وزارت نیرو
پژوهشگاه نیرو
NRI
رویدادهای تخصصی گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست / سال چهارم / شماره ۱۲ / بهار ۹۸

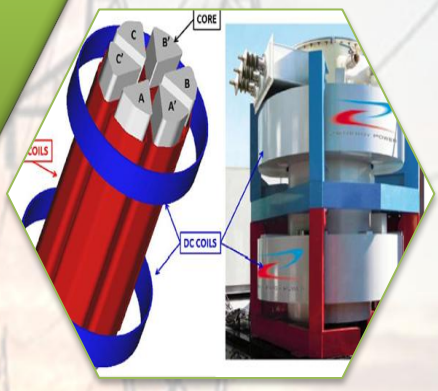
نسخه ویرایش شده جهت قرار گیری بر وبسایت گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

AP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH
Deutscher AkkreditierungsRat
Accreditation
Niroo Research Institute (NRI)
Research Laboratories
DAP-PL-3893.00

گواهی‌نامه تایید صلاحیت آزمایشگاه همکار

تدوین سند راهبردی و نقشه راه طرح کلان توسعه فناوری مربوط به محدودسازهای جریان خطا

معرفی کتاب روش‌های حفاظت، کنترل و معماری‌های میکروگرید



به‌نام خدا

گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: مجتبی گیلوانژاد

سردبیر و مدیر اجرایی: هادی نوروزی

گرافیست و صفحه‌آرا: هادی نوروزی

ویرایش نسخه اینترنتی: مصطفی گودرزی

ویراستار: هادی نوروزی، آرمان صفایی

عکس روی جلد: هادی نوروزی

همکاران این شماره:

مجتبی گیلوانژاد، آرمان صفایی، مصطفی گودرزی، علی کدیور، امیرحسین محمدزاده نیاکی، پژمان خزایی، هادی نوروزی

همکاران گروه:

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

همکاران معاونت پژوهشی:

مسعود حسنی مرزونی، نوشین فرودی

ناشر:

تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه تجهیزات خط وپست

پست الکترونیکی: hnorouzi@nri.ac.ir

تلفن: ۸۸۵۹۰۱۷۳-۰۲۱

دورنگار: ۸۸۵۷۴۷۸۶-۰۲۱

سال چهارم / شماره ۱۲ / بهار ۹۸

اعضای هیئت‌تحریریه:

مجتبی گیلوانژاد، آرمان صفایی، پژمان خزایی، مصطفی گودرزی، علی کدیور، امیرحسین محمدزاده نیاکی، 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 بهتر شدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج شده بر عهده نویسندگان است.

فهرست مطالب

۱ • سخن سردبیر

۲ • خبر و گزارش

۱۴ • شناسایی حوزه‌های فناورانه تجهیزات محدودساز جریان خطا

۳۷ • گواهی تایید صلاحت

۴۱ • تازه‌های نشر

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 سیستم های 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

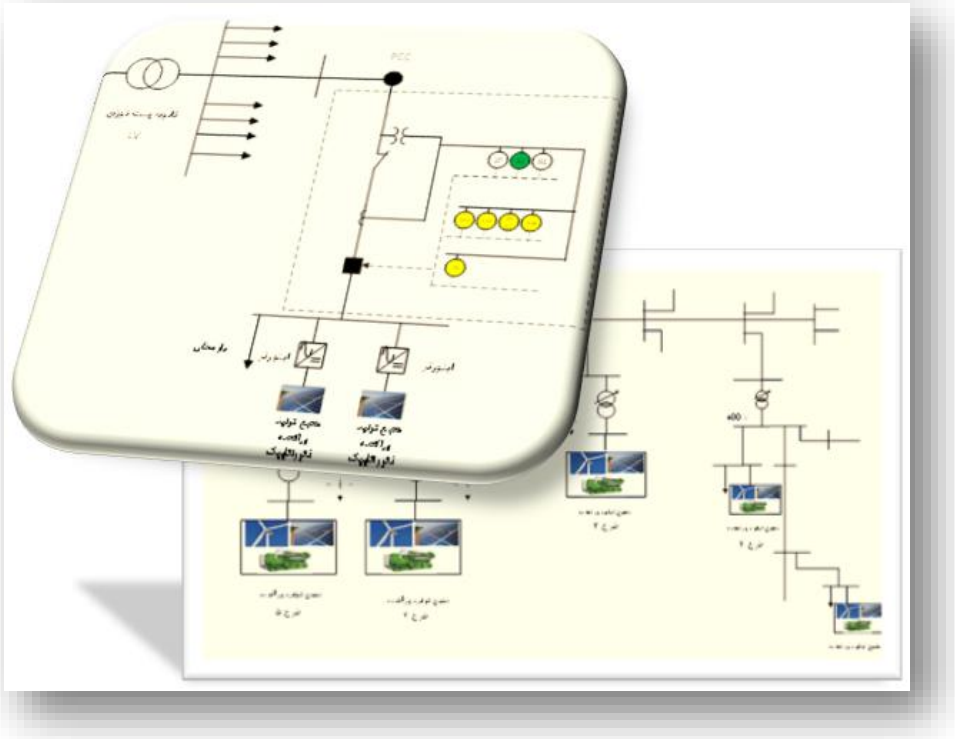
آغاز پروژه

تعیین شرایط فنی اتصال به شبکه انواع منابع تولید پراکنده

مدیر پروژه: امیرحسین محمدزاده نیاکی

در سالهای اخیر به دلیل مزایایی که استفاده از منابع تولید پراکنده به همراه دارد و با توجه به سیاست‌های تشویقی دولت جهت احداث این نیروگاه‌ها توسط بخش خصوصی، استفاده از این نیروگاه‌های کوچک جهت پاسخگویی به نیاز مصرف رشد چشمگیری داشته است. در عین حال، اتصال این منابع به شبکه متولیان شرکت های برق را نیز با چالش‌هایی مواجه کرده است. چالش‌هایی مانند چگونگی نحوه اتصال این منابع به شبکه، نحوه تأثیرگذاری این منابع بر هماهنگی حفاظتی تجهیزات به کار رفته در شبکه، میزان تأثیرگذاری این منابع بر پارامترهای شبکه، میزان تأثیرگذاری این منابع بر نحوه بهره‌برداری از شبکه برق، تجهیزات جانبی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه و آزمایش‌های مورد نیاز جهت بهره‌برداری مطمئن از تولیدات پراکنده که همگی نیازمند انجام بررسی‌های دقیق و فنی می‌باشند.

پژوهشگاه نیرو به عنوان بازوی تحقیقاتی وزارت نیرو تاکنون پروژه‌های مختلفی در ارتباط با اتصال نیروگاه های تولید پراکنده به شبکه انجام داده است که از آن جمله می‌توان به پروژه‌های" احداث نیروگاه خورشیدی یک مگاواتی"، " خدمات مهندسی طرح جامع تامین برق پروژه قطعه اول طرح تامین و انتقال آب خلیج فارس"، "توسعه مولدهای تولید همزمان برق و حرارت در شبکه توزیع نیروی برق تهران بزرگ"،" خدمات مهندسی طرح جامع تامین انرژی پهنه B مجموعه ساختمانی چیتگر "و" احداث دو نیروگاه مقیاس کوچک به ظرفیت هر یک ۲۳ مگاوات در استان کرمان" اشاره نمود که نشان دهنده‌ی توانایی و مهارت این مجموعه در موضوع فوق‌الذکر است.



دستورالعمل‌های موجود در زمینه اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه، کلی بوده و تنها منابع غیر اینورتری را شامل می‌شود و پاسخگوی مناسبی برای چالش‌های فوق نمی‌باشد. بدین منظور" دستورالعمل فنی و اجرایی اتصال انواع مختلف منابع تولید پراکنده به شبکه" تحت یک پروژه در "گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست" تدوین گشت که با برگزاری جلساتی با کارشناسان شرکت توانیر، این نتیجه حاصل گردید که جهت اجرایی شدن این دستورالعمل، بندهایی به دستورالعمل تهیه شده اضافه گردد.

از جمله مهمترین فعالیت‌هایی که در این پروژه صورت خواهد گرفت عبارتند از:

- بررسی مراجع و منابع معتبر بین‌المللی جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه
- بررسی منابع تولید پراکنده غیر اینورتری و ارزیابی الزامات اتصال آنها به شبکه
- بررسی منابع تولید پراکنده اینورتری و ارزیابی الزامات اتصال آنها به شبکه

- تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات تهیه طرح اتصال
  - تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات اتصال کوتاه
  - تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات پخش بار
  - تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات دینامیک و حالت گذرا
  - تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات هماهنگی حفاظتی
  - تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات کیفیت توان از جمله عدم تعادل، هارمونیک فلیکر و رزونانس
  - تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات سیستم زمین
  - تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات قابلیت اطمینان
- اصلاح و بروزرسانی دستورالعمل‌ها
  - اصلاح و بروزرسانی دستورالعمل اتصال مولدهای مقیاس کوچک
  - اصلاح و بروزرسانی راهنمای انجام مطالعات تهیه طرح اتصال منابع تولید پراکنده
  - اصلاح و بروزرسانی دستورالعمل آزمون تجهیزات جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه
  - اصلاح و بروزرسانی راهنمای بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده در حالت‌های جدا و متصل به شبکه
  - اصلاح و بروزرسانی راهنمای تعیین حداقل تجهیزات جانبی منابع تولید پراکنده
- بررسی حداکثر ظرفیت قابل اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه
  - نحوه محاسبه حداکثر ظرفیت قابل نصب در پست فوق توزیع

- ❖ نحوه محاسبه حداکثر ظرفیت قابل نصب در فیدر فشار متوسط
- ❖ نحوه محاسبه حداکثر ظرفیت قابل نصب در فیدر فشار ضعیف

- تعیین الزامات توان راکتیو منابع تولید پراکنده متصل به شبکه
  - ❖ بررسی الزامات توان راکتیو موجود در سایر کشورها
  - ❖ تعیین الزامات تامین توان راکتیو برای منابع تولید پراکنده اینورتری
  - ❖ تعیین الزامات تامین توان راکتیو برای منابع تولید پراکنده غیراینورتری
- مطالعات موردی و تدوین الگو
  - ❖ تهیه طرح اتصال برای یک نمونه منبع تولید پراکنده تجدیدپذیر بادی
  - ❖ تهیه طرح اتصال برای یک نمونه منبع تولید پراکنده تجدیدپذیر خورشیدی
- انجام اصلاحات مورد نیاز بر روی دستورالعمل پیشنهادی
  - ❖ اخذ نظرات کارفرمای محترم
  - ❖ بررسی نظرات کارفرما و انجام اصلاحات مورد نیاز

اختتام پروژه

تدوین سند راهبردی و نقشه راه طرح کلان توسعه فناوری مربوط به محدودسازهای جریان خطا

مدیر پروژه: آرمان صفایی

اتصال کوتاه یکی از خطاهای مهم در سیستم قدرت است که در زمان وقوع، جریان خطا تا بیشتر از ده برابر جریان نامی افزایش می‌یابد. در یک شبکه قدرت اتصال کوتاه ممکن است در اثر عواملی مانند افتادن خطوط هوایی، خرابی در کابل‌های زیرزمینی، خرابی در خطوط هوایی و بسیاری از عوامل دیگر رخ دهد. زمانی که عیبی در سیستم قدرت رخ می‌دهد، مقاومت شبکه در نقطه اتصال به شدت پایین آمده و بنابراین جریان‌هایی با دامنه بسیار بالا به طرف نقطه عیب جاری می‌شود.

با رشد و گسترش شبکه‌های برق، به قدرت اتصال کوتاه شبکه نیز افزوده می شود. تولید جریان‌های خطای بزرگتر، ازدیاد گرمای حاصله ناشی از عبور جریان القائی زیاد در ژنراتورها، ترانسفورماتورها و سایر تجهیزات و همچنین کاهش قابلیت اطمینان شبکه را در پی دارد. لذا عبور چنین جریانی از شبکه احتیاج به تجهیزاتی دارد که توانایی تحمل این جریان را داشته باشند و جهت قطع این جریان نیازمند کلیدهایی با قدرت قطع بالا هستیم که هزینه‌های سنگینی به سیستم تحمیل می‌کند.

در حالت کلی اثرات منفی و مخرب جریان اتصال کوتاه را می‌توان به موارد زیر تقسیم کرد:

- خرابی در محل اتصالی
- تنش مکانیکی
- تنش حرارتی
- قطع برق
- ازدیاد ولتاژ
- امواج نوسانی مستهلک شونده در ماشین
- اینرسی گردش منفی موثر و در نتیجه فشار وارد شدن به سیم‌پیچ‌های میراکننده
- القای امواج الکترومغناطیسی بر تاسیسات دیگر برقی و مخابراتی

در حالی که شبکه و تاسیسات فشار ضعیف فقط بر مبنای تنش مکانیکی و حرارتی محاسبه، طرح و اجرا می شود، در طرح محا سبه و اجرای تا سیسات الکتریکی فشار قوی تقریبا تمام اثرات اتصال کوتاه که به آن اشاره شده با دقت زیاد در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین گسترش روزافزون شبکه های به هم پیوسته برق می تواند باعث افزایش سطح اتصال کوتاه در پست‌های انتقال برق نسبت به قدرت قطع کلیدها و تجهیزات وابسته به آن‌ها گردد.

همچنین با توجه به گسترش روز افزون منابع تولید پراکنده، توسعه شبکه قدرت، مشکلات و چالش‌های نا شی از افزایش سطح اتصال کوتاه در شبکه توزیع، لزوم به‌کارگیری انواع راهکارهایی برای کاهش سطح اتصال کوتاه شبکه احساس می‌گردد. هم‌چنین در شبکه انتقال نیز به‌دلیل افزایش ظرفیت تولید سیستم، بالا رفتن تعداد مصرف کنندگان و توسعه شبکه، سطح اتصال کوتاه شبکه افزایش یافته و در برخی از پست‌ها به مقادیر بحرانی رسیده است که این امر به معضل مهمی در شبکه تبدیل شده است. برای جلوگیری از خسارات ناشی از افزایش سطح اتصال کوتاه شبکه انتقال نیز از راهکارهایی استفاده می‌گردد در کنار م شکلات مختص به هر یک از این راهکارها، ضرورت ا ستفاده از فناوری‌های محدود سازهای جریان خطا بیان شده است.

از جمله تکنولوژی‌هایی که برای محدود سازی فعال به کار می‌رود می‌توان به ا ستفاده از محدود سازهای امپدانسی، فیوزها، محدود سازهای ابرر سانا، محدود سازهای حالت جامد و محدود سازهای ترکیبی، ا شاره نمود. اگرچه این روش نیز مانند روشـهای دیگر ارائه شـده دارای هزینه‌هایی می‌باشـد اما مزایای این روش نسبت به روش‌های دیگر هزینه‌های ا ستفاده از FCL را توجیه‌پذیر می‌نماید. موارد زیر از مزایای ا ستفاده از FCL می‌باشند:

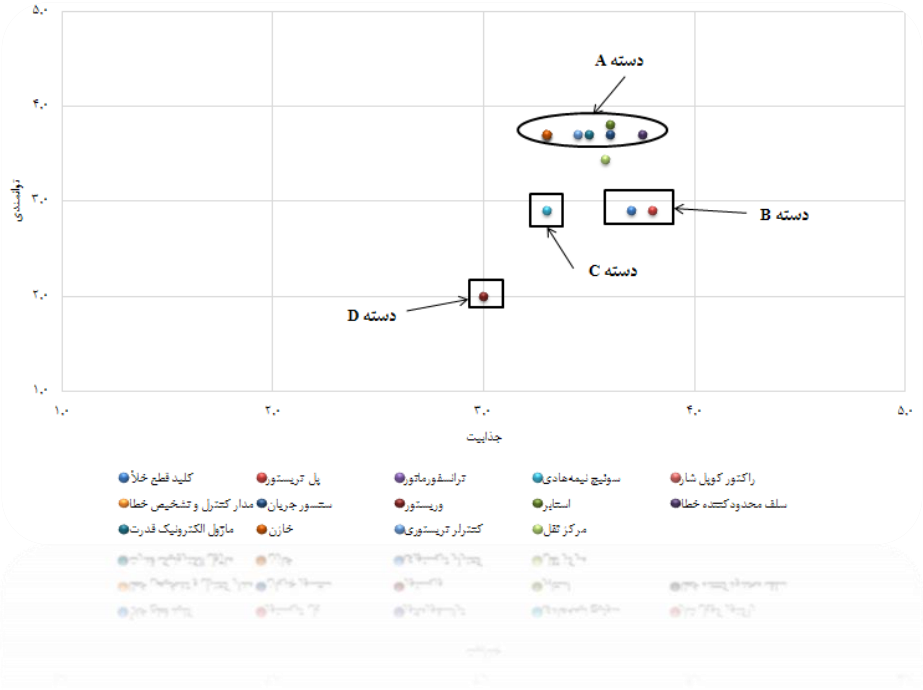
- کاهش ظرفیت مورد نیاز تاسیسات و تجهیزات
- به تعویق انداختن تقویت سیستم
- افزایش قابلیت اطمینان
- عدم نیاز به تغییر تجهیزات حفاظتی
- عدم نیاز به تغییر تجهیزات شبکه مانند کابلها، کلیدهای قدرت و وسایل اندازه‌گیری
- افزایش پایداری در حالت اتصال کوتاه
- افزایش عمر ترانسفورماتورهای قدرت با کاهش جریان اتصال کوتاه عبوری از آن
- بهبود کیفیت توان با کاهش افت ولتاژ در زمان اتصال کوتاه

هدف از انجام این پروژه، بررسی میزان و نحوه کاربرد فناوری محدودسازهای جریان خطا در دنیا، شناسایی تکنولوژی‌های جدید و در حال توسعه در این زمینه، آینده پژوهی فناوری محدود سازهای جریان خطا، تدوین چشم انداز و اهداف کلان و راهبردها و سیاست‌های کلان توسعه فناوری محدودسازهای جریان خطا و در نهایت تدوین برنامه اقدامات و سیاست‌های اجرایی و رهنگاشت فناوری محدود سازهای جریان خطا می‌باشد. با توجه به اینکه فناوری محدودسازهای جریان خطا دارای کاربردهای وسیع بوده و از طرف دیگر، نیاز به حوزه های مختلفی از دانش فنی، تخصص و فناوری دارد، وجود برنامه‌ای جامع برای هماهنگ سازی و جهت دهی فعالیت‌های مورد نیاز ذینفعان مختلف و افزایش کارایی و اثر بخشی آنها، ضروری می باشد. بدین منظور در این پروژه، به تدوین سند راهبردی و نقشه راه فناوری محدود سازهای جریان خطا پرداخته می‌شود.

این پروژه در شش مرحله به صورت زیر انجام گرفته است:

- مرحله اول تحت عنوان **"تدوین مبانی سند راهبردی توسعه فناوری مربوط به محدودسازهای جریان خطا"** از سه بخش تشکیل شده است. در بخش اول پس از بیان مقدماتی راجع به افزایش سطح اتصال کوتاه، به توجیه‌پذیری استفاده از فناوری محدودسازهای جریان خطا پرداخته شده است. در این بخش پس از ارائه انواع راهکارهای کاهش سطح اتصال کوتاه شبکه و بیان مشکلات و چالش‌های ناشی از افزایش سطح اتصال کوتاه در شبکه توزیع و انتقال، ضرورت و توجیه‌پذیری استفاده از فناوری محدودساز جریان خطا از پنج منظر سیاسی-اجتماعی، اقتصادی، تکنولوژیکی (فنی)، زیست محیطی و قانونی تشریح می‌گردد. در بخش دوم، سابقه موضوعی پروژه که همان سابقه فناوری محدودسازهای جریان خطا در داخل و خارج از کشور است مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم، به بررسی و دسته‌بندی انواع تکنولوژی‌های موجود در زمینه فناوری محدودسازهای جریان خطا پرداخته می‌شود.
- مرحله دوم تحت عنوان **" هوشمندی فناوری محدودسازهای جریان خطا "** از سه بخش تشکیل شده است. در بخش اول فناوری‌های جدید و در حال توسعه محدودسازهای جریان خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور ابتدا دسته‌بندی محدودسازهای جریان خطا بر اساس تکنولوژی ساخت انجام می‌گیرد. سپس فناوری‌های جدیدتر که در مقالات معرفی شده‌اند ذکر می‌شوند. در

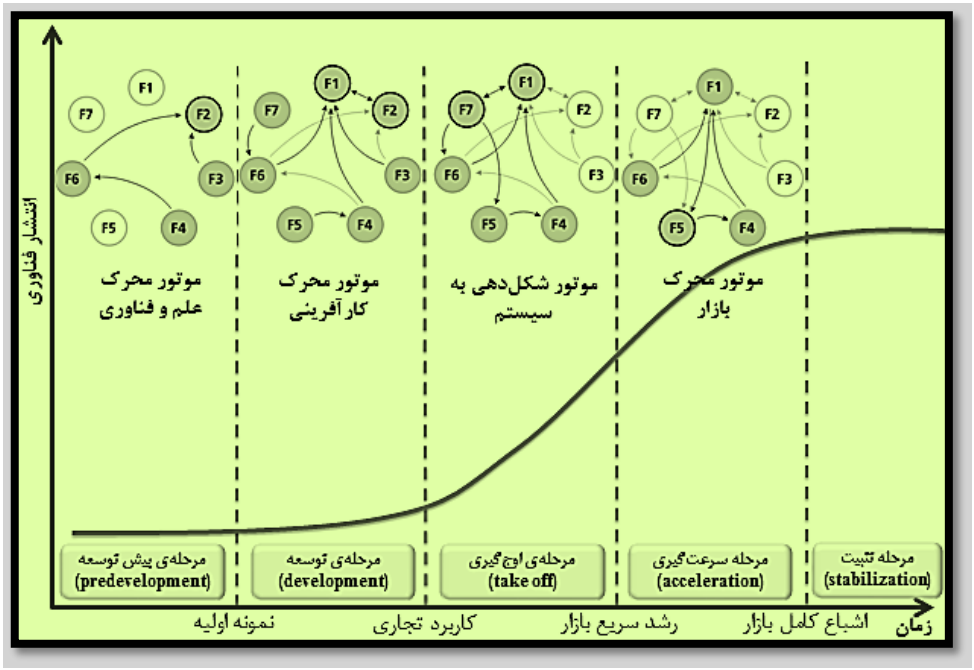
نهایت دسته‌بندی کامل محدودسازهای جریان خطا تحت عنوان درخت فناوری در انتهای این بخش آورده می‌شود. درخت فناوری ارائه دهنده نقشه راه دستیابی به فناوری محدودسازهای جریان خطا می‌باشند. در بخش دوم، ابتدا مشخصات فنی اجزای محدودسازهای جریان خطا بیان می‌شود. در این قسمت، هر کدام از انواع محدودسازهای جریان خطا به تفکیک بررسی شده و اجزای تشکیل دهنده آن‌ها توضیح داده خواهد شد. سپس در ادامه این بخش، استانداردهای مرتبط با این تجهیز معرفی شده و آزمون‌های مورد نیاز جهت ساخت و تولید محدودسازهای جریان خطا توضیح داده شده است. در نهایت در بخش سوم از این مرحله، آینده‌پژوهی فناوری محدودسازهای جریان خطا انجام می‌شود. در این بخش آینده‌های محتمل فناوری‌های محدودساز جریان خطا بر اساس تحلیل پتنت[1] و تحلیل مقالات شناسایی و تعیین می‌گردد.



مرحله سوم تحت عنوان " **تدوین ارکان جهت‌ساز** " در ارتباط با مرحله سوم پروژه از جهار بخش تشکیل شده است. در بخش اول چشم‌انداز فناوری محدودسازهای جریان خطا مشخص شده و

[1] Patent Analysis

تصویر مطلوب (شفاف، واقعی، جذاب و قابل قبول) و آرمان قابل دستیابی در حوزه فناوری محدودسازهای جریان خطا در یک افق زمانی بلند مدت را داده است که این فعالیت‌ها شامل نگارش نسخه اولیه چشم‌انداز مطلوب فناوری محدودسازهای جریان خطا و اخذ نظرات خبرگان در زمینه نسخه اولیه تدوین شده و اصلاح چشم‌انداز مذکور می‌گردد. در بخش دوم، اهداف کلان توسعه فناوری محدودسازهای جریان خطا تدوین گردیده‌اند که در این قسمت با توجه به چشم‌انداز تدوین شده در مرحله قبل به هدف‌گذاری در سطح کلان به منظور شفاف نمودن مسیر نیل به چشم‌انداز محدودسازهای جریان خطا پرداخته می‌شود. در بخش سوم، راهبردهای توسعه فناوری محدودسازهای جریان خطا تدوین گردیده است که در این بخش راهبردهایی که برای دستیابی به اهداف مورد نیاز هستند، اتخاذ شده است که شامل برنامه‌ریزی برای واردات یا ساخت و بومی‌سازی اجزای محدودسازهای جریان خطا و همچنین برنامه مطلوب جهت اکتساب و انتقال تکنولوژی محدودسازهای جریان خطا از کشورهای پیشرفته به داخل کشور می‌شود. در نهایت در بخش چهارم این مرحله سیاست‌های کلان توسعه فناوری محدودسازهای جریان خطا به عنوان چارچوبی مشخص خواهند شد که کیفیت رسیدن به هدف را تعریف شده است.



- در مرحله چهارم پروژه "سند راهبردی و نقشه راه طرح کلان توسعه فناوری مربوط به محدودسازهای جریان خطا"، اقدامات مورد نیاز برای تحقق چشم‌انداز، اهداف و راهبردها تحت عنوان **"تدوین برنامه اقدامات و سیاست‌ها"** مشخص می‌گردد. این اقدامات برای رفع مشکلات موجود در ابعاد مختلف کارکردهای نظام توسعه فناوری‌ها تعیین می‌گردد که این کارکردها عبارت‌اند از: توسعه دانش، انتشار دانش، فعالیت‌های کارآفرینی، شکل‌دهی به بازار، تأمین منابع (شامل منابع مالی، انسانی و مواد)، مشروعیت‌بخشی و جهت‌دهی به سیستم. به منظور تعیین این اقدامات، چالش‌ها و مشکلات موجود در هر یک از ابعاد ذکر شده از نظر کارشناسان و خبرگان حوزه محدودسازهای جریان خطا استفاده شده است.
- در مرحله پنجم با عنوان **" تدوین ره‌نگاشت (نقشه راه) و برنامه عملیاتی"** ، با ارائه مدلی از گام‌های لازم جهت تکمیل فرایند برنامه عملیاتی و همچنین ابزارهای هر گام پرداخته شده که در نهایت منجر به دستیابی به برنامه عملیاتی و ره‌نگاشت در راستای چشم‌انداز سند می‌گردد. فرایند تدوین پروژه‌های اجرایی پرداخته، فهرست پروژه‌های اجرایی،تخصیص منابع و تقسیم کار ملی و زمان و بودجه لازم برای تکمیل پروژه‌ها در این مرحله مشخص می‌شود. در ادامه متولیان و مجریان انجام پروژه‌ها براساس نگاشت نهادی مشخص‌شده تعیین می‌گردد. در نهایت نیز ره‌نگاشت مربوط به توسعه هر یک از فناوری‌های مرتبط با محدودسازهای جریان خطا در بازه ده ساله ترسیم گردیده است.

پژوهش

شناسایی حوزه‌های فناورانه تجهیزات محدودساز جریان خطا

نویسندگان: آرمان صفایی، هادی نوروزی

چکیده: تغییرات فناورانه از طریق نوآوری در دنیای کنونی از یک سو و لزوم این تغییرات پرشتاب در محصولات و فرآیندها از سویی دیگر، شرایطی را به وجود آورده است که نوآوری‌های فناورانه به عنوان مهم‌ترین عامل رقابت‌پذیری در سازمان‌های امروزی نمود پیدا کند. امروزه دستیابی به نوآوری‌های فناورانه از طریق تحقیق و توسعه با توجه به گستردگی و بین‌رشته‌ای بودن علوم، کاری بسیار دشوار است. در بخش شناسایی حوزه‌های فناورانه محدودسازهای جریان خطا، کاربردها، اجزاء و زیرسیستم‌های فناوری مورد نظر مشخص می‌گردد. این امر با استفاده از درخت فناوری صورت می‌پذیرد. درخت فناوری با هدایت سیاست‌گذاری در رابطه با فناوری مورد نظر به تعیین اولویت‌ها و سمت و سوی کلان حرکت فناوری کمک می‌نماید. به طور کلی محدودسازهای جریان خطا را می‌توان به چهار نوع محدودساز ابررسانایی، حالت جامد، هیبریدی و غیرابررسانا دسته‌بندی نمود. در این مقاله کاربردها، اجزاء و زیرسیستم‌های فناوری تجهیزات محدودساز جریان خطا مشخص می‌گردد. هر کدام از انواع فوق دارای تجهیزات و زیرمجموعه‌های متفاوتی هستند. همچنین رویکردهای مختلفی برای شناسایی حوزه‌های فناورانه وجود دارد که از میان آن‌ها، رویکرد تهیه نگاشت (درخت) فناوری برای برنامه‌ریزی فناوری در سطح ملی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای نگاشت فناوری، امکان شناسایی و تحلیل و تصمیم‌گیری بر روی فناوری مرتبط با فعالیت‌ها یا فرآیندهای سازمان و هم‌چنین کنترل و ردیابی اثرات فناورانه آن‌ها بر محصولات و خدمات آن می‌باشد.

کلیدواژه: محدودساز جریان خطا ، حوزه های فناورانه ، نگاشت، درخت فناوری

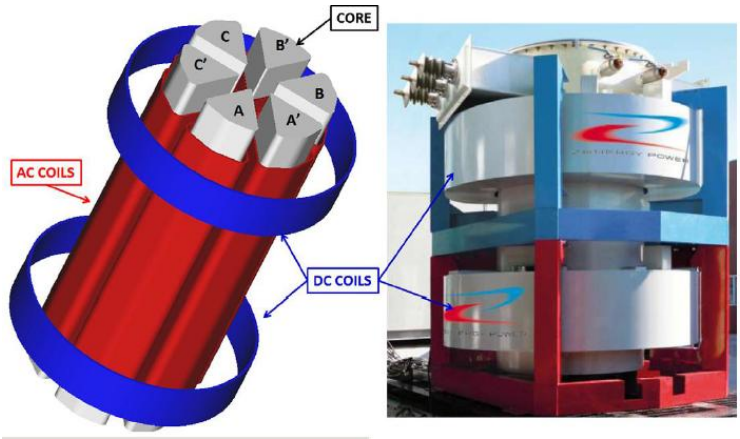
شناسایی فناوری‌های جدید و در حال توسعه محدودسازهای جریان خطا

در این قسمت انواع فناوری‌های جدید و در حال توسعه محدودسازهای جریان خطا معرفی و بررسی خواهد شد. همچنین انواع مختلف محدودساز جریان خطا شامل محدودساز جریان خطای ابررسانا، محدودساز جریان خطای حالت جامد، محدودساز غیرابررسانا و محدودساز ترکیبی (هیبرید) معرفی شده است و روش کار آن‌ها به طور کلی مورد بررسی قرار گرفته است.

محدودساز جریان خطای ابررسانا (SFCL[1])

به طور کلی مواد ابررسانا به دو دسته تقسیم می‌شوند: مواد ابررسانایی گرم، مواد ابررسانایی سرد. موارد ابرر سانایی گرم به د سته‌ای از مواد اطلاق می شود که در دماهای بالاتری (بالاتر از صفر مطلق) به خا صیت مقاومت صفر می‌رسند. لذا استفاده از آن‌ها در کاربردهای صنعتی با سهولت ممکن می شود. هنوز تحقیقات بر روی این نوع مواد ادامه دارد. به دلیل نوظهور بودن این مواد قیمت آن‌ها هنوز بالا اســت. لذا اســتفاده از آن‌ها به دلیل مسائل اقتصادی محدود می شود. البته انواع ابررسانا با کلیدزنی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل (۱) یک محدود ساز ابرر سانایی نوع گرم را نشان می‌دهد که در سیم‌پیچی‌های DC از مواد ابرر سانا ا ستفاده شده ا ست. پی شرفت‌های اخیر در زمینه ابرر ساناها به دلیل افت تلفات و سرعت بالا در انتقال از حالت ابررســانا به حالت رســانا، ســبب طراحی و ســاخت محدودکننده‌های جریان خطا با اســتفاده از آن‌ها گردیده است.

SFCL ها مقاومت الکتریکی خود شان را در زیر دمای بحرانی، میدان مغناطیسی بحرانی و چگالی جریان بحرانی از دست می‌دهند. این محدودسازها بر اساس این قاعده کار می‌کنند که در حالت ماندگار، به جریان بار اجازه جاری شدن می‌دهد بدون این‌که افت ولتاژ محسوسی در دو سر آن رخ داده باشد. اما در هنگام خطا، افزایش جریان منجر به افزایش دما و امپدانس مواد ابرر سانا می شود که این دما و امپدانس به سرعت افزایش می‌یابند و باعث محدود شدن جریان خطا می‌شوند.



شکل (۱): محدودساز جریان خطای ابررسانای گرم به همراه ساختار

[1] Superconducting Fault Current Limiter

محدودکننده‌های ابررسانا در شرایط بهره برداری عادی سیستم، یک سیم پیچ با خاصیت ابررسانایی بوده (مقاومت و افت ولتاژ کمی را باعث می شود) ولی به محض وقوع اتصال کوتاه و افزایش جریان از یک حد معینی (جریان بحرانی) سیم پیچ مربوط مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهد و به همین دلیل جریان خطا کاهش می‌یابد. عمل فوق در زمان کوتاهی انجام می‌پذیرد و نیاز به سیستم تشخیص خطا نمی‌باشد [۱].

از مهم‌ترین مزایای SFCL، عملکرد بسیار سریع‌تر از کلیدهای قدرت و افت ولتاژ کم در وضعیت عادی می‌باشد. در ساخت SFCL پیشتر از مواد ابررسانا با دمای کم LTS[1] استفاده می شد که به دو دلیل، دیگر از این‌گونه مواد استفاده نمی‌شود:

- ظرفیت حرارتی مواد LTS خیلی پایین است و در هنگام بروز خطا باعث افزایش ناگهانی دمای سیم‌پیچ ابررسانا می‌شود.
- با تولید حرارت بالای سیم‌پیچ ابررسانا، خنک‌سازی سیم‌پیچ بسیار مشکل بوده و نیازمند ابعاد بزرگتر SFCL ها و درنتیجه افزایش چشمگیر هزینه‌های ساخت آن‌ها می‌باشد.

امروزه از مواد ابرر سانا با دمای بالا HTS[2] در ساخت SFCL ا ستفاده می شود که دارای ا شکالات فوق نیستند [۲].

مزایای استفاده از محدودسازهای نوع ابررسانا (*SFCL*)

در این قسمت مزایای ا ستفاده از محدود سازهای نوع ابرر سانا بیان می شود. این مزایا شامل موارد فنی و اقتصادی بوده و اهمیت استفاده از این نوع محدودساز را عنوان می‌کند.

- کاهش خسارت ناشی از اتصال کوتاه در شبکه
- افزایش قابلیت اطمینان در شبکه
- افزایش کیفیت توان و کاهش تلفات در سیستم قدرت

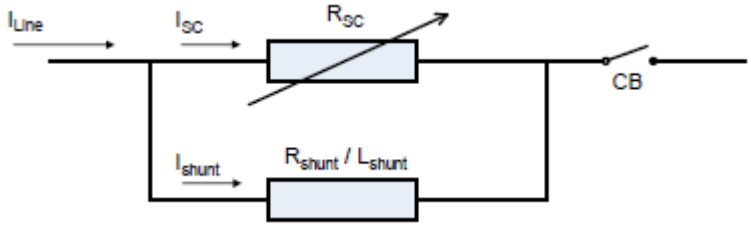
انواع محدودساز جریان خطای ابررسانا

محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع مقاومتی (Resistive)

[1] Low Temperature Superconductor

[2] High Temperature Superconductor

این محدودساز در حالت عادی هیچ مقاومتی نداشته، اما در حالت وقوع خطا با اضافه کردن یک مقاومت باعث کاهش جریان شبکه می‌شود. در حقیقت می‌توان آن را یک مقاومت متغیر غیر خطی در نظر گرفت. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود، می‌توان این محدودسازها را با یک مقاومت متغیر مدل کرد [۳].

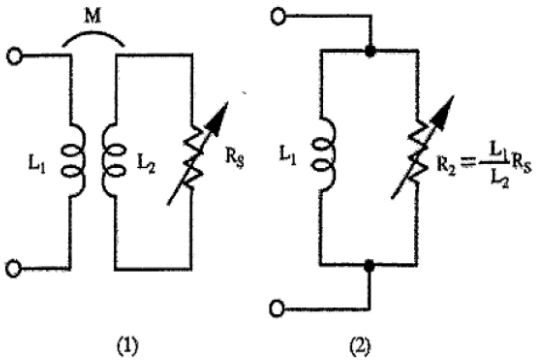


شکل (۲): مدل یک سیم ابررسانا در دماها و جریان‌های مختلف

با وقوع عیب در سیستم قدرت چگالی جریان عبوری از ابررسانا افزایش یافته و با افزایش چگالی جریان مقاومت آن افزایش پیدا می‌کند که نتیجه آن محدودشدن جریان اتصال کوتاه می‌باشد.

- محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع سلفی (Shield Inductive)

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، این نوع از محدودکننده‌ها از یک ترانسفورماتور تشکیل شده‌اند که سمت اولیه آن با خط سری بوده و ثانویه آن توسط ابررسانا اتصال کوتاه شده است.

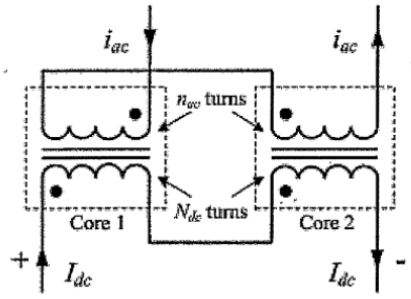


شکل (۳۰): مدل مداری یک Shield Inductive SFCL

وقوع عیب و افزایش دانسیته جریان در ثانویه ترانسفورماتور باعث افزایش مقاومت ابررسانا شده و همان‌طور که در شکل (۲-۴) نشان داده شده است یک امپدانس معادل سلفی مقاومتی به صورت سری با خط ایجاد شده که باعث محدودشدن جریان اتصال کوتاه می‌گردد [۴].

- محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع سلفی اشباع شده (Saturated inductive type)

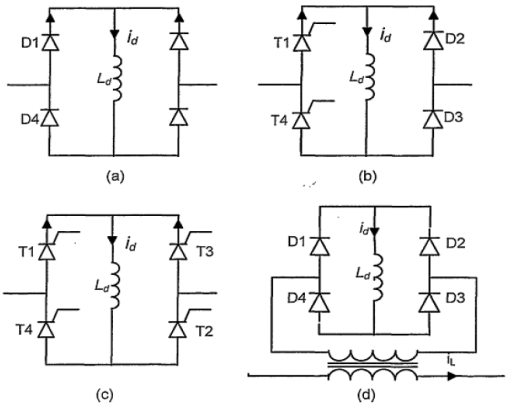
ساختار اصلی این نوع محدودکننده ابررسانا برای حالت تک‌فاز در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل (۴) دیده می‌شود دو هسته مغناطیسی برای هر نیم‌سیکل از جریان خطا نیاز است. هر کدام از هسته‌ها سیم پیچی دارد که جریان AC خط از داخل آن‌ها عبور داده می‌شود. طرف ثانویه خط خاصیت ابررسانایی دارد که با یک جریان DC بایاس می‌شود. جریان DC از هر دو سیم‌پیچی عبور داده می‌شود و هسته آهنی را به اشباع می‌برد تا اندوکتانس دیده شده از دو سر محدودکننده بسیار کوچک باشد.



شکل (۴): مدل مداری یک Saturated Inductive SFCL

- محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع راکتور DC (DC Reactor Type)

این نوع ساختار از محدودکننده‌های ابررسانا، به دلیل داشتن خواص جالب توجه در سال‌های اخیر بیشتر از انواع دیگر مطرح بوده‌اند. چهار ساختار مختلف از این نوع در حالت تک‌فاز در شکل (۵) نشان داده شده است.



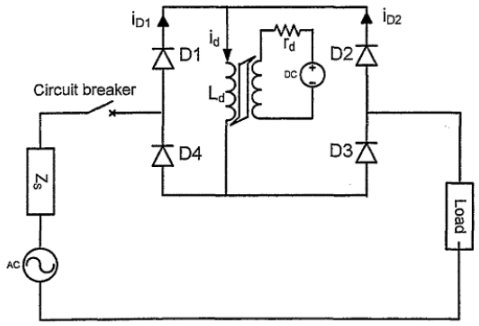
شکل (۵): ساختارهای مختلف DC Reactor Type

از ویژگی‌های محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع راکتور DC می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- محدودکننده‌های نوع راکتور DC به صورت سری با تجهیزات سیستم در خط انتقال قرار می‌گیرند و در هنگام کار عادی شبکه هیچ اثری از خود به جا نمی‌گذارند و تاثیری در شکل موج ولتاژ و جریان بار در هنگام کار عادی شبکه ندارند.
- تلفات توان بسیار ناچیز آن‌ها در مقابل توان شبکه اغلب قابل چشم‌پوشی است.
- در هنگام بروز خطا در مدار، محدودکننده‌های نوع راکتور DC بدون وقفه و بدون نیاز به هیچ فرمان خارجی به علت ویژگی‌های خاص خود وارد عمل شده و جریان خطا را محدود می‌کنند و از افزایش ناگهانی آن جلوگیری می‌کنند.
- از نظر اقتصادی نسبت به دیگر محدودکننده‌ها مقرون به صرفه هستند.
- سرعت بازیابی بالایی دارند و پس از رفع خطا در فاصله زمانی بسیار کمی قادرند به حالت اولیه خود بازگشته و جریان خطای بعدی را محدود کنند
- قابلیت اطمینان بالایی دارند.
- موجب بهبود کیفیت توان در شبکه می‌شوند.

- محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع راکتور DC اشباع شده (Saturated DC Reactor Type)

در واقع این ساختار دقیقاً شبیه ساختار قبلی می‌باشد ولی همان‌گونه که در شکل (۶) نشان داده شده است برای این‌که تاثیر راکتور DC در حالت کار عادی شبکه به حداقل برسد، راکتور DC با یک جریان DC بایاس می‌شود تا در ناحیه اشباع هسته کار کند و اندازه بسیار کوچکی داشته باشد [۶].



شکل (۶): ساختار Saturated DC Reactor Type در حالت تک‌فاز

در این بخش ساختارهای مختلف محدودکننده جریان اتصال کوتاه ابرر سانا معرفی شدند که در حالت کلی مزایای زیر را برای همه آن‌ها می‌توان قائل شد.

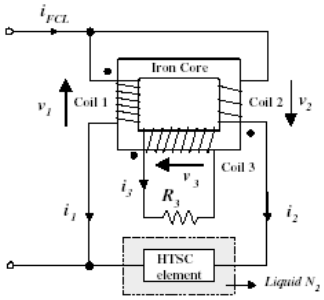
- بدون تاثیر در حالت کار عادی شبکه (افت توان و افت ولتاژ)
- خاصیت غیرخطی ابررسانا در جریان‌ها و دماهای مختلف
- حجم کوچک

از معایب این محدودکننده‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- هزینه بالای ابررسانا
- هزینه بالای سیستم خنک‌کاری
- عدم هماهنگی با سیستم قدرت متعارف
- در دسترس نبودن تکنولوژی

- محدودساز جریان خطای ابررسانا با شار قفل شونده (Flux-Locked)

این نوع محدودکننده نیز از سیم‌پیچ‌های مجزا تشکیل شده است اما برخلاف نوع تلفیقی این سیم‌پیچ‌ها از نظر الکتریکی به هم متصل هستند. مزیت این نوع محدودکننده این است که امپدانس در حالت کارکرد دستگاه به علت وجود اندوکتانس متقابل بین سیم‌پیچ‌ها نسبت به حالت‌های قبلی بالاتر است [۷].

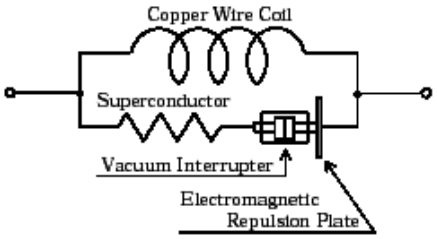


شکل (۷): نمونه ای از یک محدود کننده با شار قفل شونده [۷]

برخلاف حالت‌های قبلی در این حالت جریان محدود شده با جریان نامی شبکه ارتباط دارد و مقدار آن بسته به جریان عادی شبکه تغییر خواهد کرد. معمولاً در این نوع محدودکننده از دو یا سه سیم‌پیچ استفاده می‌شود.

- محدودساز جریان خطای ابررسانا با کلید قطع خلاء

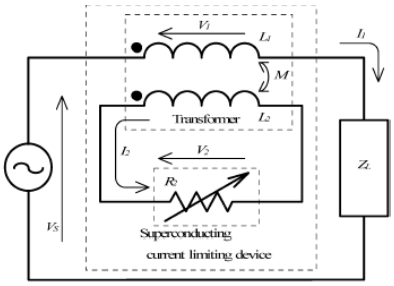
مساله ایجاد حرارت در ابررسانا و چگونگی کنترل و کاهش آن پس از وقوع خطا همیشه به عنوان یکی از موضوعات مهم در طراحی یک محدود کننده مورد توجه بوده است. ایجاد این حرارت علاوه بر امکان ایجاد مشکل در ابررسانا مثل شکستن یا ترک برداشتن از نظر شبکه نیز می‌تواند مشکل‌ساز باشد. سرعت عمل دستگاه و بازگشت سریع به حالت آماده باش و مواجهه با خطاهای پی در پی در طراحی شبکه برق بسیار حائز اهمیت است. در این ارتباط تحقیقات و فعالیت‌های زیادی صورت گرفته و هم اکنون نیز در حال انجام است. ساختارهای متفاوتی تاکنون عرضه شده است که نوع سری و موازی آن در بخش محدود کننده مقاومتی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه دیگری که تا حدی ابتکاری به نظر می‌رسد، اضافه کردن یک کلید منحرف کننده است که در هنگام وقوع خطا ابررسانا را از مدار خارج کند.



شکل (۸): یک ساختار ابتکاری از محدود کننده برای کاهش حرارت با استفاده از کلید خلاء [۸]

- محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع ترانسفورماتوری

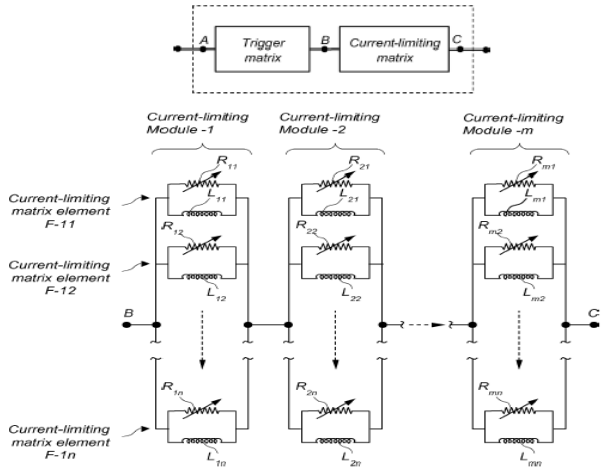
دراین نوع محدودکننده یک ترانسفورماتور با ابررسانا به صورت سری قرار می‌گیرد. تفاوت این ساختار با با نوع سلفی این است که در اینجا سیم پیچ ثانویه با ابررسانا سری شده است. در صورتی که در مدل سلفی خود ابررسانا نقش سیم‌پیچ را بازی می‌کند [۹]. این نوع ساختار منجر به افزایش قدرت انعطاف محدودکننده در مقابل جریانهای متفاوت خواهد شد. در این حال ایجاد اندوکتانس در حالت عادی کار از نقاط ضعف این ساختار به حساب می‌آید.



شکل (۹): شمای کلی یک محدود کننده ترانسفورماتوری

- محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع ماتریسی (Matrix FCL)

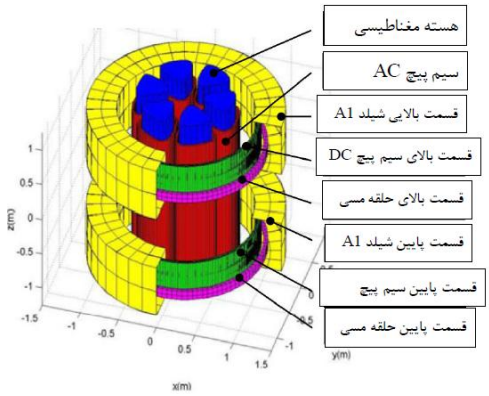
ساختارهای مختلف دیگری نیز برای بهبود عملکرد سیستم پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها ساختار ماتریسی است. این ساختار به منظور افزایش قابلیت مانور سیستم برای کار با جریان‌ها و ولتاژهای مختلف و امکان ایجاد تنظیم آنها توسط مرکز تحقیقات لوس‌آلاموس (Los Alamos) پیشنهاد گردیده است.



شکل (۱۰): ساختار یک محدود کننده جریان ماتریسی

- محدودساز جریان خطای ابررسانا با هسته مغناطیسی باز

شکل (۱۱) نمونه اولیه یک محدودساز جریان خطای ابررسانا را نشان می‌دهد که با هسته مغناطیسی باز ساخته شده است و قرار است در سمت ۳۳ کیلوولت فیدری در انگلستان متصل شود. استفاده از هسته باز سبب کاهش اندازه و حجم SCFCL خواهد شد. سیم پیچ‌های به کار رفته در این SCFCL از جنس دی بوراید منیزیم هستند. نمونه اولیه این FCL در آزمایشگاه IPH برلین تست شده است [۱۱].

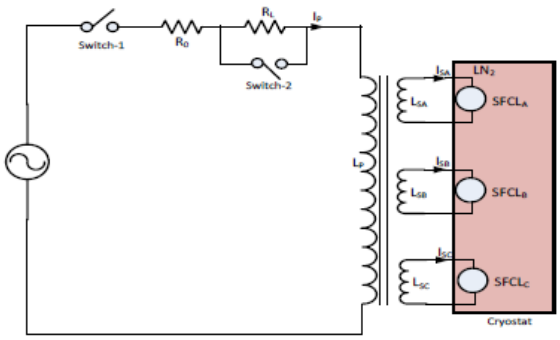


شکل (۱۱): نمای هندسی سه بعدی محدودساز جریان خطا [۱۱]

- محدودساز جریان خطای ابررسانای هیبریدی[۱]

به دلیل اختلاف جریان بحرانی میان واحدهای مختلف، محدودسازهای جریان خطای مقاومتی با مشکل در اطفاء به طور همزمان میان واحدها روبرو می‌شود. با این وجود، این مشکل می‌تواند توسط محدودسازهای جریان خطای ابررسانا از نوع هیبریدی حل شود [۱۲]. این نوع محدودسازها برای محدودنمودن جریان خطا و بهبود عملکرد دینامیک سیستم قدرت پیشنهاد می‌شود. ساختار آن به این صورت است که دارای یک سیم‌پیچ اولیه و چندین سیم‌پیچ ثانویه بوده که در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

[۱] Hybrid SFCL



شکل (۱۲): ساختار محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع هیبرید

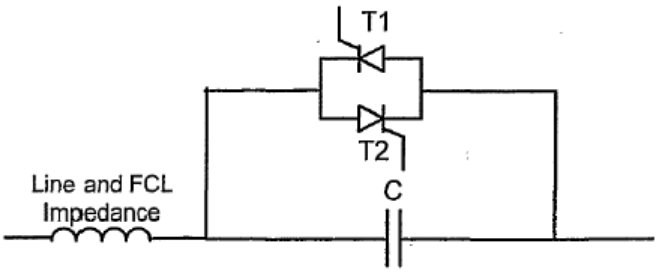
محدودساز جریان خطای حالت جامد (SSFCL[۱])

در چند دهه اخیر با پیشرفت‌هایی که در زمینه نیمه‌هادی‌ها در سطح ولتاژ و توان سیستم قدرت صورت پذیرفته است، محدودسازهایی بر اساس ادوات الکترونیک قدرت توسعه یافته‌اند. در ساختار این نوع محدودکننده‌ها از عناصر پسیو نظیر راکتورها و ترانسفورماتورها در کنار کلیدهای تریستوری استفاده می‌شود. این نوع محدودسازها تحت عنوان محدودساز حالت جامد شناخته می‌شود. طرز کار محدودسازهای جریان خطای حالت جامد بدین گونه است که کلیدهای الکترونیکی، تعدادی مقاومت و یا راکتور را در هنگام خطا وارد مسیر جریان خطا می‌کنند. سرعت عملکرد این محدودساز بسیار بالا بوده و چند میلی ثانیه پس از وقوع خطا عمل می‌کند. به بیان دیگر افزایش امپدانس سری مسیر، سبب محدودکردن جریان خطا در محدوده امن تجهیزات خواهد شد.

تجهیز SSFCL از تکنیک کلیدزنی با سرعت سوئیچینگ بالا بهره می‌گیرد و بدین وسیله امپدانسی با قابلیت جذب انرژی را به منظور محدودسازی جریان به سرعت وارد شبکه می‌کند. این نوع محدودساز، جریان شبکه را در ظرف زمانی تنها در حدود چند میکروثانیه محدود می‌کند. این امر از ایجاد آسیب بر شکل موج جریان از طریق تجهیزات سیستم قدرت نظیر مدارشکن‌ها، کابل‌ها و ... ممانعت به عمل می‌آورد.

---

[۱] Solid State Fault Current Limiter



شکل (۱۳): یک ساختار معمول SSFCL

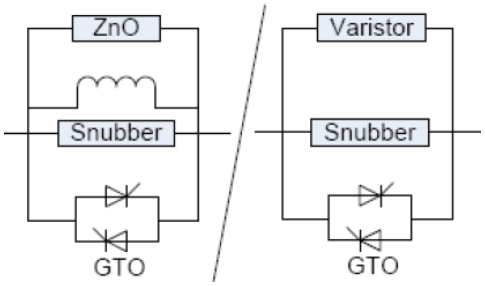
تعدادی از معایب استفاده از تجهیز SSFCL عبارتند از:

- تولید هارمونیک‌ها به دلیل استفاده از تجهیزات کلیدزنی
- وقوع افت ولتاژ در بازه وقوع خطا در سیستم
- وجود تلفات کلیدزنی

ساختارهای معروف محدودساز جریان خطای حالت جامد در ادامه توضیح داده شده است.

- محدودساز جریان خطای حالت جامد از نوع سوئیچ امپدانسی

این ساختار در شکل (۱۴) نشان داده شده است. قبل از وقوع خطا GTO ها روشن بوده و با کلیدزنی در هر نیم سیکل یکی از آن‌ها جریان شبکه را عبور می‌دهد. با وقوع خطا، GTO ها خاموش شده و سلف محدودکننده در مدار قرار می‌گیرد. در ساختار دیگری که در شکل نشان داده شده، از یک وریستور برای محدودسازی استفاده شده است. این مدل ساده می‌باشد، اما ایراد اصلی آن این است که در حالت عادی شبکه جریان از کلیدهای نیمه‌هادی عبور می‌کند که دارای تلفات می‌باشند.



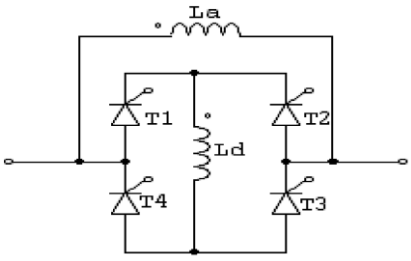
شکل (۱۴): ساختار محدودساز نوع سویچ امپدانسی

- محدودساز جریان خطای حالت جامد از نوع رزونانسی

این محدودساز شامل یک مدار تشدید با کلید تریستوری می‌باشد که در دهه اخیر مطرح گردیده و تحقیقات محدودکننده ها در این زمینه از گسترش روزافزونی برخوردار گشته است. سه نوع مختلف این ساختار شامل رزونانسی سری، موازی و سری–موازی می‌باشد.

- محدودساز نوع پل (BFCL[۱])

در این قسمت محدودساز نوع پل توضیح داده می‌شود. ساختار این نوع محدودساز همان‌طور که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، از یک مبدل تمام پل شامل چهار تریستور T_1 تا T_4 ، یک راکتور DC، که با L_d نشان داده شده است و یک راکتور AC که با L_{ac} نشان داده شده، تشکیل شده است. همان‌طور که از شکل (۱۵) مشخص است، راکتور AC به صورت موازی با مدار پل قرار می‌گیرد.



شکل (۱۵): محدود ساز جریان خطا حالت جامد

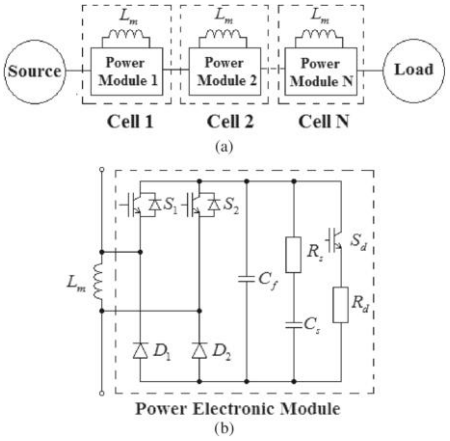
- محدودساز جریان خطای چند سلولی[۲] (MCFCL)

نمونه‌ای دیگر از محدودسازهای جریان خطا که در [۱۵] مورد بررسی قرار گرفته است، محدودساز جریان خطای چند سلولی می‌باشد. این نوع از محدودسازهای جریان خطا از چندین سلول FCL تشکیل شده‌اند. هر سلول شامل یک سلف محدودساز جریان و یک ماژول الکترونیک قدرت

[۱] Bridge Type Fault Current Limiter

[۲] Multi-Cell Fault Current Limiter

می‌باشد. با افزایش تعداد سلول های MCFCL امکان افزایش ولتاژ عملکرد آن وجود دارد. شکل (۱۶) توپولوژی MCFCL پیشنهادی را نشان می‌دهد.

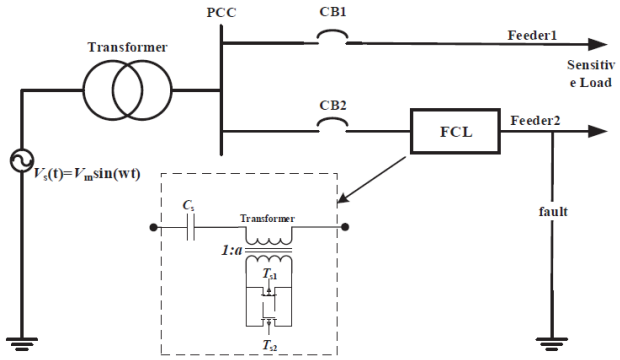


شکل (۱۶): توپولوژی مداری MCFCL

- ساختار جدید برای محدودساز جریان خطا بر مبنای رزونانس سری

در [۱۶] محدودساز جریان خطایی از نوع رزونانس سری پیشنهاد شده است که شامل ترانسفورماتور رزونانسی و خازن سری می‌باشد. با توجه به شکل (۱۷)، سمت اولیه ترانسفورماتور به صورت سری با خازن و خط قرار گرفته است. در شرایط عملکرد عادی سوئیچ سمت ثانویه ترانس باز است و قسمت اولیه ترانس و خازن با هم سری هستند و فرکانس تشدید آن‌ها برابر فرکانس شبکه می‌باشد. بنابراین در عملکرد عادی امپدانس محدودساز نزدیک به صفر است. هنگام وقوع خطا ثانویه بسته شده و در نتیجه امپدانس FCL به امپدانس خازن سری تغییر پیدا می‌کند. و امپدانس خازن باعث کاهش جریان اتصال کوتاه و نگه داشتن ولتاژ نقطه اتصال مشترک (PCC[۱]) می‌شود.

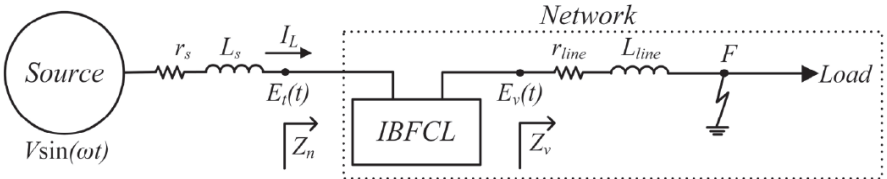
[۱] Point of Common Coupling



شکل (۱۷): ساختار پیشنهادی برای FCL رزونانس سری [۵]

- محدودساز جریان خطای امپدانسی[۱] (IBFCL)

در مرجع [۱۷] مدل جدیدی از محدودساز جریان خطا ارائه شده است که نویسندگان ادعا می‌کنند نسبت به سایر ساختارها دارای برتری اقتصادی می‌باشد. و همچنین دارای سرعت عمل بیشتری بوده و کنترل آن راحت تر است. این ساختار، محدودساز جریان خطای امپدانسی نامیده می‌شود. نوآوری در مدار FCL پیشنهادی در این است که، امپدانس سیستم برای تشخیص میزان امپدانس از دست رفته در شرایط جدید، محاسبه می‌شود. سپس مقدار مقاومت مورد نیاز برای کاهش جریان خطا حساب می‌شود.



شکل (۱۸): توپولوژی یک شبکه به همراه IBFCL پیشنهادی

- محدودساز جریان خطای غیر ابررسانای خازنی (CBFCL[۲])

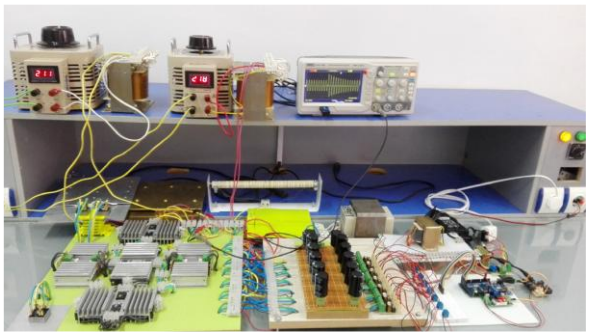
در [۱۸] یک ساختار جدید برای محدودساز غیر ابررسانا از نوع پل به نام FCL خازنی (CBFCL)، پیشنهاد شده است. مدار FCL پیشنهادی بر مبنای انتقال انرژی الکتریکی به یک خازن در هنگام خطا می‌باشد، که این انرژی ذخیره شده، می‌تواند بعد از رفع خطا استفاده شود. برای جلوگیری

---

[۱] Impedance-Based Fault Current Limiter

[۲] Capacitor-Based Fault current limiter

از افزایش لحظه ای جریان خازن، خازن دارای یک انرژی اولیه است. همچنین اندوکتانس راکتور DC پایین است که سبب کاهش تلفات و کاهش هزینه اولیه می‌شود. نمونه آزمایشگاهی این نوع FCL در شکل (۱۹) نشان داده شده‌است.

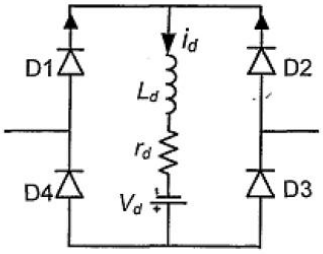


شکل (۱۹): نمونه آزمایشگاهی CBFCL پیشنهادی

محدودساز جریان خطای غیرابررسانا

- محدودساز جریان خطای غیرابررسانا از نوع راکتور DC (NSFCL)

شکل (۲۰) آرایش تک‌فاز محدودساز جریان خطای غیرابررسانا از نوع راکتور DC را نشان می‌دهد. در مدار شکل زیر راکتور غیر ابررسانا با یک سلف ایده‌آل و یک مقاومت سری مدل شده است. هم‌چنین یک منبع ولتاژ DC جهت جبران تلفات اهمی سلف و دیودها با راکتور سری شده است. می‌توان منبع ولتاژ DC را با استفاده از یک یکسوساز دیودی ساده تامین نمود [۲۱].

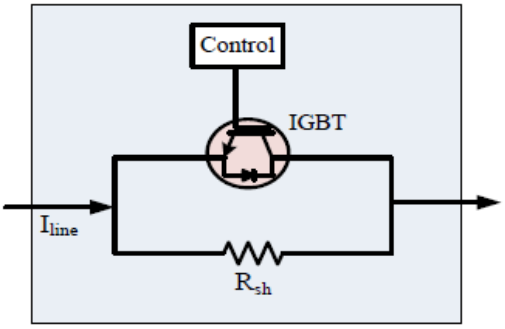


شکل (۲۰): مدار تکفاز محدودساز جریان خطای غیرابررسانا

- مقاومت ترمزی دینامیک سری[۱] (SDBR)

[۱] Series Dynamic Braking Resistor

این نوع محدودساز از نوع غیرابررسانا بوده و کاربرد زیادی در سیستم قدرت دارد، مخصوصا زمانی که برای بهبود توانایی عبور از خطا مزرعه بادی استفاده می‌شود. این تجهیز از مقاومت به صورت موازی با یک کلید تشکیل شده است. کلید بر اساس رخداد خطا در یک سیستم خاموش و روشن می‌شود. به دلیل پاسخ سریع، IGBT در شکل (۲۱) نشان داده شده است.



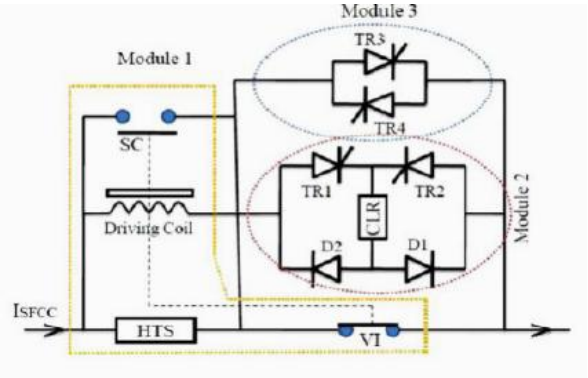
شکل (۲۱): ساختار مقاومت ترمزی دینامیک سری

محدودسازهای جریان خطای هیبرید

این نوع محدودسازها در سال ۲۰۰۰ میلادی توسعه یافته‌اند و ترکیب دو نوع محدودساز جریان خطای از نوع ابررسانا و حالت جامد هستند. این نوع هیبرید شامل ابررساناهایی می‌شود که به عنوان یک عنصر محدودکننده واکنشی مقاومتی به کار می‌روند و به صورت موازی با کلید بار سریع عملکرد دارند [۲۴]. در این حالت، ابررساناها جریان خطا را تنها تحت کلیدزنی حمل می‌کنند و تلفات کل سیستم نسبت به دیگر محدودسازهای از نوع ابررسانا کمتر است. درنتیجه، خنک سازی این نوع محدودساز ضروری است که توسط گاز نیتروژن تامین می‌شود و در عملکرد منعطف و قابل اجرا است. ادوات نیمه‌هادی مانند IGCT به همراه محدودسازهای جریان خطای ابررسانا به صورت تجهیز هیبرید درنظرگرفته می‌شوند.

با توجه به شکل (۲۲)، ماژول ۱ از المان ابررسانای دمای بالا (HTS) و کلید سریع تشکیل شده است که المان HTS برای حس نمودن خطا و خاموش‌سازی جریان استفاده می‌شود. راکتور محدودساز جریان در ماژول ۲ معرفی می‌شود که شامل کلیدهای حالت جامد شده که جهت محدودسازی جریان خطا به کار می‌رود. ماژول ۳ برای بایپس نمودن جریان خطا درحین جزیره‌ای شدن ریزشبکه به کار می‌رود. برای محدودسازی جریان خطای گذرا و کم نمودن زمان واکنس برای محدودنمودن جریان خطای حالت دائم، محدودساز جریان خطای ابررسانا از نوع پل هیبریدی در مرجع [۲۴] پیشنهاد شده است که از ادوات الکترونیک قدرت مانند

MOSFET و IGBT استفاده می‌کند. مزیت اصلی تجهیز پیشنهادی پاسخ سریع آن است که هر دو رخداد خطا و بازیابی سیستم قدرت را به طور همزمان پوشش می‌دهد و با این کار جریان خطا در حالت دائم و گذرا را محدود می‌نماید.



شکل (۲۲): محدودساز جریان خطای از نوع هیبرید

کاربردهای انواع مختلف محدودسازهای جریان خطا

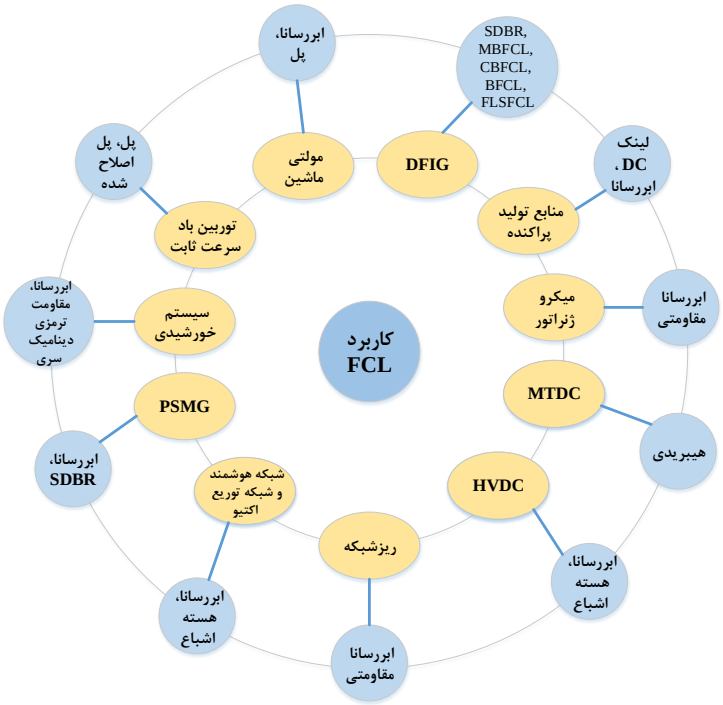
نمونه‌ای از کاربردهای برخی از انواع محدودسازهای جریان خطا را به منظور افزایش پایداری، می‌توان در شکل (۲۳) مشاهده کرد. جدول (۱) کاربردهای مختلف انواع محدودسازهای جریان خطا را بر حسب انواع آن‌ها نشان می‌دهد. از این جدول می‌توان به این نتیجه رسید که محدودساز از نوع ابررسانایی (SFCL) گستره‌ی کاربردی وسیعی نسبت به دیگر انواع زیرفناوری‌های محدودسازهای جریان خطا دارد و پس از آن محدودساز از نوع غیرابررسانا قرار گرفته است.

جدول (۱): کاربردهای انواع مختلف محدودسازهای جریان خطا

انواع / کاربردها	هیبریدی	ابررسانا	حالت جامد	غیرابررسانا
توربین باد سرعت ثابت				
سیستم خورشیدی				
شبکه هوشمند				
ریزشبکه				
PMSG				
HVDC				
MTDC				
منابع تولید پراکنده				

DFIG				
مولتی ماشین				
میکروژنراتور				

به منظور مقایسه بهتر تکنولوژی‌های مختلف محدودسازهای جریان خطا، با توجه به توضیحات فوق می‌توان جدول (۲) را تشکیل داد.



شکل (۲۳): کاربردهای انواع مختلف محدودسازهای جریان خطا

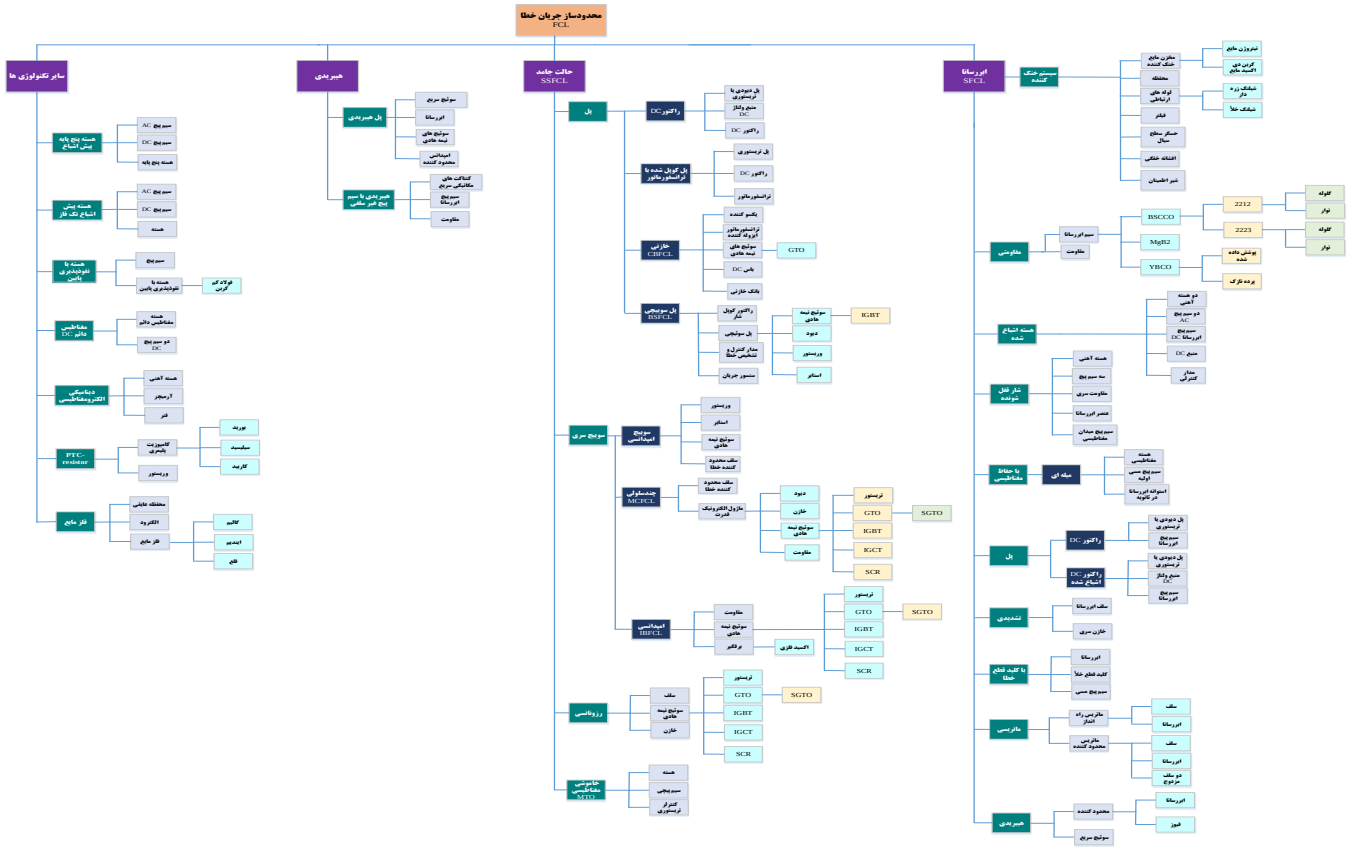
جدول (۲): مقایسه انواع محدودسازهای جریان خطا

پارامترها	محدودساز جریان خطای ابررسانا	محدودساز جریان خطای حالت جامد	محدودساز جریان خطای غیر ابررسانا
اندازه و وزن	اندازه بزرگ و وزن زیاد	اندازه کوچک و وزن کم	اندازه کوچک و وزن کم
هزینه	هزینه زیاد	هزینه کم	هزینه کم
تلفات	اکثرا (به جز سلفی) در شرایط عادی تلفات ندارند.	دارای تلفات در شرایط عادی	دارای تلفات در شرایط عادی
تداخل با خطوط مخابراتی نزدیک	تداخل دارند.	تداخلی گزارش نشده است.	تداخلی گزارش نشده است.
سیستم کنترلی و تشخیص خطا	اغلب بدون نیاز به سیستم کنترلی و تشخیص خطای اضافی	اکثرا به سیستم کنترلی و مدار تشخیص خطای اضافی نیاز دارند.	بسته به نوع می‌تواند نداشته باشد. ولی معمولا دارند.
پیچیدگی ساختاری	اکثرا دارای ساختار پیچیده	اکثرا دارای ساختار ساده	اکثرا دارای ساختار ساده

عناصر نیمه هادی	معمولا نیاز ندارند.	نیاز دارند.	بستگی به نوع می‌تواند داشته باشد یا نه.
سیستم خنک کننده	اکثرا نیاز دارند.	نیاز ندارند.	نیاز ندارند.

درخت فناوری محدودساز جریان خطا

با توجه به تقسیم‌بندی‌هایی که در این قسمت راجع به انواع مختلف محدودسازهای جریان خطا بیان شد و هم‌چنین مشخصات فنی اجزای محدودساز که در بخش بعدی مطرح می‌شود، در شکل (۲۴) درخت فناوری مربوط به محدودساز جریان خطا نشان داده می‌شود.



شکل (۲۴): درخت فناوری محدودسازهای جریان خطا

مراجع

[1] Darmann, Francis Anthony (Chatswood, AU), 2013, Fault current limiter, United States, Zenergy Power Pty Ltd (Wollongong, AU), 8553384.

[2]S.Eckroad, superconducting fault current limiters, Technology Watch 2009, EPRI, December 2009.

[3]Bock, Joachim & Hobl, Achim & Krämer, Simon & Bludau, Markus & Schramm, Judith & Jänke, Christian & Rikel, Mark & Elschner, S. (2011). NEXANS' Superconducting Fault Current Limiters for medium voltage applications-status and prospects.

[4]Chen, Maken (Rupperswil, CH), Paul, Willi (Zurich, CH), Decroux, Michel (Chambesy, CH), Antognazza, Louis (Onex, CH), Fischer, Oystein (Coppet, CH), 2004, Superconducting fault current limiter United States , ABB Research Ltd. (Zurich, CH), 20040027738.

[5]Sugimoto, S., Kida, J., Arita, H., Fukui, C. and Yamagiwa, T., 1996. Principle and characteristics of a fault current limiter with series compensation. IEEE Transactions on Power delivery, 11(2), pp.842-847, 1996.

[6]Volkov, M. S., Y. P. Gusev, Y. V. Monakov, and G. C. Cho. "The Effect of Current Limiting Reactors to Shut off Short Circuits in Electrical High Voltage Networks." (2017).

[7]Migliavacca, Gianluigi, ed. Advanced technologies for future transmission grids. Springer Science & Business Media, 2012.

[8]Sung, B.C., Park, D.K., Park, J.W. and Ko, T.K., 2009. Study on a series resistive SFCL to improve power system transient stability: modeling, simulation, and experimental verification. IEEE transactions on industrial electronics, 56(7), pp.2412-2419, 2009.

[9]L. Kovalsky, Xing Yuan, K. Tekletsadik, A. Keri, J. Bock and F. Breuer, "Applications of superconducting fault current limiters in electric power transmission systems," in IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 15, no. 2, pp. 2130-2133, June 2005.

[10] Tsuda, M., Mitani, Y., Tsuji, K. and Kakihana, K., 2001. Application of resistor based superconducting fault current limiter to enhancement of power system transient stability. IEEE transactions on applied superconductivity, 11(1), pp.2122-2125, 2001.

[11] Darmann, Francis (29 Centennial Avenue, Chatswood, New South Wales 2067, AU), 2011, High voltage fault current limiter having immersed phase coils, Zenergy Power Pty Ltd (Suite 4, Building 72 The Woods Centre New Illawrra Road, Lucas Heights, New South Wales 2234, AU), EP2287861.

[12] Hekmati, Arsalan, Mehdi Hosseini, Mehdi Vakilian, and Mehdi Fardmanesh. "A novel method of flat YBCO rings development for shield-type superconducting fault current limiters fabrication." Physica C: Superconductivity 472, no. 1 (2012): 39-43.

[13] Yoshida, Shinji (Inuyama, JP), Motoyama, Shuichiro (Komaki, JP), Ohashi, Takashi (Kasugai, JP), Ishihara, Masamichi (Ama-gun, JP), 1996, Superconducting fault current limiter United States NGK Insulators, Ltd. (JP), 5546261.

[14] Technical Result, EPRI Corp., Superconducting Power Equipment, 2011.

[15] Guo, W., Xiao, L., Dai, S., Zhang, Z., Ma, T., Li, Y. and Xu, X., 2014. Multicell fault current limiter. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61(4), pp.2071-2080, 2014.

[16] Radmanesh, H., Heidary, A., Fathi, S.H. and Gharehpetian, G.B., 2018. Series Resonance Based Fault Current Limiter with Controlling The Point of Common Coupling Voltage. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, 14(4), pp.111-117, 2018.

[17] Nourmohamadi, H., Sabahi, M., Babaei, E. and Abapour, M., 2018. A New Structure of Fault Current Limiter Based on the System Impedance With Fast Eliminating Method and Simple Control Procedure. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 65(1), pp.261-269, 2018.

[18] Nourmohamadi, H., Nazari-Heris, M., Sabahi, M. and Abapour, M., 2018. A Novel Structure for Bridge-Type Fault Current Limiter: Capacitor-Based Nonsuperconducting FCL. IEEE Transactions on Power Electronics, 33(4), pp.3044-3051, 2018.

[19] Nourmohamadi, H., Nazari-Heris, M., Sabahi, M., Abapour, M. and Babaei, E., 2017, May. New structure of nonsuperconducting fault current limiter for wide ranges of currents based on PWM switching strategy. In Electrical Engineering (ICEE), 2017 Iranian Conference on (pp. 1154-1158). IEEE, 2017.

[20] Tseng, H.T., Jiang, W.Z. and Lai, J., A Modified Bridge Switch-Type Flux-Coupling Non-superconducting Fault Current Limiter for Suppression of Fault Transients. IEEE Transactions on Power Delivery, 2018.

[21] Hyun, Ok-bae (Yuseong-gu, KR), Kim, Hye-rim (Seo-gu, KR), Yim, Seong-woo (Yuseong-gu, KR), Sim, Jung-wook (Cheongju-si, KR), Park, Kwon-bae (Jung-gu, KR), Lee, Bang-wook (Cheongju-si, KR), 2009, Hybrid-type superconducting fault current limiter, United States Korea Electric Power Corporation (Seoul, KR),LS Industrial Systems CO. Ltd. (Seoul, KR), 20090052097.

[22] Eladawy, M. and Metwally, I.A., 2018. A Novel Five-Leg Design for Performance Improvement of Three-Phase Presaturated Core Fault-Current Limiter. IEEE Transactions on Magnetics, 2018.

[23] Causebrook, Andrew, David J. Atkinson, and Alan G. Jack. "Fault ride-through of large wind farms using series dynamic braking resistors (March 2007)." IEEE Transactions on power systems 22, no. 3 (2007): 966-975.

Xin, Ying (Beijing, CN), Gong, Weizhi (Beijing, CN), Niu, Xiaoye (Qinhuangdao, CN), Cao, Zhengjian (Beijing, CN), 2010, Core-saturated Superconductive Fault Current Limiter and InnopowerSuperconductor Cable Control method of the Fault Current Limiter United States, Co., Ltd. (Beijing, CN), 20100311596. STANDARDS. 2010

گواهی‌نامه تایید صلاحیت

گواهی‌نامه تایید صلاحیت آزمایشگاه همکار

آزمایشگاه رله و حفاظت

یکی از گواهی‌نامه‌هایی که جهت تایید صلاحیت آزمایشگاه‌های مرجع جهت اطمینان از صحت فرآیندها، تجهیزات، روش‌های آزمون و سایر موارد مورد نیاز برای انجام یک آزمون صورت می‌گیرد، گواهی‌نامه تایید صلاحیت آزمایشگاه همکار می‌باشد که توسط سازمان ملی استاندارد ایران به آزمایشگاه‌های مختلف داده می‌شود. یکی از آزماشگاه‌های مرجعی که در کشور وجود دارد آزمایشگاه مرجع رله و حفاظت می‌باشد که در سال ۱۳۸۱ در پژوهشگاه نیرو با حمایت شرکت توانیر مورد بهره برداری قرار گرفت.

با توجه به گواهی‌نامه صادر شده عملکرد آزمایشگاه رله و حفاظت جهت انجام آزمون‌های زیر تایید می‌گردد:

- رله‌های اندازه‌گیری و تجهیزات حفاظتی- بخش اول: الزامات مشترک
- مبدل‌های الکتریکی اندازه‌گیری برای تبدیل کمیت‌های الکتریکی *DC* , *AC* به سیگنال‌های آنالوگ و یا دیجیتال
- تراسفورماتورهای ابزار دقیق- قسمت دوم: الزامات تکمیلی برای ترانس‌های جریان به جز آزمون نشتی گاز برای *CT*های پر شده با گاز *IEC-61892-2*
- فیوزهای ولتاژ ضعیف- بخش اول: الزامات عمومی

آزمایشگاه رله و حفاظت دارای گواهینامه‌های معتبری مبنی بر تایید صلاحیت این آزمایشگاه می‌باشد که در زیر چند نمونه از آنها آورده شده است.

- کسب گواهی‌نامه تایید اعتبار IEC17025 از مرکز اعتباردهی DAP آلمان
- گواهی تأیید صلاحیت آزمایشگاه از موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به شماره T/۷۰۴

در حال تمدید گواهینامه سیستم مدیریت کیفیت بر اساس استاندارد ISO/IEC 17025:2005

صفحه: ۱ از ۱
شماره گواهینامه : T/۷۰۴
تاریخ تمدید : ۱۳۹۷/۱۰/۲۶
مرتبه تمدید: چهارمین

گواهینامه تایید صلاحیت آزمایشگاه همکار

به استناد روش اجرایی "تایید صلاحیت و نظارت بر عملکرد آزمایشگاههای آزمون و کالیبراسیون " به شماره مدرک ۱۱۱/۲۰۸/ر، **آزمایشگاه رله و حفاظت پژوهشگاه نیرو** به شناسه ملی ۱۴۰۰۱۹۱۴۶۴ برای انجام آزمونهای مشروحه زیر تایید می گردد.

عنوان محصول/آزمون	استاندارد (ضوابط سپرده تایید سازمان)
رله های اندازه گیری و تجهیزات حفاظتی – بخش اول: الزامات مشترک	IEC 60255-1, INSO 4221-1
مبدل های الکتریکی اندازه گیری برای تبدیل کمیت های الکتریکی AC و DC به سیگنال های آنالوگ یا دیجیتال	IEC 60688
ترانسفورماتورهای ابزار دقیق- قسمت دوم: الزامات تکمیلی برای ترانس های جریان – به جز آزمون نشتی گاز برای CTهای پرشده با گاز IEC-61869-2	IEC-61869-2
فیوزهای ولتاژ ضعیف – بخش اول: الزامات عمومی- فقط بندهای 8.3-8.1.5.1 -8.1.4 8.4.3.5-8.4.3.3.2-8.4.3.1.b-8.4.3.1.a	ISIRI 3109-1 IEC 60269-1

محمود رضا طاهری
مدیر کل

تذکر :
۱- مدت اعتبار این تاییدیه از تاریخ صدور دو سال می‌باشد.
۲- داشتن این تاییدیه رافع مسؤولیت های حقوقی و جزایی دارنده آن نمی باشد.
۳- رعایت تفاهمنامه همکاری با سازمان ملی استاندارد ایران الزامی است.
•در صورتی که آزمون در زمینه تعیین ماهیت باشد و استاندارد مشخصی برای آن وجود نداشته باشد از ضوابط فانونی مربوطه از جمله حوزه های تعریف شده استاندارد با فصول کتاب مقررات صادرات و واردات استفاده می شود.

آدرس : تهران شهرک قدس انتهای بلوار پونک باهنری -کد پستی: ۱۶۸۶۱۷۶۵۱
تلفن : ۸۸۰-۷۹۲۰-۴ دورنگار : ۸۸۵۹-۵۲۲

از جمله الزاماتی که جهت تایید صلاحیت آزمایشگاه باید صورت گیرد عبارتند از:

الزامات مدیریتی

- احراز هویت قانونی آزمایشگاه از طریق ارائه اساس‌نامه
- تهیه و ارائه نمودار سازمانی
- تعیین مسئولیت‌ها و اختیارات
- تعهد مدیریت آزمایشگاه در مورد برآورده کردن الزامات مرتبط با ضوابط و مقررات تعیین شده
- وجود تعهدنامه کارکنان در خصوص رازداری و بی‌طرفی
- مطابقت فعالیت‌ها مبتنی بر استاندارد ملی
- انجام، ثبت و نگهداری سوابق ممیزی‌های داخلی
- انجام، ثبت و نگهداری سوابق انجام بازنگری مدیریتی
- سوابق بررسی رضایت و بازخورد مشتری از سوی آزمایشگاه
- ثبت و نگهداری سوابق مربوط به شکایت از آزمایشگاه
- ثبت و نگهداری سوابق سوابق توافق با مشتری در موارد مرتبط با فرآیند آزمون

الزامات کارکنان

- تعیین شرایط احراز مشاغل
- تهیه و تکمیل لیست کارکنان
- عقد قرارداد کاری بین آزمایشگاه و کارکنان
- تسلط کارکنان بر استانداردهای مرتبط
- حضور مدیر فنی با شرایط احراز تعیین شده
- اطمینان از دسترسی به آخرین ویرایش استانداردها و دستورالعمل‌های کاری
- تایید مدارک تهیه شده به وسیله کارکنان مجاز
- تایید و امضای برگه‌های نتایج امضای صادره از آزمایشگاه
- نظارت بر ثبت سوابق
- رسیدگی و نگهداری سوابق
- اطمینان از برقرار بودن برنامه تعمیر و نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات
- نظارت بر صلاحیت عملکرد کارکنان آزمایشگاه
- مشخص کردن نیازهای آموزشی، برقراری آموزش کارکنان و ارزیابی اثربخشی آموزش‌ها

DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH

Signatory to the Multilateral Agreement of EA for Mutual Recognition and to the Mutual Recognition Arrangement of ILAC

represented in the

Deutscher AkkreditierungsRat

Accreditation

The DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH herewith confirms that the

Niroo Research Institute (NRI)

End of Dadman Blvd, Shahrak Ghods
14665-517 Tehran
I.R.IRAN

with the

Research Laboratories

is competent under the terms of DIN EN ISO/IEC 17025:2005 to carry out tests in the fields of

performance and safety testing of electrical components, devices and equipment; testing of electromagnetic compatibility; loading tests of overhead line structures; testing of High Voltage installations; short circuit tests; salt fog testing of electrical components; performance testing of paints and coating; analysis of industrial process water and waste water; physical and chemical testing of fuel and oil; metallography & mechanical tests of metallic materials; air and physical pollution measurement

in accordance with the test methods listed in the annex. The annex forms part of the certificate and comprises 16 pages.

The accreditation is valid from 2007-12-10 to 2011-07-05.

DAR registration number: **DAP-PL-3893.00**

Berlin, 2007-12-10

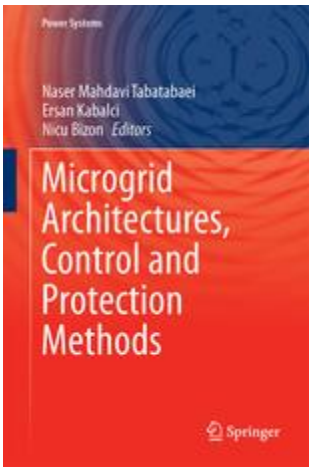
p.p. Valbuena

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. K. Ziegler
Managing Director
DAP Deutsches Akkreditierungssystem
Prüfwesen GmbH

See notes overleaf. 1st issue

- مشخص بودن دامنه فعالیت آزمایشگاه
  - مشخص بودن روش آزمون/کالیبراسیون بر حسب اخرین استانداردهای مربوطه
  - تعیین معیارهای پذیرش نمونه، نگهداری، کددهی و آماده‌سازی نمونه
  - برقراری جایگاه و شرایط محیطی مناسب بر اساس استانداردهای مربوطه
  - پایش، کنترل، نگهداری و ثبت شرایط محیطی محل آزمون
  - جداسازی موثر بخش‌های لازم در آزمایشگاه بر اساس الزامات استانداردهای مرتبط
- تجهیزات مواد
- اطمینان از کیفیت نتایج آزمون/ کالیبراسیون
- گزارش‌دهی نتایج

معرفی کتاب



Title: ***Microgrid Architectures, Control and Protection Methods***

Edited by : Mahdavi Tabatabaei, Naser, Kabalci, Ersan, Bizon, Nicu (Eds.)

Publisher: Springer

عنوان فارسی: روش‌های حفاظت، کنترل و معماری‌های میکروگرید

سال انتشار: ۲۰۲۰

ناشر: *Springer*

این کتاب توضیحات شهودی از اصول میکروگریدها، از جمله ساختار و بهره‌برداری آنها و کاربرد آنها را ارائه می‌دهد. همچنین در مورد جدیدترین تحقیقات در مورد فن آوری های کنترل و حفاظت میکروگریدها و الزامات و ضروریت‌های میکروگریدها و همچنین سیستم‌های مخابراتی پیشرفته بحث می‌کند.

این کتاب راه حل‌های مختلفی جهت بهره‌برداری میکروگریدها و مسائل برنامه‌ریزی را با استفاده از روش‌های مختلف از جمله موارد زیر ارائه می‌دهد.

- برنامه‌ریزی و مدل‌سازی
- میکروگریدهای هیبریدی AC وDC
- سیستم‌های ذخیره انرژی در میکروگرید
- برنامه‌ریزی بهینه بهره‌برداری از میکروگریدها