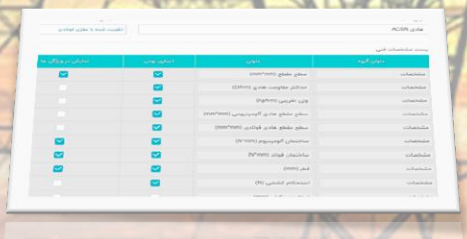
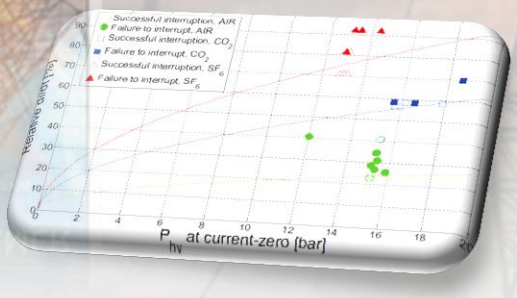
بروندادهای تخصصی

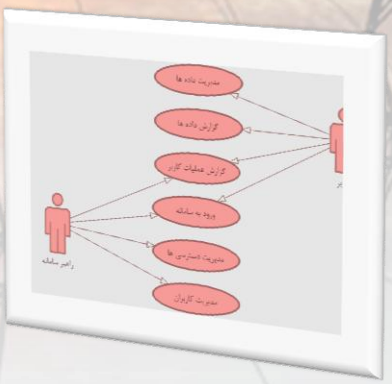
گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

سال پنجم، شماره ۱۶، بهار ۱۳۹۹

پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست







به‌نام خدا

گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: مجتبی گیلوانژاد

سردبیر: هادی نوروزی

مدیر اجرایی: هادی نوروزی

گرافیست و صفحه‌آرا: هادی نوروزی

ویراستار: هادی نوروزی، آرمان صفایی

عکس روی جلد: هادی نوروزی

همکاران این شماره: مجتبی گیلوانژاد، آرمان صفایی، فرشید منصوربخت، علی کدیور، امیرحسین محمدزاده نیاکی، هادی نوروزی

همکاران گروه: مجتبی گیلوانژاد، فرشید منصوربخت، آرمان صفایی، علی کدیور، امیرحسین محمدزاده نیاکی، پژمان خزایی و هادی نوروزی

همکاران معاونت پژوهشی: مسعود حسنی مرزونی، نوشین فرودی

ناشر:

نشانی الکترونیکی: hnorouzi@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه تجهیزات خط وپست

تلفن: ۸۸۵۹۰۱۷۳-۰۲۱

اعضای هیئت‌تحریریه:

مجتبی گیلوانژاد، فرشید منصوربخت، آرمان صفایی، علی کدیور، امیرحسین محمدزاده نیاکی، پژمان خزایی و هادی نوروزی

اهداف و رویکرد:

«برونداد‌های تخصصی گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست» با هدف ایجاد بستر مناسب برای تبادل اطلاعات مربوط به تجهیزات خط و پست به صورت داخل پژوهشگاهی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهترشدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج‌شده بر عهده نویسندگان است.

فهرست مطالب

- سخن سردبیر ۱
- نیازسنجی تدوین و استخراج استانداردهای حوزه انتقال و اولویت‌بندی آنها ۲
- تبیین مشخصه های فناوری جایگزینی ***SF6*** با گازهای دوستدار محیط زیست در کلیدهای قدرت فشارقوی ۱۰
- خبر و گزارش ۲۸
- معرفی کتاب ۴۱

سخن سردبیر

سپاس خداوند را که هستی، نام از او یافت و خرد را بی‌میانجی حکمت آموخت تا او را بشناسیم که شناخت او، از شناخت خود و دنیای اطراف خود شروع می‌شود.

بدون شک یکی از ویژگی‌های عصر حاضر این است که نشر و تبادل اطلاعات همزمان با پیشرفت تکنولوژی و فناوری در زمینه‌های مختلف علمی، با سرعت زیاد در حال انجام است. در مورد سیستم‌های قدرت و تجهیزات مرتبط با آن نیز چه در زمینه تکنولوژی و چه در زمینه پژوهش‌ها و خدمات انجام یافته، تغییرات رو به جلو بوده و پیشرفت‌های زیادی در مراحل مختلف تولید تا توزیع و مصرف برق، شکل گرفته است. تجهیزات و فعالیت‌های مربوط به خط و پست نیز از این مقوله مستثنی نبوده و با توجه به اهمیت فراوان آن، در کارایی سیستم قدرت نقش بسزایی دارد. پروژه‌ها و تحقیقات انجام شده در گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست پژوهشگاه نیرو، همواره در مسیر پیشرفت و در سطح فعالیت‌های پیشرو در دنیا می‌باشد. با توجه به اهمیت نشر و تبادل اطلاعات سعی شده است که این نشریه پژواکی از انواع فعالیت‌های پژوهشی و تخصصی انجام شده در گروه باشد تا بتوان با استفاده از نشر این فعالیت‌ها در قالب گزارشات و مقالات، ارتباط مناسبی با گروه‌های مختلف داخل پژوهشگاه و همچنین سایر مراکز علمی و تحقیقاتی مثل دانشگاه‌ها برقرار کرد.

هادی نوروزی

گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

اختتام پروژه

نیازسنجی تدوین و استخراج استانداردهای حوزه انتقال و اولویت‌بندی آنها

مدیر پروژه: امیر حسین محمدزاده

استاندارد سندی است در برگیرنده قواعد، راهنمایی‌ها، ویژگی‌ها، معیارها یا شاخص‌هایی برای تجهیزات، سیستم‌ها و فرآیندها که هدف از آن، دست‌یابی به میزان مطلوبی از نظم در یک زمینه خاص می‌باشد. نظر به ضرورت ارتقای کیفی و افزایش بهره‌وری در فرآیندها، سیستم‌ها، تجهیزات و نرم‌افزارها و با توجه به پیشرفت فناوری در صنعت برق، به‌کارگیری، ارتقاء و اشاعه استانداردها از الزامات برنامه‌های توسعه‌ای وزارت نیرو می‌باشد. جهت‌گیری صنعت برق به سوی استاندارد نمودن موضوعات و موارد مرتبط با این صنعت، پیشرفت تکنولوژی در صنعت برق، دستیابی به یکنواختی در طراحی، ضمن حفظ کیفیت قابل قبول و لازم در طراحی ایجاب می‌نماید که مشخصات فنی، معیارهای طراحی، بهره‌برداری و آزمون تجهیزات و سیستم‌ها به صورت استاندارد تهیه و تدوین گردد. هدف از این پروژه، شناسایی و استخراج استانداردهای حوزه انتقال، بررسی کفایت فنی و محتوایی آن‌ها و نیازسنجی و اولویت‌بندی جهت به‌روزرسانی استانداردهای موجود یا تدوین استانداردهای جدید در این حوزه می‌باشد.

مقدمه

استانداردها اسناد و مدارکی هستند که مشخصات و فرایندهای طراحی شده برای به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان مواد، محصولات، روش‌ها و خدماتی که مورد استفاده هر روزه مردم است، را تعیین می‌نمایند. استانداردها با ایجاد پروتکل‌هایی که در سراسر جهان قابل درک و پذیرش هستند، اساس و بنیان توسعه محصول را تشکیل می‌دهند. این امر فرایند توسعه محصول را ساده نموده و زمان رسیدن به بازار را کاهش می‌دهد. تنها از طریق استفاده از استانداردها است که اعتبار محصولات جدید و بازارهای جدید را می‌توان تأیید کرد. به طور خلاصه استانداردها محرک توسعه و پیاده‌سازی فن‌آوری‌هایی هستند که

بر نحوه زندگی، کار و ارتباطات ما تأثیر می‌گذارند. جهت‌گیری صنعت برق به سوی استاندارد نمودن موضوعات و موارد مرتبط با این صنعت، پیشرفت تکنولوژی در صنعت برق، دستیابی به یکنواختی در طراحی، ضمن حفظ کیفیت قابل قبول و لازم در طراحی ایجاب می‌نماید که مشخصات فنی، معیارهای طراحی، بهره‌برداری و آزمون تجهیزات و سیستم‌های مرتبط با حوزه انتقال به صورت استاندارد تهیه و

تدوین گردد. بسیاری از استانداردهای داخلی مرتبط با این حوزه در سال‌های گذشته تدوین شده است؛ در حالیکه استانداردهای بین‌المللی متناظر، هر چند سال یکبار به روز می‌گردند. همچنین با توجه به شرایط اقلیمی کشور، برخی استانداردهای موجود نیاز به اصلاح و بازنگری دارند. از طرفی با توجه به پیشرفت تکنولوژی و ظهور تجهیزات و فن‌آوری‌های جدید لازم است استانداردهای مرتبط با آن‌ها نیز تدوین گردد. در نتیجه بررسی استانداردهای داخلی و نیازسنجی تدوین و بازنگری استانداردهای حوزه انتقال امری ضروری است که در این پروژه به آن پرداخته می‌شود.

شایان ذکر است که در این پروژه، کلیه استانداردهای مرتبط با بخش‌های مختلف حوزه انتقال از جمله قدرت، سازه، مخابرات، کنترل، امنیت و ... مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این پروژه مشتمل بر ۵ مرحله می‌باشد که در ادامه تشریح خواهد شد.

مرحله اول: استخراج استانداردهای موجود در حوزه انتقال

در این مرحله، در ابتدا تجهیزات، سیستم‌ها و مباحث مرتبط با حوزه انتقال شناسایی، دسته‌بندی و ارائه گردید. سپس استانداردهای داخلی مربوطه از دو مرجع شورای استاندارد وزارت نیرو و سازمان ملی استاندارد استخراج و مورد بررسی قرار گرفت. در گام بعدی، استانداردهای بین‌المللی مرجع تمامی استانداردهای داخلی استخراج شد. پس از آن،

سال ویرایش مراجع بین‌المللی استفاده شده در استانداردهای داخلی و آخرین ویرایش آن‌ها ارائه گردید. با توجه به جداول استخراج شده مشاهده می‌شود که بیشتر استانداردهای سازمان ملی استاندارد منطبق بر آخرین ویرایش استاندارد مرجع بین‌المللی هستند. اما استانداردهای وزارت نیرو در اکثر موارد بر اساس استانداردهای بین‌المللی مرجع، به‌روز نبوده و نیازمند بازنگری هستند.

مرحله دوم: تعیین کفایت محتوایی استانداردهای داخلی موجود در حوزه انتقال

هدف از این مرحله، تعیین کفایت محتوایی استانداردهای داخلی موجود در حوزه انتقال و همچنین بررسی این استانداردها از منظر شرایط اقلیمی می‌باشد. در این گزارش، در ابتدا لیست کمیته‌های فنی IEC مرتبط با حوزه انتقال ارائه شد. سپس، کفایت محتوایی استانداردهای تدوین شده مرتبط با حوزه انتقال برق، مشتمل بر استانداردهای وزارت نیرو و همچنین استانداردهای سازمان ملی استاندارد ایران مورد بررسی قرار

گرفت. برای این منظور، در ابتدا لیست استانداردهای مرجع هر یک از استانداردهای داخلی استخراج شد. سپس، استانداردهای داخلی از لحاظ به روز بودن و محتوا با استانداردهای مرجع آنها مورد مقایسه قرار گرفت. برای این منظور، ابتدا ویرایش استاندارد بین‌المللی مورد استفاده در استاندارد داخلی با آخرین ویرایش آن استاندارد مقایسه شد. در صورتیکه ویرایش به روز شده استاندارد بین‌المللی مربوطه وجود داشته است، محدوده کار (Scope) و فهرست و محتوای استانداردها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در نتیجه لیست استانداردهایی که بر اساس استانداردهای بین‌المللی مرجع نیاز به اصلاح و به‌روزرسانی دارند تعیین و ارائه گردید.

با توجه به وجود شرایط اقلیمی خاص در برخی نقاط کشور (به عنوان مثال خوزستان)، ممکن است استانداردهای موجود جوابگوی نیاز کشور نباشد و لذا لازم است برخی استانداردهای داخلی با توجه به شرایط اقلیمی کشور مورد بازبینی و اصلاح قرار گیرد. بنابراین در این مرحله، استانداردهای داخلی از منظر تأثیر شرایط اقلیمی بر آن استاندارد بررسی شد و در نتیجه لیستی از استانداردهای داخلی که از شرایط اقلیمی متأثر می‌شوند و ممکن است نیاز به بازنگری و اصلاح داشته باشند تهیه گردید.

مرحله سوم: تعیین نیاز به تدوین استانداردهای جدید در حوزه انتقال

با توجه به پیشرفت تکنولوژی و ظهور تجهیزات و فن‌آوری‌های جدید لازم است استانداردهای مرتبط با آن‌ها نیز تدوین گردد. هدف از این مرحله، تهیه لیست استانداردهایی است که در کشور موجود نبوده و باید تدوین شوند. برای این منظور، با توجه کلمات کلیدی کلی حوزه انتقال و کلمات کلیدی تکنولوژی‌های جدید در این حوزه، لیست استانداردهای بین‌المللی که استاندارد داخلی در آن زمینه تدوین نشده‌اند و در استانداردهای داخلی به آنها پرداخته نشده است، استخراج و ارائه گردید.

مرحله چهارم: استعلام از شرکت‌های ذینفع در خصوص نیاز به بازنگری و تدوین استانداردهای حوزه انتقال

پس از استخراج لیست استانداردهای نیازمند بازنگری یا تدوین در مراحل قبل پروژه، جهت جامع و کامل بودن بخش نیازسنجی استانداردهای حوزه انتقال و بهره بردن از نظرات خبرگان صنعت برق در این خصوص، در این مرحله طی مکاتبات متعدد از شرکت مادر تخصصی توانیر، شرکت مدیریت شبکه برق ایران، ۱۶ شرکت برق منطقه‌ای و بخش‌های مرتبط در پژوهشگاه نیرو (گروه‌های پژوهشی، مراکز توسعه فناوری و مجریان طرح) استعلام صورت گرفت. برای این منظور، لیستی از استانداردهای نیازمند تدوین و بازنگری بر اساس استعلام‌های انجام شده در سال‌های قبل تهیه و به ذیربطان ارسال گردید و از آنها

خواسته شد اولویت استانداردهای مورد نیاز را مشخص نمایند. به علاوه، از ذیربطان درخواست شد که لیست موضوعات و استانداردهای مورد نظر خود در حوزه انتقال را نیز اعلام نمایند. پاسخ استعلامات دریافت شده از ذیربطان و لیست‌های مربوطه در گزارش این مرحله ارائه گردید.

مرحله پنجم: اولویت‌بندی تدوین استانداردهای حوزه انتقال

پس از انجام نیازسنجی، استعلام از ذیربطان و استخراج لیست استانداردهای نیازمند بازنگری و تدوین در مراحل قبل، در این مرحله بر اساس نیاز کشور و مسائل و مشکلات موجود در حوزه انتقال، اولویت تدوین و به‌روزرسانی استانداردهای داخلی تعیین می‌گردد و لیست اولویت‌بندی شده به همراه بودجه و زمان تخمینی مورد نیاز برای انجام آنها در گزارش ارائه شد.

برای این منظور، ۹ لیست استخراج شده در مراحل قبلی پروژه که هر یک شامل تعداد بسیار زیادی از استانداردها می‌باشند، مورد بررسی و جمع‌بندی قرار گرفت. معیارهایی که به منظور اولویت‌بندی استانداردهای مورد نیاز جهت تدوین و بازنگری مد نظر قرار گرفته‌اند عبارتند از:

- امتیازهای داده شده و اولویت‌بندی انجام شده توسط ذیربطان در خصوص لیست استانداردهای ارسالی از سوی پژوهشگاه نیرو
- لیست استانداردهای دارای اولویت اعلام شده توسط ذیربطان (علاوه بر موارد ذکر شده در بند قبل)

- استانداردهای مرتبط با مراکز، طرح‌ها و اسناد توسعه فناوری موجود در پژوهشگاه نیرو

بر اساس معیارهای فوق، در نهایت تعداد ۲۰ استاندارد دارای اولویت جهت بازنگری و ۲۰ استاندارد دارای اولویت جهت تدوین در افق ۵ ساله به همراه زمان و هزینه تخمینی برای انجام هر یک از آنها ارائه شد. بدیهی است سایر استانداردهای نیازمند تدوین و بازنگری که در بخش‌های قبل ارائه شده بود، در اولویت‌های بعدی قرار خواهند گرفت.

در انتها ذکر این نکته لازم است که فرآیند نیازسنجی و استعلام از ذیربطان فرآیندی مستمر بوده و نیاز است رویه‌ای وجود داشته باشد تا امکان پیشنهاد تدوین و بازنگری استانداردها توسط هر یک از ذیربطان صنعت برق در هر مقطع زمانی وجود داشته باشد. برای این منظور، فرآیند نیازسنجی استانداردها در طرح جامع نیازسنجی، اولویت‌بندی، تدوین، بازنگری و الحاقیه استانداردهای حوزه انتقال برق و از طریق دبیرخانه استانداردهای صنعت برق، که در مرکز آبانیرو در پژوهشگاه نیرو مستقر است، تدوین و پیاده‌سازی شده و به صورت مستمر اجرا می‌شود.

پژوهش

تبیین مشخصه‌های فناوری جایگزینی *SF6* با گازهای دوستدار محیط زیست

در کلیدهای قدرت فشارقوی

مدیر پروژه: علی کدیور

در کلید فشار قوی دو خاصیت مهم بازیابی عایقی و خنک سازی خاموش‌سازی قوس به عنوان پارامترهای تعیین کننده در انتخاب گاز همواره حایز اهمیت هستند. گاز هگزافلوئورید سولفور (SF6) یک گاز با قابلیت بازیابی عایقی و خاموش‌سازی قوس فوق‌العاده است و از این‌رو به‌صورت گسترده در کلیدهای قدرت و همچنین پست‌های فشرده با عایق گازی استفاده می‌شود. این در حالی است که این گاز اثر گلخانه‌ای بالایی دارد و استفاده از آن در پیمان کیوتو تحت محدودیت قرار گرفته است. ازاین‌رو تحقیقات در جهت جایگزین کردن این گاز در کلیدهای قدرت و پست‌های گازی پیش از سال ۲۰۰۰ آغاز شده است.

هدف این گزارش، بررسی جایگزینی گاز SF6 با سایر گازها شامل N2، هوای فشرده و گاز CO2 در کلیدهای قدرت است. گاز جایگزین SF6 بایستی مشخصات عایقی قابل‌توجهی داشته باشد و همچنین در اطفای قوس، عملکرد قابل‌قبولی داشته باشد. بدین ترتیب بایستی به دو جنبه عایقی و خاموش‌سازی قوس گازهای جایگزین توجه شده و با گاز SF6 مقایسه شود.

مواردی که در این تحقیقات باید مد نظر قرار بگیرند یافتن پاسخی است برای سوالات ذیل :

- انتظار ما از گاز جایگزین در خصوص عملکرد قطع قوس و نیز استقامت الکتریکی چیست؟
- آیا گاز جایگزین و یا محصولات تولیدی آن در کلید سمی است؟
- آیا قادریم این گازهای جایگزین را در کلیدهای قدرت موجود تزریق نماییم؟
- آیا افت و فرسایش این گازها با *SF6* مقایسه شده است؟
- آیا نیاز به تغییر استانداردهای بین المللی وجود دارد؟

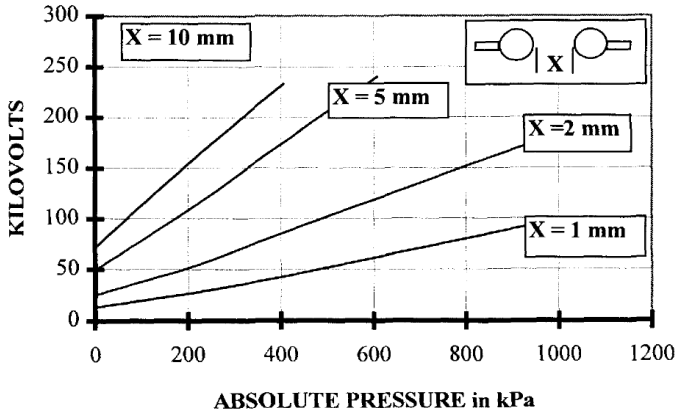
در این گزارش، در ابتدا به مشخصات الکتریکی و ملاحظات زیست محیطی گاز SF6 پرداخته می‌شود و اهمیت یافتن جایگزین تبیین می‌گردد. در ادامه، گازهایی که تاکنون به صورت بالقوه به‌عنوان جایگزین گاز SF6 پیشنهاد شده و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند معرفی می‌شود. مبحث بعد نحوه مطالعه و آزمایش گازهای جایگزین و مقایسه با گاز SF6 است که به‌صورت عمده به دو شکل آزمایشگاهی و شبیه‌سازی انجام می‌گردد. و در نهایت جمع‌بندی از خواص گازهای ترکیبی ذکر خواهد شد.

مشخصات گاز SF_6

گاز SF6 بسیار پایدار، غیرقابل اشتعال، غیرخورنده، غیرسمی، بی‌رنگ و بدون بو است. وزن مولکولی این گاز ۱۴۶/۰۶ است و یکی از سنگین‌ترین گازهای شناخته شده است. وزن مولکولی بالا و چگالی بالای

آن، سرعت صوت در آن را به مقدار ۱۳۶ متر بر ثانیه محدود می‌کند که تقریباً یک سوم سرعت صوت در هوا است. شکل (۱) نشان می‌دهد که SF6 یک عایق گازی عالی است که در شرایط مشابه، قدرت عایقی آن بیش از دو برابر هوا است. در فشار ۳ اتمسفر قدرت عایقی آن تقریباً برابر با روغن است.

گاز SF6 همچنین قسمت اعظم مشخصات عایقی خود را در ترکیب با مقادیر حتی قابل‌توجه از هوا یا گاز نیتروژن حفظ می‌کند. به دلیل مشخصات خوب عایقی و همچنین قطع جریان از این گاز در سه نوع تجهیز کلیدهای قدرت، سوئیچ‌گیر گازی (GIS) و خطوط انتقال گازی (GIL) استفاده می‌شود.



شکل (۱): قدرت عایقی SF_6 به‌صورت تابعی از فشار

به دلیل ظرفیت انتقال حرارت بالاتر SF6، این گاز گزینه بهتری نسبت به هوا و نیتروژن به‌عنوان یک خنک‌کننده‌ی همرفتی[1] است. همچنین گاز SF6 نه‌تنها یک هادی حرارتی خوب است بلکه یک

[1] Convecive coolant

الکترونگاتیو (جاذب الکترون) قوی است. این مشخصه که دلیل عمده استقامت عایقی بالای این گاز است، بازیابی سریع استقامت عایقی در اطراف ناحیه قوس پس از قطع جریان را به نحو عمده‌ای تقویت می‌کند.

به‌طور خلاصه، اصلی‌ترین خواص SF6 که در عملکرد یک کلید اهمیت دارد را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

- استقامت عایقی بالا
- مشخصات انتقال حرارت مناسب
- الکترونگاتیو بودن
- دمای تجزیه پایین و انرژی تجزیه بالا
- قدرت بالای بازیابی عایقی پس از قوس و ثابت زمانی کوچک در تغییر هدایت

همچنین مقدار گاز SF6 در جو به‌صورت خطی در حال افزایش است و به دلیل افزایش تقاضا برای گسترش شبکه‌های برق انتظار می‌رود که تعداد تجهیزاتی که از SF6 به‌عنوان ماده عایقی استفاده می‌کنند افزایش قابل‌توجهی داشته باشد. از این‌رو، یک گاز دیگر با مشخصات الکتریکی مشابه و اثرات زیست‌محیطی کمتر برای جایگزینی گاز SF6 مورد نظر است.

تاکنون تحقیقات متنوعی برای یافتن جایگزین گاز SF6 انجام شده است اما روشن شده است که یافتن یک جایگزین مناسب برای گاز SF6 فرآیند سختی است. ترکیب‌های گازی متفاوتی تاکنون برای جایگزینی SF6 مورد بررسی قرار گرفته است ولی متأسفانه این ترکیب‌ها یا دمای میعان بالایی دارند و یا بسیار گران هستند که برای کاهش دمای میعان می‌توان این گازها را با N2 و یا CO2 ترکیب کرد. گاز CO2 و یا N2 در حقیقت در نقش گاز حامل هستند که وظیفه اصلی آن‌ها کاهش دمای میعان گاز اصلی است.

بررسی گازهای دی‌اکسید کربن و نیتروژن به‌عنوان گاز جایگزین

جدول(۱) مقایسه بین مشخصات اصلی گازهای SF6، CO2 و N2 را نمایش می‌دهد.همان‌طور که در این جدول نمایش داده شده است، CO2 و N2 نیازمندی‌های اصلی به‌عنوان یک گاز دوست‌دار محیط زیست را برای استفاده در تجهیزات قدرت دارند. افزون‌برآن، نقطه میعان کمتری از SF6 دارد و حتی تا فشارهای بالا به‌صورت گاز باقی می‌مانند.

در رابطه با استقامت عایقی، چنان‌که در جدول(۱) نیز آورده شده است، گاز CO2 استقامت کمتری نسبت به گاز SF6 دارد ولی بااین‌وجود استقامت ۵۰٪ آن در حدود ۳۵٪ از استقامت عایقی N2 در فشارهای بالا برای مثال در ۰/۹ MPa بیشتر است.

جدول(۱): مقایسه مشخصات پایه بین گازهای SF_6، CO_2 و N_2

گاز	SF_6	CO_2	N_2
جرم مولکولی	۱۴۶/۰۶	۴۴/۰۱	۲۸/۰۱
چگالی (kg/m^3)[۱]	۵/۹	۱/۸	۱/۱
GWP[۲]	۲۳۸۰۰	۱	–
ODP[۳]	–	–	–
سمی‌بودن[۴]	–	–	–
پایداری شیمیایی	پایدار	پایدار	پایدار
قابلیت اشتعال–انفجار	–	–	–
دمای جوش (°C)[۵]	−۵۱	−۷۸	−۱۹۸
قدرت عایقی (%)[۶]	(−) ۱۰۰	(−) ۳۴	(+) ۲۵
ثابت زمانی قوس (µs)[۷]	۰/۸	۱۵	۲۲۰

۱- در ۳۰۰ کلوین، ۱ اتمسفر
۲- پتانسیل اثر گلخانه‌ای
۳- پتانسیل تخریب لایه ازون
۴- در شرایط گاز خالص (وضعیت گازی که در آن قوس بوده است متفاوت است)
۵- در ۱ اتمسفر
۶- ۵۰٪ ولتاژ شکست اندازه‌گیری شده با الکترود استوانه‌ای کامل تحت ولتاژ ضربه در ۰/۹ MPa. پلاریته ضعیف‌تر در پرانتز نشان داده شده است.
۷- اندازه‌گیری‌شده برای قوس با وضعیت سوختن آزاد (free-burning) در ۱ اتمسفر

در جدول(۱) قابلیت قطع قوس با معیار ثابت زمانی قوس[۱] به‌عنوان یک شاخص از قابلیت قطع حرارتی گاز مقایسه شده است. به‌صورت کیفی، مقدار ثابت زمانی کوچک‌تر نشان‌گر قابلیت قطع حرارتی بالاتر گـاز است. جدول(۱) نشان می‌دهد که ثابت زمانی قوس CO2 از مقدار مربوط به SF6 بالاتر است ولی در حدود یک‌دهم ثابت زمانی گاز N2 است اما N2 تا فشارهای بالاتری به‌صورت گاز باقی می‌ماند.

[1] Arcing time constant

به‌طور خلاصه می‌توان گفت علی‌رغم این موضوع که CO2 از نظر استقامت عایقی و قابلیت قطع قوس ضعیف‌تر از SF6 است اما در فشار کمتر از ۱۰ بار وضعیت بهتری نسبت به N2 دارد که به‌عنوان جایگزین گاز SF6 تلقی می‌شده است. این موضوع پیشنهاد می‌کند که گاز CO2 یک گزینه بالقوه جایگزین SF6 برای کاربردهای کلیدزنی در فشار کمتر از ۱۰ بار باشد.

مشخصات عایقی CO2 و ترکیبات آن در میدان شبه‌یکنواخت و غیریکنواخت

شکل (۲) میدان الکتریکی شکست (BDE۱) را در میدان‌های شبه‌یکنواخت که در الکترود کره–صفحه ایجاد می‌شود، در نوک الکترود کره برای SF6، CO2 و N2 در فشار ۰/۱ MPa نشان می‌دهد. شکست تحت ولتاژ متناوب و ولتاژ ضربه است و فاصله هوایی ۱۰ میلی‌متر و قطر کره ۵۰ میلی‌متر است. بر اساس نتایج این شکل، میدان شکست ولتاژ متناوب در گاز CO2 تقریباً همانند گاز N2 است و میدان شکست متناوب در گاز SF6 حدود سه برابر گازهای CO2 و N2 است. از سوی دیگر، میدان شکست ضربه در SF6 حدود دو برابر مقدار آن برای گاز CO2 است. در شکل (۱) BDE تئوری با استفاده از معیار استریمر به‌صورت زیر محاسبه شده است:

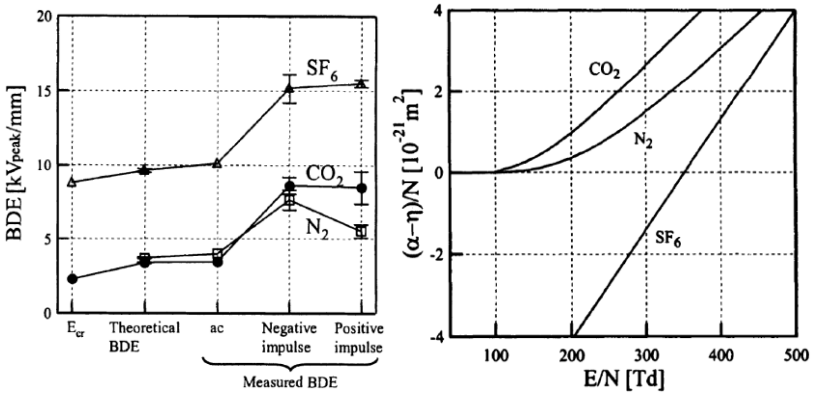
$$\int_0^x \bar{\alpha} dx = K \qquad (۱-۱)$$

[1] Breakdown electric field

در این رابطه xc طول بحرانی بهمن الکترونی و $\overline{\alpha}$ ضریب یونیزاسیون مؤثر و K یک مقدار ثابت است.

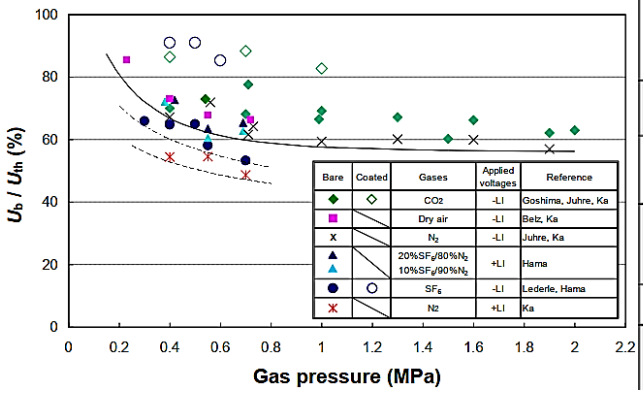
شکل (۲) ضرایب یونیزاسیون مؤثر را به‌صورت تابعی از شدت میدان الکتریکی برای گازهـای CO2، N2 و SF6 در اختیار می‌گذارد. مقدار ثابت K بسته به گـاز تغییـر مـی‌کنـد (CO2: K=13-16, N2: K=4.5-5.5, SF6: K=10.5-18.6). مقایسه مقادیر تئوری با سایر مقادیر اندازه‌گیری شده از شکل (۱) نشان می‌دهـد کـه این روش مقدار میدان شکست در ولتاژ متناوب را به دست می‌دهد.

مطابق شکل (۳) نسبت شدت میدان بحرانی E_{cr} به میدان شکست تئوری محاسبه‌شده در فشار ۴ بار گاز CO_2 برابر ۰/۶۸ است درحالی‌که در مورد گاز SF_6 این مقدار برابر ۰/۹۳ است. مقدار کمتر در گاز CO_2 به این دلیل است که ضرایب یونیزاسیون مؤثر در حول‌وحوش E_{cr} افزایش آهسته‌تری دارد و بهمـن الکترونـی در گاز CO_2 در مقایسه با گاز SF_6 سخت‌تر به حالت تخلیه استریمر تبدیل می‌شود.



(ب) (الف)

شکل (۲): الف) میدان الکتریکی شکست در *SF6*، *CO2* و *N2*. (فشار *MPa* ۰/۱). ب) ضرایب یونیزاسیون مؤثر برحسب شدت میدان الکتریکی در *CO2*، *N2* و *SF6*



Electrode configuration (Inner / outer diameter)	Electrode material / surface roughness ($\times 10^{-3}$ mm)	Effective electrode area *1 (mm^2)
Coaxial cylinder electrodes 70 / 150 mm, Cylinder electrodes 120 / 230 mm Excentric /30 mm clearance, Coaxial cylinder electrodes 240 / 340 mm	Aluminum / 25, Aluminum / 1.5 - 2.8, Aluminum / ±3	$1x10^5$, $3x10^4$, $2x10^5$
Coaxial cylinder electrodes 240 / 340 mm	Aluminum / ±3	$5x10^4$
Cylinder electrodes 120 / 230 mm Excentric /30 mm clearance, Coaxial cylinder electrodes 240 / 340 mm	Aluminum / 1.5 - 2.8, Aluminum / ±3	$3x10^4$, $2x10^5$
Coaxial cylinder electrodes 240 / 340 mm	Aluminum / ±3	$2x10^5$
Coaxial cylinder electrodes 80 / 140 mm, 240 / 340 mm	Aluminum / 4-6, Aluminum / ±3	$5x10^4$, $2x10^5$
Coaxial cylinder electrodes 240 / 340 mm	Aluminum / ±3	$2x10^5$

شکل (۳): نسبت شدت میدان بحرانی *Ecr* به میدان شکست تئوری محاسبه‌شده

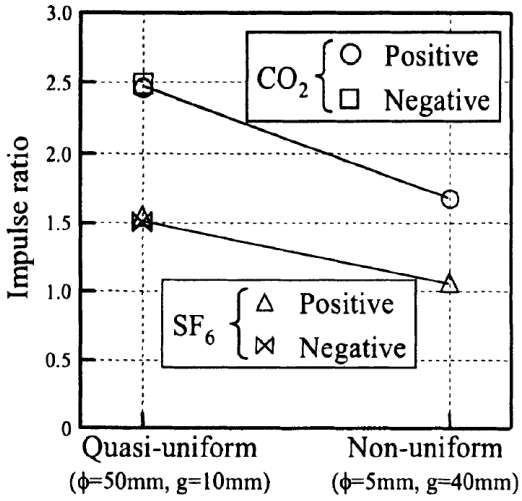
همچنین شکل (۴) نسبت ضربه[1] را تحت میدان الکتریکی شبه‌یکنواخت و غیریکنواخت در گازهای CO2 و SF6 در فشار ۰/۱ MPa نشان می‌دهد. نسبت ضربه در گاز CO2 بالاتر از گاز SF6 است به این معنی که کمبود الکترون‌های اولیه در CO2 وضعیت بهتری از SF6 دارد که بصورت زیر تفسیر می‌شود:

- ازآنجایی‌که ضریب جذب الکترون در گاز *CO2* بسیار کمتر از گاز *SF6* است، چگالی یون‌های منفی در گاز *CO2* می‌تواند کمتر از مقدار آن در گاز *SF6* باشد.
- علاوه برآن، ضریب جدایی الکترون در گاز *CO2* کوچک‌تر از مقدار آن در گاز *SF6* است.

درنتیجه، نرخ تولید الکترون‌های اولیه در گاز CO2 پایین‌تر از مقدار آن در گاز SF6 است که معنای آن بالاتر بودن ضریب ضربه CO2 نسبت به SF6 است. همچنین مقدار ضریب ضربه در میدان غیریکنواخت

[1] Impulse ratio

به دلیل استرس بیشتر در برخی نواحی، کمتر از مقدار آن در میدان شبه‌یکنواخت است که احتمال تولید الکترون‌های اولیه را افزایش می‌دهد.



شکل (۴): ضریب ضربه میدان شبه‌یکنواخت و غیریکنواخت در *CO2* و *SF6* در *MPa* ۰/۱

درک نسبت ولتاژهای شکست ضربه LI به ولتاژهای شکست متناوب AC در طراحی عایق کاری سیستمهای گازی ضروری است زیرا یک حاشیه طراحی مناسب برای برآورده کردن مقاومت در برابر هم ولتاژهای استانداردی مانند ضربه رعد و برق و هم مقاومت در برابر ولتاژ AC لازم است.

مشخصات عایقی ترکیب گازی SF6/CO2 و SF6/N2

ترکیب SF6/N2 در کلید قدرت برای نواحی که دمای پایینی دارند استفاده شده است. اما در ترانسفورماتور با عایق گازی مطالعه نشده است. در سیستم GIS یا GIL میدان با غیریکنواختی بسیار شدید معمول نیست. اما در ترانسفورماتور یا در الکترودهای بازشونده کلید چنین میدانی وجود دارد. همچنین

SF6/CO2 نسبت به SF6/N2 از لحاظ عایقی برتری دارد اما از لحاظ تجزیه گاز در رتبه پایین‌تری است، هرچند استفاده آن در ترانسفورماتور که بروز قوس مجاز نیست بدون عیب است. به طور خلاصه مشخصات ترکیبات گاز SF6 به صورت زیر می‌باشد.

- در ترکیب یکسان، ولتاژ شکست ترکیب *SF6/N2* از ترکیب *SF6/CO2* بالاتر است.
- ولتاژ شکست ضربه *SF6* و دو ترکیب گازی بسیار پایین‌تر از شکست ولتاژ *DC* در محدوده پایدارکننده کرونا است. این موضوع نشان می‌دهد که در تجهیزاتی که میدان به‌شدت غیریکنواخت دارد، شکست ضربه ابعاد را تعیین می‌کند. همچنین می‌توان گفت که ترکیب *SF6/CO2* نسبت به *SF6/N2* ارجحیت دارد
- ترکیب *SF6/N2* تقریباً مثل گاز *SF6* خالص است و نسبت به گاز *SF6* در تخلیه ترکیب جدیدی تولید نمی‌شود، اما در *SF6/CO2* به خاطر وجود اکسیژن ترکیبات دیگری نیز تولید می‌شود.
- مشخصه انتقال حرارت در هر دو ترکیب گازی تقریباً یکسان هستند و هیچ‌یک به اندازه گاز *SF6* مناسب نیستند

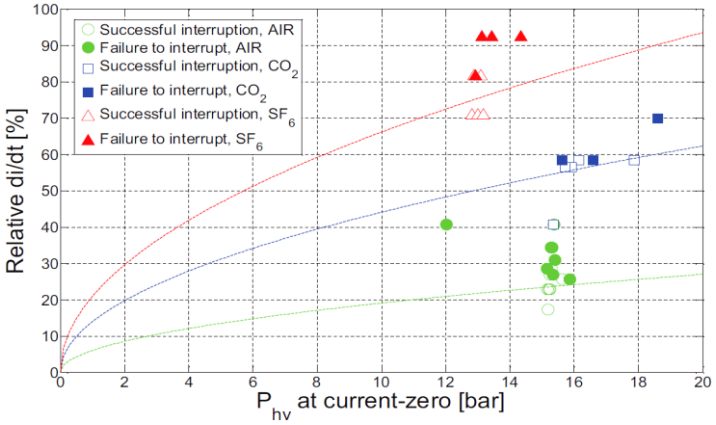
مقایسه قدرت قطع و بازیابی CO2 و SF6

ر این قسمت نتایج مقایسه قدرت قطع CO2 و SF6 بر اساس یک مجموعه آزمایشگاهی گزارش می‌شود و محدودیت قطع جریان هر دو مورد در شرایط یکسان مورد بحث قرار می‌گیرد. مشخصات بازیابی عایقی گاز CO2 که توسط یک مجموعه آزمایشگاهی مجزا به دست آمده است توضیح داده شده و با مشخصات گاز SF6 مقایسه خواهد شد.

اینکه آیا کلید قدرت می‌تواند یک جریان را قطع کند به وضعیت ناحیه قوس در حدود ۱۰۰ µs پیش از صفر جریان بستگی دارد. این شرایط به طور عمده به شیب جریان در نقطه صفر و سرعت گاز که قوس را خنک می‌کند، نوع عایقی که قطع قوس در آن اتفاق می‌افتد و می‌تواند خنک‌سازی را با مشخصات ترمودینامیکی، جابه‌جایی و تابشی خود تحت تأثیر قرار دهد بستگی دارد.

قدرت قطع گاز CO2، SF6 و هوای خشک در شکل (۵) نشان داده شده است. وضع نیتروژن است مشابه هوای خشک است. در این آزمایش گاز سرد با فشار ۱۳ تا ۲۰ بار به قوس دمیده است. ازآنجاکه مخزن فشار بزرگ است، مقدار فشار با توجه به ثابت زمانی دریچه در فاصله ۵ ms تا نقطه صفر جریان کمتر از ۱۰٪ تغییر می‌کند. شیب جریان Weil-Dobke نیز تغییر داده شده تا شیب و ولتاژ بازیابی گذرا

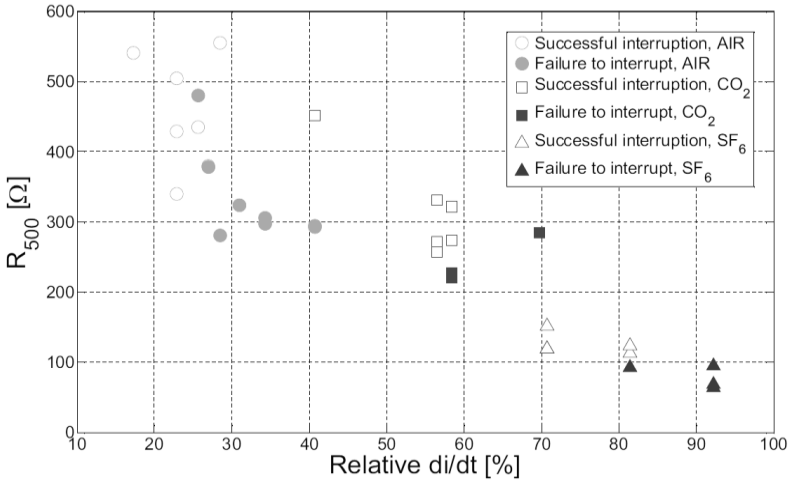
متفاوت باشد. حداکثر شیب جریان به میزانی تعیین شده کـه قطـع مکـرر مقـدور باشـد. شـیب جریـان بـه $di/dt = 20\ \mathrm{A}/\mu\mathrm{s}$ تراز شده است.



شکل (۵): محدوده تقریبی قطع حرارتی موفق (علامت‌های خالی) و ناموفق (علامت‌های پر) *SF6،CO2* و هوا

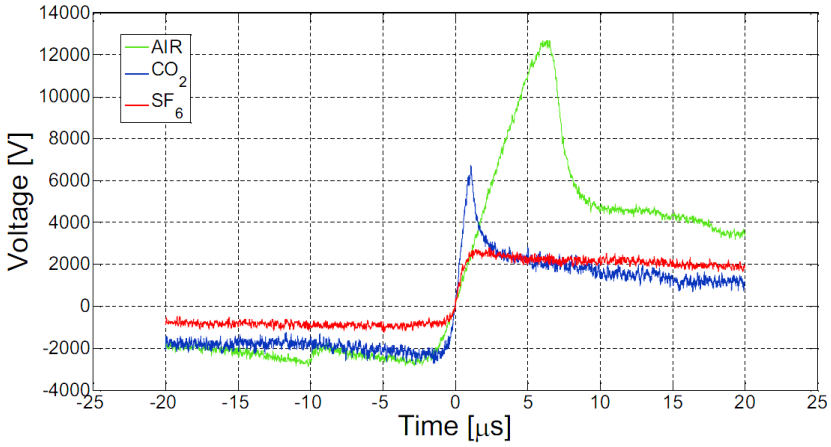
قدرت قطع با مجذور فشار ($\sqrt{P}$) رابطه دارد. اندازه‌گیری‌ها برای مقادیر مختلف از فشـار انجـام شـده است اما در صورت فرض فشار ۱۴ بار در فضای واسطه، گاز SF_6 می‌تواند مقـدار di/dt حـدود ۱۶ A/µs را قطع کند درحالی‌که گاز CO_2 قادر به قطع di/dt حدود ۱۰/۵ A/µs است.

مقدار مقاومت پیش از نقطه صفر جریان (حدود ۲۰۰ ns) می‌تواند برای پیش‌بینی فرآیند قطـع موفـق بـه کار رود. مقدار مقاومت اندازه‌گیری‌شده به میزان ۵۰۰ ns پیش از صفر جریان در شکل (۶) نشان داده شده است. بر اساس این شکل برای هر گاز می‌توان یک مقدار مقاومت بحرانی تعیین کـرد کـه در بـالاتر از ایـن مقدار، کلید قدرت به‌طورمعمول جریان را با موفقیت قطع می‌کند. مقاومت بحرانی CO_2 حدود ۲۵۰ اهـم و برای SF_6 حدود ۱۰۰ اهم است. مقاومت پایین‌تر برای SF_6 یعنی گاز SF_6 می‌تواند جریان‌های بزرگ‌تری را قطع کند.



شکل (۶): مقدار مقاومت *ns* ۵۰۰ قبل از نقطه صفر جریان تعیین شده توسط ولتاژ و جریان متناظر آن

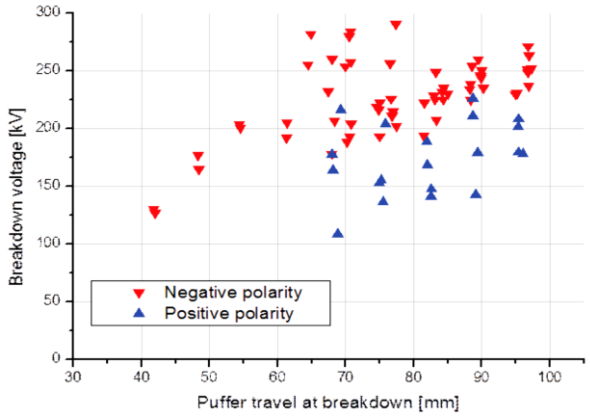
شکل (۷) ولتاژ قوس را بعد از اولین صفر جریان برای حالتی نشان می‌دهد که قطع قوس در اولین صفر جریان ناموفق است . افزایش تدریجی ولتاژ قوس نشان می‌دهد که عدم موفقیت به دلیل شکست حرارتی و نه شکست عایقی است. در حالت شکست عایقی، ولتاژ به‌صورت آنی افزایش پیدا می‌کند. مکانیسم حرارتی به این معنا است که گاز، قوس را به مقدار کافی خنک نکرده است تا مقدار هدایت پایین بیاید.



شکل (۷): ولتاژ قوس پس از اولین صفر جریان زمانی که قطع قوس در اولین صفر جریان ناموفق است.

قدرت بازیابی عایقی برای جریان‌های متفاوت کم (۵ kA) تـا جریـان‌هـای بـزرگ (۳۰ kA یـا ۵۰ kA) اندازه‌گیری شده است. در جریان‌های کم، مقدار فشار در حدود ۸ بار و به دلیل حرکت مکانیکی کلید است اما در مقدار جریان‌های بزرگ فشار در حدود ۱۵ تا ۲۰ بار افزایش می‌یابد که عمده آن به دلیل انرژی ناشی از قوس است. محفظه فشار قبل از حرکت مکانیکی نیز با فشار ۵ بار پر شده اسـت. دو نـیم‌سـیکل جریـان سینوسی از کنتاکت عبور داده شده است. با باز شدن کنتاکت، قوس ایجاد شده و پس از ۱۰ تا ۱۵ میلی‌ثانیه، جریان قوس در صفر دوم جریان قطع و پس از یک تأخیر، ولتاژ بازیابی بـه کنتاکـت اعمـال شـده و ولتـاژ شکست بین دو کنتاکت اندازه‌گیری می‌شود.

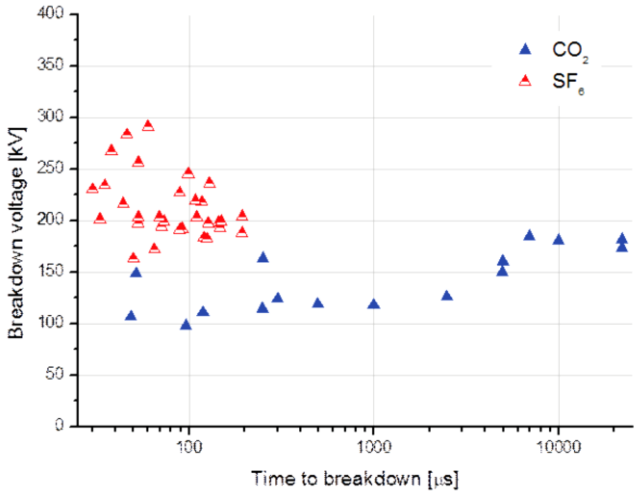
ابتدا قدرت بازیابی عایقی در حالت سرد (بدون حضور قوس الکتریکی) اندازه‌گیـری مـی‌شـود. در ایـن حالت فشار گاز ناشی از حرکت مکانیکی کلید و به میزان ۸ بار است. در شکل (۸)، ولتاژ شکست CO2 در حالت سرد بر اساس فاصله حرکت کنتاکت متحرک نشان داده شده است.



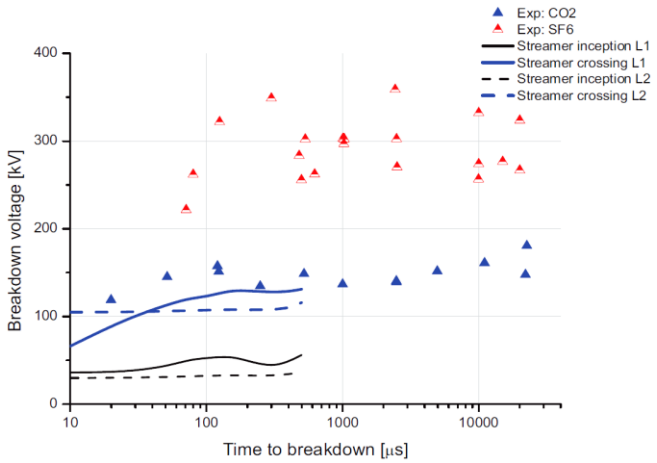
شکل (۸): ولتاژ شکست گاز *CO2* تحت شرایط سرد برای ولتاژ با پلاریته مثبت و منفی.

ولتاژ با پلاریته مثبت (حدود ۱۴۰ kV) دارای شکست پایین‌تری نسـبت بـه پلاریتـه منفـی (حـدود ۱۹۰ kV) است . شکل (۹) ولتاژ شکست CO2 را برای جریان قوس کم برحسب زمان بعد از قطع قوس نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، ولتاژ بازیابی CO2 تقریباً به‌صورت یکسان نسبت به زمان افـزایش مـی‌یابـد و

تنها افزایش اندکی با زمان اعمال ولتاژ دارد. شکل (۱۰) مقدار ولتاژ شکست CO2 را برای جریان قوس زیاد برحسب زمان بعد از قطع قوس نشان می‌دهد.



شکل (۹): ولتاژ شکست به‌عنوان تابعی از زمان پس از قطع قوس برای پلاریته مثبت گاز *CO2* و *SF6* در سمت کنتاکت با میدان الکتریکی بالاتر در جریان‌های کم قوس.



شکل (۱۰): ولتاژ شکست به‌عنوان تابعی از زمان پس از قطع قوس برای پلاریته مثبت گاز *CO2* و *SF6* در سمت کنتاکت با میدان الکتریکی بالاتر در جریان‌های بالا

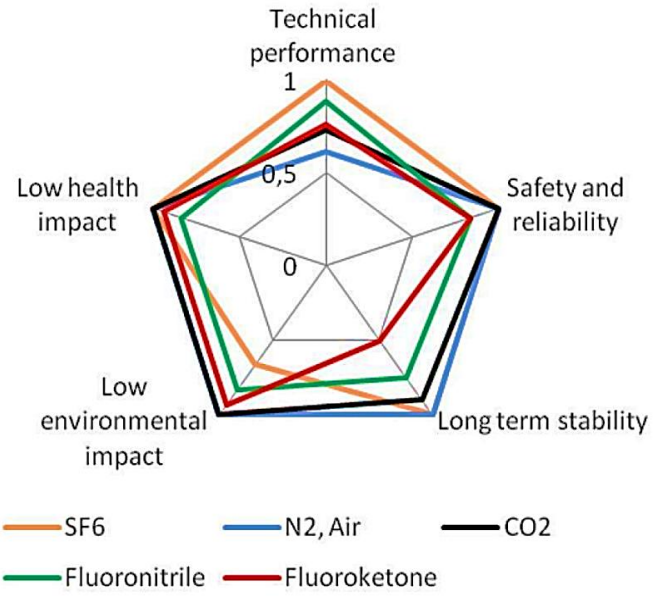
جمع بندی نهایی

در گـاز CO2 فشـار بـالای ۱۰ بـار، دو سـوم ویژگیهـای حرارتـی و دی الکتریکـی SF6 را داراسـت. شاخص GWP (یک مقدار عددی نسبی است که به یک ترکیب شیمیایی نسبت داده می‌شود. ایـن نسـبت از انتگرال‌گیری مقدار نیروی تابشی[1] ناشی از آزادسازی یک کیلوگرم از ماده‌ای در یـک بـازه زمـانی و سـپس تقسیم آن بر مقدار متناظر CO_2 به دست می‌آید.) برای این گاز برابر یک بوده و تمامی الزامات دمای پـایین را پوشش می‌دهد.

مخلوط CO2 با فلوئوروکتون برای کاربردهای Indoor در فشـار ۷ بـار کـاربرد داشـته و خاصـیت دی الکتریکی آن برابر SF6 در فشار ۴,۵ بار است .عملکرد کلیدزنی مشابه SF6 در ۶ بار گزارش شده اما جریان اتصال کوتاه در مقایسه با SF6 , ۲۰ درصد محدودتر می‌گردد. شاخص GWP مربوط به این ترکیب برابـر یک می‌باشد که از فواید آن به شمار می‌رود. از مضرات استفاده از این ترکیب می‌توان به بالاتر بودن حداقل دمای عملکرد کلید در مقایسه با ترکیبات دیگر اشاره کرد.

ترکیب CO2 به همراه فلوئورو نیتریل در فشار ۷ تا ۸ بار و دمای ۲۵- درجـه سـانتیگراد خاصـیت دی الکتریکی مشابه SF6 در فشار ۵,۵ بار از خود نشان می‌دهـد. عملکـرد کلیـد زنـی ایـن کلیـد مشـابه SF6 می‌باشد. شاخص GWP این ترکیب حدود ۳۲۰ تا ۶۹۰ می‌باشد. از فواید استفاده از این ترکیب می‌تـوان بـه دمای عملکرد بالاتر و از مضرات آن به غیر قابل اغماض بودن شاخص GWP اشاره نمود.

[1] Radiative forcing



شکل (۱۱): نمودار جامع معیارهای مختلف برای جایگزینی *SF6*

شکل (۱۱) معیارهای مختلفی شامل تأثیرات زیست محیطی و بهداشتی، عملکرد تکنیکی، همچنین ایمنی و قابلیت اطمینان را که در این تحقیق برای جایگزینی SF_6 بحث شده است خلاصه می‌کند. همانطور که مشاهده می‌شود از این گزینه‌های ممکن هوای طبیعی یا (هوای پاک) و نیتروژن با توجه به تأثیرات زیست محیطی و بهداشتی پایین و همچنین ایمنی و قابلیت اطمینان در حین کار، دارای خواص امیدوارکننده است و CO_2 در رتبه به مراتب پایینتری قرار دارد. با این وجود، کاهش عملکرد فنی، به عنوان مثال کاهش قدرت دی الکتریک ، چالشهای جدیدی را ایجاد می‌کند که از این نظر CO_2 در رتبه بالاتری قرار دارد.

با مقایسه رویکردهای اخیر برای جایگزینهای هدفمند گاز SF_6 ، بدیهی است که یک راه حل یکپارچه از نظر فنی و اقتصادی قابل دستیابی نیست اما راه حلهای کاربردی خاص با توجه به ترکیبات گازی مختلف، مخلوطهای گازی ، فشارهای پرکننده خاص و غلظت مواد افزودنی مطرح است. ترکیب همه نیازمندیها ایجاب می‌کند تا ترکیبی از گازهای مختلف به عنوان جایگزین و کاندیدای جدید برای عملکرد سویچینگ فشارقوی مورد بررسی قرار بگیرند.

اختتام پروژه

طراحی و استقرار ساز و کار لازم برای انتخاب تجهیزات و ارزیابی مشخصات فنی آنها با هدف کاهش تلفات

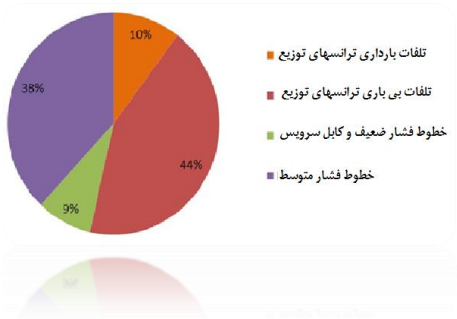
مدیر پروژه: مجتبی گیلوانژاد

تلفات شبکه‌های توزیع نیروی برق درصد بالایی از کل تلفات شبکه الکتریکی می‌باشد. باتوجه به این موضوع، سرمایه‌گذاری در جهت کاهش تلفات انرژی می‌تواند باعث آزاد سازی ظرفیت تولید گردد. به این معنی که با انجام سرمایه گذاری مناسب و مهندسی شده می‌توان به جای ساخت نیروگاه‌های پرهزینه، تلفات شبکه الکتریکی را کاهش داد. بدین منظور می‌بایست ضمن بررسی اطلاعات اولیه مورد نیاز، مبنای محاسباتی طرح‌های پیشنهادی و الگوی دسته بندی آن‌ها تشریح شده و در ادامه روش عملیاتی به منظور شناسایی پروژه‌هایی که در قالب طرح‌های زود بازده کاهش تلفات قرار می‌گیرند، ارایه گردد. سرمایه‌گذاری در بخش کاهش تلفات در کشور در سالهای اخیر عمدتا بر روی مطالعات سیستمی و بهبود فرآیند طراحی و بهره برداری صورت پذیرفته است. حال آنکه نقش تجهیزات بکار رفته در شبکه توزیع نیز در حوزه تلفات نقشی غیرقابل انکار است. در این پروژه، سعی شده است که نقش تجهیزات در شبکه توزیع بیشتر پرداخته شده و تجهیزات اصلی تاثیرگذار در مقدار تلفات شبکه مورد شناسایی قرار گرفته تا در مراحل بعدی پروژه شاخصهای مناسبی جهت ارزیابی آنها از دیدگاه میزان تلفات تولیدی تعریف گردد.

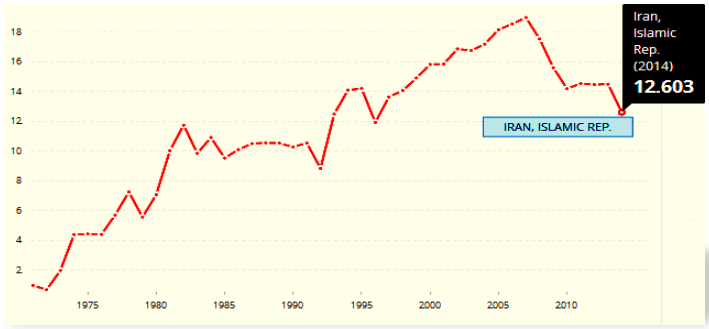
در پروژه حاضر به عنوان یک اقدام عملی در راستای بهبود راندمان تجهیزات مورد استفاده در شبکه توزیع، هدف بر آن است که از طریق ایجاد ساز و کار ارزیابی تلفات تجهیزات توزیع، امتیازاتی برای تجهیزات با راندمان بالاتر در نظر گرفته شود. این پروژه شامل ۹ مرحله بوده است که در ادامه چکیده‌ای از آن توضیح داده شده است.

مرحله اول: شناسایی انواع تجهیزات اصلی موثر بر تلفات در شبکه توزیع

در شروع این پروژه و در این مرحله، ابتدا به شناسایی تجهیزات اصلی مولد تلفات در شبکه توزیع پرداخته شده است. این مرحله تحت عنوان " شناسایی انواع تجهیزات اصلی موثر بر تلفات در شبکه توزیع" از چهار فصل تشکیل شده است.



در فصل اول، مقدمه‌ای در خصوص تلفات شبکه توزیع و عوامل اصلی ایجاد کننده آن ارائه شده است.



فصل دوم به مطالعه سهم تلفات در بخشهای مختلف شبکه توزیع مشتمل بر شبکه فشار متوسط، فشار ضعیف و ترانسفورماتورهای توزیع پرداخته و تجربیات ملی و بین المللی در این زمینه را بیان کرده است.

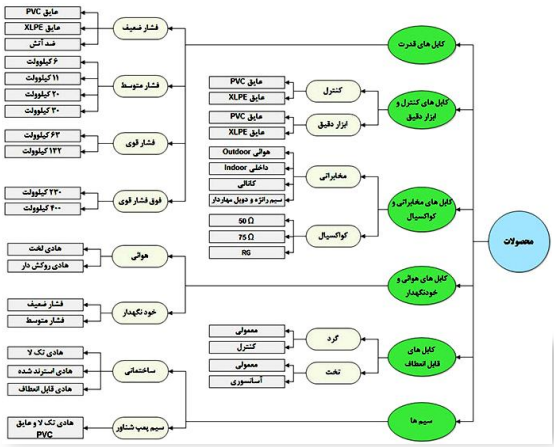
در فصل سوم، تجهیزات مورد استفاده قدری با تمرکز بیشتر از دیدگاه تجهیزاتی مورد مطالعه قرار گرفته و درصد تلفات ایجاد شده توسط آنها در شبکه توزیع بر اساس گزارش مراجع موجود بیان گردیده است.

در فصل چهارم، جمع بندی و نتیجه گیری آورده شده که بر مبنای آن تجهیزات اصلی مولد تلفات در شبکه توزیع تعیین گردیده است.

مرحله دوم: شناسایی سازندگان اصلی تجهیزات شبکه توزیع

کاهش تلفات غیر فنی با تمرکز بر افزایش صحت در دستگاه‌های اندازه گیری بخصوص برای واحدهای صنعتی، کاهش هر چه بیشتر استفاده غیر مجاز از برق و تخمین مقدار آن، شناسایی نقش اجزای شبکه‌های توزیع در ایجاد تلفات و تامین تجهیزات با راندمان بالا، مشارکت وزارت خانه‌های صنایع ، بازرگانی و نیرو در این زمینه حائز اهمیت است. واحدهای کنترل کیفیت برای خرید کالا بسیار حائز اهمیت است. ترانسفورماتورها، تجهیزات اندازه گیری،هادی‌ها و اتصالات در اولویت می‌باشند. صرفا تمرکز بر حذف تلفات غیر فنی با روش‌های سنتی و روش‌های کاهش تلفات (سهل الوصول) در حوزه بهره برداری می‌تواند در یک بازه زمانی کوتاه کاهش تلفات قابل ملاحظه‌ای ایجاد کند ولی در دراز مدت با توجه به رشد بار با

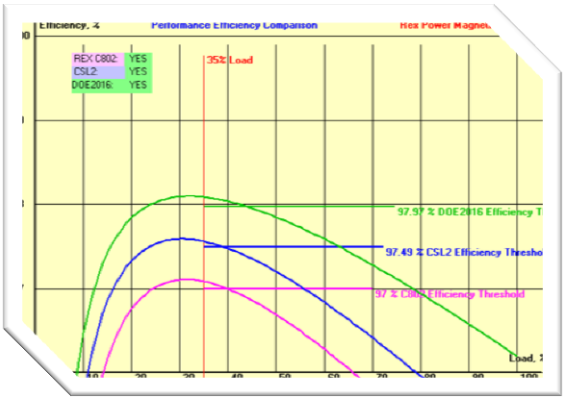
رشد تلفات روبرو خواهیم بود.در این مرحله، در راستای پرداختن به اهمیت تجهیزات و نقش شرکتهای سازنده آنها در کیفیت و راندمان تجهیزات تولید شده در داخل کشور، شرکت‌های تولید کننده تجهیزات اصلی مؤثر بر تلفات شبکه توزیع از جمله ترانسفورماتورها، تجهیزات اندازه‌گیری،هادی‌های هوایی و کابل‌ها شناسایی شده و اطلاعات کلی در خصوص آنها ارائه می‌گردد.



مرحله سوم: بررسی استانداردهای ملی و بین المللی در زمینه تلفات و راندمان تجهیزات و بررسی سابقه موضوعی استفاده از سامانه ارزیابی تلفات در خارج از کشور

یکی از مهمترین اقدامی‌که می‌توان جهت نیل به هدف کاهش تلفات در تجهیزات به آن مبادرت ورزید، تدوین استانداردهای لازم الاجرا در حوزه راندمان و کیفیت تجهیزات است. این مهم محقق نخواهد شد مگر آنکه مطالعات خوبی در زمینه اقدامات صورت پذیرفته در حوزه استاندارد در دنیا مورد مطالعه قرار گرفته و شیوه ورود به این موضوع توسط کشورهای پیشرو در مقوله راندمان انرژی مورد بررسی قرار گیرد.

در بخش اول این مرحله که فصلهای دوم الی چهارم را در بر میگیرد، سعی شده است که استانداردها و دستورالعملهایی که توسط دیگر کشورها در خصوص راندمان تجهیزات اصلی شناسایی شده در مراحل قبلی پروژه (ترانسفورماتور توزیع، ترانسفورماتورهای اندازه گیری،هادیها و کابلها) تدوین و در دستور کار قرار گرفته مورد مطالعه قرار گیرد و حدود راندمان و مقادیر مقاومتهای تعیین شده در آنها با استانداردهای ملی در صورت وجود مورد مقایسه قرار گیرد.در بخش آخر گزارش (فصل پنجم)، به سامانه‌ها و نرم افزارهایی که با هدف بهبود راندمان و کاهش تلفات در تجهیزات در دنیا مورد استفاده قرار گرفته اند پرداخته شده است. نکته جالب این است که بنا بر یافته‌های این مطالعه، نرم افزارها و سامانه‌ها موجود صرفا در مورد ترانسفورماتورهای توزیع تهیه شده‌اند و با محاسباتی سعی می‌نمایند که راندمان بهره برداری و هزینه‌های طول عمر ترانسفورماتورهای توزیع را بهینه نمایند.



مرحله چهارم: بررسی مشخصات فنی تولیدات سازندگان و تعیین رنج راندمان

در این مرحله به منظور دقت در خرید تجهیزات با رویکردهای کاهش تلفات ، شرکت‌های تولید کننده تجهیزات مؤثر بر تلفات شبکه توزیع از جمله ترانسفورماتورها ، تجهیزات اندازه گیری ،هادی‌های هوایی و کابل‌ها شناسایی شده و مشخصات فنی محصولات آ نها استخراج می‌گردد. یکی از موارد مهمی‌که همواره توجه بسیاری را به خود جلب کرده مسئله بازده در سیستم‌های الکتریکی گونا گون است. که منجر به ایجاد شاخه‌ای تازه در ارتباط با مدیریت مصرف انرژی الکتریگی گشته است. اگر چه در مورد ترانسفورماتورهای و موتورهای الکتریکی که سهم زیادی در انتقال و مصرف برق دارند. طرح‌ها و مواد جدیدی ابداع شده‌اند،

که حداکثر بازده را برای آن‌ها تامین می‌نماید. با این حال به دلیل مسائل اقتصادی، تولید کنندگان در بسیاری از موارد از این موضوع استقبال چندانی نکرده‌اند و همین این امر منجر به تاخیر در بهبود بازده این تجهیزات شده است. با این وجود در سال‌های اخیر در برخی از کشورها با همکاری تولید کنندگان و مصرف کنندگان این تجهیزات و با در نظر گرفتن مسائل فنی ، طرح‌های اقتصادی مطلوبی عرضه شده که این امر منجر به افزایش بازدهی دستگاه‌ها بدون تحمیل هزینه‌های فراوان و اخلال در تولید گشته است و پس از بهینه سازی ، این حالات به عنوان استاندارد تدوین شده و از

اتلاف انرژی جلوگیری می‌کند. نکته ای که در این مرحله باید به آن توجه شود آن است کـه بـرای تـدوین استانداردهای مربوطه به بازده دستگاه‌های الکتریکی و به خصوص ترانسفورماتورهـا ، عوامـل بـه گونـه ای لحاظ گردد که این استانداردها به لحاظ تکنولوژیکی به راحتی قابل دسترس باشند و از نظـر اقتصـادی هـم مقرون به صرفه باشند ، چنین استانداردهایی باید به نحوی ارائه شوند کـه کـاهش قابـل ملاحظـه ای را در اتلاف انرژی به همراه داشته و از این نظر نیز انگیزه لازم را ایجاد نمایند.

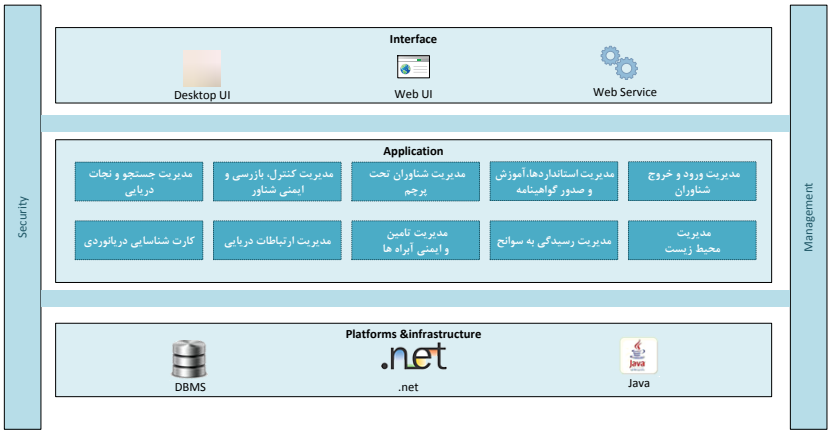
مرحله پنجم: تعیین حد بهینه راندمان و تلفات بر مبنای مطالعات مراحـل سـوم و چهـارم پروژه و نظرسنجی از خبرگان

در این مرحله از پروژه، سعی شده است جمع بندی مناسبی از آنچه که تاکنون در مطالعـات ایـن پـروژه یافت شده است به عمل آید به نحوی که وضعیت تلفات تجهیزات اصلی و جایگاه متصور برای آنها روشن شود. در این خصوص، نظرسنجی نیز از برخی خبرگان صنعت و اساتید دانشگاه که خلاصه ای از یافته‌های این پروژه در اختیار آنها قرار گرفته بود به عمل آمد. نتیجه این نظرسنجی نیز به عنوان یـک شـاقول جهـت متقارن کردن دستاورد مقایسه محصولات ساخت داخل و سایر کشورها با توانمندی و وضعیت داخل کشور مورد استفاده و تحلیل قرار گرفت. نتیجه این گزارش در مراحل بعد پروژه و در طراحـی و اسـتقرار سـاز و

کار ارزیابی مشخصات فنی تجهیزات شبکه توزیع از دیدگاه تلفات انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته است.

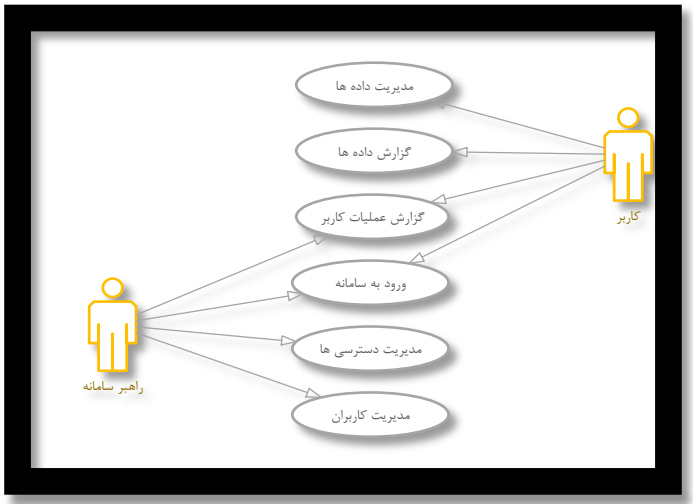
مرحله ششم: طراحی، تحلیل و پیاده‌سازی سامانه ارزیابی تلفات تجهیزات توزیع

در این مرحله دید کاملی از معماری مورد استفاده در بهینه‌سازی فرآیندها و انتقال واسط کاربری بـه وب نرم‌افزار، ارائه شده است و چارچوب‌ها، الزامات و ساختارهای کلان نرم‌افزاری مورد استفاده تدوین گردیده است. هدف سند معماری ارائه ساختارهای پایه‌ای سامانه نرم‌افزاری تحت نظـام ایجـاد چنـین سـاختاری و نگهداشت آن در قالب سند معماری می‌باشد. این ساختارها می‌بایست منطق و دلایل مورد استفاده خـود در سامانه نرم افزاری را بیان نمایند. هر ساختار شامل عناصر نرم افزاری، روابط میان آنها و ویژگی‌های عناصـر و روابط آنها به صورت توامان بوده و در کنار آن به ارائه منطقی و توضیحات اصولی و اساسی برای معرفـی و پیکربندی هر عنصر می‌پردازد.هدف از ارائه این مرحله، امکان ایجاد شناختی یکسان و نگاشت همگرایـی از معماری محصول نهایی با زبانی مشترک برای تمامی ذینفعان پروژه می‌باشد.



مرحله هفتم: ورود اطلاعات فنی تجهیزات توزیع به درون سامانه

به منظور انتخاب مناسب تجهیزات در شبکه توزیع برق کشور، لازم است که ارزیابی صحیحی از مشخصات فنی محصولات تولید داخل کشور صورت پذیرد. با توجه به تنوع بسیار زیاد تجهیزات شبکه‌های توزیع، امکان ارزیابی و انتخاب مناسب به روشهای سنتی و با بررسی موردی

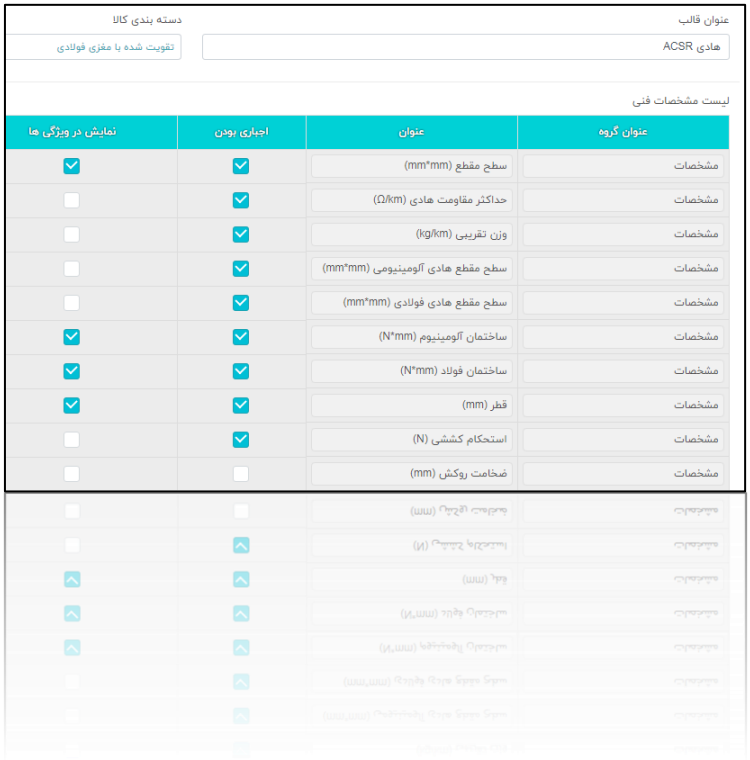


محصولات میسر نیست بلکه استفاده از سامانه ای که بـه شـکل مکـانیزه امکانـات مقایسـه فنـی-اقتصـادی تجهیزات موجود را فراهم نماید می‌تواند در این راه موثر باشد. سامانه مزبور که یکی از اهداف ایـن پـروژه است، بمنظور فعالسازی نیاز به اطلاعات مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده دارد.

از این رو در این مرحله، مشخصات فنی تجهیزات اصـلی مـورد اسـتفاده در شـبکه توزیـع کـه توسـط سازندگان داخل کشور تولید می‌گردد و در مراحل قبلی پروژه جمع آوری گردیده به سامانه وارد مـی‌شـود. در این مرحله نحوه ورود اطلاعات و قالبهای مختلف مورد استفاده برای تجهیزات شرح داده شده است.

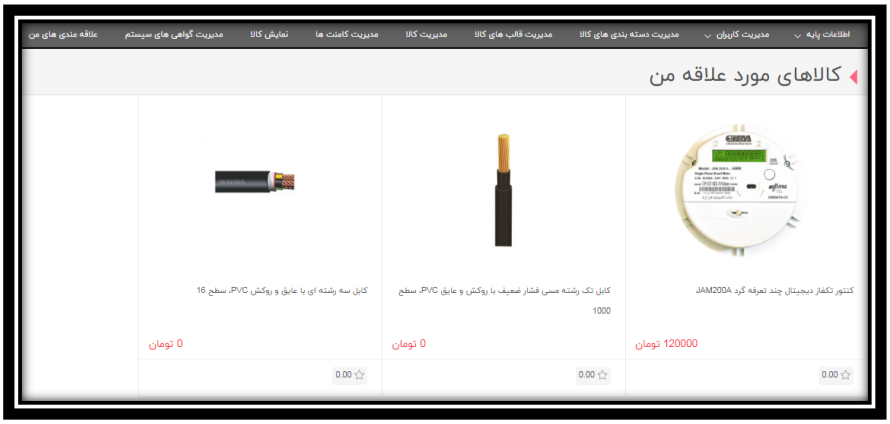
مرحله هشتم: امتیازدهی و رتبه بندی تولیدات سازندگان مختلف بر مبنای مشخصات فنی تولیدات سازندگان و حد بهینه راندمان

ارزیابی مشخصات فنی تجهیزات مورد استفاده در شبکه‌های توزیع و انتخاب آنها برای بکارگیری در کاربرد مورد نظر از اهمیت بالایی برخوردار است. بدلیل تعدد تجهیزات مورد استفاده و تنوع سازندگان آنها، اطلاع از ویژگیها فنی، سوابق نصب، بازخورد بهره برداران و تطابق تجهیز با شرایط نصب همواره با دشواری روبرو است. از این رو در مرحله، هدف این بوده است که با شناسایی مشخصات و معیارهای فنی اصلی تجهیزات و همچنین وضعیت هر تجهیز از دید راندمان و تلفات، به طراحان و بهره برداران شبکه توزیع کمک شود تا انتخاب ساده‌تر و بهتری برای رفع نیازمندیهای تجهیزاتی خود داشته باشند. برای این منظور، استفاده از سامانه‌ای که اطلاعات جامع تجهیزات مورد استفاده در شبکه توزیع را در خود دارا باشد و نیز بتواند با نمره دهی به تجهیزات، نتیجه ارزیابی کمی و کیفی تجهیز را بطور کلی ارائه دهد، در این مرحله پیشنهاد شده است. برای امکانسنجی پیاده‌سازی و کارآیی چنین سامانه‌ای در سطح ملی، در این پروژه یک مدل نمونه از این سامانه مورد پیاده‌سازی قرار گرفته و عملکرد آن بررسی شده است. به منظور ارائه نتایج ارزیابی کمی و کیفی انجام شده در سامانه برای هریک از تجهیزات نمونه که اطلاعات آن به سامانه وارد شده است، فرآیندی جهت امتیازدهی به تجهیزات تدوین است.



مرحله نهم: تست و نهایی‌سازی سیستم

در این مرحله از پروژه، با صرف زمان حدود ۴ماهه کارکرد سامانه نمونه تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت و مشکلات و نواقص موجود به تیم نرم افزار جهت حل ارجاع داده شد. این مرحله شرحی است بر وضعیت و عملکرد سامانه در طی دوره تست و نهایی سازی.



با توجه به هدف اصلی سامانه که همان مدیریت اطلاعات تجهیزات است، تست سامانه محدود به ارزیابی کیفیت واسط کاربری و عملکرد آن در جهت نمایش صحیح و مناسب اطلاعات بوده و از آنجا که کدهای محاسباتی در تهیه آن نقشی نداشته، لذا رویه مرسوم تست واحدهای محاسباتی در مورد این سامانه مصداق نخواهد داشت.

معرفی کتاب

Title: ***Transformer Ageing: Monitoring and Estimation Techniques***

Edited by : *Tapan Kumar Saha and Prithwiraj Purkait*

Publisher: Wiley-IEEE Press

عنوان فارسی: پیری ترانسفورماتور: تکنیک‌های تخمین و پایش

سال انتشار: *2017*

ناشر: *Wiley-IEEE Press*

این کتاب با استفاده از ارائه تکنیک‌های تشخیص پیشرفته و صنعتی در زمینه تحلیل خطا و ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور راهنمای کاملی برای موضوع پیری ترانسفورماتور می‌باشد. در این کتاب با معرفی و شرح کامل مشخصات مواد عایقی مورد استفاده در ترانسفورماتور، تاثیر عوامل تاثیرگذار بر مشخصه عملکردی آنها توضیح داده شده و نحوه پیرشدگی آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. با معرفی روش‌های تشخیص خطا، نتایج حاصل از انواع تکنیک‌های پایش و ارزیابی وضعیت و نقاط ضعف و قوت آنها مورد تفسیر قرار می‌گیرد. کتاب شامل ده فصل می‌باشد که از مهمترین فصول آن عبارتند از:

- مواد عایق ترانسفورماتور و عمر آنها
- مروری بر روش‌های تشخیص عیب در ترانسفورماتور
- اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریکی
- تحلیل گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور
- اندازه‌گیری تخلیه جزئی و تکنیک‌های پیشرفته پردازش سیگنال
- تفسیر تحلیل پاسخ فرکانس برای تغییر شکل سیم پیچ ترانسفورماتورهای قدرت
- تأثیر رطوبت و تخمین عمر باقی مانده
- روغن‌های تخریب پذیر و تأثیر آنها روی پیری کاغذ
- روش‌های هوشمند ارزیابی وضعیت و تشخیص خطا