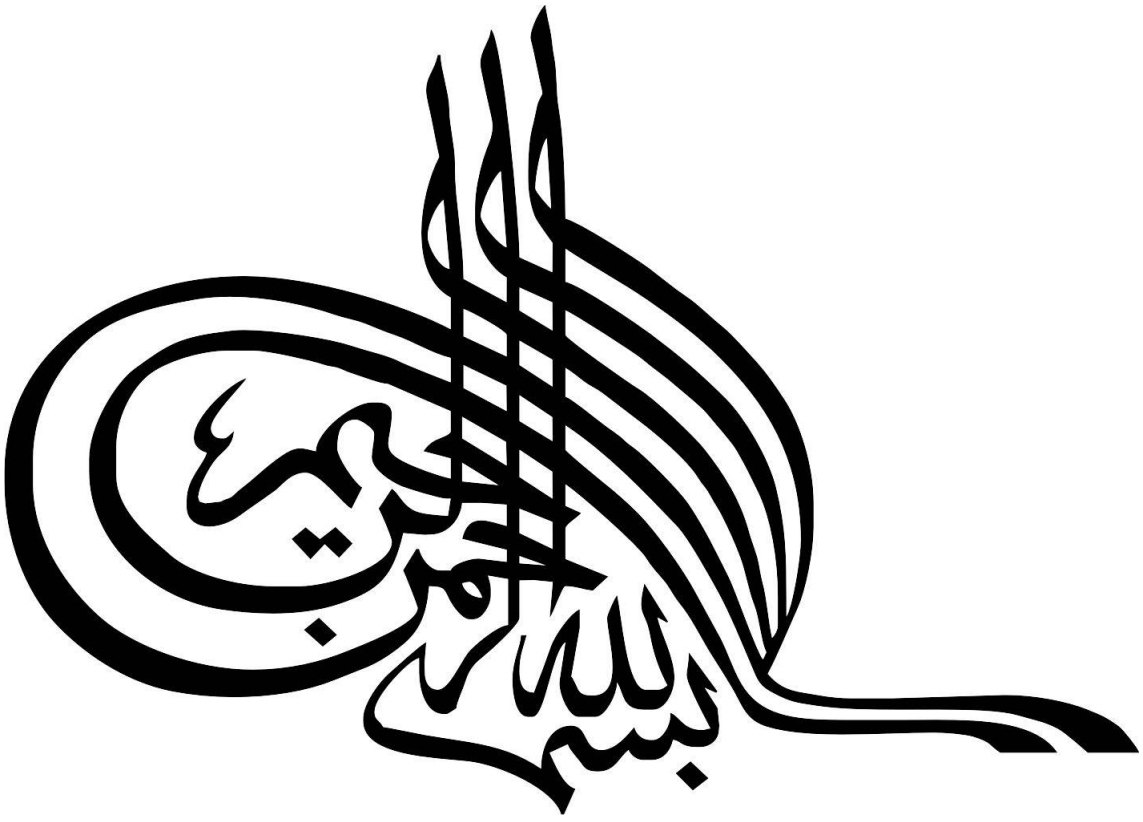

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده آموزش های الکترونیکی
گروه مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

هماهنگی حفاظتی رله های جریان زیاد با حضور منابع تولید پراکنده در شبکه های توزیع

سید مهدی حسینی

استاد راهنما :
دکتر محسن اصیلی

بهمن ماه ۹۴

تقدیم به :

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم ودانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان...

تقدیر و تشکر:

به نام آن علیمی که شعله‌ی عشق به تحصیل را در فانوس سینه‌ی پر مهر صاحبان علم و طالبان عمل روشن نمود. حمد و سپاس کردگاری را سزاست که رخصت کسب علم و دانش را به ما عطا فرموده است . اکنون که به فضل خدا در این موقعیت قرار گرفته‌ام بر خود لازم می‌دانم تا از تمامی عزیزانی که در این پروژه از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ایشان بهره برده‌ام، قدردانی نمایم.

بدین وسیله از کلیه اساتید گرانقدرم که در تمام مراحل همواره پشتیبان و حامی بنده بودند، بی‌نهایت سپاسگزارم. به ویژه از استاد ارزشمند جناب آقای دکتر اصیلی که درس‌های بزرگی را از ایشان فرا گرفته‌ام و همواره راهنما و راه گشای بنده بوده‌اند، کمال تقدیر و تشکر را دارم. همچنین لازم می‌دانم از جناب آقای مهندس امیری ریاست محترم شرکت توزیع برق شهرستان زاوه و پرسنل محترم آن اداره که از مشاوره‌های ایشان در انجام این پروژه حداکثر بهره را برده‌ام، کمال تشکر را بنمایم. در پایان از خانواده خوبم که از آغاز تا کنون همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند و همچنین از کلیه دوستان خود که با یاری‌ها و راهنمایی‌های ایشان، بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعهــد نامه

اینجانب **سید مهدی حسینی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق/قدرت دانشکده آموزش های الکترونیکی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **هماهنگی حفاظتی رله های جریان زیاد با حضور منابع تولید پراکنده در شبکه های توزیع** تحت راهنمایی دکتر محسن اصیلی متعهد می‌شوم

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

امروزه با گسترش شبکه های قدرت و پیچیده تر شدن ارتباطات سیستم ها جهت تأمین انرژی قابل اطمینان برای مصرف کننده ها، لزوم حفاظت مناسب سیستم قدرت بیشتر احساس می گردد. به طور کلی هدف از سیستم حفاظتی شبکه برق قدرت، پایدار نگهداشتن سیستم قدرت از طریق ایزوله کردن فقط بخشهای تحت خطا و تحت بهره برداری نگه داشتن بیشترین بخشهای ممکن از شبکه است. در این پژوهش پس از مرور مقالات و آشنایی با مفاهیم اولیه به بررسی رله های اضافه جریان و هماهنگی این رله ها در سیستم قدرت پرداخته شده است. منظور از هماهنگی رله ها، تنظیم های جریان و زمان رله های جریان زیاد با هدف دستیابی به ترتیب عملکرد مورد نظر رله می باشد. به عبارت دیگر رله ها در سیستم قدرت باید هم بتوانند عمکرد سریع در برابر خطا از خود نشان دهند و هم تداخل عمکرد وجود نداشته باشد و کوچکترین منطقه ممکن از شبکه قطع شود. احداث DG در شبکه می‌تواند باعث به وجود آمدن مشکلات متعددی در زمینه عملکرد نادرست سیستم حفاظتی شود. در ساختار جدید شبکه که منابع تولید پراکنده به آن اضافه شده اند، هدف عملکرد سریع و مناسب رله ها می باشد لذا تنظیم هماهنگی رله ها با ساختار جدید شبکه تغییر خواهد کرد که این امر مستلزم صرف هزینه می باشد. در طرح پیشنهادی علاوه بر تضمین عملکرد مناسب و سریع رله ها، تعداد رله هایی که دستخوش تغییر تنظیمات می شود نیز در تابع هدف قرار گرفت. در اینصورت عملکرد مناسب حفاظتی با توجه به کمترین تنظیمات در رله ها بدست خواهد آمد. طرح پیشنهادی توسط نرم افزار DigSilent و MATLAB شبیه سازی شده و نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی کارآمدی آن را به اثبات رسانید. نتایج شبیه سازی نشان می دهد هزینه های تنظیم مجدد رله ها در روش پیشنهادی کمتر از حالتی است که تمامی رله ها تنظیم مجدد شوند و از سوی دیگر قیود سیستم و هماهنگی رله ها با هزینه کمتری ارضا شده است.

کلمات کلیدی: رله اضافه جریان، هماهنگی حفاظتی، منابع تولید پراکنده DG، الگوریتم ژنتیک

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ر

فهرست شکل‌ها ..... زز

فصل ۱- **مقدمه** ۱

۱-۱- بیان اهمیت مساله ۲

۱-۲- انواع خطاها ۶

۱-۳- رله ۶

۱-۳-۱- انواع رله ها ۷

۱-۴- پیشینه تحقیق ۸

۱-۵- اهداف و ساختار پایان نامه ۱۱

فصل ۲- **رله های اضافه جریان** **۱۳**

۲-۱- مقدمه ۱۴

۲-۲- رله‌های اضافه جریان ۱۴

۲-۳- رله جریان زیاد زمان معین ۱۶

۲-۴- رله جریان زیاد با منحنی قطع زمان معکوس ۱۷

۲-۵- Pick up رله‌های جریان زیاد ۱۸

۲-۶- Drop off رله‌های جریان زیاد ۱۸

۲-۷- ضریب تنظیم بلاک ۱۸

۲-۸- منحنی های استاندارد ۱۹

۲-۹- زمان معکوس شدید ۱۹

۲-۱۰- زمان معکوس بسیار شدید ۲۰

۲-۱۱- زمان معکوس بلند مدت ۲۰

۲-۱۲- ضریب تنظیم زمان ۲۰

۲-۱۳- نحوه تشخیص خطا در رله‌های جریان زیاد ۲۰

۲-۱۴- رله جهتی ۲۱
۲-۱۵- رله جریان زیاد جهت‌دار ۲۱
۲-۱۶- هماهنگی رله‌های اضافه جریان ۲۳

فصل ۳- **حضور منابع تولید پراکنده و توسعه شبکه** **۲۵**
۳-۱- مقدمه ۲۶
۳-۲- منابع تولید پراکنده ۲۷
۳-۳- مسئله حضور DG و حفاظت شبکه ۲۹

فصل ۴- **بیان مسئله و شبیه‌سازی** ۳۳
۴-۱- مقدمه ۳۴
۴-۲- مسئله بهینه‌سازی هماهنگی رله‌ها با در نظر گرفتن اثر DG ها ۳۴
۴-۳- الگوریتم ژنتیک ۳۷
۴-۴- بهینه‌سازی با هدف کاهش تعداد رله‌های کاندید تغییرات ۴۲
۴-۵- شبیه‌سازی شبکه ۳۰ باسه IEEE ۴۳
۴-۶- شبیه سازی با هدف کاهش هزینه های تنظیم مجدد رله های جریان زیاد ۴۳

فصل ۵- **نتایج شبیه‌سازی** **۴۷**
۵-۱- ساختار الگوریتم ژنتیک ۴۸
۵-۲- محاسبه جریان اتصال کوتاه رله‌ها ۴۸
۵-۳- نتایج شبیه‌سازی ۵۱
۵-۴- اضافه کردن DG به شبکه ۵۵
۵-۴-۱- شبکه توسعه یافته ۳۰ باسه IEEE با گذاشتن یک توربین بادی در باس شماره۵ ..... ۵۶
۵-۴-۲-بررسی تاثیر قرار دادن تولید پراکنده در باس های مختلف ۵۷
۵-۴-۳-بررسی تاثیر افزایش ظرفیت تولید پراکنده ۵۸
۵-۴-۴-تاثیر حضور منابع تولید پراکنده بر هماهنگی حفاظتی رله های جریان زیاد جهت دار ۵۹
۵-۴-۵- شبکه توسعه یافته ۳۰ باسه IEEE با گذاشتن یک توربین بادی در باس شماره ۵ و افزودن ترم جدید به تابع هدف ۶۱

۵-۴-۶- شبکه توسعه یافته ۳۰ باسه IEEE با گذاشتن یک توربین بادی در باس شماره ۵ و افزودن ترم جدید به تابع هدف و تغییر در ضرایب آلفا و بتا..... ۶۴

فصل ۶- **نتیجه گیری و پیشنهادات**..... **۶۷**

۶-۱- نتیجه گیری..... ۶۸

۶-۲- پیشنهادات..... ۶۹

فهرست مراجع..... **۷۰**

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: پارامترهای مهم بهینه سازی ژنتیک ۴۲
جدول ۵-۱: مقادیر جریان اتصال کوتاه رله‌های اصلی و پشتیبان ۵۰
جدول ۵-۲: مقادیر تنظیمی TDS و جریان‌های قطع رله معمولی بدون حضور DG ها ۵۲
جدول ۵-۳: مقادیر تنظیمی TDS و جریان‌های قطع رله‌های جهت دار بدون حضور DG ها ۵۴
جدول ۵-۴: مقادیر تنظیمی TDS و جریان‌های قطع رله‌ها با حضور DG در باس نمونه ۵ ..... ۵۶
جدول ۵-۵: زمان عملکرد کلی رله ها با توجه به تغییر در ظرفیت و محل DG ۶۰
جدول ۵-۶:زمان عملکرد کلی رله ها با توجه به تکنولوژی DG ۶۰
جدول ۵-۷:زمان عملکرد کلی رله ها با تغییر مقاومت خطا ۶۱
جدول ۵-۸:مقادیر تنظیمی TDS و جریان های قطع با هدف کاهش تعداد رله های کاندید تغییرات ... ۶۳
جدول ۵-۹:مقادیر تنظیمی TDS و جریان قطع با تغییر پارامترهای آلفا و بتا ۶۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: مقایسه مشخصه های رله‌های معکوس زمانی. ۱۹
شکل ۲-۲: مشخصه زمان جریان رله‌های معمولی ۲۲
شکل ۲-۳: مشخصه زمان جریان رله‌های جهت دار ۲۳
شکل ۴-۱: الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ۳۹
شکل ۴-۲: رشته باینری پیشنهادی برای کد گزاری الگوریتم ژنتیک ۴۲
شکل ۴-۳: بخش توزیع شبکه اصلاح شده ۳۰ باسه ۴۳
شکل ۵-۱: شبیه‌سازی بخش توزیع شبکه اصلاح شده ۳۰ باسه در نرم‌افزار DigSilent ۴۹
شکل ۵-۲: روند کاهشی تابع هدف رله معمولی در الگوریتم ژنتیک ۵۱
شکل ۵-۳: روند کاهشی تابع هدف رله جهت دار در الگوریتم ژنتیک ۵۳
شکل ۵-۴: بررسی تاثیر حضور DG به ظرفیت 15MVA در باس های مختلف ۵۷
شکل ۵-۵: بررسی تاثیر حضور DG با ظرفیت های متفاوت بر مقدار CTI ۵۸
شکل ۵-۶: رشته باینری جهت کد گزاری الگوریتم ژنتیک ۶۲
شکل ۵-۷: رشته باینری جهت کد گرازی الگوریتم ژنتیک با تغییر ضرایب آلفا و بتا ۶۴

فصل اول

مقدمه

مقدمه

در یک شبکه قدرت الکتریکی، هدف تولید و انتقال انرژی الکتریکی و تحویل به مصرف‌کنندگان است. نکته‌ای که از دیدگاه مصرف‌کنندگان بسیار اهمیت دارد این است که تولید و انتقال انرژی الکتریکی بصورت صد در صد دائمی و بدون وقفه باشد. سیستم‌های توزیع به دلیل این که مستقیما با مصرف‌کنندگان در ارتباط هستند باید از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشند. از طرفی این سیستم‌ها دائما در معرض خطاهای گوناگون می‌باشند. این خطاها بطور عمده شامل اتصال کوتاه‌های بین فازها و یا فاز و زمین می‌باشند. تحت چنین شرایطی یک سیستم نظارت و کنترل مورد نیاز خواهد بود تا هر بخش از شبکه را که در آن خطا رخ داده تشخیص داده و در سریع‌ترین زمان ممکن از بقیه شبکه جدا نماید. تا زمانی که خطا از شبکه رفع نشده باشد، کل شبکه به خاطر تاثیرات ناشی از وقوع خطا در معرض خطر است. چنین سیستم کنترل و نظارت‌کننده، در واقع یک سیستم حفاظت محسوب می‌شود .هدف اصلی سیستم حفاظت، تضمین عملکرد ایمن سیستم‌های قدرت، مراقبت از افراد، پرسنل و تجهیزات است. علاوه بر این، وظیفه حداقل‌کردن تأثیرات خطاهای غیر قابل اجتناب بر سیستم نیز حائز اهمیت است. رله‌های اضافه جریان مهمترین رکن سیستم حفاظت شبکه برق قدرت را تشکیل می‌دهند، از رله‌های اضافه جریان و دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال انرژی و توزیع استفاده می‌گردد. در شبکه‌های توزیع از رله اضافه جریان هم به عنوان رله اصلی و هم بعنوان رله پشتیبان استفاده می‌شود. در این فصل پس از تعاریف و مفاهیم اولیه به بررسی مقالات معتبر در این زمینه می‌پردازیم.

۱-۱ بیان اهمیت مساله

حفاظت الکتریکی یکی از مهمترین مسائل در صنعت برق می باشد. ابتدای پیدایش این صنعت مسأله تولید و انتقال توان الکتریکی همواره با خطاهای احتمالی و مسأله قابلیت اطمینان همراه بوده است. به این معنی که تجهیزات گران قیمتی مانند ژنراتور و ترانسفورماتور یا خطوط انتقال باید در مقابل انواع خطاهای احتمالی مورد

حفاظت قرار گیرند تا هم این سرمایه‌های با ارزش از نابودی محفوظ بمانند و هم انرژی الکتریکی با قابلیت اطمینان بیشتری به مصرف کننده برسد. این حفاظت‌ها می‌تواند در مورد کمیت‌های مختلف الکتریکی نظیر جریان، ولتاژ، توان، امپدانس و فرکانس انجام شود. رله‌های حفاظتی وظیفهٔ نظارت بر این کمیت‌ها را دارند و در صورت نیاز باعث قطع واحد مورد حفاظت(تریپ) می‌شوند. امروزه با گسترش شبکه‌های قدرت و پیچیده‌تر شدن ارتباطات سیستم‌ها جهت تأمین انرژی قابل اطمینان برای مصرف‌کننده‌ها، لزوم حفاظت مناسب این گونه شبکه‌ها بیشتر احساس می‌گردد. سیستم‌های قدرت در سیر تکاملی خود به سیستم‌های پیوسته تبدیل شده‌اند. این نوع سیستم‌ها علاوه بر مزایای فراوان مشکلاتی را ایجاد کرده است. از جمله این مشکلات، مشکلات حفاظتی می‌باشد که در این پژوهش به آن پرداخته شده است.

به طور کلی هدف از سیستم حفاظتی شبکه برق قدرت، پایدار نگهداشتن سیستم قدرت از طریق ایزوله کردن فقط بخش‌های تحت خطا و تحت بهره‌برداری و نگه داشتن بیشترین بخش‌های ممکن از شبکه است. بنابراین، طرح‌های حفاظتی لازم است شیوه‌ای بسیار عملگرایانه و بدبینانه را برای پاک کردن خطاهای سیستم مورد استفاده قرار دهند. تکنولوژی و فلسفه‌های استفاده شده در طرح‌های حفاظتی ممکن است اغلب قدیمی و قویاً تثبیت شده باشد چرا که لازم است بسیار قابل اطمینان باشند[۱].

در تعریفی دیگر، سیستم حفاظت الکتریکی جزئی از شبکه است که اطلاعات اصلی شبکه مثل ولتاژ و جریان را دریافت نموده و حالت‌های غیرعادی مثل اتصال کوتاه را تشخیص داده و عمل لازم را مثل جدا نمودن قسمت معیوب از بقیه شبکه انجام می‌دهد. چون عمل سیستم حفاظتی همیشه منجر به ایجاد تغییراتی در شبکه می‌گردد که از آن جمله می‌توان قطع خطوط و یا قطع واحدهای تولیدی را نام برد، عملکرد مطمئن آن از اهمیت خاصی برخوردار است[۲].

به طور کلی هر حالت غیر عادی که در عملکرد سیستم به وجود می‌آید، خطا نامیده می‌شود. از این حالت-های غیرعادی می‌توان به وقوع اتصال کوتاه، افزایش و یا کاهش بیش از حد ولتاژ، افزایش و یا کاهش بیش از حد

فرکانس، افزایش حرارت تجهیزات در اثر توان عبوری بیش از حد از آن‌ها یا اضافه بار، از سنکرون خارج شدن ژنراتورها و ... اشاره کرد. توجه به این واقعیت که وصل نابجای یک کنتاکت در سیستم حفاظتی می‌تواند منجر به از دست رفتن کل شبکه گردد باعث این مسئله می‌گردد که مطالعه دقیق و همه جانبه در زمینه سیستم‌های حفاظتی و شناخت اشکالات، بررسی مسائل طراحی سیستم‌های حفاظتی و استفاده از امکانات آن می‌تواند کمک عمده‌ای به شناخت مسائل پایداری شبکه نماید.

مهمترین وظایف سیستم حفاظت در حالت کلی عبارتست از[۳]:

۱) اول از همه، سیستم حفاظتی باید بتواند اتصال کوتاه (متقارن و نامتقارن) را در شبکه تشخیص داده و قسمتی از شبکه که در آن اتصالی بوجود آمده است را از بقیه شبکه جدا نماید. بطور مثال وظیفه رله دیستانس تشخیص اتصالی روی خطوط و جدا کردن خط معیوب از بقیه شبکه می‌باشد و یا وظیفه رله دیفرانسیل تشخیص اتصالی در داخل ترانسفورماتور و جدا کردن آن از بقیه شبکه است.

۲) سیستم حفاظتی باید توانایی این را داشته باشد که حالت بهره‌برداری غیر عادی در یک جزء از شبکه را تشخیص داده آن جزء را برای آنکه صدمه نبیند از بقیه شبکه جدا می‌نماید. مثلاً رله بار زیاد و یا ولتاژ زیاد، ترانسفورماتور و ژنراتور را در حالت‌های بهره‌برداری غیر عادی از بقیه شبکه جدا می‌نماید.

۳) سیستم حفاظتی حالت بهره‌برداری خارج از حد قابل قبول را تشخیص داده و عمل لازم جهت برگرداندن شبکه به حالت عادی را انجام می‌دهد. مثل تشخیص ولتاژ زیاد و یا کم در یک قسمت از شبکه و ارسال فرمان برای در مدار قرار گرفتن راکتور و یا خازن جهت کنترل ولتاژ یا تشخیص فرکانس پایین در شبکه توسط رله‌های فرکانسی و قطع مرحله‌ای با رجعت کنترل فرکانس و یا تشخیص ولتاژ غیر نرمال در ثانویه ترانسفورماتور و ارسال فرمان تغییر نسبت تبدیل ترانسفورماتور به تپ چنجر جهت عادی کردن ولتاژ.

۴) چون در وضعیت خاص بهره‌برداری از شبکه و یا اشکال در مدارهای ثانویه ترانسفورماتورهای جریان و

ولتاژ ممکن است رله‌های حفاظتی عملکرد ناخواسته داشته باشند این حالتهای خاص را می‌توان توسط رله‌های دیگری تشخیص و از عملکرد رله‌های حفاظتی اصلی جلوگیری نمود.

مثلاً در حالت‌های خاص از نوسان قدرت ممکن است رله‌های حفاظتی دیستانس ویا جریان زیاد خطوط عمل نمایند که در این حالت می‌توان نوسان قدرت را توسط رله‌های حفاظتی نوسان قدرت تشخیص داده فرمان بلوکه کردن به رله‌های حفاظتی اصلی (دیستانس و جریان زیاد) صادر نمود و یا در صورت سوختن فیوز ترانسفورماتور ولتاژ، اطلاعات ولتاژ به رله دیستانس داده نمی‌شود در صورتیکه اطلاعات جریان را رله دریافت می‌نماید. رله دیستانس این حالت را با حالت اتصالی در خط یکسان فرض نموده و عمل می‌نماید با قرار دادن رله‌های مخصوص که سوختن فیوز را تشخیص می‌دهند می‌توان از عملکرد بی مورد رله دیستانس جلوگیری نمود.

۵) آمار ثابت نموده که اکثر اتصال‌هایی که روی خطوط بوجود می‌آیند گذرا می‌باشند. بنابراین سیستم حفاظتی می‌تواند در هنگام وجود اتصالی روی خط، کلیدهای آن خط را (تکفاز یا سه فاز) قطع نموده و بعد از مدت معینی از ارسال فرمان قطع، فرمان وصل مجدد با آن کلیدها را صادر نماید. که در این صورت شبکه بعد از مدت بسیار کوتاهی به حالت قبل از حادثه برمی‌گردد. بکارگیری سیستم وصل مجدد اتوماتیک در شبکه‌های توزیع می‌تواند کمک زیادی به پایداری شبکه در حالت‌های گذرا نماید.

مهمترین ارکان سیستم حفاظت رله‌ها و کلیدهای قدرت می‌باشند. کار رله‌های حفاظتی دریافت اطلاعات از شبکه توسط ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ، تشخیص حالت غیرعادی مثل فرکانس زیاد یا کم، ولتاژ زیاد یا کم جریان زیاد، امپدانس کم و ... انجام عمل لازم مبنی بر رفع حالت غیرعادی است که در بخش قبل توضیح کامل‌تر آن داده شد. بایستی توجه داشت که رله‌ها باید دارای مشخصاتی مثل دقت عملکرد، سرعت عملکرد و قابلیت اطمینان باشند. کلیدهای قدرت جزئی از سیستم حفاظتی است که در صورت لزوم مثلاً وجود اتصال کوتاه در خط و یا ترانسفورماتور و یا ژنراتور، فرمان لازم را از رله‌های حفاظتی دریافت نموده و قسمت معیوب را از بقیه شبکه جدا می-

نماید

۱-۲ انواع خطاها:

خطاهای ناشی از جریان برق عمدتا "به سه دسته تقسیم می‌شوند[۴]:

۱) اتصال بدنه که عبارت است از اتصال یکی از سیم‌های جریان برق به بدنه دستگاه.

۲) اتصال کوتاه عبارت است از اتصال دو سیم لخت که نسبت به هم دارای اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌باشند به یکدیگر.

۳) اتصال زمین که عبارت است از اتصال یکی از سیم های حامل جریان به زمین.

خطا های نامبرده شده به دوصورت کامل و ناقص اتفاق می‌افتد. دراتصال کامل در محل اتصالی مقاومت وجود ندارد و جریان زیادی از این نقطه عبور می‌کند اما اگر اتصال ناقص باشد در محل اتصال مقاومت وجود دارد بنابراین جریان خطا نسبت به حالت قبل کمتر است. در تمامی خطاها دو مشخصه اصلی سیستم قدرت یعنی جریان و ولتاژ متاثر است. در نتیجه با کمک این دو مشخصه می‌توان خطاها را تشخیص و نسبت به حذف آن‌ها اقدام نمود.

۱-۳ رله:

در حقیقت رله‌ها مهم‌ترین و اساسی‌ترین عنصر سیستم قدرت در یک شبکه حفاظت می‌باشند. در گذشته رله‌های حفاظتی اغلب از نوع الکترومغناطیسی بودند و از لحاظ ساختار به دو نوع جاذبه‌ای و دافعه‌ای تقسیم می‌شدند. بیشتر رله‌های حفاظتی موجود در پست‌های برق فعلی از نوع الکترومغناطیسی و از گروه دافعه‌ای هستند. اشکال اصلی این رله‌ها این است که مختص یک کمیت الکتریکی هستند. یعنی اگر مثلاً برای حفاظت اضافه جریان استفاده می‌شوند دیگر برای حفاظت ولتاژ یا فرکانس قابل استفاده نیستند. حتی رله‌های اضافه جریان هم تقسیم‌بندی خاص خود را دارند و استانداردهای مختلفی برای این منظور وجود دارد بنابراین رله‌های الکترومغناطیسی

اضافه جریان نیز این تقسیم‌بندی‌ها را دارند. به طور کلی این رله‌ها به جز تنظیم زمان(TMS[1]) و تنظیم جریان(PSM[2]) قابلیت انعطاف دیگری ندارند. رله‌های حفاظتی عمومی از نوع میکروپروسسوری بوده و در نتیجه می‌توان با تغییر برنامه‌ریزی آنها نوع حفاظت مورد نیاز را انتخاب کرد[۵].

بنابراین رله به سیستم قدرت کمک می کند تا در صورت وجود مشکل، محل وقوع عیب از شبکه جداسازی شده و سایر قسمت‌های سالم شبکه همچنان به کار خود ادامه دهند و پایداری و ثبات شبکه به همان حالت قبلی محفوظ بماند. و همچنین تجهیزات و دستگاه‌ها در مقابل عیوب و اتصالی‌ها محافظت شده و میزان خسارات وارده به آن‌ها محدود گردد.

در حالت کلی می توان رله ها را از نظر تکنولوژی ساخت به سه گروه اصلی تقسیم کرد: رله های الکترومکانیکی، رله های استاتیکی و رله های دیجیتالی. امروزه با رشد تکنولوژی و ادوات نیمه هادی، نوع الکترومکانیکی رله‌ها در حال جایگزین‌شدن با انواع دیجیتال بوده و استفاده از آن‌ها بسیار محدود شده است. در نوع استاتیکی طراحی بر مبنای ادوات الکترونیکی آنالوگ بوده و لذا فاقد امکان برنامه‌ریزی می‌باشند. در نوع دیجیتال از ادوات نیمه هادی و پردازنده جهت آنالیز جریان خطا و اعمال فرمان مناسب استفاده می‌شود و با توجه به این امر امکان برنامه‌ریزی رله و داشتن چندین مشخصه عملکردی متفاوت امکان‌پذیر خواهدبود. در این نوع رله‌ها چندین عملکرد مختلف که پیش از آن به کمک رله‌های مجزا انجام می‌گرفت را می‌توان بصورت مجتمع در یک رله قرارداد که البته این امر می‌تواند باعث کاهش قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی گردد.

۱-۳-۱ انواع رله‌ها:

اصلی‌ترین انواع رله‌ها شامل موارد زیر می باشند:

[1] TMS: Time Multiplier Setting

[2] PSM : Plug Setting Multiplier

أ) رله اضافه جریان
ب) رله دیستانس
ج) رله دیفرانسیلی
د) رله ولتاژی
ه) رله فرکانسی

که هر گروه از این رله‌ها بسته به نوع کاربری انواع مختلفی دارند. تمرکز اصلی این پژوهش بر روی رله‌های اضافه جریان بوده که مفصلا در فصل دوم مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

حفاظت شبکه برق قدرت در برابر جریان‌های زیادو خطاهایی که باعث عبور جریان زیاد از بخشی از شبکه می شود یکی از ابتدایی‌ترین حفاظت‌ها در شبکه است. باید توجه داشت که حفاظت در برابر اضافه جریان با حفاظت در برابر اضافه بار متفاوت است. در اضافه جریان‌ها که ناشی از وقوع اتصال کوتاه بین یک یا دو فاز با زمین، اتصال بین دو فاز و ... هستند، جریان به مراتب بیشتری نسبت به حالت‌های اضافه بار از شبکه می‌گذرد که این جریان باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن تشخیص داده شده و قطع شود.

۱-۴ پیشینه تحقیق:

یک روش جدید برای حل مشکل هماهنگی رله اضافه جریان جهتی و بازگرداندن هماهنگی رله اصلی در حلقه PDS، در مرجع[۸] ارائه شده است. این مشکل با نصب تولیدات پراکنده در حلقه PDS[۱] یا سیستم انتقال توان ایجاد می‌شود. در این مقاله تولیدات پراکنده دارای محدودکننده جریان خطا[۲](FCL) می‌باشند. FCL های القایی و مقاومتی برای محدود کردن جریان خطا تولیدات پراکنده در هر نقطه از سیستم انتقال توان مورد آزمایش قرار گرفته است. مدل بهینه‌سازی برای بدست آوردن کمینه مقدار امپدانس FCL و نوع مناسب از سناریوهای مختلف PDS در نرم‌افزار متلب کدنویسی شده است. نتایج نشان داده است که روش ارائه شده در این مقاله برای

[۱] Power Delivery System

[۲] Fault Current Limiter

بازگرداندن هماهنگی رله اصلی و تاثیر آن در عملکرد DG ها بسیار کارا بوده است. یکی از ویژگی‌های مهم مدل ارائه شده، بازگرداندن هماهنگی رله بدون تغییر تنظیمات موجود رله و یا قطع DG ها از PDS می‌باشد. بنابراین این روش استفاده از رله های موجود و طرح‌های حفاظتی را مهیا می‌کند و همچنین از مشکلات مربوط به سنکرون شدن در هنگام اتصال مجدد DG به PDS جلوگیری به عمل می‌آورد.

الگوریتم هماهنگی برای تجهیزات شامل رله‌های جریان زیاد، فیوزها، رکلوزرها و سکشنالایزرها به نحو مناسب و بهینه‌ای توسط الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزارهای MATLAB و DigSilent بر روی یک شبکه توزیع نمونه در مرجع [۹] ارائه و پیاده‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده کارایی الگوریتم ارائه شده می‌باشد و همچنین نشان داده است که این تجهیزات به نحو مناسبی با هم هماهنگ شده‌اند که شامل هماهنگی‌های رله جریان زیاد- رله جریان زیاد، رله جریان زیاد-وصل کننده مجدد، وصل کننده مجدد-وصل کننده مجدد، وصل کننده مجدد-فیوز، وصل کننده مجدد-سکشنالایزر و فیوز-فیوز می‌باشد.

با نصب DG در شبکه‌های توزیع انرژی، سطوح جریان خطا تغییر کرده و ممکن است منجر به ایجاد مشکل در هماهنگی حفاظت اضافه جریان شود. بنابراین از FCL برای بازگرداندن رله اضافه جریان بدون تغییر در تنظیمات رله در حضور DG در مقاله[۱۰] استفاده شده است. DG و FCL رفتار گذرا دارند که بر روی جریان‌های خطا تاثیر می گذارند. این جریان‌های خطا گذرا و تاخیر در عملکرد FCL می‌تواند به برهم زدن هماهنگی در رله انجامد که باید در محاسبه تنظیم رله در نظر گرفته شود. در این مقاله روش جدیدی برای تعیین دقیق تنظیم رله در شرایط گذرا مبتنی بر GA پیشنهاد شده است. برای به دست آوردن جریان‌های خطا گذرا، مدل پویا از DG و FCL در نرم افزار PSCAD شبیه سازی شده است. این مدل پویا از رله، به جای استفاده ویژگی های رله در حالت پایدار اعمال در فرآیند هماهنگی به کار گرفته شده است. به همین دلیل در روش جدید، منحنی ROS برای هر رله P/B از جریان های خطا گذرا عبوری از رله به دست آمده است که زمان‌های عملکردی توسط تطابق مقادیر TMS از

منحنی‌های ROS بدست می‌آید. روش ارائه شده، مقادیر دقیق TSM[1] را که همه محدودیت‌ها هماهنگی را ارضاء می‌کند و منجر به حداقل مقدار در شرایط گذرا می‌شود را می‌دهد. در نهایت، کارایی روش ارائه شده با مقایسه روش حالت پایدار برای یک شبکه معمولی مقایسه شد که نتایج بیان گر این بودند که روش ارائه شده نتایج بهتری را به ما می‌دهد.

برای بازیابی هماهنگی رله‌ها به حضور تولیدات پراکنده از FCL در مرجع[۱۱] استفاده شده است. امپدانس مناسب FCL از نوع مقاومتی و راکتانسی است که برای محدودسازی موثر جریان خطا تعیین می‌شود. تاخیر در زمان عملکرد FCL سبب می‌شود که قبل از وارد شدن FCL به شبکه، جریان خطای گذاری نسبتا شدیدی از رله‌ها عبور کند. برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد شبکه تحت این شرایط گذرا، در ابتدا جریان‌های گذرای عبوری از تمام جفت رله‌های اصلی و پشتیبان به ازاء خطا جلو رله اصلی در نرم‌افزار DigSilent محاسبه می‌شوند. جریان خطا متغیر با زمان در هر لحظه و یا یک نرخ نمونه‌برداری معین در ماتریس‌هایی ذخیره می‌شوند. در گام بعدی این ماتریس‌ها وارد نرم‌افزار MATLAB می‌شوند که از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است.

در مرجع[۱۲] روش جدیدی برای حل مساله هماهنگی رله های اضافه جریان مطرح شده است. این روش از ترکیب الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی استفاده کرده است. با اعمال رشته‌های ژنتیک به LP برازندگی آن رشته و TMS رله‌ها محاسبه می‌گردد. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، با تغییر جریان تنظیم رله‌ها توسط عملگرهای ژنتیک، نقاط دیگر فضای جستجو را به منظور پیدا کردن جواب‌های بهتر (جوابی با زمان عملکرد کمتر برای رله‌ها) بررسی می‌کند. این روند تا رسیدن به جواب بهینه تکرار می‌گردد. در روش پیشنهادی قیود مساله در داخل یک برنامه ریزی خطی بررسی می‌شود و لذا الگوریتم ژنتیک به یک مساله با کمترین قیود تبدیل گردیده و حل آن بسیار راحت-تر از مسایل مقید است. و نه تنها سرعت همگرایی الگوریتم افزایش پیدا کرده است، جواب های بهینه نیز در تکرار کمتری همگرا شده اند.

[1] Time Multiper Setting

روش جدید بهینه سازی برای هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان بـر اسـاس GA در مرجـع [۱۳] توسعه داده شده است. در روش ارائه شده، تابع هدف بهینه‌سازی هماهنگی رله‌های اضـافه جریـان، بـا اضـافه کـردن برخی شرایط جدید به طور کامل باعث اصلاح و بهینه شدن هماهنگی رله دیسـتانس و اضـافه جریـان شـده اسـت. مشخصات رله‌های مختلف برای هر رله O/C در نظر گرفتـه شـده اسـت، و بهتـرین آنهـا توسـط GA بـرای ایجـاد هماهنگی بهینه انتخاب شده است. مدل کامپیوتری ارائه شده در دو شبکه قدرت مختلف مورد آزمـایش قـرار گرفـت (شبکه ۳۰ باسه و سیستم ۸ باسه IEEE).

همچنین در مرجع[۱۳] که در حقیقت مرجع اصلی این پژوهش نیز می باشد، به مسئله هماهنگی رله‌هـای دو جهته و تک جهته در حضور منابع تولیدپراکنده پرداخته است. در این مقاله حضور DG بـر شـبکه مـورد مطالعـه تاثیر گذاشته و سبب تغییر تنظیم همه رله‌های موجود در شبکه شده است. این امر مسـتلزم هزینـه‌هـای بـالا بـرای تغییرات اعمالی بر روی رله‌ها می‌باشد. از سوی دیگر دو رله تک جهته و دو جهته برای یک شبکه ۳۰ باسه استاندارد IEEE مورد بررسی قرار گرفته است که در نهایت با کمک رله های دو جهته در دو سـوی مسـتقیم و معکـوس بـرای حفاظت های اصلی و پشتیبان، با دو تنظـیم متفـاوت بـه نتیجـه مطلـوب رسـیده اسـت. در ایـن پـژوهش بـا روش پیشنهادی و استفاده از رله های دو جهته زمان عمکرد رله ها تا ۵۰ درصد کاهش پیـدا کـرد ولـی سیسـتم متحمـل هزینه هایی برای تعویض رله های یک جهته به دو جهته شده است.

۱-۵ اهداف و ساختار پایان نامه:

سیستم های توزیع قدرت مستقیماً به مشترکان متصل مـی باشند.بنابراین،سیسـتم توزیـع نقـش مهمـی در قابلیت اطمینان کلی سیستم قدرت و قابلیت اطمینانی که مشترکان حس می کنند ایفا می نمایـد.با بهبـود سیسـتم های حفاظت توزیع بگونه ای که زمان های قطع را بتوان کاهش داد،قابلیت اطمینان سیستم قدرت را می توان بهبود داد.مهمترین هدف در انجام این تحقیق تنظیم رله های جریان زیاد در یک شبکه توزیع و یا فوق توزیع است به گونه

ای که تمامی قیود مربوطه برآورده شوند و تمامی رله ها در زمان مناسبی بتوانند خطی که خطا در آن رخ داده است را از مدار خارج کنند.قیود مساله عمدتاً از هماهنگی مناسب بین جفت رله های پشتیبان و اصلی حکایت دارند چرا که در فلسفه حفاظت این هماهنگی دیرتر عمل کردن رله پشتیبان نسبت به رله اصلی(به ازای خطای رخ داده در ناحیه تحت پوشش رله جلویی یا همان رله اصلی)تعریف می شود.در صورتی که رله پشتیبان زوتر از رله اصلی عمل نماید و یا اینکه رله اصلی خیلی با تاخیر دستور خروج خط را به کلید های قدرت ارسال نماید بی دلیل خطوط دیگر به همراه بار مربوطه شان از مدار خارج می شوند.با توسعه شبکه های توزیع با حضور DG و حلقوی کردن آن حفاظت مناسب این شبکه ها اهمیت بیشتری می یابد.حجم اطلاعات هماهنگی برای شبکه های توزیع با افزایش ابعاد شبکه،به مقدار بسیار زیادی افزایش می یابد بگونه ای که محاسبات حفاظت دستی را کاملاً غیر ممکن می سازد. بنابراین استفاده از الگوریتم های کامپیوتری برای انجام محاسبات حفاظت سیستم های توزیع کاملاً ضروری می باشد.از اهداف دیگر پژوهش کاهش تعداد رله های جریان زیاد کاندید تغییرات می باشد به طوری که هزینه ها و مشکلات تنظیم مجدد رله های جریان زیاد حداقل شود.

در فصل دوم مساله هماهنگی حفاظتی سیستم های توزیع و توضیحاتی در خصوص ساختار رله های جریان زیاد مطرح می گردد.در فصل سوم با بررسی تاثیرات تولیدات پراکنده بر روی حفاظت شبکه های توزیع و با توجه به راهکارهای موجود طرح مناسبی برای هماهنگی رله های حفاظتی در حضور تولیدات پراکنده مطرح می گردد.در فصل چهارم به بیان مساله و شبیه سازی آن پرداخته شده است و با نمایش تاثیرات تولیدات پراکنده بر روی هماهنگی حفاظتی یک شبکه توزیع نمونه،طرح هماهنگی بهینه در حضور تولیدات پراکنده پیاده سازی می گردد.در فصل پنجم نتایج کار به طور خلاصه ارائه شده و در پایان در فصل ششم به بیان نتیجه گیری این روش با روش های مرسوم دیگر پرداخته شده است و همچنین در این فصل به ارائه پیشنهاداتی می پردازیم که میتواند خط مشی کارهای تحقیقاتی دیگر دانشجویان قرار گیرد.

فصل دوم

رله‌های اضافه جریان

۲-۱ مقدمه

به جرات می توان گفت مهمترین بخش سیستم حفاظت شبکه، رله ها می باشند. حفاظت یک شبکه الکتریکی در برابر جریان‌های زیاد یکی از اولیه‌ترین حفاظت‌ها در شبکه است. حفاظت در برابر اضافه جریان با حفاظت های اضافه بار متفاوت است و به مراتب از جریان اضافه بار بالاتر است و باید به سرعت این اضافه جریان از شبکه حذف شود. بنابراین تنظیم دقیق رله ها برای تفکیک انواع اضافه جریان ها و جلوگیری از عمکرد اشتباه رله ها بسیار حائز اهمیت است.

در انواع مختلف رله های اضافه جریان که در این فصل مفصلا مورد بررسی قرار خواهد گرفت با تنظیمات متفاوتی روبرو خواهیم بود. در حالت عملکرد لحظه‌ای پس از این که جریان از میزان تنظیم شده برای رله بیشتر شد، رله آن را تشخیص داده و بلافاصله تریپ می‌دهد. در عملکرد باتأخیر زمانی، پس از رسیدن جریان به میزان تنظیم شده، رله پس از مدت زمانی که به میزان جریان بستگی دارد، دستور تریپ را صادر می‌کند. در این حالت معمولا از منحنی‌های معکوس با شکل و شیب متفاوت استفاده می‌شود. در این فصل به طور کامل به بررسی انواع رله‌های اضافه جریان در شبکه قدرت و تنظیمات این رله ها می‌پردازیم.

۲-۲ رله‌های اضافه جریان:

بطور کلی رله های اضافه جریان با هدف جدا کردن قسمت معیوب شبکه که سبب افزایش جریان از حد مشخصی شده است در سیستم حفاظت استفاده می شود.معمولا عیوبی که سبب اضافه جریان شده که توسط رله‌های جریانی تشخیص داده می‌شوند عبارت است از اتصال کوتاه در شبکه، اضافه بار جریان نشتی (ارت فالت)، عدم تقارن جریان سه فاز و کاهش بار. به جرات می توان گفت اولین حفاظت مورد استفاده در شبکه، حفاظت اضافه جریان می باشد. در مورد حفاظت فوق منحنی قطع رله که نشانگر عملکرد رله می باشد از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است زیرا حفاظت صحیح بر اساس آن صورت می‌گیرد. این رله‌ها می توانند دارای دو گروه منحنی قطع

باشند . نوع زمان ثابت که پارامتر جریان و زمان به هم وابستگی ندارند و به صورت جداگانه تنظیم می گردند و رله بر اساس جریان تنظیمی در زمان تنظیم شده فرمان قطع را صادر می‌کنند. نوع زمان کاهشی که در این حالت زمان قطع رله با یک منحنی به جریان عبوری از رله مرتبط می‌باشد. به این صورت که هر چه جریان عبوری از رله بیشتر گردد زمان قطع رله کمتر خواهد بود بسته به عملکرد و نوع استفاده از رله منحنی های استانداردی برای این رله‌ها تعریف می‌گردد که در این فصل به طور مفصل بیان خواهند شد.

به طور کلی رله‌های حفاظتی باید دارای مشخصات و ویژگی های زیر باشند تا بتوان به آن ها به عنوان عوامل حفاظتی شبکه اعتماد کرد[۱۵].

۱- سرعت عملکرد:

اولین و مهمترین ویژگی رله های اضافه جریان سرعت عمکرد آن ها می باشد. این پارامتر در رله‌های حفاظتی بسیار حائز اهمیت است چون رله‌های حفاظتی هنگام خطا موظفند با سرعت هرچه تمامتر بخش های معیوب را از قسمت های سالم جدا نمایند . و این فاکتور یکی از اهداف اصلی تنظیمات رله ها بشمار می آید.

۲- حساسیت:

جریان عملکرد رله فاکتور دیگری است که از اهمیت بالایی برخوردار است. این پارامتر مربوط به حداقل جریانی است که سبب قطع رله می‌گردد.

۳- تشخیص و انتخاب در شرایط خطا :

این پارامتر نیز بسیار مهم است زیرا در شبکه‌هایی که دارای چند باس بار و رله حفاظتی هستند هنگام وقوع خطا باید قسمت معیوب به درستی تشخیص داده شده و از شبکه جدا گردد و قسمتهای سالم به کار خود ادامه دهد.

۴- پایداری:

دقت عملکرد رله در منطقه حفاظتی رله به اصطلاح پایداری رله می باشد. این پارامتر به این باز میگردد که یک رله حفاظتی به تمامی خطاهایی که در محدوده حفاظتی خود به درستی عکس العمل نشان دهد و در مقابل خطاهای

خارج از این محدوده عکس العملی نشان ندهد.

متداولترین نوع رله که در شبکه استفاده می‌گردد، رله جریان زیاد است. رله‌های جریان زیاد تـأخیری دارای چند مشخصه زمان-جریان بوده و زمان قطع آن‌ها وابسته به مقدار جریان خطا می‌باشد. مطابق استاندارد IEC سـری ۶۰۲۵۵ این نوع رله‌ها بایستی دارای چهار مشخصه مختلف باشند که زمان‌های قطع متفاوتی را ارائه مـی‌کننـد. ایـن رله‌ها می‌توانند از نوع جهت‌دار باشند که در این صورت رله تنها به خطاهای در یک جهت پاسخ می‌دهد. رلـه جریـان زیاد تأخیری می‌تواند به واحد آنی نیز مجهز گردد که در این صورت در جریان‌های بسیار زیاد، زمان عملکرد رله ثابت و مقدار کوچکی خواهد بود. رله‌های اضافه جریان آنی می‌توانند بصورت واحد مجزا نیز مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۳ رله جریان زیاد زمان معین[1]

در این رله رابطه جریان و زمان مستقل می‌باشد. ارتباط زمان و جریان در اینجا به این مفهـوم اسـت کـه اگـر جریان رله از جریان تنظیمی آن بالاتر برود تایمر فرمان بکار می افتد به این شکل هنگامیکه رله در ناحیه قطع قرار می گیرد ، پس از سپری شدن زمان تنظیم ، فرمان ارسال می‌شود. زمان تنظیم در تمام نقاط ناحیه قطع ، یکسـان عمـل می نماید .به هر حال تنظیم جریان و زمان مستقل از یکدیگرند و در این حالت زمان ثابت است و ارتبـاطی بـا جریـان اتصال کوتاه ندارد.

اشکال رله جریانی با مشخصه ی عملکرد ثابت این است که به ازای خطاهای نزدیک تر بـه منبـع کـه اصـولا دارای سطح اتصال کوتاه بالاتر نیز می باشند به دلیل بالا بودن زمان تنظیم رله‌ها،مشکل زا بوده و عملا این رله‌هـا در سطوح حفاظتی بالاتر غیر قابل استفاده می باشند.یکی از راه هـای رفـع ایـن مشـکل اسـتفاده از همـاهنگی جریـانی می‌باشد.

منظور از هماهنگی جریانی این است که زمان عملکرد کلیه ی رله‌ها را یکسان در نظر گرفته و جریان تنظیم

[1] Definite time over current Relay

عملکرد رله‌ها را هر چه به سمت منبع نزدیک تر می رویم بیشتر انتخاب می‌کنیم.اما روش دوم و روش موثر جهت حل این مشکل استفاده از رله‌های جریان زیاد با مشخصه ی عملکرد معکوس می‌باشد. معمولا جریان تنظیم عملکرد رله‌های جریانی برابر (۱.۲_۱.۳) برابر جریان نامی شبکه تعریف می‌شود.

۲-۴ رله جریان زیاد با منحنی قطع زمان معکوس

در شبکه معمولاً اضافه جریان با مقادیر مختلف اتفاق می افتد . مثلاً اضافه جریان در حدود ۱/۵ برابر جریان نامی شاید برای چند لحظه روی شبکه و سیستم قابل تحمل باشد ولی اضافه جریان معادل ده برابر جریان نامی بهتر است که هر چه سریعتر حذف شود. لذا وجود رله‌هایی لازم است که اضافه جریان های زیاد را خیلی زود و اضافه جریان‌های کم را قدری دیرتر قطع کنند . به این رله‌ها ، رله‌های اضافه جریان زمان معکوس می گویند . یعنی رله‌هایی که مدت زمان عملکرد شان با مقدار اضافه جریان نسبت عکس دارند . هر چه مقدار اضافه جریان بیشتر باشد زمان عملکرد کوتاهتر می‌شود. گاهی رله‌های تاخیری را به یک رله بدون زمان نیز مجهز می‌کنند. موارد استفاده رله‌های جریان زیاد با مشخصه ی عملکرد ثابت در شبکه‌های توزیع و شبکه‌های ساده شعاعی با انشعابات محدود می‌باشد.(در نقاط انتهایی شبکه)

در منحنی مشخصه رله‌های زمان معکوس زمان عملکرد رله تابعی از جریان می‌باشد و با زیاد شدن جریان بر مبنای فرمولهای استاندارد شده زمان عملکرد رله کم می‌شود. رله‌های ثانویه امروزی عموماً دارای منحنی مشخصه‌های زمان معین و زمان معکوس هستند توجه کنید در عمل فقط یکی از منحنی ها را باید انتخاب نمود. رله‌های منحنی معکوس با حروف IDMT شناخته می‌شوند.

IDMT = Inverse definite minimum time characteristic

۲-۵ Pick up رله‌های جریان زیاد

اگر رله در نقطه Is تنظیم شده باشد جهت جلوگیری از نوسان در نقطه تنظیم رله چند درصدی بالاتر از Is شروع بکار می‌نماید. به نقطه شروع به کار رله Pick up گفته می‌شود معمولاً در اکثر موارد:

$$I_{pickup} = 1.05 I_s$$

در رله‌های قدیمی تر مقدار

$$I_{pickup} = 1.1 I_s$$

۲-۶ Drop off رله‌های جریان زیاد

اگر رله از ناحیه قطع به ناحیه سالم برگردد نقطه مشترک برگشت را جریان Drop off می‌گویند که در اکثر موارد:

$$I_{Drop\ off} = I_s$$

در مواردی نیز تا Is تا 0.95پائین می‌آید.

$$I_{Drop\ off} = 0.95\ I_s$$

نسبت Drop off به Pick up بسیار مهم است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است (در صورتی که رله نوسان ننماید) در اغلب موارد مقدار آن 95 % می‌باشد.

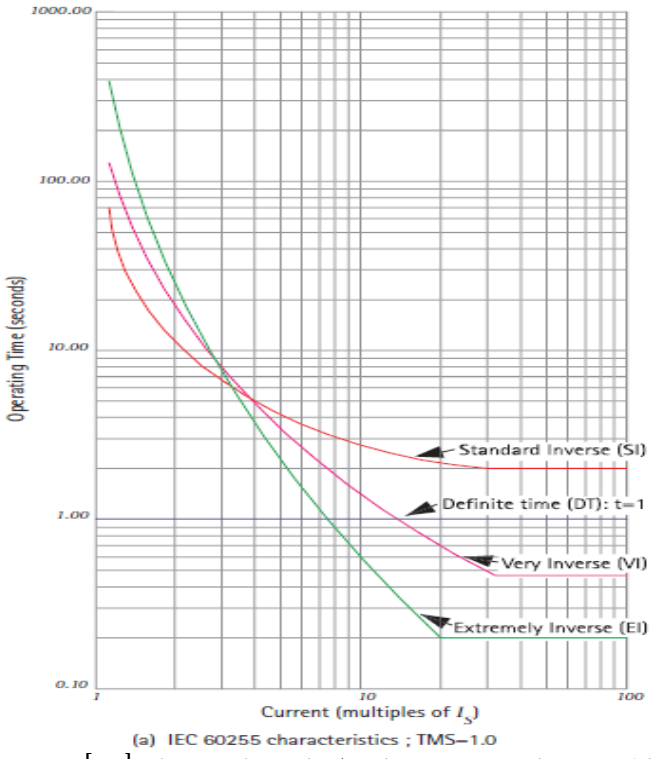
۲-۷ ضریب تنظیم بلاک[۱] (PSM)

نسبت جریان عبوری از رله به جریان تنظیمی رله را ضریب تنظیم بلاک یا psm گویند.

[۱] Plug setting multiplier

۲-۸ منحنی های استاندارد IEC

منحنی استاندارد IEC برای رله‌های زمان معکوس سه منحنی ارائه می‌نماید که در زیر آورده شده اند.



شکل۲-۱-مقایسه مشخصه های رله‌های معکوس زمانی[۱۵]

این نوع رله‌ها معمولا برای خطوط با طول متوسط یعنی خطوط توزیع و فوق توزیع کوتاه استفاده می‌شود.رابطه(۲-۱) نشان می دهد که زمان تنظیم رله به جریان عبوری آن بستگی دارد که t زمان عملکرد رله،TMS ضریب تنظیم زمانی،I_f جریان اتصال کوتاه عبوری از رله و I_s جریان راه اندازی یا پیک آپ می باشد[۱۸].

$$t = TMS \times \frac{0.14}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1} = \frac{0.14}{I^{0.02} - 1} \times TMS \qquad (۱-۲)$$

۲-۹ زمان معکوس شدید

این نوع رله‌ها در جاهایی که جریان خطا با افزایش فاصله بین محل خطا و منبع تغذیه به طور قابل ملاحظه‌ای

کاهش می‌یابد. مانند خطوط انتقال خیلی بلند که عملا امپدانس خط در مقایسه امپدانس منبع قابل ملاحظه است استفاده می‌شود[۱۸].

$$t = TMS \times \frac{13.5}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^1 - 1} = \frac{13.5}{I^1 - 1} \times TMS \qquad (۲-۲)$$

۲-۱۰ زمان معکوس بسیار شدید

این نوع رله‌ها جهت حفاظت الکتروپمپ‌ها و موتورها که دارای جریان زیاد راه اندازی بالا می‌باشد استفاده می‌شود[۱۸].

$$t = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^2 - 1} = \frac{80}{I^2 - 1} \times TMS \qquad (۲-۳)$$

۲-۱۱ استاندارد UK زمان معکوس بلند مدت

$$t = TMS \times \frac{120}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^1 - 1} = \frac{120}{I^1 - 1} \times TMS \qquad (۲-۴)$$

۲-۱۲ ضریب تنظیم زمان

چنانچه از فرمول‌های بالا مشخص می‌باشد ضریب TMS (TDS) را به صورت زیر می‌توان تعریف نمود:

زمان عملکرد مورد نیاز تقسیم بر زمان عملکرد در TMS=1 جهت تنظیم زمانی رله با دور یا نزدیک نگه داشتن کنتاکت تیغه متحرک در ابتدای شروع کار رله از ترمینال‌های ثابت استفاده می‌شود. ضریب تنظیم زمانی رله را با TMS نشان داده و مقدار تنظیم آن از ۰/۰۵ الی ۱ با پله‌های ۰/۰۵ تغییر وجود دارد.

۲-۱۳ نحوه تشخیص خطا در رله‌های جریان زیاد

الف - تشخیص خطا بوسیله جریان

ب : تشخیص خطا بوسیله زمان

ج-تشخیص خطا با ترکیب جریان و زمان

در این حالت رابطه زمان و جریان را معکوس یکدیگر بر مبنای استانداردهای مشخص طراحی می‌کنیم یعنی طبق فرمول مشخصی زمان قطع رله با بالا رفتن جریان نسبت معکوس داشته باشد.

۲-۱۴ رله جهتی

بروز اتصالی در جهت جریانی که مدار جاری می‌شود مؤثر می‌باشد. در بیشتر طراحی‌ها جهت جریان برای نصب دستگاه رله می‌بایست مشخص شود در این صورت از رله‌های جهتی استفاده می‌شود. از نظر ساختمان داخلی و طرز کار، این رله به صورت‌های اندوکسیونی و الکترونیکی، کاربرد فراوانی دارد. رله‌های جهتی دارای دو سیم پیچ بوده که یکی از آن‌ها مانند رله‌های اضافه جریان با شدت جریان ورودی i تحریک شده و سیم پیچ دیگر با ولتاژ مناسبی تحریک می‌گردد[۲۴]. این رله‌ها از دو قسمت جهت‌یاب و اضافه جریان تشکیل شده‌اند و این بدین معنی است که هر گاه در شبکه تحت حفاظت، اتصالی رخ دهد، ابتدا این رله جهت عبور شدت جریان به محل اتصالی را به وسیله قسمت جهت‌یاب تشخیص داده و سپس اگر جریان در جهت عملکرد رله باشد و هم چنین از نظر مقدار به اندازه‌ایی باشد که بتواند موجب تحریک قسمت اضافه جریان رله گردد، رله مزبور تحریک شده و فرمان قطع را صادر می‌نماید[۲۳].

۲-۱۵ رله جریان زیاد جهت‌دار

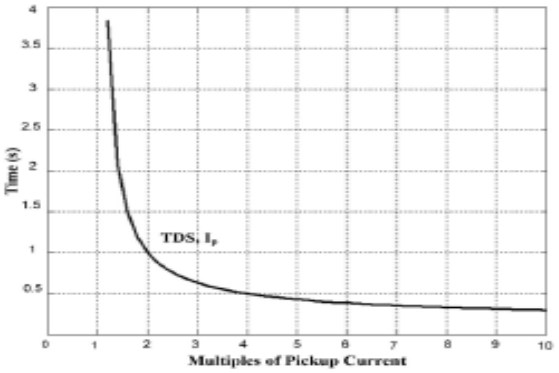
سیستم‌های فوق توزیع و انتقال برخلاف اکثر سیستم‌های توزیع به طور عمده حلقوی هستند. انتقال توان در این سیستم‌ها در یک جهت مشخص نیست. این امر باعث می‌شود که حفاظت این سیستم‌ها مشکل‌تر از سیستم‌های توزیع یا فوق توزیع شعاعی باشد. رله‌های اضافه جریان جهتی ابزاری ساده و اقتصادی برای حفاظت سیستم‌های فوق

توزیع حلقوی هستند. علاوه بر این از آن‌ها به عنوان حفاظت پشتیبان در سیستم‌های انتقال نیز استفاده می‌شود.

به دلیل جهت دار بودن، این رله‌ها اضافه جریان را فقط در یک جهت تشخیص می‌دهند. هر رله دارای دو تنظیم جریان برداشت و مقدار ضریب تنظیم زمانی (TDS) می‌باشد. برای تعیین این دو تنظیم در حالت کلی دو روش وجود دارد، روش‌های مرسوم و دیگری تکنیک‌های مبتنی بر روش‌های بهینه‌سازی. در سیستم‌های واقعی تعداد رله‌های نصب شده زیاد است. این باعث می‌شود که هماهنگ کردن رله‌های جهتی با استفاده از روش‌های مرسوم امری زمان بر و مشکل باشد. برای رفع این مشکل از تکنیک‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود[۱۳].

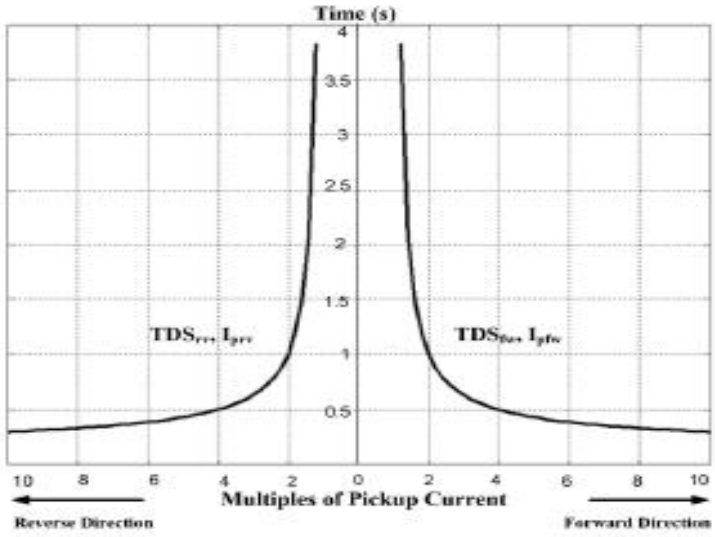
از عواملی که در طراحی رله‌های جهتی از اهمیت زیادی برخوردار است، سرعت عملکرد رله به منظور رفع فالت در سیستم می‌باشد. هرچه یک رله سریع تر عمل کند، عواقب بروز خطا کمتر می‌شود. به همین دلیل می‌توان گفت که بهترین تابع هدف، تابعی است که برای هر رله منجر به کمترین زمان عملکرد شود. پس در مسئله بهینه‌سازی باید زمان عملکرد تمامی رله‌ها مینیمم شود[۲۷].

تنظیم دوگانه رله‌های جهت‌دار: در حالت مرسوم رله‌های جهت‌دار دارای یک تنظیم برای هماهنگی بوده که در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل۲-۲-مشخصه زمان-جریان رله‌های معمولی[۱۳]

رله‌های جریان زیاد همچنین دارای دو قابلیت تنظیم می‌باشند که برای عملکرد در جهت مستقیم و معکوس به کار می‌رود. مشخصه زمان-جریان این رله‌ها به صورت زیر نمایش داده شده است. رله به عنوان رله اصلی عمل می-کند زمانی که جریان در جهت مستقیم و به عنوان پشتیبان زمانی که جریان در جهت معکوس از آن عبور کند.



شکل۲-۳-مشخصه زمان-جریان رله‌های جهت دار[۱۳]

۲-۱۶ هماهنگی رله‌های اضافه جریان

در حالت کلی تنظیم‌های جریان و زمان تجهیزات حفاظتی جریان زیاد به منظور دستیابی به ترتیب عملکرد مورد نظر را هماهنگی تجهیزات حفاظتی می نامند.

اهداف هماهنگی تجهیزات حفاظتی به شرح زیر است:

الف: خطا را در کمترین زمان ممکن رفع می‌کند به ترتیبی که از مدت زمان تحمل تجهیزات در برابر جریان‌های عبوری کمتر باشد.

ب: گستره شبکه تحت تاثیر خطا را حداقل می‌کند.

رله دارای دو جریان تنظیم می‌باشد:

۱.جریان تنظیمی جهت جریان‌هایی که پس از آن رله بصورت لحظه‌ای(آنی) فرمان می‌دهد.

۲.جریان تنظیمی جهت جریان‌هایی که پس از آن رله با تاخیر زمانی فرمان صادر می‌نماید.

به منظور رسیدن به اهداف بیان شده، رله‌های در سیستم قدرت باید دارای هماهنگی باشند که هم بتوانند عمکرد سریع در برابر خطا از خود نشان دهند وهم تداخل عمکرد وجود نداشته باشد و کوچکترین منطقه ممکن از شبکه قطع شود. تمامی این اهداف مستلزم حل مسئله هماهنگی رله‌ها می‌باشد که در فصول بعد به آن پرداخته و شبیه‌سازی شده است.

فصل سوم

حضور منابع تولید پراکنده و توسعه شبکه

۳-۱ مقدمه:

منابع تولید پراکنده به کلیه منابع تولید انرژی گفته می شود که در مقیاس کوچک به تولید و تزریق توان به شبکه مشغولند. به طور خلاصه منابع تولید پراکنده را می‌توان به عنوان منابع تولید توان الکتریکی که به شبکه‌های فوق توزیع یا توزیع و یا به مصرف‌کننده‌های محلی متصل می‌شوند، تعریف کرد. ظرفیت تولید این منابع در مقایسه با سایر منابع متداول تولید انرژی الکتریکی، بسیار کوچکتر و فن‌آوری بکار رفته در تولید توان در آن‌ها نیز متفاوت و بسیار متنوع است. تولیدات پراکنده در سال های اخیر، گسترش روزافزونی در سراسر جهان یافته‌اند[۶].

نیروگاه‌های تولید پراکنده دارای ظرفیت تولیدی از چند کیلو وات تا ۱۰ مگاوات هستند که جهت تولید انرژی الکتریکی در نقاط نزدیک به مصرف‌کنندگان به کار می‌روند از انواع آن‌ها می‌توان به سلول‌های خورشیدی، پیل‌های سوختی، میکروتوربین‌ها، نیروگاه‌های بادی و. . . اشاره کرد. چنانچه این نیروگاه‌ها به شبکه متصل شوند، اثرات مختلفی روی شبکه از جمله کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان شبکه خواهند داشت.

در کنار مزایایی که اتصال منابع تولید پراکنده به سیستم به همراه دارد، این منابع ممکن است که تأخیرات بالقوه‌ای نیز بر بهره‌برداری، حفاظت و کنترل سیستم‌های توزیع و انتقال داشته باشند. احداث این ژنراتورها، توزیع مجدد بار را به همراه خواهد داشت و هچنین در مواردی باعث افزایش جریان خطا و مشکلات اضافه ولتاژ خواهد شد. بنابراین، یک الزام اساسی که اتصال آن‌ها را به شبکه مجاز می‌کند برقراری هماهنگی مناسب بین طرح‌های حفاظتی ژنراتورهای مستقل تولید پراکنده و شرکت‌های برق می‌باشد. در این فصل به بررسی حضور DG در شبکه برق قدرت می‌پردازیم.

۳-۲ منابع تولید پراکنده

منبع تولید پراکنده منبع توان الکتریکی نزدیک به مصرف کننده است و مستقیماً به شبکه توزیع وصل می‌شود. تولید پراکنده به صورت ابتدایی، تمام یا قسمتی قدرت الکتریکی مورد نیاز شبکه را تامین می‌کند یا به عنوان منبع تولید آماده به کار استفاده می‌شود[۱۶].

دسترسی کشورهای در حال توسعه به انواع منابع جدید انرژی، برای توسعه اقتصادی آن‌ها اهمیت اساسی دارد و پژوهش‌های جدید نشان داده که بین سطح توسعه یک کشور و میزان مصرف انرژی آن، رابطه مستقیمی برقرار است با توجه به ذخایر محدود انرژی در جهان فعلی، دیگر نمی‌توان به منابع موجود انرژی متکی بود. کلیه انرژی‌های تجدیدپذیر، روز به روز سهم بیشتری در سیستم تأمین انرژی جهان به عهده می‌گیرند. این منابع، امکان پاسخ‌گویی همزمان به هر دو شکل اساسی منابع فسیلی را نوید می‌دهند. انرژی‌های تجدیدپذیر، اساساً با طبیعت سازگار بوده و آلودگی ندارند و چون تجدیدپذیرند پایانی برای آن‌ها وجود ندارد. اما سازگار کردن منابع تجدیدپذیر با سیستم کنونی مصرف انرژی جهان، هنوز با مشکلاتی همراه است که برای حل آن‌ها، حجم مهمی از تحقیقات علمی جهان را در دهه های اخیر به خود اختصاص داده است.

امروزه استفاده از سیستم‌های تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع ولتاژ متوسط و فشار ضعیف به عنوان یکی از روش‌های اصلی تولید انرژی مطرح می‌باشد. عواملی مثل توسعه و پیشرفت در تکنولوژی‌های تولید پراکنده، محدودیت در احداث خطوط انتقال جدید، افزایش تقاضای مشتریان جهت قابلیت اطمینان بیشتر در تولید برق، بازار برق و افزایش حساسیت‌ها نسبت به مسایل زیست‌محیطی در استفاده گسترده از DG در دهه اخیر بسیار موثر بوده-اند.

تعاریف گوناگونی از منابع تولید پراکنده صورت پذیرفته است ولی عموماً منظور از تولید پراکنده، استفاده از توربین‌های بادی، توربین‌های آبی، واحدهای توربین گازی کوچک، پیل‌های سوختی و... می‌باشد که توان خروجی

آن ها از چندین کیلووات تا چندین مگاوات متغیر بوده و بـه صـورت پراکنـده در شـبکه توزیـع بـرای تـأمین انـرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع منافع الکتریکی زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به مـوارد زیر اشاره نمود[۱۷]:

۱- پشتیبانی اضطراری در هنگام بروز خاموشی‌های تحمیل شده به شبکه

۲- کاهش ضعف ولتاژ

۳- افزایش قابلیت اطمینان شبکه

۴- کاهش تلفات الکتریکی

۵- بهبود ضریب قدرت فیدرها با آزادسازی ظرفیت سرویس‌دهی

۶- تغذیه بارهای محلی در مدت جزیره‌ای شدن شبکه

۷- ارزشمند نمودن ذخایر انرژی به واسطه کاهش پیک بار در زمان‌های اوج مصرف

در کنار مزایایی که اتصال منابع تولید پراکنده به سیستم به همراه دارد، این منابع ممکن است که تـأخیرات بالقوه‌ای نیز بر بهره‌برداری، حفاظت و کنترل سیستم‌های توزیع و انتقال داشته باشند. احداث ایـن ژنراتورهـا، توزیـع مجدد بار را به همراه خواهد داشت و هچنین در مواردی باعث افزایش جریان خطا و مشکلات اضافه ولتاژ خوهد شـد. بنابراین، یک الزام اساسی که اتصال آن‌ها را به شبکه مجاز می‌کند برقراری هماهنگی مناسب بین طرح‌های حفـاظتی ژنراتورهای مستقل تولید پراکنده و شرکت‌های برق می‌باشد. در یک سیستم حفاظتی کارآمـد و هماهنـگ، خطـا در کمترین زمان ممکن برطرف می‌شود و کمترین بخش از سیستم به دلیل وقوع خطا از سیستم جدا می‌شود .

بسیاری از سیستم‌های DG متکی به منابعی می‌باشند که دارای قابلیت پیش‌بینی کم یا محدود هستند با در نظر گرفتن تطابق تولید و تقاضا برای ثابت نگهداشتن قابلیت موجودی نیاز به پشتیبانی توان خواهیم داشت. همچنین استفاده از DG در شبکه توزیع می‌تواند موجب ایجاد مشکلاتی در کیفیت توان این شبکه‌ها گردد که ایجاد هارمونیک‌ها و نوسان در شکل موج ولتاژ شبکه از جمله این موارد می‌باشد. داخل شبکه با جریان رفت و برگشتی، تغییرات ولتاژ می‌تواند به سرعت با دوجهته شدن جریان توان در شبکه‌ای که قبلاً فقط از بالا به پایین بوده افزایش یابد. شکاف (Bursts) محلی میان توان فعال و غیر فعال بسیار سریع ولتاژ را منحرف خواهد نمود.

مسأله بسیار اساسی که در کنار مواردی نظیر کنترل توان اکتیو و ولتاژ، محدودیت هارمونیک‌ها و فلیکر در شبکه‌های توزیع دارای منابع تولیدپراکنده وجود دارد، شرایط اقتصادی بسیار مناسب طرح می‌باشد لذا منطقی به نظر می‌رسد تا منابع تولید پراکنده را با ویژگی‌های شبکه‌های توزیع مطابقت دهیم و از فواید اقتصادی استفاده از آن‌ها بهره مند شویم.

۳-۳ مسئله حضور DG و حفاظت شبکه

طبیعتاً امنیت سیستم باید همیشه تضمین شده باشد مسئله به راحتی که به نظر می‌رسد نیست، چون خطای جریان نه تنها از سیستم توان (یک منبع ولتاژ بزرگ) یک جهته، بلکه همچنین از واحدهای DG (منابع جریان فشرده) ناشی می‌شود که با استفاده از روش‌های کلاسیک فیوز و رله باعث پیچیده‌تر کردن تشخیص موقعیت‌های غلط خواهد بود[۱۵].

چنانچه در نزدیکی یک واحد DG اتصال کوتاه اتفاق افتد. معادل یک منبع جریان عمل نموده، مقدار قابل توجهی جریان خطاء تولید می‌کند ولی آنقدر نخواهد بود که محافظ‌های سرریز جریان را فعال کند. در تئوری این عمل ممکن است بدون اطلاع محافظ‌های استاندارد صورت پذیرد، همچنین هنگام اتفاق خطا در شعب موازی شبکه بسیار دور از واحد DG، ممکن است بعنوان یک اثر حاشیه‌ای توسط یک محافظ ویژه بالا- پایین بخاطر مشارکت

(محدود) در جریان خطاء قطع شود، و نتیجتاً مشکل را بزرگ‌تر از موقعیت بدون DG نماید[۲۵].

در نتیجه یک سیستم حفاظت فعال پیچیده‌تر با نوعی ارتباطات که سطح امنیت را در آینده حفظ نماید نیاز خواهد بود. در مرحله اول باید جریان‌های خطاهای مختلف در حضور DG بررسی شود و سپس مسئله هماهنگی رله‌ها حل شده و رله‌های شبکه تنظیم شوند تا به اهداف بیان شده در حضور منابع تولید پراکنده برسیم.

هماهنگی رله اضافه جریان در یک سیستم توزیع مش شده با چندین منابع انرژی تجدیدپذیر تولیدپراکنده، برای مهندسان حفاظت الکتریکی بسیار چالش‌زا می‌باشد. رله‌های اضافه جریان موجود در سیستم توزیع، به ازای برخی توپولوژی‌های شبکه و جریان‌های خطای از پیش تعیین شده، تنظیم شده است. اتصال DG منجر به تغییرات در توپولوژی شبکه شده و موجب افزایش جریان خطا از این منابع توان در سیستم‌های توزیع می‌گردد. مشارکت DG ها در جریان‌های خطا تحت توپولوژی تغییر یافته شبکه، منجر به عملکرد نادرست رله‌های اضافه جریان می‌گردد. اصلاح تنظیمات موجود رله اضافه جریان برای هر DG اضافه شده، بطور عملی در شبکه قابل اجرا نیست.

با توجه به مطالب بیان شده، مطمئنا نباید فقط روی مشکلات ناشی از آغاز DG تمرکز کرد فوائد آن‌را نیز باید در نظر گرفت. در یک شرایط خوب قابلیت اطمینان تمام سیستم افزایش می‌یابد پیک تقاضای توان فشار کمتری بر سیستم توان با بار کامل خواهد آورد مهم‌تر از همه این احتمال وجود دارد که با استفاده از منابع محلی بتوان هزینه الکتریسته را با کاهش تلفات انتقال و حذف (با تأخیر در)سرمایه‌گذاری‌های گران در زیر ساخت کاهش داد.

شبکه‌های توزیع معمولاً به صورت شعاعی طراحی می‌شوند که هیچ ژنراتوری در سمت بار وجود ندارد، بنابراین وجود ژنراتورهای تولید پراکنده در شبکه توزیع روی توان جاری شده و شرایط ولتاژ بار و تجهیزات شبکه الکتریکی تاثیر می‌گذارد و این می‌تواند روی پارامترهای عملکردی سیستم، تأثیر مثبت یا منفی داشته باشد. طرح حفاظت شبکه‌های توزیع با فرض شعاعی بودن سیستم طراحی و اجرا می‌شود. اما بعد از اتصال DG، قسمت‌هایی از سیستم دیگر به صورت شعاعی نیستند که این به معنای مشکل‌دار شدن هماهنگی بین تجهیزات حفاظتی می‌باشد.

احداث DG در شبکه می‌تواند باعث به وجود آمدن مشکلات متعددی در زمینه عملکرد نادرست سیستم حفاظتی شود. ناسازگاری بین DG و سیستم حفاظتی عموماً مربوط به مسایل زیر می‌باشد[۳۰]:

۱- افزایش در جریان‌های اتصال کوتاه

۲- کارایی وصل مجدد خط بعد از بروز خطا

۳- هماهنگی سیستم حفاظتی

۴- احتمال عملکرد جزیره‌ای منابع تولید پراکنده بصورت ناخواسته

۵- تغییر ساختار شعاعی شبکهٔ توزیع به شبکه‌های از دو سو تغذیه و در نتیجه نیاز به بازنگری در تجهیزات شبکه موجود. در موج حرکت به سمت هوشمندسازی شبکه برق قدرت (Smart Grid) استفاده از منابع تولید پراکنده اجتناب ناپذیر خواهد بود، لذا بررسی اثر این واحدها بر شبکه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

فصل چهارم

بیان مسئله و شبیه‌سازی

۴-۱ مقدمه:

همانطور که در فصل‌های گذشته بیان شد، حفاظت از سیستم قدرت و تجهیزات بزرگ و کوچک آن یکی از مهم‌ترین وظایفی است که باید به بهترین نحو انجام پذیرد تا ثبات، پایداری و فعالیت دائم سیستم تضمین شود. این مساله به ویژه در سیستم توزیع انرژی الکتریکی که گسترده‌ترین بخش در یک سیستم بزرگ قدرت به شمار آید، از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که از یک سو بیشترین خطاها در شبکه توزیع رخ می‌دهد و از سوی دیگر ارتباط نزدیک آن با مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی ضرورت عملکرد صحیح و مداوم آن را بیشتر می‌کند. عملکرد درست شبکه توزیع، نه تنها به دقت طراحی آن بستگی دارد، بلکه به تنظیم درست تجهیزات حفاظتی نیز بسیار وابسته است زیرا تنظیم درست و به موقع باعث می‌شود که خطاهای پدیده آمده در شبکه توزیع به سرعت و با دقت برطرف شده و کیفیت برق‌رسانی بهبود یابد. اگر چه رسیدن به هدف تامین برق در سطح ایمنی بسیار بالا با طراحی مناسب شبکه توزیع و بهره‌گیری از تجهیزات پیشرفته برق‌رسانی، امکان‌پذیر است اما فراهم آوردن ساختار حفاظتی مناسب و تنظیم درست تجهیزات حفاظتی برای هر چه سریع‌تر جدا شدن قسمت آسیب دیده شبکه توزیع نیز در این میان از نقش اساسی برخوردار است[۱۴].

۴-۲ مسئله بهینه‌سازی هماهنگی رله‌ها با در نظر گرفتن اثر DG ها:

مهمترین مشخصه عملکرد یک سیستم حفاظتی مناسب عملکرد سریع رله‌های حفاظتی برای رفع خطا از سیستم می‌باشد. هرچه یک رله سریع‌تر عمل کند، عواقب بروز خطا کمتر می‌شود. به همین دلیل می‌توان گفت که بهترین تابع هدف، تابعی است که برای هر رله منجر به کمترین زمان عملکرد شود. همانطور که در فصل دوم اشاره شد در یک سیستم حفاظتی زمان عملکرد رله‌های جهتی (t) تابع معکوسی از جریان اتصال کوتاهی است که از آن عبور می‌کند. به طور کلی، مشخصه زمان- جریان رله‌ها را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$t_{ij} = TDS_i \frac{A}{\left(\frac{I_{scij}}{I_{pi}}\right)^B - 1} \quad (۱-۴)$$

که i مشخصه رله و j مشخصه مکان خطا است. پارامترهای A و B ثابت‌هایی هستند که با نـوع رلـه جریـان زیاد تغییر می‌کند که معمولا بر روی مقادیر ۰.۱۴ و ۰.۰۲ به ترتیب تنظیم می‌شوند[۱۳].

Iscij: جریان خطای رله

Ipi: جریان پیک آپ رله

وظیفه رله پشتیبان رفع خطا در حالت عمل نکردن رله اصلی می‌باشد. هدف مسئله بهینـه‌سـازی همـاهنگی رله‌های جریان زیاد مینیمم‌سازی زمان تمامی رله‌ها(اولیـه و پشـتیبان) هنگـام وقـوع خطـا مـی‌باشـد در حـالی کـه هماهنگی بین رله‌ها حفظ می‌شود. تابع هدف مجموع(T) tها یا زمان عملکرد رله‌ها است که بـه صـورت زیـر تعریـف می‌شود[۱۳]:

$$T = \sum_{j=1}^{M} \left(\sum_{i=1}^{N} t_{fwij} + \sum_{k=1}^{N} t_{rvkj} \right) \forall (i,k) \in \Omega \quad (۲-۴)$$

N: مجموع تمامی رله

M: مجموع مکآن‌های خطا است در تمامی فیدرها

t_{fwij}: زمان عملکرد رله i برای مکان خطا j در طی عملکرد مستقیم (اصلی)

t_{rvkj}: زمان عملکرد رله K برای مکان خطا j در طی عملکرد معکوس (پشتیبان)

همانطور که در فصل دوم اشاره شد رله‌های جریان زیاد جهت‌دار دارای دو مشخصه عملکرد یکی برای عبـور جریان در جهت مستقیم و دیگری برای عبور جریان در جهت معکوس خواهد بود. به عبارتی دارای دو زمـان تنظـیم یکی برای جهت مستقیم جریان و یکی برای جهت معکوس جریـان مـی‌باشـند. بـه همـین صـورت جریـان پیـک‌آپ

تنظیمی، TDS[۱] این رله‌ها دارای دو مقدار برای دو جهت می‌باشند. فرمول‌های زیر زمان تنظیمی رله‌ها برای جهت مستقیم و معکوس به ترتیب می‌باشند[۱۳].

$$t_{fwij}=TDS_{fwi}\frac{A}{\left(\frac{I_{scfwij}}{I_{pfwi}}\right)^{B}-1} \qquad (۳-۴)$$

$$t_{rvkj}=TDS_{rvk}\frac{A}{\left(\frac{I_{scrvkj}}{I_{prvk}}\right)^{B}-1} \qquad (۴-۴)$$

TDS_{fwi}: تنظیم TDS رله i برای عملکرد مستقیم

TDS_{rvk}: تنظیم TDS رله k برای عملکرد معکوس

I_{pfwi}: جریان پیک آپ تنظیمی رله i برای عملکرد مستقیم و معکوس

I_{prvk}: جریان پیک آپ تنظیمی رله k برای عملکرد مستقیم و معکوس

I_{scfwij}: جریان خطایی که از مکان خطای j از رله i در جهت مستقیم عبور می‌کند

I_{scrvkj}: جریان خطایی که از مکان خطای j از رله k در جهت معکوس عبور می‌کند.

قابلیت رله‌های جهت‌دار این امکان را به اپراتور می‌دهد که در صورت تنظیم جهت مستقیم یک رله به عنوان رله اصلی، جهت معکوس را به عنوان پشتیبان یک رله دیگر انتخاب کند. به منظور جلوگیری از عدم تداخل بین رله-های اصلی و پشتیبان برای هر خطا، زمان عملکرد رله اصلی می‌بایست به اندازه بازه زمانی کوچکتر از زمان عملکرد رله پشتیبان باشد. قیود هماهنگی بین رله‌ها در طی حل مسئله هماهنگی باید ارضا شود که در ادامه آمده است[۱۳]:

$$t_{rvkj}-t_{fwij}\geq CTI \quad \forall i,k,j \qquad (۵-۴)$$

فاصله هماهنگی CTI[۲] نشان دهنده‌ی زمان حداقل بین رله‌های اصلی و پشتیان است. CTI معمولا بین ۰.۲ و ۰.۵ گرفته می‌شود و در این جا ۰.۳ در نظر گرفته می‌شود.

[۱] Time Delay Setting

[۲] Coordination Time Interval

علاوه بر این، مقدار جریان پیک‌آپ و مقدار TDS در یک بازه مشخص تغییر می‌کنند. حد بالا و پایین تنظیمات رله به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۳]:

$$I_{pi_min} \leq I_{pfwi}\,, I_{prvi} \leq I_{pi_max}$$

$$TDS_{i_min} \leq TDS_{fwi}\,, TDS_{rvi} \leq TDS_{i_max} \qquad (۶-۴)$$

I_{pi-min}: جریان مینیمم پیک آپ تنظیمی رله i

I_{pi-max}: جریان ماکزیمم پیک آپ تنظیمی رله

TDS_{i-min}: حد پایین TDS رله i ام

TDS_{i-max}: حد بالای TDS رله i ام

متغیرهای اصلی که باید بهینه شوند برای مسئله هماهنگی رله‌ها TDS و Ip برای هر دو جهت مستقیم و معکوس است. جریان اتصال کوتاه به عنوان پارامتر در مسئله بهینه سازی در نظر گرفته شده، اما تغییر مکان DG و اندازه آن بر روی سطح جریان اتصال کوتاه اثر می‌گذارد.

با توجه به تابع هدف بیان شده در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله استفاده شده است.

۳-۴ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک[۱] یک روش بهینه‌سازی بر اساس جستجو می‌باشد که توسط جان هولند و شاگردانش در دهه 1970 در دانشگاه میشیگان ارائه شد. الگوریتم ژنتیک جستجو را به وسیله جمعیتی از نقاط انجام می‌دهد که تعداد این نقاط نیز مهم است، به این صورت که تعداد جمعیت زیاد محاسبات را زیاد کرده و کندتر به جواب بهینه نزدیک می‌شود و تعداد جمعیت کم فضای جستجو را به خوبی پوشش نداده و ممکن است الگوریتم در یک جواب محلی متوقف شود.

[۱] Genetic Algorithm

در ادامه به برخی از مفاهیمی که در پیاده سازی الگوریتم های ژنتیک به آن‌ها برخورد می‌کنیم مختصراً بیـان خواهند شد.

ژن و کروموزوم:

ژن کوچکترین واحد سازنده می‌باشد و به رشته ای از ژن‌ها، کروموزوم می‌گویند.

تابع هدف[۱]:

تابعی است که باید بهینه شود و وسیله لازم برای ارزیابی هر کروموزوم را فراهم مـی‌آورد. تـابع هـدف بـه هـر کروموزم یک عدد نسبت می‌دهد که مقدار این عدد میزان خوب بودن یا مناسب بودن آن کروموزوم را نشان می‌دهد.

جمعیت و نسل[۲]:

جمعیت تعداد نقاطی از فضای جستجو است که GA با آن‌ها به سمت بهینه می‌رود. برای این کار عملگرهـای مختلفی بر روی جمعیت اعمال می‌شوند و جمعیتی به وجود می‌آیدکه جایگزین جمعیت قبل می‌شود و با اعمال دوباره عملگرها این روند ادامه می‌یابد. این تکرارها نسل‌های را به وجود می‌آورند.

والدین و فرزندان:

در هر نسل افراد جمعیت به صورت جفت جفت و بر اساس احتمالی متناسب با تابع هدفشان انتخاب شـده تـا عملگرها بر روی آن اعمال شود. به این جفت ها " والدین " گفته می‌شود. پس از انجام عملگرها بر روی والـدین، یـک جفت موجود تولید می‌شود که " فرزندان "آن‌ها می باشند.

بلوک دیاگرام الگوریتم ژنتیک:

---

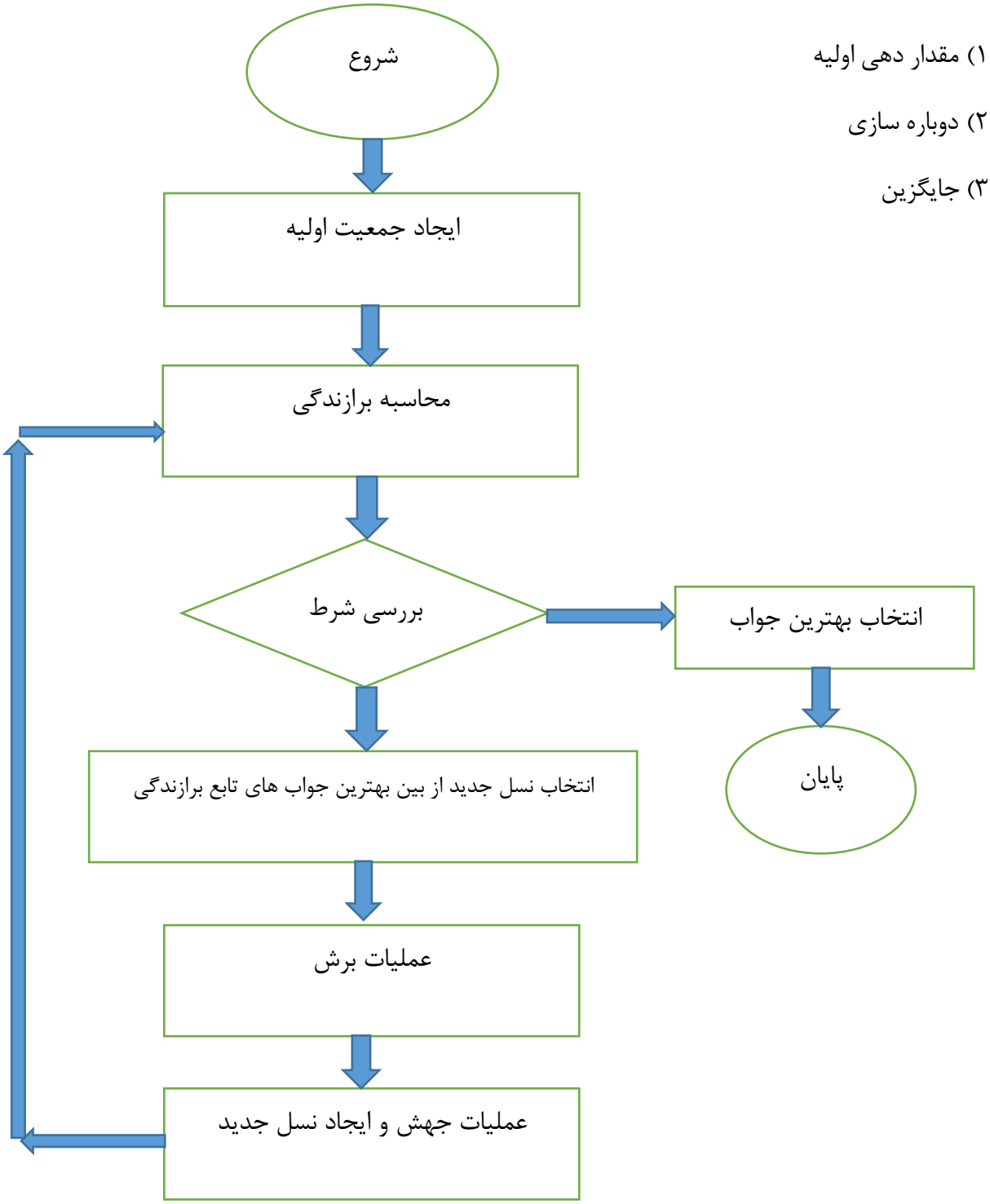
[۱] Objective Function
[۲] Population

آنچه در این پروژه به کار گرفته شده است، الگوریتم ژنتیکی است که بلوک دیاگرام آن در شکل زیر آورده شده است. انجام عملیات الگوریتم نیاز به پیاده‌سازی سه مرحله دارد که عبارتند از:

۱) مقدار دهی اولیه

۲) دوباره سازی

۳) جایگزین



شکل۴-۱-الگوریتم پیشنهادی ژنتیک

در مقدار دهی اولیه ابتدا نقاطی از فضای جستجو معمولاً به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و سپس هر یک از آن‌ها را کد می‌کنند(تشکیل کرموزوم)، هر یک از این کرموزوم‌ها را می‌توان یک جواب برای مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفت. تعداد کرموزوم‌های انتخاب شده به جمعیت در نظر گرفته شده برای مسئله بستگی دارد. برای هر کرموزوم مقدار تابع هدف را محاسبه کرده و به آن اختصاص می‌دهیم. مجموعه این کرموزوم‌ها نسل اولیه را تشکیل می‌دهند.

مرحله دوباره‌سازی با استفاده از نسل فعلی، نسل جدید را تولید می‌کند. برای این کار یک جفت کرموزوم از نسل فعلی و با احتمالی متناسب با مقدار تابع هدف آن کرموزوم نسبت به سایر کرموزوم‌ها در آن نسل انتخاب کرده(والدین) و با اعمال عملگرهای برش و جهش یک جفت کرموزوم جدید(فرزندان) تولید می‌شود. این فرزندان در نسل بعدی قرار می‌گیرند. انتخاب، برش و جهش آن قدر ادامه می‌یابد تا تعداد فرزندان کافی برای پر شدن نسل جدید تولید شوند. سپس برای هر کرموزوم جدید مقدار تابع هدف را حساب کرده و به آن اختصاص می‌دهند. در مرحله جایگزینی کرموزوم‌های جدید(فرزندان) جایگزین کرموزوم‌های قبل(والدین) می‌شوند یعنی نسل جدید جایگزین نسل قبلی می‌شود. مرحله دوباره‌سازی و جایگزینی آنقدر تکرار می‌شوند تا به اندازه کافی به جواب بهینه نزدیک شویم. میزان نزدیک شدن به جواب بهینه که شرط پایان الگوریتم ژنتیک است به وسیله استفاده کننده مشخص می‌شود. برای این کار معمولا هدف‌هایی در نظر گرفته می‌شود که باید بر آورده شوند.

۸) عملگرهای انتخاب، برش و جهش

انتخاب[۱]: این عملگر، سازوکار بقای موجود قوی‌تر در طبیعت را تقلید می‌کند، یعنی به موجود بهتر شانس بیشتر و به موجود بدتر شانس کمتری برای بقا می‌دهد. در هر مرحله با دو انتخاب، دو موجود به عنوان والدین در نظر گرفته می‌شوند.

[۱] Selection

برش[1]: عملگر برش، کار تولید فرزندان از والدین را بر عهده دارد. روش‌های مختلفی برای برش وجود دارد مانند روش ساده، چندگانه و یکنواخت. در برش ساده نقطه‌ای به صورت تصادفی در کروموزوم والدین انتخاب می‌شود. ژن‌های قبل ازنقطه برش از والد ۱ به فرزند ۱ و از والد ۲ به فرزند ۲ به صورت مستقیم انتقال می‌یابد. ژن‌های بعد از نقطه برش از والد ۱ به فرزند ۲ و از والد ۲ به فرزند ۱ انتقال می‌یابد.

عمل برش با احتمال ۱>P>۰ انجام می‌شود. در صورت عدم انجام برش همه ژن‌ها از والد ۱ به فرزند ۱ و از والد ۲ به فرزند ۲ منتقل می‌شود. در بیشتر موارد P بین ۰ تا ۰.۸ در نظر گرفته می‌شود. برش، با ترکیب ژن‌های دو کروموزوم به دنبال تولید موجود بهتر می‌باشد.

جهش[2]: این عملگر در صورتیکه درست تنظیم شده باشد مانع از همگرا شدن جواب به سمت نقطه بهینه محلی به جای بهینه اصلی می‌شود. در هر کروموزوم که تولید می‌شود عمل جهش با احتمال Pmutation انجام می‌شود.

یک ژن از کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب شده و تغییر می یابد. مثلاً در کروموزوم‌های باینری یکی از ژن‌ها انتخاب شده در صورت " ۰ " بودن "۱ "، ودر صورت " ۱ "بودن " ۰ " می‌شود. و با این کار به نوعی، با کل فضای جستجو کار می‌کنیم. معمولا Pmutation بین ۰.۰۱ تا ۰.۱ انتخاب می‌شود. در این پژوهش از الگوریتم ژنتیکی با مشخصات جدول ۴-۱ استفاده کردیم:

[1] Crossover
[2] Mutation

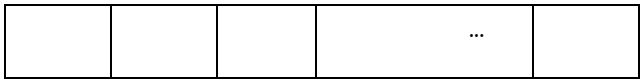
جدول۴-۱:پارامترهای مهم بهینه سازی ژنتیک

پارامتر	مقدار
نرخ جهش	٪۳۰
نرخ تقاطع	٪۵۰
جمعیت کروموزوم ها	۲۵۰
تکرارهای الگوریتم	۳۵۰

۴-۴ بهینه‌سازی با هدف کاهش تعداد رله‌های کاندید تغییرات

برای ارزیابی شایستگی یک رشته تنظیم زمانی، نیاز به یک تابع هدف داریم که هدف ما کمینه کردن آن می‌باشد. در این مرحله مقادیر با توجه به تابع هدف ارزیابی می‌گردند و کروموزم‌های که شایستگی داشته باشند برای تولید کروموزم‌های جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند برای اینکه جواب در مینیمم‌های محلی گیر نیفتد در هر تکرار مرحله‌ای به نام جهش وجود دارد. تعداد تکرارها برای اتمام کار در الگوریتم ژنتیک باید تعیین گردد. با افزایش تکرارها، زمان حل افزایش می‌یابد. در عوض جواب‌ها بهبود خواهد یافت. تعداد تکرارها با توجه به پیچیدگی سیستم و اندازه جمعیت انتخاب می‌گردد. برای فرمول‌بندی مساله یک رشته باینری به صورت زیر در نظر می‌گیریم.

۱ ۲ ۳ N



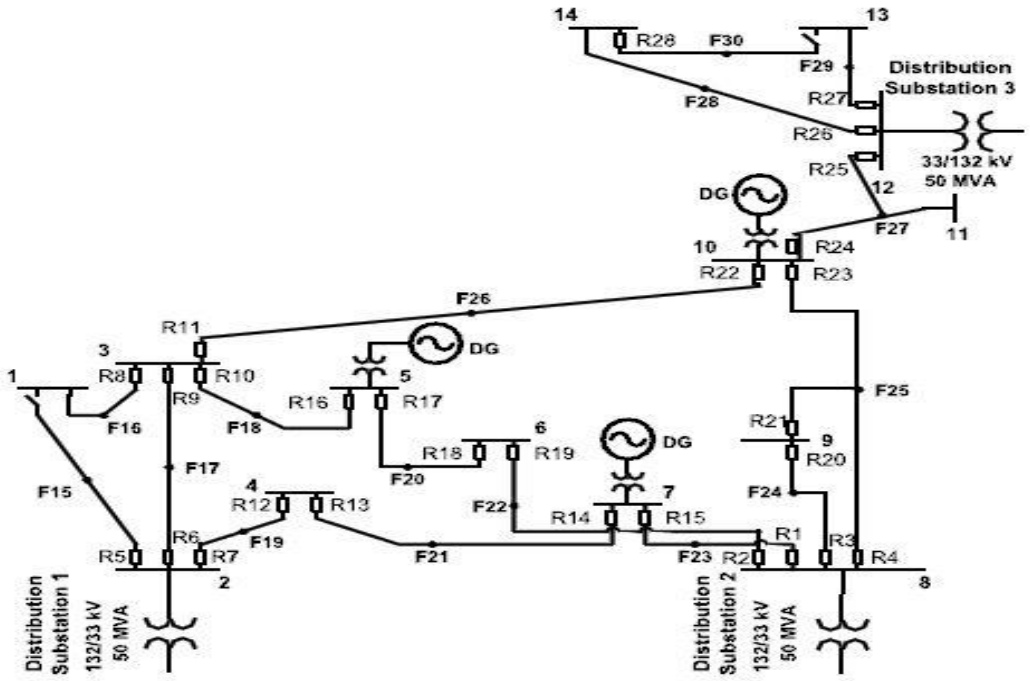
شکل۴-۲:رشته باینری پیشنهادی برای کد گزاری الگوریتم ژنتیک

در این رشته هر خانه متعلق به یک رله اضافه جریان در شبکه می‌باشد. در هر خانه شکل۴-۲ اعداد باینری صفر یا یک قرار می‌گیرد. عدد یک نشان دهنده کاندید بودن آن رله و عدد صفر کاندید نبودن آن است. بنابراین مجموع اعداد این رشته باینری تعداد رله‌های کاندید برای تنظیم مجدد می‌باشد.

۴-۵ شبیه‌سازی شبکه ۳۰ باسه IEEE

در این فصل به بررسی و شبیه‌سازی مدل نمونه شبکه سی باسه IEEE که در مرجع[۱۳] بیان شده است می‌پردازیم. شکل ۴-۳ اطلاعات شبکه و توپولوژی شبکه 30 Bus IEEE را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل دیده می‌شود، روی همه خطوط شبکه مورد مطالعه اتصال کوتاه سه فازی اعمال کرده و جریان‌های اتصال کوتاه عبوری از رله‌ها را به منظور بررسی هماهنگی رله‌ها محاسبه می‌شود. نتایج به دست آمده با توجه به تابع هدف بیان شده و قیود سیستم توسط الگوریتم ژنتیک حل می‌شود.



Modified distribution portion of the IEEE 30-bus system.

شکل۴-۳- :بخش توزیع شبکه اصلاح شده۳۰ باسه[۱۳]

۴-۶ شبیه سازی با هدف کاهش هزینه های تنظیم مجدد رله های جریان زیاد

همانطور که در فصل گذشته بیان شد، ساختار سیستم قدرت همواره در حال تغییر و توسعه می‌باشد. این

تغییر و در حقیقت گسترش سیستم قدرت، باعث عملکرد نادرست رله‌های جریان زیاد شده و سبب ایجاد مشکل در شبکه می‌شود. از این رو مساله هماهنگی مجدد رله‌های اضافه جریان به منظور رسیدن به هماهنگی مطلوب مطرح می‌گردد. با حضور یک یا چند واحد DG نیازی به تغییر در تنظیمات تمامی رله‌ها نمی‌باشد زیرا این عمل باعث صرف هزینه، زمان و نیروی انسانی بسیار بوده و عملاً امکان پذیر نیست. در شبکه‌های بزرگ به دلیل مشکلات تنظیم مجدد رله‌ها و هزینه‌بر بودن آن، کاهش تعداد رله‌های کاندید از اهمیت بالاتری نسبت به زمان عملکرد برخوردار می‌باشد لذا باید ابتدا رله‌های که نیاز به تنظیم مجدد دارند یافته و سپس نسبت به هماهنگی مجدد زمانی آن اقدام نماییم. بنابراین یافتن حداقل رله‌هایی که با تغییر تنظیم آن رله‌ها هماهنگی مطلوب حاصل گردد، از اهمیت خاصی برخوردار است.

در این پژوهش، توسعه و تغییر شبکه در راستایی شبکه‌های هوشمند در نظر گرفته شده است. از دید CERTS[1]، ریزشبکه به مجموعه‌ای از منابع تولیدپراکنده با توان پایین و بارها که در یک محل مجتمع می‌باشند گفته می‌شود. منابع تولیدپراکنده در ریزشبکه معمولا از نوع انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. این مجموعه در حالت معمولی به شبکه قدرت متصل می‌باشد، اما می‌تواند به دلایل فیزیکی و یا اقتصادی به صورت خودکار از شبکه جدا شود. در این تعریف دو جزء اساسی ریزشبکه، تولیدکننده‌های کوچک و کلیدهای اتصال بار به شبکه قدرت می‌باشد. منابع انرژی پراکنده، عهده‌دار تأمین انرژی ریزشبکه هستند. DER ها، منابع تولید پراکنده و منابع ذخیره انرژی (DS) و همچنین منابع سمت مصرف[2] (DSM) را شامل می‌شوند. منابع تولیدپراکنده در ریزشبکه از نظر عملکرد به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

واحدهای سنتی (واحدهای چرخان) که تولید توان در این واحدها با استفاده از ماشین‌های گردان انجام می‌شود.

[1] Consortium of Electric Reliability Technology Solutions
[2] Demand Side Management

واحدهای متصل شده به صورت الکترونیکی که برای اتصال این واحدها به ریزشبکه از تجهیزات الکترونیک‌قدرت استفاده می‌شود. اغلب این واحدها از نوع انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. مفاهیم و روش‌های کنترل و همچنین مشخصه‌های این واحدها با واحدهای نوع اول تفاوت زیادی دارد.

با توجه به توضیحات بیان شده، در این پژوهش با اضافه کردن منابع تولید پراکنده به سیستم قدرت مورد مطالعه شبکه جدیدی را پیش رو داریم که در نتیجه تنظیمات رله‌ها نیز باید عوض شود. در این قسمت هدف علاوه بر کمینه کردن زمان عملکرد رله‌ها، کمینه کردن رله‌هایی که باید تنظیم مجدد شوند نیز می‌باشد.

فرمول‌بندی جدید مسئله هماهنگی بهینه رله‌های اضافه جریان بصورت زیر است:

$$O.F = \alpha * \sum_{j=1}^{M} (\sum_{i=1}^{N} t_{fwij} + \sum_{k=1}^{N} t_{rvkj}) + \beta * n_candid + g \qquad (۷-۴)$$

که در این عبارت تابع هدف مینیمم کردن زمان عملکرد وهمچنین نقاط کاندید می‌باشد. ضرایب وزنی دو عبارت متفاوت بوده و در نتیجه اهمیت دو بخش تابع هدف را می‌توان با ظرایب وزنی متفاوت تغییر داد. در این رابطه: i شماره رله کاندید، t زمان عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان به ازای خطا جلوی رله اصلی، n_candid تعداد رله‌های کاندید تغییرات است. N مجموع تمامی رله‌های ممکن و M مجموع مکان خطاهای ممکن در تمام فیدرها می‌باشد. مقادیر β،α ضرایب وزنی یا پارامترهای کنترل کننده جهت ارزش دادن به هر یک از ترم های مورد نظر در تابع می‌باشد. در شبکه‌های بزرگ و حلقوی به دلیل مشکلات فراوان تنظیم مجدد رله‌ها و هزینه بر بودن آن،کاهش تعداد رله‌های کاندید از اهمیت بالاتری نسبت به زمان عملکرد رله‌ها برخوردار می‌باشد. بنابراین طبق رابطه فوق ضریب β بسیار بزرگتر از ضریب وزنی α انتخاب می‌گردد. به لحاظ اینکه پاسخ بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک ممکن است تمامی قیود را ارضا نکند، یک بخش جریمه به تابع هدف اضافه گردیده است. انتخاب ضریب جریمه g با مقدار بسیار بزرگتر از ضرایب α و β به معنای اهمیت بسیار بیشتر ارضاء قیود هماهنگی در مقابل افزایش تعداد

رله‌های کاندید و مجموع زمان عملکرد رله‌ها است.

فصل پنجم

نتایج شبیه‌سازی

همانطور که در فصل گذشته بیان شد. تابع هدف و روابط هماهنگی رله‌ها و همچنین ارتباط بین زمان عمکرد رله و جریان پیک آپ یک رابطه غیرخطی می‌باشد که باید توسط الگوریتم‌های غیر خطی بهینه شود.

۵-۱ ساختار الگوریتم ژنتیک

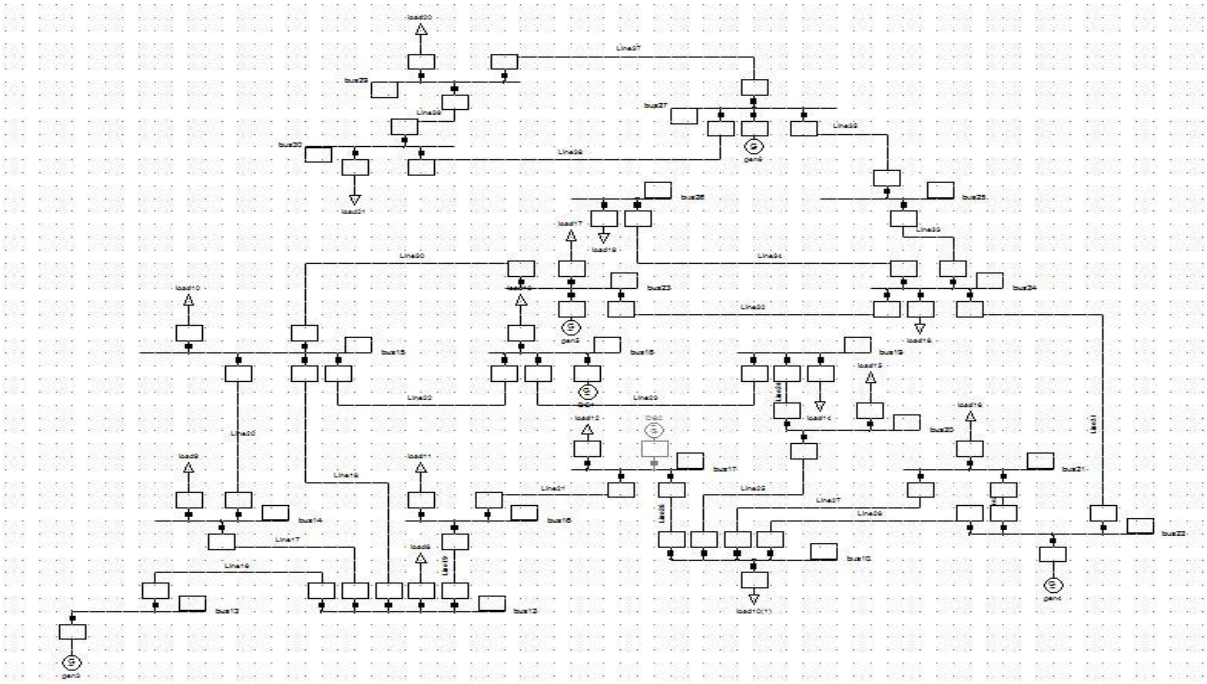
در الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده ۲۸ عنصر اول هر کروموزم شامل زمان تنظیم رله‌ها در جهت مستقیم، ۲۸ عنصر بعدی جریان پیک‌آپ تنظیمی در جهت مستقیم، ۲۸ عنصر زمان تنظیم رله‌ها در جهت معکوس و ۲۸ عنصر پایانی جریان پیک‌آپ تنظیمی در جهت معکوس می‌باشد. بنابراین طول هر کروموزم ۱۱۲ می‌باشد. تعداد جمعیت اولیه ۲۵۰ بوده و الگوریتم ژنتیک نوشته شده در نرم‌افزار MATLAB، ۳۵۰ بار تکرار می‌شود. احتمال کراس‌اور و جهش به ترتیب برابر با مقادیر ۰.۵ و ۰.۳ در نظر گرفته شده است. ساختار الگوریتم بیان شده برای رله‌های دوسویه و در حالت کلی مطرح شده است. بدیهی است برای رله‌های یک سویه(متعارف یا معمولی) ۲۸ ژن مربوط به زمان تنظیم رله و ۲۸ ژن دیگر مربوط به جریان پیک آپ در جهت معکوس رله از ساختار الگوریتم بیان شده حذف می‌شوند.

۵-۲ محاسبه جریان اتصال کوتاه رله‌ها

برای محاسبات جریان‌های اتصال کوتاه از نرم‌افزار DigSilent استفاده شده است. برای انتخاب رله‌های اصلی و پشتیبان از خطای باس نزدیک استفاده شده است. پس از پیاده‌سازی سیستم مورد مطالعه در این نرم‌افزار و اجرای برنامه اتصال کوتاه، رله‌ای که از آن بیشترین جریان عبور کرده به عنوان رله اصلی و رله‌ای که از جریان ماکزیمم بعدی عبور کرده به عنوان رله پشتیبان در نظر گرفته شده است.

شکل ۵-۱ زیر ساختار شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار DigSilent را برای شبکه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با

قرار دادن اتصال کوتاه سه فاز روی تک تک خطوط جریان‌های اتصال کوتاه عبوری از رله‌ها بدست می‌آید. جفت رله‌های اصلی و پشتیبان و جریان‌های عبوری از آن ها برای خطای باس نزدیک هر رله در جدول زیر قابل مشاهده است. که این جریان‌ها بدون حضور منابع تولید پراکنده و DG در شبکه می‌باشد. با اضافه کردن این منابع واضح است که جریان‌های عبوری از رله‌ها متفاوت خواهد بود.



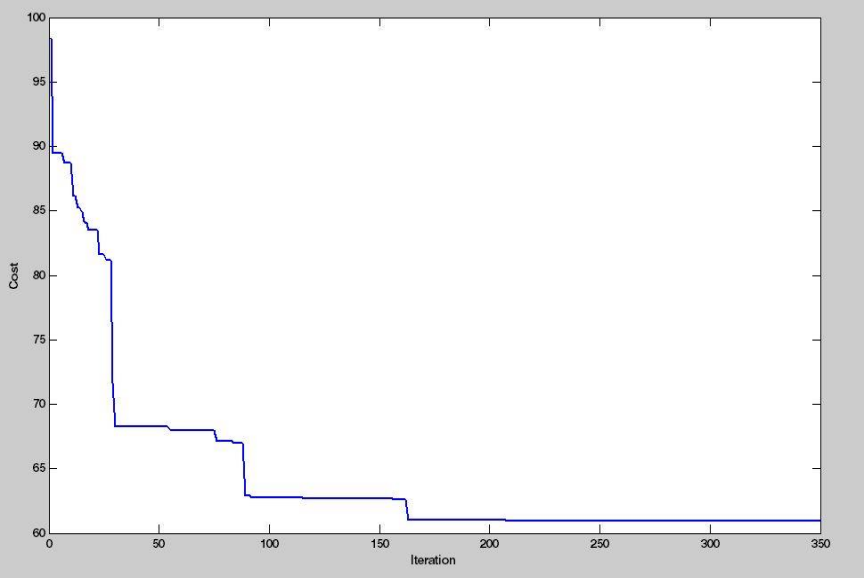
شکل۵-۱-:شبیه‌سازی بخش توزیع شبکه اصلاح شده۳۰ باسه در نرم‌افزار Digsilent

جدول۵-۱-مقادیر جریان اتصال کوتاه رله‌های اصلی و پشتیبان

رله اصلی	جریان اتصال کوتاه	رله پشتیبان	جریان اتصال کوتاه
۱	9325	۱۹	1530
۲	7565	۱۵	1200
۳	6380	۱۹	2530
۴	5988	۱۵	2630
۵	12830	۹	6990
۶	9428	۱۲	2530
۷	9615	۹	5280
۸	10687	۶	3520
۹	8490	۱۶	1510
۱۰	8940	۶	7250
۱۱	5213	۱۶	2360
۱۲	2452	۱۴	1840
۱۳	4848	۷	3650
۱۴	5947	۱	5320
۱۵	3935	۱۳	2110
۱۶	1830	۱۸	1200
۱۷	9850	۱۰	5820
۱۸	3220	۲	1550
۱۹	2450	۱۷	3584
۲۰	8340	۴	2520
۲۱	1830	۲۵	1260
۲۲	3500	۴	1150
۲۳	3170	۱۱	1520
۲۴	6845	۴	2300
۲۵	3450	۱۱	1100
۲۶	4830	۲۴	1450
۲۷	6680	۲۴	1720
۲۸	3130	۲۶	2110

۵-۳ نتایج شبیه‌سازی

بر طبق مرجع [۱۳] که مرجع اصلی این پژوهش نیز می‌باشد، ابتدا مسئله را در صورت وجود رله‌های معمولی سیستم قدرت(رله اضافه جریان) بررسی می‌کنیم. همانطور که بیان شد، در این رله‌ها دو متغیر برای تنظیم رله وجود دارد، یکی TDS و دیگری Ip می‌باشد. پس از اجرای برنامه نتایج خروجی برای این دو مقدار و برای ۲۸ رله موجود در سیستم ۳۰ باسه بصورت زیر است:



شکل ۵-۲-روند کاهشی تابع هدف رله معمولی در الگوریتم ژنتیک

پس از اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک و بهینه‌کردن مسئله زمان عملکرد رله‌ها با توجه به تابع هدف بیان شده، به نتایج زیر می رسیم. شکل ۵-۲ روند کاهشی الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است تابع هدف مسئله که همان زمان عملکرد رله‌ها می‌باشد، بعد از هر تکرار کم‌تر و کمتر شده است تا اینکه پس از ۳۵۰ تکرار به مینیمم خود می‌رسد.

جریان TDS و iP برای رله‌های موجود در شبکه بصورت زیر قابل برنامه ریزی است:

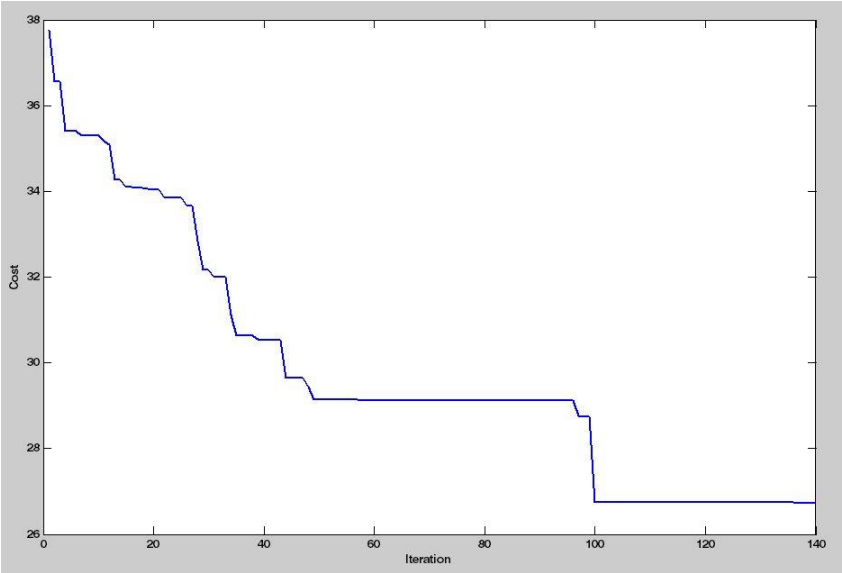
جدول۵-۲-مقادیر تنظیمی TDS و جریان‌های قطع رله معمولی

شماره رله	مقدار TDS	مقدار جریان ip بر حسب پریونیت
۱	۰/۱۰	۰/۷۷
۲	۰/۱۰	۰/۴۰
۳	۰/۱۰	۰/۶۲
۴	۰/۲۱	۰/۰۵
۵	۰/۱۲	۰/۹۲
۶	۰/۳۳	۰/۱۲
۷	۰/۱۰	۰/۴۳
۸	۰/۵۷	۰/۲۶
۹	۰/۱۲	۰/۵۰
۱۰	۰/۱۷	۰/۷۲
۱۱	۰/۱۸	۰/۴۷
۱۲	۰/۵۷	۰/۰۳
۱۳	۰/۱۴	۰/۲۶
۱۴	۰/۱۶	۰/۲۴
۱۵	۰/۳۹	۰/۱۱
۱۶	۰/۴۱	۰/۰۳
۱۷	۰/۲۲	۰/۹۳
۱۸	۰/۱۷	۰/۱۸
۱۹	۰/۱۹	۰/۲۷
۲۰	۰/۲۴	۰/۰۱
۲۱	۰/۲۱	۰/۴۵
۲۲	۰/۱۱	۰/۰۳
۲۳	۰/۱۲	۰/۰۷
۲۴	۰/۱۵	۱/۱۷
۲۵	۰/۱۸	۰/۰۶
۲۶	۰/۳۱	۰/۰۲
۲۷	۰/۱۰	۰/۹۷
۲۸	۰/۱۱	۰/۵۱

زمان عملکرد کلی رله‌های در این حالت ۶۲ ثانیه می‌باشد. حال چنان‌چه مسئله را در حضور رله‌های دوجهته

حل کنیم، در این حالت متغیری که در تابع هدف مسئله بهینه می‌شود TDS و Ip در دو جهت مستقیم و معکوس می‌باشد در نتیجه هر رله دارای ۴ متغیر تنظیم می‌باشد. متغیر TDS مستقیم، متغیر Ip مستقیم، متغیر TDS معکوس و متغیر Ip معکوس. در این صورت می‌توان از رله‌ها در حالت مستقیم به عنوان رله اصلی و در حالت معکوس به عنوان رله پشتیبان استفاده کرد.

شکل ۵-۳ نمودار روند کاهشی زمان عملکرد رله برای تکرارهای الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳-روند کاهشی تابع هدف رله جهت دار در الگوریتم ژنتیک

شبکه سی باسه IEEE که در فصل قبل معرفی شد، نیز در نرم افراز دیگسایلنت شبیه‌سازی شده و نتایج جریان‌های اتصال کوتاه آن برای فرمولبندی مسئله استخراج شده است.

زمان عملکرد رله‌ها در این حالت تا ۲۷ ثانیه کاهش پیدا کرده است. جدول زیر پارامترهای رله‌های شبکه را نشان می‌دهد.

جدول۵-۳-مقادیر تنظیمی TDS و جریان‌های قطع رله‌های جهت دار بدون حضور DG ها بدون

شماره رله	مقدار TDS مستقیم	مقدار جریان ip بر حسب پریونیت مستقیم	مقدار TDS معکوس	مقدار جریان ip بر حسب پریونیت معکوس
۱	۰/۱۰	۰/۷۱	۰/۲۱	۰/۳۲
۲	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۲۶
۳	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۰۲
۴	۰/۱۹	۱/۲۶	۰/۱۳	۰/۳۹
۵	۰/۱۲	۰/۵۶	۰/۱۳	۰/۲۱
۶	۰/۳۸	۰/۵۷	۰/۱۲	۰/۲۱
۷	۰/۱۱	۰/۶۲	۰/۱۹	۱/۲۰
۸	۰/۱۰	۱/۰۱	۰/۱۰	۰/۲۱
۹	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۷۱
۱۰	۰/۱۸	۱/۰۵	۰/۱۱	۰/۹۰
۱۱	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۱۸	۱/۲۷
۱۲	۰/۱۶	۰/۵۵	۰/۱۳	۱/۱۰
۱۳	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۲۵
۱۴	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۹۳
۱۵	۰/۱۶	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۱۲
۱۶	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۹	۱/۳۱
۱۷	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۱۰	۰/۵۹
۱۸	۰/۱۵	۰/۵۲	۰/۱۳	۰/۲۷
۱۹	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۵۵
۲۰	۰/۱۹	۱/۱۴	۰/۱۲	۱/۲۹
۲۱	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۹۳
۲۲	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۶۳
۲۳	۰/۱۷	۰/۸۳	۰/۱۲	۰/۹۰
۲۴	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۲۸	۱/۰۲
۲۵	۰/۱۳	۰/۸۰	۰/۱۸	۰/۲۴
۲۶	۰/۱۱	۱/۱۳	۰/۱۵	۰/۸۹
۲۷	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۴۰
۲۸	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۸۳

نتایج بدست امده از الگوریتم بیان شده ژنتیک و جریان‌های اتصال کوتاه شبکه مورد مطالعه شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار DigSilent با نتایج حاصل از مقاله مرجع [۱۳] با تقریب قابل قبولی یکسان می‌باشند که این امر کارآمدی الگوریتم شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در حقیقت با استفاده از رله‌های دو سویه می‌توان زمان عمکرد کلی رله‌ها را کاهش داد و امنیت و پایداری شبکه را بالا برد. در ادامه الگوریتم پیشنهادی و ترم‌های اضافه شده به تابع هدف را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۵-۴ اضافه کردن DG به شبکه:

ابتدا DG را به شبکه متصل کرده و جریان عبوری از رله‌ها را اندازه گیری می‌کنیم و سپس در الگوریتم بیان شده قرار داده و نتایج را بررسی می‌کنیم. در این صورت کمینه کردن زمان تنظیم رله‌ها با تابع هدف جدید و قیود سیستم نیز مجددا انجام می‌شود. در ادامه این پژوهش با جابجایی و تغییر ظرفیت DG های موجود در شبکه جریان اتصال کوتاه را در حالت اتصال کوتاه سه فاز متقارن بررسی کرده و در نهایت با استفاده از الگوریتم بیان شده مسئله بهینه سازی حل شده و تنظیم رله‌ها انجام شده است.

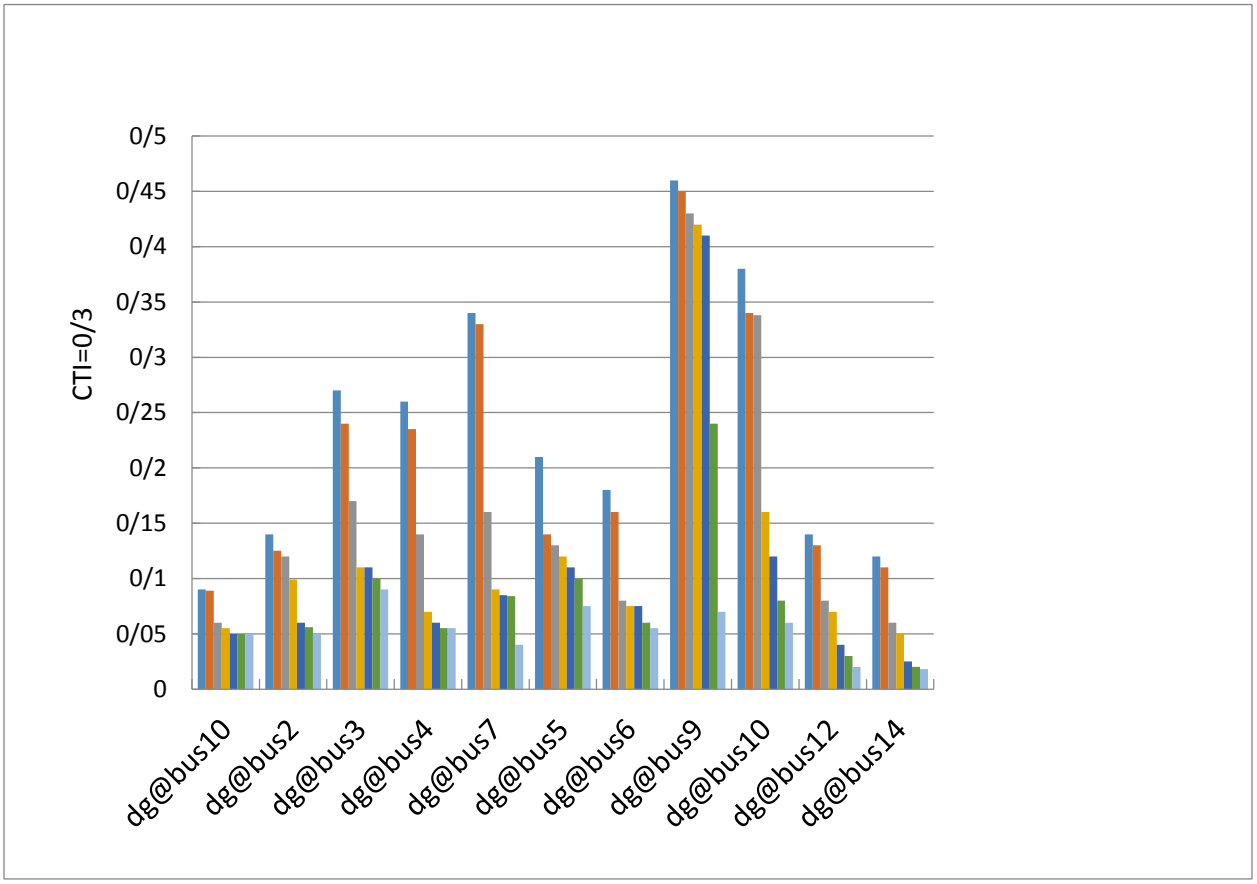
۵-۴-۱ شبکه توسعه یافته ۳۰ باسه IEEE با گذاشتن یک توربین بادی در باس شماره ۵

جدول۵-۴-مقادیر تنظیمی TDS و جریان‌های قطع رله‌ها با حضور DG در باس نمونه ۵

شماره رله	مقدار TDS	مقدار جریان ip بر حسب پریونیت
۱	1.160393	0.101
۲	0.7047	0.1
۳	1.311087	0.101
۴	0.5083	0.143
۵	0.34486	0.112
۶	0.392673	0.109
۷	0.45988	0.12
۸	0.31788	0.492
۹	0.052633	0.118
۱۰	0.016087	0.591
۱۱	0.860227	0.351
۱۲	0.12962	0.441
۱۳	0.847647	0.14
۱۴	0.231873	0.168
۱۵	0.246173	0.135
۱۶	0.067907	0.312
۱۷	0.514653	0.102
۱۸	0.0323	0.391
۱۹	0.037913	0.369
۲۰	0.017893	0.385
۲۱	0.03054	0.55
۲۲	0.194613	0.309
۲۳	0.762487	0.161
۲۴	1.13046	0.135
۲۵	0.96216	0.162
۲۶	1.279273	0.185
۲۷	0.01504	0.508
۲۸	0.07642	0.423

۵-۴-۲ بررسی تاثیر قرار دادن تولید پراکنده در باس های مختلف

به منظور بررسی تاثیرات قرار دادن DG در محل های مختلف،در شبکه نمونه DG را در باس های مختلف قرار داده و نتایج را بدست می آوریم.در شکل ۵-۴،نمایی از تاثیرات این منابع را در جهت کاهش حاشیه هماهنگی مشخص شده است.مقدار استاندار CTIرا ۰.۳ در نظر می گیریم.



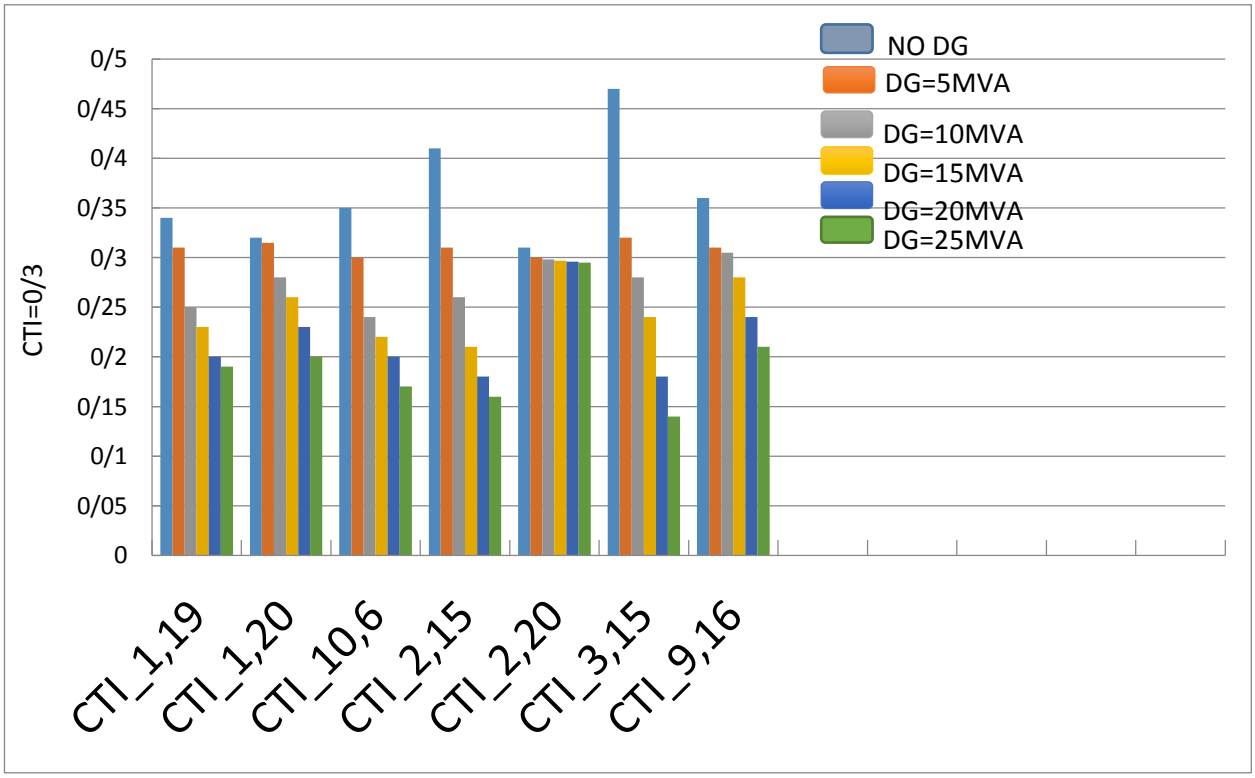
شکل ۵-۴-بررسی تاثیر حضور DG به ظرفیت 15MVA در باس های مختلف

همانطور که مشخص است بیشترین خارج شدن DG ها از هماهنگی ها ناشی از قرار گرفتن DGدر باس شماره ۹ می باشد.بسیاری از اوقات قرار دادن DG در یک باس بیشتر موجب کاهش حاشیه هماهنگی می شود و گاهی اوقات این تاثیرات به حدی است که هماهنگی بین جفت رله های اصلی و پشتیبان به هم ریخته و

رله پشتیبان زودتر از رله اصلی عمل میکند.

۳-۴-۵ بررسی تاثیر افزایش ظرفیت تولیدات پراکنده

انتخاب ظرفیت منابع تولید پراکنده به طور کامل در اختیار بهره بردار نیست و این ظرفیت بر اساس مطالعه های قبلی تحت سیستم های توزیع و دیسپاچینگ بدست می آید[۱۷].با فرض اینکه مطالعات قبلی در حوزه تغییر ظرفیت نامی منابع تولید پراکنده صورت گرفته باشد نمودار زیر نتایج حاصل از قرارگیری DG با ظرفیت های متفاوت در یک باس نمونه و تاثیر آن را بر روی حاشیه هماهنگی ها را نشان می دهد.



شکل ۵-۵-بررسی تاثیر حضور DG به ظرفیت های متفاوت بر مقدار CTI

همانطور که از نمودار مشخص است سیستم بدون حضور منابع تولید پراکنده حاشیه هماهنگی را حفظ کرده ولی با افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده از مقدار CTI کم شده و هماهنگی حفاظتی رله ها دچار مشکل میشود.

۵-۴-۴ تاثیر حضور منابع تولید پراکنده بر هماهنگی حفاظتی رله های جریان زیاد جهت دار

رله های اضافه جریان معمولی بر اساس دامنه جریان خطا عمل میکنند و قادر به تشخیص جهت خطا نیستند.در شبکه ها با تغذیه از چند سو که امکان عبور جریان از هر دو سمت رله وجود دارد،انتقال توان در شبکه های فوق توزیع و انتقال در یک جهت نیست و حلقوی می باشند.بنابراین از رله های جریان زیاد جهت دار که اضافه جریان را فقط در یک جهت تشخیص می دهند استفاده می کنیم.در جدول زیر تاثیر حضور منابع تولید پراکنده به ظرفیت های متفاوت و در مکان های گوناگون بر زمان عملکرد کلی رله های اضافه جریان جهت دار و معمولی نشان داده شده است.همچنین می توان تکنولوژی استفاده از منابع تولید پراکنده در سیستم های توزیع را تغییر داده و تاثیرات آن را بر هماهنگی حفاظتی رله های جریان زیاد معمولی و جهت دار بررسی کرده و زمان عملکرد کلی سیستم را محاسبه کنیم،که نتایج این محاسبات در جدول ذکر شده است.برای انجام این مهم ابتدا باید DG را به ظرفیت های متفاوت و با تکنولوژی های گوناگون به باس های نمونه اضافه کرده و سپس توسط نرم افزار DIgSILENT جریان های اتصال کوتاه عبوری از رله های اضافه جریان را محاسبه کرده و جهت بهینه سازی زمان عملکرد رله ها در الگوریتم ژنتیک قرار دهیم.با حضور DG با ظرفیت نامی متفاوت مقدار جریان عبوری از رله های تغییر می کند.نتایج به صورت خلاصه در جداول زیر قرار داده شده است.همانطور که نتایج نشان می دهد در صورت استفاده از رله های جریان زیاد جهت دار زمان عملکرد کلی سیستم تا حدود ۵۰ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

جدول۵-۵-زمان عملکرد کلی رله ها با توجه به تغییر در ظرفیت و محل DG

DG Capacity&Location	Conventional Scheme	Directional scheme	Precntage Reduction
DGS rate 6MVA@bus 3	62.4528	32.7532	48.23%
DGs rate 2MVA@bus 6	63.7415	32.4852	49.03%
DGs rate 4MVA@bus6	61.9523	32.4751	47.58%
DGs rate 6MVA@bus6	63.5214	33.4159	47.39%
DGs rate 2MVA@buses3,6	62.4136	31.2613	49.91%
DGs rate 4MVA@buses3,6	62.4215	32.4123	48.07%
DGs rate 6MVA@buses3,6	61.9512	30.2147	51.22%
DGs rate 2MVA@buses3,6,10	61.7452	31.7418	48.59%
DGs rate 4MVA@buses3,6,10	62.8426	31.5216	49.84%

جدول۵-۶-زمان عملکرد کلی رله ها با توجه به تکنولوژی های DG

DG Capacity&Location	Conventional Scheme	Directional scheme	Precntage Reduction
IBDGs rate 4MVA@bus3	61.7135	32.4260	47.45%
IBDGS rate 2MVA@bus 6	60.2578	31.5795	47.59%
IBDGs rate 4MVA@bus 6	62.8131	33.1553	47.21%
IBDGs rate 2MVA@buses3,6	62.5247	32.8975	47.38%
IBDGs rate 4MVA@buses3,6	61.6819	34.2587	44.45%
SBDGs rate 6MVA @buses3&6 and IBDG rate 2 MVA @bus 10	61.7283	32.2547	47.74%
SBDGs rate 2MVA @buses3 and IBDG rate 4 MVA @bus 6&10	62.7288	33.2547	46.98%

در این قسمت مقدار امپدانس خطای اتصال کوتاه را تغییر داده و تاثیر آن را بر زمان عملکرد بر سیستم بررسی می کنیم.

جدول۵-۷-زمان عملکرد کلی رله ها با تغییر مقاومت خطا

R fault in ohms	Conventional Scheme	Directional scheme
0/01	61/2587	31/0587
0/05	61/2753	31/0784
0/1	61/2786	31/1224
0/2	61/8542	31/2547
0/5	61/8724	31/2745

۵-۴-۵ شبکه توسعه یافته ۳۰ باسه IEEE با گذاشتن یک توربین بادی در باس شماره ۵ و افزودن ترم جدید به تابع هدف

در این حالت عبارت جدیدی به تابع هدف اضافه می‌شود و آن تعداد رله‌های کاندید برای تغییر تنظیمات می‌باشد که در فصل گذشته فرمول‌بندی آن مفصلا بیان شد. فرمول‌بندی نوآوری پژوهشی بیان شده بصورت زیر در مسئله هماهنگی بهینه رله‌های اضافه جریان بیان می‌شود:

$$O.F = \alpha * \sum_{j=1}^{M} (\sum_{i=1}^{N} t_{fwij} + \sum_{k=1}^{N} t_{rvkj}) + \beta * n_candid + g \qquad (۱-۵)$$

که در این عبارت تابع هدف مینیمم کردن زمان عملکرد وهمچنین نقاط کاندید می‌باشد. ضرایب وزنی دو عبارت متفاوت بوده و در نتیجه اهمیت دو بخش تابع هدف را می‌توان با ظرایب وزنی متفاوت تغییر داد. در رابطه i شماره رله کاندید، t زمان عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان به ازای خطای رله اصلی، n_candid تعداد رله‌های کاندید تغییرات است و N مجموع تمامی رله‌های ممکن را نشان می‌دهد. مقادیر α و β ضرایب وزنی یا پارامترهای کنترل کننده جهت ارزش دادن به هر یک از ترم‌های مورد نظر در تابع می‌باشد. در شبکه‌های بزرگ و حلقوی به دلیل

مشکلات فراوان تنظیم مجدد رله‌ها و هزینه بر بودن آن، کاهش تعداد رله‌های کاندید از اهمیت بالاتری نسبت به زمان عملکرد رله‌ها برخوردار می‌باشد. از سوی دیگر تنظیم رله‌ها دارای هزینه می‌باشد که به ازای هر رله نفر ساعت متخصص و زمان اجرای تنظیمات مجددا جزو هزینه‌های اصلی این تغییرات می‌باشد که هرچه تعداد رله‌های تنظیمی کاهش یابد هزینه‌های کلی سیستم نیز کاهش خواهد یافت. پس در اینجا ما دو ترم هدف را دنبال می‌کنیم. یکی کاهش زمان عملکرد رله‌ها و دیگر کاهش هزینه‌های سیستم و کاهش تعداد رله‌هایی که باید تنظیماتشان عوض شود. عبارت g بیان شده در تابع هدف نشان دهنده جریمه قیود سیستم می‌باشد که بصورت یک ترم پنالتی به تابع هدف اضافه شده است. این ضریب g باید عدد بزرگی باشد که قیود سیستم حتما ارضا شوند و خطایی در سیستم اتفاق نیفتد. قیود سیستم شامل قیود هماهنگی رله‌ها می‌باشد که بصورت زیر است:

با اضافه کردن ترم جدید به تابع هدف ساختار الگوریتم ژنتیک بیان شده، بدین صورت تغییر می‌کند که به تعداد رله‌ها ژن به کروموزوم اضافه می‌شود(۲۸ ژن) که هر ژن می‌تواند مقدار یک یا صفر را اتخاذ کند. عدد ۱ هر ژن نشان دهنده این است که رله متناظر آن کاندید تغییرات و تنظیم مجدد است و عدد صفر بیانگر اینست که رله مورد نظر دستخوش تغییرات نیست و مقدار قبلی خود را حفظ می‌کند. و البته ترم g تضمین کننده قیود سیستم است. در این حالت متغیر شماره رله‌های کاندید بصورت زیر است:

0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0

شکل ۵-۶-رشته باینری جهت کد گزاری الگوریتم ژنتیک

در این حالت تنها با تغییر در ۸ رله می‌توان به نتیجه مطلوب رسید. ضرایب آلفا و بتا به ترتیب ۰/۶ و ۰/۴ بوده‌اند و نتایج تنظیمات بصورت جدول زیر است.

جدول۵-۸-مقادیر تنظیمی TDS و جریان‌های قطع با هدف کاهش تعداد رله‌های کاندید

شماره رله	مقدار TDS	مقدار جریان ip بر حسب پریونیت
۱	-	-
۲	-	-
۳	-	-
۴	0.382	0.096433
۵	-	-
۶	-	-
۷	-	-
۸	-	-
۹	-	-
۱۰	-	-
۱۱	0.191	1.064813
۱۲	-	-
۱۳	-	-
۱۴	0.115	1.1108
۱۵	-	-
۱۶	-	-
۱۷	-	-
۱۸	0.424	1.09476
۱۹	0.328	0.126033
۲۰	-	-
۲۱	0.234	0.695013
۲۲	0.196	1.210367
۲۳	-	-
۲۴	-	-
۲۵	-	-
۲۶	-	-
۲۷	0.493	1.21704
۲۸	-	-

۵-۴-۶شبکه توسعه یافته ۳۰ باسه IEEE با گذاشتن یک توربین بادی در باس شماره ۵ و افزودن ترم جدید به تابع هدف و تغییر در ضرایب آلفا و بتا به ترتیب ۰/۴ و ۰/۶

0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0

شکل ۵-۷-رشته باینری جهت کد گزاری الگوریتم ژنتیک با تغییر ضرایب α و β

در این حالت با تغیر ضرایب آلفا و بتا تعداد رله‌های بهینه کاندید تغییر کرده و کمتر شده‌اند و از سوی دیگر قیود سیستم نیز ارضا شده است. در این حالت با تغییر در ۶ رله کاندید می‌توان به نتایج مطلوب رسید. به عبارتی با تغییر ضرایب می‌توان اهمیت هر ترم تابع هدف را تغییر داد. اگر هزینه‌های کلی سیستم و نفر-ساعت متخصص و زمان اعمال تغییرات در تنظیمات رله‌ها برای بهره‌بردار سیستم از اهمیت بیشتری برخوردار باشد ضریب این ترم بزرگتر انتخاب می‌شود ولی در مقابل اگر زمان عمکرد رله‌های شبکه اهمیت بیشتری داشته باشد، ضریب این ترم را بزرگتر انتخاب می‌کنیم.

جدول۵-۹-مقادیر تنظیمی TDS و جریان‌های قطع با تغییرات پارامترهای α و β

شماره رله	مقدار TDS	مقدار جریان ip بر حسب پریونیت
۱	-	-
۲	-	-
۳	-	-
۴	-	-
۵	-	-
۶	-	-
۷	0.387	0.301347
۸	-	-
۹	0.175	1.235333
۱۰	-	-
۱۱	-	-
۱۲	0.519	0.776053
۱۳	-	-
۱۴	-	-
۱۵	-	-
۱۶	-	-
۱۷	0.474	1.223813
۱۸	-	-
۱۹	0.5	0.939767
۲۰	-	-
۲۱	-	-
۲۲	-	-
۲۳	-	-
۲۴	0.295	1.277427
۲۵	-	-
۲۶	-	-
۲۷	-	-
۲۸	-	-

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری

در این پژوهش هدف هماهنگی مجدد رله‌های اضافه جریان در حضور منابع تولید پراکنده بود که در فصل‌های گذشته بیان شده است. در فصل اول مفاهیم و مرور مقالات انجام شد و در فصول ۲ و۳ رله‌های اضافه جریان و توسعه شبکه و خصوصا منابع تجدیدپذیر و DG ها مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار گرفت. در نهایت طرح پیشنهادی در فصل چهارم بیان و نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB و الگوریتم ژنتیک و همچنین نرم‌افزار DigSilent در فصل پنجم به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد هزینه‌های تنظیم مجدد رله‌ها در روش پیشنهادی کمتر از حالتی است که تمامی رله‌ها تنظیم مجدد شوند و از سوی دیگر قیود سیستم و هماهنگی رله‌ها با هزینه کمتری ارضا شده است.

در تابع هدف پیشنهادی قسمت جدیدی به تابع هدف اضافه شد که تعداد رله‌هایی که دستخوش تنظیمات مجدد می‌باشد را مینیمم می‌کند. هدف این است که علاوه بر زمان عملکرد تعداد رله‌های کاندید تغییرات را نیز کم کنیم زیرا علاوه بر هزینه‌بر بودن تغییر تنظیمات، این فرایند زمان‌بر نیز می‌باشد که امنیت شبکه را به مخاطره می‌اندازد. با تغییر ضرایب در نظر گرفته شده در تابع هدف برای هر یک از ترم‌ها می‌توان اهمیت هر ترم تابع هدف را تغییر داد. اگر هزینه‌های کلی سیستم و نفر-ساعت متخصص و زمان اعمال تغییرات در تنظیمات رله‌ها برای بهره‌بردار سیستم از اهمیت بیشتری برخوردار باشد ضریب این ترم بزرگتر انتخاب می‌شود ولی در مقابل اگر زمان عمکرد رله‌های شبکه اهمیت بیشتری داشته باشد، ضریب این ترم را کوچکتر انتخاب می‌کنیم. در طرح پیشنهادی هزینه‌های کلی سیستم نیز کاهش پیدا کرده است و همچنین قیود سیستم ارضا شده است که بیانگر کارآمدی روش بیان شده است.

۶-۲ پیشنهادات

در ادامه این پژوهش پیشنهادات زیر ارایه می‌گردد:

۱- استفاده از الگوریتم‌های تکاملی و روش‌های تجربی دیگر بر حل مسأله،می‌توان از روش‌های دیگر تکاملی مانند جهش قورباقه، SA، PSO و .. و همچنین روش‌های تجربی برای کاهش زمان حل مسأله و همچنین کاهش زمان تنظیمی رله‌ها استفاده کرد.

۲- بررسی اثر حل در یک ریزشبکه با تعداد بیشتر منابع تولید پراکنده و قیود ریزشبکه

۳- تغییر تنظیمات با حضور محدود کننده‌های جریان خطا

محدودکننده‌های جریان خطا (FCL) دارای قابلیت مسدود ساختن جریان خطا در طی خطا بوده و مقاومت خیلی کمی را در برابر جریان‌های عادی بار در سیستم‌های توزیع ارایه می‌دهد. این ویژگی FCL می‌تواند به منظور بازنشانی هماهنگی رله اضافه جریان در سیستم توزیع دارای DG، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. ادوات FCL، اثر جریان‌های خطا بر روی هماهنگی رله اضافه جریان موجود را در سیستم‌های توزیع را از بین می‌برد.

۵- بررسی مشارکت سایر اتصالات و انواع منابع تولید پراکنده و جایابی بهینه آنها جهت کاهش تغییر در تنظیمات رله های جریان زیاد و نیز کاهش هزینه ها و نفر ساعت نیروی انسانی مورد نیاز.

۶-با عنایت به اینکه هر تجهیز دارای یک قابلیت اطمینان در عملکرد می باشد،بنابراین می توان به بررسی راهکارهای افزایش قابلیت اطمینان طرح حفاظتی با و بدون حضور DG ها پرداخت.

مراجع

منابع فارسی

[۱] موسوی، سید محمد علی.، جوادی، حمید.، خدر زاده، مجتبی.،" بازیابی هماهنگی رله های اضافه جریان جهت دار در شبکه های توزیع حاوی منابع تولید پراکنده با استفاده از محدودساز جریان خطا "بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق ایران ، ۱۳۸۸

[۲] حسین مهدی سهیلی پور، حسین عسکریان ابیانه، رضا محمدی چنبلو، فرزاد ، رضوی، "تنظیم وهماهنگی بهینه حفاظت شبکه توزیع به کمک الگوریتم ژنتیک"، بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران، ۱۳۸۷

[۳] هادی زاهدی،احسان لشگری و محمد بسکابادی،استفاده از الگوریتم های تکاملی برای هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان و دیستانس چهارمین کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک ایران گناباد،۱۳۹۱

[۴] مهدی رجایی، حبیب رجبی مشهدی، جواد ساده، "هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان و دیستانس در شبکه های قدرت با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران، ۱۳۸۶

[۵] عباس صابری نوقابی، جواد ساده، حبیب رجبی مشهدی، "الگوریتمی جدید جهت هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان در صورت تغییر ساختار شبکه"، .بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران، ۱۳۸۷

[۶] جوادیان، سید علی محمد.، پیرایش نقاب، ابولفضل.،" بررسی رفتار دینامیکی منابع تولید پراکنده در هنگام اتصال کوتاه در هنگام وقوع اتصال کوتاه و تاثیر آن بر هماهنگی تجهیزات حفاظتی شبکه توزیع"، بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۶

[۹] ابراهیمی، سرلک ، دهقان ، فیروزفر ، " هماهنگی بهینه رکلوزر سکشنالایزر فیوز و رله جریان زیاد با استفاده از الگوریتم ژنتیک " بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق ۲۰۱۱

[۱۱] عاقلی، ابیانه ، چینلو " تأثیر زمان تأخیر عملکرد محدودساز جریان خطا بر هماهنگی رله‌های اضافه جریان با حضور تولیدات پراکنده در شبکه" بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق ۲۰۱۱

[۱۹] میثم محمدطاهری؛ عسکریان ابیانه؛ فرزاد رضوی و رضا محمدی،" روش جدید برای هماهنگی رله های جریان زیاد با در نظر گرفتن حالت گذرا"، *دومین کنفرانس حفاظت و کنترل سیستم های قدرت*، تهران،

دانشگاه امیرکبیر۱۳۸۶

[۲۰] فاطمه عادلی؛ فرهاد نامداری و حمدی عبدی،" هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان جهتی در ریز شبکه ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، *شانزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران*، کاشان،۱۳۹۲

[۲۱] سمیه السادات هاشمی کمانگر؛ حسین عسکریان ابیانه؛ فرزاد رضوی و رضا محمدی چبنلو،" هماهنگی ترکیب رله های جریان زیاد و دیسانس به کمک الگوریتم ژنتیک،" *بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق*، تهران،۱۳۸۶

[۲۲] امین دامنجانی، "هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان بادرنظرگرفتن تغییر ساختار شبکه به کمک یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی"، *دومین همایش ملی مهندسی برق ایران*، ۱۳۹۳

[۲۳] دکتر حسین عسکریان ابیانه،مهندس مهدی طالشیان، بهار سال ۱۳۸۵ ،"حفاظت و رله ها"،انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر(پلی تکنیک)چاپ دوم

منابع انگلیسی

[7] A.J. Urdaneta, L.G. Perez and H. Restrepo, "Optimal coordination of directional overcurrent relays considering dynamic changes in the network topology, " IEEE Transaction on Power Delivery vol.12, pp.1458–1464, 1997.

[8] w. Khattam , T. Sidhu, "Restoration of Directional Overcurrent Relay Coordination in Distributed Generation Systems Utilizing Fault Current Limiter," IEEE Transaction on power delivery, Vol. 23, No.2, pp. 576-582, 2008.

[9] Chabanloo, H.abyaneh, A.agheli, H.Rastegar, "Overcurrent relays coordination considering transient behaviour of fault current limiter and distributed generation in distribution power network," IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 5, pp. 903-911, 2011.

[12] R. M. Chabanloo, H. A. Abyaneh, S. S. H. Kamangar, and F. Razavi, "Optimal combined overcurrent and distance relays coordination incorporating intelligent overcurrent relays characteristic selection," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 26, no. 3, pp. 1381–1391, Jul. 2011.

[13] H. H. Zeineldin, Doaa K. Ibrahim, "Optimal Protection coordination for mesh distribution systems with DG using dual setting directional over current relay," IEEE Transaction on smart grid, Vol 6 No.1, pp. 115-124, Jan 2015.

[14] Uthitsunthorn and T. Kulworawanichpong, "Optimal Overcurrent Relay Coordination using Genetic Algorithm", International on Advances in Energy Engineering (ICAEE 2010), Beijing, China, pp. 156-160, 2010.

[15] K. Bhumkittipich and W. Phuangpornpitak, "Optimal placement and sizing of distributed generation for power loss reduction using particle swarm optimization", *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 307–317, Jul. 2013.

[16] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, "Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 317–325, Feb. 2013.

[17] M. Murali, P. S. Kumar, and K. Vijetha, “Adaptive relaying of radial distribution system with distributed generation”,*Int. J. Elect. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 407–414, Jun. 2013.
[18] Sadeh, M. Bashir, and E. Kamyab, “Effect of distributed generation capacity on the coordination of protection system of distribution network”, in *Proc. IEEE/PES Transmiss. Distrib. Conf. Expo.*, Sao Paulo, Brazil, Jul. 2010, pp. 110–115.
[24] C.Russell Mason , “The Art & Science of Protective Relaying”.
[25] Arun G.phadke,james S.Thorp, “ Computer Relaying for Power Systems,” Second Edition.
[26] NERC System Protection and Control Subcommittee, “Power Plant and Transmission System Protection Coordination,” Revision 1-july 2010.
[27] Nasser Tleis, “Power Systems Modelling and Fault Analysis,” Theory and Practice.
[28] Walter A.Elomore, “Protective Relaying Theory And Applications,” Second Edition and Expanded.
[29] G. Koeppel. Distributed generation. Literature and current state review, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, EEH - Power Systems Laboratory, 2003.
[30] Martin Geidl, Power Systems Laboratory Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, "Protection of Power Systems with Distributed Generation: State of the Art", 20th July 2005.

Abstract

Nowadays, with the development of the power grids and more complex interrelations of the systems to supply the reliable energy for the customers, the necessity for the appropriate protection of the power grid is more felt. The overall objective of the protection system of the power grid is to maintain the power system through isolation of the systems of the error and keep under operation the most possible parts of the grid. In this study, after the literature review and introduction of the basic concepts, we will study the overcurrent relays and the coordination of these relays in the power system.

Relay coordination is the setting of the current and time of the overcurrent relays with the aim of achieving the desired function of the relay. In other words, relays in power system should be able to react rapidly when fault happens and also there should not be any interference and only one small part of the grid should be disconnected.Distributed Generation(DG) establishment in the grid can cause several problems in the malfunction of the protection system. In the new structure of the grid with the added DGs, the aim is the fast performance of the relays. So, setting of the relay coordination will change and therefore the cost will increase. In the proposed plan, in addition to assurance for fast and proper operation of the relays, the number of the relays that undergo setting changes will be added to the objective function. In this way, in addition to the proper operation of the protection system, the number of set relays will also decrease. The proposed plan was simulated using MATLAB and DigiSilent software and the results of the proposed genetic algorithm proved its efficacy. The results of the simulation shows that the costs for resetting the relays in the proposed method is less than the method in which all the relays will be reset and on the other hand, the costs have decreased significantly.

Keyword:

Current relay, Protection Coordination, Distributed Generation, Genetics Algorithm

Shahrood University Of Technology

Faculty Of E-Learning Electrical Engineering

Protection Coordination Of over Current Relay in the Presence Of Distributed Generation in Distribution Network

Sied Mehdi Hosseini

Supervisor:

Dr. Mohsen Assili

February 2016