکر می‌گردد از آن‌جا که فیدرهای خروجی پست‌ها به سه دسته عادی، نیمه‌حساس و حساس تقسیم‌بندی می‌شوند، واضح است که در حذف بار جریانی هوشمند پیشنهادی، رعایت اولویت قطع فیدرها الزامی است. روش ارایه شده بر روی بخشی از شبکه شعاعی شهر مشهد پیاده‌سازی و نتایج مطالعات ارایه گردیده است.

کلید واژه- انرژی تامین نشده، قطع بار، حذف بار جریانی هوشمند، تجهیز RTU-PLC، بارهای عادی، نیمه‌حساس و حساس.

۱- مقدمه

رشد سریع و روزافزون تقاضای انرژی الکتریکی، موجب گردیده تا میزان خاموشی‌های خواسته و ناخواسته شبکه نیز افزایش یابد و از آنجا که میزان خاموشی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم در سیستم قدرت تلقی می‌گردد لذا پایین بودن آن نه تنها نشان‌دهنده کیفیت مناسب ارایه خدمات در شبکه می‌باشد بلکه مزایای اقتصادی زیادی را نیز در پی دارد و می‌تواند موجب افزایش رفاه اجتماعی و رضایت‌مندی عمومی گردد. استفاده از قابلیت‌های سیستم‌های اتوماسیون موجب می‌گردد تا در صورت نیاز به اعمال خاموشی و قطع فیدرهای فشار متوسط بتوان نسبت به کمینه نمودن میزان خاموشی اقدام نمود. در حال حاضر استفاده از تجهیزات نوین در پست‌های فوق توزیع امکانات جدیدی را برای کاهش خاموشی‌های شبکه به‌وجود آورده است. استفاده مناسب از امکانات اتوماسیون می‌تواند در کاهش میزان خاموشی و بالطبع کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و سرمایه‌گذاری سیستم تاثیر به‌سزایی داشته باشد.

به عبارت دیگر، با کاهش میزان انرژی توزیع نشده از یک سو میزان خسارات اقتصادی محتمل کاهش خواهد یافت و از سوی دیگر رضایت و اطمینان عمومی در بین مشترکین بالا خواهد رفت؛

بنابراین شـرکت‌های برق به‌صورت مستمر به بررسی و ارزیابی دقیق خاموشـی‌ها پرداخته تا بتوانند راهکارهایی کارآمد و کم هزینه جهت کاهش میزان خاموشـی و ارتقا کیفیت خدمات، ارایه دهند [۱ و ۲]. این راهکارها چه در حوزه برنامه‌ریزی و چه در حوزه بهره‌برداری باید با شناخت دقیق علل و شرایط خاموشی‌ها و همچنین وضعیت شبکه مورد مطالعه انتخاب گردد [۳].

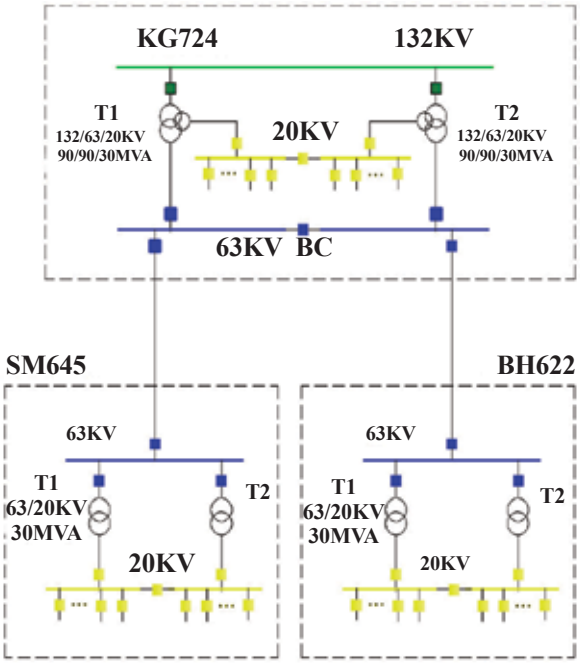
در حـال حاضر به دلیل بارگذاری بالای بعضی از پسـت‌ها در برخی از نقـاط کاری شـبکه، در صـورت وقـوع حادثـه و خـروج یکی از ترانسـفورماتورهای قدرت جهت جلوگیـری از اضافه بار ترانس دیگر از حفاظت حذف بار جریانی در شـبکه استفاده می‌گردد[۴]. در این مقالـه یک روش حذف بـار جریانی با اولویت کمینه‌سـازی قطع بار در فیدرهای نیمه‌حسـاس و سـپس حداقل نمودن مجموع خاموشی اعمال شده در پست‌های یک منطقه که به‌صورت شعاعی بهره‌برداری می‌گردند، پیشنهاد گردیده است. بدین منظور ابتدا به معرفی تجهیز RTU-PLC جهت انجام محاسبات مورد نیاز به‌منظور کمینه‌سازی بار قطع شـده در مواقع خروج یک ترانس پرداخته شـده است و سپس با توجه به تقسـیم‌بندی فیدرهای فشار متوسـط به‌صورت حساس، نیمه‌حسـاس و عادی، نسـبت به انجام حذف بـار جریانی مورد نیاز اقـدام می‌گـردد. با توجه به اهمیت شـهر مشـهد و بارگذاری بالای پسـت‌های فوق‌توزیع در این منطقه، روش پیشنهادی بر روی بخشی از شبکه فوق‌توزیع این شهر که به‌صورت شعاعی بهره‌برداری می‌گردد پیاده‌سـازی شده است و در نهایت به جمع‌بندی مزایا و کارایی روش پیشنهادی نسبت به وضعیت موجود پرداخته شده است.

۲- حذف بار جریانی

رشـد بار الکتریکی در کلان شـهرهای کشـور به دلیل اسـتفاده از سـرویس‌ها، خدمات و امکانات مبتنی بر برق بسیار بالاست [۵]. مثلا در کلان شـهر مشهد رشـد پیک‌بار الکتریکی در سال گذشته بیش از ۷٫۵ درصـد بـوده اسـت و از طرف دیگر قطع بـرق منجر به قطع بسیاری از سرویس‌ها و خدمات و اعمال خسارت‌ها و صدمات سیاسی و اقتصادی جبران‌ناپذیری می‌گردد. از آن جایی که بسیاری از مراکز حسـاس و مهم سیاسـی، اداری، درمانی، تجاری و ... از شـبکه برق فشار متوسط عمومی تغذیه می‌گردند، لذا حساسیت فیدرهای شبکه فشـار متوسـط خروجی از یک پسـت فوق‌توزیع با توجه به منطقه مورد تغذیه به سـه دسته حساس، نیمه‌حساس و عادی تقسیم‌بندی می‌شوند. بدیهی است در مواقع وقوع حادثه و نیاز به قطع بار آخرین مرحله قطع بار باید بر روی فیدرهای حسـاس صورت پذیرد. در حال حاضـر با بارگذاری بالای پسـت‌های فوق‌توزیع مرکز شـهر و وجود عمـده مراکز مهم و بارهای حسـاس در این منطقـه موجب گردیده تا تعداد و بار فیدرهای عادی خروجی پسـت فوق‌توزیع جهت کاهش بارگـذاری ترانس در صورت خروج ترانس دیگر کافی نباشـد. لذا به ناچار جهت جلوگیری از خروج ترانس دیگر به دلیل اضافه بار، نیاز به قطع فیدرهای نیمه‌حساس پست می‌باشد. لازم به ذکر است حذف بار جریانی موجود در پست‌های فوق‌توزیع در حال حاضر بدون توجه به میزان اضافه بار بر روی ترانس، به‌صورت همزمان فرمان قطع به ۳-۴ فیدر خروجی از قبل تعیین شده ارسال می‌نماید [۶].

۲-۱- معرفی شبکه مورد مطالعه

شبکه فوق‌توزیع شهر مشهد شامل دو سطح ولتاژ ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت می‌باشد که چهار پست با ترانس‌های سه هسته ۱۳۲/۶۳/۲۰ کیلوولت شـبکه ۶۳ کیلوولت، که اغلب در بافت مرکزی شهر هستند را تغذیه می‌نماید. با توجه به مشـکلات بهره‌برداری و فرسوده بودن شبکه ۶۳ کیلوولـت، در حال حاضر این شـبکه به صورت شـعاعی بهره‌برداری می‌گردد. بخشـی از شبکه فوق‌توزیع شهر مشهد و مشخصات پست‌های آن در شکل (۱) آورده شده است [۷].



شکل ۱: شبکه نمونه

۲-۲- معرفی تجهیز RTU-PLC

تجهیز RTU/PLC یکی از قوی‌ترین و موثرترین تجهیزات برای اهداف کنترلی و پایش سیسـتم‌ها است. این تجهیز علاوه بر آنکه بسیاری از پروتکل‌های ارتباطی را پشتیبانی می‌نماید، امکان برنامه‌نویسی را نیز در اختیار کاربر قرار می‌دهد [۸].

بـا توجه به آنکه در برخی پسـت‌های برق مقادیر بار فیدرها توسـط دسـتگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال اندازه‌گیری شده و این تجهیزات دارای پروتکل ارتباطی Modbus می‌باشـد، در صورتی‌که یک تجهیز با امکان برنامه‌ریزی، قابلیت پشـتیبانی از پروتکل مذکور را داشـته باشـد، امکان قرائت بـار کلیه فیدرهـای ورودی و خروجی از طریق پروتکل مذکور وجود داشـته و با اسـتفاده از قابلیت برنامه‌نویسی آن و توسط یک زیربرنامه ساده می‌توان نسبت به تشخیص میزان اضافه بار و محاسـبه حداقل مقدار خاموشی مورد نیاز با لحاظ اولویت قطع فیدرهای عادی و نیمه‌حساس اقدام نمود. همچنین در پست‌هایی که رله‌هـای آن پروتکل IEC61850 را پشـتیبانی می‌نمایند، در صورتی که یـک تجهیز قابل برنامه‌ریزی بتواند پروتکل مذکور را پشـتیبانی نماید، با اتصال آن به رله‌ها، می‌توان مشابه مورد فوق نسبت به کنترل هوشـمند فیدرهـای خروجی اقدام نمود. لازم به ذکر اسـت با توجه بـه محدودیت‌های رله‌هـای حفاظتی نیومریک امکان برنامه‌نویسـی پیشـرفته در این تجهیزات وجود ندارد. همچنین در این تجهیزات به دلیل بکارگیری ظرفیت CPU جهت عملیات پردازشـی غیر از انجام وظایف اصلی حفاظتی، توصیه نمی‌گردد.

تجهیز RTU32R که یک نمونه از انواع تجهیز RTU/PLC می‌باشد، با سیستم عامل WinCE توسعه یافته است و قابل اجرا در تمامی محیط‌های ماکروسافت می‌باشد. نرم‌افزار این تجهیز بر روی یک حافظه قابل حمل ذخیره می‌شود. در زمان راه‌اندازی، سیستم عامل و نرم افزار آن به RAM انتقال داده شده و از آنجا اجرا می‌گردند. تنظیمات سیستم و اطلاعات بر روی حافظه جانبی ذخیره می‌گردند.

شکل ۲: نمایی از تجهیز RTU۳۲ [۸]

پشتیبانی از تمامی زبان‌های PLC با استاندارد IEC61131 به برنامه‌نویس قدرت انتخاب می‌دهد. امکان برنامه ریزی RTU32R از طریق VPN، کامپیوتر، LAN و پورت سریال 485/RS232 وجود دارد. این تجهیز از پروتکل‌های 61850، WITS، DNP3، 60870، DNP3، DF1، Profinet، Modbus و DLMS پشتیبانی می‌کند. این تجهیز در حالت عادی دارای ۶۰ سیگنال ورودی و خروجی است که با توجه به نیاز مشتری می‌تواند تا ۱۰۰۰ سیگنال ورودی و خروجی را پشتیبانی کند.

۳- حذف بار جریانی هوشمند

۳-۱- معرفی روش پیشنهادی

با توجه به مطالب فوق لازم به ذکر است ترانس‌های سه هسته شهر مشهد در حکم ترانسفورماتور انتقال برای شبکه ۶۳ کیلوولت داخل شهر مشهد دارد و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با عنایت به بارگذاری بالای این ترانس‌ها در مواقع اضطراری و وقوع حادثه بر روی یکی از آنها، امکان تامین کل بار توسط ترانس دیگر وجود ندارد و به ناچار حذف بار جریانی باید صورت پذیرد.

در حال حاضر حذف بار جریانی به‌صورت محلی انجام می‌شود. یعنی با خروج T1 از پست KG724 رله‌های موجود نسبت به حذف بار فیدرهای فشار متوسط همان پست اقدام می‌نمایند که با توجه به بارگذاری بالای ۷۰% پست، بسیاری از بارهای منطقه تحت تغذیه این پست باید قطع گردد. مطابق شکل (۱) از آنجائی که بهره‌برداری از شبکه ۶۳ کیلوولت داخل شهر مشهد به‌صورت شعاعی از پست‌های با ترانسفورماتورهای سه هسته‌ای انجام می‌شود و بارگذاری ترانس‌های مذکور در پیک معمولا بیش از ۷۰% بوده و در صورت خروج یک ترانس امکان تامین کل بار توسط ترانس دیگر وجود ندارد. از جمله مزایای بهره‌برداری شعاعی از پست‌های SM645 و BH622 می‌توان به کاهش بار ترانس سه هسته پست KG724 به میزان حذف بار فیدرهای ۲۰ کیلوولت در پست پایین دست اشاره کرد. در صورت عدم بهره‌برداری شعاعی از پست‌های پایین دست (پست‌های SM645 و BH622)، رابطه خطی بین بار قطع شده از پست‌های ۶۳ کیلوولت پایین دست بر روی میزان بارگذاری ترانس پست KG724 وجود ندارد. حال آن که با توجه به اتوماسیون بودن این پست‌ها و وجود ارتباط مخابراتی بین پست مذکور و پست‌های پایین دست در صورت استفاده از RTU-PLC و با توجه به وجود بستر مخابراتی امکان پردازش و محاسبه میزان بار مورد نیاز جهت قطع و صدور فرمان قطع به فیدرهای فشار متوسط پست‌های پایین دست علاوه بر فیدرهای محلی جهت کاهش بارگذاری ترانسفورماتور باقی مانده در مدار وجود خواهد داشت. در جداول (۱) و (۲) کلیه فیدرهای فشار متوسط پست‌های شبکه نمونه، نوع و بار هر یک در ۲ ساعت مختلف آورده شده است [۷].

جدول ۱: اطلاعات پست‌های فوق‌توزیع در ساعت ۱۴ مورخ ۹۴/۰۵/۰۵

نام پست		اطلاعات فیدرهای ۲۰ کیلوولت											مجموع بار پست (آمپر)
	نام فیدر	J01	J02	J03	J04	J05	J06	J07	J08	J09	J10	J11	
KG724	اولویت قطع	نیمه حساس	عادی	عادی	حساس	عادی	نیمه حساس	نیمه حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	
	بار (آمپر)	۱۰۸	۸۵	۱۳٤	۵۲	۲۱۲	۱۵۰	۱۸۵	۱۱۸	۹۱	۸۷	٤۷	۱۳۶۹
SM624	اولویت قطع	نیمه حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس		
	بار (آمپر)	۵۲	۱٤۲	۱۵۵	۱٤۵	۱۰٦	۹۸	۸۲	۱۸٦	۱۱۱	۱۵۵		۱۳۳۲
BH622	اولویت قطع	حساس	حساس	عادی	حساس	حساس	حساس	نیمه حساس	عادی				
	بار (آمپر)	۱۱۲	۷۷	۲٤۰	۱۲۹	۱۵۲	۱۳۸	۹۹	۱۹۰				۱۱۳۷
جمع کل (آمپر)													۳۶۳۸

جدول ۲: اطلاعات پست‌های فوق‌توزیع در ساعت ۱۴ مورخ ۹۴/۰۵/۰۶

نام پست		اطلاعات فیدرهای ۲۰ کیلوولت											مجموع بار پست (آمپر)
	نام فیدر	J01	J02	J03	J04	J05	J06	J07	J08	J09	J10	J11	
KG724	اولویت قطع	نیمه حساس	عادی	عادی	حساس	عادی	نیمه حساس	نیمه حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	
	بار (آمپر)	۱۸۸	۳۲	۱۲۹	۴۳	۲۰۷	۲۱۰	۱٤۲	۷۸	۶۹	۵۵	٤۲	۱۱۹۵
SM624	اولویت قطع	نیمه حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس	حساس		
	بار (آمپر)	۲۳۵	۸۲	۱۱۰	۱۰۸	۷۸	۹۲	۷۵	۱۶۰	۷۸	۱۱۳		۱۱۳۱
BH622	اولویت قطع	حساس	حساس	عادی	حساس	حساس	حساس	نیمه حساس	عادی				
	بار (آمپر)	۷۳	۶۱	۲۳۵	۹۳	۱۱۱	۱۰۲	۲۵۲	۱۸۵				۱۱۱۲
جمع کل (آمپر)													۳٤۳۸

همانطور که مشاهده می‌شود با توجه به تعداد کم فیدرهای عادی در پست‌های مذکور در صورت خروج T1 در پست KG724 و عملکرد

محلی حذف بار جریانی در این پست، بار فیدرهای نیمه‌حساس نیز جهت کاهش بارگذاری ترانس می‌بایست قطع گردد. حال آن که در صورت انجام محاسبات حذف بار توسط RTU-PLC نصب شده در پست مذکور و صدور فرمان قطع فیدرهای فشار متوسط در هر سه پست، امکان کاهش بارگذاری ترانس T2 بدون حذف بارهای نیمه-حساس و یا حداقل نمودن حذف بار فیدرهای نیمه‌حساس میسر می‌باشد [۹].

روش پیشنهادی در این مقاله به منظور حذف بار جریانی هوشمند با توجه به امکان برنامه‌نویسی پیشرفته در RTU-PLC، با هدف کمینه‌سازی قطع بار در فیدرهای نیمه‌حساس صورت پذیرفته است.

۳-۲- نتایج پیاده‌سازی

نمونه ۱:

در جدول (۱) بار ساعت ۱۴روز ۹۴/۰۵/۰۵ آورده شده است. در صورت بروز حادثه و قطع ترانس T1 در پست KG724 نیاز به قطع ۱۰۴۰ آمپر بار، جهت بارگذاری مجاز ترانس T2 می‌باشد. بخشی از نتایج محاسبات با اجرای روش پیشنهادی در این مقاله در جدول (۳) آورده شده است که از نظر کمینه‌سازی بار نیمه‌حساس قطع شده اولویت‌بندی شده است.

در صورت اجرای یک برنامه به منظور کمینه‌سازی بار قطع شده بدون توجه به نوع حساسیت، ترکیب فیدرهای انتخابی از میان فیدرهای عادی و نیمه‌حساس مطابق ردیف ۲ جدول (۳) خواهد بود. حال آن که با توجه به هدف حداقل‌سازی خاموشی فیدر نیمه‌حساس، این گزینه مطلوب نمی‌باشد.

همانطور که ملاحظه می‌شود در صورت انتخاب گزینه ۲ از جدول (۳) علی‌رغم پایین‌تر بودن میزان کل بار قطع شده، میزان بار نیمه‌حساس قطع شده از ۳ فیدر انتخابی ۳۹۲ آمپر می‌باشد که در مقایسه با گزینه ۱ جدول (۳) ۲۰۷ آمپر بیشتر است. لذا نتایج نشان می‌دهد با اجرای روش پیشنهادی در اولویت اول میزان بار نیمه‌حساس قطع شده حداقل گردیده و سپس کمینه‌سازی کل بار قطع شده مد نظر قرار گرفته شده است.

نمونه ۲:

در جدول (۲) بار ساعت ۱۴ روز ۹۴/۰۵/۰۶ آورده شده است. در صورت بروز حادثه مشابه نمونه ۱ در این ساعت نیاز به قطع ۸۴۰ آمپر بار در هر سه پست وجود دارد. بخشی از نتایج اجرای روش پیشنهادی مطابق جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۳: نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی نمونه ۱

	پست	فیدرهای پیشنهادی برای قطع										مجموع کل بار قطع شده (آمپر)	بار نیمه حساس قطع شده (آمپر)
		KG724						SM645	BH622				
	فیدر	J01	J02	J03	J05	J06	J07	J01	J03	J07	J08		
	حساسیت	نیمه حساس	عادی	عادی	عادی	نیمه حساس	نیمه حساس	نیمه حساس	عادی	نیمه حساس	عادی		
	بار ردیف	۱۰۸	۸۵	۱۳۴	۲۱۲	۱۵۰	۱۸۵	۵۲	۲۴۰	۹۹	۱۹۰		
۱		۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱۰۴۶	۱۸۵
۲		۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱۰۴۱	۳۹۲
۳		۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱۰۴۶	۵۹۴
۴		۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰۵۰	۴۸۶
۵		۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰۵۱	۴۰۹

جدول ۴: نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی نمونه ۲

	پست	فیدرهای پیشنهادی برای قطع										مجموع کل بار قطع شده (آمپر)	بار نیمه حساس قطع شده (آمپر)
		KG724						SM645	BH622				
	فیدر	J01	J02	J03	J05	J06	J07	J01	J03	J07	J08		
	حساسیت	نیمه حساس	عادی	عادی	عادی	نیمه حساس	نیمه حساس	نیمه حساس	عادی	نیمه حساس	عادی		
	بار ردیف	۲۳۵	۳۲	۱۲۹	۱۸۵	۱۸۸	۲۱۰	۱۴۲	۲۳۵	۲۵۲	۲۰۷		
۱		۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۸۹۸	۱۴۲
۲		۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۹۳۰	۱۴۲
۳		۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۸۴۷	۱۸۸
۴		۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۹۴۴	۱۸۸
۵		۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۹۷۶	۱۸۸

همانطور که مشاهده می‌شود روش ارایه شده در این مقاله علاوه بر کمینه‌سازی بار نیمه‌حساس قطع شده، میزان کل بار قطع شده را نیز حداقل می‌سازد.

نکته قابل توجه در روش پیشنهادی این است که الگوریتم فوق به‌صورت خروج تمامی فیدرهای عادی در اولویت اول کمینه‌سازی قطع بار نیمه‌حساس عمل نمی‌نماید. همانطور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود در مواقعی که جهت برطرفسازی اضافه بار ترانس، حتما نیاز به قطع فیدرهای نیمه‌حساس است در صورت وجود فیدر عادی با بار کم و عدم نیاز به قطع بار آن فیدر، فیدر مذکور قطع نخواهد شد و نتیجتا میزان بار کل قطع شده کاهش می‌یابد.

برای مثال در نمونه ۲ مجموع بار ۵ فیدر عادی برابر با ۷۸۸ آمپر می‌باشد که با توجه به نیاز به قطع ۸۴۰ آمپر بار، با قطع تمامی آنها امکان کاهش بارگذاری ترانس تا میزان مجاز وجود ندارد و لذا قطعا قطع حداقل یک فیدر نیمه‌حساس در این حالت نیاز خواهد بود. گزینه ۱ در جدول (۴) نشان می‌دهد که با قطع ۴ فیدر عادی و ۱ فیدر نیمه‌حساس به جای قطع هر ۵ فیدر عادی و ۱ فیدر نیمه‌حساس بارگذاری ترانس در حد میزان مجاز رعایت می‌گردد و نیاز به قطع فیدر عادی J02 از پست KG724 با بار ۳۲ آمپر نیست.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به بار بالای ترانس‌های پست‌های ۱۳۲/۶۳/۲۰ کیلوولت شهر مشهد استفاده از حذف بار جریانی به‌منظور حفظ پایداری شبکه ضروری می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به وجود و تعدد مراکز حساس سیاسی، اجتماعی، درمانی، اداری و .... در شهر مشهد که منجر به تقسیم‌بندی اکثر فیدرهای خروجی یک پست فوق‌توزیع به حساس و نیمه‌حساس شده است، اعمال خاموشی جهت کاهش بارگذاری ترانس با محدودیت در انتخاب فیدر مواجه است. لذا به قطع بار فیدرهای نیمه‌حساس علاوه بر فیدرهای عادی در پست‌های مرکز شهر نیاز می‌باشد در نتیجه کمینه نمودن بار قطع شده در فیدرهای نیمه‌حساس از جمله اهداف این مقاله به‌شمار می‌رود.

در این مقاله با معرفی تجهیز RTU-PLC با قابلیت برنامه‌نویسی پیشرفته، روشی جهت انتخاب حداقل بار مورد نیاز برای قطع از بین فیدرهای عادی و نیمه‌حساس کلیه پست‌های شعاعی متصل به یک پست با ترانس سه هسته، با رویکرد کمینه نمودن بار نیمه‌حساس قطع شده پیشنهاد شده و روش مذکور بر روی بخشی از شبکه

ادامه در صفحه ۴۹

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران - شاخه خراسان

Khorasan .Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers

اهمیت روزافزون علم در جوامع کنونی و پیشرفت برق‌آسا در حوزه‌های مختلف علوم و تقسیم‌بندی آن به رشته‌های گوناگون گواهی بر این مدعا است که تمام جنبه‌های نظام اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی بر پایه علم بنا شده است. حتی می‌توان گفت نظام‌هایی بیشتر استوار و پابرجا هستند که اصول و موازین آنها بر اساس یافته‌های علمی استوارند. شاید علم در دهه‌های گذشته تاریخ بشریت چندان اهمیت تعیین کننده‌ای نداشته است، ولی امروزه در هر نظام توسعه یافته‌ای راه‌های پیشرفت و توسعه از طریق گسترش مرزهای دانش بشری میسر است.

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران نیز که یک موسسه‌ای غیر انتفاعی است، در سال ۱۳۷۰ با هدف فعالیت در زمینه های علمی، آموزشی و پژوهشی با کسب مجوز از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری آغاز به‌کار کرد و پس از آن به‌سرعت نمایندگی هایی در سایر استان‌ها تحت عنوان شاخه انجمن شروع به فعالیت نمودند. در سال ۱۳۷۶ انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران – شاخه خراسان که یکی از بزرگترین شاخه‌های انجمن ایران است، فعالیت خود را آغاز نمود که در قالب کمیته‌های تخصصی ارتباطات و رسانه، توسعه و پشتیبانی، پژوهش و فناوری، آموزش و نشریه ضمن بهره‌گیری از حضور صاحب‌نظران و علاقمندان به هر موضوع در بروزرسانی اطلاعات فنی اعضای خود ارایه خدمت می‌نماید.

کمیته نشریه این انجمن بدنبال اولین جرقه شکل‌گیری اندیشه ترویج دانش و تجارب کاربردی و تقویت ارتباط بین صنعت و دانشگاه در گرایش‌های مختلف رشته‌های برق و الکترونیک، کامپیوترو مهندسی پزشکی در سال ۱۳۹۰ تشکیل و جهت اخذ مجوز نشریه علمی ترویجی در این زمینه پی گیریهای خود را آغاز و در بهمن ماه سال ۱۳۹۱ موفق به اخذ مجوز انتشار فصلنامه تحلیلی، آموزشی، پژوهشی با عنوان «عصر برق» گردید. صاحب امتیاز این نشریه، انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران و مدیر مسوول آن جناب آقای دکتر حبیب رجبی مشهدی، استاد تمام گروه برق و ریاست دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشند و اساتید بنامی از سراسر کشور به‌عنوان هیئت تحریریه آن با این نشریه همکاری می‌نمایندکه در زیر به معرفی آنان پرداخته شده است. پیگیری‌های این کمیته تا حصول نتیجه برای انتشار نشریه علمی - ترویجی ادامه خواهد داشت.

امیدواریم با تلاش‌های به‌عمل آمده بتوانیم ضمن دستیابی به اهداف مورد نظر خود، رضایت همه مخاطبین را نیز کسب نماییم.

نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت
دکترمحمدرضا اکبرزاده توتونچی	استاد تمام	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سید هاشم اورعی میرزمانی	استادتمام	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف
دکتر حمید تولیت	استادتمام	عضو هیئت علمی دانشگاه A&M تگزاس آمریکا
دکتر سید حسین حسینی	استاد تمام	عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز
دکتر حبیب رجبی مشهدی	استاد تمام	عضو هیئت علمی و رئیس دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مصطفی رجبی مشهدی	استادیار	معاون راهبری شبکه برق کشور و عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی سجاد
دکتر جواد ساده	استاد تمام	معاون آموزشی و عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مهرداد شکوه صارمی	دانشیار	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر امیررضا عطاری	استاد تمام	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مهدی علوی بایگی	-	مدیر دفتر تحقیقات و کنترل کیفیت تجهیزات
دکتر حسن غفوری‌فرد	استاد تمام	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیر کبیر و دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
دکتر گئورگ قره‌پتیان	استاد تمام	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دکتر رضا لطفی	استاد تمام	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر خلیل مافی‌نژاد	استاد تمام	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهدو دانشگاه صنعتی سجاد
دکتر محمد منفرد	دانشیار	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد مولوی	استاد تمام	عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهدو دانشگاه صنعتی سجاد

وب سایت انجمن: www.kiaeee.ir
پست الکترونیکی: info@kiaeee.ir
آدرس: مشهد، بلوار وکیل‌آباد، نبش بلوار امامت، مجموعه فرهنگی ورزشی شرکت برق منطقه‌ای خراسان
تلفن‌های تماس: ۷ – ۳۶۱۰۳۸۵۶ –۰۵۱
دورنگار: ۳۶۱۰۳۸۵۸ -۰۵۱

تاریخ: / / ۱۳۹

درخواست اشتراک نشریه عصر برق

(لطفا کپی این فرم را به‌طور خوانا و دقیق تکمیل فرمایید)

ASR-E-BARQ

شماره اشتراک:

شماره اشتراک قبل:

(مشخصات متقاضی)

نام شرکت/موسسه: .....

نام خانوادگی: .....

نام: .....

شغل: ..... میزان تحصیلات: ..... رشته تحصیلی: .....

استان: ..... شهر: ..... بلوار: ..... خیابان: .....

کوچه: ..... پلاک: ..... طبقه: ..... واحد: ..... کد پستی: .....

صندوق پستی: ..... پست الکترونیک ..... تلفن: .....

نمابر: ..... پیش شماره ..... تلفن همراه: .....

تعداد نسخه در هر نوبت: ☐ ارسال از شماره: ☐ شماره‌های قبلی مورد درخواست: .....

سرویس پست: عادی ☐ سفارشی ☐ ارسال به: نشانی پستی ☐ صندوق پستی ☐

مبلغ واریزی: ..... شماره رسید بانکی: ..... بانک/شعبه: .....

برای برقراری اشتراک نشریه عصر برق، هزینه اشتراک مورد نظر را از جدول زیر انتخاب نموده و به حساب ۴۰۶۵۳۷۹۲۷ نزد بانک تجارت شعبه برق (قابل پرداخت در همه شعب بانک تجارت) به نام نشریه عصر برق واریزو رسید مربوطه را به همراه برگ تکمیل شده درخواست اشتراک به نشانی: مشهد. پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی گروه برق ارسال فرمایید.

همچنین برای جلوگیری از عملیات پستی و سهولت کار می‌توانید فرم تکمیل شده را به‌وسیله نمابر به شماره ۰۵۱-۳۶۱۰۳۸۵۸ ارسال فرمایید.

اشتراک	یکساله	پست عادی	پست سفارشی
	۲۵۰،۰۰۰ریال	۳۰۰،۰۰۰ ریال	

تذکر: اشتراک بیش از یک سال پذیرفته نمی‌شود.

دانشجویان محترم، اساتید گرامی و فرهنگیان عزیز در صورت تمایل می‌توانند مبلغ فوق را پس از کسر ۱۰٪ واریز فرمایند.
نسخه الکترونیکی شماره‌های قبلی نشریه در سایت انجمن موجود است و برای دریافت نسخه چاپی شماره‌های قبلی نشریه به ازای هر شماره مبلغ ۵۰،۰۰۰ ریال به حساب واریز گردد.

شرکت توزیع نیروی برق شرکتی مشهد
Mashhad Electric Energy Distribution Co.

شهر بهشت، شهر سبز

اتمام پروژه جایگزینی کابلهای خودنگهدار به جای شبکه های سیمی در شبکه های فشار ضعیف

یعنی :

آشتی شبکه های برق با شاخه های درختان

بدون اعمال خاموشی

به طول ۷۰۰۰ کیلومتر

www.meedc.ir

شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد
Mashhad Electric Energy Distribution Co.

خدمات الکترونیکی پورتال
شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد

www.meedc.ir

مشترکین محترم:

شما می توانید با مراجعه به وب سایت www.meedc.ir شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد، خدمات ذیل را بدون هیچگونه مراجعه حضوری دریافت نمائید:

- خرید انشعاب برق، اطلاع و پیگیری از مراحل انجام کار
- ثبت درخواست مولد خورشیدی
- مشاهده و چاپ قبض
- پرداخت قبوض
- اعلام شماره همراه جهت دریافت پیامکهای اطلاع رسانی
- ثبت قرائت توسط مشترک
- ثبت درخواست خسارت ناشی از قطعی برق (مشترکین خانگی)
- استفاده از ماشین حساب تعرفه های جدید

"شماره تلفن ۱۵۲۱ راحت ترین و سریعترین راه برای پرداخت قبوض برق"

www.meedc.ir