



روش مؤثر حفاظت تطبیقی شبکه توزیع در تولیدات پراکنده



روش مؤثر حفاظت تطبیقی شبکه توزیع در تولیدات پراکنده

مهندس مهران غریب - دکتر محسن دریانی

مؤلف: مهندس مهران غریب

ویراستار: دکتر محسن دریانی

ارشدین



9786220850137

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

روش مؤثر حفاظت تطبیقی شبکه توزیع در تولیدات پراکنده

تالیف:

مهندس مهران غریب

ویراستار:

دکتر محسن دریانی

سرمایه گذار مالی:

شرکت مهندسی ویرا صنعت افرازه

سرشناسه	: غریب، مهراں، ۱۳۶۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: روش مؤثر حفاظت تطبیقی شبکه توزیع در تولیدات پراکنده/ تالیف مهراں غریب؛ ویراستار محسن دریانی؛ سفارش دهنده شرکت مهندسی ویرا صنعت افزاز.
مشخصات نشر	: تهران: مؤسسه آموزشی تالیفی ارشدان، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	: ۱۰۵ص: جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۰۸-۵۰۱۳-۷
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۹۹ - ۱۰۵.
موضوع	: برق نیرو- توزیع- الگوهای ریاضی
Electric power distribution -- Mathematical models	: برق- تولید غیر متمرکز- اطمینان پذیری
Distributed generation of electric power-- Reliability	: برق -- سیستم‌ها - حفاظت
Electric power systems - Protection	: برق -- شبکه‌ها - حفاظت
Electric networks - Protection	: برق نیرو- توزیع- پیش‌بینی‌های ایمنی
Electric power distribution- Safety measures	: رله‌های محافظ
Protective relays	
شناسه افزوده	: دریانی، محسن، ۱۳۴۷-، ویراستار
شناسه افزوده	: شرکت مهندسی ویرا صنعت افزاز
رده بندی کنگره	: TK۲۰۰۱
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۰۲۷۱۹۳
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا



مؤسسه آموزشی تالیفی ارشدان

روش مؤثر حفاظت تطبیقی	■ نام کتاب:
شبکه توزیع در تولیدات پراکنده	
مهندس مهراں غریب	■ تألیف:
دکتر محسن دریانی	■ ویراستار:
شرکت مهندسی ویرا صنعت افزاز (ش.ت: ۳۹۷۷)	■ سرمایه گذار مالی:
آموزشی تالیفی ارشدان	■ ناشر:
اول	■ ویرایش:
اول ۱۴۰۱	■ نوبت چاپ:
www.irantypist.com	■ حروفچینی و صفحه آرایی:
www.irantypist.com	■ طراح و گرافیک:
۹۷۸-۶۲۲-۰۸-۵۰۱۳-۷	■ شابک:
۱۰۰۰	■ شمارگان:
www.arshadan.com	■ مرکز خرید آنلاین:
www.arshadan.net	
۰۲۱۴۷۶۲۵۵۰۰	■ مرکز پخش و توزیع:
۷۵۰۰۰ تومان	■ قیمت:

پیشگفتار ناشر:

به نام ایزد دانا که آغاز و انجام از آن اوست

هرگز دل من ز علم محروم نشد کم ماند ز اسرار که مفهوم نشد
اکنون که به چشم عقل در می نگرم معلوم شد که هیچ معلوم نشد

ای دانای بی همتا، ای بخشنده ای که ناخواسته عطا فرمایی و هر نیازمندی را به عدالت بی نیاز گردانی، مگر اینکه نالایق باشد و آن عنایت را به بازگونه از دست دهد. در عرصه پیشرفت تکنولوژی در هزاره سوم، هنوز نیاز بر مطالعه کتاب در کنار استفاده از منابع کامپیوتری و اینترنت احساس می شود. از این بابت خوشحالیم که می توانیم در جهت اعتلای علم، دانش و فرهنگ کشور قدمی هر چند کوچک برداریم.

و من الله التوفیق

دکتر شمس الدین یوسفیان

مدیر مسئول انتشارات ارشدان

فهرست مطالب

پیشگفتار	۱۱
فصل اول: مروری بر مباحث مقدماتی.....	۱۳
مقدمه	۱۳
پیکربندی سیستم قدرت	۱۴
المان‌های یک سیستم حفاظتی	۱۶
ادوات حفاظتی-کلیدزنی شبکه توزیع	۱۷
ریکلوزر	۱۷
فیوز	۲۳
رله‌ی ثانویه خطوط	۲۸
تولید پراکنده	۳۴
مفهوم تولید پراکنده	۳۴
کاربرد تولید پراکنده	۳۶
مزایای تولید پراکنده	۳۶
معایب تولید پراکنده	۳۸
دسته‌ی بندی تولید پراکنده	۴۰
دلایل گرایش به تولید پراکنده	۴۱
بررسی طرح کلی حفاظت	۴۵

فصل دوم: مروری بر مطالعات مرتبط با موضوع..... ۴۷

۴۷	.....مقدمه
۴۷	.....تکنیک‌های تکاملی
۴۸	.....الگوریتم ژنتیک
۵۰	.....الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی
۵۱	.....جستجوی تابو
۵۲	.....الگوریتم تکاملی
۵۳	.....تکنیک‌های هوش ذرات
۵۳	.....الگوریتم جستجوی کلونی مورچگان
۵۴	.....الگوریتم جفت‌گیری زنبور عسل
۵۴	.....الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی باکتری
۵۵	.....تکنیک‌های ابتکاری
۵۷	.....روش‌های ترکیبی
۵۹	.....روش‌های تحلیلی-احتمالی
۶۰	.....جمع‌بندی

فصل سوم: روش بررسی مسئله..... ۶۱

۶۱	.....مقدمه
۶۲	.....اصطلاحات فنی بهینه‌سازی
۶۴	.....بررسی مسئله
۶۴	.....طرح کلی
۶۶	.....اندازه‌گیری
۶۶	.....محاسبات Off-Line و ذخیره‌سازی اطلاعات

دریافت خطا و تعیین نوع خطا در خط	۶۷
تشخیص بخش خطا به صورت OnLine	۶۸
پاک‌سازی و ذخیره‌سازی ناحیه خطا	۶۸
بررسی شاخص‌های قابلیت اطمینان	۶۹
بررسی حضور تلفات توان در تابع هدف	۷۲
فرمول‌بندی تابع هدف	۷۴
قیود حاکم بر مسئله	۷۴
شرط همگرایی پخش بار	۷۵
محدوده ولتاژ و توان	۷۵
ظرفیت نصب شده	۷۶
هوش ذرات	۷۶
مفهوم PSO	۷۸
عناصر اصلی الگوریتم PSO	۷۹
اجرای الگوریتم PSO	۸۰
مزایای الگوریتم PSO به سایر الگوریتم‌های تکاملی	۸۴
حل مسئله با استفاده از الگوریتم PSO	۸۵

فصل چهارم: مطالعه‌ی موردی ۸۹

مقدمه	۸۹
شبکه ۶۹ شینه IEEE	۹۰
سناریو ۱: جایابی کمتر از پنج تجهیز	۹۱
سناریو ۲: جایابی پنج تجهیز	۹۲
سناریو ۳: جایابی شش تجهیز	۹۳

سناریو ۴: جایابی بیش از شش تجهیز ۹۴

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۷

نتیجه‌گیری ۹۷

پیشنهادات ۹۸

منابع و مراجع ۹۹

پیشگفتار

در این کتاب، مسئله طرح حفاظتی تطبیقی برای شبکه توزیع انجام شده است. برای این منظور چهار پارامتر قابلیت اطمینان در تابع هدف گنجانده می‌شود؛ که عبارت‌اند از: شاخص‌های قابلیت اطمینان هزینه انرژی توزیع نشده^۱ (AENS)، متوسط مدت زمان خاموشی سیستم^۲ (SAIDI)، متوسط تعداد دفعات قطعی سیستم^۳ (SAIFI) و شاخص تعداد متوسط قطعی لحظه‌ای^۴ (MAIFI). بهبود قابلیت اطمینان با دو هدف انجام خواهد شد: الف) تأمین خواسته‌های مشتری و فروشنده: منافع فروشنده (شرکت توزیع) و خریدار (مصرف‌کننده) دارای منافع متفاوت و گاه متضادی هستند. ب) پاسخ به خطاهای گذرا و ماندگار: غالب خطاهای شبکه‌ی توزیع از نوع گذراست و با توجه به اهمیت بار، تأثیر این خطاها در شبکه اهمیت ویژه‌ای دارد. پارامتر MAIFI با توجه به ماهیت و تعریف آن برای خطاهای گذرا و پارامترهای SAIDI، SAIFI و AENS برای پاسخ به خطاهای دائمی در تابع هدف گنجانده شده است. این مسئله‌ی غیرخطی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات^۵ (PSO) انجام شده است.

¹ Avrage of Energy Not-Supplied

² System Average Interruption Duration Index

³ System Average Interruption Frequency Index

⁴ Momentary Average Interruption Frequency Index

⁵ Particle Swarm Optimization

فصل اول

مروری بر مباحث مقدماتی

مقدمه

در شبکه قدرت، با وجود صدها المان پیچیده احتمال وقوع قطعی و اختلال همیشه وجود دارد. شکست عایق هادی‌ها ممکن است منجر به خسارت‌های زیادی به تجهیزات و ایجاد وقفه در تأمین توان به مصرف‌کننده شود. به منظور حل چنین مشکلاتی، تجهیزات سیستم قدرت بایستی به صورت کافی حفاظت شود. رله‌های حفاظتی در سیستم‌های قدرت برای حفاظت از ایجاد خسارت بزرگ و حفظ پایداری سیستم قدرت، طراحی و اعمال می‌شوند. یک تجهیز حفاظتی همراه با یک قطع‌کننده با عملکرد سریع و صحیح خود می‌تواند قابلیت اطمینان و ایمنی شبکه را بهبود بخشد. علاوه بر سرعت عملکرد، سه ویژگی مهم دیگر تجهیزات حفاظتی عبارت‌اند از قابلیت اطمینان، حسن‌انتخاب، سرعت و حساسیت.

• قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان مقیاسی از اطمینان از عملکرد صحیح سیستم حفاظتی زمانی که نیاز به عملکرد آن است که دارای دو جنبه است.

- قابلیت اعتماد و اطمینان: سیستم حفاظتی بایستی در حضور یک خطایی که در داخل ناحیه حفاظتی قرار دارد عمل کند.
- ایمنی: این سیستم باید توانائی حفظ عملکرد صحیح سیستم به ازای وقوع خطای خارج از ناحیه حفاظتی و یا در صورت عدم وقوع خطا داشته باشد.

• حساسیت

حساسیت توانائی سیستم حفاظتی برای تشخیص شرایط غیرعادی است که منجر به افزایش مقادیر آستانه شبکه شده و جداسازی خطا را آغاز می‌کند.

• حسن انتخاب

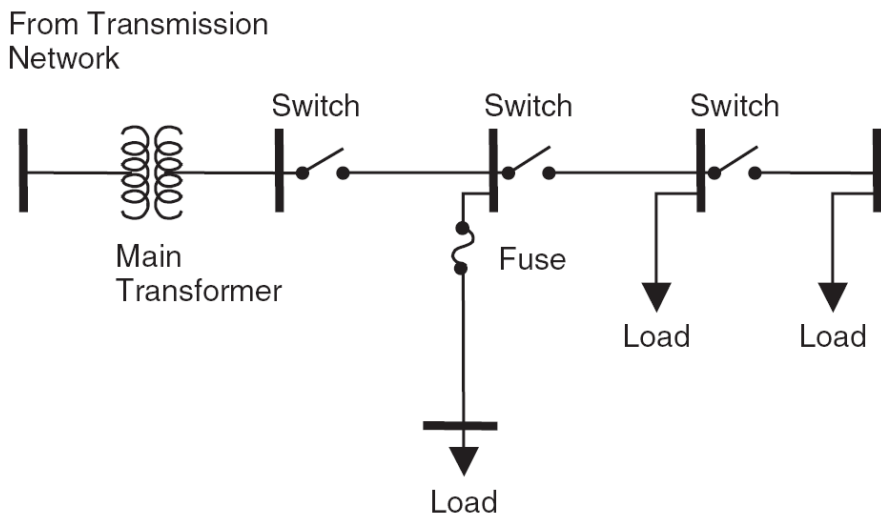
حسن انتخاب به معنای طراحی کلی تجهیزات حفاظتی به گونه‌ای که نزدیک‌ترین تجهیز حفاظتی به محل خطا وارد عمل شده و سایر تجهیزات در صورت عدم عملکرد صحیح این تجهیز وارد مدار شوند.

• سرعت

سرعت هدف غائی طراحی حفاظتی شبکه برای حذف خطا سیستم تا حد ممکن سریع، است؛ بنابراین، این ویژگی حفاظتی، پایداری سیستم قدرت و مقدار ارسال توان در طول مدت شرایط‌گذاری وقوع خطا بهبود می‌بخشد.

پیکربندی سیستم قدرت

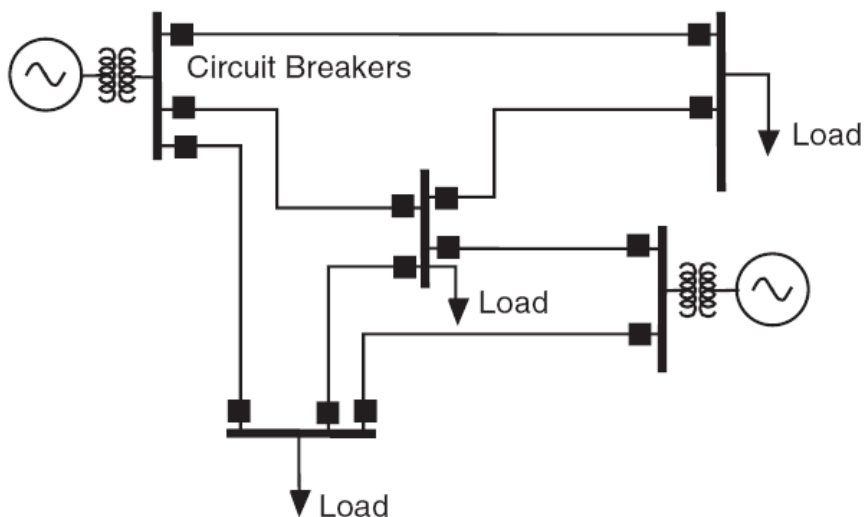
چگونگی ارتباط و اتصال بهم دستگاه‌های قدرت و طراحی کلی شبکه قدرت، روی سیستم حفاظتی تأثیر می‌گذارد. از این رو، بایستی مرور به جایگزین‌ها و دلایل انتخاب یک پیکربندی خاص برای یک شبکه نمونه انجام گیرد. یک سیستم شعاعی، شبکه‌ی تک‌منبعی با چندین بار است و به صورت کلی غالب شبکه توزیع دارای چنین ساختاری است، به عبارت دیگر، سیستم مورد استفاده در ولتاژهای زیر ۱۰۰ کیلوولت است. ساختار شبکه شعاعی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل (۱-۱): ساختار شبکه شعاعی [۱]

ساخت و اجرای چنین سیستمی غالباً اقتصادی بوده اما از نقطه نظر قابلیت اطمینان، از دست رفتن تنها منبع شبکه منجر به از دست رفتن تأمین توان مورد نیاز کل مصرف کنندگان می‌گردد. با باز شدن خط اصلی توسط ریکلوزرها یا سایر ادوات جداکننده برای بارهای پایین دست محل خطا بی‌برق می‌شوند. از نقطه نظر حفاظت، سیستم شعاعی دارای پیچیدگی کمتری است. جریان خطا می‌تواند تنها در یک سمت عبور کند، یعنی دور از منبع و به سمت خطا. از آنجائی که سیستم‌های شعاعی به صورت الکتریکی دور از ژنراتورها هستند، جریان خطا با تغییر ظرفیت تولید به صورت چشم‌گیر تغییر نمی‌کند.

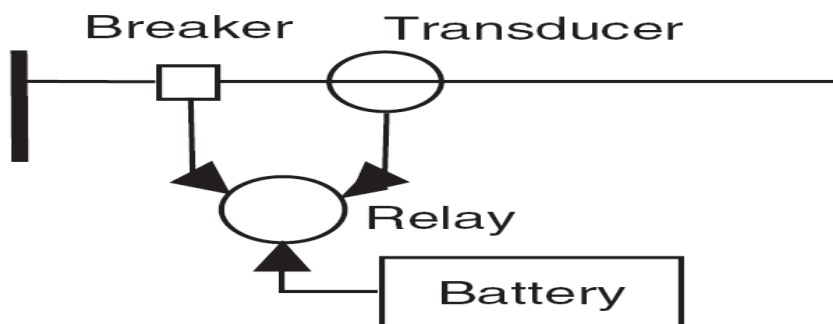
شبکه‌های دیگری نیز وجود دارند که دارای چندین منبع و چندین حلقه بین منابع و بارهاست که به آنها شبکه‌ی حلقوی اطلاق می‌شود (شکل (۲-۱) را مشاهده کنید). در این شبکه، تعدادی خطوط و اتصالات داخلی وجود دارد که امکان انعطاف‌پذیری در حفظ ارائه خدمات به مصرف کنندگان را فراهم آورده و تأثیر از دست رفتن یک ژنراتور یا یک خط انتقال روی قابلیت اطمینان را کمینه می‌کند [۱].



شکل (۱-۲): ساختار شبکه حلقوی [۱]

المان‌های یک سیستم حفاظتی

هر چند در هنگام استفاده عمومی، یک سیستم حفاظتی ممکن است تنها به معنای رله‌های بکار رفته باشد؛ اما در حقیقت سیستم حفاظتی واقعی شامل چندین تجهیز دیگر است که به آشکارسازی و حذف خطا کمک می‌کند. همانطور که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است، ادوات حفاظتی زیادی در شبکه وجود دارند مانند مبدل‌ها^۱، رله‌ها، باتری‌ها و قطع‌کننده‌ها.



شکل (۱-۳): المان‌های یک سیستم حفاظتی [۲]

^۱Transducers

• مبدل‌ها

مبدل‌ها یا همان ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ، مولفه‌ی اصلی سیستم حفاظتی را ایجاد می‌کند. رله‌ها المان‌های منطقی‌اند که امکان عملکرد قطع و بستن را انجام می‌دهند.

• باتری و منبع DC

از آنجائی که حذف خطا عملکرد اولیه یک سیستم حفاظتی به شمار می‌رود، در صورتی که ولتاژ AC موجود در پست ممکن است دچار قطعی شود، توانائی قطع یک مدارشکن از طریق رله نباید در طول مدت دچار اختلال و وقفه شود. به عنوان نمونه، یک خطای سه‌فاز منجر به ولتاژ صفر در خروجی پست می‌شود. توان قطع، همچنین توان مورد نیاز رله‌ها را نباید تنها از سیستم AC تأمین کرد بلکه بایستی باتری را نیز در نظر گرفت.

• مدارشکن‌ها

مدارشکن نوعی کلید خودکار است که برای محافظت از یک مدار الکتریکی در مقابل خطرات ناشی از اضافه بار یا اتصال کوتاه طراحی شده است. برعکس فیوز که یک بار عمل کرده و پس از آن باید تعویض شود، مدارشکن می‌تواند مجدداً (به طور خودکار یا دستی) وارد مدار شود. مدارشکن‌ها در اندازه‌های مختلفی ساخته می‌شوند و می‌توانند از یک کلید کوچک مورد استفاده در یک منزل تا یک کلید بزرگ که برای محافظت مدارهای ولتاژ بالا و تغذیه یک شهر به کار می‌رود متفاوت باشند [۲].

ادوات حفاظتی - کلیدزنی شبکه توزیع

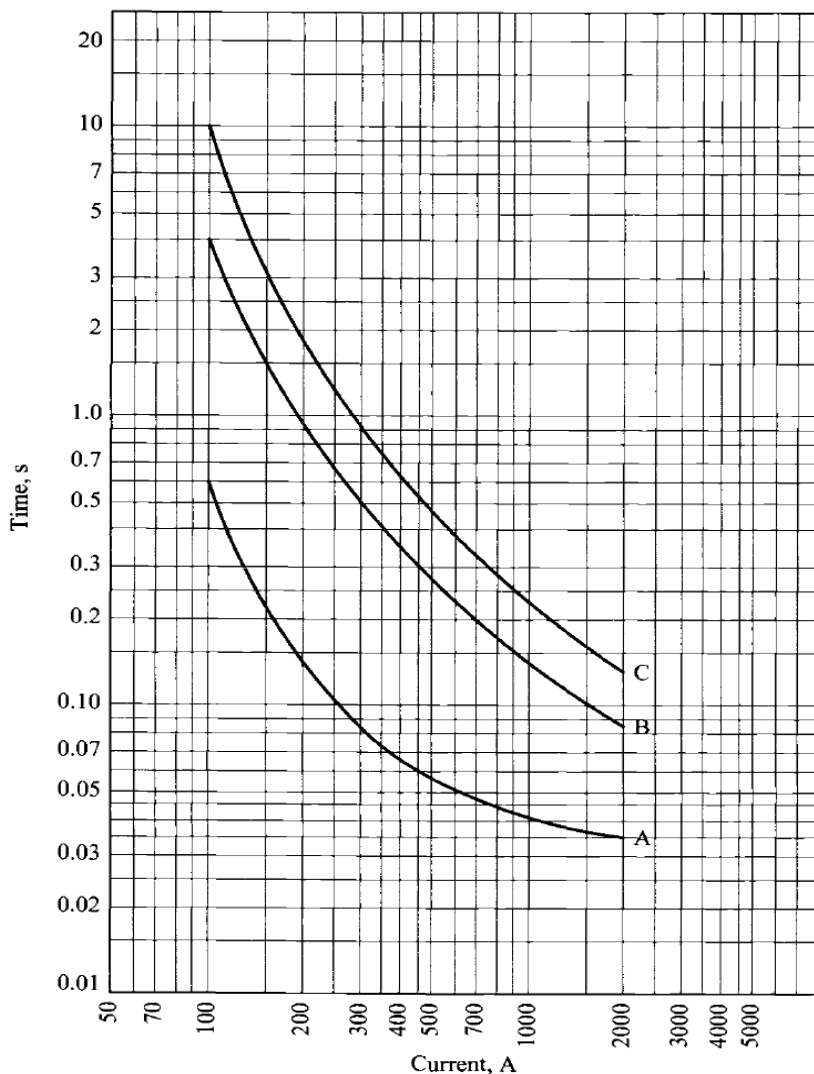
سطوح جریان بسیار بالای در سیستم‌های قدرت الکتریکی معمولاً موجب خطاهای شدید جریانی می‌شود. این جریان‌ها را می‌توان برای تعیین وجود خطاها و عملکرد ادوات حفاظتی بکار گرفت. رایج‌ترین نوع حفاظت‌ها در شبکه توزیع عبارت‌اند از: سکسیونرها، ریکلوزرها، فیوزها و رله‌های جریان.

ریکلوزر

ریکلوزر وسیله‌ای است با توانائی آشکارسازی شرایط اضافه جریان فاز به فاز و فاز به زمین، برای قطع مدار در صورتی که اضافه جریان بعد از مدت زمان از قبل تعیین شده در مدار باقی

مانده باشد، سپس به صورت اتوماتیک خط را مجدداً وصل می‌کند. اگر خطایی که رخ داده هنوز در مدار باقی مانده باشد؛ ریکلوزر، بعد از چند عملیات از پیش تعیین شده، سعی در باز کردن خط خواهد کرد. در یک سیستم توزیع هوایی بین ۸۰ تا ۹۵ درصد از خطاها ذاتاً موقت بوده و بعد از چند سیکل یا ثانیه از بین می‌رود؛ بنابراین، ریکلوزر با مشخصه‌ی باز و بسته کردن، مدار توزیع را از خارج شدن در صورت وقوع خطاهای موقت حفظ می‌کند. نوعاً، ریکلوزر برای داشتن سه عملیات باز و بسته کردن بعد از وقوع خطا طراحی می‌شوند و بعد از این سه عملیات، یک عملیات باز شدن نهایی برای قفل کردن این توالی انجام می‌شود.

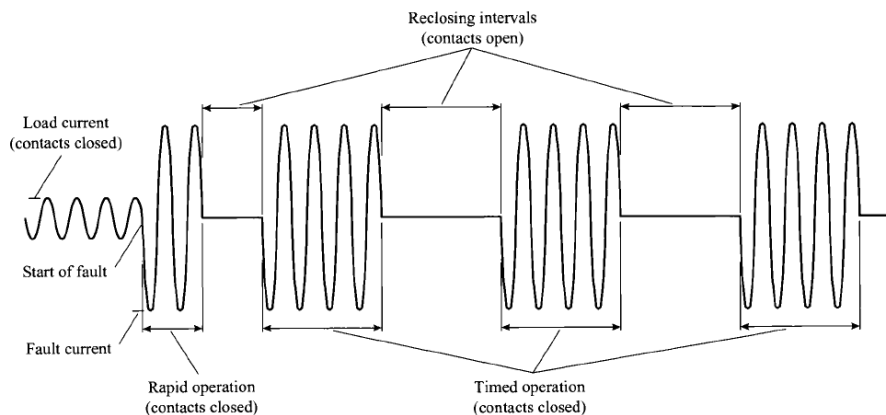
به صورت نرمال، منحنی‌های مشخصه زمان-جریان بهره‌برداری ریکلوزرها، از ادغام سه منحنی A، B و C را که به ترتیب برای یک حالت سریع و دو حالت تاخیردار طراحی شده، بدست می‌آید. شکل (۱-۴) تنظیم خاص منحنی زمان-جریان برای ریکلوزرها را نشان می‌دهد. هرچند، ریکلوزرهای جدید با کنترل‌های مبتنی بر میکروپروسسور ممکن است دارای صفحه-کلید باشند.



شکل (۱-۴): منحنی‌های زمان-جریان برای ریکلوزرها [۳]

منحنی‌های زمان-جریان یک مهندس را به تولید هر منحنی مناسب با شرایط موردنیاز برای خطاهای فاز و زمین قادر می‌سازد. این امر امکان برنامه‌ریزی مشخصات برای تنظیم مناسب مصرف‌کنندگان خاص بدون نیاز به تغییر مؤلفه‌ها را فراهم می‌سازد. هماهنگی با سایر ادوات حفاظتی برای تضمین این حقیقت که خطای رخ داده در کوچک‌ترین بخش مدار با کمترین قطعی ممکن جداسازی می‌شود، صورت می‌گیرد. به‌طور کلی، مشخصه زمان و ترتیب عملکرد

ریکلوزر برای هماهنگی با مکانیزم‌های بالادستی به سمت منبع انتخاب می‌گردد. بعد از انتخاب اندازه و ترتیب عملکرد ریکلوزر، ادوات پائین دست به منظور حصول هماهنگی جریانی تنظیم می‌شوند. ترتیب خاصی از عملکرد ریکلوزر برای یک خطای دائمی در شکل (۱-۶) نشان داده شده است.



شکل (۱-۵): ترتیب خاص برای عملکرد ریکلوزر [۳]

ضربه‌ی اول در حالت لحظه‌ای برای رفع خطاهای موقت قبل از اینکه آنها موجب خسارت برای خط شود، انجام می‌شود. سه ضربه بعدی در یک حالت زمان‌بندی شده با تنظیم زمانی از قبل تعیین شده، عمل می‌کنند. اگر خطا دائمی باشد، عملیات تأخیر زمانی اجازه عملکرد به سایر ادوات حفاظتی نزدیک‌تر برای محدودسازی مقدار قطعی شبکه را می‌دهد. خطاهای زمین، شدت کمتری از خطاهای فاز دارند و بنابراین، داشتن حساسیت ریکلوزر به آشکارسازی این خطاها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یک روش استفاده از ترانسفورماتور جریان^۱ CT به گونه‌ای که جریان باقیمانده تحت شرایط نرمال تقریباً صفر باشد. ریکلوزر بایستی هنگامی عمل کند که جریان باقیمانده از مقدار تنظیمی بیشتر شود.

^۱ Current Transformer

ریکلوزرها را می توان از سه نظر دسته بندی کرد:

• از لحاظ تعداد فاز

○ ریکلوزر تکفاز

ریکلوزرهای تکفاز هنگامی که بارها عمده‌تاً تکفازند، بکار می رود. در هر حالت، هنگامی که خطای تکفاز رخ می دهد، این ریکلوزر بایستی به صورت دائمی فاز خطادار را به گونه ای جدا کنند که تغذیه روی سایر فازها حفظ شود.

○ ریکلوزر سه فاز

ریکلوزرهای سه فاز هنگامی که جداسازی تمامی فازها به منظور جلوگیری از بارگذاری نامتعادل روی سیستم، مورد استفاده قرار می گیرد.

• مکانیزم عملکرد

○ هیدرولیک

ریکلوزر با مکانیزم عملکرد هیدرولیکی دارای یک سیم پیچ جداکننده سری با خط است. هنگامی که جریان از مقدار تنظیمی تجاوز می کند، سیم پیچ پیستونی که کنتاکت های اصلی ریکلوزر را باز می کند را جذب کرده و مدار را قطع می کند. مشخصه زمان و ترتیب عملکرد این ریکلوزرها به پخش روغن در محفظه های مختلف بستگی دارد.

○ الکترونیک

نوع الکترونیکی مکانیزم کنترل معمولاً در خارج از ریکلوزر قرار گرفته و سیگنال های جریان از CT دریافت می کند. هنگامی که جریان از مقدار از قبل تنظیم شده تجاوز می کند، یک ضربه تأخیری آغاز می شود که سرانجام منجر به ارسال سیگنال قطع به مکانیزم کنترل ریکلوزر می گردد. مدار کنترل، ترتیب باز شدن و بسته شدن تعیین می کند به تنظیمات ریکلوزر بستگی دارد. ریکلوزر با مکانیزم عملکرد الکترونیکی یک روغن یا مکانیزم موتور را برای بستن کنتاکت های بکار می گیرد.

• مکانیزم خاموش کردن جرقه

- روغنی
- خلأ
- SF6

ریکلوزرها در شبکه‌های قدرت در نقاط زیر بکار می‌رود:

• پست‌ها

به‌منظور ایجاد حفاظت اولیه برای مدار

• مدارات فیدر اصلی

به‌منظور ایجاد امکان بخش‌بندی خطوط بلند و سپس جلوگیری از تلفات یک مدار کامل ناشی از یک خطا به سمت انتهای مدار.

• شاخه‌ها

به‌منظور محافظت از بروز قطعی مدار اصلی ناشی از خطاها روی اسپرز^۱

در نظر گرفتن ملاحظات زیر در هنگام نصب ریکلوزرها ضروری است:

۱. ولتاژ سیستم
۲. سطح اتصال کوتاه
۳. بیشترین جریان بار
۴. بیشترین جریان اتصال کوتاه داخل ناحیه برای حفاظت توسط ریکلوزر
۵. هماهنگی با سایر مکانیزم‌ها قرار گرفته در بالادست به سمت منبع و پائین‌دست به سمت بار.
۶. حساسیت عملکرد نسبت به خطاهای زمین

نرخ ولتاژ و ظرفیت اتصال کوتاه ریکلوزر بایستی برابر یا بزرگتر از مقادیر موجود در نقطه اتصال باشد. همان معیار بایستی به توانائی جریان ریکلوزر نسبت به بیشترین جریان بار انتقال داده

¹ spurs

شده توسط مدار اعمال گردد. تضمین اینکه جریان خطا در انتهای خط حفاظت شده به اندازه‌ای بزرگ است که موجب عملکرد ریکلوز گردد، ضروری است.

فیوز

فیوز رایج‌ترین وسیله‌ی حفاظتی که به صورت گسترده در مدارات الکتریکی در سطح توزیع ولتاژ متوسط و بالا تا سطح ۱۱ کیلوولت، جائیکه شبکه‌ها کلیدها و کنتاکتورها با ظرفیت اتصال کوتاه محدود شده وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال ۱۸۸۱ میلادی، ادیسون «سیم ایمنی هدایتی^۱» خود را ارائه کرد که رسماً به‌عنوان اولین فیوز شناخته شد. هرچند، هنوز گفته می‌شود سوان^۲ به صورت واقعی این وسیله را در اواخر سال ۱۸۸۰ میلادی در مدارات روشنایی مورد استفاده قرار داد. بکارگیری از این فیوز برای مدت‌ها برای حفاظت سیم و شبکه در مقابل اتصال کوتاه مناسب نبود اما برای حفاظت چراغ‌هایی که هزینه‌اش ۲۵ شیلینگ بود، بکار می‌رفت.

بعداً با رشد سیستم‌های توزیع الکتریکی، مهندسان دریافتند که بعد از وقوع اتصال کوتاه، هادی‌های خاصی قطع می‌شوند. با اختراع نوع فیوزهای قابل سیم‌کشی مجدد^۳، استفاده از فیوز در شبکه‌ها به سرعت افزایش یافت. همانگونه که از نام این فیوز مشخص است، آن را می‌توان بعد از وقوع شکست، جایگزین یا مجدداً سیم‌کشی کرد. سیم بکار رفته دارای محفظه جذب به‌منظور ممانعت پاشش فلز فرار موجود در فیوز است [۳].

مزایای فیوز

- اطمینان بخشی
- اطمینان بخشی عامل اصلی در طراحی و یا به روزرسانی سیستم‌های الکتریکی می‌باشد. جهت نیل به این مطلوب فیوزها همچنان بهترین هستند، چرا که:
- المان فازی فیوز داخل بدنه سرامیکی در برابر خطاهای جریان مستقیماً و بدون هیچ مکانیزم مقدماتی واکنش نشان داده و ذوب می‌شود.

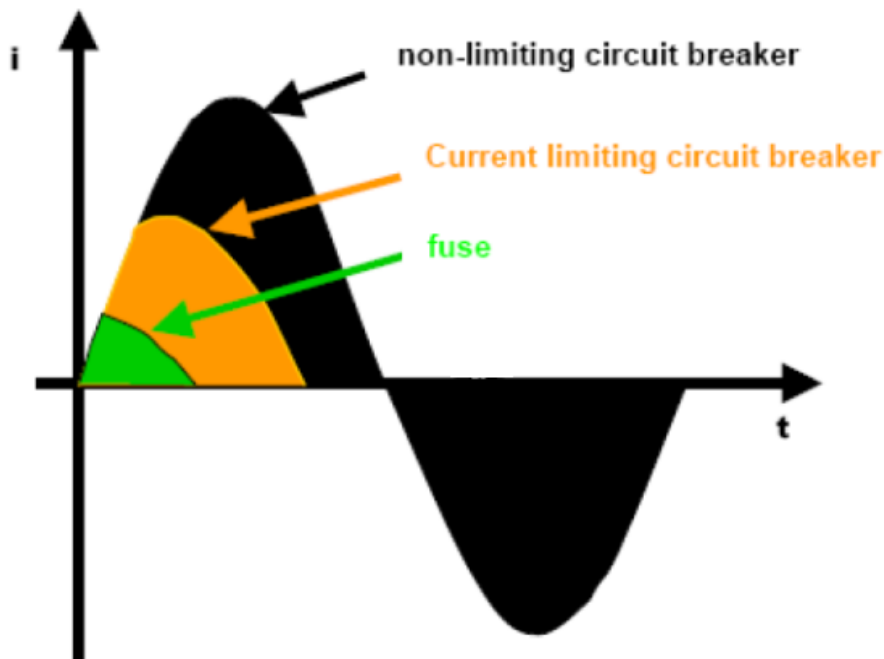
¹ lead safety wire

² Swan

³ Rewireable type

- آرک بوجود آمده در محیطی کاملاً پوشیده انجام می‌شود و با وجود قطع اتصال کوتاه در جریان‌های بالا فاقد هرگونه اثر خارجی نظیر شعله، دود و... می‌باشد.
- آزمایشات مختلف انجام شده توسط سازندگان بزرگ فیدر منتج به این نتیجه شده است که انرژی آرک ایجاد شده توسط خطای جریان با نصب فیوز محدودکننده پیک جریان به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاشته شده است.
- سرعت عمل

در حالتی که یک جریان اتصال کوتاه بالا وجود دارد، هیچ وسیله‌ی حفاظتی نمی‌تواند سریع‌تر از فیوز واکنش نشان دهد و نهایتاً فیوز جریان را به مقادیر کمتر محدود می‌کند. فیوز عمدتاً برای محافظت از مدارهای الکتریکی بدون صدمه به اجزای آن که در مسیر جریان خطا قرار می‌گیرند، مناسب‌اند. شکل (۷-۱) به وضوح مزیت سرعت فیوز نسبت به سایر وسایل محافظت را نشان می‌دهد.



شکل (۷-۱): سرعت عملکرد فیوز نسبت به سایر تجهیزات [۴]

- قدرت قطع

قدرت قطع بالاترین جریانی است که فیوز بدون آنکه صدمه‌ی فیزیکی ببیند می‌تواند، آن را قطع نماید. معمولاً به تناسب ساختمان فیوز و شرایط کار فیوزها با قدرت قطع ۱۰۰۰۰۰، ۲۰۰۰۰۰ و ۳۰۰۰۰۰۰ ارائه می‌شوند که این مقادیر به صورت کیلوآمپر نمایش داده می‌شود.

- تعمیرات قبل از اتصال کوتاه

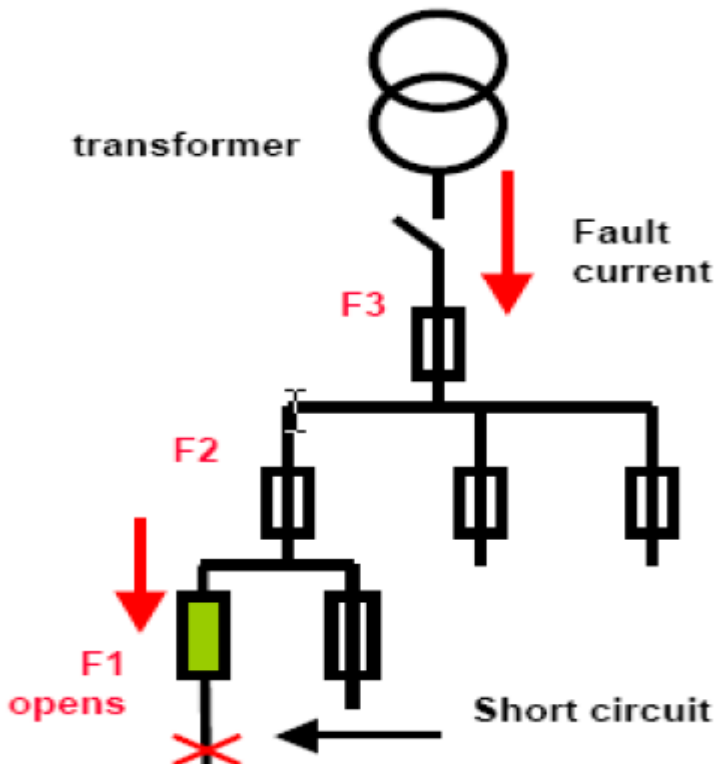
از آنجا که هیچ‌گونه تغییر در رفتار و ماهیت فیزیکی فیوز اتفاق نمی‌افتد، قبل از اتصال کوتاه هیچ‌گونه نیازی به تعمیرات و بازدید نمی‌باشد.

- تعمیرات بعد از اتصال کوتاه

بعد از وقفه‌ی بوجود آمده بوسیله‌ی خطای جریان تعویض فیوز سوخته با یک فیوز جدید ضروری است. اگر چه این امر در کوتاه مدت امکان‌پذیر است؛ اما این تضمین وجود دارد که همه‌ی تجهیزات کماکان محافظت می‌شود و می‌توانند با رویه‌ی گذشته به کار خود ادامه دهند.

- تمایز یا انتخاب

شکل (۱-۸) نشان می‌دهد که فیوز F1 ذوب می‌شود، در حالیکه بقیه‌ی فیوزها همچنان مانند گذشته به کار ادامه می‌دهند. با فیوزهای gG منطبق با IEC این تمایز به راحتی قابل دسترسی، در حالیکه جریان نامی فیوز F2 تنها ۱/۶ برابر فیوز F1، است. فقط فیوز F1 در برابر خطای جریان مرتبط واکنش نشان می‌دهد. قانون مشابهی بین فیوزهای F2 و F3 برقرار است.



شکل (۱-۷): نحوه تمایز فیوز [۴]

- آینده رو به توسعه

در بسیاری از طرح‌ها توان نهائی با گذشت زمان افزایش می‌یابد. متعاقباً جریان‌های اتصال کوتاه نیز افزایش می‌یابد. قدرت قطع تمام وسایل حفاظت‌کننده قبل از نصب باید بررسی گردد.

- فراگیری

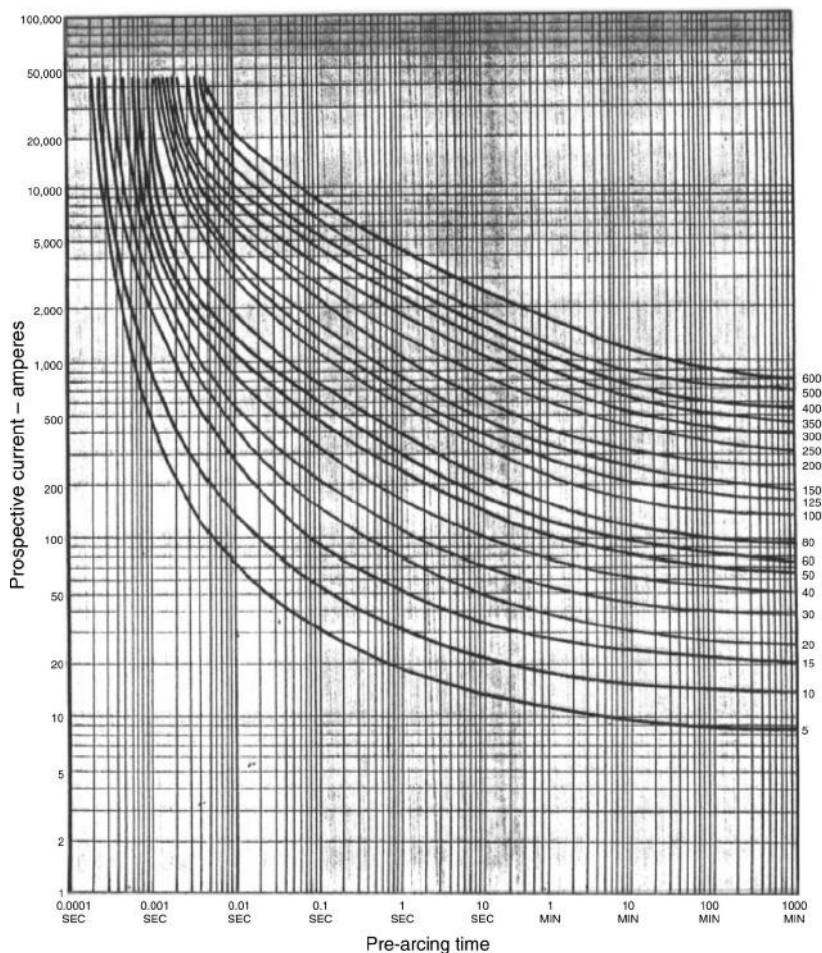
فیوزها جهت محافظت از کابل‌ها، ترانسفورماتورها، الکتروموتورها، خازن‌ها، کنتاکتورها و تجهیزات الکترونیکی صنعتی نظیر دیودها، تریاک‌ها، ترانزیستورها و رله‌های الکترونیک استفاده می‌شوند. همچنین فیوزها برای محافظت در شبکه‌های ولتاژ پائین و ولتاژ بالا طراحی شده‌اند که اینها خود نشان از فراگیر بودن کاربر انواع فیوز است.

- قیمت

با پیشرفت در صنعت برق و متعاقب آن لوازم حفاظت‌کننده، فیوزها همچنان اقتصادی‌ترین وسیله‌ی حفاظتی هستند و این موضوع کاملاً مشهود است که هزینه‌ی تعویض یک فیوز سوخته با یک فیوز جدید در مقابل هزینه‌ی تعمیرات و نگهداری اتلاف انرژی و صدمات ناشی از عدم استفاده از فیوزها بسیار ناچیز است [۴].

- مشخصه‌ی عملکرد فیوز:

تمامی فیوزها، صرف‌نظر از نوع آنها، دارای مشخصه‌ی معکوس مشابه با شکل (۱-۹) هستند. مشخصه‌ی معکوس بدین معناست که آنها قادر به تحمل جریان نامی تقریباً به صورت مستقل هستند اما زمان ذوب آنها با افزایش جریان، کاهش می‌یابد. در واقع زمان ذوب با افزایش جریان، کاهش می‌یابد. مشخصه‌ی حرارتی یا ظرفیت تحمل یک فیوز برحسب I^2t نشان داده می‌شود که در آن I جریان و t زمان تحمل است [۳].



شکل (۱-۸): مشخصه معکوس فیوز [۳]

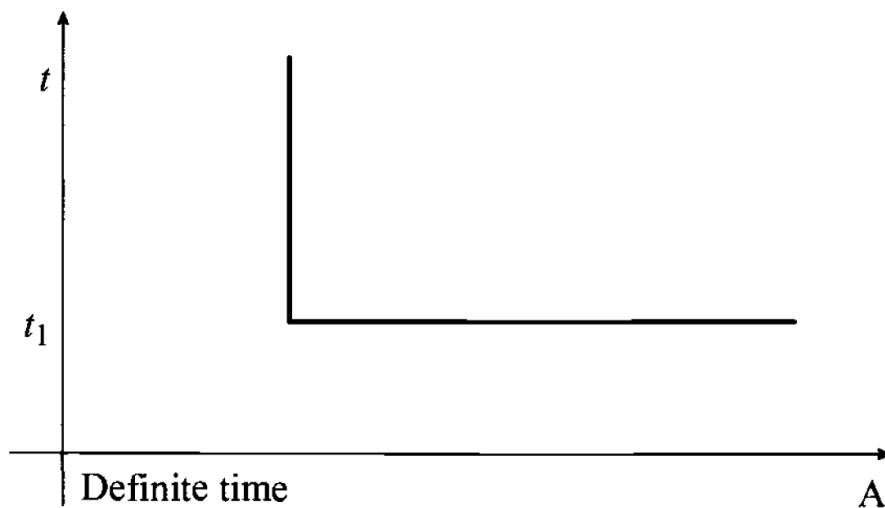
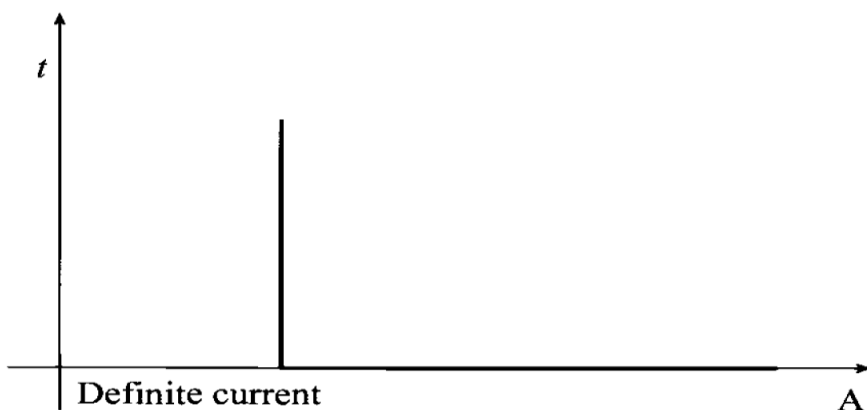
رله‌ی ثانویه خطوط

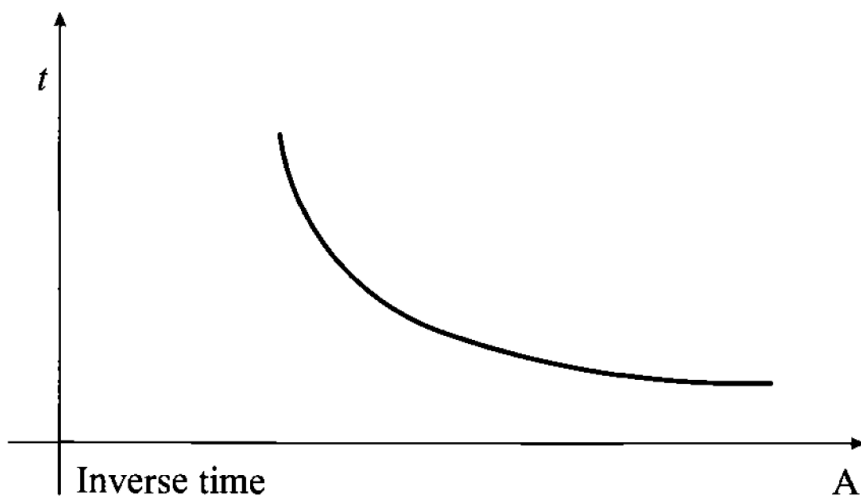
با توجه به اینکه در غالب خطاهای رخ داده در شبکه، جریان اولین کمیتی است که به شدت افزایش می‌یابد از این رو، رله‌های جریان یکی از رایج‌ترین تجهیزات مورد استفاده برای حفاظت شبکه قدرت است. به دلیل سطح بسیار بالای جریان خطا در شبکه این رله‌ها مستقیماً به شبکه وصل نشده بلکه از طریق یک ترانسفورماتور جریان از شبکه نمونه‌برداری می‌کند. کاربرد اصلی این رله در سیستم شعاعی است، جاییکه در آن برای حفاظت هم فاز و هم زمین مورد

استفاده قرار می‌گیرند. همچنین از آنها در سیستم‌های صنعتی روی خطوط انتقالی که امکان توجیه حفاظت گران‌قیمت‌تری مانند رله‌های دیستانس یا پایلوت وجود ندارد، بهره‌برداری می‌شود [۲].

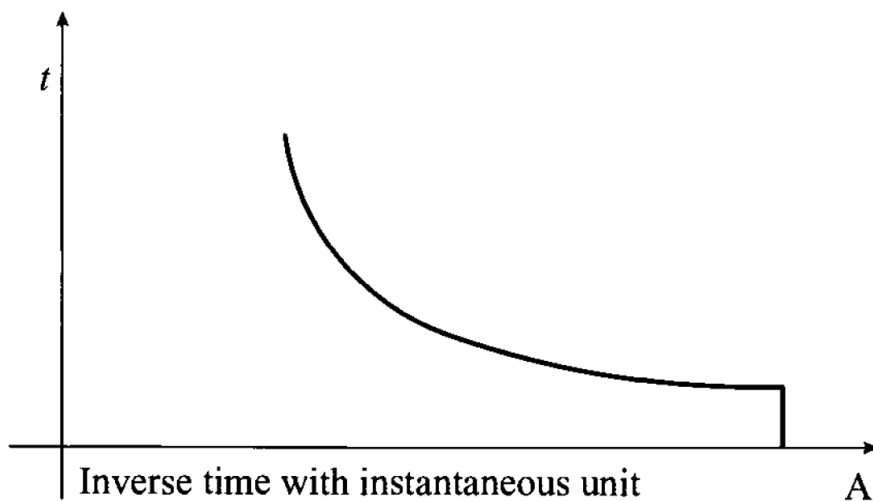
انواع رله‌های ثانویه خطوط

رله‌های ثانویه براساس مشخصه‌های عملکرد به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند: جریان ثابت یا لحظه‌ای، زمان ثابت و زمان معکوس. منحنی مشخصه‌ی این سه نوع در شکل (۱-۱۰) نمایش داده شده است.





ج) زمان معکوس



د) زمان معکوس با واحد لحظه‌ای

شکل (۱-۹): مشخصه‌ی عملکرد زمان-جریان رله‌های ثانویه [۲]

الف) رله‌های جریان ثابت

این نوع رله هنگامی که جریان به مقدار از قبل تعیین شده می‌رسد، به صورت لحظه‌ای عمل می‌کند. تنظیم آن به گونه‌ای انتخاب می‌شود که در دورترین پست از منبع، رله به ازای یک

جریان پائین عمل می‌کند و جریان‌های عملکرد رله، با حرکت به سمت منبع، به تدریج در هر پست افزایش می‌یابد؛ بنابراین، این رله با تنظیم کمتر ابتدا عمل کرده و بار را در نزدیک‌ترین نقطه به محل خطا قطع می‌کند. این نوع حفاظت دارای این ایراد امکان گزینش کمتر در مقادیر جریان خطای اتصال کوتاه بزرگ است. ایراد دیگر این رله این است که به سختی بین جریان خطا در یک نقطه یا نقطه دیگر، هنگامی که امپدانس مابین نقاط در مقایسه با امپدانس برگشتی از بار کوچک است، تمییز قائل می‌شود.

شکل (۱-۱۱-الف)، تأثیر امپدانس منبع روی سطح اتصال کوتاه و برای خطا در نقطه B در یک پست را نشان می‌دهد. از شکل (۱-۱۱-ب) می‌توان دریافت که جریان‌های خطای F1 و F2 اغلب یکسان‌اند و آن حصول تنظیم صحیح رله را مشکل می‌کند.

در این شکل:

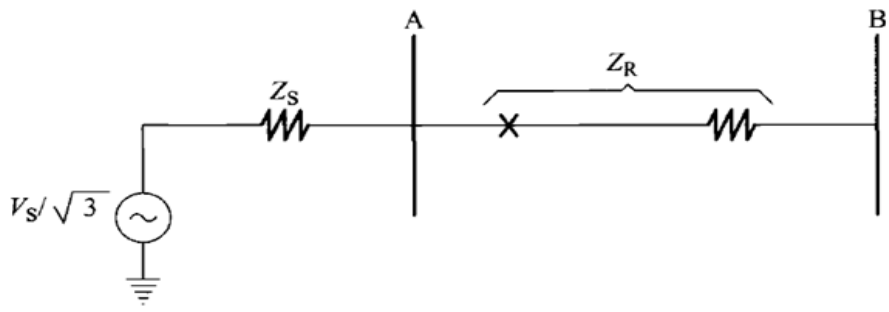
Z_R : امپدانس المان حفاظت شده

Z_c : امپدانس المان حفاظت شده

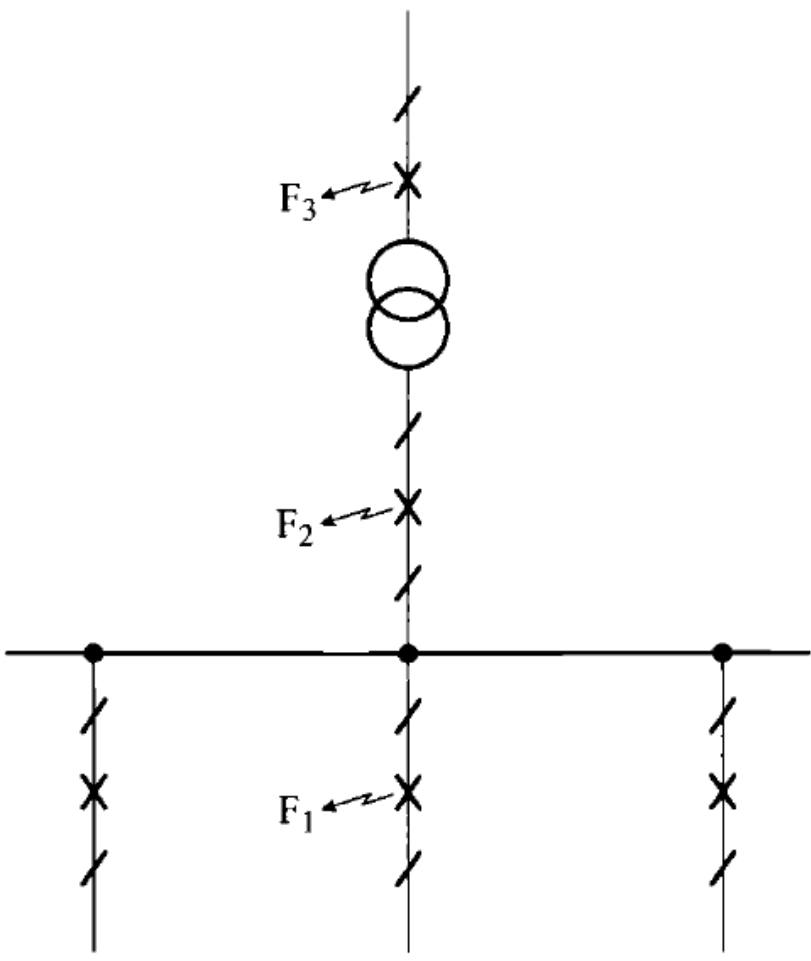
$$I_{sc(A)} = (V_s / \sqrt{3}) \times (1 / \sqrt{Z_S})$$

$$I_{sc(B)} = V_s / (\sqrt{3} (Z_S + Z_R))$$

هنگامی که امپدانس قابل ملاحظه‌ای مابین F1 و F2 وجود دارد، مثلاً وقتی که خطای F1 در پائین خط طویل قرار می‌گیرد، پس جریان خطا در F1 کمتر از F2 خواهد بود. به طور مشابه، به دلیل امپدانس ترانسفورماتور، اختلاف قابل ملاحظه‌ای مابین جریان به ازای خطاهای F2 و F3، حتی اگر دو نقطه از نظر فیزیکی نزدیک هم باشند، وجود خواهد داشت. اگر تنظیم حفاظت مبتنی بر شرایط حداکثر باشد، پس این تنظیمات ممکن است هنگامی که سطح خطا پائین‌تر است، برای مکان رله مناسب نباشد.



(الف)



(ب)

شکل (۱۰-۱) نمایش سطوح مختلف جریان خطا [۵]

ب) رله‌های زمان ثابت

این نوع رله قادر به تنظیم برای تغییر در مقابل سطوح مختلف جریان با استفاده از زمان‌های بهره‌برداری مختلف‌اند. این تنظیمات قادر به تنظیم به صورتی‌اند که نزدیک‌ترین قطع‌کننده به خطا در کمترین زمان عمل می‌کند و سپس مابقی قطع‌کننده‌ها به صورت پشتیبان با تأخیر زمانی عمل قطع را انجام می‌دهند. تفاوت مابین زمان‌های قطع به ازای جریان یکسان را حد تمیز^۱ می‌گویند.

از آنجائیکه زمان عملکرد به ازای رله‌های زمان ثابت قادر به تنظیم در گام‌های ثابت است، حفاظت بیشتر انتخابی است. عیب بزرگ این روش این است که خطاهای نزدیک به منبع که منجر به جریان‌های بزرگ می‌شوند، ممکن است در مدت زمان نسبتاً طولانی‌تری حذف شوند. این نوع رله دارای یک جریان یا تنظیم نمونه‌برداری که به عنوان تنظیم گام^۲ نیز معروف است، برای انتخاب مقدار در رله‌ای که راه‌اندازی خواهد شد بعلاوه تنظیم زمانی به‌منظور حصول زمان‌بندی صحیح عملکرد رله است. بایستی توجه داشت که تنظیم تأخیر زمانی مستقل از مقدار اضافه‌جریان موردنیاز برای عملکرد رله است.

ج) رله‌های زمان معکوس

ماهیت اصلی این رله‌ها، عملکرد آنها در مدت زمان معکوس با جریان خطاست، همانگونه که در شکل (۱-۱۰-ج) نشان داده شده است. مزیت اصلی رله‌های زمان ثابت در این است که جریان‌های خیلی بالا که نیاز به زمان قطعی خیلی کوتاه‌تری دارند بدون ایجاد خطر در ماهیت انتخاب‌گری صحیح حفاظتی، به سرعت از مدار حذف شوند. رله‌های زمان معکوس معمولاً مبتنی بر منحنی مشخصه‌ای که سرعت عملکرد آن تعیین می‌شود، دسته‌بندی می‌گردد. بر این اساس، این رله‌های به سه دسته‌ی معکوس، خیلی معکوس و شدیداً معکوس تقسیم‌بندی شده‌اند.

¹ Discrimination margin

² Tap setting

د) رله‌های زمان معکوس با واحد لحظه‌ای

با توجه به اینکه در شبکه، امکان عبور جریان‌های خطای بسیار شدیدی وجود دارد که در صورتی که رله‌ی جریانی بخواهد براساس منحنی مشخصه‌ی خود به آنها پاسخ دهد، آسیب شدیدی به تجهیزات وارد می‌شود. از این رو، رله‌ی جریان معکوس را به عنصر قطع سریع مجهز می‌کنند که در صورتی که جریان از مقدار تعریف شده‌ی تجاوز کرد، بدون توجه به منحنی مشخصه سریعاً عمل قطع را انجام دهد [۵].

تولید پراکنده

تعاریف و تفاسیر مختلفی از مفهوم تولید پراکنده وجود دارد. DG را می‌توان به صورت «تولید توان الکتریکی در شبکه‌های توزیع یا در طرف مصرف‌کننده شبکه» [۶] یا «استفاده از واحدهای تولید توان ابعاد کوچک برای تولید توان در نزدیکی مکان‌های بار» [۷]، تعریف کرد. تولید پراکنده (DG) را می‌توان به صورت توضیف کرد. این واحدها هم به صورت مستقیم به شبکه‌ی توزیع و هم به طرف مصرف‌کننده کنتور متصل می‌شوند [۶]. این کار، هزینه‌های توزیع را به صورت چشمگیری کاهش می‌دهد. DG همچنین قادر به تأمین انرژی الکتریکی ساختمان‌ها و شرکت‌ها و ارسال مازاد توان الکتریکی به شبکه است. به طور کلی، DG به واحدهایی اطلاق می‌شود که توان کمتر از ۱۰ مگاوات را تولید می‌کنند [۷].

مفهوم تولید پراکنده

اصطلاح تولید پراکنده، معمولاً بد تعریف و تشریح شده است. در بی‌پایه‌ترین تعریف، آن را تولید مقیاس کوچک (هنگام مقایسه با نیروگاه‌های قدرت بالا) معرفی کرده‌اند. هنوز اتفاق نظر در این مورد وجود نداشته و تعریف آن هنوز مبهم است. معمولاً معیارهای زیر برای دسته‌بندی DG مورد استفاده قرار می‌گیرد: اندازه، مکان، نوع و کاربرد [۶].

• اندازه [۸]

بیشترین اندازه‌ی واحد DG در محدوده‌ی ۵۰ تا ۱۰۰ مگاواتی است.

- موسسه‌ی تحقیقاتی گاز^۱ (GRI) تولید پراکنده را به صورت «تولید کوچک‌تر از ۲۵ مگاوات» تعریف کرده است، حال آنکه شورای بین‌المللی سیستم‌های برق بزرگ^۲ (CIGRE) این محدوده را بین ۵۰ تا ۱۰۰ مگاوات، با این نکته که DG معمولاً به شبکه‌ی توزیع متصل است، در نظر گرفته است.
- آژانس بین‌المللی انرژی^۳ (IEA) محدوده‌ی ظرفیتی لحاظ نکرده اما در عوض DG را «تجهیزات و سیستم تولید توان بکار رفته در سطح توزیع و جائیکه توان به صورت محلی استفاده می‌شود»، تعریف کرده است.
- CIGRE برخی خواص DG را مانند عدم بدون برنامه‌ریزی متمرکز، بدون پخش بار مرکزی^۴، کمتر از ۵۰ تا ۱۰۰ مگاوات و متصل به سیستم توزیع تعریف کرده است.
- بسیاری از نویسندگان DG را به صورت تولید در محدوده‌ی چند کیلووات تا چند ده مگاوات و متصل به سمت توزیع تعریف کرده‌اند.

• مکان

مکات تولید به عنوان معیار بکار می‌رود زیرا DG اغلب برای تولید در محلی بدون استفاده از سیستم انتقال نصب می‌شود.

• نوع تولید

نوع تولید یا منبع سوخت نیز گاهی اوقات برای تعریف DG مورد استفاده قرار می‌گیرد اما این تعریف زمانی انجام می‌شود که DG به معنای منابع تجدید پذیر/جایگزین مشخص شده باشد. در [۳-۴]، DG تولیدی که مستقیماً به شبکه‌ی توزیع صرف نظر از سطح ظرفیت تولید و محرک اولیه‌اش در نظر گرفته شده است. تعریف اخیر به دلیل لحاظ کردن نفوذ زیاد DG با استفاده از هر تکنولوژی موجود، مورد توجه قرار گرفته است.

¹ Gas Research Institute

² International Council on Large Electricity Systems

³ International Energy Agency

⁴ Not centrally dispatched

• کاربرد

نوع کاربرد DG به عنوان یکی از شاخصه‌های معرفی تولیدات پراکنده، به دلیل ارتباط مستقیم به بار برای مصرف مستقیم، مورد استفاده قرار می‌گیرد. DG دارای چندین مزیت هم برای شرکت و هم برای مصرف‌کننده است. برخی از این مزایا عبارت‌اند از تولید جانشین، ظرفیت تأمین انرژی در پیک بار و تولید بار پایه [۹].

کاربرد تولید پراکنده

DG ها دارای پتانسیل لازم برای افزایش رقابت در تولید است که این مشخصه منجر به خدمات بهتر و قیمت انرژی کمتر خواهد شد [۱۰].

واحدهای DG یکی از منابع محتمل برای نواحی روستایی محسوب می‌شود. از آنجائیکه توسعه شبکه‌ی سراسری به این نواحی مشکل است، از این رو توسعه شبکه‌ی سراسری غیراقتصادی بوده و یا اینکه چالش‌های جغرافیایی به دنبال دارد. در چنین مواردی، اتصال چندین واحد DG با هم امکان‌پذیر بوده و امکان ایجاد سیستم توزیع توان مستقل کوچک‌تر را فراهم می‌آورد.

با افزایش نیروگاه‌های تولید و توزیع در یک منطقه‌ی جغرافیایی بزرگ، فاصله‌ی انتقال کاهش یافته و به دنبال آن تلفات انرژی کمتر و فشار پائین‌تری به سیستم قدرت وارد می‌شود. تولید پراکنده قادر به افزایش ایمنی تأمین انرژی بین چندین منبع بار همراه با کاهش احتمال خاموشی حاصل از خطا یک منبع انرژی مجزا و منفرد است [۶]. مطالعات دیگر مبین دلایل مؤثر در هزینه عبارت‌اند از: کاهش خطوط انتقال ناشی از اتصال مستقیم DG به شبکه‌ی توزیع، هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا و مدت ساخت کوتاه نیروگاه‌های کوچک و عدم قطعیت رشد بار [۸،۱۱].

مزایای تولید پراکنده

برای شرکت‌های توزیع به‌عنوان متولی برق‌رسانی به مصرف‌کنندگان، می‌توان مزایای زیر را در نتیجه افزودن DG بیان کرد:

- DG ریسک سرمایه‌گذاری (بخصوص در کشورهای خارجی که صاحبان DG ها می‌توانند اشخاص حقیقی باشند) را بخاطر اندازه MW آن پایین می‌آورد.
- می‌توان با انتخاب دقیق ظرفیت مورد نیاز و با استفاده از DG از صرف هزینه‌های گزاف برای ارضای رشد بار خودداری کرد.
- با جایابی دقیق DG نزدیک مصرف کنندگان، می‌توان هزینه‌های سرمایه‌گذاری نسبتاً زیاد بر روی سیستم‌های انتقال و تولید را کاهش یا حداقل به تعویق انداخت.
- می‌توان از DG ها برای ورود کم‌هزینه به بازارهای برق استفاده کرد.
- می‌توان بازارهای برقی را در نواحی دور افتاده و بدون سیستم‌های توزیع و انتقال ایجاد کرد.

مزایای بالقوه‌ی تولید پراکنده عبارت‌اند از:

- کاهش نیاز زیربنایی جدید مانند خطوط پست‌های و انتقال
- این امر، می‌تواند منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌های ساخت و نگهداری در مقایسه با هزینه‌های متناظر نیروگاه‌های بزرگ گردد.
- ایجاد شغل‌های بیشتر در سراسر یک منطقه‌ی جغرافیائی با عدم تمرکز تولید الکتریکی

انواع مشاغل شامل موقعیت‌های حفظ و ایمنی که در کمیته‌های تولید انرژی الکتریکی در نظر گرفته شده است. این امر قادر به تولید ثروت محلی، افزایش مهارت فردی و تسهیل مفهوم جامعه مدنی با اعطای مسئولیت به افراد جامعه در تأمین امنیت انرژی.

- کاهش آلودگی هوا، هم از نظر تولید گازهای گلخانه‌ای در نیروگاه تولید و در حمل‌ونقل.
- تمرکززائی تولید انرژی الکتریکی

با حضور DG فواصل دور تجهیزات زیربنایی قدرت کاهش یافته و به دنبال آن، تلفات سیستم کمتر شده و در نهایت ایمنی شبکه ارتقاء می‌یابد.

- سیستم‌های DG کوچک دارای قابلیت توسعه‌ی سریع منطقه‌ای تا حد دیماندهای بالا به منظور ایجاد ارتباط مطمئن در شکاف تولید الکتریکی است.
- نصب واحدهای DG برای تکمیل مولفه‌ی یکدیگر

به عنوان نمونه، PV می‌تواند در ترکیب با توربین بادی برای تولید برق روز و شب نصب شود. یا یک سیستم PV را می‌توان با یک پشتیبان باتری به منظور نمونه‌برداری در شب و دشارژ در روز، نصب کرد.

معایب تولید پراکنده

شبکه‌های توزیع به صورت حلقوی طراحی شده و به لحاظ سادگی به صورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند و معمولاً هیچ ژنراتوری در سمت بار وجود ندارد. بنابراین وجود ژنراتور در شبکه توزیع روی توان بار، ولتاژ بار، تجهیزات شبکه تأثیر می‌گذارد و این موضوع می‌تواند روی پارامترهای عملکردی سیستم تأثیر منفی نیز داشته باشد. با ورود DG، مشخصات سیستم توزیع تغییر یافته است. تعدادی قیود فنی همچنین فاکتورهایی وجود دارند که با افزودن DG تحت تأثیر قرار می‌گیرند؛ که اهم آن‌ها موارد زیر هستند.

- مقادیر نامی تجهیزات

نبایستی از جریان نامی خطوط فراتر رفت. تحت شرایط ضریب قدرت و سطوح ولتاژ استاندارد جریان نامی مستقیماً در توان اکتیو خط منعکس می‌شود.

- سطح اتصال کوتاه (SCL)

متغیر SCL یک سیستم اشاره به جریانی دارد که در نتیجه وقوع خطا بر روی سیستم بوجود می‌آید. به جهت بالا رفتن قدرت سیستم، افزایش مقدار SCL مطلوب ماست. البته بایستی این مقدار فراتر از رنج نامی بریکرها و دیگر تجهیزات حفاظتی که عملکرد مطمئن شبکه را تأمین می‌کنند، نرود.

- خیز ولتاژ

اگر DG به بخشی از شبکه متصل شود، عبور توان‌های اکتیو و راکتیو تغییر خواهند کرد و در نتیجه آن، افت ولتاژ در طول خطوط تغییر خواهد یافت. در مطالعات مختلف ثابت شده است که DG منجر به افزایش ولتاژ در انتهای خطوط بلند با امپدانس زیاد می‌شود [۱۰، ۱۲].

- تلفات

در طراحی و برنامه‌ریزی سیستم‌های توزیع، تلفات به‌عنوان اصلی‌ترین موضوع در نظر گرفته می‌شود. می‌دانیم که تلفات در هر شبکه‌ای اجتناب‌ناپذیر است، با این حال تلفات بسته به نحوه طراحی شبکه می‌تواند متغیر باشد. با ورود DG به سیستم‌های توزیع، بهره‌برداری از این شبکه‌ها تغییر یافته و عبور توان از حالت تک جهتی به دوجتهی تغییر پیدا کرده است. سطح تلفات به توان عبوری از خطوط بستگی دارد، تخصیص DG و بدنبال آن تغییر توان‌های عبوری تأثیر بسزایی بر روی تلفات خواهند داشت.

- کیفیت توان

واحدهای DG می‌توانند تأثیر زیادی بر روی کیفیت توان در داخل سیستم توزیع بگذارند. در بحث کیفیت توان بخاطر اینکه مدت زمان وقفه ایجاد شده در سیستم خیلی کم است، به همین دلیل برای بررسی تأثیر واحدهای تولید پراکنده بر روی سیستم باید چنین فرض کرد که واحد تولید پراکنده به سیستم نصب شده و قسمتی از بارهای سیستم را تغذیه می‌کند. در حالتی که سیستم بدون واحدهای تولید پراکنده است هر نوع خطایی که در قسمت‌های مختلف سیستم اتفاق بیافتد در تمامی مشترکین، قطعی برق حاصل می‌شود، در این حالت تعداد مشترکینی که دچار افت ولتاژ شده‌اند صفر بوده و در نتیجه مقدار شاخص SARFI (شاخص متوسط دفعات تغییرات RMS سیستم^۱) برابر صفر خواهد بود؛ بنابراین با نصب واحد تولید پراکنده و بریکر مربوطه، از تعداد مشترکینی که دچار قطع برق شده‌اند کاسته شده و به تعداد مشترکینی که به جای قطع برق، در آنها افت ولتاژ حاصل شده افزوده می‌شود. در نتیجه موجب بهبود شاخص‌های کیفیت توان یعنی افزایش میزان SARFI و کاهش SAIDI و SAIFI می‌شود.

- حفاظت

در سیستم‌های توزیع شعاعی انرژی الکتریکی بصورت یک‌جهته از نقطه تغذیه به نقاط بار مصرف‌کنندگان و از طریق خطوط توزیع، کابل‌ها و باس‌بارهایی که بصورت سری قرار گرفته‌اند تحویل داده می‌شود. عملکرد موازی DG با کل سیستم قدرت مسائلی همچون هماهنگی و حفاظت را در پی دارد چراکه چندین منبع تغذیه وجود داشته و نتیجتاً عبور انرژی الکتریکی

¹ System Average RMS (Variation) Frequency Index

در شبکه در دو جهت خواهد بود. در این مورد، عملکرد تجهیزات حفاظتی اضافه جریان همچون فیوزها، بازبندها و رله‌هایی که برای شبکه‌های شعاعی هماهنگ شده‌اند تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این موضوع نگرانی اصلی ناشی از افزودن DG به سیستم توزیع است.

• هارمونیک‌ها

از آنجائیکه در اغلب تولیدات پراکنده یک مدار واسط الکترونیک قدرت برای اتصال به شبکه مورد نیاز است ممکن این تولیدات باعث افزایش هارمونیک در شبکه شوند. نحوه زمین کردن ژنراتور و استفاده از ترانسفورماتورهای افزایشده نقش مهمی در محدود کردن نفوذ هارمونیک‌ها در شبکه‌های توزیع ایفا می‌کند.

• پایداری

تولیدات پراکنده می‌توانند بر روی پایداری سیستم‌ها توزیع تأثیر بگذارد و در برخی از حالات منجر به ناپایداری و خاموشی قسمتی از شبکه شوند از آنجائیکه این تولیدات به سیستم توزیع متصل هستند. بیشترین تأثیر را روی این قسمت از شبکه خواهند داشت، به ویژه زمانی که تعداد این تولیدات افزایش یابد مسئله پایداری در سیستم توزیع حادث می‌شود. به عنوان مثال، ورود و خروج چند واحد از DG می‌تواند بر پایداری واحدهای دیگر و در نتیجه پایداری سیستم توزیع تأثیر بگذارد، چرا که این احتمال وجود دارد که ورود و خروج این واحدها منجر به خروج واحدهای دیگر شود.

دسته‌ی بندی تولید پراکنده

دو دسته‌بندی اصلی برای DG مطرح شده است [۱۰]:

• دسته‌بندی مبتنی بر ظرفیت

دامنه ظرفیت DG از ۱ کیلووات برای سلول‌های فوتوولتائیک، ۱ مگاوات برای ژنراتورهای احتراقی تا ۱۰۰۰ مگاوات مزرعه‌های بادی ساحل دریا تغییر می‌کند. همچنین بر اساس ظرفیت، می‌توان این تولیدات را در چهار سطح طبقه بندی کرد:

○ میکرو DG: با قدرت ۱ تا ۵ کیلووات

○ DG کوچک: ۵ کیلو تا ۵ مگاوات

- DG متوسط: ۵ مگا تا ۵۰ مگاوات
- DG بزرگ: ۵۰ مگا تا ۳۰۰ مگاوات
- تکنولوژی بکار رفته در واحد

اساساً سه نوع تکنولوژی در ساختار DG برای تولید توان بکار می‌رود:

- تجدیدپذیر: واحدهای DG مبتنی بر منابع انرژی تجدیدپذیر قادر به ذخیره‌ی مجدد بوده و دوستانار محیط‌زیست بشمار می‌آید.
- مدولار^۱: این نوع تولید پراکنده به واحدهایی اشاره دارد که قادر به ساخت و قرارگیری در یک دوره‌ی زمانی کوتاه مدت بوده و می‌تواند با هم (مانند واحدهای مجزا) برای بدست آوردن ظرفیت‌های بزرگ‌تر، کار کند.
- توان و حرارت مرکب^۲ (CHP): این واحدها انرژی الکتریکی را با استفاده احتراق در ابعاد کوچک تولید می‌کنند.

دلایل گرایش به تولید پراکنده

برخی عوامل درگیر در طراحی سیستم توزیع به منظور تعیین استراتژی‌های توسعه‌ی بهینه با در نظر گرفتن رشد بار و فراهم آوری خدمات با قابلیت اطمینان بالا و صرفه اقتصادی برای مصرف‌کنندگان دخیل هستند. آژادسازی بخش قدرت، طراحان را به بکارگیری از تجهیزات با صرفه اقتصادی و فنی با منابع انرژی جدید، مانند تولید پراکنده، تحریک کرده است. بعلاوه، برتری‌های تکنولوژی DG، آن را یک گزینه‌ی مطمئن و جذاب برای طراحان کرده است. همچنین استفاده از تکنولوژی‌های پاک و تجدیدپذیر، مزایای فراوان زیست محیطی را با خود به همراه آورده است.

در سال‌های اخیر، نفوذ DG در سیستم‌های توزیع در سراسر جهان افزایش یافته است. به‌عنوان مثال، در ایالات متحده، رشد تقاضای همراه با پایان عمر نیروگاه‌های موجود بوده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ به ۱/۷ میلیون گیگا کیلووات ساعت انرژی الکتریکی اضافی، یعنی تقریباً دو برابر رشد در ۲۰ سال گذشته، نیاز است. پیش‌بینی جهانی نشان می‌دهد که مصرف

¹ Modular

² Combined heat and power

برق از ۱۲ میلیون گیگا کیلووات سایت در سال ۱۹۹۶ به ۲۲ میلیون گیگا کیلووات ساعت افزایش یابد که این رشد تا حد زیادی ناشی از رشد تقاضا در کشورهای در حال توسعه است [۱۳]. جدول (۱) محرک‌ها و سیاست‌های DG در کشورهای مختلف را فهرست کرده است.

جدول (۱-۱): محرک‌ها و توسعه تولید پراکنده در کشورهای مختلف [۱۰]

کشورها و نواحی جغرافیایی										معیار	
آسیا			اروپا			آمریکای جنوبی		آمریکای شمالی			استرالیا
کره	هندچین	ژاپن	اسپانیا	آلمان	برزیل	کانادا	آمریکا				
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	سطح پائین سرمایه‌گذاری	
✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	جایابی مناطق محرم و سخت برای رسیدن محل موردنظر	
✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	لایحه‌ی صرفه‌جویی در قیمت‌های بالا	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	تعادل بار و کاهش پیک	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	مازاد تولید برق در محل مشتری	
✓	✓	✓	✓			✓	✓			کاهش ظرفیت تولید با توجه به آزادسازی	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	امنیت انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	جایگزین‌های سبز	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	رشد اقتصادی	
✓	✓	✓	✓	✓		✓				دسترسی به واحدهای بزرگ برای تجاری‌سازی تکنولوژی DG	
			✓	✓			✓	✓	✓	کسب و کار DG و فرصت‌سازی برای بازار جدید	

جزئیات خاص جغرافیایی [۱۳]:

• استرالیا

استرالیا در اجرای تأمین انرژی مناطق دوردست، کشوری پیشروی جهان محسوب می‌شود. این کشور در حال حاضر، بهترین رویه را در توسعه‌ی تکنولوژی DG در پیش گرفته است.

• آمریکای شمالی

کشورهای ایالات متحده و کانادا با مصرف سرانه‌ی انرژی بالائی مواجه‌اند. کشور آمریکا با سرمایه‌گذاری ۲۴ میلیارد دلاری در سال ۲۰۰۸ و ۲۰٪ کل سرمایه‌گذاری جهانی در توسعه‌ی DG، مقام نخست را به خود اختصاص داده است. در کانادا، ترکیب DG و انرژی باد انجام گرفته اما هنوز در مراحل اولیه است. هرچند، تغییرات در سیاست‌های استانی و ملی در توسعه‌ی تکنولوژی جدید باعث شده که باد و DG نقش بسیار مهمی در آینده دارند. به‌عنوان نمونه، تنها در استان کبک^۱، بیش از ۳۰۰۰ مگاوات از ظرفیت باد در سال ۲۰۱۳ بکار گرفته شد [۹]. در انتاریو^۲، اختلاف بین رشد بار و ازکار افتادگی نیروگاه‌ها در سال ۲۰۲۵ به ۲۴۰۰۰ مگاوات خواهد رسید.

این معادل تقریباً ۸۰٪ از ظرفیت سیستم فعلی است. برنامه جامع سیستم‌های قدرت^۳ (IPSP) (که توسط شرکت برق انتاریو هر سه سال بسط داده می‌شود) به منظور کمک به مدیریت مؤثر تأمین، انتقال، ظرفیت و تقاضای انرژی الکتریکی طراحی شده است. IPSP موجود با تأکید بر توسعه‌ی منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر برای حذف تدریجی نیروگاه‌های سوخت زغالی با آلاینده‌ی بالا مطرح شده است [۱۲].

• آمریکای جنوبی

آمریکای جنوبی مقام سوم را در نرخ رشد پیش‌بینی شده (۲/۸٪) را در مصرف انرژی در فاصله‌ی ۲۰۰۳ تا ۲۰۳۰ را داراست. برزیل، بخش اعظمی از این تقاضا را با میزان ۳۸٪ به خود اختصاص داده است.

• اروپا

DG و منابع انرژی‌های تجدیدپذیر توجه خاصی را در اروپا جلب کرده و منجر به افزایش ایمنی انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای همراه با سرمایه‌گذاری برنامه‌ریزی شده در منابع DG شده است.

¹ Quebec

² Ontario

³ Integrated Power System Plan

- آسیا

بالا ترین رشد سالیانه مصرف انرژی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۳۰ در آسیا پیش‌بینی شده است. ژاپن دارای نیروگاه‌هائی برای افزایش کل انرژی تولیدی خود با نرخ تولید انرژی تجدیدپذیر ۱/۱۶٪ در سال ۲۰۱۴ با استفاده از DG است. در هند، انرژی تجدیدپذیر برای سیستم‌های DG و استندبای به عنوان مکمل مصارف روستایی، شهری، صنعتی و تجاری پیش‌بینی شده است. نیروگاه‌های چینی برای توسعه‌ی ۱۲۰۰۰۰ مگاواتی انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال ۲۰۲۰ برنامه‌ریزی کرده‌اند. کره ۲/۴٪ از کل مصرف انرژی را با انرژی‌های جدید و تجدیدپذیر در سال ۲۰۰۹ تأمین کرده و این نرخ را تا سال ۲۰۳۰ به ۱۱٪ خواهد رساند.

در [۱۰] تصریح کرده‌اند، دلایل و محرک‌های اصلی رشد سریع واحدهای DG عبارت‌اند از:

- محرک‌های سازگاری با محیط‌زیست

یکی از محرک‌های اصلی در رشد واحدهای DG، استفاده از انرژی تجدیدپذیر به منظور محدود کردن گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته است. از منظر زیست محیطی، استفاده از انرژی تجدیدپذیر، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده و همچنین از ساخت خطوط انتقال جدید و نیروگاه‌های بزرگ جلوگیری می‌کند. واحدهای DG همچنین قادر به تأثیرگذاری روی کیفیت و قابلیت اطمینان توان مانند بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات توان و تراکم شبکه است.

- محرک‌های تجاری

در بازارهای رقابتی، تولیدات ظرفیت کوچک ترجیح داده می‌شوند. محرک اقتصادی دیگر واحدهای DG، توانائی آنها در داشتن تأثیر مثبت روی کیفیت توان و قابلیت اطمینان، بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات توان و کاهش تراکم شبکه است.

- محرک‌های قانونی و نظارتی

به دلیل سیاست‌های بازار رقابتی، تنوع منابع انرژی، ایمنی انرژی را ارتقاء خواهد داد. به عنوان نمونه، خطا در یک تولید کوچک در مقایسه با خطا در یک واحد بزرگ و یا کل سیستم انتقال

دارای آثار زیان‌بار کمتری است. بعلاوه، این محرک سیاست رقابتی که به قیمت انرژی کمتر و خدمات بهتر منجر می‌شود را پشتیبانی می‌کند.

بررسی طرح کلی حفاظت

با وجود تولیدات پراکنده، بخشی از شبکه توزیع خاصیت شعاعی خود را از دست می‌دهد و ممکن است هماهنگی سیستم حفاظتی از بین برود. برای حفظ هماهنگی بین دستگاه‌های حفاظتی، تولیدات پراکنده باید بعد از هر خطا حتی برای خطاهای گذرا از شبکه جدا شوند. وضعیت ایده‌آل برای هر طرح حفاظتی این است که تنها بخش دچار خطا از سیستم جدا شود. با توجه به از بین رفتن خاصیت شعاعی سیستم توزیع پس از اضافه شدن تولیدات پراکنده، هماهنگی بین فیوز فیوز، فیوز ریکلوزر و فیوز رله از بین می‌رود. بهترین رویکرد، تقسیم کردن سیستم توزیع به نواحی مختلف می‌باشد. این نواحی باید به وسیله کلید قدرت از یکدیگر جدا شوند و این کلیدها بایستی قابلیت سیستم همزمان‌سازی و قطع و وصل مکرر در اثر دریافت یک سیگنال از رله اصلی واقع در پست را داشته‌باشند [۱۴].

طرح کلی حفاظت در این نوع سیستم‌ها به این صورت می‌باشد که ابتدا خطا در سیستم و خطا در تولید پراکنده را تشخیص می‌دهد، اگر خطا در تولید پراکنده باشد، رله تطبیقی منتظر می‌ماند تا سیستم حفاظتی تولید پراکنده خطا را تشخیص داده و تولید پراکنده دچار خطا را از شبکه جدا کند، سپس کلید قدرت تولید پراکنده یک سیگنال به رله تطبیقی ارسال می‌کند تا رله تطبیقی آنالیزهای لازم را برای شرایط جدید انجام دهد. اگر خطا در شین‌های سیستم باشد رله تطبیقی آنالیز اتصال کوتاه را به صورت آنلاین انجام داده و محل خطا و ناحیه خطا را به صورت آنلاین شناسایی می‌کند و فرمان قطع به کلید قدرت ناحیه دچار خطا و کلیدهای قدرت تولیدات پراکنده آن ناحیه ارسال می‌کند. در نتیجه تنها ناحیه دچار خطا از شبکه جدا می‌شود. سایر نواحی به فعالیت عادی خود ادامه می‌دهند [۱۵-۱۶].

در این کتاب طرح حفاظتی تطبیقی برای شبکه مورد مطالعه شبیه‌سازی شده و آنالیز اتصال کوتاه و الگوریتم حفاظت تطبیقی باید در کنار هم و به صورت آنلاین بررسی شوند. برای شبیه‌سازی شبکه و برنامه الگوریتم تطبیقی و نیز برای آنالیز اتصال کوتاه شبکه از نرم‌افزار استفاده شده است. با توجه به اینکه بعد از هر تغییر در شکل شبکه، نتایج مربوط به آنالیز اتصال کوتاه تغییر می‌کنند لذا برای پوشش کامل تغییرات شبکه توس طرح حفاظتی باید

نتایج آنالیز اتصال کوتاه به صورت آنلاین در اختیار رله تطبیقی قرار گیرد. شبکه توزیع شبیه‌سازی شده برای این طرح ۶۹ شینه IEEE می‌باشد.

فصل دوم

مروری بر مطالعات مرتبط با موضوع

مقدمه

با توجه به اهمیت ویژه‌ی حفاظت شبکه توزیع و تولیدات پراکنده تا به حال کارهای گسترده‌ای در این زمینه منتشر شده است. در این فصل، جدیدترین مقالات منتشر شده در این زمینه مرور می‌شود. برای انجام مرور هدفمند، کارها بر اساس تکنیک حل مسئله دسته‌بندی شده‌اند. برای این منظور، کارهای منتشر شده در پنج دسته‌ی تکنیک‌های تکاملی، هوش ذرات، ابتکاری، ترکیبی و تحلیلی-احتمالی دسته‌بندی شده‌اند.

تکنیک‌های تکاملی

یکی از مرسوم‌ترین روش‌های هوش مصنوعی، تکنیک‌های تکاملی هستند. این تکنیک، با استفاده از مفهوم بنیادی تکامل موجودات که توسط داروین پیشنهاد شد، از یک جمعیت اولیه را به صورت تصادفی تولید کرده و سپس با استفاده از چند عملگر (مانند جهش، تقاطع و...) به استخراج پاسخ‌های بهینه از میان آنها می‌پردازند. الگوریتم ژنتیک، الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی، جستجوی تابو و الگوریتم تکاملی از جمله روش‌های مبتنی بر تکنیک‌های تکاملی

هستند که در ادبیات منتشر شده برای حل مسئله‌ی حفاظت بهینه‌ی شبکه‌ی توزیع پیشنهاد شده‌اند.

الگوریتم ژنتیک

در [۱۷]، تعیین مکان ریکلوزر و DG برای بهبود قابلیت اطمینان با استفاده از تحلیل حساسیت معادلات پخش توان انجام شده است. روش تعیین ظرفیت به ازای شرایط مختلف بارگذاری، سطح نفوذ تولید و ضریب توان به عنوان مسئله بهینه‌سازی مقید ایمنی فرمول‌بندی می‌شود. اطلاعات مکان‌های DG براساس بهینه‌سازی قابلیت اطمینان محاسبه شده است. الگوریتم ژنتیک^۱ (GA) برای حل مسئله موقعیت ریکلوزر همزمان با تولید پراکنده مورد استفاده قرار گرفته است.

مرجع [۱۸] مدلی مبتنی بر منافع اقتصادی از جایابی سکسیونر در سیستم توزیع فیدر شعاعی ارائه کرده است. مدل پیشنهادی، هزینه تلفات انرژی و هزینه سرمایه‌گذاری کل برای نصب سکسیونر را در نظر گرفته است. برای حل مسئله مکان‌یابی بهینه سکسونر الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است.

لویتین و همکارانش در [۱۹] کمینه‌سازی انرژی را با یک روش دو مرحله‌ای برای جایابی سکسیونر انجام داده‌اند. این مسئله با استفاده از GA حل شده است. آزمایش موردی روی شبکه واقعی اجرا گردیده است. مرجع [۲۰] مدل برنامه‌نویسی غیرخطی عدد صحیح^۲ (NLIP) با متغیرهای باینری را برای جایابی ادوات حفاظتی در فیدر هاصلی و تمامی شاخه‌ها مدار توزیع هوایی، به منظور بهبود شاخص قابلیت اطمینان و ایجاد زمینه برای تأمین قابلیت موردنیاز مصرف‌کنندگان بکار گرفته است. مسئله با در نظر گرفتن قیود فنی و اقتصادی مانند هماهنگی ادوات حفاظتی، تجهیزات در دسترس، اهمیت فیدر و توپولوژی مدار با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده است.

مرجع [۲۱]، پیشنهاد جایابی و تعیین ظرفیت بهینه‌ی واحدهای DG برای بهبود حد پایداری ولتاژ است. ماهیت احتمالی تولید DG در مقاله‌ی مذکور در نظر گرفته شده است. روش پیشنهادی با انتخاب شینه‌های کاندید برای نصب واحدهای DG روی سیستم آغاز و با

¹ Genetic Algorithm

² Nonlinear Integer Programming

اولویت‌بندی شینه‌هائی که به پروفیل ولتاژ حساس‌اند و سپس بهبود حد پایداری ولتاژ ادامه می‌یابد. کیم و همکارانش برای بهبود پروفیل ولتاژ در حضور خازن‌های شنت، روش ژنتیک ساده مبتنی بر نخبگان ترکیب‌شده را با الگوریتم ژنتیک مولتی‌پاپ را درهم آمیخته‌اند. تکنیک پیشنهادی روی شبکه‌های ۱۳ و ۳۴ شینه استاندارد IEEE مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج آن با ورژن‌های دیگر الگوریتم ژنتیک (یعنی الگوریتم ژنتیک حساسیت، الگوریتم ژنتیک مولتی‌پاپ و الگوریتم ژنتیک ساده) [۲۲] مورد مقایسه قرار گرفته است.

در [۲۳]، الگوریتم ژنتیکی مبتنی بر روش چندهدفه‌ی فازی برای تعیین مقادیر بهینه‌ی خازن‌های شنت و کلیدزنی به‌منظور بهبود پروفیل ولتاژ و کمینه‌سازی تلفات توان پیشنهاد شده است. برتری تکنیک فازی پیشنهادی با آزمایش روی شبکه‌ی ۶۹ شینه استاندارد و تعریف سه سطح بار روی این شبکه به اثبات رسیده است. در [۲۴-۲۵]، بهبود شاخص پایداری ولتاژ (VSI) توسط جایابی بهینه خازن با استفاده از تکنیک تحلیلی که به شدت به فروپاشی ولتاژ در شبکه‌های توزیع حساس است، انجام شده است. تکنیک پیشنهادی روی شبکه ۳۴ و ۶۹ شینه استاندارد IEEE مورد آزمایش قرار گرفته است.

نویسندگان مرجع [۲۶]، تابع هدفی مبتنی بر هزینه‌ی خازن و DG به‌منظور کمینه‌سازی تلفات توان و انرژی و بهبود پروفیل ولتاژ را پیشنهاد کرده‌اند. یک الگوریتم نوین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله فوق با در نظرگیری حد پایداری ولتاژ بکار گرفته شده است. شبکه ۳۴ شینه IEEE به‌عنوان شبکه‌ی نمونه استفاده شده و نتایج شبیه‌سازی با ارائه سناریوهای مختلف ارائه شده است.

در [۲۸]، به‌منظور بهبود کیفیت توان در شبکه، جایابی و تعیین ظرفیت بهینه خازن شنت با استفاده از GA انجام شده است. برای این منظور، تابع هدف جدید به‌منظور حل تابع هدف (که تابعی از هزینه تلفات توان، تلفات انرژی و هزینه‌های بانک‌های خازنی است) و قیود (محدوده ولتاژ، تعداد و اندازه خازن‌های نصب شده) بکار گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی با ورژن دیگر الگوریتم ژنتیک مورد مقایسه قرار گرفته است.

مندی در [۲۸]، الگوریتم ژنتیک جدیدی مبتنی بر بهبود کیفیت توان و جایابی همزمان خازن و DG به صورت همزمان پیشنهاد می‌کند. تابع هدف مقاله شامل هزینه‌ی تلفات توان، تلفات انرژی و بانک‌های خازنی تحت قیود محدوده‌ی ولتاژ، تعداد و ظرفیت خازن و DG و محدوده‌ی

کیفیت توان است. شینه‌های کاندید براساس حساسیت قیود و تابع هدف نسبت به تزریق توان راکتیو به هر شین انتخاب می‌شود

مرجع [۲۹] استفاده از الگوریتم ژنتیک^۱ (GA) برای بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت توان سیستم توزیع با وجود تولیدات پراکنده و بهترین توالی کلیدزنی با دو تابع هدف جدید پیشنهاد می‌کند. اهداف کیفیت توان و قابلیت اطمینان مانند تلفات توان فیدر، انحراف ولتاژ گره سیستم، SAIDI و ENS در مطالعه در نظر گرفته شده است. قابلیت توابع هدف پیشنهادی روی دو سیستم استاندارد مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج الگوریتم ژنتیک با سایر تکنیک‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است.

مرجع [۳۰] از الگوریتم ژنتیک نوین برای کمینه‌سازی تلفات توان با وجود تولیدات پراکنده و کلیدهای اتوماسیون استفاده کرده است. برای این منظور، با کاهش فضای جستجو با استفاده از استراتژی تدوین^۲ و اپراتورهای جدید ژنتیکی، بنام تقاطع برجسته و جهش هدایت یافته، استفاده شده است. چنین تکنیکی، امکان کاهش شدید زمان محاسبه و کمینه‌سازی حافظه‌ی موردنیاز را فراهم آورده و جستجوی مؤثر را در مقایسه با GA موجود فراهم می‌آورد. کار مشابهی نیز در [۳۱] انجام شده است.

الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی

هدف نویسندگان مرجع [۳۲] کمینه‌سازی شاخص‌های SAIFI و ASIFI با تعیین نوع و محل ادوات حفاظتی و حصول مصالحه مابین کاهش SAIFI و افزایش متوسط تعداد دفعات قطعی گذرای سیستم^۳ (MAIFI) با تعیین محل فیوزهاست. شبکه ۹ شینه IEEE به عنوان شبکه نمونه انتخاب شده و مسئله با در نظر گرفتن چندین قید مورد تحلیل قرار گرفته است.

در [۳۳]، الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی ترکیبی مقیاس متغیر^۴ (VSHDE) برای حل مسئله‌ی پیکربندی و حفاظت شبکه به منظور کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ سیستم‌های توزیع پیشنهاد شده است. ضریب مقیاس متغیر به منظور غلبه بر ایرادات ضریب مقیاس ثابت

¹ Genetic Algorithm

² Codification strategy

³ Momentary Average Interruption Frequency Index

⁴ Variable Scaling Hybrid Differential Evolution

و تصادفی الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی کلاسیک استفاده شده است. یک سیستم سه فیدره استاندارد و بخشی از شبکه قدرت تایوان برای مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهاد با الگوریتم‌های ژنتیک و بازپخت شبیه‌سازی شده بکار گرفته شده است.

جاذبی و وحیدی در [۳۴] پیکربندی و تولیدات پراکنده را با هدف بهبود کیفیت توان یعنی کاهش هارمونیک و تلفات توان را با استفاده از الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی انجام داده‌اند. نتایج شبیه‌سازی در حالات مختلف با حالت اولیه شبکه توزیع مقایسه شده و سپس برتری راه‌حل پیشنهادی مورد بحث قرار گرفته است.

مرجع [۳۵] کلیدهای اتوماسیون شبکه را با جایابی جبران‌ساز سنکرون استاتیک توزیع^۱ (DSTATOM) به منظور کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ در شبکه‌های توزیع اجرا کرده است. کلیدهای اتصالی سیستم توزیع، مکان و ظرفیت DSTATOM با استفاده از الگوریتم DE تعیین می‌شود. شبیه‌سازی‌ها روی شبکه‌های ۶۹ و ۸۳ شینه به انجام رسیده است.

جستجوی تابو

در [۳۶]، جایابی بهینه ادوات اتوماسیون با در نظر گرفتن قیود فنی و اقتصادی انجام شده است. با این روش، امکان بهینه‌سازی یک فیدر یا کل شبکه توزیع با تکرار کمتر فراهم گردیده است. به منظور اجتناب از افزایش نمایی محاسبات، بهینه‌سازی با استفاده از یک تکنیک تجزیه‌ای خاص انجام شده است.

الگوریتم جستجوی تابوی^۲ (TS) اصلاح شده را با در نظر گرفتن کلیدهای اتوماسیون شبکه به گونه‌ای که تلفات توان به صورت چشمگیری با قطع و وصل کلیدهای جداکننده کاهش می‌یابد. الگوریتم TS پیشنهادی با برخی اصلاحات مانند استفاده از فهرست تابو اندازه‌ی متغیر مطابق با اندازه‌ی سیستم ارائه شده است. همچنین، یک حرکت افزاینده‌ی تصادفی در فرآیند جستجو به منظور تنوع بخشیدن به نواحی جستجو نشده‌ی به الگوریتم افزوده شده است. روش جبری کیه‌رشف برای بررسی ساختار شعاعی سیستم هماهنگ شده است [۳۷].

¹ Distribution Static Synchronous Compensator

² Tabu Search

در [۳۸]، الگوریتم TS بهبود یافته با وجود کلیدهای اتوماسیون کمینه‌سازی تلفات در سیستم توزیع مقیاس بزرگ انجام شده است. در فرآیند بهبود الگوریتم، عملگر جهش به ساختار آن افزوده شده است. الگوریتم TS پیشنهادی روی شبکه‌ی نمونه اعمال شده و نتایج عددی آن نشان از توانائی آن نسبت به الگوریتم TS اصلی دارد.

الگوریتم تکاملی

مرجع [۳۹] هدف اصلی شرکت‌های برق را ارائه سرویس با قابلیت اطمینان بالا و کمترین هزینه به مشترکین بیان می‌کند و فعالیت‌هایی نظیر شاخه‌زنی با برنامه زمانی منظم، بهبود طراحی سازه‌ها، نصب صاعقه‌گیرها و استفاده از گارد حیوانات، استفاده از تجهیز حفاظتی، نشانگرهای خطا و سایر سنسورها و اتوماسیون توزیع را از راهکارهای بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان برمی‌شمارد. این مقاله تأثیر تعداد، نوع و مکان تجهیزات حفاظتی را روی قابلیت اطمینان فیدرهای شبکه توزیع مورد بررسی قرار می‌دهد. شاخص‌های متوسط تکرار قطعی سیستم (ASIFI) و SAIDI به‌عنوان معیار انتخاب شده است. کار مشابهی نیز توسط نویسندگان مرجع [۴۰] با استفاده از برنامه‌ریزی باینری انجام شده است.

مرجع [۴۱]، روشی با عنوان الگوریتم تکاملی چندهدفه فاصله‌ای برای حفاظت فیدر توزیع^۱ (IMOEA-DFR) برای انجام محاسبات فاصله‌ای و در نظر گرفتن تغییرات فصلی در تقاضای بار به منظور انجام بازآرایی قدرتمند پیشنهاد کرده است. روش پیشنهادی از تحلیل فاصله‌ای برای انجام بازآرایی با در نظر گرفتن عدم قطعیت توان تقاضا شده توسط مصرف‌کننده، استفاده می‌کند.

مرجع [۴۲] مدل‌های حفاظت شبکه پایه برای تشکیل مدل فاصله‌ی زمانی بهینه با استفاده از یک روش تکاملی ارائه می‌شود. الگوریتم برای حل مدل پیشنهادی بکار رفته و مطالعه روی شبکه ۳۳ شینه انجام شده و با نتایج الگوریتم PSO باینری مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

¹Interval Multi-objective Evolutionary Algorithm for Distribution Feeder Reconfiguration

تکنیک‌های هوش ذرات

هوش ذرات، دسته‌ی دیگر از روش هوش مصنوعی‌اند که در کنار تکنیک‌های تکاملی، از اصلی‌ترین روش‌های بهینه‌سازی‌اند. اساس این تکنیک‌ها بر پایه‌ی تلاش موجوداتی مانند ماهی‌ها، مورچگان و زنبور برای زندگی گروهی با هدف یافتن غذا، مهاجرت و ... است.

الگوریتم جستجوی کلونی مورچگان

فلقی و همکارانش در [۴۳]، جایابی سکسیونر در حضور تولید پراکنده را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان^۱ (ACO) را اجرا کرده‌اند. تابع هدف مشتمل بر دو عبارت تلفات توان و قابلیت اطمینان بوده که با استفاده از یک تکنیک فازی فرمول‌بندی شده است. مطالعه موردی روی دو شبکه‌ی استاندارد و واقعی انجام شده و نتایج الگوریتم ACO با GA مورد مقایسه قرار گرفته است.

در [۴۴]، الگوریتم جستجوی کلونی مورچگان^۲ (ACS) را برای حل مسئله‌ی حفاظت شبکه به منظور کمینه‌سازی تلفات توان پیشنهاد کرده است. الگوریتم روی سه فیدر سیستم توزیع استاندارد و یک شبکه‌ی توزیع شرکت برق تایوان مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج آن با الگوریتم ژنتیک و بازپخت شبیه‌سازی شده مورد مقایسه قرار گرفته و برتری آن به اثبات رسیده است.

نویسندگان در [۴۵]، روش مؤثری برای اتوماسیون و حفاظت شبکه‌ی توزیع به منظور کمینه‌سازی تلفات توان با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان را پیشنهاد کرده‌اند. برای این منظور، الگوریتم ACS برای ارتقاء فضای جستجوی خود و کاهش زمان محاسبه با تئوری گراف منطبق شده است. قابلیت روش پیشنهادی با آزمایش روی سیستم‌های توزیع متعادل و نامتعادل به اثبات رسیده است.

کارپانتو و همکارش در [۴۶]، کاربرد مفهوم جستجوی مورچه را برای حفاظت شبکه با هدف کمینه‌سازی تلفات سیستم توزیع در حضور مجموعه‌ای از قیود ساختار و عملیاتی را تشریح کرده‌اند. برای بهبود پاسخ‌ها، ساختار جدیدی برای الگوریتم مذکور به نام بهینه‌سازی کلونی

¹ Ant Colony Optimization

² Ant Colony Search

مورچه مکعب مفرط^۱ پیشنهاد شده است. نتایج آزمایشات عددی روی یک سیستم کلاسیک و یک سیستم توزیع شهری واقعی بزرگ انجام شده است.

الگوریتم جفت‌گیری زنبور عسل

مرجع [۴۷] بازآرایی با وجود تولیدات پراکنده چندهدفه برای کمینه‌سازی تلفات توان و بهبود ولتاژ گره‌ها را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبور عسل^۲ (HBMO) اصلاح شده انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی روی سیستم توزیع ۳۲ شینه اعمال شده و دقت بالا در کمینه‌سازی تلفات به اثبات رسیده است.

الگوریتم HBMO اصلاح شده‌ی پیشنهادی در [۴۸] حل مسئله‌ی حفاظت شبکه توزیع را با در نظر گرفتن منابع انرژی تجدیدپذیر انجام داده است. در الگوریتم پیشنهادی، فرآیند جفت‌گیری برای غلبه بر ضعف‌های که در الگوریتم HBMO اصلی وجود دارد، اصلاح شده است. همچنین یک روش خوشه‌بندی فازی برای ایجاد اندازه‌ی مخزن مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور امکان‌سنجی و بازدهی الگوریتم پیشنهادی، دو سیستم استاندارد توزیع مورد استفاده قرار گرفته است.

الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی باکتری

در [۴۹]، روشی مبتنی بر بهینه‌سازی جستجوی باکتری^۳ (BF) با هدف کمینه‌سازی تلفات توان پیشنهاد شده است. مدل جدیدی با ساده‌سازی شبکه‌ی توزیع ارائه شده و مسئله‌ی حفاظت شبکه توزیع به صورت یک مسئله‌ی بهینه‌سازی غیرخطی فرمول‌بندی شده است. برخی اصلاحات برای حفظ ساختار شعاعی و کاهش فضای جستجو روی مشخصات شبکه‌ی توزیع انجام شده است. شبکه‌ی توزیع ۳۳ شینه به عنوان شبکه‌ی نمونه برای اثبات برتری الگوریتم پیشنهادی انتخاب شده است. برتری مرجع [۵۰] بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌ی توزیع با اجرای اتوماسیون و حفاظت شبکه توزیع است. تابع هدف مسئله مبتنی بر SAIFI، AENS، کاهش تلفات توان و هزینه‌ی شبکه فرمول‌بندی شده است. برای حل مسئله مطروحه

¹ Hyper-Cube Ant Colony Optimization

² Honey Bee Mating Optimization

³ Bacterial Foraging

از یک الگوریتم بهینه‌سازی اصلاح شده خود انطباقی مبتنی بر الگوریتم خفاش استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی از سه بهبود برای حل مسئله استفاده می‌کند.

تکنیک‌های ابتکاری

در تکنیک‌های ابتکاری، نویسندگان با روش‌های نوین و منحصر به فردی که بیشتر از مفاهیم بنیادی استنتاج شده است، به حل مسائل پیچیده‌ی غیرخطی می‌پردازند. در [۵۱]، علاوه بر اتوماسیون شبکه توزیع با یک تکنیک ابتکاری، الگوریتم پخش بار جدیدی مبتنی بر تئوری گراف به منظور محاسبه‌ی دقیق جریان شاخه‌ها، ولتاژهای گره و تلفات توان سیستم ارائه شده است. تکنیک پیشنهادی، شامل دو بخش است: یکی تعیین بهترین ترکیبات کلیدزنی در تمامی حلقه‌ها با کمترین تلاش محاسباتی درحالی‌که محاسبات تلفات توان و پروفیل ولتاژ در بخش دیگر تکنیک پیشنهادی از طریق برنامه‌ی پخش بار پیشنهادی انجام می‌شود. برای اثبات اعتبار الگوریتم پیشنهادی، شبیه‌سازی روی شبکه‌ی ۳۳ شینه انجام شده و نتایج آن نشان از برتری از الگوریتم پیشنهادی دارد.

در [۵۲]، دو مدل بهینه‌سازی برای حصول مکان‌های بهینه‌ی DG و خازن به منظور حفظ پروفیل ولتاژ در شبکه‌های توزیع پیشنهاد شده است. ابتدا مسئله مکان‌یابی بهینه‌ی DG به صورت یک مسئله‌ی پخش توان بهینه‌ی اصلاح شده با یک نمایش ریاضی نوآورانه‌ی بهینه‌سازی پروفیل ولتاژ فرمول‌بندی می‌شود. سپس، مسئله‌ی جایابی خازن مدل‌سازی و حل می‌شود.

نویسندگان مراجع [۵۳]، تخصیص محل و ظرفیت بهینه‌ی تولیدات پراکنده و خازن را با هدف بهبود پروفیل ولتاژ انجام داده‌اند. تابع هدف مرجع [۵۳]، تابعی از بیشینه‌سازی پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات و بهبود آن است که با استفاده از تکنیک قیمت‌گذاری نقطه‌ای حل می‌شود. شبیه‌سازی‌ها برای بارهای متغیر با زمان و نامتغیر با زمان با در نظر گرفتن یک و همچنین برای مجموعه DG انجام شده است. هدف نهائی در [۵۴]، روشی مبتنی بر حصول بیشترین سود حاصل از نصب DG را برای جایابی بهینه‌ی تولیدات پراکنده به منظور بهبود قابلیت اطمینان شبکه پیشنهاد می‌کند. همچنین، روشی برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه توزیع با DG ارائه می‌دهد.

مرجع [۵۵]، با در نظر گرفتن عدم قطعیت در بار سیستم‌های انرژی پیچیده‌ی جدید، حل مسئله شبکه‌ی توزیع با استفاده از تکنیک پخش بار ابتکاری مبتنی بر روش تخمین نقطه‌ای^۱ (PEM) را اجرا کرده است. در ادامه، بهره‌برداری و مدیریت انرژی الکتریکی توسط نیروگاه‌های پیل سوختی^۲ (FCPP) را سیستم‌های توزیع با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار موجود در تقاضای بار و همچنین قیمت خرید گاز طبیعی برای بارهای خانگی، تعریف خرید برق، تعریف فروش برق، قیمت فروش هیدروژن، هزینه‌ی تعمیر و نگهداری، قیمت خرید انرژی از شبکه را برای FCPP را مورد مطالعه قرار می‌دهد.

تکنیک فرآیند ابتکاری تحلیلی^۳ (AHP) برای تعیین بهترین توالی کلیدزنی به منظور بازآرایی بهینه‌ی شبکه توزیع در [۵۶] پیشنهاد شده است. بعلاوه، تحلیل امکان‌سنجی فنی فیدرهای با اتصال موازی در طول مدت بازآرایی با تمرکز روی تعیین قیود گذرا در نظر گرفته شده است. این تکنیک فرض می‌کند که تنها کلیدهای کنترل شده از راه دور مورد تحلیل قرار گیرند. الگوریتم پیشنهادی در سیستم نظارتی شبکه جای گرفته و امکان پاسخ سریع دستگاه‌های اندازه‌گر و دستورات به تجهیزات را فراهم می‌آورد. روش پیشنهادی در یک شبکه‌ی واقعی آزمایش شده و نتایج آن مورد بحث قرار گرفته است.

زیدان و همکارانش در [۵۷] روش برنامه‌ریزی بلند مدت برای بیشینه‌سازی سود حاصل از بازآرایی شبکه و جایابی منابع تولید پراکنده^۴ (DG) با هدف تقویت پارامترهای شبکه (یعنی ارتقاء خط، بازآرایی شبکه و تجمیع DG) به منظور کمینه‌سازی هزینه شبکه ارائه کرده‌اند. روش ابتکاری پیشنهادی عدم قطعیت مربوط به خروجی DG با انرژی تجدیدپذیر و قابلیت تغییر بار را در نظر می‌گیرد.

در [۵۸]، روشی برای جایابی بهینه DG با بازآرایی شبکه در شبکه‌های توزیع شعاعی برای کمینه‌سازی تلفات توان با استفاده از یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر شاخص‌های حساسیت است. این شاخص برای جایابی تولید پراکنده حاصل از برنامه‌ی پخش بار مرسوم، محاسبه می‌گردد. الگوریتم پیشنهادی، تغییر تقاضا منحنی‌های بار سیستم و همچنین ایجاد شاخه‌ای

¹ Point Estimate Method

² Fuel Cell Power Plants

³ Analytic Hierarchic Process

⁴ Distributed Generation

جدید برای اتصال DG به یکی از باس‌بارهای شبکه را در نظر می‌گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که جایابی بهینه‌ی تولید پراکنده همراه با بازآرایی، امکان کاهش تلفات انرژی را بهتر فراهم می‌آورد.

در [۵۹]، الگوریتم ابتکاری گام به گامی برای کلید اتوماسیون شبکه با در نظر گرفتن حفاظت شبکه با هدف کمینه‌سازی تلفات توان ارائه پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی، مبتنی بر روش مجموعه کلیدهای دینامیکی^۱ است که با تغییرات ساختاری در شبکه‌ی الکتریکی به روز می‌شود. الگوریتم پیشنهادی، تغییر تقاضا منحنی‌های بار سیستم را در نظر گرفته و توالی عملکرد کلیدها را در طول فرآیند بازآرایی به منظور بدست آوردن نقاط بهره‌برداری تعیین می‌کند.

روش‌های ترکیبی

نویسندگان مرجع [۶۰] فرمول‌بندی نوینی را برای جایابی کلید و سکسیونر با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و هزینه‌های سرمایه‌گذاری انجام داده‌اند. تکنیک پیشنهادی مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم ژنتیک است. دو شبکه‌ی توزیع واقعی برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است. در [۴۰]، با ترکیب GA و فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی^۲ (AHP) روش نوینی را برای جایابی ریکلوزر و DG پیشنهاد کرده‌اند. برای این منظور، ظرفیت DG توسط الگوریتم ژنتیک و تعداد DG و رایکلوزر نیز توسط تکنیک AHP تعیین می‌گردد. روش پیشنهادی روی شبکه ۳۳ شینه IEEE اجرا شده است.

در [۶۱]، روشی برای مکان‌یابی بهینه‌ی DG برای کمینه‌سازی تلفات و بهبود قابلیت اطمینان براساس روش‌های تحلیلی ارائه شده است. برای این منظور ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و با روش‌های ارزیابی تأثیر حضور تولیدات پراکنده روی بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات توان ارائه شده است.

هر تکنیکی دارای برخی مزایا و معایب است. محققان توانسته‌اند با ترکیب دو یا چند تکنیک هوشمند از مزایا و قابلیت‌های الگوریتم‌های مختلف بهره‌برده شده است. نویسندگان مرجع

¹ Dynamic Switches Set approach

² Analysis Hierarchical Process

[۶۲]، یک روش تکاملی جدید مبتنی بر ترکیب بهینه‌سازی اجتماع ذرات^۱ (PSO) فازی انطباقی و روش جستجوی ساده نلدر-میت^۲ (NM) را برای حل مسئله جایابی تولیدات پراکنده فیدرهای توزیع پیشنهاد کرده است. در الگوریتم پیشنهادی، PSO فازی انطباقی دارای دو بخش به منظور تعیین وضعیت کلیدهای اتصالی (باز یا بسته) و تعیین تعداد سکیونرها می‌باشد. روش NM نیز برای بهبود عملکرد الگوریتم ترکیبی بکار می‌رود.

روش ترکیبی پیشنهادی در [۶۳] برای پیکربندی و حفاظت بهینه شبکه با در نظر گرفتن هزینه‌های کلیدزنی و متغیرهای متغیر با زمان (مانند پروفیل ولتاژ) استفاده شده است. در اولین گام از تکنیک پیشنهادی، بازآرایی بهینه برای هر روز سال به صورت مستقل با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی^۳ و تئوری گراف^۴ انجام شده است. در گام دوم، سال به دو دوره‌ی زمانی مساوی با در نظر گرفتن هزینه‌ی تلفات، هزینه قطعی و همچنین هزینه‌ی کلیدزنی یک بازآرایی به بازآرایی دیگر با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی دینامیکی^۵ تقسیم شده است. روش پیشنهادی روی شبکه‌ی توزیع ۹۵ شینه آزمایش شده و نتایج حاصله نشان از پاسخ بهینه‌ی تکنیک ترکیبی پیشنهادی دارد.

در [۶۴]، اجرای همزمان اتوماسیون و استراتژی‌های تعادل فاز به منظور کمینه‌سازی هزینه‌ی قطعی، حذف نامتعادلی شبکه، کاهش جریان طبیعی و تلفات توان را با استفاده از ترکیب الگوریتم NM با BF مبتنی بر تابع چندهدفه فازی به انجام رسیده است. برای اثبات برتری روش پیشنهادی، آزمایش روی شبکه‌ی ۱۲۳ شینه انجام شده و نتایج آن با الگوریتم‌های BF، PSO، ژنتیک و ایمنی مورد مقایسه قرار گرفته است.

تومیاگا و همکارانش در [۶۵]، مسئله‌ی حفاظت بهینه را به صورت تک‌هدفه برای کمینه‌سازی تلفات توان مدل کرده‌اند. آنچه در این تحقیق برجسته شده است، فهم خاصی از حوزه‌ی مسئله است. برای این منظور، زمان اجرا و پاسخ حاصله در اولویت بررسی قرار گرفته‌اند. برای حل مسئله، الگوریتم ژنتیک کلاسیک مبتنی بر گراف‌های متصل شده پیشنهاد می‌شود.

¹ Particle Swarm Optimization

² Nelder–Mead simplex search method

³ Harmony Search Algorithm

⁴ Graph Theory

⁵ Dynamic Programming Algorithm

روش‌های تحلیلی-احتمالی

در [۶۶] واحدهای DG و بانک خازنی با هدف بهبود قابلیت اطمینان جایابی شده است. در [۶۶]، تأثیر حضور مجموعه‌ای از تولیدات پراکنده با در نظر گرفتن رشد بار با استفاده از یک روش تحلیلی مورد مطالعه قرار گرفته است. در روش تحلیلی پیشنهادی، تحلیل آماری تحقیقی بار اجرا شده و منحنی مربوط به آن رسم می‌شود. این منحنی به دو قسمت تقسیم بندی شده است به گونه‌ای که هر قسمت شرایط بارگذاری تقریباً ثابت باشد، سپس خروجی DG برای هر قسمت بار تنظیم می‌گردد. در نهایت تحقیق جامعی برای شرایط باری متناظر با خروجی DG انجام شده است و محل بهینه بر اساس دو معیار کمترین تلفات و کمترین شاخص (SAIFI) بدست می‌آید.

اعتمادی و فتوحی در [۶۷]، دو تابع هدف جدید برای جایابی بهینه‌ی خازن به منظور مطالعه‌ی میزان اثرگذاری حضور خازن روی بهبود قابلیت اطمینان شبکه توزیع پیشنهاد داده‌اند. تابع هدف اول به صورت مجموع هزینه‌ی قابلیت اطمینان و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری تعریف می‌شود. در دومی با افزودن هزینه‌ی تلفات، هزینه‌ی قابلیت اطمینان و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری بیان می‌گردد. بعداً تابع هدف جامعی حاصل از دو تابع هدف مذکور فرمول‌بندی می‌شود.

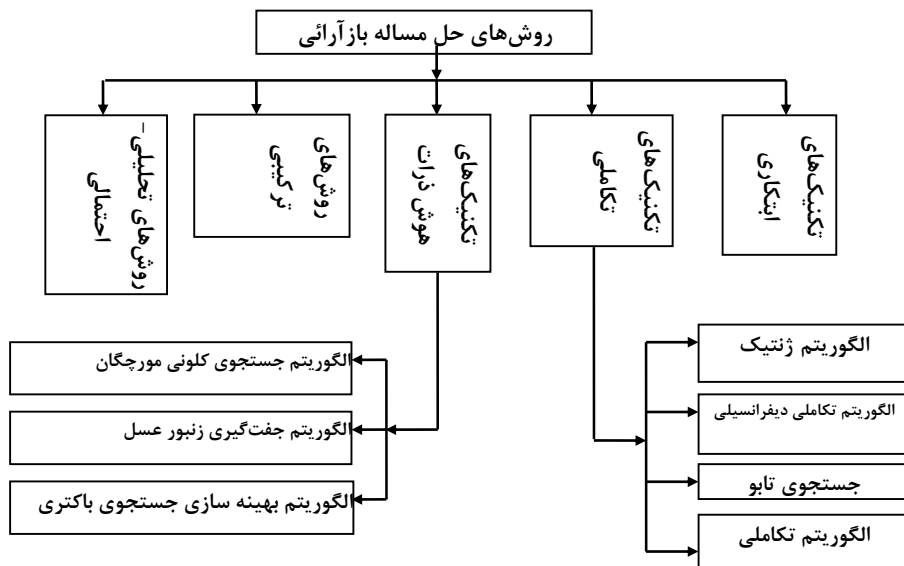
مرجع [۶۸] روش جدیدی برای حفاظت بهینه شبکه مبتنی بر بهبود قابلیت اطمینان با استفاده از تکنیک‌های تحلیل فاصله‌ای^۱ را با در نظر گرفتن عدم قطعیت برای پیشینه‌سازی احتمال بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات توان پیشنهاد کرده است. مطالعات موردی نشان از بازدهی روش بازآرایی پیشنهادی دارد.

در [۶۹]، روش احتمالی جدیدی برای اجرای حفاظت بهینه به منظور کاهش هزینه‌ی کل بهره‌برداری شامل هزینه‌ی کلید و سود کاهش تلفات ارائه شده است. با در نظر گرفتن بارهای متغیر با زمان، روش پیشنهادی قادر به حصول یک تعادل بهینه بین تعداد کلید زنی‌ها و تلفات توان خواهد بود. برتری روش پیشنهادی با ارائه‌ی چندین آزمایش نشان داده شده و نتایج با روش‌های مطمئنی در چندین حالت مقایسه می‌گردد.

¹ Interval analysis techniques

جمع‌بندی

در این فصل، مرور نسبتاً جامعی روی جدیدترین مقالات منتشر شده در مورد بازآرایی شبکه‌ی توزیع انجام شده است. در فرآیند مطالعه، مقالات بر اساس تکنیک حل مسئله گروه‌بندی شده‌اند. شکل (۱-۲) دسته‌بندی مقالات مرور شده در مورد بازآرایی شبکه‌ی توزیع را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲): دسته‌بندی مقالات مرور شده مبتنی بر حفاظت شبکه توزیع و جایابی تولیدات پراکنده

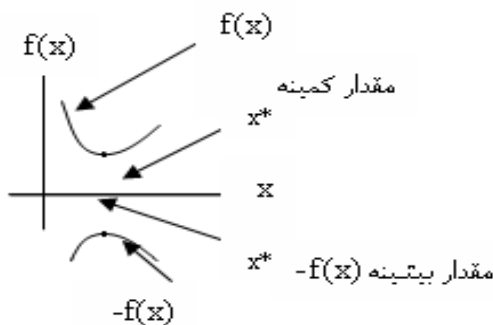
فصل سوم

روش بررسی مسئله

مقدمه

حصول به بهترین نتیجه در شرایط داده شده را بهینه‌سازی می‌گویند. هدف نهایی بهینه‌سازی، کمینه کردن تلاش لازم و یا بیشینه کردن هدف معین یا مورد نظر است. تلاش لازم یا هدف مورد نظر در هر وضعیت عملی را می‌توان به صورت تابعی از متغیرهای تصمیم معین بیان کرد؛ بنابراین می‌توان بهینه‌سازی را به عنوان فرایند یافتن شرایطی که مقدار بیشینه یا کمینه یک تابع را می‌دهد تعریف کرد.

در شکل (۱-۳) دیده می‌شود که نقطه x^* منطبق بر مقدار کمینه تابع $f(x)$ است. این نقطه بر مقدار بیشینه تابع $f(x)$ هم منطبق است. پس بدون از دست دادن کلیات، می‌توان بهینه‌سازی را به معنای کمینه‌سازی در نظر گرفت؛ زیرا کمینه یک تابع را می‌توان با جستجوی بیشینه منفی آن تابع پیدا کرد. برای حل مناسب همه مسائل بهینه‌سازی روش یکتایی وجود ندارد. به همین دلیل برای حل مسائل مختلف، بهینه‌سازی‌های مختلف بسط یافته‌اند [۷۰].



شکل (۱-۳): کمینه $f(x)$ همان بیشینه $-f(x)$ است.

اصطلاحات فنی بهینه‌سازی

- پاسخ ممکن

هر نقطه x که بتواند قیود مسئله را برآورده سازد، پاسخ ممکن نامیده می‌شود.

- پاسخ بهینه‌ی کلی

پاسخ ممکن X^* را پاسخ بهینه کلی گویند، اگر برای هر پاسخ ممکن X متعلق به فضای جستجو رابطه زیر وجود داشته است:

$$(۱-۳)$$

$$f(X^*) \leq f(X)$$

- پاسخ بهینه‌ی محلی

پاسخ ممکن X^* را پاسخ بهینه محلی گویند، اگر برای هر پاسخ ممکن X متعلق به همسایگی X^* رابطه زیر وجود داشته باشد:

$$(۲-۳)$$

$$f(X^*) \leq f(X)$$

- جواب بهینه

جواب امکان‌پذیری که تابع هدف را بهینه می‌سازد، جواب بهینه نامیده می‌شود.

- قیدهای طراحی

در بسیاری از مسائل عملی، نمی‌توان متغیرهای طراحی را به دلخواه انتخاب کرد، بلکه این متغیرها باید ویژگی‌های عملی مشخص و دیگر نیازمندی‌ها را برآورده کنند قیدهایی را که باید به منظور تهیه یک طرح مورد قبول برآورده شوند، قیدهای طراحی گویند.

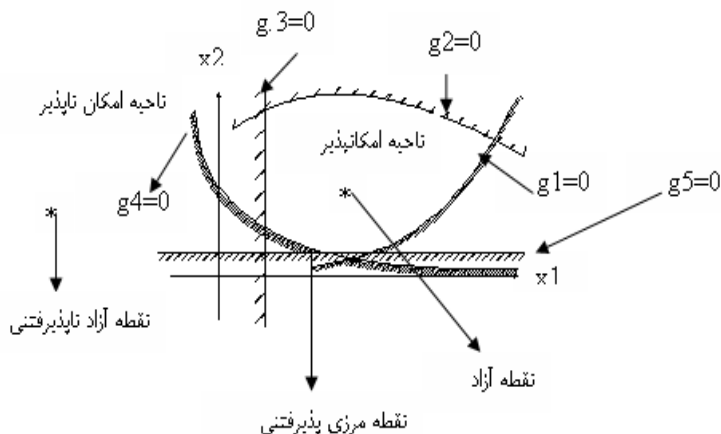
- سطح قید

یک مسئله بهینه‌سازی که تنها دارای قیدهای نامساوی $g_j(x) \leq 0$ است در نظر بگیرید. مجموعه مقادیر x که در رابطه $g_j(x) = 0$ صدق می‌کند یک ابر صفحه در فضای طراحی تشکیل می‌دهند که آن را سطح قید می‌گویند. سطح قید فضای طراحی را به دو ناحیه تقسیم می‌کند. در یک ناحیه $g_j(x) > 0$ و در دیگری $g_j(x) = 0$ است. بنابراین نقاطی که بر روی ابر صفحه قرار دارند؛ به طور بحرانی در قید $g_j(x) = 0$ صدق می‌کند. در حالیکه نقاط واقع در ناحیه $g_j(x) > 0$ امکان‌ناپذیر یا غیرقابل قبول و نقاطی که در ناحیه $g_j(x) < 0$ قرار دارند امکان‌پذیر یا قابل قبول هستند. مجموعه همه سطوح قید $g_j(x) = 0$ و $(j=1,2,\dots,n)$ که ناحیه امکان‌پذیر را جدا می‌کنند، سطح مرکب نامیده می‌شود.

شکل (۲-۳) یک فضای طراحی دو بعدی فرضی را نشان می‌دهد. ناحیه امکان‌ناپذیر با خطوط هاشور مشخص شده است. یک نقطه طراحی را که بر روی یک یا چند سطح قید قرار دارد، نقطه مرزی و قید مربوطه را قید فعال گویند. نقاط طراحی که بر روی هیچ‌یک از سطوح قید قرار ندارد نقاط آزاد نامیده می‌شوند. بسته به اینکه یک نقطه طراحی مشخص، متعلق به ناحیه امکان‌پذیر یا امکان‌ناپذیر است، می‌توان آن را به یکی از چهار نوع نقطه امکان‌پذیر آزاد، امکان‌ناپذیر آزاد، امکان‌پذیر مرزی، امکان‌ناپذیر مرزی دسته‌بندی کرد. در شکل (۲-۳) هر چهار نوع این نقاط نشان داده شده است.

- تابع هدف

هدف از بهینه‌سازی انتخاب بهترین طرح از بین طرح‌های قابل قبول موجود است؛ بنابراین باید معیاری برای مقایسه طرح‌های قابل قبول مختلف و انتخاب بهترین آن‌ها تعیین شود. چنین معیاری که طرح، نسبت به آن بهینه می‌شود را به صورت تابعی از متغیرهای طراحی بیان می‌کنند و آن را تابع معیار یا تابع مزیت و یا تابع هدف می‌نامند. انتخاب تابع هدف، یکی از مهم‌ترین تصمیمات در کل فرایند طراحی بهینه است [۷۱].

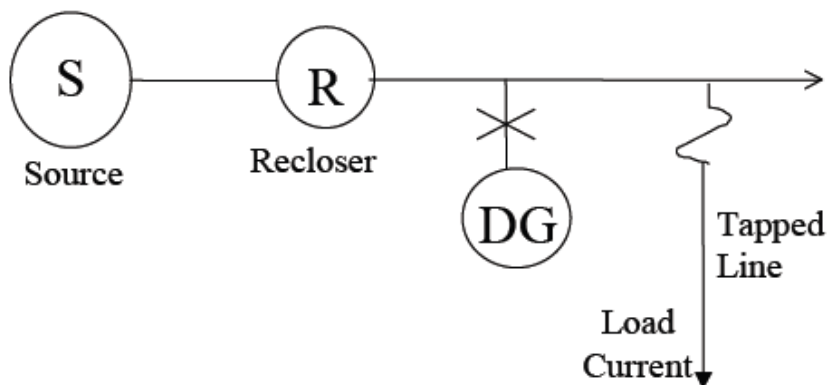


شکل (۳-۲): سطوح قید در یک فضای طراحی دوبعدی [۷۱].

بررسی مسئله

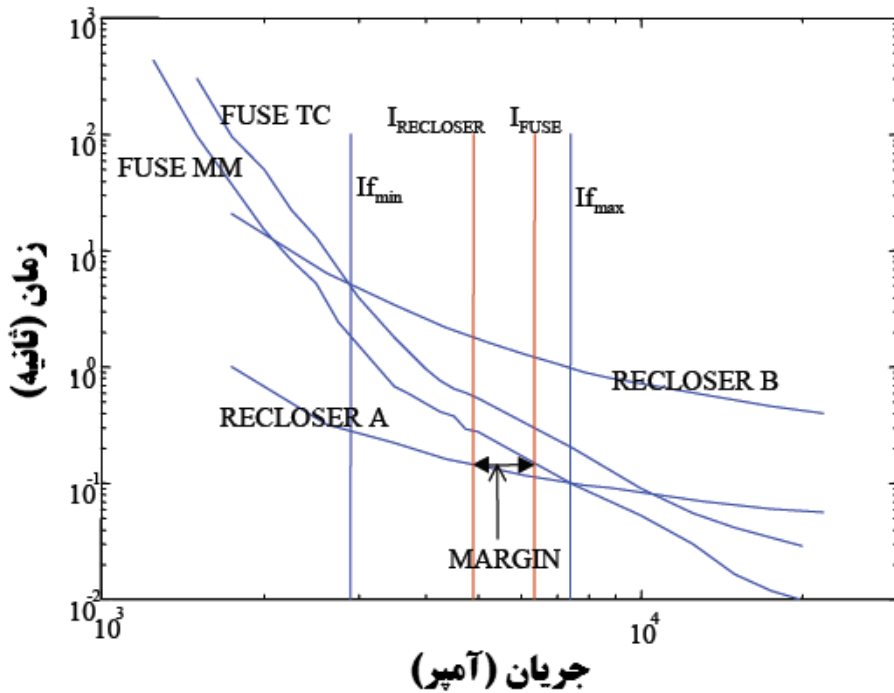
طرح کلی

در شکل (۳-۳) یک خط از شبکه توزیع با ریکلوزر و فیدر بار و محافظت با یک فیوز را نشان می‌دهد. فرض کنیم که DG متصل نشده است. ریکلوزر در خط اصلی است به منظور هماهنگی با این فیوز برای تمام خطاهای گذرا در فیدر نصب شده است. در اینجا باید اشاره کرد که برای تمام خطاهای در فیدر بار، جریان در فیوز و ریکلوزر به صورت (I_{min} به I_{max}) فرض شده است [۷۲].



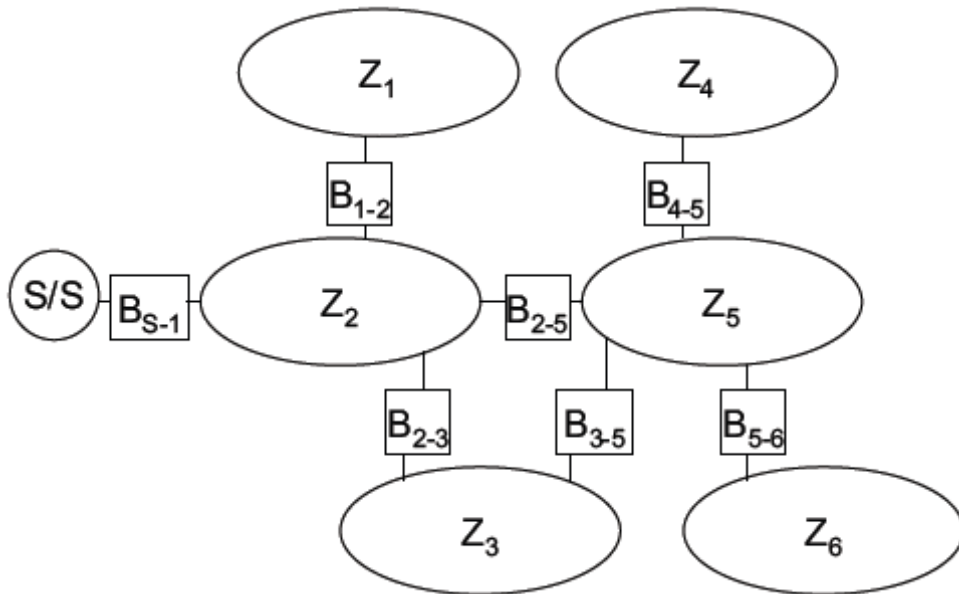
شکل (۳-۳): شبکه توزیع با حضور تولید پراکنده، ریکلوزر و فیوز [۷۲].

ریکلوزر معمولی دارای دو منحنی است ("A" (سریع) و "B" (آهسته)) که بیان کننده ویژگی‌های هماهنگی MM و TC فیوز را نشان می‌دهد (شکل (۳-۴) را ببینید). نمودار بیان می‌کند که فیوز تنها باید برای یک خطای ماندگار در فیدر بار به کار گرفته و با بروز خطا موقت، ریکلوزر باید مدار با عملیات سریع قطع کند.



شکل (۳-۴): نحوه هماهنگی بین ریکلوزر و فیوز [۷۲].

بریکرها باید قابلیت مداوم باز و بسته شدن توسط سیگنال ارسالی از رله اصلی در پست را داشته و به سیستم سنکرونیزم مجهز باشند. رله اصلی باید به کامپیوتر متصل بوده و قابلیت ذخیره‌سازی و تحلیل اطلاعات زیاد و همچنین ارتباط با دیگر ادوات مانند بریکرهای نواحی و رله‌های DG را نیز داشته باشد. رله باید خطا را احساس کند، نوع خطا و مکان خطا (ناحیه و خط) را تشخیص دهد و همچنین با قطع کردن بریکر مربوطه و DG متصل شده به این ناحیه، ناحیه خطا را ایزوله کند. بدین طریق نواحی باقیمانده به کار خود ادامه می‌دهند [۷۳].



شکل (۳-۵): شبکه توزیع با حضور تولید پراکنده، ریکلوزر و فیوز [۷۳].

اندازه‌گیری

اولین نیاز برای طرح حفاظتی به کار گرفتن ورودی است. این نیاز از اندازه‌گیری به دست می‌آید. اندازه‌گیری‌های پیوسته ذکر شده برای این طرح متداول است:

- ✓ سنکرون کردن بردارهای جریان هر سه فاز از هر DG در سیستم و منبع اصلی
- ✓ نشان دهنده سیگنال جریان مستقیم در هر بریکر بین ناحیه‌ای
- ✓ اندازه‌گیری بردار سنکرون شده با استفاده از پالس ساعت سنکرون کننده از گیرنده

محاسبات Off-Line و ذخیره‌سازی اطلاعات

این روش نیازمند مطالعه پخش بار و تحلیل کامل اتصال کوتاه برای بدترین نوع خطا شامل فازهای مختلف است. بعلاوه برای جریان خطا برای بدترین نوع خطا در هر باس، این تحلیل باید سهم جریان خطا برای هر DG و منبع اصلی را پیدا کند. خطای سه فاز بدترین نوع خطا است که در محاسبات این نوع خطا را لحاظ می‌کنیم. همین‌طور این روش مشخصات آستانه ذوب (MM) برای همه‌ی فیوزهای سیستم جهت ذخیره‌سازی در بانک اطلاعات رله را نیاز

دارد. از این مشخصات و تحلیل اتصال کوتاه، زمان فیوزها قبل از اینکه در وضعیت خطا صدمه ببینند، تعیین می‌شوند.

پخش بار و تحلیل اتصال کوتاه باید بعد از هر تغییر مهم درباره DG و یا پیکربندی سیستم به روز شوند. در حقیقت تغییر در بار و یا DG نیازمند اجرای دوباره پخش بار و تحلیل اتصال کوتاه و همچنین هر تغییری در پیکربندی سیستم (مانند، برداشتن یک خط) نیازمند به روز رسانی ادمیتانس باس و ماتریس امیدانس است.

دریافت خطا و تعیین نوع خطا در خط

فازور جریان‌های منبع اصلی و همه DG ها بصورت پیوسته وجود دارد. در حالت عملکرد عادی مجموع همه این فازورها برابر با بار کل سیستم است. در حالت خطا در هر بخش سیستم این مجموع به طور قابل ملاحظه‌ای از بار کل تجاوز می‌کند. بدین طریق رله، خطا در سیستم توزیع را حس می‌کند. این روش شبیه طرح دیفرانسیل جریان است. زمانی که خطاهایی در هر جای سیستم اتفاق بیافتد، مجموع سهم جریان‌های همه منابع (منبع اصلی و همه DG ها) باید برابر جریان خطا باشد. به بیان دیگر، اگر خطایی در اتفاق بیافتد، از آنجائی که DG خارج از ناحیه تحت پوشش است. مجموع صفر می‌شود. این حالت نشان می‌دهد که خطا در DG می‌تواند از خطا در سیستم متمایز گردد.

زمانی که خطایی در سیستم دیده می‌شود، جریان خطای کل در هر فاز با استفاده از رابطه ساده زیر تعریف می‌شود.

(۳-۳)

$$[I_{fabc}] = \sum_{i=1}^n [I_{fabc}]_{source i}$$

$[I_{fabc}]$: جریان خطاهای کل (فازور) در سه فاز

$[I_{fabc}]_{source i}$: سهم جریان خطا (فازور) در سه فاز از منبع i

n : تعداد کل منابع (شامل منبع اصلی) در سیستم

از این رو دامنه جریان خطا در هر سه فاز از رابطه (۳-۳) بدست می‌آید.

تشخیص بخش خطا به صورت OnLine

تشخیص بخش خطا دیده در شبکه توزیع به صورت OnLine به طور مرسوم به ادوات حفاظتی مانند فیوز اصلی انجام می‌شود. در این حالت هماهنگی بین فیوزها از بین می‌رود و قبل از اینکه فیوزی صدمه ببیند باید بخش (و ناحیه) خطا دیده پیدا شود.

از این روشی مورد نیاز است که با تشخیص سریع خطا برای رله به منظور ارسال سیگنال قطع برای بریکرهای مناسب جهت ایزوله کردن ناحیه خطا اقدام کند. باید اشاره کرد که شناسایی ناحیه خطا برای این طرح کافی است. به هر حال اگر بخش خطا دیده به درستی تشخیص داده نشود تعمیرات با مشکلات بسیاری برای پیدا کردن خطا مواجه می‌شوند.

از آنجائی که سهم خطا از هر منبع به صورت آنلاین وجود دارد می‌توان برای این اهداف استفاده شود و جریان خطای کل برابر مجموع سهم خطای همه منابع در سیستم است. در نقطه خطا، هر منبع می‌تواند به‌عنوان منبع ولتاژ بعد از امیدانس تونن ظاهر گردد. اگر نقطه خطا از یک باس به باس مجاور تغییر کند، برای نوع خطای معلوم، امیدانس تونن منبع مفروض می‌تواند کم یا زیاد شود.

سهم جریان خطای هر منبع از هر نوع خطا برای همه شین‌ها از تحلیل اتصال کوتاه OffLine وجود دارد. با استفاده از مشخصات شبکه و نتایج تحلیل اتصال کوتاه، سهم خطای اندازه‌گیری شده هر منبع بین سهم خطای محاسبه شده باس متصل به این بخش از آن منبع قرار دارد که از این طریق بخش خطا دیده تعیین می‌شود. تحلیل‌ها نشان می‌دهد زمانی که تعداد DG در شبکه زیاد بوده و تلفات شبکه در بیشتر قسمت‌ها زیاد باشد این روش بسیار مؤثر واقع می‌شود.

پاک‌سازی و ذخیره‌سازی ناحیه خطا

وقتی محل خطا تشخیص داده می‌شود، رله سیگنال قطع را برای ایزوله کردن ناحیه خطا و DG واقع در این ناحیه ارسال می‌کند. اکنون اطلاعات درباره بریکرهای قطع شده که ناحیه خاصی را ایزوله کرده‌اند در بانک اطلاعات موجود است. برای مثال در شکل (۳-۵) برای ایزوله کردن ناحیه Z_1 کلید B_{2-1} و برای ایزوله کردن ناحیه Z_2 ، کلیدهای B_{5-2} ، B_{5-3} ، B_{5-4} و B_{5-6} باید قطع شوند. این روند قبل از اینکه فیوزی صدمه ببیند ادامه پیدا می‌کند.

عملکرد کامل طرح که شامل اندازه‌گیری، تشخیص بخش خطا دیده و قطع بریکرها باید قبل از این زمان کامل شوند. از این‌رو زمان عملکرد طرح می‌تواند تخمین زده شود. رله می‌تواند این بررسی را خودش در هر زمانی که تحلیل اتصال کوتاه به روز شود انجام دهد.

وقتی ناحیه خطا دیده و DG متصل به آن ایزوله شدند، ناحیه ایزوله شده "مرده" است، بنابراین اگر خطا باقی ماند یا نه نمی‌توانیم با وصل کردن بریکر ناحیه‌ای آن را امتحان کنیم. در این حالت باید تضمین شود که مشکل سنکرونیزم وجود ندارد. یک بریکر برای هر ناحیه باید از قبل برای این کار تعیین شود.

از آنجائی که رله سهم جریان از منبع اصلی را پیوسته مشاهده می‌کند، بعد از هر عمل باز بست، بی‌درنگ معمول می‌شود که خطا ماندگار است یا نه (جریان منبع در حالت خطای ماندگار به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد). در حالتی که خطا از بین رود، سیگنال بستن هر بریکر را یکی یکی ارسال می‌کند. این بریکرها نیاز به سنکرونیزم جهت بسته شدن دارند. سنکرونیزم بودن باید توسط تابع بررسی‌کننده سنکرونیزم برای هر بریکر تضمین شود. رله، بسته شدن هر بریکر را توسط مشاهده سیگنال جهت‌دار جریان آن بریکر، احساس می‌کند. بعد از تأیید بسته شدن بریکر، سیگنال بسته شدن بعدی ارسال می‌شود. در انتها، بریکر DG بسته شده و سیستم به حالت طبیعی باز می‌گردد. در حالت خطای دائمی، خطا باید قبل از وصل شدن ناحیه به سیستم توسط اکیپ تعمیرات رفع شود. در چنین حالتی، رله توسط راه‌اندازی پخش بار و تحلیل اتصال کوتاه دوباره، پیکره‌بندی شبکه جدیدی را درست خواهد کرد. ممکن است در این حالت بخش‌هایی از سیستم بعد از جدا شدن یک ناحیه به صورت جزیره‌ای کار کنند.

بررسی شاخص‌های قابلیت اطمینان

جهت ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان لازم است که مدل شبکه مورد نظر تهیه شود. جهت تعیین این شاخص‌ها، باید کلیه اجزایی که به نوعی در معرض خرابی قرار دارند، مشخص شده و مورد بررسی قرار گیرند. برای ایجاد نمایی ملموس‌تر از وضعیت شبکه از شاخص‌های قابلیت اطمینان مرتبط با سیستم که رفتار کل فیدر را نشان می‌دهند، استفاده می‌شود. انجمن برق ادیسون و انجمن مهندسين برق و الکترونیک گستره وسیعی از شاخص‌های عملکرد را

پیشنهاد کرده‌اند. موارد زیر شاخص‌های معمول در شرکت‌های برق در ارزیابی قابلیت اطمینان یک سیستم توزیع هستند:

✓ شاخص متوسط تعداد قطعی سیستم^۱ (SAIFI)

این شاخص برای داشتن اطلاعاتی درباره‌ی تعداد متوسط قطعی‌های شبکه در هر مصرف‌کننده در یک ناحیه‌ی مشخص، تعریف می‌شود.

(۴-۳)

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

✓ شاخص طول مدت متوسط قطعی سیستم^۲ (SAIDI)

این شاخص به صورت رایج به دقایقی که مصرف‌کنندگان دچار قطعی شده‌اند اشاره دارد و به منظور اجتناب از اطلاعات در مورد زمان میانگین قطعی هر مصرف‌کننده بکار می‌رود.

(۵-۳)

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n N_i U_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

✓ متوسط تعداد دفعات قطعی گذرای سیستم^۳ (MAIFI)

پارامتر MAIFI برای اندازه‌گیری تعداد متوسط قطعی‌های لحظه‌ای که یک مصرف‌کننده در طول یک دوره‌ی زمانی تجربه می‌کند، بکار می‌رود. MAIFI به منظور مطالعه‌ی شاخص‌های توزیع در هنگام وقوع قطعی لحظه‌ای از طریق محاسبه‌ی مجموع تعداد عملیات ادوات (باز

¹ System Average Interruption Frequency Index

² System Average Interruption Duration Index

³ Momentary Average Interruption Frequency Index

شدن و بسته شدن مجدد به عنوان یک رخداد شمرده می‌شود)، ضربدر تعداد مصرف‌کنندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد

(۶-۳)

$$MAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i ID_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

✓ هزینه انرژی تأمین نشده^۱ (CENS)

شاخصی که مبین میزان تأمین نشده به ازای کل مشتریان است. این شاخص اولاً ترکیبی از احتمال وقوع حوادث و عواقب آنها است و ثانیاً امکان محاسبه قیمت انرژی تأمین نشده را فراهم می‌کند، لذا کاربرد زیادی در مقایسه گزینه‌های مختلف توسعه و بهره‌برداری سیستم دارد.

(۷-۳)

$$CENS = \frac{\sum_{i=1}^n L_{i(a)} U_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

که در آن، ID_i تعداد عملیات ادوات قطع شده

N_i : تعداد کل مشترکین

U_i : طول مدت خاموشی

$L_{i(a)}$: متوسط بار متصل شده به محل بارگذاری بار

^۱ Average of Energy Not Supplied

بررسی حضور تلفات توان در تابع هدف

یکی از پارامترهای مهم در یک سیستم قدرت تلفات سیستم است که میزان بهینه بودن و راندمان و هزینه‌های طولانی مدت بهره‌برداری از سیستم را تعیین می‌نماید. تلفات میزان انرژی است که در حقیقت از مجموع مقادیر لحظه‌ای تلفات توان، به دست می‌آید و تفاوت انرژی تولید شده و انرژی استفاده شده توسط مشترکین است. آن بخش از انرژی الکتریکی که به کار مفید تبدیل نشود تلفات نام دارد، بنابراین تلفاتی که به جهت راندمان پایین تجهیزات مصرف کننده برق ایجاد می‌شود، نیز در این بخش قرار می‌گیرد.

دو مقوله در باب تلفات مورد اشاره عبارت‌اند از:

- تلفات از دید شرکت‌های توزیع انرژی الکتریکی

تفاضل انرژی تحویلی و انرژی خروجی را اشاره می‌کند. اگر تلفات را از نظر اقتصادی مورد بررسی قرار دهیم، تلفات تفاضل انرژی خریداری شده و انرژی فروخته شده است؛ بنابراین از دید این شرکت‌ها تنها تلفاتی که در شبکه‌های برق به وجود می‌آیند، مهم‌اند. البته اگر تلفات توان هم به عنوان یک عامل در سیاست‌گذاری برای این شرکت‌ها لحاظ شده باشد، قیمت اقتصادی تلفات توان نیز باید در محاسبات مربوطه لحاظ شود.

- هزینه‌ی تحمیلی ناشی از تلفات توان

بزرگی هزینه سالیانه تلفات یک توزیع‌کننده حاکی از آن است که کاهش تلفات مزایای چشمگیری در پی خواهد داشت. این مقدار برای هر شرکت توزیع در ایران باید سالیانه محاسبه شود. اگر چه حذف تمام تلفات غیرممکن است، حذف بخشی از هزینه سالیانه تلفات می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی را به دنبال داشته باشد تا سرمایه‌گذاری برای بهبود بازدهی شبکه‌ها را توجیه کند.

بیان همه مزایا و میزان صرفه‌جویی‌هایی که توزیع‌کننده انرژی الکتریکی با پیاده کردن تدابیر اقتصادی موجه برای کاهش تلفات می‌تواند به آنها دست یابد، مشکل است. صرفه‌جویی‌های ممکن در هر منطقه، به شرایط خاص آن منطقه بسیار وابسته‌اند. بسیاری از توزیع‌کننده‌ها ممکن است شبکه‌هایی با اجزا و ساختار کم تلفات باشند و بنابراین احتمال دارد برای بهبود و کاهش تلفات جای بیشتری وجود نداشته باشد. از طرفی شرکت‌های توزیع دیگر، خصوصاً

آن‌ها که هنوز از تجهیزات و خطوط قدیمی در سرویس استفاده می‌کنند، ممکن است تنها با سرمایه‌گذاری اندکی بتوانند فرصت‌های زیادی برای کاهش تلفات و صرفه‌جویی به دست آورند.

عوامل مسبب افزایش تلفات انرژی در شبکه‌های توزیع عبارت‌اند از:

- عدم تناسب بین قدرت منطقه و ولتاژ بهینه مورد استفاده در شبکه‌های توزیع (طراحی نامناسب)
- افزایش تلفات ترانسفورماتور ناشی از عدم استفاده از ترانسفورماتور با قدرت مناسب و بالا بودن تلفات برخی یا انواع ترانسفورماتورهای مورد استفاده
- بالا بودن بار راکتیو شبکه و در برخی موارد غیر مؤثر بودن برخی از خازن‌های منصوبه در شبکه به علت خرابی آنها (عدم بازرسی مستمر خازن‌ها به منظور اطمینان از صحت و سقم کارکرد آنها)
- دوری پست‌های توزیع از مراکز ثقل بار
- تلفات ناشی از شبکه‌های تک فاز فشار ضعیف
- عدم تعادل بار فازها در شبکه فشار ضعیف
- مشکلات ناشی از سیستم ارت مانند بالا بودن مقاومت اهمی و پایین در نظر گرفتن مقطع سیم نول در شبکه نسبت به مقطع سیم فازها
- برخورد شاخه‌های مزاحم درختان با خطوط
- استفاده از مقره، برقگیر و برخی از ایزولاتورها و تجهیزات شبکه با کیفیت نامناسب
- عدم شستشوی به موقع مقره‌های خطوط و ترانسفورماتورها در مناطق با آلودگی نسبتاً بالا
- وجود هادی با مقطع نادرست در شبکه‌های فشار متوسط و فشار ضعیف
- طولانی بودن طول کابل سرویس برخی از مشترکین و غیر اصولی اداره کردن آنها
- برقراری اتصالات غیراصولی شامل جمپرها، اتصالات کابل به شبکه هوایی، انشعابات، پایه‌های فیوزها و غیره
- غیرفنی دایر شدن سیم‌کشی‌های داخلی منازل، مراکز عمومی، کارخانه‌ها و...
- خوردگی و فرسودگی شبکه در مناطق آلوده
- عدم رعایت فواصل مجاز در هم‌جواری کابل‌ها

- اشکالات موجود در کنتورها و دستگاه‌های اندازه‌گیری مشترکین
- وجود برق‌های غیرمجاز به ویژه در مناطق حاشیه شهر

فرمول‌بندی تابع هدف

چالش اصلی در این مرحله‌ی تکنیکی بر معرفی تابع هدف مسئله است. با توجه چهار پارامتر قابلیت اطمینان و تلفات توان تعریف شده در تابع هدف دارای مقادیر بسیار متفاوت از لحاظ کمی‌اند، از تکنیک نرمالیزه کردن برای گنجاندن این پارامترها در تابع هدف استفاده می‌شود. برای این منظور، مقادیر پارامترهای سه‌گانه‌ی تابع هدف به مقادیر قبل از جابجایی تقسیم می‌شود. با این تکنیک، هر پارامتر براساس مقداری منطقی و علمی نرمالیزه می‌شود.

(۸-۳)

$$OF = \sum_{k=1}^{ny} \left\{ \frac{SAIDI_k}{SAIDI_0} + \frac{SAIFI_k}{SAIFI_0} + \frac{CENS_k}{CENS_0} + \frac{MAIFI_k}{MAIFI_0} + \frac{Loss_k}{Loss_0} \right\}$$

که در آن، اندیس‌های k و صفر به ترتیب مقادیر بعد و قبل از جابجایی‌اند. در برخی مراجع دیده می‌شود که از ضرائب وزنی^۱ برای حل چنین مسائلی استفاده می‌شود که با توجه به مقداردهی این ضرائب توسط کاربر (با جمع ضرائب برابر ۱)، روش منطقی برای حل چنین مسائلی نبوده و عملاً تأثیر پارامترها با مقادیر کمتر در تابع هدف کاهش می‌یابد. حال آنکه در تکنیک نرمالیزه کردن، تأثیر هر سه پارامتر روی تابع هدف یکسان است.

قیود حاکم بر مسئله

شرایط حاکم بر مسئله عمدتاً شامل محدودیت‌های بهره‌برداری و مسائلی است که باید در رابطه با کیفیت توان رعایت شود. مسئله ما شامل یک سری قیود مساوی و نامساوی می‌باشد. قیود نامساوی مربوط به ولتاژ شین‌ها، جریان خطوط و حداکثر توان تزریقی به هر شین می‌باشد که باید در محدوده خاصی قرار بگیرند. قید مساوی هم شامل معادلات پخش بار است که باید تمام متغیرهای سیستم در آن صدق کنند.

¹ Weighting Factor

شرط همگرایی پخش بار

رعایت پخش بار مرسوم اولین قیدی است که بایستی رعایت گردد، صحت پخش بار اولین قدم در مسئله جایابی بهینه خازن و DG است. هرچند رعایت پخش بار در حل مسائل سیستم قدرت بدیهی به نظر می‌رسد اما بیان آن نشان دهنده اهمیت آن است. روابط (۳-۹) و (۳-۱۰) روابط پخش بار برای حالت اکتیو و راکتیو را نشان می‌دهد.

(۳-۹)

$$P_{gi} - P_{di} - V_i \sum_{j=1}^N Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0$$

(۳-۱۰)

$$Q_{gi} - Q_{di} - V_i \sum_{j=1}^N Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0$$

محدوده ولتاژ و توان

با جایابی، مقدار ولتاژ هر شینه بایستی در محدوده معقولی تغییر کند، ولتاژ شینه کمتر از کمترین ولتاژ تعریف شده به معنای عدم تأثیر پخش مناسب بانک‌های خازنی و واحدهای تولید پراکنده، از لحاظ اندازه و ظرفیت، در بین شینه‌هاست و مقدار بیشتر ولتاژ از کران بالای تعریف شده مشکلات اضافه ولتاژ را ایجاد می‌کند. پس رعایت رابطه (۳-۱۱) متضمن تغییر ولتاژ در یک بازه مقبول، به‌عنوان یکی از اهداف جایابی خازن و DG، می‌باشد.

(۳-۱۱)

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max}, i = 1, \dots, N$$

با جایابی می‌خواهیم، تلفاتی که بین شینه و از طریق خطوط در حال سیلان است را در حد معقولی نگهداریم، رابطه (۳-۱۲) این محدوده را نشان می‌دهد.

(۳-۱۲)

$$P_{ij}^{\min} \leq P_{ij} \leq P_{ij}^{\max}, i = 1, \dots, N$$

ظرفیت نصب شده

حداکثر ظرفیت خازن نصب شده باید از بار راکتیو موجود در شبکه کمتر یا مساوی باشد، یعنی نباید خازن نصب شده چنان زیاد باشد که شبکه از حالت سلفی به خازنی رفته و رفتار خازنی از خود نشان دهد. این مفهوم در رابطه (۳-۱۳) ارائه شده است.

(۳-۱۳)

$$Q_c^{Total} \leq Q_L, Q_c^{Total} = \sum_{i=1}^{N_c} Q_i$$

در روابط فوق،

V_i ولتاژ شینه i

P_{ij} عبور توان اکتیو از شینه i به j

Q_{gi}, P_{gi} : تولیدات توان اکتیو و راکتیو در شینه i

Q_{di}, P_{di} : بارهای اکتیو و راکتیو در شینه i

V, δ : اندازه‌ها و زوایای ولتاژ شینه‌ها

Y_{ij}, θ : درایه‌های ماتریس admittانس شینه، زاویه درایه‌های admittانس

Q_c^{Total} : وار متصل شده کل توسط بانک‌های خازنی برای شبکه توزیع شعاعی

Q_L^{Total} : بارهای راکتیو در شبکه توزیع شعاعی

هوش ذرات

هوش جمعی^۱ خاصیتی است سیستماتیک که در این سیستم، عامل‌ها به طور محلی با هم همکاری می‌نمایند و رفتار جمعی تمام عامل‌ها باعث یک همگرایی در نقطه‌ای نزدیک به جواب بهینه سراسری می‌شود. نقطه قوت این الگوریتم عدم نیاز به یک کنترل سراسری می‌باشد. هر ذره (عامل) در این الگوریتم‌ها خودمختاری نسبی دارد که می‌تواند در سراسر فضای جواب‌ها

¹ Swarm Intelligent

حرکت کند و می‌بایست با سایر ذرات (عامل‌ها) همکاری داشته باشد. دو الگوریتم مشهور هوش جمعی، بهینه‌سازی جرگه مورچگان و بهینه‌سازی توده ذرات می‌باشند. از هر دو این الگوریتم‌ها می‌توان برای تعلیم شبکه‌های عصبی بهره برد.

الگوریتم PSO یک روش سراسری کمینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان با مسائلی که جواب آنها یک نقطه یا سطح در فضای D بعدی می‌باشد، برخورد نمود. در این چنین فضایی، فرضیاتی مطرح می‌شود و یک سرعت ابتدایی به آنها اختصاص داده می‌شود، همچنین کانال‌های ارتباطی بین ذرات در نظر گرفته می‌شود. سپس این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند و نتایج حاصله بر مبنای یک «ملاک شایستگی» پس از هر بازه‌ی زمانی محاسبه می‌شود. با گذشت زمان، ذرات به سمت ذراتی که دارای ملاک شایستگی بالاتری هستند و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند، شتاب می‌گیرند. علی‌رغم اینکه هر روش در محدوده‌ای از مسائل به خوبی کار می‌کند، این روش در حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته موفقیت بسیاری از خود نشان داده است.

در سال 1995 کندی^۱ و ابرهارت^۲ در [۷۴] برای اولین بار PSO به عنوان یک روش جستجوی غیر قطعی برای بهینه‌سازی تابعی مطرح گشت، این الگوریتم از حرکت دسته‌جمعی پرندگانی که به دنبال غذا می‌باشند الهام گرفته است.

گروهی از پرندگان در فضایی به صورت تصادفی دنبال غذا می‌گردند. تنها یک تکه غذا در فضای مورد بحث وجود دارد. هیچ یک از پرندگان محل غذا را نمی‌دانند. یکی از بهترین استراتژی‌ها می‌تواند دنبال کردن پرنده‌ای باشد که کمترین فاصله را تا غذا داشته باشد. این استراتژی در واقع جانمایه الگوریتم است. هر راه حل که به آن یک ذره گفته می‌شود، در الگوریتم معادل یک پرنده در الگوی حرکت جمعی پرندگان می‌باشد. هر ذره یک مقدار شایستگی دارد که توسط یک تابع شایستگی محاسبه می‌شود. هر چه ذره در فضای جستجو به هدف - غذا در مدل حرکت پرندگان نزدیک‌تر باشد، شایستگی بیشتری دارد. همچنین هر ذره دارای یک سرعت است که هدایت حرکت ذره را بر عهده دارد. هر ذره با دنبال کردن ذرات بهینه در حالت فعلی، به حرکت خود در فضای مسئله ادامه می‌دهد. به این شکل است که گروهی از ذرات PSO آغاز کار به صورت تصادفی به وجود می‌آیند و با به‌روز کردن نسل‌ها سعی در یافتن راه

¹ Kennedy

² Eberhart

حل بهینه می‌نمایند. در هر گام، هر ذره با استفاده از دو بهترین مقدار به روز می‌شود. اولین مورد، بهترین موقعیتی است که تاکنون ذره موفق به رسیدن به آن شده است. موقعیت مذکور شناخته و نگهداری می‌شود. بهترین مقدار دیگر با نام توسط الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهترین موقعیتی است که تاکنون توسط جمعیت ذرات بدست آمده است. پس از یافتن بهترین مقادیر، سرعت و مکان هر ذره به روز می‌شود.

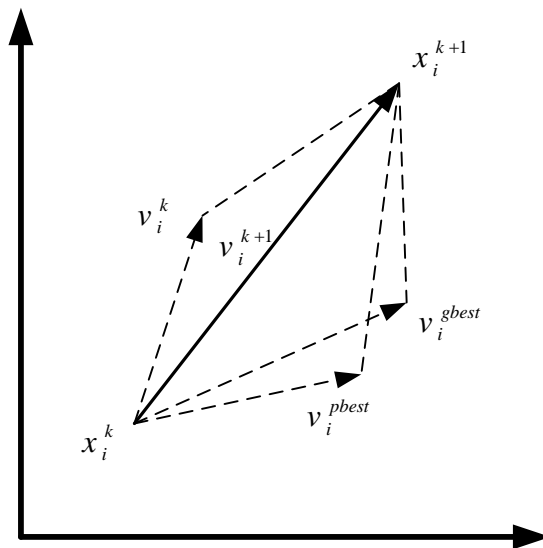
مفهوم PSO

ایده‌ی اصلی الگوریتم PSO مبتنی بر جمعیتی است که اجتماع^۱ نامیده می‌شود. اجتماع شامل افرادی است که هر عضو آن را یک ذره^۲ می‌نامند. هر ذره در اجتماع، نشان‌دهنده‌ی یک پاسخ بالقوه مسئله در نظر گرفته می‌شود. هر ذره، از طریق فضای جستجوی D بعدی با یک سرعت تصادفی حرکت می‌کند.

مفهوم پایه‌ی PSO در شکل (۳-۶) نشان داده شده است. هر ذره، سرعت و وضعیت خودش را تجربه‌ی پرواز خود و باقی ذرات را به روز می‌کند. اگر هر ذره که به آن ذره‌ی i اطلاق می‌شود، به صورت تصادفی در فضای جستجوی دو بعدی در نقطه‌ی (x_i^k) قرار گیرد، ذره از طریق فضای جستجوی مسئله با یک سرعت تصادفی (v_i^k) پرواز می‌کند. ذره‌ی باقی‌مانده، بهترین وضعیت حاصل تاکنون بوده و به عنوان $(pbest_i^k)$ ذخیره می‌شود. سپس، هر ذره اطلاعاتش را با ذره‌ی مجاور، تسهیم می‌کند؛ به عبارت دیگر، هر ذره، بهترین وضعیتش را با بهترین وضعیت بدست آمده توسط سایر ذرات، مقایسه می‌کند. سرانجام، هر ذره، وضعیتش را در کل اجتماع به عنوان $gbest^k$ ذخیره می‌کند.

¹ Swarm

² Particle



شکل (۳-۶): مفهوم پایه‌ی الگوریتم PSO

عناصر اصلی الگوریتم PSO

- وضعیت ذره x_i

پاسخ محتمل نشان داده شده در بردار D بعدی، $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}, \dots, x_{iD})$

- ذره

گروهی از ذرات که به صورت مقاردهی اولیه شده که مایل به با هم جمع شدن به صورت حرکت به سمت وضعیت بهترین نقطه‌ی ممکن.

- سرعت ذره v_i

سرعت پرواز ذره i ام در فضای جستجوی D بعدی.

- وزن اینرسی w

پارامتر کنترلی که میزان تأثیر سرعت قبلی روی سرعت فعلی ذره i ام را کنترل می‌کند.

- ثابت شتاب C_1 و C_2

این پارامترهایی که ذره‌ی λ م را به سمت وضعیت‌های $gbest_i$ و $pbest_i$ می‌کشد.

- بهترین وضعیت کلی $gbest$

بهترین وضعیت مواجه شده توسط تمامی ذرات.

- معیار توقف

شرایطی که فرآیند جستجو به ازای پاسخ‌های بهینه متوقف می‌شود.

اجرای الگوریتم PSO

اجرای الگوریتم PSO را می‌توان با گام‌های زیر بیان کرد [۷۴]:

۱. مقداردهی اولیه‌ی تصادفی یک ذره از اجتماع در فضای جستجوی D بعدی:

نحوه‌ی کدبندی اولین گام، در شکل (۳-۷) قابل مشاهده است.

```
for each particle
  initialize particle
end
```

شکل (۳-۷): شبه‌کد گام ۱

الگوریتم PSO، الگوریتمی مبتنی بر جمعیت است، بدین معنا که چندین ذره در تلاش برای یافتن نقطه‌ی بهینه‌اند. گام اول تولید تصادفی جمعیت بر اساس بیشترین تعداد ذره که به آن اندازه‌ی جمعیت می‌گویند، می‌باشد. نوعاً دامنه‌ی ذرات بین ۲۰ تا ۴۰ است، اما برای غالب مسائل ۱۰ ذره، به اندازه‌ی کافی نتایج معقولی ارائه می‌دهد. برای حل مسائل خاص و پیچیده، می‌توان ۱۰۰ یا ۲۰۰ ذره تعیین کرد. الگوریتم بایستی به گونه‌ای نوشته شود که آن ذرات را در داخل محدوده‌ی فضای جستجو انتخاب کند. هر ذره دارای ویژگی‌های زیر است:

به‌منظور مقداردهی اولیه یک ذره بین دو محدوده، رابطه‌ی زیر بایستی بکار رود:

(۳-۱۴)

$$Rand(0,1) \times (b_u - b_i) + b_i$$

که در آن، $\text{Rand}(0,1)$ ، عدد تصادفی بین صفر و یک را نشان می‌دهد. b_u مقدار کران بالای محدوده و b_i مقدار کران پائین محدوده است. توجه کنید که اندازه جمعیت، در طول فرآیند بهینه‌سازی تغییر نمی‌کند.

۲. ارزیابی برازندگی کل اجتماع:

```
do
  for each particle
    calculate fitness value
    if the fitness value is better than the best fitness value in history
      set current value as the new personal best
end
```

شکل (۳-۸): شبه‌کد گام ۲

هدف از مقدار برازندگی ایجاد مقدار معنی‌دار، قابل ارزیابی و قابل مقایسه برای یک ارزیابی کیفی است. نتیجه بهینه‌سازی نشان می‌دهد که ذره بکار گرفته شده تا چه حد خوب یا بد بوده است. بعد از ایجاد جمعیت، مقدار برازندگی بایستی به ازای هر ذره محاسبه شود. هر ذره دارای یک تناسب است که آن را مقدار «بهترین جزء» می‌نامند و اغلب به صورت $pbest$ می‌گویند. این مقدار دارای بهترین مقدار برازندگی ذره بدست آمده تاکنون است. بعد از محاسبه‌ی مقدار برازندگی، الگوریتم آن را با بهترین ذره مقایسه می‌کند. اگر برازندگی فعلی بهتر باشد، آن بهترین ذره جدیدی را ایجاد خواهد کرد.

۳. ثبت بهترین وضعیت هر ذره، $pbest_i$ و بهترین موقعیت کلی، $gbest$:

```
choose particle with best fitness value of all particle as the global best
```

شکل (۳-۹): شبه‌کد گام ۳

بهینه‌ساز اجتماع ذرات، مقدار بهینه‌ی کلی را دنبال می‌کند. بهترین کلی در واقع بهترین برازندگی حاصل از تمامی مقادیر تاکنون است. بهینه‌ساز، از طریق بهترین ذرات پیگیری شده و $gbest$ برابر با بهترین $gbest$ قرار داده می‌شود. از این رو، الگوریتم می‌داند که ذره بهترین جمعیت در هر لحظه است و تمامی ذرات قادر به حرکت آرام به سمت بهترین همسایه هستند.

۴. به روزرسانی بردار سرعت و بردار موقعیت هر ذره:

```
for each particle
  calculate particle velocity
  update particle position
end
```

شکل (۳-۱۰): شبه‌کد گام ۴

این گام برای هر ذره واجب بوده و شامل دو بخش، سرعت و موقعیت است. هر ذره، سرعت و وضعیت خود را بر اساس روابط زیر به روز می‌کند:

(۳-۱۵)

$$v_{id}^{k+1} = wv_{id}^k + c_1r_1(pbest_i^k - x_{id}^k) - c_2r_2(gbest_i^k - x_{id}^k)$$

(۳-۱۶)

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1}$$

که در آن،

w : وزن اینرسی

C_1, C_2 : ثابت‌های شتاب

r_1, r_2 : دو عدد تصادفی در محدوده‌ی $[0, 1]$

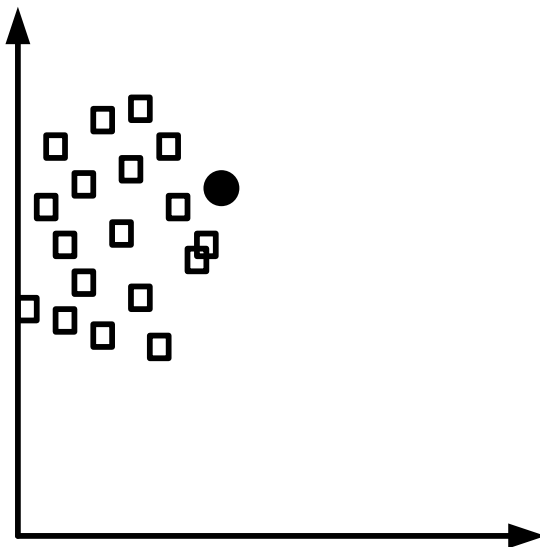
$pbset_i^k$: بهترین موقعیت هر ذره i در تکرار k ام

$$pbset_i^k = (pbset_1^k, pbset_2^k, \dots, pbset_d^k, \dots, pbset_D^k)$$

$gbset_i^k$: بهترین موقعیت کلی در کل اجتماع

$$gbset_i^k = (gbset_1^k, gbset_2^k, \dots, gbset_d^k, \dots, gbset_D^k)$$

شکل (۳-۱۱) نحوه‌ی میل ذرات به نقطه‌ی بهینه را نمایش می‌دهد.



شکل (۳-۱۱): جمعیت بعد از چند تکرار در یک فضای دو بعدی

۵. تکرار گام‌های ۲-۴ تا ارضاء معیار توقف:

الگوریتم تا زمانیکه یک شرط معین برای توقف ارضاء شود، به کار خود ادامه می‌دهد. این شرط، می‌تواند یکی از موارد زیر باشد:

- رسیدن بیشترین تعداد تکرار
- رسیدن به بیشترین تکرار بعد از آخرین به روزسانی $gbest$
- حصول یک مقدار برازندگی از پیش تعریف شده
- به روزسانی سرعت نزدیک به صفر

بیشترین تعداد تکرار برای اجرای الگوریتم ساده‌ترین و رایج‌ترین معیار توقف است.

شبه‌کدهای الگوریتم PSO در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است.

```

for each particle
  initialize particle
end

do
  for each particle
    calculate fitness value
    if the fitness value is better than the best fitness value in history
      set current value as the new personal best
    end
  choose particle with best fitness value of all particle as the global best
end
for each particle
  calculate particle velocity
  update particle position
end
while maximum iteration

```

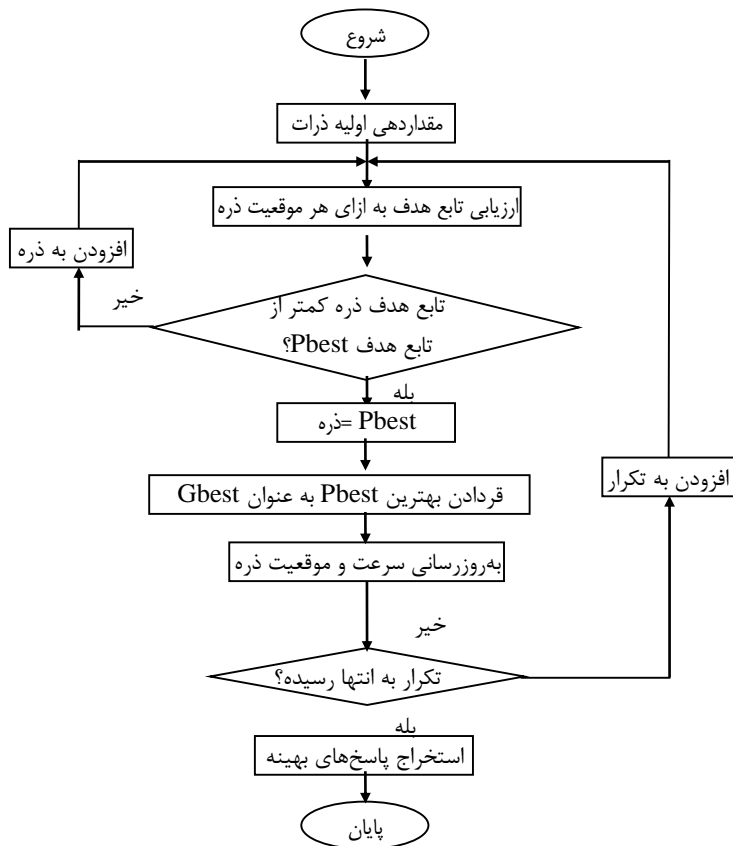
شکل (۳-۱۲): شبه‌کد الگوریتم PSO

مزایای الگوریتم PSO به سایر الگوریتم‌های تکاملی

الگوریتم PSO دارای مزایای زیر است [۷۴]:

- PSO یک تکنیک بهینه‌سازی بدون مشتق‌گیری است.
- PSO قادر به بهینه‌سازی هر نوع تابع هدفی (یعنی بدون محدب، غیرقابل تشخیص و ناپیوسته) است.
- PSO دارای پارامترهای کمی برای تنظیم است.
- PSO قادر به ادغام آسان با سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی است.
- PSO نیازی به جمعیت اولیه‌ی مناسب برای جستجوی پاسخ بهینه ندارد.
- PSO قادر به فرار از نقطه‌ی بهینه‌ی محلی است.

شکل (۳-۱۳)، فلوجارت نحوه‌ی بهینه‌سازی توسط الگوریتم PSO را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۳): فلوجارت نحوه‌ی بهینه‌سازی الگوریتم PSO [۷۴]

حل مسئله با استفاده از الگوریتم PSO

بعد از معرفی تجهیزات حفاظتی، تابع هدف و الگوریتم حل مسئله، بایستی نحوه‌ی کدبندی این مسئله را در محیط برنامه‌ی متلب بیان شود. از این رو، ۱۰ گام حل مسئله تعیین مکان تجهیزات در ادامه تقدیم می‌شود.

گام ۱. ورود اطلاعات

در گام اول بایستی، اطلاعات موردنیاز برای اجرای برنامه ارائه شود. به‌طورکلی، سه دسته اطلاعات مورد نیاز است که عبارت‌اند از: اطلاعات تجهیزات، اطلاعات شبکه و الگوریتم.

- اطلاعات تجهیزات

- تعداد ریکلوزر
- تعداد کات اوت فیوز
- تعداد رله‌ی ثانویه
- تعداد DG
- اطلاعات شبکه
 - مقاومت و راکتانس خط
 - ضریب تپ‌چنجر
 - تعداد گره
 - توان اکتیو باس‌ها
 - توان راکتیو باس‌ها
 - طول خط
- اطلاعات الگوریتم
 - بیشترین تکرار
 - تعداد تکرار
 - تعداد جمعیت
 - نرخ جهش
 - اندازه‌ی جمعیت
 - معیار انتخاب

گام ۲. ایجاد ماتریس سکشن‌ها

ماتریسی است دارای دو ستون که ستون اول شماره سکشن‌ها و شماره ستون دوم و هم‌ردیف با آن شماره آخرین سکشنی است که سیستم حفاظتی فرضی منصوبه در سکشن ستون اول تا آن سکشن حفاظت می‌کند. در این گام، مدت زمانی عیب‌یابی نیز لحاظ می‌گردد.

گام ۳. تشکیل ماتریس تصادفی

در این مرحله، جهت اجرای الگوریتم PSO ماتریس تصادفی با ابعاد اندازه جمعیت اولیه و تعداد پارامتر تولید می‌شود.

گام ۴. تشکیل ماتریس اطلاعات شبکه

ماتریسی با مقادیر توان، طول (خطا) تعداد مشترکین و زمان عیب‌یابی ناحیه‌های حفاظتی در این گام جهت استفاده در بهینه‌سازی تکمیل می‌گردد.

گام ۵. تشکیل ماتریس تعمیرات برای ناحیه‌های حفاظتی.

برای این منظور، ماتریس تعمیرات برای ناحیه‌های حفاظتی و ستونی و یا ردیفی کردن آن به نحوی که مشابه دیگر ماتریس‌ها (از نظر ابعاد) باشد، تشکیل می‌گردد.

گام ۶. اجرای الگوریتم PSO

عملگرهای الگوریتم PSO بر روی نسل‌های موجود اعمال می‌گردد تا جواب‌های بهتر شود. برای این منظور، سه عملگر انتخاب، تقاطع و جهش در این گام اجرا می‌شود.

گام ۷. بررسی ادوات

در این مرحله، با ایجاد ماتریسی جهت تشخیص تغذیه‌های فرعی و همچنین تشخیص نقاط تغذیه فرعی و لحاظ کردن آنها، انتخاب تجهیزات با توجه به اطلاعات موجود انجام می‌شود.

گام ۸. بررسی مقادیر پارامترهای شبکه

گام ۹. ایجاد بردارهایی بر اساس برای حالت تعمیرات و برای حالت عیب‌یابی گذارا و دائم.

گام ۱۰. محاسبه توان نهائی حفاظتی در تعمیرات.

گام ۱۱. دسته‌بندی هزینه‌ها و پارامترهای همراه آن

گام ۱۲. بررسی ارضاء شرط تعداد تکرار و بازگشت به گام ۴ در صورت عدم ارضاء.

گام ۱۳. استخراج خروجی‌های بهینه.

فصل چهارم

مطالعه‌ی موردی

مقدمه

بعد از فرمول‌بندی مسئله و ارائه مفهوم کلی تکنیک حل آن، در این فصل مطالعه موردی انجام می‌شود. برای این منظور، شبیه‌سازی روی شبکه ۶۹ شینه IEEE انجام می‌شود. اطلاعات مربوط به این شبکه، در پیوست الف قابل مشاهده است.

شایان ذکر آنکه در مطالعات انجام شده بر اساس سناریوها و حالت‌های متنوع، تمرکز اصلی روی بررسی رفتار سه پارامتر قابلیت اطمینان است. هر چند تابع هدف تعریف شده با استفاده از تکنیک نرمالیزه کردن کاملاً علمی بوده اما مطالعه صرفاً بر اساس مقادیر تابع هدف باعث می‌شود که از ماهیت پارامترهای تعریف شده و تأثیرگذاری آن روی تصمیم‌گیری‌های شرکت توزیع (فروشنده) و مصرف‌کنندگان (خریدار) چشم‌پوشی شود.

اساساً منافع فروشنده و خریدار کاملاً متفاوت از هم است. شرکت توزیع به عنوان فروشنده‌ی برق تمایل به فروش هر چه بیشتر برق به هر ترتیب دارد حتی اگر این فروش منجر به قطعی و کاهش رضایت مشتری شود. در واقع شرکت توزیع افزایش قراردادهای خود را در اولویت

قرار می‌دهد نه رضایت مشتری را. از این رو، برای شرکت توزیع کاهش CESN اهمیت دارد تا بهبود SAIDI و SAIFI؛ اما در مقابل مشتری قرار دارد که برای او چندان اهمیتی ندارد که شرکت توزیع به عنوان واسطه بین او و منبع اصلی برق (شبکه تولید) چقدر فروش دارد، برای او کیفیت برق اهمیت دارد. فروشنده‌ی برق خواهان دریافت برق با کمترین قطعی (SAIFI) و کوتاه‌ترین زمان قطعی (SAIDI) است و نه کاهش منافع از دست رفته فروش (CESN).

بنابراین با توجه به تضاد منافع بین فروشنده و خریدار و همچنین تعریف متفاوت فروشنده و خریدار از واژه "بهبود قابلیت اطمینان" در هر سناریو، بحث بر اساس تعداد تجهیزات جایابی شده و مقایسه پارامترهای قابلیت اطمینان در بین آنهاست.

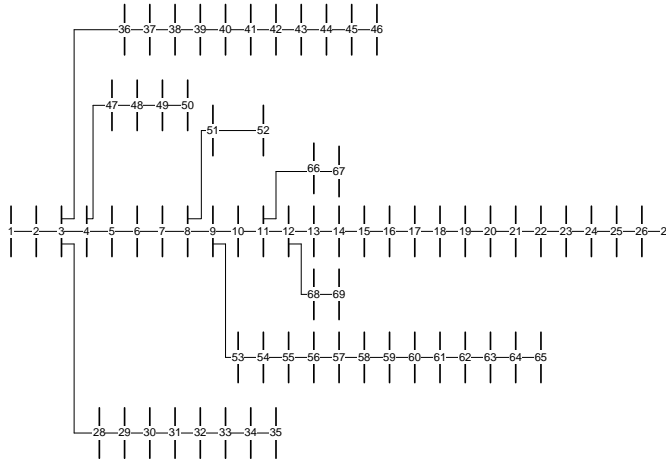
برای شبکه فوق چهار سناریو براساس تعداد تجهیزات جایابی شده طرح می‌شود که عبارت‌اند از:

- سناریو ۱: جایابی کمتر از پنج تجهیز
- سناریو ۲: جایابی پنج تجهیز
- سناریو ۳: جایابی شش تجهیز
- سناریو ۴: جایابی بیش از شش تجهیز

برای هر سناریو تعدادی حالت طرح می‌شود. هر حالت دارای چهار عدد است، این اعداد به ترتیب نشان دهنده تعداد ریکلوزر، رله ثانویه، کات اوت فیوز و DG است.

شبکه ۶۹ شینه IEEE

شبکه ۶۹ شینه استاندارد IEEE، اولین شبکه مورد مطالعه است. شکل (۴-۱)، دیاگرام تک خطی این شبکه را نمایش می‌دهد.



شکل (۱-۴): دیاگرام تک خطی شبکه ۶۹ شیبه IEEE

سناریو ۱: جایابی کمتر از پنج تجهیز

در اولین سناریو، تعداد تجهیزات کمتر از پنج واحد (یعنی یک، دو، سه و چهار واحد) جایابی می‌شود. نتایج حاصل از جایابی یک، دو، سه و چهار تجهیز در جدول (۱-۴) قابل مشاهده است.

جدول (۱-۴): نتایج جایابی براساس سناریوی ۱

حالت	CENS	SAIDI	SAIFI	MAIFI	تلفات	تابع هدف
۰۰۰۱	۵۱۲۸۰۵۶۹۱	۹۹,۳۸	۷۶,۰۰	۱۷,۰۰	۱۹۰,۸۱	۱,۳۱۹۷
۰۰۱۰	۳۰۳۵۸۵۵۵۷	۵۴,۷۹	۵۶,۱۷	۱۲,۵۶	۳۳۶,۸۸	۱,۴۸۴۰
۰۰۱۱	۲۷۲۶۳۳۴۲۴	۵۶,۱۷	۵۶,۱۷	۱۲,۵۶	۲۱۳,۷۴	۱,۱۰۵۵
۰۱۰۰	۳۴۵۳۵۲۰۹۷	۶۶,۳۰	۶۱,۵۶	۱۳,۷۷	۳۳۶,۸۸	۱,۵۴۹۵
۰۱۰۱	۳۵۱۰۷۷۰۶۶	۷۹,۰۵	۶۷,۰۱	۱۴,۹۹	۱۹۰,۷۸	۱,۱۶۹۲
۰۱۱۰	۲۸۲۲۷۴۷۴۲	۵۲,۶۶	۵۴,۶۵	۱۲,۲۲	۳۳۶,۸۸	۱,۴۶۴۱
۰۱۱۱	۲۴۳۰۶۸۷۰۷	۵۲,۶۶	۵۴,۶۵	۱۲,۲۲	۲۱۹,۹۹	۱,۱۰۰۶
۱۰۰۰	۳۲۸۹۸۸۵۴۹	۶۱,۰۵	۵۹,۳۹	۱۳,۲۸	۳۳۶,۸۸	۱,۵۲۲۰
۱۰۰۱	۲۸۹۰۱۲۵۴۴	۶۵,۳۹	۶۱,۲۶	۱۳,۷۰	۱۹۰,۷۸	۱,۰۸۹۰
۱۰۱۰	۲۱۱۹۵۹۸۲۸	۳۶,۳۱	۴۲,۹۹	۹,۶۱	۳۳۶,۸۸	۱,۳۴۹۵
۱۰۱۱	۲۰۷۵۲۷۰۲۷	۴۵,۶۱	۴۸,۹۵	۱۰,۹۴	۱۹۰,۷۸	۰,۹۵۹۵
۱۱۰۰	۲۰۵۴۱۱۲۸۱	۴۲,۷۵	۵۱,۹۳	۱۱,۶۱	۳۳۶,۸۸	۱,۳۹۸۵
۱۱۰۱	۲۱۱۳۰۶۹۶۹	۵۱,۸۱	۵۷,۳۸	۱۲,۸۳	۱۹۰,۷۸	۱,۰۱۰۲
۱۱۱۰	۲۳۵۳۶۰۳۱۵	۴۴,۷۱	۴۸,۰۴	۱۰,۷۴	۳۳۶,۸۸	۱,۳۹۹۱
۱۱۱۱	۱۸۳۸۰۲۶۱۲	۳۷,۳۰	۴۵,۵۳	۱۰,۱۸	۲۰۷,۶۲	۰,۹۶۶۹

با توجه به مقادیر جدول (۴-۱)، همان‌طور که انتظار می‌رفت، حالت ۱۱۱۱ بهترین پاسخ ممکن را داده است که با توجه به تعداد واحدهای جایابی شده، بدیهی به نظر می‌رسد. نکته قابل توجه به اینکه، حالت ۱۰۱۱ توانسته خود را تا نزدیکی حالت ۱۱۱۱ برساند. بدترین پاسخ ممکن را حالت ۰۱۰۰ ارائه کرده است. در جدول (۴-۲)، مکان (ظرفیت) تجهیزات جایابی شده در سناریو اول، فهرست شده است.

جدول (۴-۲): مکان (ظرفیت) تجهیزات جایابی شده در سناریو ۱

حالت	ریکلوزر	رله ثانویه	کات‌اوت فیوز	تولید پراکنده (اکتیو - راکتیو)
۰۰۰۱	-	-	-	۶۸ (۰,۶-۱)
۰۰۱۰	-	-	۴۱	-
۰۰۱۱	-	-	۴۱	۶۸ (۰,۵-۰,۷۵)
۰۱۰۰	-	۵۳	-	-
۰۱۰۱	-	۶۳	-	۶۸ (۰,۶-۱)
۰۱۱۰	-	۶۳	۴۱	-
۰۱۱۱	-	۶۳	۴۱	۵۲ (۰,۵-۰,۹۵)
۱۰۰۰	۴۷	-	-	-
۱۰۰۱	۵۲	-	-	۶۸ (۰,۶-۱)
۱۰۱۰	۳	-	۴۱	-
۱۰۱۱	۵۲	-	۳	۶۸ (۰,۶-۱)
۱۱۰۰	۱۳	۵۳	-	-
۱۱۰۱	۱۳	۶۳	-	۶۸ (۰,۶-۱)
۱۱۱۰	۵۲	۶۳	۳	-
۱۱۱۱	۲۳	۵۶	۴۱	۶۰ (۰,۴۵-۰,۹۵)

با توجه به نتایج جدول (۴-۲)، شینه‌های ۵۲، ۶۳، ۴۱ و ۶۸ به ترتیب محتمل‌ترین مکان‌ها برای نصب ریکلوزر، رله‌ی ثانویه، کات‌اوت فیوز و تولیدپراکنده است.

سناریو ۲: جایابی پنج تجهیز

در این سناریو، مجموع تعداد تجهیزات جایابی شده، پنج واحد است. مقادیر بهینه پارامترهای قابلیت اطمینان، تلفات توان و تابع هدف پنج تجهیز جایابی شده در جدول (۴-۳) ارائه شده است.

جدول (۴-۳): نتایج جایابی براساس سناریوی ۲

حالت	CENS	SAIDI	SAIFI	MAIFI	تلفات	تابع هدف
۱۱۱۲	۱۹۸۵۱۷۱۹۴	۵۹,۱۵	۵۷,۱۸	۱۲,۷۹	۱۱۴,۲۵	۰,۷۹۲۹
۱۱۲۱	۱۹۲۶۴۶۳۱۴	۴۲,۱۳	۴۶,۴۰	۱۰,۳۸	۲۰۶,۲۳	۰,۹۸۰۸
۱۲۱۱	۱۰۳۷۲۳۲۰۸	۲۴,۳۸	۳۵,۲۳	۷,۸۸	۲۰۹,۴۸	۰,۸۶۷۱
۲۱۱۱	۱۵۹۰۷۸۵۳۰	۳۵,۳۷	۴۶,۴۱	۱۰,۳۸	۲۰۲,۹۱	۰,۹۴۱۹

با در نظر گرفتن نتایج جدول (۴-۳)، حالت‌های ۱۱۱۲ و ۱۱۲۱ به ترتیب بهترین و بدترین پاسخ ممکن را ارائه می‌کنند. کاهش چشمگیر MAIFI در حالت ۱۲۱۱ قابل توجه است. با وجود اینکه، به جز در حالت ۱۱۱۲، در بقیه حالات توانی به شبکه تزریق نمی‌شود اما باز هم تلفات توان به صورت جزئی در حال تغییر است. مکان بهینه تجهیزات حفاظتی و همچنین مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در سناریو دوم در جدول (۴-۴) قابل مشاهده است.

جدول (۴-۴): مکان (ظرفیت) تجهیزات جایابی شده در سناریو ۲

حالت	ریکلوز	رله ثانویه	کاتاوت	تولید پراکنده (اکتیو-اکتیو)
۱۱۱۲	۵۲	۶۳	۶	۶۳(-۱)۰,۶، ۶۸(۰,۹۵)-۰,۶
۱۱۲۱	۳	۵۳	۱۱,۱۴	۶۸(۰,۹۵)-۰,۴
۱۲۱۱	۱۳	۴۲,۵۳	۳	۶۸(۰,۹)-۰,۴
۲۱۱۱	۱۳,۴۷	۱۶	۴	۶۸(۰,۹)-۰,۵

سناریو ۳: جایابی شش تجهیز

در سومین سناریو، در مجموع شش تجهیز در شبکه ۶۹ شینه IEEE مورد جایابی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از سناریوی ۳ در جدول (۴-۵) فهرست شده است.

جدول (۴-۵): نتایج جایابی براساس سناریوی ۳

حالت	CENS	SAIDI	SAIFI	MAIFI	تلفات	تابع هدف
۱۱۲۲	۲۴۶۲۳۳۸۳۰	۵۲,۲۳	۵۴,۶۴	۱۲,۲۲	۱۹۲,۲۳	۱,۰۱۸۶
۱۲۱۲	۱۳۵۰۸۰۵۸۸	۳۳,۳۸	۴۰,۹۶	۹,۱۶	۱۸۶,۸۳	۰,۸۵۶۹
۱۲۲۱	۱۵۵۱۵۶۰۲۴	۴۱,۷۷	۴۶,۰۲	۱۰,۲۹	۲۰۴,۴۰	۰,۹۵۷۲
۲۱۱۲	۱۰۰۰۵۹۹۸۶	۳۹,۵۰	۵۳,۸۰	۱۲,۰۳	۱۶۹,۳۳	۰,۸۵۷۶
۲۱۲۱	۱۶۲۴۸۲۳۲۴	۳۹,۹۴	۵۳,۱۶	۱۱,۸۹	۲۰۸,۶۳	۰,۹۹۸۸
۲۲۱۱	۱۰۸۴۹۴۸۲۴	۲۸,۵۰	۴۳,۵۴	۹,۷۴	۲۱۲,۱۷	۰,۹۲۱۰

در نظر گرفتن آنچه در (۴-۵) ارائه شده می‌توان گفت که حالت ۱۱۲۲ بدترین حالت ممکن و تنها حالتی است که مقدار تابع هدف از یک تجاوز کرده است. حالت ۲۲۱۱ نیز بهترین پاسخ

ممکن را ارائه می‌کند. این حالت، بهترین پاسخ‌های ممکن را برای SAIFI، MAIFI و تلفات توان تولید می‌کند. جدول (۴-۶)، مکان (ظرفیت) تجهیزات جایابی شده براساس مفهوم سومین سناریو را نمایش می‌دهد.

جدول (۴-۶): مکان (ظرفیت) تجهیزات جایابی شده در سناریو ۳

حالت	ریکلوزر	رله ثانویه	کات‌اوت فیوز	تولید پراکنده
۱۱۲۲	۱۱	۴۷	۱۴،۳	۶۳(۰،۴۵-۰،۶)، ۶۰(۰،۴۵-۰،۴)
۱۲۱۲	۲	۶۳،۵۳	۴۱	۲۶(۰،۲۵-۰،۸۵)، ۵۸(۰،۴-۰،۴۵)
۱۲۲۱	۵۲	۶۳،۵۳	۱۴،۳	۲۶(۰،۵-۰،۹۵)
۲۱۱۲	۱۱،۴۷	۵۶	۴۱	۶۸(۰،۱-۰،۹)، ۵۸(۰،۲۵-۰،۷)
۲۱۲۱	۱۱،۵۳	۴۲	۱۴،۱۶	۶۰(۰،۵۵-۰،۸۵)
۲۲۱۱	۱۱،۱۳	۵۳،۴۲	۶	۵۸(۰،۴۵-۰،۸۵)

با دقت در نتایج جدول (۴-۶) می‌توان گفت که محتمل‌ترین مکان برای نصب ریکلوزر، رله ثانویه، کات اوت فیوز و DG به ترتیب شینه‌های ۱۱، ۵۳، ۶۳ و ۵۸ است.

سناریو ۴: جایابی بیش از شش تجهیز

آخرین سناریو، جایابی بیش از شش تجهیز است. مقادیر بهینه پارامترهای قابلیت اطمینان، تلفات توان و تابع هدف بیش از شش تجهیز جایابی شده در جدول (۴-۷) ارائه شده است.

جدول (۴-۷): نتایج جایابی براساس سناریو ۴

حالت	CENS	SAIDI	SAIFI	MAIFI	تلفات	تابع هدف
۱۲۲۲	۱۴۴۸۵۲۵۱	۳۴،۲۷	۴۱،۷۱	۹،۳۳	۱۹۵،۳۰	۰،۸۹۱۱
۲۱۲۲	۱۰۸۵۴۴۲۸۵	۳۳،۱۰	۴۰،۲۰	۸،۹۹	۱۷۰،۲۳	۰،۷۹۲۷
۲۲۱۲	۷۹۱۴۵۸۴۲	۲۶،۶۴	۳۷،۸۱	۸،۴۵	۱۴۱،۹۴	۰،۶۷۲۱
۲۲۲۱	۱۰۹۹۹۰۹۸۰	۲۰،۰۸	۲۹،۲۱	۶،۵۳	۲۵۳،۵۶	۰،۹۶۵۸
۲۲۲۲	۱۱۴۲۷۸۸۷۴	۲۴،۲۸	۳۳،۵۵	۷،۵۰	۲۷۷،۱۳	۱،۰۶۵۰

از جدول (۴-۷) می‌توان گفت که بهترین پاسخ در حالت ۲۲۱۲ بدست می‌آید، درحالی‌که بدترین پاسخ در حالت ۲۲۲۲ حاصل می‌شود؛ به عبارت دیگر، با وجود اینکه انتظار می‌رفت که افزایش واحدها منجر به بهبود پاسخ شود، باعث تخریب آن شده است. این به دلیل، اشباع شدن شبکه است. به عبارت ساده‌تر، تعداد تجهیزات جایابی شده بیش از نیاز و بار شبکه است. پس فرآیند جایابی متوقف می‌شود. مکان بهینه تجهیزات حفاظتی و همچنین مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در سناریو چهارم در جدول (۴-۸) قابل مشاهده است.

جدول (۴-۸): مکان (ظرفیت) تجهیزات جایابی شده در سناریو ۴

تولید پراکنده	کاتاوت فیوز	رله ثانویه	ریکلوزر	حالت
$(۰,۳۵ - ۰,۸)۲۶, (۰,۵۵ - ۱)۶۸$	۴۱,۴	۵۶,۵۳	۲	۱۲۲۲
$(۰,۲۵ - ۱)۵۸, (۰,۲۵ - ۰,۴)۶۸$	۱۴,۴	۴۲	۸۶,۷۸	۲۱۲۲
$(۰,۶ - ۰,۹۵)۵۸, (۰,۰۵ - ۰,۸۵)۶۸$	۶	۶۳,۵۳	۲۲,۲	۲۲۱۲
$(۰,۱ - ۰,۷)۶۰$	۲۵,۱۴	۴۲,۱۶	۷۸,۲	۲۲۲۱
$(۰,۵۵ - ۰,۵۹۵)۲۷, (۰,۳ - ۰,۸)۲۶$	۶,۴	۴۲,۱۶	۸۶,۳۸	۲۲۲۲

از جدول فوق می‌توان گفت که شینه‌های ۲، ۴۲، ۴ و ۶۸ محتمل‌ترین مکان برای نصب ریکلوزر، رله، فیوز و DG است.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتیجه‌گیری

با وجود مطالعات زیادی که در مورد طراحی حفاظتی شبکه توزیع انجام شده است، این کتابداری پیشرفت و برتری‌های محسوس و چشمگیری نسبت به کارهای قبلی است.

- به چالش کشیدن مطالعات قبلی

با توجه به سطح کار و نتایج ارائه شده در این کتاب، می‌توان ادعا کرد که بسیاری از کارهای قبلی را می‌توان تنها کاری تلقی کرد که چندان قابلیت به‌کارگیری در دنیای واقعی را ندارند.

- تأثیر حضور انواع تجهیزات: در این طرح، سه تجهیز رایج در طراحی حفاظتی شبکه توزیع به همراه منابع تولید پراکنده مورد جایابی قرار گرفته است. انجام این حجم از جایابی نه تنها دارای پیچیدگی بسیار زیادی است بلکه تأثیرگذاری حضور این تعداد از تجهیزات بر دیگری باعث شده بحث اجرای فنی آن نیز بسیار مشکل باشد؛ اما نتیجه کار منجر به یک طرح دقیق شده است.

○ تأثیر تعیین تعداد تجهیزات: در غالب مقالات، تعداد تجهیزات توسط الگوریتم تعیین می‌شود. هر چند این تعداد یابی از لحاظ منطق ریاضی و فهم ماشینی صحیح است اما از نظر مهندسی چندان رایج و صحیح نیست. چراکه در دنیای واقعی، معمولاً بودجه‌ی مشخصی برای طرح تعریف می‌شود و اجرای پروژه براساس این بودجه انجام می‌شود و نه الزاماً نتایج الگوریتم.

• تابع چند هدفه

غالب مطالعات انجام شده در زمینه‌ی جایابی بهینه تجهیزات حفاظتی و تولید پراکنده، تابع هدف را در ساده‌ترین حالت ممکن در نظر می‌گیرند؛ اما در این تحقیق، با در نظر گرفتن چهار پارامتر قابلیت اطمینان و تلفات توان، تابع چند هدفه‌ی جدیدی تعریف شده است.

• مبنای علمی انتخاب پارامترهای قابلیت اطمینان

پارامترهای قابلیت اطمینان با دو معیار انتخاب شده‌اند:

○ در نظر گرفتن منافع فروشنده (CENS) و خریدار (SAIDI، SAIFI، MAIFI)

○ در نظر گرفتن خطای گذرا (MAIFI) و ماندگار (SAIDI، SAIFI، CENS)

پیشنهادات

• استفاده از الگوریتم PSO بهبودیافته

با وجود قابلیت‌های فراوان الگوریتم اجتماع ذرات، این الگوریتم نیز مانند تمامی تکنیک‌های هوشمند، نیاز به بهبود دارد.

• جایابی همزمان با خازن

خازن و تولیدات پراکنده از لحاظ کمینه‌سازی تلفات توان هم‌پوشانی دارند اما تولید پراکنده توانائی برجسته‌ی دیگری (به‌ویژه بهبود قابلیت اطمینان شبکه) را دارد. چنین ویژگی‌هایی باعث شده که بحث جایابی همزمان تولید پراکنده و بانک خازنی، به یکی از مباحث مورد علاقه‌ی طراحان شبکه تبدیل شود.

منابع و مراجع

- [1] Q.H. Wu, Lu Z., JiT.Y., Protective relaying of power systems using mathematical morphology, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009.
- [2] HorowitzS.H., PhadkeA.G., Power system relaying, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2008.
- [3] HewitsonL., BrownM., RameshB., Practical power systems protection, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 2004.
- [4] MulerttCh., Introduction to protection by fuses, Ferraz Shawmut, 2006.
- [5] J.M. Gers, HolmesE.J., Protection of Electricity Distribution, Networks- 2nd Edition, The Institution of Electrical Engineers, London,United Kingdom, 2004.
- [6] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Soder, "Distributed generation: A definition," Electric Power Systems Research, vol. 57, pp. 195-204, 2001.
- [7] A.-M. Borbely and J. F. Kreider, Distributed Generation - The Power Paradigm for the New Millennium. CRC Press, 2001.
- [8] Mohamed El Chehaly, Power System Stability Analysis with a High Penetration of Distributed Generation, Thesis of Master, Department of Electrical and Computer Engineering, McGill University, Montréal, Québec, Canada February 2010.
- [9] C. Abbey, F. Katiraei, C. Brothers, L. Dignard-Bailey and G. Joos, "Integration of distributed generation and wind energy in Canada," in Proc. IEEE PES General Meeting 2006,
- [10] J. A. Lopes, N. Hatziargyriou, J. Mutale, P. Djapic and N. Jenkins, "Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities," Electr. Power Syst. Res., vol. 77, pp. 1189-1203, 2007.
- [11] M. Rabinowitz, "Power systems of the future. 4," IEEE Power Eng. Review, Vol.20, 2000, pp. 4-9.
- [12] Ontario Power Authority, "Integrated Power System Plan " vol. 2011, pp. 34, August 29, 2008, 2008. <http://www.powerauthority.on.ca/integrated-power-system-plan>

- [13] V. Patel and M. Coble, The New ERA in Distributed Generation: Delivering Resources to Every Corner of the World, Reinventing Energy, Section 2, 2008.
- [14] S.P. Chowdhury, S. Chowdhury, P.A. Crossley "Islanding Protection of Active Distribution Networks with Renewable Distributed Generators: A comprehensive survey" ELSEVIER Electric Power Systems Research, Volume 79, Issue 6, June 2009, Pages 984-992.
- [15] P. Barker, and R. W. De Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1-Radial power systems," in Proc., IEEE Power Eng. Soc. Summer Power Meeting, 2003, pp. 1645–1658.
- [16] S. Brahma, A. Girgis, "Microprocessor-Based Reclosing to Coordinate Fuse and Recloser in a System with High Penetration of Distributed Generation", Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, New York, U.S.A., 2001, PP. 453-458.
- [17] Popović D.H., Greatbank J.A., Begović M., Pregelj A., Placement of distributed generators and reclosers for distribution network security and reliability, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2005, 27(5-6), 398-408.
- [18] Levitin G., Mazal-Tov Sh., Elmakis D., Optimal sectionalizer allocation in electric distribution systems by genetic algorithm, Electric Power Systems Research, 1994, 31(2), 97-102.
- [19] Levitin G., Mazal-Tov Sh., Elmakis D., Genetic algorithm for optimal sectionalizing in radial distribution systems with alternative supply, Electric Power Systems Research, 1995, 35(3), 149-155.
- [20] Luis G.W. da Silva, Rodrigo A.F. Pereira, José R.S. Mantovani, Allocation of protective devices in distribution circuits using nonlinear programming models and genetic algorithms, Electric Power Systems Research, 2004, 6(1), April 2004, Pages 77–84.
- [21] R.S.Al Abri, E.F. El-Saadany, Y.M. Atwa, Optimal placement and sizing method to improve the voltage stability margin in a distribution system using distributed generation, IEEE Transactions on Power System, Vol.28, No.1, 2013, pp. 326-334.
- [22] K.H. Kim, S.B. Rhee, S.N. Kim, S.Ku You, Application of ESGA hybrid approach for voltage profile improvement by capacitor placement, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.18, No.4, 2003, pp. 1516-1522.

-
- [23] D. Das, Optimal placement of capacitors in radial distribution system using a Fuzzy-GA method, *Electrical Power and Energy Systems*, Vol.30, 2008, pp.361-367.
- [24] G.Mohan, P.Aravindhbabu, A Novel Capacitor Placement Algorithm for Voltage Stability Enhancement in Distribution Systems, *International Journal of Electronics Engineering*, Vol.1, No.1, 2009, pp. 83-87
- [25] P. Aravindhbabu, G. Mohan, Optimal capacitor placement for voltage stability enhancement in distribution systems, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol.4, No.2, 2009, pp.88-92.
- [26] Arribas L., Cano L., Cruz I., Mata M., Llobet E. (2010) PV–wind hybrid system performance: A new approach and a case study, *Renewable Energy*, Vol.35, No.1, pp.128-137.
- [27] Sopian K., Zamri Ibrahim M., Wan Daud W.R., Othman M.Y., Yatim B., Amin N. (2009) Performance of a PV–wind hybrid system for hydrogen production, *Renewable Energy*, Vol.34, No. 8, pp. 1973-1978.
- [28] Ekren O., Y. Ekren B. (2010) Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing, *Applied Energy*, Vol.87, No. 2, pp. 592-598.
- [29] Gupta, N., Swarnkar, A., Niazi, K.R. Distribution network reconfiguration for power quality and reliability improvement using Genetic Algorithms, *Electrical Power and Energy Systems*, 2014, 54, 664-671.
- [30] Mendoza, J., López, R., and Morales, D. Enrique López, Philippe Dessante, and Roger Moraga, Minimal loss reconfiguration using genetic algorithms with restricted population and addressed operators: real application, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2006, 21(2), 948-956.
- [31] Din, D.R., Chiu, Y.Sh. A genetic algorithm for solving virtual topology reconfiguration problem in survivable WDM networks with reconfiguration constraint, *Computer Communications*, 2008, 31, 2520-2533.
- [32] Soudi F., and Tomsovic K., Optimal trade-offs in distribution protection design, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2001, 16(2), 292-296.
- [33] Chiou, J.P., Chang, Ch.F., and Su, Ch.T, Variable Scaling Hybrid Differential Evolution for Solving Network Reconfiguration of Distribution Systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2005, VOL. 20(2), 668-674.
- [34] Jazebi, S., and Vahidi, B. Reconfiguration of distribution networks to mitigate utilities power quality disturbances, *Electric Power Systems Research*, 2012, 91, 9-17.

-
- [35] Jazebi, S., Hosseinian, S.H., and Vahidi, B. DSTATCOM allocation in distribution networks considering reconfiguration using differential evolution algorithm, *Energy Conversion and Management*, 2011, 52(7), 2777-2783.
- [36] Noce Ch., Optimal placement of automation devices in enel distribution network, 20th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), 2009, Prague.
- [37] Abdelaziz, A.Y., Mohamed, F.M., Mekhamer, S.F., and Badr, M.A.L. Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm, *Electric Power Systems Research*, 2010, 80, 943-953.
- [38] Zhang, D., Fu, Zh., and Zhang L. An improved TS algorithm for loss-minimum reconfiguration in large-scale distribution systems, *Electric Power Systems Research*, 2007, 77, 685-694.
- [39] Soudi F., Tomsovic K., Optimal distribution protection design: quality of solution and computational analysis, *Electrical Power and Energy Systems*, 1999, 21, 327-335.
- [40] Soudi F., and Tomsovic K., Optimized distribution protection using binary programming, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1998, 13(1), 218-224.
- [41] Resende Barbosa, C.H. N., Soares Mendes, M.H., and Antônio de Vasconcelos, J. Robust feeder reconfiguration in radial distribution networks, *Electrical Power and Energy Systems*, 2014, 54, 619-630.
- [42] Ebrahimi Milani, A., Haghifam, M.R. An evolutionary approach for optimal time interval determination in distribution network reconfiguration under variable load, *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, 57, 68-77.
- [43] Falaghi H., Haghifam M.-R., Singh Ch., Ant colony optimization-based method for placement of sectionalizing switches in distribution networks using a fuzzy multiobjective approach, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2009, 24(1), 268-276.
- [44] Su, Ch.T., Chang, Ch.F., and Chiou, J.P. Distribution network reconfiguration for loss reduction by ant colony search algorithm, *Electric Power Systems Research*, 2005, 75, 190-199.
- [45] Swarnkar, A., Gupta, N., and Niazi, K.R. Adapted ant colony optimization for efficient reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for loss minimization, *Swarm and Evolutionary Computation*, 2011, 1(3), 129-137.
- [46] Carpaneto, E., Chicco G., Distribution system minimum loss reconfiguration in the hyper-cube ant colony optimization framework, *Electric Power Systems Research*, 2008, 78(12), 2037-2045.

-
- [47] Sh., Shojaeian and E. Ghandehari, A heuristic multiobjective method for radial distribution networks reconfiguration, Hindawi Publishing Corporation, 2013, 4, 1-4.
- [48] Olamaei, J., Niknam, T., badali, S., and Arefi, F. Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Minimization Based on Modified Honey Bee Mating Optimization Algorithm, Energy Procedia, 2012, 14, 304-311.
- [49] Niknam, T., Kavousi Fard, A., and Seifi, A. Distribution feeder reconfiguration considering fuel cell/wind/photovoltaic power plants, Renewable Energy, 2012, 37, 213-225.
- [50] Sathish Kumar, K., and Jayabarathi, T. Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm, Electrical Power and Energy Systems, 2012, 36, 13-17.
- [51] Kavousi-Fard, A., and Niknam, T. Multi-objective stochastic Distribution Feeder Reconfiguration from the reliability point of view, Energy, 2014, 64, 342-354.
- [52] El-Shatter T.F., Eskander M.N., El-Hagry M.T. (2006) Energy flow and management of a hybrid wind/PV/fuel cell generation system, Energy Conversion and Management, Vol.47, No. 9-10, pp. 1264-1280.
- [53] R.K. Singh, S.K. Goswami, Optimum allocation of distributed generations based on nodal pricing for profit, loss reduction, and voltage improvement including voltage rise issue, Electrical Power and Energy Systems, Vol.32, 2010, pp.637-644.
- [54] L. Han, R. Zhou, X. Deng, An analytical method for DG placements considering reliability improvements, IEEE Power & Energy Society General Meeting (PES '09), Calgary,2009, pp.1-5.
- [55] Gil Mena, A.J., and Martin Garcia, J.A. A new heuristic approach for optimal reconfiguration in distribution systems, Electric Power Systems Research, 2012, 83, 264-265.
- [56] Niknam, T., Kavousi Fard, A., and Baziar, A. Multi-objective stochastic distribution feeder reconfiguration problem considering hydrogen and thermal energy production by fuel cell power plants, Energy, 2012, 42, 563-573.
- [57] Pfitscher, L.L., Bernardon, D.P., Canha, L.N., Montagner, V.F., Garcia, V.J., and Abaide, A.R. Intelligent system for automatic reconfiguration of distribution network in real time, Electric Power Systems Research, 2013, 97, 84-92.

- [58] Zidan, A., Shaaban, M.F., El-Saadany, E.F. Long-term multi-objective distribution network planning by DG allocation and feeders' reconfiguration, *Electric Power Systems Research*, 2013, 105, 95-104.
- [59] J.S. Rosseti, G., J. de Oliveira, E., W. de Oliveira, L., C. Silva Jr., I., and Peres, W. Optimal allocation of distributed generation with reconfiguration in electric distribution systems, *Electric Power Systems Research*, 2013, 103, 178-183.
- [60] Nascimento Alves H., A hybrid algorithm for optimal placement of switches devices in electric distribution systems, *IEEE Latin America Transactions*, 2012, 10(6), 2218-2223
- [61] C.L.T. Borges, D.M. Falcao, Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement, *Electrical Power and Energy Systems*, Vol.28, 2006, pp.413-420.
- [62] José de Oliveira, E., José Rosseti, G., Willer de Oliveira, L., Vanderson Gomes, F., Peres, W. New algorithm for reconfiguration and operating procedures in electric distribution systems, *Electrical Power and Energy Systems*, 2014, 57, 129-134.
- [63] Niknam, T., Azadfarsani, E., and Jabbari, M. A new hybrid evolutionary algorithm based on new fuzzy adaptive PSO and NM algorithms for Distribution Feeder Reconfiguration, *Energy Conversion and Management*, 2012, 54, 7-16.
- [64] Shariatkhan, M.H., Haghifam, M.R., Salehi, J., and Moser, A. Duration based reconfiguration of electric distribution networks using dynamic programming and harmony search algorithm, *Electrical Power and Energy Systems*, 2012, 41, 1-10.
- [65] Hooshmand, R., and Soltani, S.H. Simultaneous optimization of phase balancing and reconfiguration in distribution networks using BF-NM algorithm, *Electrical Power and Energy Systems*, 2012, 41, 76-86.
- [66] D. Zhu, R.P. Broadwater, K.S. Tam, R. Seguin, H. Asgeirsson, Impact of DG placement on reliability and efficiency with time-varying loads, *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol.21, No.1, 2006, pp.419-427.
- [67] A.H. Etemadi M. Fotuhi-Firuzabad, Distribution system reliability enhancement using optimal capacitor placement, *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 2, No. 5, 2008, pp. 621–631.
- [68] Tomoiaga, B., M., Chindris, Sumper, A., Villafafila-Robles, R., and Sudria-Andreu, A. Distribution system reconfiguration using genetic algorithm based on connected graphs, *Electric Power Systems Research*, 2013, 104, 216-225.

- [69] Zhang, P., Li, W., and Wang, Sh. Reliability-oriented distribution network reconfiguration considering uncertainties of data by interval analysis, *Electrical Power and Energy Systems*, 2012, 34, 138-144.
- [70] Abido M.A., Optimal design of power-system stabilizers using particle swarm optimization, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2002, 17(3), 406-413.
- [71] Eberhart R.C., Shi Y., Particle swarm optimization: Developments, Applications and resources, *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation*, 2001, 1, 81-86.
- [72] Sukumar M. Brahmaand Adly A. Girgis, Microprocessor-Based Reclosing to Coordinate Fuse and Recloser in a System with High Penetration of Distributed Generation, *Power Engineering Society Winter Meeting*, 2002. IEEE, New York, NY, USA, USA.
- [73] Sukumar M. Brahmaand Adly A. Girgis, Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems With High Penetration of Distributed Generation, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, 2004, 19(1), 56-63.
- [74] Al Rashidi M.R., El-Hawary M.E., A survey of particle swarm optimization Applications in electric power systems, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2006, 13(4), 913-918.