



هماهنگی رله‌های اضافه جریان در شبکه‌های توزیع با توجه به رفتار گذرای محدود کننده جریان خطا و منابع تولید پراکنده

سهیل رنجبر^۱

^۱ استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، ranjbar@velayat.ac.ir

چکیده

تاثیر DG بر هماهنگی حفاظتی، به اندازه، محل و نوع تکنولوژی DG ها بستگی دارد [۲]. بنابراین چندین ایده مختلف بعنوان راه حل های ممکن جهت غلبه بر مشکل هماهنگی رله جریان بالا (O/C) در سیستم های دارای DG معرفی شده است. در [۳-۶]، تاثیر DG بر سطح جریان اتصال کوتاه مورد بررسی قرار گرفت و برای چک کردن هماهنگی رله محافظ در هر زمانی که یک DG جدید متصل شد پیشنهاد می شود. استفاده از بازبست های ریز پردازنده (میکروپروسسوری) به عنوان راه حلی مناسب برای مشکل هماهنگی بازبست فیوز در سیستم دارای DG در [۴] پیشنهاد شده است. برای جلوگیری از اتصال مجدد بدون هماهنگی DG، خروج تمامی DG های جریان پایین ریکلوز (بازبست) قبل از عمل بازبست معرفی شده است. به منظور جلوگیری از قطع DG های جریان پایین، یک طرح حفاظتی انطباقی برای رسیدن به هماهنگی رله-فیوز در [۵] پیشنهاد شده است. بخاطر پیچیدگی و هزینه بالا، در [۷]، محدود کننده جریان خطا، برای محدود کردن تاثیر DG بر هماهنگی O/C معرفی شده است. با استفاده از FCL، دامنه جریان در طول دوره خطا در یک سطح قابل قبول محدود می شود. این تجهیز تحت شرایط عادی، امپدانس (مقاومت ظاهری) پایینی را ارائه داده و باعث عبور پخش بار می شود [۸]. طرح های مختلف FCL شامل محدودکننده جریان خطای ابر سانا^۴، محدود کننده جریان خطای مغناطیسی^۵ و FCL های حالت جامد هستند [۹]. اگر چه FCL های حالت جامد در مقایسه با SFCL و MFCL دارای مزایای زیادی هستند، اما تلفات کلیدزنی جزء مشکلات اصلی این تجهیزات هستند. در [۱۰]، یک طرح ترکیبی FCL شامل ترکیبی از تایریستور خاموش شونده با گیت و کلیدزنی مکانیکی سریع ارائه شده است. با توجه به پیچیدگی و محدودیت روش های پیشین، هماهنگی بهینه و مطلوب رله های O/C توسط تکنیک های برنامه نویسی خطی از جمله سیمپلکس ارائه شده است [۱۱]. در [۱۲]، الگوریتم ژنتیک برای هماهنگی مطلوب O/C توسعه یافته است.

اتصال مولدهای پراکنده^۱ به شبکه توزیع دارای مزایای متعددی است. با این حال، با حضور DG برخی از مشکلات در هماهنگی دستگاه های محافظ، بخاطر تغییرات ایجاد شده در سطوح اتصال کوتاه در نقاط مختلف رخ می دهد. محدود کننده جریان خطا^۲ برای محدود کردن سطوح جریان خطا و اثرات DG بر هماهنگی رله های جریان بالا^۳ در طول خطاها بکار می رود. استفاده از DG و FCL در شبکه های توزیع باعث به وجود آمدن جریان های ناپایدار در طول و وضعیت خطا می گردد. روش های هماهنگی پایدار باعث تنظیمات دقیق در چنین شبکه هایی نمی گردد. با توجه به رفتار گذرا شبکه، در این مقاله یک روش جدید هماهنگی رله های OC پیشنهاد می شود. روش پیشنهادی بر اساس الگوریتم ژنتیک و استفاده از مدل پویا رله های OC به جای منحنی مشخصه ثابت رله ها مدل سازی می شود. برای این منظور، رفتار گذرا DG و FCL در محیط نرم افزار PSCAD شبیه سازی شده و وضعیت عملکرد رله برای تمام رله های اولیه و پشتیبان محاسبه می شود تا به تنظیمات مطلوب رله ها در شرایط ناپایدار دست یابیم. روش پیشنهادی بر روی یک شبکه توزیع نمونه ۳۰ با سه IEEE شبیه سازی می شود. نتایج نشان دهنده کارایی روش پیشنهادی در زمینه هماهنگی مطلوب در شبکه های قدرت واقعی است.

واژه های کلیدی

رله جریان بالا، محدود ساز جریان خطا، منابع تولید پراکنده، شبکه توزیع برق.

مقدمه

اتصال منابع تولید پراکنده در شبکه های توزیع دارای فواید زیادی از جمله کاهش تلفات خطا است [۱]. با این حال، بخاطر ایجاد تغییر در مقدار و جهت پخش بار و سطح جریان اتصال کوتاه تحت شرایط خطا، موجب بروز مشکلاتی در هماهنگی دستگاه های حفاظتی می شود.

^۴ SFCL: Super Fault Current Limiter

^۵ MFCL: Magnetic Fault Current Limiter

^۱ DG: Distributed Generator

^۲ FCL: Fault Current Limiter

^۳ OC: Overcurrent Relay

$$F_1(I) = \left(\frac{t_r}{1-M^2} \right), \quad 0 < M < 1 \quad (1)$$

$$F_2(I) = \left(\frac{A}{M^p - 1} + B \right), \quad M > 1 \quad (2)$$

در (1) و (2)، M نسبت جریان ورودی نسبت به جریان برگشتی رله است. همچنین A, T_r, B و P مقادیر ثابت به منظور استخراج منحنی مشخصه‌های انتخابی هستند. مطابق با روابط بیان شده در رله دیجیتال، مدل دینامیکی پیشنهادی زمان معکوس رله OC به صورت ذیل معرفی می‌شود:

$$\sum_{n=1}^{N_0} \left(\frac{1}{F_2(I_n)} - \frac{1}{F_1(I_n)} \right) \Delta t = 1 \quad (3)$$

در (3)، ΔT بیان کننده دوره زمانی نمونه برداری N_0 تعداد نمونه‌های جریان خطا هستند. در این شرایط، هنگامی که جریان ورودی بزرگتر از جریان برگشتی باشد، از اولین نمونه کپی برداری می‌شود. همچنین در صورتی که جریان ورودی کمتر از جریان برگشتی رله باشد، از دومین کپی برداری شده و از این عبارت (3) کم می‌شود. هنگامی که مقدار مجموع به 1 می‌رسد، رله یک سیگنال برگشتی ارسال می‌کند. باید ذکر کرد که جریان ورودی بعد از حذف آفست DC و ترکیب‌های هارمونیک به دست می‌آید.

الگوریتم پیشنهادی

در معادلات مربوط به مشخصه‌های رله، از جریان خطاهای حالت ماندگار به منظور محاسبه زمان عملکرد رله استفاده می‌شود. این معادلات نمی‌توانند برای جریان خطاهای گذرا استفاده شوند. به همین دلیل مدل دینامیکی پیشنهادی رله می‌باید در الگوریتم هماهنگی میان رله‌ها مورد استفاده قرار گیرد. علی‌رغم روش‌های هماهنگی حالت ثابت، جریان خطا در روش پیشنهادی متغیر با زمان بوده و می‌بایست همراه با متغیر زمانی ارائه شود تا بتوان مقدار جریان خطا را در هر فاصله زمانی نشان داد. برای اجرای این روش جدید، جریان خطای گذرا برای رله‌های اصلی و پشتیبان باید با در دوره زمانی ΔT نمونه برداری شود که بصورت دو ماتریس زیر ارائه می‌شوند.

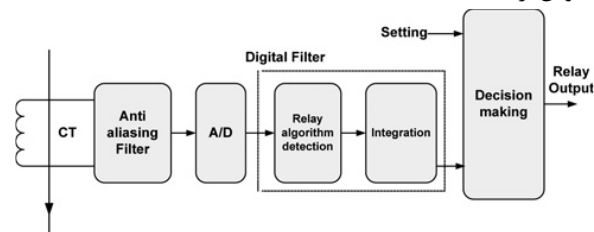
$$M = \begin{bmatrix} I_{m1}(t_1) & I_{m1}(t_2) & I_{m1}(t_3) & \dots & I_{m1}(t_N) \\ I_{m2}(t_1) & I_{m2}(t_2) & I_{m2}(t_3) & \dots & I_{m2}(t_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{mK}(t_1) & I_{mK}(t_2) & I_{mK}(t_3) & \dots & I_{mK}(t_N) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} I_{b1}(t_1) & I_{b1}(t_2) & I_{b1}(t_3) & \dots & I_{b1}(t_N) \\ I_{b2}(t_1) & I_{b2}(t_2) & I_{b2}(t_3) & \dots & I_{b2}(t_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{bK}(t_1) & I_{bK}(t_2) & I_{bK}(t_3) & \dots & I_{bK}(t_N) \end{bmatrix} \quad (5)$$

در روش‌های ارائه شده، از جریان خطای حالت ثابت و بلندگار برای هماهنگی در معادلات رله‌ها استفاده شده است. بنابراین راه حل‌های ارائه شده دارای دقت تقریبی هستند. در این مقاله از جریان خطای دینامیکی به منظور هماهنگی رله‌های O/C استفاده می‌شود. به همین دلیل یک مدل محرک و پویا برای رله‌ها ارائه شده و مدل واقعی FCL با تاخیر زمان عملکرد مورد بررسی قرار می‌گیرند. در روش پیشنهادی، از الگوریتم ژنتیک جهت هماهنگی رله‌های O/C در حضور رفتارهای دینامیکی DG و FCL بهره گرفته می‌شود. این روش برای تعیین تنظیمات و ارتقاء هماهنگی رله‌ها استفاده می‌شود. اثر بخشی روش پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی شبکه توزیع نمونه نشان داده می‌شود.

مدل دینامیک رله

ساختار رله دیجیتال اضافه جریان در شکل 1 نشان داده شده است. مطابق با شکل 1، سیگنال جریان ورودی ابتدا از فیلتر تصحیح فرکانس که همراه با مبدل آنالوگ به دیجیتال است، عبور می‌کند. داده‌های دیجیتال خارج شده از مبدل A/D توسط یک فیلتر دیجیتال و الگوریتم‌های تصمیم‌گیرنده برنامه‌ریزی شده در ریزپردازنده داخل رله، پردازش می‌شوند. خروجی نهایی رله توسط ریزپردازنده‌های به کار برده شده در رله، تعیین می‌شود. رایج‌ترین نوع الگوریتم برای حذف کردن هارمونیک‌های غیرمفید در رله‌های دیجیتال، تبدیل فوریدگ سه سته است که در این مقاله نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای از بین بردن تاثیرات هارمونیک DC با استفاده از نمونه برداری با فرکانس بالا، تاثیرات مولفه‌های هارمونیک از بین می‌روند. در شبکه‌های واقعی جریانی که از رله‌ها عبور می‌کنند، به طور دینامیکی تغییر کرده و در این موارد یک مدل محرک می‌باید در رله به منظور تصمیم‌گیری استفاده شود. در استاندارد IEEE 1996-37012C، یک مدل محرک برای رله‌های زمان معکوس ارائه شده است.



شکل 1: ساختار رله دیجیتال اضافه جریان.

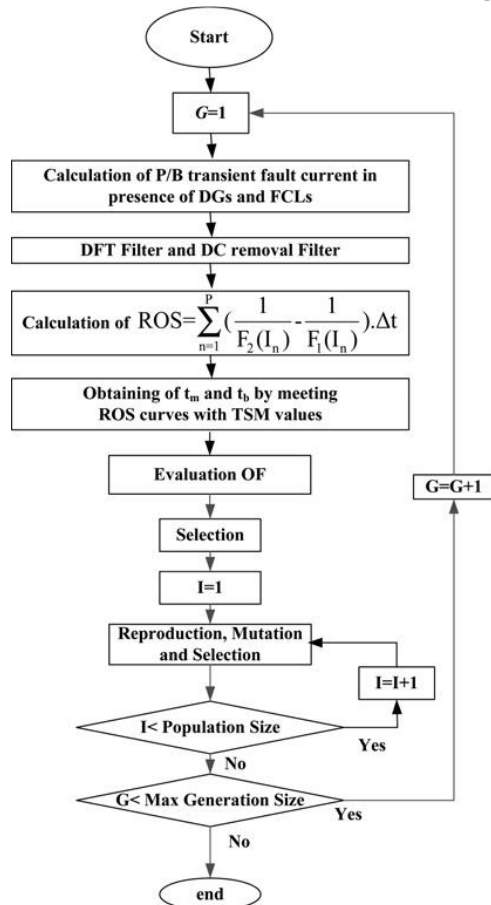
در یک رله اضافه جریان متداول، زمان تنظیم و زمان منحنی زمان معکوس به ترتیب به صورت روابط (1) و (2) بیان می‌شوند:

⁷ DFT: Discrete Fourier Transformer.

⁶ GA: Genetic Algorithm



الگوریتم همانند دیگر روش های بهینه سازی، نیازمند مقادیر اولیه بوده که به صورت تصادفی انتخاب می شوند. مقادیر ناشناخته TSM های رله های OC منجر به بروز مشکلاتی در حل بهینه سازی مسئله می شوند. یک کروموزوم از یکسری ترکیباتی تشکیل شده که ژنوم نام دارند. هر ژنوم دارای اطلاعاتی از متغیرها است. بنابراین با توجه به تعداد رله ها، TSM ها به عنوان ژنوم های کروموزوم در GA محسوب می شوند. به عبارت دیگر، برخی از مجموعه های TSM ها که $(TSM_1^b, TSM_2^b, TSM_3^b, \dots, TSM_N^b)$ و $(TSM_1, TSM_2, TSM_3, \dots, TSM_N)$ هستند به مجموعه رله های $(R_1, R_2, R_3, \dots, R_N)$ تعلق دارند که در ابتدا بصورت تصادفی به عنوان جمعیت اولیه انتخاب می شوند. مجموعه TSM ها به عنوان اندازه جمعیت می باشند. فلوجارت پیشنهادی هماهنگی گذرای رله های OC در شکل ۳ نشان داده شده است.



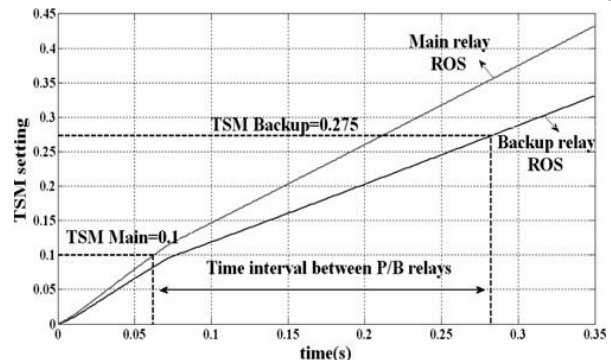
شکل ۳: فلوجارت الگوریتم GA در روش هماهنگی پیشنهادی.

برای ارزیابی عملکرد هر کروموزوم، لازم است که یک تابع هدف^{۱۰} مناسب مطابق با (۷) توصیف شود.

در (۴) و (۵)، M و B به ترتیب جریان خطای گذرای عبوری از رله های پشتیبان و اصلی برای خطاهای نزدیک به رله های اصلی هستند. ستون های هر ردیف از این ماتریس ها، جریان خطای را در زمان نمونه برداری از T_1 تا T_N نشان می دهد. همچنین ردیف ماتریس های مربوط به جفت رله های پشتیبان و اصلی^۸ از 1 تا K نشان می دهد. طبق ساختار توصیف شده، DFT با یک پنجره محرک جهت فیلتر کردن جزء هارمونیک اصلی جریان خطاهای گذرای عبوری از رله ها به کار می رود. همچنین، از یک فیلتر حذف کننده مقدار DC برای حذف کردن مولفه DC جریان خطا استفاده می شود. در نهایت جریان فیلتر شده رله های P/B معرفی شده به صورت (۶)، و وضعیت خروجی رله را تعیین می کند.

$$\sum_{n=1}^P \left(\frac{1}{F_2(I_n)} - \frac{1}{F_1(I_n)} \right) \Delta t \quad (6)$$

با استفاده از (۶)، دو ماتریس جدید M و B به دست آمده و شاخص P_{th} هر ردیف از (۶) از 1 به P است. هر ردیف از این ماتریس جدید توسط یک منحنی در برابر زمان نمونه به صورت شکل ۲، قابل ارائه است.



شکل ۲: هماهنگی زمانی رله های P/B با استفاده از منحنی ROS. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده، به هماهنگی زمانی نشان داده شده منحنی وضعیت عملکرد رله^۹ اطلاق می شود. زمان عملکرد رله های P/B برای خطای نمونه، از طریق برخورد مقدار ضریب تنظیم زمانی^{۱۰} رله با منحنی ROS مطابق با شکل ۲ به دست می آید. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، منحنی ROS اصلی و پشتیبان در دو نقطه دارای شکستگی می باشند. یکی از این شکستگی ها در ابتدای منحنی به خاطر جریان خطای گذرای و زیرگذرای DG است و دیگری در فاصله زمانی نصب FCL برای محدود کردن جریان خطا عمل می کند. فاصله زمانی رله های P/B با استفاده از منحنی ROS محاسبه شده و برای هماهنگی میان رله ها استفاده می شود. روش هماهنگی پیشنهادی در این مقاله براساس الگوریتم GA است. این

¹⁰ TSM: Time Setting Multiplier

¹¹ OF: Objective Function

⁸ P/B: Primary and Backup

⁹ ROS: Relay Operation Statuses



جدول ۱: مقادیر ثابت زمانی و راکتانس‌های گذرا DG

$X_d = 1.15 \text{ p.u.}$	$X'_d = 0.75 \text{ p.u.}$	$T_d = 1.8 \text{ s}$
$X_q = 0.75 \text{ p.u.}$	$X'_q = 0.24 \text{ p.u.}$	$T'_d = 0.035 \text{ s}$
$X''_d = 0.37 \text{ p.u.}$	$X''_q = 0.34 \text{ p.u.}$	$T_s = 0.15 \text{ s}$

در مجموع، ۳۸ رله OC یک جهت برای شبکه آزمون در نظر گرفته شده و در انتهای هر خط نصب شده اند. مشخصه های تنظیم رله ها مطابق با استاندارد IEEE 1996-370112C است که از روابط (۱) و (۲) پیروی می کنند. در این روابط مقادیر T_r ، A ، B و P به ترتیب برابر با $4/85$ ، 0.0515 ، 0.114 و 0.02 هستند.

موقعیت نصب DG با توجه به پارامترهایی همانند بارگذاری و مکان یابی در شبکه تعیین می شود. در این مقاله، سه نمونه DG با ظرفیت ۳، ۵ و ۱۰ مگاوات آمپر در باس های ۳، ۱۰ و ۱۵ نصب شده اند. فن آوری DG به کار برده شده از نوع سنکرون و با ثابت زمانی مدار باز ۰/۹ ثانیه هستند. DGها از طریق ترانسفورماتورها به شبکه توزیع متصل شده و دارای مقاومت القایی ۰/۰۵ در واحد برا ساس ظرفیت ۱۰ مگاوات آمپر هستند. پارامترهای محرک DGها در جدول ۱ نشان داده شده اند.

همه‌نگی OC بدون توجه به تاثیرات گذرا DG و FCL

با استفاده کردن از FCL در شبکه توزیع دیگر نیازی به ایجاد تغییر در تنظیمات رله‌های OC وجود ندارد. بنابراین در اولین مرحله، همه‌نگی رله‌های OC از طریق روش ذکر شده و با استفاده از الگوریتم GA انجام می شود. قابل ذکر است که برای یافتن زمان عملکرد رله، با استفاده از (۹)، زمان تقریبی مشخصه عملکرد رله در حالت ثابت و ماندگار به دست می آید.

$$\frac{t}{TSM} = \frac{A}{(M)^c - 1} + B, \quad \left(M = \frac{I_{sc}}{I_b} \right) \quad (9)$$

در (۹)، I_b جریان تنظیم حالت ماندگار و I_{sc} جریان تنظیم حالت اتصال کوتاه رله هستند. CTI میان رله‌های P/B برابر ۰/۲۵ ثانیه لحاظ می شود. نتایج مربوط به تنظیمات TSM و زمان عملکرد رله‌ها در جدول ۲ ارائه شده اند.

مطابق با جدول ۲، با نصب DG منجر به وقوع تغییراتی در جریان خطا گردیده که این امر باعث عدم همه‌نگی در رله‌ها می شود. استفاده از FCL یک راه موثر برای بازگرداندن همه‌نگی رله‌های OC است. برای این منظور، اندازه مناسبت FCL متناسب با تنظیم رله‌ها در حضور DG می‌بایست تعیین شود. در این حالت، با استفاده از مقاومت ظاهری FCL، الگوریتم GA اجرا شده و با محاسبه جریان خطا در هر تکرار، اختلاف زمانی میان رله‌های P/B بررسی می‌شوند.

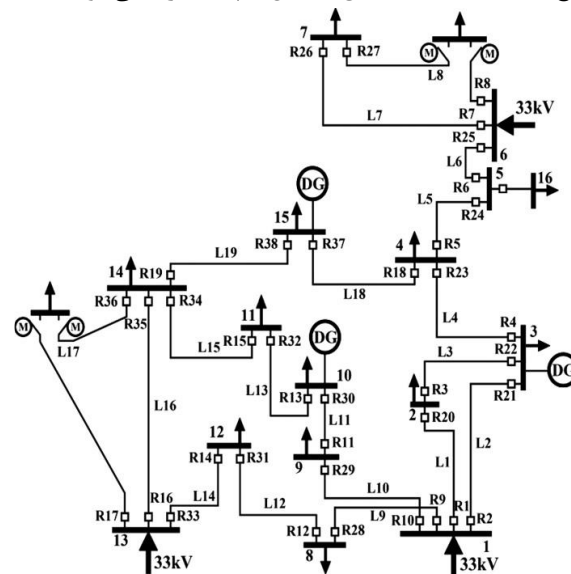
$$OF = \alpha_1 \sum (t_i)^2 + \alpha_2 \sum (\Delta t_{mb} - \beta_2 (\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|))^2 \quad (7)$$

$$\Delta t_{mbk} = t_{bk} - t_{mk} - CTI \quad (8)$$

اولین عبارت (۷)، بیان‌کننده مجموع زمان عملکرد رله OC و عبارت دوم، بیان‌کننده محدودیت همه‌نگی عوامل ارزیابی‌کننده α_1 و α_2 هستند. همچنین، T_1 زمان عملکرد رله OC و ΔT_{mb} تفاوت زمانی میان رله‌های اصلی و پشتیبان است. فاصله زمانی بحرانی^{۱۲} فاصله زمانی همه‌نگی است و بسته به دقت منحنی‌های رله، خطای مبدل‌های جریان و سرعت بریکر در مدار رله اصلی می‌تواند به ۰/۲ تا ۰/۴ ثانیه برسد. بعد از هر تکرار، مجموعه TSMهای جدید متعلق به رله‌های R_1 تا R_2 به الگوریتم داده شده و این فرآیند تا زمانی که تعداد تکرارها با مقادیر اولیه برابر باشند، ادامه می‌یابد.

نتایج شبیه‌سازی

روش پیشنهادی رله اضافه جریان بر روی یک شبکه استاندارد توزیع ۳۰ باس IEEE مطابق با شکل ۴ پیاده‌سازی می‌شود.



شکل ۴: شبکه آزمون ۳۰ باس IEEE.

مطابق با شکل ۴، شبکه توزیع آزمون مورد نظر از ۳۰ باس، ۳۷ خط و ۶ ترانسفورماتور، ۴ ژنراتور تولید پراکنده و ۸۶ رله OC تشکیل شده است. در شبکه توزیع شکل ۴، از طریق سه پست توزیع در سطح ولتاژ ۳۲/۱۳۲ کیلوولت در باس‌های ۱۰۶ و ۱۳ تغذیه می‌شوند. اطلاعات مربوط به ژنراتور، خطوط انتقال و ترانسفورماتورها در [۱۰] آورده شده است. مقادیر ثابت‌های زمانی و راکتانس‌های منابع DG مطابق با جدول ۱ است.

¹² CTI: Critical Time Interval



ماتریس های M ، B به عنوان ماتریس های ورودی در GA و برای محاسبه زمان عملکرد رله های اصلی و پشتیبان استفاده می شوند. برای محاسبه تنظیمات دقیق رله در الگوریتم GA، چندین مقدار TSM را در هر تکرار تولید می کند. زمان عملکرد رله های اصلی و پشتیبان با برخورد مقادیر TSM با منحنی ROS رله ها تعیین می شود. سپس فاصله زمانی بین هر رله P/B محاسبه می شود. مقادیر به دست آمده TSM که می تواند باعث هماهنگی شود و مقدار OF را کاهش دهد به عنوان تنظیمات دقیق رله ها شناخته می شوند. نتایج GA برای TSM ها و زمان عملکرد رله ها در جدول ۷ نشان داده شده اند.

جدول ۳: ماتریس جریان خطای گذرا رله های اصلی.

No. main	Time				
	$t = 0.001$	$t = 0.002$	$t = 0.003$...	$t = 3$
M_1	992	2750	3903	...	443
M_2	421	1299	1858	...	1123
...
M_{60}	31	411	685	...	348

جدول ۴: ماتریس جریان خطای گذرا رله های پشتیبان.

No. backup	Time				
	$t = 0.001$	$t = 0.002$	$t = 0.003$...	$t = 3$
B_1	551	-1364	-2937	...	741
B_2	992	-676	-2034	...	1200
...
B_{60}	286	1059	1592	...	-150

جدول ۵: مقادیر ROS رله های اصلی.

No. main	Time				
	$t = 0.001$	$t = 0.002$	$t = 0.003$...	$t = 3$
M_1	0.00113	0.00226	0.00338	...	4.61
M_2	0.00049	0.00098	0.00141	...	2.64
...
M_{60}	0.00005	0.00013	0.00023	...	3.34

جدول ۶: مقادیر ROS رله های اصلی.

No. backup	Time				
	$t = 0.001$	$t = 0.002$	$t = 0.003$...	$t = 3$
B_1	0.00108	0.00202	0.00311	...	4.86
B_2	0.00039	0.00079	0.00122	...	2.97
...
B_{60}	0.00075	0.00153	0.00221	...	3.96

با استفاده از TSM به دست آمده در روش جدید (جدول ۷) برای جریان خطای نلپلیدار، فاصله زمانی بین تمام رله های P/B مجدداً محاسبه شده است. ملاحظه می شود که در تمام زمان ها، فاصله های زمانی محاسبه شده، بیشتر از مقدار CTI (۰/۲۵ ثانیه) است.

جدول ۲: مقادیر TSM و زمان بهره برداری رله ها.

Relay no.	TSM	OP time, s	Relay no.	TSM	OP time, s
	0.95	1.04	20	0.57	0.77
	1.21	0.91	21	0.74	0.67
	1.53	1.05	22	1.44	1.02
	0.85	0.80	23	0.89	1.04
	0.93	0.67	24	2.00	1.59
	0.49	0.48	25	1.88	1.66
	0.28	0.22	26	0.05	0.07
	0.26	0.21	27	0.05	0.05
	1.75	1.46	28	1.02	1.47
0	1.58	1.44	29	0.55	0.83
1	1.36	1.53	30	0.88	1.05
2	1.79	1.30	31	1.42	1.48
3	1.65	1.34	32	1.52	1.25
4	1.20	1.18	33	1.68	1.45
5	0.97	1.16	34	1.44	1.26
6	0.99	1.15	35	0.65	0.98
7	0.67	0.58	36	1.28	0.81
8	2.00	1.37	37	1.44	1.14
9	1.45	1.21	38	1.20	1.33

مقاومت ظاهری FCL در هر تکرار و مرحله به مرحله افزایش می یابد تا عدم هماهنگی را کاهش دهد و به مقدار مطلوب مقاومت ظاهری FCL برسد. در این مقلله از مقادیر برابر و امپدانس القایی برای تمامی FCL ها استفاده شده است. مقدار کمیته FCL برای بازگرداندن هماهنگی با استفاده از الگوریتم تکراری، به مقدار ۲۱/۸ در واحد به دست آمده است. قابل ذکر است، تنظیم رله ها در یک حالت ثابت و ماندگار به دست آمده است. بنابراین، در یک شبکه واقعی با عملکرد گذرا DG، تنظیمات مورد نظر ممکن است نامعتبر بوده و موجب عدم هماهنگی در رله ها شود.

هماهنگی رله های OC با توجه به تاثیرات گذرای DG و FCL

همانطور که قبلاً ذکر شد، جریانات گذرا که از DG و FCL ناشی می شوند بر روی عملکرد رله های OC تاثیر می گذارند. برای رسیدن به تنظیمات درست و دقیق رله ها، مدل محرک DG و FCL اجرا می شود. جریان خطای گذرا که از رله های اصلی و پشتیبانی عبور می کنند از طریق شبیه سازی در PSCAD به دست می آیند. این جریان خطا در ماتریس های M و B با نسبت نمونه برداری ۰/۰۰۱ مطابق با (۵) و (۶) و از زمان بروز خطا تا ۳ ثانیه بعد از خطا ذخیره می شوند. به طور نمونه اندازه جریان خطای گذرا ماتریس های M ، B مطابق با جدول ۳ و جدول ۴ برابر 60×3000 خواهد بود. در مرحله بعدی، فیلتر DFT و فیلتر رفع DC برای استخراج اجزای اصلی این جریان خطاهای گذرا به کار برده می شوند. سپس ROS رله های P/B با استفاده از مدل محرک رله OC محاسبه می شود. ماتریس های M ، B بعد از این مراحل مطابق با جدول ۵ و جدول ۶ تشکیل می شوند.

- [3] Mohammad Nasir Uddin, Nima Rezaei, Osaji Emmanuel Olufemi, " Adaptive and Optimal Overcurrent Protection of Wind Farms With Improved Reliability", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 58(3), 2022.
- [4] Feras Alasali, Abdelaziz Salah Saidi, Naser El-Naily, Sahban W. Alnaser, William Holderbaum, Saad M. Saad, Mahmoud Gamaleldin, " Advanced Coordination Method for Overcurrent Protection Relays Using New Hybrid and Dynamic Tripping Characteristics for Microgrid", *IEEE Access*, 10(3), 2022.
- [5] Sayed Rasoul Kafimousavi Najafabadi, Bahador Fani, Iman Sadeghkhan, " Optimal Determination of Photovoltaic Penetration Level Considering Protection Coordination", *IEEE Systems Journal*, 16(2), 2022.
- [6] Cleberton Reiz, Jonatas Boas Leite, " Optimal Coordination of Protection Devices in Distribution Networks With Distributed Energy Resources and Microgrids", *IEEE Access*, 10(2), 2022.
- [7] alal Elemamali Sati, Maher A. Azzouz, " Optimal Protection Coordination for Inverter Dominated Islanded Microgrids Considering N-1 Contingency", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 37(3), 2022.
- [8] Saad Pola, Maher A. Azzouz, " Optimal Protection Coordination of Active Distribution Networks With Synchronverters", *IEEE Access*, 10(2), 2022.
- [9] Reza Kheirollahi, Shuyan Zhao, Hua Zhang, Xiaonan Lu, Jun Wang, Fei Lu, " Coordination of Ultrafast Solid-State Circuit Breakers in Radial DC Microgrids", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 10(4), 2022.
- [10] Arturo Conde, Meng Yen Shih, " An Adaptive Overcurrent Coordination Scheme Withstanding Active Network Operations", *IEEE Access*, 10(2), 2022.
- [11] Jorinda Yuh Ru Wong, ChiaKwang Tan, Ab Halim Abu Bakar, Hang Seng Che, " Selectivity Problem in Adaptive Overcurrent Protection for Microgrid With Inverter-Based Distributed Generators (IBDG): Theoretical Investigation and HIL Verification", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 37(4), 2022.
- [12] Suzana Pil Ramli, Meysam Pashaei, Mazaher Karimi, Kimmo Kauhaniemi, Alireza Pourdaryaei, Mehdi Daryaei, Masoud Zarei, " The Recent Development of Optimal DOCR Protection Strategies for Sustainable Power Systems via Computational Intelligence Techniques", *IEEE Access*, 10(2), 2022.
- [13] P. Naveen, Premalata Jena, " A Robust Protection Scheme for Multimicrogrids Using Fault Current Limiter", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 58(2), 2022.

جدول ۷: مقادیر TSM و زمان عملکرد به ازای جریان های خطای گذرا.

Relay no.	TSM	OP time, s	Relay no.	TSM	OP time, s
1	0.96	1.05	20	0.58	0.77
2	1.24	0.93	21	0.83	0.75
3	1.49	1.02	22	1.41	1.00
4	0.89	0.83	23	0.86	1.01
5	0.91	0.65	24	1.80	1.43
6	0.52	0.50	25	1.81	1.60
7	0.29	0.24	26	0.05	0.07
8	0.30	0.24	27	0.05	0.05
9	1.80	1.50	28	1.03	1.49
10	1.59	1.45	29	0.60	0.90
11	1.44	1.62	30	0.88	1.06
12	1.80	1.31	31	1.55	1.61
13	1.64	1.33	32	1.49	1.22
14	1.24	1.21	33	1.71	1.48
15	1.02	1.21	34	1.43	1.26
16	1.00	1.16	35	0.78	1.18
17	0.72	0.62	36	1.40	0.89
18	1.98	1.36	37	1.38	1.09
19	1.37	1.15	38	1.20	1.33

به عبارت دیگر هماهنگی کامل میان رله های OC در شرایط گذرا با استفاده از روش پیشنهادی به دست آمده است.

نتیجه گیری

در این مقاله یک روش جدید هماهنگی رله های OC مبتنی بر الگوریتم GA در حضور منابع تولید پراکنده و محدود ساز جریان خطا پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل پیشنهادی دینامیکی رله OC، رفتار گذرا DG ارزیابی شده و TMS مورد نیاز متناسب با شرایط بهره برداری زمان حقیقی شبکه، تخمین زده شده است. در ادامه مدلی تطبیقی برای هماهنگی میان رله های اصلی و پشتیبان معرفی شده و وضعیت عملکرد رله برای سناریوهای خطای مختلف محاسبه شده است. روش پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه ۳۰ باسه IEEE پیاده سازی شده و نتایج نشان دهنده کارایی مطلوب روش پیشنهادی در هماهنگی بهینه میان رله ها در شرایط واقعی شبکه توزیع بوده است.

مراجع

- [1] Muhammad Yousaf, Amin Jalilian, Kashem M. Muttaqi Danny Sutanto, " An Adaptive Overcurrent Protection Scheme for Dual-Setting Directional Recloser and Fuse Coordination in Unbalanced Distribution Networks With Distributed Generation", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 58(2), 2022.
- [2] Sethembiso Nonjabulo Langazane, Akshay Kumar Saha, " Effects of Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm Control Parameters on Overcurrent Relay Selectivity and Speed", *IEEE Access*, 10(2), 2022.