هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان جهت‌دار با تزریق بهینه ظرفیت DG با استفاده از روش هوشمند

محمدرضا امینیان[۱]، مهدی جعفری شهباززاده[۲*]، مهدیه اسلامی[۳]

[۱] گروه مهندسی برق قدرت، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، mraminian869@gmail.com
[۲*] گروه مهندسی برق قدرت، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، m-j-shabazi@yahoo.com
[۳] گروه مهندسی برق قدرت، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران، mahdiyeh_eslami@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۵

چکیده: از جمله پرکاربردترین رله‌های حفاظت از سیستم‌های قدرت، رله‌های دیستانس و اضافه جریان می‌باشند. در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع معمولاً حفاظت اصلی بر عهده حفاظت دیستانس است و از حفاظت اضافه جریان به عنوان پشتیبان برای حفاظت دیستانس استفاده می‌شود. در این پژوهش روش جدیدی برای هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان با استفاده از جریان پیکاپ، ضریب تنظیم زمان و مشخصه‌های مختلف رله‌های اضافه جریان جهت تنظیم بخش تاخیری این رله‌ها به عنوان پشتیبان رله‌های دیستانس ارائه می‌شود. استفاده از رله‌های اضافه جریان جهت دار با تغییر در قیود هماهنگی، امکان تنظیم زمان عملکرد ناحیه دوم رله‌های دیستانس با مقدار ثابت و معمولی را فراهم می‌کند. مسئله هماهنگی در روش پیشنهادی با الگوریتمGA حل شده است. در ادامه پژوهش یک شاخص هماهنگی حفاظتی برای ارزیابی تاثیر منابع تولید پراکنده روی هماهنگی حفاظتی رله‌های دیستانس و اضافه جریان ارائه می‌شود. با توجه به اینکه این شاخص با نسبت تغییرات ماکزیمم ظرفیت تزریقی در یک شین به تغییرات فاصله زمانی هماهنگی رله‌ها تعریف می‌شود، روش جدیدی برای بدست آوردن ماکزیمم ظرفیت تزریقی تحت قیود هماهنگی با استفاده از عملکرد موازی دو نرم‌افزارMATLAB وDIGSILENT ارائه می‌شود روش‌های پیشنهادی در شبکه‌های نمونه ۹ و ۳۹ شینهIEEE پیاده‌سازی شده و نتایج مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: هماهنگی حفاظتی، رله اضافه جریان جهت دار، منابع تولید پراکنده، شاخص هماهنگی حفاظت.

۱- مقدمه

توسعه و پیشرفت‌هایی در تکنولوژی تولید پراکنده، افزایش حساسیت‌ها نسبت به مسائل زیست محیطی، محدودیت در احداث خطوط انتقال جدید، افزایش تقاضای مصرف مشترکین جهت قابلیت اطمینان بیشتر و تغییر و تحولات اقتصادی در بازار برق باعث توجه روزافزون به استفاده از تولید پراکنده شده است [۱]. استفاده از منابع تولید پراکنده یکی از راهکارهای مناسب جهت پاسخگویی به روند رو به رشد تقاضای انرژی در جهان است. عمدتاً منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع و نزدیک به مراکز بار نصب می شوند. این در حالی است که پست های فوق توزیع نیز می‌توانند مکان مناسبی برای احداث این تولیدات باشند. این پست‌ها به عنوان نقاط اتصال شبکه‌های توزیع به سیستم انتقال و تزریق توان به فیدرهای فشار متوسط، دارای پتانسیل‌های قابل توجهی برای حضور واحدهای تولید پراکنده هستند.

احداث و بهره‌برداری از DG در یک پست فوق توزیع می‌تواند روی بارگذاری ترانسفورماتور پست و توان دریافتی از سیستم انتقال تاثیر گذاشته و منابع اقتصادی قابل توجهی را برای شرکت‌های برق به

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021

دنبال دا شته با شد و ضمن اینکه ح ضور اپراتور و وجود سی ستم‌های کنترل و مانیتورینگ اطلاعات (SCADA) در پســت‌های فوق توزیع می‌تواند در بهره‌برداری مناسب از واحدهای تولیدی مفید باشد، این امر می‌تواند در بکارگیری اقتصـــادی واحدهای تولید پراکنده نیز تاثیر بسزایی داشته باشد[۲].

در [۳] یک شـاخص هماهنگی حفاظتی برای تعیین تاثیر DG (بر پایه ژنراتور سنکرون) روی حفاظت یک شبکه توزیع بهم پیو سته پی شنهاد شده ا ست. در این مرجع دو مرحله مساله بهینه سازی غیرخطی برای محاسـبه PCI و اعمال آن روی شـبکه‌های نمونه ۱۴ شـینه IEEE و ۳۰ شینه IEEE پی شنهاد شده ا ست. PCI با محا سبه بهینه ن سبت تغییرات سـطح تزریق DG به تغییرات CTI بدسـت می‌آید. نتایج این مرجع نشـان می دهد PCI پیشـنهادی می‌تواند به عنوان یک مقیاس موثر برای اپراتورهای شـبکه برای تعیین بهترین مکان برای تخصـیص یک DG به مالکیت شـبکه با کمترین تاثیر روی هماهنگی حفاظتی به کار رود. گذ شته از این، PCI به تعیین و سعت سی ستم حفاظتی که با نصـــب DG با مالکیت مصـــرف کننده تحت تاثیر قرار می‌گیر ند و همچنین م شخص کردن همه ملزومات، برای ا صلاح تنظیمات رله‌ها با وارد شدن DG به شبکه کمک می‌کند. همچنین حفاظت اضافه جریان به طور گســترده در شــبکه‌های توزیع و فوق توزیع به عنوان حفاظت ا صلی و در شبکه‌های انتقال به عنوان حفاظت پ شتیبان کاربرد دارند. رله‌های اضـافه جریان از جمله تجهیزات مربوط به جریان زیاد هسـتند که به طور وسیعی برای حفاظت سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. عملکرد این رله‌ها بر ا ساس مقای سه جریان عبوری از رله و جریان زیاد معمولی استفاده می‌شود ولی در شبکه‌های از چند سو تغذیه که جهت جریان مهم اسـت از رله‌های اضـافه جریان جهت‌دار اسـتفاده می‌شـود. برای عدم تداخل در عملکرد رله‌های اضـافه جریان اصـلی و پشـتیبان هنگام وقوع خطا، یک فاصـله زمانی لازم بایسـتی بین عملکرد رله‌های اصـلی و پشـتیبان وجود داشـته باشـد و زمان عملکرد رله بایسـتی به گونه‌ای باشـد که اولاً این زمان آن قدر بزرگ باشـد که به هنگام وقوع خطا، نزدیک‌ترین کلید به محل خطا ابتدا قطع نماید و از طرفی آنقدر بزرگ نباشد که در صورت عدم عملکرد حفاظت اصلی حتی با قطع رله پشتیبان، سی ستم آ سیب جدی ببیند [۴].با توجه به نکته گفته شده، لزوم هماهنگی دقیق این رله‌ها مطرح می‌شـود. برای هماهنگ کردن رله‌های اضـافه جریان یک شـبکه توسـط کامپیوتر، لازم اسـت منحنی م شخ صه تمام رله‌های ا ضافه جریان در داخل برنامه مدل شده با شد [۵]. تاکنون روش های مختلفی برای این منظور ارائه گرد یده اسـت. مسـئله هماهنگی رله‌های اضـافه جریان عبارتسـت از تعیین تنظیم جریان و تنظیم زمان بخش تاخیری رله اضـافه جریان به نحوی که اولاً هیچگونه تداخلی در عملکرد رله‌های اصـلی و پشـتیبان رخ ندهد و همچنین هیچ رله‌ای غیر از رله ا صلی و پشتیبان عملکرد نداشته با شد و ثانیاً محل خطا در کوتاه‌ترین زمان ممکن از شـبکه اصـلی جدا گردد. در شـبکه‌های شـعاعی حل این مسـئله با شـروع تنظیم رله‌ها از نقاط انتهایی شـبکه و رعایت کردن فاصـله زمانی هماهنگی به راحتی امکان پذیر است. اما در شبکه‌های با توپولوژی‌های پیچیده، هماهنگی رله‌های ا ضافه جریان به یک م سئله ب سیار پیچیده تبدیل می گردد. دو تنظیم کلی برای هماهنگی رله‌های اضـافه جریان در نظر گرفته می‌شـود که یکی تنظیم جریانی و دیگری تنظیم زمانی اسـت. در خطوط انتقال و فوق توزیع سی ستم قدرت، ترکیب رله‌های دی ستانس و ا ضافه جریان برای حفاظت شـبکه به کار می‌روند. ترکیب رله‌های اضـافه جریان و دیستانس موجب امنیت بیشتر شبکه می‌شود. معمولاً حفاظت اصلی در این شـبکه‌ها بر عهده رله دیسـتانس و حفاظت پشـتیبان بر عهده رله ا ضافه جریان ا ست. پس از اینکه در ق سمت های قبل نحوه هماهنگی رله‌های ا ضافه جریان و هماهنگی رله‌های دی ستانس تو ضیح داده شد، هماهنگی ترکیب رله‌های دی ستانس و ا ضافه جریان مورد برر سی قرار خواهد گرفت. به منظور عملکرد صحیح رله‌ها به گونه‌ای که قسمت‌های معیوب را قطع کنند، هماهنگی بین رله‌های ا ضافه جریان و دی ستانس امری مهم و ضـروری اسـت. حالت‌های مختلفی برای اسـتقرار رله‌های اضافه جریان و دیستانس به عنوان رله اصلی و رله پشتیبان وجود دارد که در ادامه این حالات شرح داده می‌شوند [۶].

بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه هماهنگی رله‌های اضافه جریان به روش هماهنگی بهینه بر پایه بهینه سازی فوق ا ستوار هستند. مراجع با تغییر در بخش‌های مختلف مسـاله هماهنگی و همچنین اسـتفاده از روش‌های مختلف بهینه سازی نتایج مختلفی برای تنظیمات رله‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های هماهنگی بدسـت آورده‌اند. با توجه به اینکه مراجع، هماهنگی ر له های اضـافه جر یان با همدیگر را در مسـاله هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان با ادغام در حالت‌های دیگر هماهنگی بین رله‌های دیسـتانس و اضـافه جریان در قالب یک مساله بهینه سـازی انجام داده‌اند و همچنین به دلیل اینکه تحقیقات انجام شده در حوزه هماهنگی رله‌های ا ضافه جریان به صورت مجزا، ب سیار وسـیع اسـت؛ از بررسـی مراجعی که فقط به هماهنگی رله‌های اضـافه جر یان پرداخته ا ند، صـرف نظر می‌شـود. در مرجع [۷] پنج روش جبران‌سـازی برای کاهش اثر مقاومت خطا هنگام محاسـبه امپدانس توسـط رله معرفی شـده اسـت. نکته جالب در مورد مقاومت خطا این اسـت که شـرایط بهره‌برداری و سـاختار شـبکه تنها در صـورتی در امپدانس دیده شده تو سط رله در ناحیه اول، تاثیر خواهند گذا شت که مقاومت خطا وجود داشته باشد.

تاکنون روش‌های مختلفی برای هماهنگی رله‌های دیسـتانس و رله‌های اضـافه جریان جهتی (D&DOCR) ارائه شـده اسـت [۸].در [۹]، هماهنگی ر له های دیسـتانس و اضـافه جر یان با در نظر گرفتن ساختارهای مختلف شبکه نا شی از خروج خطوط و منابع انجام شده است. وارد شدن ساختارهای مختلف شبکه در مساله هماهنگی رله‌های دیسـتانس و اضـافه جریان، تعداد قیود مسـاله را به شـدت افزایش می‌د هد. در این مرجع روش های مختلفی برای کاهش این قیود ارائه شـده اسـت. در [۱۰]، فرمول بندی جدیدی برای هماهنگی رله‌های

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

دیستانس و اضافه جریان با در نظر گرفتن حفاظت پایلوت انجام شده است. با توجه به ویژگی حفاظت پایلوت، خطاهایی که انتهای خط اصلی و ناحیه دوم رله دیستانس اصلی رخ می‌دهند با تاخیر زمانی خیلی کمی توسط رله دیستانس برطرف می‌شود. بنابراین در این مرجع قیود هماهنگی برای رله‌های دیستانس اصلی و اضافه جریان پشتیبان به ازای خطا در انتهای خط منظور شده است. این نحوه هماهنگی برخلاف مراجع گذشته می‌باشد که در آنها قیود هماهنگی به ازای خطا در انتهای ناحیه اول رله دیستانس منظور کرده‌اند. در ادامه ساختار مقاله به این شرح است.در قسمت دوم به بیان مواد وروش ها و در قسمت سوم تعریف تابع هدف مساله بهینه سازی برای هماهنگی رله‌ها پرداخته می شود.در قسمت چهارم قیود و الگوریتم ارائه خواهد شد. در قسمت بعد به شبیه‌سازی شبکه تست پرداخته می‌شود و نتایج شبیه سازی تجزیه و تحلیل خواهد شد. در قسمت هشتم نتیجه‌گیری مقاله آمده است.

۲- مواد و روش‌ها

روش پیشنهادی برای هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان عبارت است از:

۱- اولین گام برای هماهنگی رله‌ها، تعیین جفت رله‌های اصلی و پشتیبان است. با توجه به پیچیدگی شبکه‌های بهم پیوسته بزرگ تعیین جفت رله‌های اصلی و پشتیبان به صورت دستی کاری زمانبر است و احتمال خطا با افزایش خطوط و رله‌ها افزایش می‌یابد. برای تعیین جفت رله‌های، ابتدا المان‌های شبکه ساده‌سازی می‌شوند و ساختار هندسی شبکه با یک گراف مدل می‌شود که در این گراف، خطوط شبکه با شاخه‌های جهت‌دار و باس‌های شبکه با گره‌ها مدل می‌شوند[۱۱].

۲- هماهنگی رله‌های دیستانس: در روش پیشنهادی برای تنظیم رله‌های دیستانس از روش و نتایج ارائه شده در مرجع [۱۲] استفاده شده است. روشی که این مرجع برای تنظیم رله‌های دیستانس در شبکه‌های بهم پیوسته ارائه شده است، با در نظر گرفتن عدم قطعیت در ساختار شبکه (ورود و خروج خطوط) و عدم قطعیت در بهره‌برداری (ورود و خروج منابع) انجام شده است. همچنین در هنگام محاسبات خطا و تعیین امپدانس‌ها فرض شده است که رله انتهای خط مدار انتقال توان را از سمت خود قطع می‌کند. زمان عملکرد نواحی اول، دوم و سوم همه رله‌های دیستانس موجود شبکه نمونه با مقادیر معمولی و ثابت به ترتیب ۰/۰۱ ، ۰/۳ و ۰/۶ ثانیه تنظیم شده است.

۳- تعریف مساله بهینه‌سازی برای هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان

در روش پیشنهادی تنظیم زمانی TSM رله‌های اضافه جریان همانند مرجع [۱۳] به عنوان متغیر پیوسته بین ۰/۰۵ تا ۲ تعیین می‌شود. بنابراین متغیرهای مسئله هماهنگی بهینه مشخصه TSM، و جریان پیکاپ رله‌های اضافه جریان خواهد بود.

در روش پیشنهادی از نرم‌افزار DIGSILENT که نرم‌افزار قدرتمندی برای تحلیل سیستم‌های قدرت است برای محاسبه جریان اتصال کوتاه عبوری از جفت رله‌ها استفاده شده است.

با توجه به نقاط بحرانی قیود مساله هماهنگی در روش پیشنهادی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$t_b(F_1) - 0.02 \geq CTI \qquad (۱)$$

$$t_b(F_2) - t_m(F_2) \geq CTI \qquad (۲)$$

$$t_b(F_3) - t_m(F_3) \geq CTI \qquad (۳)$$

$$t_b(F_4) - 0.3 \geq CTI' \qquad (۴)$$

در روابط فوق $t_b(F_i)$ و $t_m(F_i)$ زمان عملکرد رله اضافه جریان اصلی و پشتیبان به ازای خطا در نقطه بحرانی $F_i (i = 1,2,3,4)$ می‌باشد. همچنین در رابطه (۱) عدد ۰/۰۲ مربوط به زمان عملکرد واحد عملکرد آنی اضافه جریان اصلی و در رابطه (۴) عدد ۰/۳ نشان دهنده زمان عملکرد ناحیه دوم رله دیستانس اصلی می‌باشد. مقادیر CTI و 'CTI به صورت مساوی و برابر ۰/۳ فرض شده است.

در روابط فوق سه رابطه اول قیود هماهنگی بین رله‌های اضافه جریان – اضافه جریان و رابطه (۴) قید هماهنگی بین رله دیستانس اصلی و اضافه جریان پشتیبان است.

تابع هدف همانند مرجع [14] مساله هماهنگی بهینه با وارد کردن قیود هماهنگی در تابع هدف، با مجموع روابط (۵) و (۶) به صورت رابطه (۷) فرمول‌بندی می‌شود.

$$OF_{OC-OC} = (m_1 + 1)^{\gamma_1} \times \left(\alpha \sum_{i=1}^{N} t_i + \beta_1 \sum_{k_1=1}^{P_1} |\Delta t_{mbOC|F_1|}| + \beta_2 \sum_{k_1=1}^{P_1} |\Delta t_{mbOC|F_2|}| \right) \qquad (۵)$$

$$OF_{OC-dis} = (m_2 + 1)^{\gamma_2} \times \left(\beta_3 \sum_{k_2=1}^{P_2} |\Delta t_{mbOCDis|F_3|}| + \beta_4 \sum_{k_2=1}^{P_2} |\Delta t_{mbOCDis|F_4|}| \right) \qquad (۶)$$

$$OF_{dis-oc} = \beta_5 \sum_{k_3=1}^{P_3} |\Delta t_{mbDisOC|F_4|}| \qquad (۷)$$

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

در روابط فوق α ، β_1 ، β_2 , β_3, β_4 , β_5 ضرایب وزنی تابع هدف، $m1$ تعداد منفی $\Delta t_{mboc|F_i|}$ و γ_1 فاکتور تقویت برای تعداد ناهماهنگی ها در این نوع حفاظت است. $m2$ عدد منفی $\Delta t_{mboCDis}$ است و γ_2 فاکتور تقویت برای تعداد این نا هماهنگی هادر این نوع حفاظت است. t_i زمان عملکرد رله اصلی i ام به ازای خطا در نقطه F_2 است.

$$\Delta t_{mb}(F_i,k) = t_b(F_i,k) - t_m(F_i,k) - CTI \quad (۸)$$

$$\Delta t_{mbDISDOC}(F_4,k) = t_b(F_4,k) - t_{z2} - CTI' \quad (۹)$$

در روابط فوق $t_m(F_i,k)$ و $t_b(F_i,k)$ به ترتیب زمان عملکرد رله اصلی و پشتیبان جفت رله k ام به ازای خطای سه فاز متقارن در نقاط بحرانی $F_i (i = 1,2,3,4)$ و t_{z2} زمان عملکرد ناحیه دوم رله دیستانس که در روش پیشنهادی ثابت و برابر ۰/۳ ثانیه تنظیم شده است.

۴- اعمال الگوریتم GA به مساله هماهنگی رله

در این بخش، برای درک بهتر نتایج، استفاده از GA برای مساله هماهنگی رله ارائه شده است. GA با تولید منحصر به فرد تصادفی شروع می‌شود، که جمعیت اولیه را تشکیل می‌دهند. هر فرد با کروموزوم ارتباط دارد و متغیرها، ژن‌های این کروموزوم‌ها هستند. در مساله هماهنگی رله‌های اضافه جریان جهت‌دار، TSMها، جریان‌های پیکاپ و ویژگی‌های رله، ژن‌های کروموزوم‌ها هستند. در این مقاله، GA، TSMها را در محدوده ۰,۰۵-۲ انتخاب می‌کند و همچنین ویژگی‌های رله را با انتخاب بهترین M، α و L از جدول ۱ انتخاب می‌کند و جریان‌های پیکاپ با انتخاب بهترین Ipf-s در محدوده ۱/۲-۱/۳ انتخاب می‌شوند. ساختار کروموزومی در شکل۱ نشان داده شده است.

در این ساختار شکل (۱)، دسته‌های TSM_1 ، TSM_2 ، ... ، TSM_n و $CHAR_1$ ، $CHAR_2$ ، ... ، $CHAR_n$ و $Ib_1, Ib_2, \ldots\ldots, Ib_n$ به ترتیب تنظیم زمانی، مشخصه مربوط و جریان پیکاپ رله‌های R_1 ، R_2 ، ... ، R_n هستند. اکنون OF با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی آماده بهینه‌سازی است. برای رله‌های اضافه جریان جهت‌دار، زمان عملکرد را می‌توان با معادله زیر محاسبه کرد:

$$t = TSM\left(\frac{K}{M^{\alpha}-1} + L\right) \quad (۱۰)$$

که K، α و L به ویژگی رله بستگی دارد که در جدول ۱ نشان داده شده است، و M نسبت جریان اتصال کوتاه I_{SC} به جریان پیکاپ I_{pickup} رله اضافه جریان جهت‌دار است.

$$M = \frac{I_{SC}}{I_{pickup}} \quad (۱۱)$$

I_{pickup} را می‌توان از طریق معادله زیر بدست آورد:

$$I_{pickup} = I_{pf} \times I_n \quad (۱۲)$$

I_n جریان نامی است و I_{pf} فاکتور جریان پیکاپ است.

جدول (۱): مشخصات رله‌های اضافه جریان جهت‌دار [15] .

شماره مشخصه	نوع مشخصه	استاندارد	Kفاکتور	α فاکتور α	Lفاکتور
1	معکوس زمان کوتاه	AREVA	0.05	0.04	0
2	معکوس استاندارد	IEC	0.14	0.02	0
3	خیلی معکوس	IEC	13.5	1	0
4	فوق العاده معکوس	IEC	80	2	0
5	معکوس طولانی مدت	AREVA	120	1	0
6	نسبتا معکوس	ANSI/IEEE	0.0515	0.02	0.114
7	خیلی معکوس	ANSI/IEEE	19.61	2	0.491
8	فوق العاده معکوس	ANSI/IEEE	28.2	2	0.1217

R_1			R_2			.....			R_n		
TSM_1	Ib_1	$CHAR_1$	TSM_2	Ib_2	$CHAR_2$	.....	....	.....	TSM_n	Ib_n	$CHAR_n$

شکل (۱): ساختار کروموزوم

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

۵- فرمول‌بندی مساله ماکزیمم ظرفیت تزریقی مجاز DG

در مرحله دوم تنظیمات رله‌های دیستانس و اضافه جریان به عنوان پارامترهای ثابت با مقادیر محاسبه شده در مرحله اول، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مرحله دوم تابع هدف برای حداکثر کردن تزریق ظرفیت به صورت زیر تعریف می شود:

$$MaximizeP = \sum_{k=1}^{L} S_{DGk} \quad (۱۳)$$

در رابطه فوق S_{DGk} ظرفیت نامی DG متصل به باس k و L تعداد واحدهای DG است.

با توجه به اینکه هدف یافتن حداکثر ظرفیت تزریقی با کمترین تاثیر روی حفاظت است بنابراین قیود هماهنگی تعریف شده در روش پیشنهادی هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان به عنوان قیود این مساله تعیین می‌شوند.

مهمترین تفاوتی که مرحله دوم با مرحله اول دارد روش محاسبات اتصال کوتاه است. در مرحله اول که هیچ واحد تولید پراکنده در شبکه نیست جریان‌های اتصال کوتاه عبوری از جفت رله‌های اصلی و پشتیبان محاسبه شده و به عنوان پارامترهای ورودی برای محاسبه زمان عملکرد رله‌ها استفاده می‌شود. در حالی که در مرحله دوم جریان‌های اتصال کوتاه بسته به مکان و ظرفیت DG تغییر می‌کند. قرار دادن یک واحد DG در مکان مشخص، ماتریس ادمیتانس شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد که موجب تغییر ماتریس امپدانس و مقادیر جریان اتصال کوتاه خواهد بود. بنابراین جریان اتصال کوتاه در رابطه زمان عملکرد رله تابعی از ظرفیت DG و در نتیجه زمان عملکرد رله‌های اضافه جریان نیز تابعی از ظرفیت DG خواهد بود.

$$t_{relay} = TSM\left(\frac{k}{M^{\alpha}} + L\right), \qquad M = \frac{I_{sc}}{I_{pi}} \quad (۱۴)$$

$$\left\{\begin{matrix} t_{relay} = h(I_{sc}) \\ I_{sc} = f(S_{DGk}) \end{matrix}\right\} \rightarrow t_{relay} = g(S_{DGk}) \quad (۱۵)$$

علاوه بر این محدودیت ظرفیت DG که می‌تواند در هر باس نصب شود به صورت زیر است:

$$0 \le S_{DGk} \le S_{DGk-max}, \forall k \quad (۱۶)$$

$S_{DGk-max}$ در قید فوق، کران بالای ظرفیت DG که می‌تواند در هر باس نصب شود، می‌باشد که در روش پیشنهادی برای DG های متصل به باس‌های فوق توزیع این مقدار برابر ۱۰۰ MVA قرار داده شده است. مقدار $S_{DGk-max}$ به اولویت طراحی برنامه ریزشبکه بستگی دارد. سطح تزریق DG در رابطه (۱۰) برای مقادیر مختلف CTI و CTI' (در این پژوهش برای همه حالت‌ها، CTI' = CTI فرض شده است) محاسبه می‌شود و نسبت تغییرات P(ΔP) به تغییرات CTI(ΔCTI) محاسبه شده و شاخص هماهنگی حفاظتی برای هر شین به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PCI = -\frac{\Delta P}{\Delta CTI} \quad (۱۷)$$

واحد PCI با توجه به رابطه فوق MVA/ds یا MVA/(0.1s) خواهد بود. PCI به صورتی تعریف می‌شود که یک مقدار مثبت، کاهش در CTI را در نتیجه افزایش ظرفیت تزریق نشان می‌دهد. مقدار بالای PCI در یک باس مشخص نشان دهنده این است که سطح بالایی از تزریق ظرفیت با کمترین تاثیر روی هماهنگی حفاظتی (به عبارت دیگر با تغییر کوچک در CTI) بدست می‌آید. PCI می‌تواند به عنوان شاخص موثر برای بدست آوردن بهترین مکان کاندید برای نصب DG با مالکیت شبکه و ارزیابی تاثیر نصب DG با مالکیت شخصی (مصرف کننده) با در نظر گرفتن سیستم حفاظت به کار رود [16].

۶- طراحی برنامه واسط نرم‌افزارهای MATLAB و DIGSILENT با استفاده از زبان برنامه‌نویسی DPL

در این پژوهش یک برنامه واسط بین نرم‌افزارهای DIGSILENT و MATLAB طراحی گردیده است که توسط آن قابلیت تبادل اطلاعات به صورت خودکار بین این دو نرم‌افزار امکان‌پذیر گردیده است. هر دو نرم‌افزار به صورت موازی در حالت اجرا بوده و با استفاده از این برنامه واسط از خروجی محاسبات هر نرم‌افزار به عنوان ورودی‌های محیط دیگر استفاده می‌شود. مهمترین بخش روش پیشنهادی نحوه هماهنگ شدن دو نرم‌افزار است. عملکرد دو نرم‌افزار برای حل مساله ماکزیمم ظرفیت تزریقی به این گونه است که نرم‌افزار MATLAB با در نظر گرفتن مقدار CTI و CTI' مشخص (CTI= CTI')، یک موقعیت و ظرفیت برای DG تعیین کرده و آن را در فضای داده مشترک قرار داده و با تغییر مقدار flag توسط این نرم‌افزار، نرم‌افزار DIGSILENT وارد مود عملکردی خود شده و موقعیت و مقدار ظرفیت DG را از فضای داده مشترک برداشته و یک منبع در آن موقعیت با مقدار ظرفیت ورودی وارد شبکه مورد مطالعه می‌کند و سپس محاسبات اتصال کوتاه را برای همه جفت رله‌های اصلی و پشتیبان انجام داده و نتایج را در قالب یک ماتریس در فضای داده مشترک قرار می‌دهد. حال با تغییر دوباره flag نرم‌افزار MATLAB وارد مود عملکردی شده و ماتریس جریان‌های اتصال کوتاه از فضای داده مشترک برداشته و با استفاده از این داده‌ها و تنظیمات رله‌های دیستانس و اضافه جریان که از قبل به این نرم‌افزار داده شده است زمان عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان را محاسبه می‌کند. سپس محدودیت‌های هماهنگی را مورد بررسی قرار می‌دهد اگر تخطی از محدودیت‌ها وجود نداشته باشد با یک پله مشخص به ظرفیت قبلی اضافه می‌کند و در فضای داده مشترک قرار می‌دهد. مراحل فوق برای ظرفیت

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدید دوباره تکرار می‌شود.

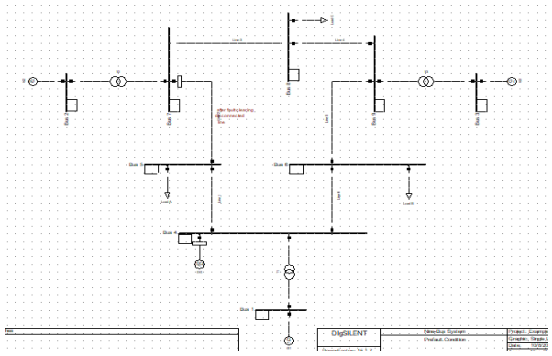
اضافه کردن به ظرفیت DG تا جایی ادامه می‌یابد که نرم افزار MATLAB در بررسی محدودیت‌های هماهنگی با تخطی روبرو شود در این حالت اجرای برنامه متوقف می‌شود و یک پله پایین‌تر از مقدار ظرفیتی موجب تخطی شده را به عنوان ماکزیمم ظرفیت تزریقی برای CTI و 'CTI در نظر گرفته شده، تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه مالک DG می‌تواند شبکه یا مصرف‌کننده باشد، در هر دو مورد DG می‌تواند یک تاثیر روی حفاظت سیستم داشته باشد. PCI برای DG با مالکیت شبکه می‌تواند برای م شخص کردن بهترین مکان در شبکه برای نصب DG با کمترین تاثیر روی هماهنگی حفاظتی استفاده شود. ولی برای DG با مالکیت مصرف‌کننده که هیچگونه کنترلی روی مکان ن صب DG وجود ندارد و ا سا ساً به مکان م صرف‌کننده ب ستگی دارد، PCI می‌تواند به عنوان یک مقیاس تو سط اپراتورهای شبکه برای بدست آوردن تغییرات و اصلاحات مورد نیاز حفاظت سیستم در نتیجه نصب DG با مالکیت مصرف‌کننده بکار رود.

۷- شبیه‌سازی روش پیشنهادی

۷-۱- سیستم ۹ شینه

برای پیاده سازی روش پیشنهادی از شبکه نمونه ۹ شینه ارائه شده در شکل ۲ استفاده شده است. که شامل شش خط، سه ترانسفورماتور و سه ژنراتور است، در شین ۴ (یکی از شین‌های کاندید) DG قرار دارد و اطلاعات خطوط شبکه در پیوست آورده شده است. همانطور که در روش پیشنهادی هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان گفته شد، فرض می‌شود در دو سر هر خط یک رله دیستانس به همراه یک رله اضافه جریان جهتی نصب شده است.



شکل(۲): شبکه نمونه ۹ باسه

۷-۱-۱- نتایج اتصال کوتاه

جریان‌های اتصال کوتاه سه فار متقارن عبوری از جفت رله‌های اصلی و پشتیبان را به ازای خطا در نقاط بحرانی در جدول ۲ قابل مشاهده است. در این جدول I_{scm} و I_{scb} به ترتیب جریان اتصال کوتاه عبوری از رله‌های اصلی و پشتیبان به ازای خطا در محل‌های اشاره شده هستند.

جریان‌های خطای سیستم در حضور DG همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، تغییر می‌کند. بنابراین، ما با یک ساختار سیستم جدید برای حفاظت مواجه هستیم. برای توضیح دادن یک راه ساده برای غلبه بر مساله حفاظت از سیستم با استفاده از DG، جریان‌های خطا این سیستم جدید باید محاسبه شود و مورد استفاده قرار گیرد.

جدول (۲): جریان اتصال کوتاه عبوری از رله های اصلی و پشتیبان به ازای خطا در نقاط بحرانی

جفت رله	رله اصلی	رله پشتیبان	خطا در نقطهF1 (جلوی رله اصلی)		خطا در نقطهF2 (انتهای محدوده حفاظتی المان عنصر سریع)		خطا در نقطهF3 (انتهای خط اصلی)		خطا در نقطهF4 (انتهای ناحیه اول رله دیستانس)	
			Iscm (kA)	Iscb (kA)	Iscm (kA	Iscb (kA)	Iscm (kA)	Iscb (kA)	Iscm (kA)	Iscb (kA)
۱	۱	11	2.263	0.691	1.541	0.439	1.357	0.378	1.441	0.405
۲	۲	4	1.048	1.037	0.8305	0.832	0.756	0.763	0.791	0.796
۳	۳	1	1.358	1.3508	0.939	0.956	0.823	0.847	0.876	0.898
۴	۴	6	1.866	0.662	1.204	0.382	1.042	0.311	1.115	0.344
۵	۵	3	2.013	0.818	0.985	0.328	0.794	0.224	0.879	0.272
۶	۶	8	1.526	1.515	0.821	0.852	0.667	0.708	0.738	0.774
۷	۷	5	0.813	0.788	0.622	0.608	0.546	0.536	0.584	0.572
۸	۸	10	3.598	0.597	1.843	0.184	1.526	0.104	1.665	0.1404
۹	۹	7	3.545	0.543	1.918	0.202	1.604	0.131	1.742	0.163
۱۰	۱۰	12	0.897	0.875	0.682	0.681	0.601	0.606	0.604	0.643
۱۱	۱۱	9	1.605	1.593	0.86	0.917	0.697	0.769	0.771	0.837
۱۲	۱۲	2	2.322	0.753	1.097	0.299	0.881	0.219	0.977	0.255

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

۲-۱-۷- جریان اسمی

جریان‌های اسمی برای رله‌های تست سیستم ۹ شینه در جدول۳ آورده شده است که با استفاده از نرم‌افزار DIGSILENT محاسبه شده است.

جدول(۳): جریان تنظیم و جریان بار رله های اضافه جریان

شماره رله	جریان اسمی (A)	شماره رله	جریان اسمی(A)
1	186.904	7	86.194
2	189.395	8	75.165
3	84.544	9	114.854
4	59.290	10	141.682
5	154.336	11	214.410
6	151.027	12	212.982

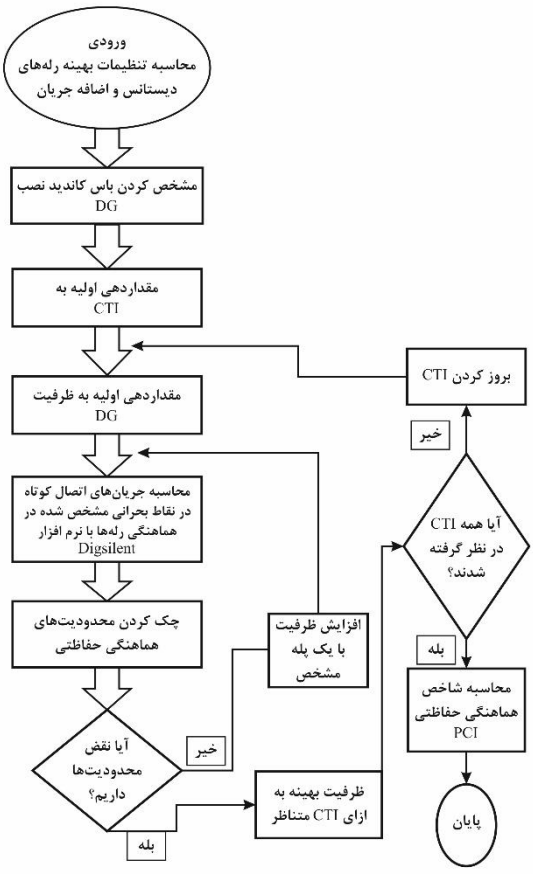
۳-۱-۷- نتایج الگوریتم بهینه سازی

قبل از اجرای الگوریتم و بدست آوردن پاسخ بهینه در ابتدا باید ضرایب وزنی مناسبی برای تابع هدف ارائه شده، تعیین کرد. مقادیر بهینه ضرایب وزنی تابع هدف در روابط فوق α ، β_1 ، $\gamma\beta_2$, و m1 به ترتیب برابر ۱، ۲، ۲ ، ۰/۲ و ۵ تعیین شده است. برای مساله بهینه پارامترهای دیگری نیاز به تنظیم مناسب دارند که پارامترهای خود الگوریتم GA شامل تعداد جمعیت (۱۰۰)، تعداد ماکزیمم تولید (۴۰۰۰) است. الگوریتم برای مساله پیشنهادی به دفعات اجرا و بهترین جواب از بین جواب ها برای مساله تعیین گردیده است. شکل ۳ فلوچارت شاخص هماهنگی حفاظتی را نشان می دهد.

جدول (۴): تنظیمات رله‌های اضافه جریان تست سیستم ۹ شینه

شماره رله	TSM	I_{pf}	CHAR
۱	0.18	1.21	4
۲	0.05	1.25	1
۳	0.46	1.25	1
۴	0.82	1.2	4
۵	0.11	1.21	4
۶	0.05	1.2	3
۷	0.49	1.26	1
۸	0.87	1.24	8
۹	0.77	1.22	8
۱۰	0.09	1.2	8
۱۱	0.23	1.2	1
۱۲	0.07	1.2	8

در این روش مقدار CTI از ۰/۲ تا ۰/۲۵ تغییر می کند که مقدار CTI هر ۰/۰۱ افزایش می یابد. در جدول ۴، TSMهای بهینه I_{pf} و ویژگی‌های رله، انتخاب شده توسط GA، ارائه شده است. مقدار I_{pf} ها پیوسته هستند و از ۱/۲ تا ۱/۳ تغیر می‌کنند و ویژگی‌های رله‌ها با استفاده از جدول ۱ انتخاب شده است.



شکل (۳): فلوچارت شاخص هماهنگی حفاظتی

هدف دیگر در مساله هماهنگی بهینه عدم تداخل در عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان با داشتن حداقل فاصله زمانی بین این دو رله است. در تعریف مساله هماهنگی عنوان شد دو رله اصلی و پشتیبان در صورتی با هم هماهنگ خواهند بود که قیود هماهنگی در نقاط بحرانی برای این دو رله ارضا شده باشند. با توجه به اختلاف زمانی تعریف شده در مساله برای ۴ نقطه بحرانی هماهنگی یا عدم هماهنگی جفت رله‌های اصلی و پشتیبان را می‌توان با محاسبه Δt_{mb} و $\Delta t_{mbDISDOC}$ تعیین کرد.

جدول ۵ نتایج حاصل از مساله هماهنگی با استفاده از مشخصه‌های مختلف برای تنظیم رله‌های اضافه جریان در هماهنگی این رله‌ها با رله‌های دیستانس ارائه شده است. هدف از این کار بررسی تاثیر استفاده از مشخصه‌های مختلف، جریان پیکاپ و ضریب تنظیم زمانی برای تنظیم رله‌های اضافه جریان در روش پیشنهادی است.

بنابراین نتایج ارائه شده در جدول ۵ تاثیر مثبت استفاده از مشخصه‌های مختلف، جریان پیکاپ و ضریب تنظیم زمانی برای تنظیم رله‌های اضافه جریان را در هماهنگی با رله‌های دیستانس نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

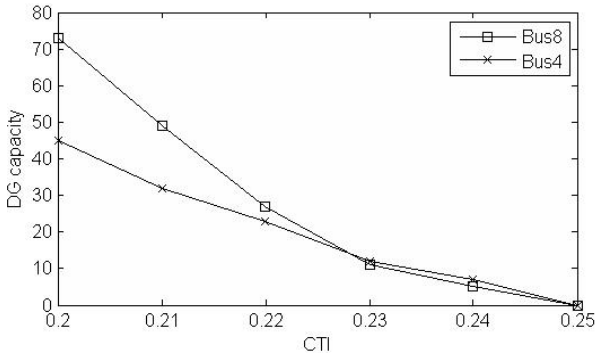
جدول (۵): اختلاف زمانی عملکرد جفت رله‌های اصلی و پشتیبان

اصلی	پشتیبان	Tmb(F1) (DOC-DOC)	Tmb(F2) (DOC-Dis)	Tmb(F4) (Dis-DOC)
1	11	0.1468467	0.247511	0.6614493
2	4	0.2752034	0.4458630	0.5220283
3	1	0.2081511	0.6194295	0.9793296
4	6	0.1675800	0.4185120	0.7985187
5	3	0.1934972	0.1718733	0.5853412
6	8	0.1119151	0.2221796	0.4683964
7	5	0.233209	0.5789017	1.0292585
8	10	0.1073629	5.3016599	1.4363148
9	7	0.2329240	0.6291429	1.1610052
10	12	0.0877334	0.1537347	0.3582494
11	9	0.1235572	0.4069013	0.7390342
12	2	0.0200985	0.1560613	1.0206607

۴-۱-۷- نتایج مربوط به شاخص هماهنگی حفاظتی

در این بخش برای پیاده‌سازی روش ارائه شده از شبکه نمونه ۹ شینه استفاده شده است. باس‌های کاندید برای نصب تولید پراکنده در این شبکه شین های ۴ و ۸ انتخاب شده و شاخص هماهنگی برای این باس‌ها محاسبه می‌شود.

مرحله اول محاسبه شاخص هماهنگی که شامل هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان و تعیین تنظیمات بهینه این رله‌ها می باشد. نتایج نشان می‌دهد با کاهش فاصله زمانی مجاز بین رله‌های اصلی و پشتیبان ماکزیمم ظرفیتی که می‌توان از هر باس تزریق کرد، افزایش می‌یابد. در شکل ۳ منحنی تغییرات ظرفیت تزریقی مجاز بر حسب CTI بیان شده است.



شکل (۳): تغییرات ظرفیت تزریقی نسبت به CTI

با توجه به اینکه شاخص هماهنگی حفاظتی برای هر باس نسبت تغییرات ماکزیمم ظرفیت تزریقی مجاز در آن باس به تغییرات CTI تعریف شد بنابراین قرینه متوسط شیب منحنی مربوط به هر باس در نمودار شکل ۳ برابر شاخص هماهنگی یا PCI همان باس خواهد بود. در جدول ۶، PCI مربوط به باس‌های کاندید آورده شده است.

جدول (۶): شاخص‌های هماهنگی شین‌های کاندید

	شین۸	شین۴
PCI (MNA/ds)	۱۴۶۰	۹۰۰

نتایج جدول۶ نشان می‌دهد شین ۸ بیشترین و شین ۴ کمترین مقدار شاخص هماهنگی را دارا هستند. بنابراین شین ۸ بهترین مکان برای نصب DG است که کمترین تاثیر را روی حفاظت دارد. ولی همانطور که گفته شد ماکزیمم ظرفیتی که می‌توان از این شین به شبکه تزریق کرد بستگی به محدودیت‌های حفاظتی و حداقل CTI مجاز برای سیستم حفاظتی بستگی دارد.

۲-۷- سیستم ۳۹ شینه

به منظور نشان دادن کارایی روش پیشنهادی، این روش در سیستم ۳۹ شینه پیاده‌سازی شده است. سیستم ۳۹ شینه شامل ۳۴ خط، ۱۲ ترانسفورماتور و ۱۰ ژنراتور است که در شکل ۴ نشان داده شده است. در شین های ۶ و ۸ (شین های کاندید) DG قرار می دهیم و اطلاعات خطوط شبکه در پیوست آورده شده است. جریان‌های اتصال کوتاه و نامی عبوری از طریق رله‌ها برای تست سیستم ۳۹ شینه با استفاده از نرم‌افزار DIGSILENT حاصل شد. به دلیل میزان بالای دیتا آن‌ها در نظر گرفته نشده‌اند.

خلاصه‌ای از زمان تمایز بین جفت رله‌های اصلی و پشتیبان (مثلا تعداد ۱۰ تا جفت رله) برای موارد مختلف حاصل از GA در جدول ۷ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۷ آمده است بررسی همزمان TSM، فاکتور جریان پیکاپ، و مشخصه رله‌های اضافه جریان به عنوان

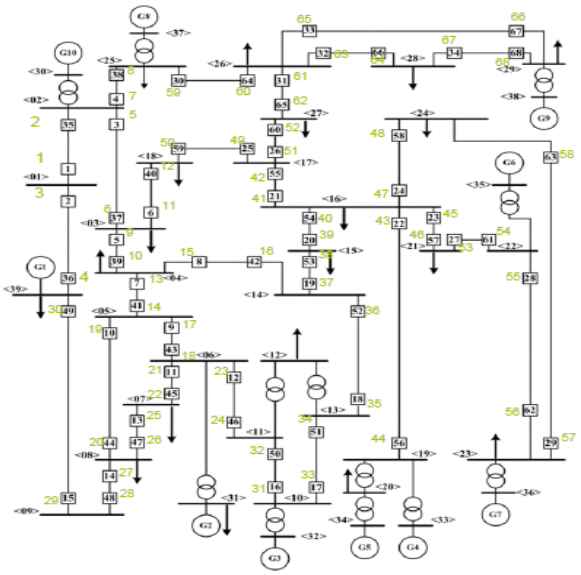
جدول (۷): خلاصه اختلاف زمانی عملکرد جفت رله های اصلی و پشتیبان

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

اصلی	پشتیبان	Tmb(F1)(DOC-DOC)	Tmb(F2)(DOC-Dis)	Tmb(F4)(Dis-DOC)
5	1	0.0432	0.0163	0.0674
7	1	0.0347	0.0153	0.0411
30	3	0.0237	0.2025	0.0824
9	5	0.0919	0.2328	0.1419
11	5	0.0590	0.0875	0.1217
59	7	0.0355	0.0166	0.0977
13	9	0.4499	0.6480	0.6997
15	9	0.4661	0.6936	0.7394
50	11	0.0298	0.0472	0.0314
17	13	0.0332	0.0377	0.0201

متغیرهای بهینه‌سازی منجر به کوچک شدن زمان‌های تمایز شده و هم‌چنین نرخ عدم هماهنگی کاهش می‌یابد. بنابراین کارایی GA برای حل مسئله هماهنگی بهینه برای ترکیب رله های D و DOC در سیستم‌های قدرت عملی ثابت شده است.

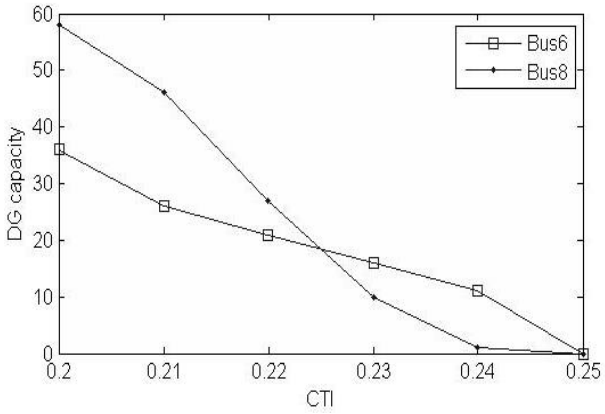
همان طور که در جدول ۷ نشان داده شده است به منظور حل مساله حفاظت ناشی از DG ها تاثیر مثبت استفاده از شاخص هماهنگی حفاظتی برای تنظیم رله‌های اضافه جریان در هماهنگی با رله‌های دیستانس را نشان می‌دهد.



شکل (۴): شبکه نمونه ۳۹ شینه

۱-۲-۷- نتایج مربوط به شاخص هماهنگی حفاظتی

در این بخش برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی مربوط به شاخص هماهنگی حفاظتی ارائه شده است. روش کار همانند تست سیستم ۹ شین است. در شکل ۵ منحنی تغییرا ت ظرفیت تزریق مجاز بر حسب CTI را نشان می‌دهد.



شکل (۵): تغییرات ظرفیت تزریقی نسبت به CTI

۸- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق بررسی هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان با استفاده رله‌های عملکرد آنی در شبکه های ۹ و ۳۹ شینه IEEE بود. نتایج بدست آمده به شرح زیر است:

با توجه به اینکه تعیین جفت رله اصلی و پشتیبان شبکه یکی از ملزومات اولیه هماهنگی رله‌ها است، روش جدیدی بر پایه تئوری گراف جهت تعیین این جفت رله‌ها پیشنهاد شد. در این روش با استفاده از ماتریس تلاقی خطوط و شین‌ها و همچنین مکان رله‌ها روی خطوط، با برنامه‌نویسی کامپیوتری می‌توان جفت رله‌های اصلی و پشتیبان هر شبکه به هم پیوسته را به آسانی و با صرف زمان کمتری نسبت به حالت دستی به دست آورد. به دلیل اینکه در سیستم‌های انتقال و فوق توزیع زمان رفع خطا از اهمیت خاصی برخوردار است، استفاده از رله‌های عملکرد آنی قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی را در رفع آنی خطا افزایش می دهد. در روش پیشنهادی از ۸ مشخصه استاندارد مختلف رله‌های اضافه جریان جهت تنظیم این رله‌ها استفاده شد. نتایج بدست آمده سودمندی استفاده مشخصه های مختلف برای تنظیم رله‌های

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

اضافه جریان را در کاهش زمان عملکرد این رله‌ها به ازای خطا در نقاط بحرانی و همچنین کاهش فاصله زمانی عملکرد جفت رله‌های اصلی و پشتیبان در مقایسه با حالتی که رله‌های اضافه جریان با یک مشخصه تنظیم شده‌اند را نشان می دهد. علیرغم اینکه بیشتر مراجع زمان عملکرد ناحیه دوم رله‌های دیستانس را به عنوان متغیر مساله تعریف کرده و با توجه به قیود هماهنگی و CTI در نظر گرفته شده مقادیر بزرگی برای زمان عملکرد در این ناحیه بدست آورده اند، در روش پیشنهادی به دلیل استفاده از رله عملکرد آنی به جای رله اضافه جریان با عملکرد تاخیری جهت حفاظت خط اصلی، یکی از قیود هماهنگی مربوط به هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان حذف شده و موجب این می شود که با تنظیم زمان عملکرد ناحیه دوم رله‌های دیستانس با مقدار ثابت و معمولی ۰/۳ ثانیه، پاسخ‌های قابل قبول و شدنی برای مساله هماهنگی بهینه رله‌های دیستانس بدست آید. برای حل مساله هماهنگی بهینه رله ها از الگوریتم بهینه سازی GA استفاده شد. در این پژوهش یک شاخص هماهنگی حفاظتی برای ارزیابی تاثیر نصب منابع تولید پراکنده روی هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان جهتی ارائه شد و با توجه به نتایج به دست آمده برای شاخص هماهنگی حفاظتی برای باس‌های کاندید نصب DG در شبکه مورد مطالعه، باسی با بیشترین شاخص هماهنگی که کمترین تاثیر نصب تولید پراکنده را در این باس نشان می‌دهد به عنوان مناسب‌ترین باس برای نصب DG از دید سیستم حفاظت انتخاب شد.

در نهایت می‌توان گفت در این پژوهش هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان با در نظر گرفتن توپولوژی غالب شبکه انجام شد. می‌توان روش ارائه شده را با در نظر گرفتن عدم قطعیت در ورود و خروج خطوط و منابع و توپولوژی های مختلف شبکه انجام داد. همچنین هماهنگی رله‌های دیستانس و اضافه جریان با در نظر گرفتن حفاظت پایلوت جهت افزایش قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی پیشنهاد می‌شود

مراجع

1. Mahmoud, K., et al. "*Optimal Distributed Generation Allocation in Distribution Systems for Loss Minimization*", IEEE Transactions on Power Systems 31(2): 960-969, 2016.
2. Elyasibakhtiari, K. and E. Akhavan-Rezai. *"Decentralized intelligent SCADA for intelligent controlling and DG integration in the electric distribution gri*d", CIRED 2012 Workshop: Integration of Renewables into the Distribution Grid, 2012.
3. Zeineldin, Hatem H., et al. "*A protection coordination index for evaluating distributed generation impacts on protection for meshed distribution systems*", Smart Grid, IEEE Transactions on 4.3: 1523-1532, 2013.
4. coral Springs "*Applied Protective Relaying*", Westinghouse Electric Corporation, Relay Instruments Division, florida, 33065, (1982).
5. H. Askarian Abyaneh, "Application of expert system for coordination of O/C and E/F relay setting", PSC Conf.94, Russia, 1994.
6. Damchi, Y., et al. "*Optimal coordination of distance and overcurrent relays considering a non-standard tripping characteristic for distance relays*", IET Generation, Transmission & Distribution 10(6): 1448-1457, 2016.
7. E. Sorrentino, "*Comparison of five methods of compensation for the ground distance function and assessment oftheir effect on the resistive reach in quadrilateral characteristics*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 61, pp. 440-445, 2014.
8. Castillo, C. A., et al. "*Mitigation of DOCR miscoordination through distance relays and non-standard overcurrent curves*", Electric Power Systems Research 163: 242-251, 2018.
9. Chabanloo, R. M., et al. "*Optimal Combined Overcurrent and Distance Relays Coordination Incorporating Intelligent Overcurrent Relays Characteristic Selection*", IEEE Transactions on Power Delivery 26(3): 1381-1391, 2011.
10. Damchi, Yaser, Javad Sadeh, and Habib Rajabi Mashhadi. "*Preprocessing of distance and directional overcurrent relays coordination problem considering changes in network topology*", International Transactions on Electrical Energy Systems, 2015.
11. Sadeh, Javad, and Habib Rajabi Mashhadi. "*Considering Pilot Protection in the Optimal Coordination of Distance and Directional Overcurrent Relays*", Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering 20, 2015.
12. Braga, A. S., and João Tomé Saraiva. "*Coordination of overcurrent directional relays in meshed networks using the Simplex method*", Electrotechnical Conference, 1996. MELECON'96., 8th Mediterranean. Vol. 3. IEEE, 1996.
13. Chabanloo, R. M., et al. "*Optimal Combined Overcurrent and Distance Relays Coordination Incorporating Intelligent Overcurrent Relays Characteristic Selection*", IEEE Transactions on Power Delivery 26(3): 1381-1391, 2011.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021

14. Moravej, Z. and O. Soleimani Ooreh. "*Coordination of distance and directional overcurrent relays using a new algorithm: grey wolf optimizer*", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences 26(6): 3131-3145, 2018.
15. Ahmadi, S.-A., et al. "*Comprehensive coordination of combined directional overcurrent and distance relays considering miscoordination reduction*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems 92: 42-52, 2017.
16. Ahmadi, S. A., et al. "*Application of hyper-spherical search algorithm for optimal coordination of overcurrent relays considering different relay characteristics*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems 83: 443-449, 2016.
17. Zeineldin, Hatem H., et al. "*A protection coordination index for evaluating distributed generation impacts on protection for meshed distribution systems*", Smart Grid, IEEE Transactions on 4.3, 1523-1532, 2013.

رزومه:



محمدرضا امینیان در کرمان متولد شده است (۱۳۶۹). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق_الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات، در حال حاضر دانشجوی دکتری برق دانشگاه ازاد اسلامی واحد کرمان، فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی در زمینه حفاظت سیستم های قدرت است.



مهدی جعفری شهباززاده در کرمان متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق از دانشگاه شیراز، کارشناسی ارشد مهندسی برق از دانشگاه شیراز، دکتری از دانشگاه علوم و تحقیقات تهران. در حال حاضر عضو هیات علمی گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی در زمینه حفاظت سیستم‌های قدرت است



مهدیه اسلامی در کرمان متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق از دانشگاه شهید باهنر کرمان، کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه علم و صنعت، دکتری از دانشگاه مالزی. در حال حاضر عضو هیات علمی گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، فعالیت‌های پژوهشی و علاقه مندی در زمینه حفاظت و کنترل سیستم-های قدرت است

پیوست‌ها:

اطلاعات پارامترهای تست سیستم‌های ۹و ۳۹ شینه در جدول‌های ۸ و ۹ آورده شده است.

جدول (۸): اطلاعات خطوط ۹ شینه

From Bus	To Bus	R (Ω)	X (Ω)
1	4	0	0.0576
2	7	0	0.0625
3	9	0	0.0586
4	5	0.0101	0.085
5	7	0.032	0.161
6	4	0.017	0.092
7	8	0.0085	0.072
8	9	0.0119	0.1004
9	6	0.039	0.170

جدول (۹): اطلاعات خطوط ۳۹ شینه

From Bus	To Bus	R (Ω)	X (Ω)
1	2	0.0035	0.0411
1	39	0.001	0.025
2	3	0.0013	0.0151
2	25	0.007	0.0086
3	4	0.0013	0.0213
3	18	0.0011	0.0133
4	5	0.0008	0.0128
4	14	0.0008	0.0129
5	6	0.0002	0.0026
5	8	0.0008	0.0112
6	7	0.0006	0.0092
6	11	0.0007	0.0082
7	8	0.0004	0.0046
8	9	0.0023	0.0363
9	39	0.001	0.025
10	11	0.0004	0.0043
10	13	0.0004	0.0043
13	14	0.0009	0.0101
14	15	0.0018	0.0217
15	16	0.0009	0.0094
16	17	0.0007	0.0089
16	19	0.0016	0.0195
16	21	0.0008	0.0135
16	24	0.0003	0.0059
17	18	0.0007	0.0082
17	27	0.0013	0.0173
21	22	0.0008	0.014
22	23	0.0006	0.0096
23	24	0.0022	0.035

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

25	26	0.0032	0.0323
26	27	0.0014	0.0147
26	28	0.0043	0.0474
26	29	0.0057	0.0625
28	29	0.0014	0.0151
12	11	0.0016	0.0435
12	13	0.0016	0.0435
6	31	0	0.025
10	32	0	0.02
19	33	0.0007	0.0142
20	34	0.0009	0.018
22	35	0	0.0143
23	36	0.0005	0.0272
25	37	0.0006	0.0232
2	30	0	0.0181
29	38	0.0008	0.0156
19	20	0.0007	0.0138

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021

Coordination of distance relays and directional over current with optimal injection of DG capacity using smart method

Mohammadreza Aminian[1], Mehdi Jafari Shahbazzadeh[2*], Mahdiyeh Eslami[3]

1- Department of Electrical Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, mraminian869@gmail.com

2- Department of Electrical Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, m-j-shabazi@yahoo.com

3- Department of Electrical Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran, mahdiyeh_eslami@yahoo.com

Abstract:

One of the most applicable relays in protecting the power system is distance and overcurrent relays. In transmission and distribution networks, protection is usually performed by distance protection, and overcurrent protection is used as a backup for distance protection. In the present study, a new approach was provided to coordinate distance and overcurrent relays using pickup current, time adjustment coefficient, and overcurrent relay characteristics to delay these relays as backup for distance relays. It is possible to adjust the second zone of the distance relays' operating time with a fixed and normal value using instantaneous operation relays with changes in coordination constraints. In the proposed method, the coordination problem was solved using GA algorithm. A protection coordination index is then provided to evaluate distributed generation sources' impact on the protection coordination of distance and overcurrent relays. A new method was proposed to obtain the maximum injection capacity under coordination constraints using MATLAB and DIGSILENT software's parallel performance. The proposed method was implemented in IEEE 9 and 39 bus sample networks. Finally, the obtained results were compared and evaluated.

Kewords: Protection Coordination, Directional overcurrent relay, disperse production resources, protection coordination index

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.3.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 3- Autumn 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]