سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
۱۱و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۷- گیلان

مدلسازی فیوز برای استفاده در هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد و فیوزها در شبکه توزیع

رضا محمدی
دانشکده برق دانشگاه امیرکبیر
reza_rmch@yahoo.com

حسین عسکریان ابیانه
دانشکده برق دانشگاه امیرکبیر
askarian@aut.ac.ir

فرزاد رضوی
دانشکده برق دانشگاه امیرکبیر
farzad_razavi@yahoo.com

خلاصه

رله های اضافه جریان و فیوزها ازعناصر اصلی برای حفاظت سیستمهای توزیع بوده و بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. هماهنگی این عناصر شامل هماهنگی رله-رله، رله-فیوز و فیوز-فیوز می باشد. هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان از روشهای برنامه ریزی خطی مانند سیمپلکس، سیمپلکس دو فاز و سیمپلکس دو گان استفاده می کند. روش دیگر برای هماهنگی بهینه استفاده از روشهای هوش مصنوعی مانند الگوریتم ژنتیک می باشد. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای هماهنگی بهینه استفاده شده است. تابع هدف طوری اصلاح شده که مشکلاتی مانند عدم هماهنگی وگسسته یا پیوسته بودن تابع هدف را حل کرده است، سپس روشی برای مدلسازی فیوز ارائه شده که بتوان هماهنگی رله-رله را به رله-فیوز و فیوز-فیوز نیز تعمیم داد. در این مقاله این روش بر روی یک شبکه نمونه شامل رله و فیوز تست شده و نتایج آن بوضوح نشان می دهد که روش جدید کارا، دقیق، جامع و بهینه تر از روشهای قبلی می باشد.

واژه های کلیدی: فیوز- رله جریان‌زیاد- هماهنگی بهینه - الگوریتم ژنتیک

۱) مقدمه

یک سیستم قدرت امروزی شامل عناصر حفاظت مختلفی می‌باشد که برای تشخیص خطا مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای اینکه یک سیستم قدرت عملکرد پایداری داشته باشد و انرژی موردنیاز مشتریان تأمین شود، یک سیستم حفاظتی با قابلیت اطمینان بالا موردنیاز می‌باشد. از میان روش‌های حفاظتی موجود جهت حفاظت خطوط، حفاظت جریان‌زیاد بخاطر ارزانی و سادگی آن بسیار متداول است.به همین دلیل هماهنگی جریان‌زیاد یک مسأله مهم می‌باشد که شامل هماهنگی رله جریان زیاد-رله جریان زیاد ، رله جریان زیاد- فیوز و فیوز- فیوز می باشد. هماهنگی به این معنی است که توالی عملکرد عناصر حفاظتی برای هر موقعیت خطای ممکن طوری تعیین شود که محل خطا بدون تأخیر اضافی از سیستم جدا شود[۱].

برای انجام هماهنگی رله های اضافه جریان با استفاده از روشهای متداول تلاشهای بسیاری در گذشته انجام شده است. در مقالات روشهای بهینه سازی مختلفی برای پیدا کردن تنظیم بهینه رله های اضافه جریان ارائه شده است[۱].

در هماهنگی بهینه موارد زیر مهم می باشند:

- روش بهینه سازی
- تابع هدف
- نوع شبکه(شعاعی یا بهم پیوسته)
- مشخصه خطی یا غیر خطی نسبت به TSM
- TSM پیوسته یا گسسته

به خاطر پیچیدگی روشهای برنامه ریزی بهینه غیر خطی هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان معمولا با روش برنامه ریزی خطی انجام می گیرد که شامل سیمپلکس [۲]،[۳]،سیمپلکس دو فاز [۴] و سیمپلکس دوگان [۵] و بعضی روشهای جدید می باشد. از آنجاییکه مسئله هماهنگی دارای چند نقطه مینیموم می باشد، روشهای بهینه سازی عادی که اساس ریاضی دارند کارایی لازم را نخواهند داشت. چون این روشها بر اساس یک حدس اولیه می باشند و ممکن است در مینیموم های محلی گیر بیفتند[۱]. در روشهای بهینه سازی اختلاف زمانی

عملکرد رله های اصلی و پشتیبان (Δt) بعنوان قیود در نظر گرفته می شوندوپاسخها با در نظر گرفتن تابع هدف و قیود بدست می آیند. در مرجع[۶] پاسخهای بهینه فقط با در نظر گرفتن قیود بدست می آید. اشکال این روش این است که با توجه به پیچیدگی مسئله بهینه سازی در شبکه های بهم پیوسته وقتی ناهماهنگی ذاتی وجود داشته باشد، همگرا شدن مشکل یا غیر ممکن می باشد.به عبارت دیگر اگر جفت رله های P/B بخشی از یک سیستم قدرت بهم پیوسته باشد که بعنوان مثال هماهنگ شدن یک یا چند جفت رله P/B مقدور نباشد پاسخ بهینه دچار اختلال خواهد شد.

روشهای بهینه سازی هوشمند مانند الگوریتم ژنتیک می توانند تنظیم رله ها را بدون محدودیتهای ذکر شده انجام دهند. در این روش قیود بخشی از تابع هدف می باشند. در مرجع [۷] روشی بر اساس الگوریتم ژنتیک برای هماهنگی بهینه ارائه شده است. همچنین در مراجع [۸]،[۹]،[۱۰] روش هماهنگی بهینه رله ها با استفاده از الگوریتم تکاملی ارائه شده است. این روشها دو مشکل اساسی دارند. اولی مسئله عدم هماهنگی (Miss coordination) و دومی گسسته یا پیوسته بودن TSM. توضیح جزییات مربوط به این مسئله در بخش بعد آمده است.

روش ارائه شده برای هماهنگی رله های جریان زیاد به فیوزها نیز تعمیم داده شده است.برای این کار نیاز به یک مدل مناسب برای فیوز می باشد که بتواند مانند رله ها در الگوریتم هماهنگی وارد شود این کار انجام شده ودر بخش بعد آمده است.

۲) مروری بر الگوریتم ژنتیک

۲-۱) مقادیر اولیه

الگوریتم ژنتیک مانند همه روشهای بهینه‌سازی نیاز به مقادیر اولیه دارد که می‌تواند بصورت تصادفی انتخاب می‌گردد. تنظیم‌های زمانی رله‌ها مجهولات ما در حل مسأله بهینه‌سازی هستند. بنابراین تنظیم‌های زمانی رله‌ها را به ترتیب شماره رله‌ها به عنوان ژن‌های کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک در نظر می‌گیریم. این مقادیر در حقیقت TSM رله‌ها می‌باشند که در یک کروزوم به ترتیبی که گفته شد قرار گرفته‌اند. در این مرحله به تعداد جمعیت تعیین شده کروموزوم‌های اولیه ساخته می‌شوند. تعداد جمعیت، اندازه فضای جستجوی ما راتعیین می‌کند. اندازه جمعیت باید با توجه به طول کروموزوم تعیین شود.

۲-۲) بهینه سازی

برای ارزیابی شایستگی یک رشته تنظیم زمانی، نیاز به یک تابع هدف داریم که هدف ما می‌نیمم کردن آن می‌باشد. در این مرحله مقادیر با توجه به تابع هدف ارزیابی می‌گردند و کروموزوم‌هائی که شایستگی داشته باشند، برای تولید کروموزوم‌های جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای اینکه جواب در مینیمومهای محلی گیر نیفتد در هر تکرار مرحله ای 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 می‌یابند. تعداد تکرارها با توجه به پیچیدگی سیستم و اندازه جمعیت انتخاب می‌گردد.

۳) بیان مسئله

در این بخش ابتدا به مشکلاتی که برنامه هماهنگی اضافه جریان دارد پرداخته می شود در بخش بعد نشان داده می شود که چگونه راه حلهایی که برای مشکلات جریان زیاد ارائه می شود برای هماهنگی فیوزها نیز تعمیم داده می شود.

هماطور که دربخش۲ گفته شد در هماهنگی رله های اضافه جریان دو مشکل وجود دارد. اول مسئله عدم هماهنگی دوم گسسته یا پیوسته در نظر گرفتن TSM.

۳-۱) مسئله عدم هماهنگی

برای روشن کردن مسئله نا هماهنگی درروشهای موجود رابطه تابع هدف با بعضی خلاصه سازیها بصورت زیر نوشه می شود:

$$O.F = \alpha_1 \times \sum (t_i)^2 + \alpha_2 \times \sum (\Delta t_{bm})^2 \qquad (۱$$

t_i زمان عملکرد رله iام برای خطای واقع شده جلوی C.B مربوطه می باشد.

Δt_{mb} اختلاف زمان عملکرد بین هر دو جفت رله می باشد که از فرمول زیر بدست می آید:

$$\Delta t_{mb} = t_b - t_m - CTI \qquad (۲$$

بطوریکه :

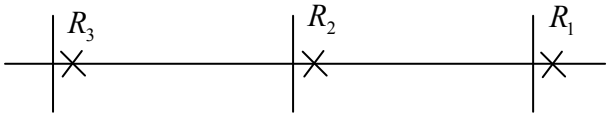
t_m و t_b زمان عملکرد رله اصلی و پشتیبان برای خطای واقع شده جلوی C.B رله اصلی می باشد.

CTI فاصله زمانی هماهنگی می باشد و ۰،۴ در نظر گرفته شده است.

α_1 ضریب وزنی برای کنترل $\sum (t_i)^2$ می باشد.

α_2 ضریب وزنی برای کنترل $\sum (\Delta t_{mb})^2$ می باشد.

از رابطه ۱ می توان دید که اگر Δt_{bm} منفی باشد، به این معنی است که ناهماهنگی بین رله اصلی وپشتیبان وجود دارد. برای روشن کردن این موضوع شکل ۱ با سه رله (R1,R2,R3) نشان داده شده است.



شکل۱: شبکه نمونه

برای این رله ها دو حالت مختلف بصورت زیر در نظر گرفته می شود:

$\Delta t_{12} = -0.12, \Delta t_{23} = 0.14, O.F. = 0.73$ (حالت۱

$\Delta t_{12} = +0.16, \Delta t_{23} = 0.22, O.F. = 0.82$ (حالت۲

Δt_{12} و Δt_{23} از معادله ۲ به ترتیب برای جفت رله های (۱و۲) و(۲و۳) به دست می آیند.

فرض می شود که مقادیر تابع هدف (۰،۸و۰،۷) از معادله ۱ برای مقادیر Δt_{12} و Δt_{23} داده شده بدست آمده باشد. روشهای موجود که از رابطه ۱ به عنوان تابع هدف استفاده می کنند حالت اول را به عنوان مقدار بهینه نسبت به دومی انتخاب می کنند. اما با یک نگاه دقیقتر حالت ۲ باید انتخاب شود. اگر حالت اول انتخاب شود به علت منفی بودن Δt_{12}، نا هماهنگی بین رله های ۱ و ۲ وجود خواهد داشت. بنابراین معادله ۱ باید طوری اصلاح شود که این مسئله در نظر گرفته شود. جزئیات این روش در بخش۳ توضیح داده شده است.

۳-۲) در نظر گرفتن *TSM* گسسته یا پیوسته

روشهای در نظر گرفتن TSM در مقالات موجود بصورت زیر می باشد:

الف) برای روشهای با TSM پیوسته [۸]،[۹]،[۱۰] پاسخ هماهنگی بهینه رله ها بدست می آیدکه برای رله های با TSM پیوسته مناسب می باشد اما اگر TSM رله ها گسسته باشد، جوابهای بدست آمده از برنامه هماهنگی به پله بالا گرد می شود. این روش هماهنگی دقیق نمی باشد، چون با گرد کردن ممکن است جوابهای بهینه به هم بخورد. مثلاً اگر زمان عملکرد رله اصلی در اثر گرد کردن بیشتر از زمان عملکرد رله پشتیبان افزایش یابد فاصله زمانی لازم برای هماهنگی از بین می رود.

روشهایی که جوابهای TSM آنها بطورمستقیم گسسته می باشند، برای رله هایی که TSM پیوسته دارند نمی توانند مورد استفاده قراربگیرد. در روش ارائه شده در مرجع [۷] جوابهای TSM بطور ذاتی گسسته می باشند.به عبارت دیگر مقادیر TSM بصورت کدهای باینری می باشند و این جوابها برای رله های با TSM پیوسته جواب بهینه نمی باشند.

برای حل کردن مشکلات ذکر شده در بالا روش جدیدی بر اساس الگوریتم ژنتیک برای مسئله هماهنگی رله ها ارائه شده است که در بخش ۵ بطورکامل شرح داده شده است.

۴) فرمولاسیون مسئله

۴-۱) تنظیم جریانی رله ها

تنظیم جریانی یا PS (Plug setting) رله های اضافه جریان از ۵۰ تا ۲۰۰٪ با پله های ۲۵٪ در نظر گرفته شده است.

برای پیدا کردن PS رله ها، ابتدا Ib از رابطه زیر بدست آمده سپس PS محاسبه می شود:

$$I_b = 1.3 I_L, PS = \frac{I_b}{CT} \qquad (۳$$

بطوریکه :

I_b جریان رله در طرف اولیه C.T می باشد.

I_L جریان بار می باشد.

CT جریان نامی اولیه C.T می باشد.

ابتدا از رابطه ۳ I_b محاسبه می شود. سپس PS از رابطه ۳ محاسبه می شود. مقدار بدست آمده برای PS به مقدار گسسته نزدیک گرد می گردد. در نهایت با استفاده از رابطه ۳ مقدار I_b محاسبه می گردد. I_b برای هر رله بین ماکزیموم جریان بار و می نیموم جریان خطا قرار می گیرد[۱۱].

۴-۲) مشخصات رله اضافه جریان

برای پیدا کردن زمان عملکرد رله، متداولترین فرمول برای تخمین مشخصه رله که بصورت زیر می باشد مورد استفاده قرار می گیرد:

$$\frac{t}{TSM} = a_0 + \frac{a_1}{(M-1)} + \frac{a_2}{(M-1)^2} + \frac{a_3}{(M-1)^3} + \dots \qquad (۴$$

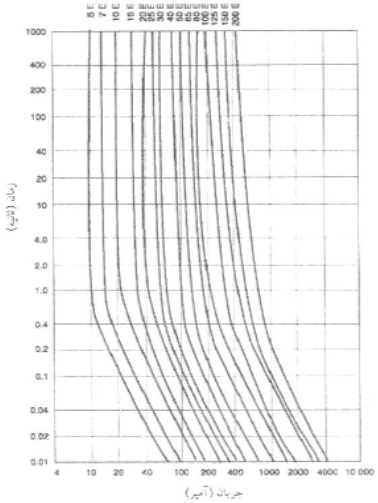
بطوریکه:

M نسبت جریان رله به جریان تنظیم می باشد $(M = \frac{I_{sc}}{I_b})$.

a_0, a_1, a_2, a_3 ضرایب متغیر می باشند که مقادیرآنها نوع رله شبیه سازی شده را تعیین می کند.

۳-۴) مدلسازی فیوز

منحنی فیوز مانند منحنی رله ولی با شیب بیشتر می باشد به همین خاطر مدلهایی (مانند ساچدو) که برای رله ها مورد استفاده قرار می گیرد برای فیوز مناسب نمی باشد.



شکل۲:منحنی یک دسته فیوز

با نگاهی دقیق تر به دسته منحنی فیوزها که در شکل۲ نشان داده شده می توان دید که منحنی ها را در مختصات لگاریتمی می توان بصورت سه قسمت نمایی با معادله درجه اول در مقیاس لگاریتمی در نظر گرفت به صورت زیر:

$$\begin{aligned} &\log T = A_1 + B_1 \log I \quad I < I_2 \\ &\log T = A_2 + B_2 \log I \quad I_2 < I < I_1 \quad (۵ \\ &\log T = A_3 + B_3 \log I \quad I_1 < I \end{aligned}$$

برای بدست آوردن مدل یک دسته منحنی همانطور که مشاهده می شود منحنی را باید شیفت جریانی دهیم در نتیجه یک دسته منحنی فیوز مانند $\{F_1, F_2, F_3, F_6, ..., F_I\}$ را می توان بصورت زیر نشان داد:

$$\begin{aligned} &\log T = A_1 + B_1 \log(I - I_0) \quad I < I_2 \\ &\log T = A_2 + B_2 \log(I - I_0) \quad I_2 < I < I_1 \quad (۶ \\ &\log T = A_3 + B_3 \log(I - I_0) \quad I_1 < I \end{aligned}$$

که I_0 برای تولید شیفت جریانی مورد نظر می باشد و به این صورت بدست می آید اگر مثلا منحنی برای F_6 بصورت رابطه ۵ داده شده باشد I_0 برای F_{32} برابر $I_0 = 32 - 6$ می باشد. دقت شود این قسمت برای هر ۳ رابطه موجود در رابطه ۵ باید اعمال شود.

در ضمن هر فیوزی که در شبکه قرار داده می شود باید با رله ها و فیوزهای دیگر هماهنگ باشد. شروط این هماهنگی بصورت زیر می باشد:

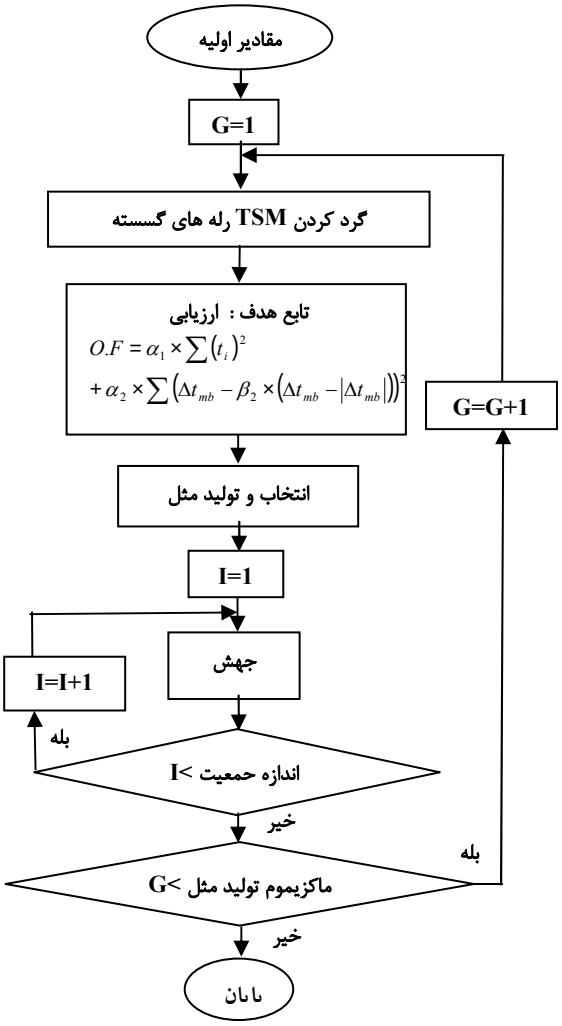
هماهنگی رله – فیوز: $t_r = t_f + 0.35$

هماهنگی فیوز- فیوز: $t_{mf} = 0.75 \times t_{bf}$

که در آن t_r و t_f به تیب زمان عملکرد رله و فیوز می باشد.همچنین t_{mf} و t_{bf} زمانهای عملکرد رله های اصلی و پشتیبان می باشند.

۵) روش جدید

فلوچارت روش جدید بصورت شکل زیر می باشد.



شکل۳ فلوچارت الگوریتم

همانطور که از شکل ۲ مشاهده می شود مرحله سوم، تابع هدف می باشد و امتیاز روش جدید در تابع هدف و همچنین در نظر

گرفتن هر دو TSM گسسته و پیوسته می باشد که دربخشهای زیر توضیح داده شده اند.

۵-۱) گسسته یا پیوسته بودن *TSM*

در این مقاله روشی ارائه می شود که هر دو حالت گسسته و پیوسته را برای رله ها پوشش می دهد. این روش در زیر توضیح داده می شود.

روشهای بهینه سازی و از جمله الگوریتم ژنتیک با انجام تکرارهایی جواب بهینه را پیدا می کنند. در روش جدید TSM رله ها بصورت پیوسته در نظر گرفته شده و جوابها برای رله های با TSM پیوسته مستقیماً می تواند مورد استفاده قرار گیرد ولی در مورد رله های با TSM گسسته همانطور که در فلوچارت الگوریتم دیده می شود در هر تکرار قبل از مرحله ارزیابی، TSM های بدست آمده به مقدار پله بالا در رله گرد می گردد. به این ترتیب مقدار بهینه تابع هدف به ازای TSM های گسسته بدست می آید وجوابهای بدست آمده برای رله های با TSM گسسته مناسب می باشند.

با توجه به توضیحات داده شده میتوان فیوزها را که از جهت گسسته بودن رفتاری مانند TSM گسسته دارند نیز در الگوریتم هماهنگی به کمک الگوریتم ژنتیک وارد کرد تا فیوز مناسب از بین یک دسته منحنی فیوز انتخاب شود اما همانطور که از مدلسازی فیوز مشاهده می شود فیوز دارای TSM نمی باشد. برای انتخاب یک فیوز از یک دسته منحنی نیاز به یک پارامتر از فیوز داریم که در رشته کروموزومها در حکم TSM آورده شود. لذا از متغیر FC که FC شماره فیوز در دسته منحنی می باشد برای این کار استفاده شده است.

اگر $F=\{F_{I1},F_{I2},F_{I3},F_{I4},...,F_{I_{FC}}\}$ یک دسته فیوز با جریانهای $\{I_1,I_2,I_3,...,I_{FC}\}$ باشد و منحنی فیوز برای فیوز شماره FC_0 بصورت رابطه ۵ باشد زمان قطع فیوز برای جریان خطای I_{FC}، با استفاده از رابطه ۶ بدست می آید که در این رابطه I_0 بصورت زیر می باشد :

$$I_0 = I_{FC} - I_{FC_0} \qquad (۷$$

۵-۲) تابع هدف

در این مقاله تابع هدف در رابطه زیر با رابطه ۱ جایگزین می گردد:

$$O.F = \alpha_1 \times \sum (t_i)^2 + \alpha_2 \times \sum \left(\Delta t_{mb} - \beta_2 \times \left(\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|\right)\right)^2 \qquad (۸$$

که در آن:

β_2 یک ثابت جدید برای در نظر گرفتن ناهماهنگی می باشد.

α_1 و α_2 مانند بخش ۳ تعریف می گردند.

همانطور که مشاهده می شود Δt_{mb} (رابطه۱) دررابطه جدید به $\left(\Delta t_{mb} - \beta_2 \times \left(\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|\right)\right)$ تبدیل می شود.

t_i و Δt_{mb} با قرار دادن خطا مقابل C.B مربوط به رله اصلی برای هر جفت رله P/B بدست می آید.

برای توضیح دادن اثر این عبارت جدید ابتدا در نظر بگیرید Δt_{mb} مثبت باشد. عبارت مزبور $\left(\Delta t_{mb} - \beta_2 \times \left(\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|\right)\right)$ برابر Δt_{mb} خواهد بود. در حالیکه اگر Δt_{mb} منفی باشد، عبارت ذکر شده بصورت زیر خواهد بود:

$$\left(\Delta t_{mb} - \beta_2 \times \left(\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|\right)\right) = (1+2\beta_2)(\Delta t)$$

واضح است که به ازای β_2 مثبت مقدار معادله ۶ بزرگتر از حالت قبل می شود. که این حالت با توجه به اینکه الگوریتم ژنتیک مقادیری را انتخاب می کند که تابع هدف به ازای آنها کوچکتر باشد در تکرارها حذف می گردد.

به عبارت دیگر الگوریتم ژنتیک در مرحله ارزیابی مناسب بودن هر کروموزم را ارزیابی می کند. هر قدر تابع هدف ارزیابی شده مقدارش کوچکتر باشد کروموزوم مربوطه که مجموعه ای از TSMهاست بهتر می باشد. بنابراین مجموعه TSM هایی که به ازای آنها ناهماهنگی داریم تابع هدف بزرگی بوجود می آورندوبنابراین انتخاب نمی گردند. به این ترتیب نتایج بدست آمده دارای ناهماهنگی نخواهد بود مگر این که ناهماهنگی از نوع ذاتی باشد. یعنی ناهماهنگی که ترکیب شبکه به سیستم حفاظتی تحمیل می کند و راهی برای حذف آن وجود ندارد. برای اضافه کردن فیوز به برنامه هماهنگی باید تابع هدف به گونه ای باشد که علاوه بر هماهنگی رله–رله، هماهنگی فیوز-رله و فیوز-فیوز را نیز در بر بگیرد.

تابع هدف بصورت رابطه زیر اصلاح می شود:

$$OF = \alpha_1 \times (\sum t_r + \sum t_f)^2 + \alpha_2 \times (\sum (\Delta t_{rr} - \beta_2 (\Delta t_{rr} - |\Delta t_{rr}|))^2 + \sum (\Delta t_{rf} - \beta_2 (\Delta t_{rf} - |\Delta t_{rf}|))^2 + \sum (\Delta t_{ff} - \beta_2 (\Delta t_{ff} - |\Delta t_{ff}|))^2) \qquad (۹$$

$$\Delta t_{rf} = (t_r - 0.75 t_f) \qquad \text{فیوز- رله}$$

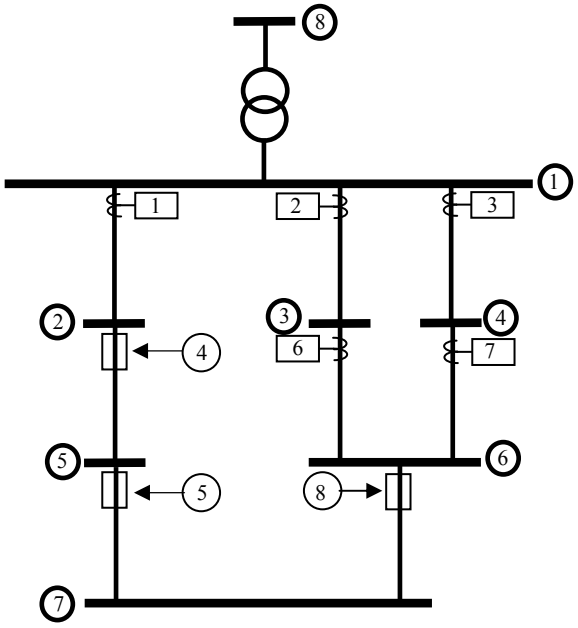
فیوز- فیوز $\Delta t_{rr} = (t_{Bf} - t_{Pf} - FTI)$

رله-رله $\Delta t_{rr} = (t_{Br} - t_{\Pr} - RTI)$

۶) نتایج تست

۶-۱) اطلاعات شبکه

برای بررسی روش ارائه شده یک شبکه نمونه در شکل ۳ نشان داده شده که شامل ۸ خط، ۸باس و۱ تراسفورماتور می باشد.



شکل۳ : شبکه نمونه

اطلاعات خطوط، ژنراتور و ترانسفورماتور مربوط به شبکه مورد نظر به ترتیب در جداول ۱و۲ و۳ داده شده است. این مقادیر بر حسب pu در مبنای ۱۵۰ KV و ۱۰۰MVA می باشند.

جدول۱: اطلاعات خطوط

Line	R (pu)	X (pu)
1	0.40	0.20
2	0.28	0.19
3	0.24	0.13
4	0.38	0.19
5	0.40	0.23
6	0.30	0.17
7	0.26	0.15
8	0.50	0.22

جدول۲: اطلاعات ژنراتور

ژنراتور	R (pu)	X (pu)	V (kV)
1	0.10	0.30	10

جدول۳: اطلاعات ترانسفورماتور

ترانسفورماتور	R (pu)	X (pu)
1	0.01	0.30

برای بدست آوردن تابع هدف باید برای هر جفت عنصر حفاظتی جریانهای اتصال کوتاه عناصر اصلی و پشتیبان به ازای خطا در جلوی عنصر اصلی محاسبه شود. این اطلاعات برای شبکه مورد نظر در جدول ۵ آورده شده است. همچنین جریان گذرنده از همه عناصر به ازای خطا در جلوی عنصر در جدول ۶ داده شده است.

جدول۵ : اطلاعات جفت رله های P/B

عنصر اصلی	عنصر پشتیبان	عنصر اصلی	عنصر پشتیبان
4	1	524.2	524.2
6	2	507.7	507.7
7	3	567.0	567.0
8	6	608.3	277.7
5	4	339.9	339.9
8	7	608.3	330.8

جدول۶ : جریان اتصال کوتاه

شماره عنصر حفاظتی	جریان اتصال کوتاه
1	940.3
2	939.9
3	941.4
4	524.2
5	339.9
6	507.7
7	567.0
8	608.3

ضرایب مشخصه رله ها که در بخش ۴ توضیح داده شد، با استفاده از روش برازش منحنی بدست آمده که بصورت زیر می باشد.

$$\begin{cases} a_1 = 1.98772 \\ a_2 = 8.57922 \\ a_3 = -0.46129 \\ a_4 = 0.0364465 \\ a_5 = -0.000319901 \end{cases} \quad (۱۰$$

TSM رله های گسسته از ۰/۰۵ تا ۱ با پله های ۰/۰۵ در نظر گرفته می شود.

همچنین دسته فیوز استفاده شده بصورت

$$F = \{ F_1, F_2, F_3, F_6, F_{10}, F_{16}, F_{20}, F_{25}, F_{36}, F_{50}, F_{63}, F_{80}, F_{100}, F_{125}, F_{160}, F_{200}, F_{224}, F_{250}, F_{300}, F_{355}, F_{400}, F_{425}, F_{500}, F_{600}, F_{800}, F_{1000} \}$$

می باشدکه ضرایب فیوز برای فیوز FC=۶ بصورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\begin{aligned} &A0=11.45,\ A1=-7.15 \\ &B0=0.95,\ B1=-0.59 \\ &C0=0.157,\ C1=-0.3 \end{aligned} \qquad (11)$$

۶-۲) اطلاعات الگوریتم ژنتیک

پارامترهای کنترل الگوریتم ژنتیک بصورت زیر است:

جدول۷ :پارامترهای الگوریتم ژنتیک

مقدار	پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۳۰۰	تعداد تولید مثل
۱۰۰	اندازه جمعیت
تصادفی	جمعیت اولیه
۱	جهش

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد برای ساختن تابع هدف ضرایب α_1، α_2 و β_2 مورد نیازمی باشند.برای تست کردن کارایی الگوریتم ژنتیک در هماهنگی عناصر اضافه جریان مقادیر مختلف α_1، α_2 و β_2 تست شده است. تغییرات این سه پارامتر در جدول ۸ آمده است.

جدول۸ :تغییر پارامترها

حالتها	α_1	α_2	β_2	TSM
حالت ۱	۱	۲	۱۰۰	گسسته
حالت ۲	۲۰	۱	۱۰	گسسته
حالت ۳	۱	۲	۰	گسسته
حالت ۴	۱	۲	۱۰۰	پیوسته

۶-۳) بررسی نتایج

با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای مقادیر مختلف پارامترها نتایج خروجی برای TSM رله ها و پارامتر FC فیوز بدست آمده است. برای مقایسه نتایج علاوه بر TSM ها زمان عملکرد رله ها نیز در جدول۹ نشان داده شده است.

جدول۹: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک

	$\alpha_1 = 1$ $\alpha_2 = 2$ $\beta_2 = 100$
TSM_1	0.25
TSM_2	0.35
TSM_3	0.3
FC_4	15
FC_5	10
TSM_6	0.2
TSM_7	0.2
FC_8	12
t_1	0.617
t_2	0.820
t_3	0.740
t_4	0.274
t_5	0.313
t_6	0.534
t_7	0.563
t_8	0.218
Δt_{41}	0.098
Δt_{62}	0.100
Δt_{73}	-.019
Δt_{86}	0.096
Δt_{54}	-.003
Δt_{87}	0.133

از جدول۶ می توان دید که:

مقادیر TSM و FC بدست آمده مناسب می باشند بطوریکه زمان عملکرد رله ها و فیوزها تا حد امکان کوچک می باشند.

همه مقادیر Δt کوچک و مثبت می باشند. بزرگترین مقدار Δt ۰،۱۳۳ می باشد. این به این معنی است که تنظیم رله ها و فیوزها بسیار دقیق و مناسب بوده وهیچگونه ناهماهنگی ندارد.

از خروجی شبیه سازیها می توان نتیجه گرفت که روش ارائه شده با در نظر گرفتن تابع هدف جدید و روش پیشنهاد شده برای رله های با TSM گسسته و همچنین با استفاده از مدل پیشنهادی برای فیوز، روش کارآمدی بوده و بهترین جوابها را بدون وجود نا هماهنگی برای هماهنگی رله ها و فیوزها می دهد.

۷) نتیجه گیری

در این مقاله یک برنامه کامپیوتری جدید برای هماهنگی رله های اضافه جریان و فیوزها که بر اساس الگوریتم ژنتیک می باشد ارائه شده است. در روش ارائه شده از یک تابع هدف ویژه استفاد شده است که برای هر دو حالت TSM پیوسته و گسسته قابل استفاده می باشد. این روش همچنین موارد ناهماهنگی بین رله

ها را حذف یا کاهش می دهد. در این مقاله مدلی برای فیوز ارائـه شده است که در الگوریتمهای هماهنگی بهینـه مـی توانـد مـورد استفاده قرار گیرد. این روش روی یک شبکه قدرت نمونه آزمایش شده و نتایج بدست امده دقیق بوده و کارا بودن این روش را نشان می دهد.

۸) مراجع

[۱] Dinesh Birla ,Rudra Prakash Maheshwari, Hari Om Gupta, "Time-Overcurrent Relay Coordination: A Review", International Journal of Emerging Electric Power Systems, Volume 2, Issue 2, 2005.

[۲] Urdaneta Alberto J., Nadira Raman and Perez Jimenej L. G., "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relay in Interconnected Power Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.-3, No.-3, pp. 903-911, July 1988.

[۳] Urdaneta A. J., Resterpo H., Sanchez J. and Fajardo J., "Coordination of Directional Overcurrent Relays Timing using Linear Programming", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.-11, No.-1, pp.122-129, January 1996.

[۴] B. Chattopadhyay, M. S. Sachdev, and T. S. Sidhu, "An on-line relay coordination algorithm for adaptive protection using linear programming technique," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 11, pp. 165–173, Jan. 1996.

[۵] H. A. Abyaneh and R. Keyhani, "Optimal co-ordination of overcurrent relays in power system by dual simplex method," in Proc. 1995 AUPEC Conf., vol. 3, Perth, Australia, pp. 440–445.

[۶] H.Askarian Abyaneh et al, "A new optimal approach for coordination of overcurrent relays in interconnected power Systems", IEEE Transaction on Power Delivery, vol.18, no2, April 2003.

[۷] C. W. So, K. K. Li, K. T. Lai, and K. Y. Fung, "Application of genetic algorithm for overcurrent relay coordination," Proc. 1997 IEE Conf. Developments in Power System Protection, pp. 66–69.

[۸] So C. W. and Li K. K., "Overcurrent Relay Coordination by Evolutionary Programming", Electric Power Systems Research, Vol.-53, pp. 83-90, 2000.

[۹] So C. W. and Li K. K., "Time Coordination Method for Power System Protection by Evolutionary Algorithm", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.-36, No.-5, pp. 1235-1240, September-October 2000.

[۱۰] So C. W. and Li K. K., "Intelligent Method For Protection Coordination", IEEE International Conference Of Electric Utility Deregulation Restructuring and Power Technology, Hong Kong, Apr. 2004.

[۱۱] Hossein Kazemi Kargar, Hossein Askarian Abyaneh, Vivian Ohis, Matin Meshkin, "Pre-processing of the Optimal Coordination of Overcurrent relays", Electric Power Research, Elsevier, June, 2005.