

۳) تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد و دیستانس با

یکدیگر

(۱-۳) مقدمه

بر روی خطوط شبکه‌های قدرت انواع رله‌های دیستانس، جریان زیاد و ترکیبی از آن‌ها برای حفاظت به کار می‌روند. به منظور حفاظت صحیح روش‌های مختلفی برای هماهنگی انواع رله‌های جریان زیاد و دیستانس در شبکه‌های شعاعی و بهم پیوسته وجود دارد [۱].

هدف اصلی این فصل ارائه روشی است که به کمک آن بتوان رله‌های جریان زیاد و دیستانس را با هم هماهنگ کرد. به عبارت دیگر پس از تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد و دیستانس به‌طور جداگانه، رله‌های اصلی و پشتیبان که به ترتیب از نوع جریان زیاد و دیستانس یا به عکس خواهند بود، مشخص می‌گردند. نقاطی از خطوط که رله‌های اصلی روی آن‌ها هستند و سخت‌ترین شرایط را برای هماهنگی دارا هستند، معین می‌شوند. سپس دشوارترین شرایط قطع و وصل مربوط به کلیدهای خطوط متصل به باس‌های اصلی و طرف دیگر خط مشخص می‌شوند. با منظور کردن شرایط ذکر شده هماهنگی بین رله‌ها امتحان می‌گردد. برای حالاتی که اختلاف زمان قطع بین رله‌های جریان زیاد و دیستانس کافی نباشد، با روش‌های مندرج در این فصل می‌توان هماهنگی لازم را برقرار ساخت. در برخی موارد نیز ممکن است نتیجه این روش‌ها قرار دادن یک نوع رله جدید را ایجاد کند.

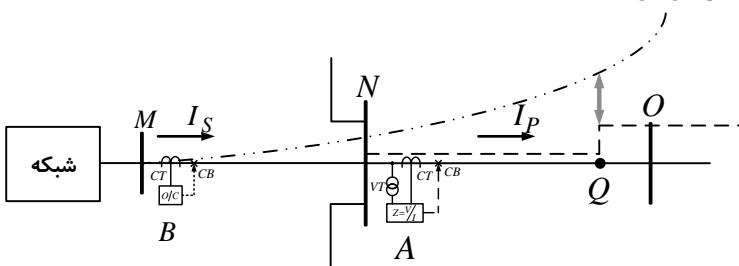
(۲-۳) تحلیل حالت‌های مختلف

تشخیص خطا در یک شبکه قدرت و صدور فرمان قطع قسمت‌های معیوب توسط رله‌های مختلف انجام می‌شود. دو نوع از این رله‌ها بر روی خطوط انتقال انرژی و توزیع کاربرد زیادی دارند. در شبکه‌های توزیع از رله جریان زیاد به عنوان رله اصلی و پشتیبان استفاده می‌شود و رله‌های دیستانس به عنوان رله اصلی در بعضی از شبکه‌های مهم توزیع و فوق توزیع به کار می‌روند. اما در شبکه‌های انتقال که از حساسیت بیشتری برخوردارند، معمولاً از رله دیستانس بصورت رله اصلی یا پشتیبان و از رله‌های جریان زیاد فقط به عنوان رله پشتیبان استفاده می‌شود. به منظور عملکرد صحیح رله‌ها به طوری که باس‌ها و قسمت‌های معیوب را قطع کنند، هماهنگی بین رله‌ها امری ضروری است [۲۰ و ۲۱].

در شبکه‌های توزیع و انتقال انرژی رله‌های مختلفی برای حفاظت قسمت‌های مختلف شبکه وجود دارد. برای حفاظت یک بخش از شبکه ممکن است از چند رله حفاظتی استفاده شود که انواع آن‌ها بستگی به اهمیت آن بخش در امر بررسانی دارد. معمولاً یکی از این سیستم‌های حفاظتی، اصلی و بقیه حفاظت پشتیبان محلی هستند. همچنین علاوه بر سیستم پشتیبان محلی معمولاً سیستم حفاظتی پشتیبان در خط مجاور هم وجود دارد که به حفاظت پشتیبان غیر محلی معروف است. حفاظت پشتیبان غیر محلی ممکن است با حفاظت پشتیبان محلی از یک نوع باشد و نیز می‌توان آن دو را از انواع مختلف در نظر گرفت. به علاوه، امکان دارد که پشتیبان غیر محلی از چندین رله تشکیل شده باشد و لذا باید موارد مختلف جداگانه بررسی گردد و برای هر حالت هماهنگی لازم بین رله‌های اصلی و پشتیبان برقرار شود. برای این منظور، ابتدا حالات مختلف هماهنگی شرح داده می‌شوند.

۱-۲-۳) رله دیستانس بصورت رله اصلی و رله جریان زیاد به عنوان رله پشتیبان

شکل(۱-۳) بخشی از یک شبکه قدرت را نشان می‌دهد. بر روی خط متصل بین دو بس N و O و در بس N یک رله دیستانس در نظر گرفته شده است. بر روی خط متصل بین دو بس N و M و در بس M رله جریان زیاد کاهشی قرار دارد. البته ممکن است در بس N علاوه بر رله دیستانس، رله جریان زیاد کاهشی نیز موجود باشد.

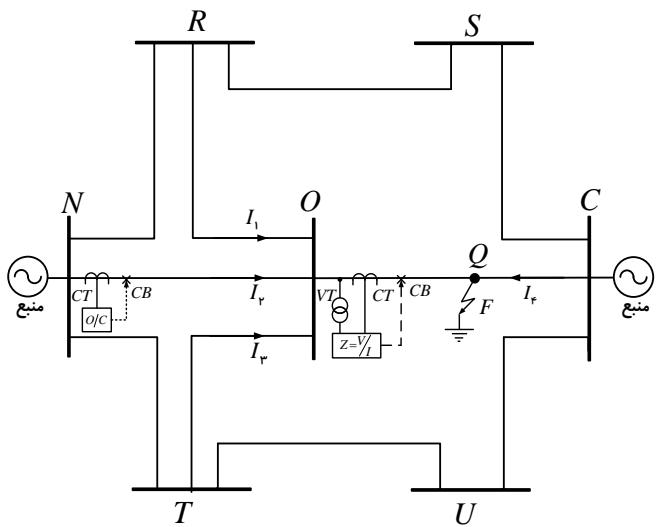


شکل(۱-۳): رله دیستانس به عنوان رله اصلی و رله جریان زیاد به عنوان پشتیبان

در این بخش، چگونگی هماهنگی بین رله دیستانس مستقر در بس N و رله جریان زیاد واقع در بس M مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با فرض اینکه هماهنگی بین تنظیم رله‌های دیستانس قبلًا صورت پذیرفته و نقطه Q در شکل(۱-۳) انتهای ناحیه ۱ و شروع ناحیه ۲ از رله دیستانس باشد، حداقل فاصله زمانی بین زمان‌های قطع رله‌های جریان زیاد و دیستانس زمانی است که خطاب در این نقطه رخ دهد. به همین دلیل این نقطه را نقطه بحرانی در هماهنگی دو رله می‌خوانند. هر نقطه دیگری که بین Q و بس O نقطه وقوع خطا در نظر گرفته شود، زمان قطع رله جریان زیاد بیشتر از زمانی است که اتصال کوتاه در نقطه Q فرض شود و در نتیجه اختلاف زمان قطع بیشتری بین زمان‌های قطع دو رله وجود خواهد داشت. همچنین اگر نقطه‌ای از خط در فاصله بین بس N و نقطه Q محل بروز خطا فرض شود، اختلاف زمانی عملکرد دو رله بیشتر از اختلاف مربوط به نقطه Q خواهد بود[۵].

نکته دیگری که باید در تعیین فاصله زمانی بحرانی علاوه بر تعیین خود نقطه بحرانی مدنظر قرار داد، حالت‌های وصل یا قطع بودن ارتباط خطوط مختلف با باس N است. بر حسب حالات مختلف جریان‌های متفاوتی از رله جریان زیاد M می‌گذرد که نتیجه آن تغییر در زمان قطع رله جریان زیاد است و این امر فاصله زمانی بین زمان قطع دو رله را تغییر خواهد داد. به عبارت دیگر، حالت بحرانی از این لحاظ آن است که زمان قطع رله جریان زیاد در هنگام اتصال کوتاه در نقطه Q کمترین مقدار خود را داشته باشد و این امر در صورتی است که جریان بیشتری از رله M بگذرد. قطع خطوط متصل به N (غیر از خط بین باس‌های M و N) و همچنین قطع کلید موجود در باس O در خط بین باس‌های N و O باعث خواهد شد که مقدار جریان عبوری از رله M افزایش یابد. لذا بحرانی‌ترین شرایط برای این حالت آن است که اتصال کوتاه در حد فاصل ناحیه ۱ و ۲ رله دیستانس رخ دهد و کلیدهای خطوط منشعب از باس اصلی غیر از خطوطی که رله‌های اصلی و پشتیبان بر روی آن‌ها قرار دارند و نیز کلید انتهای دیگر خط اصلی، قطع باشند.

برای توضیح بیشتر در مورد انتخاب بحرانی‌ترین شرایط هماهنگی شکل (۲-۳) را در نظر بگیرید و فرض کنید که رله A از نوع دیستانس و رله B از نوع جریان زیاد باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود خطوط NO ، NU و NR به باس N متصل‌اند.



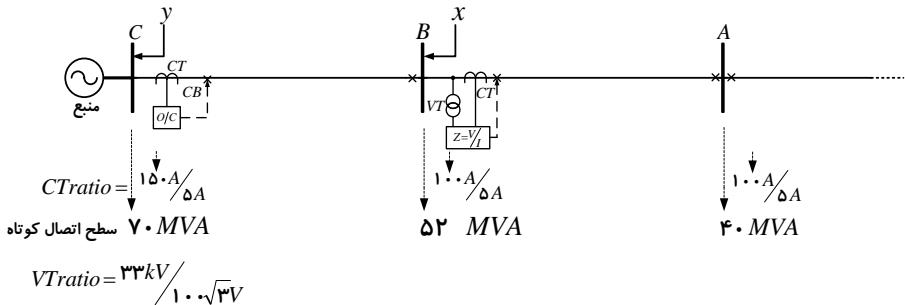
شکل (۳-۳): قسمتی از یک شبکه قدرت

جریان‌های وارد به نقطه اتصال کوتاه Q عبارتند از I_1 , I_2 , I_3 و I_4 که قطع جریان‌های I_1 , I_2 و I_3 باعث خواهد شد که سهم جریان‌های حاصل از این شاخه‌ها از مسیر رله جریان زیاد گذشته و به نقطه اتصال کوتاه بریزد. این موضوع باعث کاهش زمان عملکرد رله جریان زیاد شده و ایجاد حالت بحرانی در هماهنگی دو رله می‌نماید. البته به علت حذف تعدادی از شاخه‌ها، برخی امپدانس‌های موازی جدا می‌گردد و در نتیجه امپدانس معادل افزایش خواهد یافت که در کل جریان اتصال کوتاه نسبت به حالت وصل کمتر خواهد بود. اما در اینجا هدف اصلی بحث بر روی جریان عبوری از رله پشتیبان یعنی رله جریان زیاد می‌باشد. مطلب دیگر اینکه کاهش جریان اتصال کوتاه در حالت قطع هر یک از جریان‌های I_1 , I_2 و I_3 تأثیری در نقطه انتهای ناحیه ۱ رله دیستانس ندارد. زیرا رله دیستانس امپدانس مثبت خط را می‌بیند که به جریان بستگی ندارد. بنابراین درباره شرایط بحرانی در هماهنگی رله‌های دیستانس به عنوان رله اصلی و جریان زیاد به عنوان رله پشتیبان می‌توان نتایج زیر را گرفت:

الف- انتهای ناحیه ۱ و یا ابتدای ناحیه ۲ باید نقطه بحرانی فرض شود.

ب- شرایط بحرانی عبارتند از قطع همه خطوط وصل به باس اصلی، غیر از خطوطی که رله‌های پشتیبان و اصلی روی آنها قرار دارند و قطع کلید انتهای باس طرف دیگر خط اصلی.

مثال(۳-۱): در شبکه شکل زیر، روی خط BA و در محل B رله دیستانس و روی خط CB و در محل C رله جریان زیاد کاوشی معکوس وجود دارد.



الف) تنظیم ناحیه ۱ رله دیستانس مستقر در B را بیابید. (فرض کنید تغذیه‌های x و y وجود ندارند و تغییر سطح اتصال کوتاه در طول خطوط بصورت خطی می‌باشد). رله دیستانس از نوع مهو بوده و بر روی زاویه 70° تنظیم شده است. امپدانس خطوط نیز دارای زاویه 70° هستند.

ب) چنانچه تغذیه‌های x و y وجود داشته و برای هر خط در این دو خط، سهم یکسانی داشته باشند و نیز با قطع شدن مسیر تغذیه x، همان سهم قبلی از طریق باس C وارد شود، هماهنگی رله جریان زیاد واقع در C را با رله دیستانس مستقر در B بررسی نمایید.

جواب:

ابتدا فرض می‌کنیم تنظیمات رله جریان زیاد پس از انجام محاسبات طبق روابط فصل دوم بصورت زیر باشد:

$$TSM_C = ۰.۳$$

$$I_{bC} = ۱۷۵A$$

برای یافتن ناحیه ۱ رله دیستانس واقع در B با توجه به روابط زیر داریم:

$$\begin{cases} Z_A = \frac{u^r}{S_A} \\ Z_B = \frac{u^r}{S_B} \end{cases} \Rightarrow Z_A - Z_B = \frac{u^r}{S_A} - \frac{u^r}{S_B} = \frac{u^r(S_B - S_A)}{S_B S_A}$$

$$\Rightarrow Z_{AB} = \frac{(33)^r(52 - 40)}{52 \times 40} = 6.28 \Omega$$

$$Z_1 = 0.8 Z_{AB} = 5 \Omega$$

برای بررسی هماهنگی دو رله ابتدا جریان اتصال کوتاه در نقطه انتهای ناحیه اول رله دیستانس واقع در B با توجه به خطی بودن سطوح اتصال کوتاه در طول خطوط بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_F = 0.8 \times 40 + 0.2 \times 52 = 42.4 MVA$$

$$I_F = \frac{42.4 \times 1.0^r}{\sqrt{3 \times 33}} = 74.2 A$$

طبق مطالب ذکر شده در بخش قبل، بدترین حالت برای هماهنگی دو رله این است که مسیر تغذیه x قطع باشد تا کل جریان اتصال کوتاه از رله اصلی بگذرد. زمان عملکرد رله جریان زیاد برای وقوع خطا در انتهای ناحیه ۱ رله دیستانس و به ازای جریان گذرنده از آن برابر است با:

$$t_c = \frac{0.14 \times 0.3}{\left(\frac{74.2}{175}\right)^{0.2} - 1} = 1.43 s$$

از طرفی زمان عملکرد رله دیستانس برای خطا مذبور برابر 3 . ثانیه تنظیم می‌شود. پس اختلاف زمان عملکرد رله اصلی و پشتیبان برابر است با:

$$\Delta t = t_{OC} - t_{Dis} = 1.43 - 0.3 = 1.13 > 0.3$$

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد هماهنگی بین دو رله برقرار است. لذا نیازی به تغییر رله پشتیبان TSM نمی‌باشد.

حال فرض می‌کنیم تنظیمات رله جریان زیاد بصورت زیر بدست آمده باشد و دوباره هماهنگی دو رله را بررسی می‌نماییم:

$$TSM_C = 0,15$$

$$I_{bC} = 125A$$

در این صورت زمان عملکرد رله پشتیبان برای جریان خطا برابر است با:

$$t_c = \frac{0,14 \times 0,15}{\left(\frac{742}{125}\right)^{0,2} - 1} = 0,58s$$

از آنجایی که هماهنگی بین دو رله برقرار نیست، می‌توان TSM رله پشتیبان را افزایش داد. با یک پله افزایش مطابق زیر هماهنگی برقرار می‌گردد:

$$TSM_C = 0,2$$

$$t_c = \frac{0,14 \times 0,2}{\left(\frac{742}{125}\right)^{0,2} - 1} = 0,77s$$

$$\Delta t = t_{OC} - t_{Dis} = 0,77 - 0,3 = 0,47 > 0,3$$

۲-۲-۳) رله جریان زیاد به عنوان رله اصلی و رله دیستانس به عنوان پشتیبان

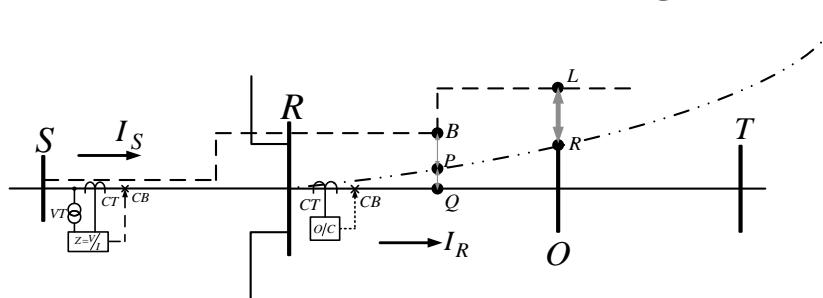
در این حالت نیز مانند حالت قبل، دو عامل یعنی نقاط و شرایط بحرانی مدنظر قرار می‌گیرد:

الف) نقطه یا نقاطی که باید خطا را در آنجا در نظر گرفت و جریان‌های اتصال کوتاه را برای آن خطاهای بدست آورد.

این نقاط مطابق شکل (۳-۳) عبارتند از انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس واقع در ۵ و نقطه‌ای روی باس دور رله اصلی.

به دلیل کوتاه بودن زمان قطع رله جریان زیاد و تفاوت بین زمان‌های قطع دو رله اصلی جریان زیاد و پشتیبان دیستانس، این تفاوت در حالت اتصال کوتاه در نقطه Q ، نسبت به سایر نقاط بین O و Q به کمترین مقدار خود می‌رسد. زیرا زمان عملکرد رله دیستانس مستقر در ۵، از ناحیه ۲ به ناحیه ۳ افزایش می‌یابد و زمان قطع رله جریان زیاد نیز روندی افزایشی دارد. بنابراین با مراجعه به

شکل (۳-۳)، بدترین حالت به لحاظ هماهنگی رله‌ها در هنگام اتصال کوتاه بین نقاط Q و O زمانی است که اتصالی در خود نقطه Q روی دهد. باید توجه نمود حتی اگر برای اتصال کوتاه در نقطه Q هماهنگی بین رله‌های جریان زیاد و دیستانس برقرار گردد، هیچ‌گونه تضمینی وجود ندارد که برای اتصال کوتاه در نقطه O بین رله‌های جریان زیاد واقع در R و دیستانس واقع در S هماهنگی برقرار باشد. چرا که با وقوع اتصال کوتاه در O میزان جریان عبوری از رله جریان زیاد مشخص نبوده و ممکن است با افزایش زمان عملکرد رله جریان زیاد هماهنگی از بین برود. بنابراین هر دو نقطه Q و O به عنوان نقاط بحرانی در هماهنگی رله جریان زیاد به عنوان رله اصلی و رله دیستانس به عنوان رله پشتیبان شناخته می‌شوند.



شکل (۳-۳): رله جریان زیاد به عنوان رله اصلی و رله دیستانس به عنوان رله پشتیبان
ب) حالت‌های قطع و وصل شاخه‌های متصل به باس رله اصلی.

نظر به این که زمان قطع ناحیه‌های ۲ و ۳ رله دیستانس ثابت می‌باشد، بحرانی‌ترین حالت زمانی است که زمان‌های قطع رله جریان زیاد به ازای وقوع خطأ در نقاط Q و O بیشترین مقدار را داشته باشند و آن هنگامی است که به ازای اتصال کوتاه در این نقاط، جریانی که از رله جریان زیاد می‌گذرد کم باشد (البته تغییر نقطه انتهایی ناحیه ۲ به ازای حالات مختلف نیز باید در نظر گرفته شود). چون حالات متفاوتی را برای اتصال کوتاه در نقاط Q و O می‌توان متصور شد، لذا مطالعه جدالگانه‌ای در مورد این دو نقطه انجام می‌دهیم.

ب-۱) اتصال کوتاه روی نقطه Q

در این شرایط، تغییر جریان در طول خط RO باعث تغییر انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس مستقر در S می‌شود. پس علاوه بر تغییر مقدار جریان، تغییر نقطه انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس را نیز باید در نظر داشت. با توجه به این موضوع، دو حالت در نظر گرفته می‌شود:

• حالت اول

با فرض این‌که شبکه بهم پیوسته بوده و خطاب در محل Q به وقوع پیوسته باشد، با باز شدن خط RO از سمت باس O سهم جریان‌های جانبی که از طریق باس O به محل خطاب وارد می‌گردد، از طرف باس R وارد شده و گرچه کل جریان اتصال کوتاه به دلیل زیادتر شدن امپدانس معادل از حالت قبل کمتر است، اما جریان گذرنده از رله جریان زیاد در این حالت بیش از حالت وصل خط خواهد بود. نتیجه این‌که این حالت باعث خواهد شد که جریان عبوری از رله جریان زیاد به بیشترین مقدار برسد. این مسئله کاهش زمان قطع رله جریان زیاد را در پی خواهد داشت و تفاوت زمانی بین زمان عملکرد رله دیستانس و جریان زیاد بیشتر می‌شود که بدین لحظه این حالت بحرانی نیست. چون این جریان بر جابجایی انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس نیز تأثیر دارد، رابطه امپدانس ناحیه ۲ (دیده شده توسط رله دیستانس مستقر در باس S) با جریان I_p بدست می‌آید. این امپدانس برابر است با:

$$Z_{\gamma} = \frac{I_S Z_{SR} + I_R Z_{RQ}}{I_S} = Z_{SR} + \frac{I_R}{I_S} Z_{RQ} \quad (1-3)$$

از رابطه (1-3) می‌توان گفت که چون امپدانس ناحیه ۲ رله دیستانس ثابت بوده و Z_{SR} یعنی امپدانس خط SR نیز مقدار ثابتی است، پس با افزایش I_R یعنی جریان عبوری از رله جریان زیاد باید Z_{RQ} کاهش یابد تا رابطه (1-3) برقرار گردد. در نتیجه این کاهش، نقطه Q به باس R نزدیکتر می‌گردد. این امر باعث کاهش زمان قطع رله جریان زیاد و افزایش فاصله زمانی بین دو رله می‌شود

و شرایط را از حالت بحرانی دور می‌سازد. بنابراین وصل بودن همه خطوط متصل به باس رله اصلی و قطع بودن کلید در انتهای خط اصلی، واجد شرایط مساعد برای بررسی هماهنگی بین دو رله جریان زیاد به عنوان رله اصلی و دیستانس به عنوان رله پشتیبان نیست.

• حالت دوم

حالت دوم در هماهنگی رله‌های جریان زیاد و دیستانس به ازای خطا در نقطه Q عبارت است از قطع بودن همه خطوط متصل به باس اصلی، غیر از خطوط اصلی و پشتیبان و وصل بودن کلید روی خط اصلی واقع در باس انتهایی. در این صورت کمترین جریان اتصال کوتاه از باس R وارد می‌گردد. چون I_R کم بوده و Z_{SR} نیز ثابت است، پس مطابق رابطه (۱-۳) Z_{RQ} بیشتر می‌شود. یعنی Q به سمت راست سوق پیدا می‌کند. بنابراین فاصله زمان عملکرد رله جریان زیاد و دیستانس کمتر می‌شود و این حالت نسبت به حالت قبل بحرانی‌تر است.

ب-۲) اتصال کوتاه در باس دور خط اصلی (نقطه O)

در این حالت زمان قطع ناحیه ۳ رله دیستانس ثابت است. بنابراین اختلاف زمان‌های قطع دو رله جریان زیاد و دیستانس فقط بستگی به زمان قطع رله جریان زیاد دارد و تغییر ناحیه ۲ رله دیستانس یا قطع و وصل انشعاب‌ها تأثیری در تفاوت زمانی مذکور ندارد. در این صورت بحرانی‌ترین حالت هنگامی است که زمان قطع رله جریان زیاد بیشترین مقدار را داشته باشد و این زمانی است که کمترین جریان از این رله عبور کند. با توجه به شکل (۳-۳) در می‌یابیم که از نظر قطع و وصل بودن خطوط متصل به باس R ، وقتی همه این خطوط در حالت وصل باشند بیشترین جریان از این رله می‌گذرد. زیرا امپدانس معادل کوچکتر است. بنابراین کمترین جریان وقتی خواهد بود که همه خطوط متصل به باس اصلی غیر از خطوط اصلی و پشتیبان قطع باشند. از نظر خطوط متصل به باس

O وقتی از رله جریان زیاد کمترین جریان می‌گذرد که سهم جریان‌های خطوط متصل به این بس از رله مزبور عبور نکند و این زمانی میسر است که همه خطوط متصل به این بس به حالت وصل باشند.

۳-۳ مختصری در خصوص روش‌های هماهنگی معمولی و

بهینه

۱-۳-۳ مقدمه

برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد با هم و همچنین رله‌های دیستانس با یکدیگر، تاکنون روش‌های زیادی در مقالات مختلف پیشنهاد شده است. در سال‌های نه چندان دور محاسبات مربوط به حفاظت سیستم‌های قدرت توسط مهندسین بصورت دستی انجام می‌شد. این روش‌ها قادر به بررسی سیستم‌های بزرگ نبود و وقت زیادی برای محاسبات نیاز داشت. با پیدایش کامپیوتر، روش‌های هماهنگی حفاظت سیستم‌های قدرت ارائه شد که خود به دو دسته روش‌های معمولی و بهینه تقسیم می‌شوند. روش‌های بهینه‌سازی به این خاطر ارائه شدند که روش‌های معمولی که در ابتدا مورد استفاده قرار گرفتند، از بین پاسخ‌های مختلف هماهنگی جواب‌های بهینه را تشخیص نداده و باعث می‌شوند زمان کلی عملکرد رله‌ها زیاد گردد. به طور کلی مهمترین مراحل انجام عمل هماهنگی بهینه عناصر حفاظتی، بصورت زیر می‌باشد:

- ۱- بدست آوردن مدل منحنی مشخصه عناصر حفاظتی
- ۲- بدست آوردن قیود هماهنگی
- ۳- تعیین تابع هدف
- ۴- تعیین روش بهینه‌سازی مناسب

در روش‌های بهینه‌سازی، اختلاف زمانی عملکرد عناصر اصلی و پشتیبان (Δt) به عنوان قیود در نظر گرفته می‌شوند و پاسخ‌ها با در نظر گرفتن تابع هدف و قیود بدست می‌آیند. پس از مدل‌سازی دقیق عناصر حفاظتی شبکه، باید قیود هماهنگی با توجه به ترتیب عملکرد عناصر بدست آید.

روش‌های بهینه‌سازی به دو نوع کلی تقسیم می‌شوند:

- ۱- روش‌های ریاضی
- ۲- روش‌های هوشمند

(۲-۳-۳) هماهنگی معمولی

این روش‌های هماهنگی، اولین روش‌هایی بودند که برای هماهنگی رله‌ها با استفاده از کامپیوتر ارائه شدند. در این روش‌ها، هماهنگ کردن رله‌ها از یک نقطه شبکه آغاز شده و رله‌ها دو به دو هماهنگ می‌شوند. برای مثال در مورد رله‌های جریان زیاد ابتدا TSM یک رله مشخص شده و سپس با استفاده از جفت جریان‌های اتصال کوتاه، TSM رله پشتیبان آن بدست می‌آمد و به همین ترتیب این کار تا زمانی که تنظیم زمانی همه رله‌ها بدست آیند ادامه می‌یافتد.

در ابتدا این روش‌ها به گونه‌ای بودند که در طول فرآیند هماهنگی مهندس حفاظت تأثیری در این فرآیند نداشت. در مقالات دیگر این روش‌ها توسعه پیدا کردند تا بتوانند از تجربیات مهندس حفاظت در طول فرآیند هماهنگی استفاده نمایند. در همه این روش‌ها یک روند مشخص و ترتیب مؤثر برای انتخاب نقاط شروع مناسب وجود نداشت. برای حل این مشکل یک روش ابتکاری به منظور پیدا کردن توالی مناسب در هماهنگی ارائه گردید. در مرجع [۱] روشی ارائه شد که بر اساس آن قبل از برقراری هماهنگی، نقاط شروع هماهنگی و توالی رله‌ها بر

اساس تئوری گراف تعیین شود. این نقاط شروع هماهنگی را نقاط شکست^۱ می‌نامند. این روش توسعه پیدا کرد و روش‌هایی ارائه شد تا تعداد نقاط شکست مینیمم گردد [۶، ۷، ۸ و ۹].

(۳-۳-۳) روش‌های هماهنگی بهینه

در مسائل بهینه‌سازی، یک یا چند تابع هدف مطرح هستند که باید تحت شرایط و قیود حاکم بر مسئله بیشینه یا کمینه شوند. مسئله بهینه‌سازی را می‌توان روی هر سیستم حفاظتی که نیاز به هماهنگی داشته باشد پیاده کرد و جواب‌های بهینه را بدست آورد. آنچه که در این میان مهم است، بیان مسئله هماهنگی بصورت یک مسئله بهینه‌سازی می‌باشد. هر مسئله بهینه‌سازی شامل دو قسمت مهم است که عبارتند از:

- ۱- تابع هدف که باید مقدار کمینه یا بیشینه آن بدست آید.
- ۲- مجموعه محدودیت‌هایی که متغیرهای مسئله باید این قیود را ارضاء نمایند.

بنابراین به منظور استفاده از تکنیک بهینه‌سازی باید یک تابع هدف مناسب که شامل خصوصیات موردنظر برای سیستم حفاظتی باشد تعریف کرد و سپس محدودیت‌های حاکم بر متغیرهای مسئله را بیان نمود و در نهایت مسئله بهینه‌سازی را حل کرد که با توجه به نوع مسئله، روش‌های حل متفاوتی را باید در پیش گرفت [۱۰، ۱۱ و ۱۲].

۳-۳-۴) روش‌های بهینه‌سازی هوشمند

با توجه به این که روش‌های ریاضی برای حل مسائل بهینه‌سازی همواره دارای محدودیت‌هایی می‌باشند، در سال‌های اخیر روش‌های هوش مصنوعی برای هماهنگی رله‌ها استفاده شده‌اند. این روش‌ها با افزایش سرعت پردازندۀ‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. الگوریتم هوشمند و الگوریتم‌های تکاملی، از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند هستند که برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد با یکدیگر و با رله‌های دیستانس استفاده شده‌اند. در سال ۱۹۹۷ روش هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد به وسیله الگوریتم هوشمند توسط *SO.C.W* و همکارانش ارائه شد [۱۴]. مقالات دیگری توسط همین افراد در مورد استفاده از الگوریتم تکاملی در هماهنگی رله‌های جریان زیاد در سال‌های اخیر ارائه شده است [۱۵ و ۱۶]. همچنین توسط مؤلف این کتاب، با استفاده از الگوریتم ژنتیک تابع هدف جدیدی ارائه شده است که ناهمانگی‌های موجود را برطرف می‌کند [۱۱ و ۱۵]. با استفاده از این روش‌ها می‌توان مدل‌های دقیق و غیرخطی را نسبت به *TSM* رله‌ها در نظر گرفت. برخلاف روش‌های ریاضی، این روش‌ها در مینیمم‌های محلی گیر نمی‌افتد و با افزایش تعداد تکرارها بهترین جواب را می‌دهند. البته افزایش تکرارها زمان محاسبات را افزایش می‌دهد که این مشکل با توجه به سرعت پیشرفت پردازندۀ‌ها در آینده قابل حل خواهد بود.

• نمونه‌ای از هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد با یکدیگر

در فصل‌های قبل رله‌های جریان زیاد و دیستانس و پارامترهای تنظیمی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. دیده شد که پارامترهای تنظیمی رله‌ها نمی‌تواند امری مستقل باشد و علاوه بر وابستگی به پارامترهای شبکه از جمله جریان بار، مقدار جریان اتصال کوتاه و ... کاملاً به تنظیم رله‌های نواحی مجاور بستگی دارد. به عبارت دیگر، مسئله هماهنگی رله‌ها در شبکه‌های بهم پیوسته از جانب

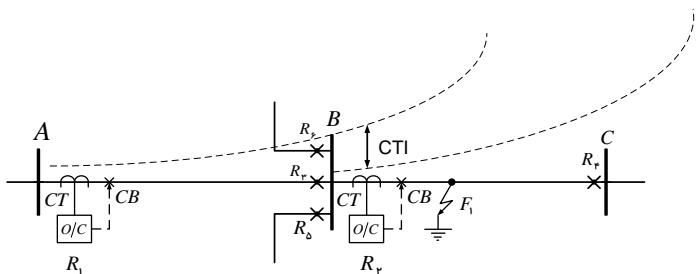
محدودیت‌های فراوانی که از طرف شبکه و دیگر رله‌ها تحمیل می‌شود به شدت محدود است [۱۷ و ۱۸].

اگر هماهنگی رله‌های جریان زیاد برای ضریب تنظیم جریانی معینی برقرار باشد، برای ضریب‌های تنظیم جریانی کمتر نیز جفت رله‌های اصلی و پشتیبان با یکدیگر هماهنگ خواهند بود. پس کافی است از بین شش جفت جریان، جفت جریانی را که بیشترین ضریب تنظیم جریانی را سبب خواهد شد برگزینیم و هماهنگی را به ازای این جفت جریان انجام دهیم. اگر این کار با موفقیت صورت گیرد می‌توان ادعا نمود که برای جفت جریان‌های دیگر نیز هماهنگی بین رله‌های اصلی و پشتیبان برقرار است.

با اندکی دقیق در نحوه تعریف جفت جریان‌ها می‌توان به این نکته بی‌برد که جفت جریان سوم شدیدترین حالت ممکن را برای هماهنگی جفت رله‌ها در نظر می‌گیرد. پس باید به دنبال جفت جریان سوم که در آن خطاب جلوی رله اصلی فرض می‌گردد و آن ساختار محتملی از شبکه باشیم که عبور حداکثر جریان ممکن را از رله پشتیبان در این شرایط سبب می‌گردد.

حال اگر بتوان حداکثر جریان عبوری از رله پشتیبان به ازای خطای واقع در جلوی رله اصلی آن را تعریف نمود، می‌توان حالت بحرانی در هماهنگی بین جفت رله‌های اصلی و پشتیبان اضافه جریان را بدست آورد. برای تضمین هماهنگی رله‌ها در تمام حالات شبکه، کافی است جفت رله اصلی و پشتیبان به ازای این شرایط بحرانی هماهنگ باشند.

به عنوان مثال با در نظر گرفتن جفت جریان سوم و با توجه به شکل (۳-۴) که قسمتی از یک شبکه بهم پیوسته را نشان می‌دهد، هدف هماهنگی جفت رله اصلی و پشتیبان $R_۲$ و $R_۱$ است.



شکل (۳-۴): شرایط بحرانی در هماهنگی رله‌های اضافه جریان

خطای F_1 را جلوی رله اصلی در نظر می‌گیریم. بدین ترتیب باید رابطه (۲-۳) به ازای خطای F_1 و در شرایط بحرانی برآورده شود:

$$t_{boc}(F_1) - t_{moc}(F_1) > CTI \quad (2-3)$$

در رابطه (۲-۳)، $t_{boc}(F_1)$ به معنای زمان عملکرد رله پشتیبان اضافه جریان

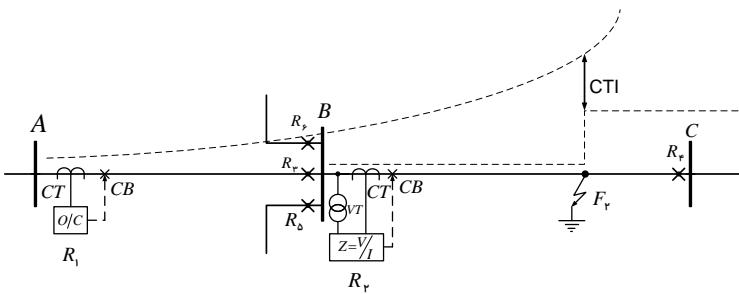
در ازای خطای F_1 می‌باشد که از زمان عملکرد رله اصلی در ازای همین خطا یعنی (F_1) ، باید به اندازه فاصله هماهنگی بیشتر باشد [۱۸ و ۱۹].

بدین ترتیب به منظور برآوردن هماهنگی رله‌های جریان زیاد در شبکه بهم پیوسته برای ساختارهای متفاوت شبکه، کافی است هماهنگی دو رله اصلی و پشتیبان به جای در نظر گرفتن تمام حالات ممکن فقط به ازای جریان F_1 مذکور و با توجه به شرایط گفته شده تحقق یابد. این یک ایده‌آل است که در عمل ممکن است به دلیل محدودیت‌های ناشی از شبکه نتوان آن را اجرا نمود و لذا باید به دنبال ساختارهایی با احتمال رخداد محسوس بود. مثلاً می‌توان فرض کرد که هنگام وقوع خطا فقط یک خروج اضطراری^۱ در شبکه رخ داده باشد. این خروج اضطراری را نیز می‌توان با توجه به المانی که بیشترین احتمال خروج را داشته باشد یا المانی که بیشترین تأثیر را روی هماهنگی جفت رله مورد نظر داشته باشد، لحاظ نمود.

• نمونه‌ای از هماهنگی بهینه رله دیستانس به عنوان رله اصلی و رله جریان زیاد به عنوان رله پشتیبان

در شبکه‌های توزیع از رله جریان زیاد به عنوان رله اصلی و پشتیبان استفاده می‌شود و رله‌های دیستانس به عنوان رله اصلی در بعضی از شبکه‌های مهم توزیع و فوق توزیع به کار می‌روند. اما در شبکه‌های انتقال که از حساسیت بیشتری برخوردارند، معمولاً از رله دیستانس به عنوان رله اصلی یا پشتیبان و از رله‌های جریان زیاد فقط به عنوان رله پشتیبان استفاده می‌شود. به منظور عملکرد صحیح رله‌ها، می‌بایست هماهنگی آن‌ها در این حالت که رله جریان زیاد پشتیبان رله دیستانس است مورد بررسی قرار گیرد.

در شکل (۵-۳) حالتی که در آن رله دیستانس به عنوان رله اصلی و رله جریان زیاد به عنوان رله پشتیبان است نشان داده شده است.



شکل (۵-۳): شرایط بحرانی در هماهنگی رله‌های دیستانس و جریان زیاد

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، شرایط بحرانی هماهنگی در این حالت به ازای وقوع خطای F_r در ابتدای ناحیه ۲ رله اصلی دیستانس و ساختاری از شبکه که منجر به گذر جریان اتصال کوتاه ماکزیمم از رله پشتیبان جریان زیاد و عملکرد سریعتر آن شود، حاصل می‌گردد.

همانند شرایط بحرانی در هماهنگی رله‌های جریان زیاد، در این حالت نیز ساختاری از شبکه که منجر به عبور جریان ماکزیمم از رله پشتیبان جریان زیاد خواهد گردید از باز نمودن کلید انتهای خط رله اصلی و قطع تمامی خطوط واصل

به باس رله اصلی به جز خطی که رله پشتیبان روی آن واقع شده است، حاصل می‌شود. این فرض که کلید انتهای خط باز باشد در این حالت ضروری است. چرا که رله دیستانس واقع در آنسوی خط این خطا را در ناحیه اول خود خواهد دید و بصورت آنی عمل قطع صورت خواهد گرفت.

پس با اعمال شرایط بحرانی، معادله (۳-۲) برای حالتی که رله اصلی از نوع دیستانس و رله پشتیبان از نوع اضافه جریان باشد بصورت معادله (۳-۳) خواهد بود که به ازای خطای F_2 باید برآورده شود:

$$t_{boc}(F_2) - t_{mdis}(F_2) > CTI \quad \dots \dots \dots \quad (3-3)$$

t_{mdis} بیانگر زمان عملکرد ناحیه دوم رله اصلی دیستانس است که باید از تفاضل فاصله زمانی هماهنگی از زمان عملکرد رله پشتیبان اضافه جریان به ازای خطای F_2 کوچکتر باشد.

شاید برای رسیدن به هماهنگی رله‌های یک سیستم چند تنظیم ممکن و به عبارتی چند مجموعه جواب ممکن بتوان پیدا کرد. انتخاب از بین این جواب‌های ممکن بر اساس این معیار انجام می‌گیرد که کدام مجموعه جواب، زمان عملکرد کمتری را در مجموعه رله‌های سیستم سبب می‌گردد. این مینیمم کردن باید طوری انجام شود که قیود حاکم بر مسئله هماهنگی را نیز برآورده سازد. چرا که در هماهنگی بهینه رله‌ها اهمیت اول حفظ هماهنگی بین رله‌ها و اهمیت دوم مینیمم کردن زمان عملکرد رله‌های سیستم است.

پس با توجه به هدف مینیمم‌سازی و قیود حاکم بر تابع هدفی که باید بهینه شود، با توجه به شرایط بحرانی و از روی روابط (۳-۲) و (۳-۳) مسئله بهینه‌سازی را می‌توان بصورت زیر فرموله نمود:

$$\begin{cases} OF = \sum_{i=1}^n t_i \\ \text{subject to :} \\ t_{boc}(F_1) - t_{moc}(F_1) > CTI \\ t_{boc}(F_r) - t_{mdis}(F_r) > CTI \end{cases} \quad (4-3)$$

که در آن t_i زمان عملکرد رله i به ازای خطای واقع در جلوی رله و تعداد رله‌های اضافه جریان می‌باشد. توجه گردد که زمان عملکرد ناحیه اول رله‌های دیستانس تقریباً آنی است.

برای اینکه بتوانیم رابطه (4-3) را بصورتتابع هدفی درآوریم که الگوریتم هوشمند را مستقیماً به آن اعمال نماییم، نامعادله‌های مربوط به قیود را بصورت رابطه (5-3) وارد خود تابع هدف می‌کنیم:

$$OF = \alpha \sum_{i=1}^n t_i + \beta_1 \sum_{j=1}^p \left(\Delta t_{oc_j} - |\Delta t_{oc_j}| \right)^3 + \beta_2 \sum_{k=1}^p \left(\Delta t_{ocd_k} - |\Delta t_{ocd_k}| \right)^3 \quad (5-3)$$

که در آن z تعداد زوج رله‌های اصلی و پشتیبان اضافه جریان و k تعداد زوج رله‌های اصلی دیستانس و پشتیبان اضافه جریان است. همچنین α ، β_1 و β_2 ضرایب وزنی هستند. تعداد زوج رله‌های اصلی و پشتیبان اضافه جریان از ۱ تا p و تعداد زوج رله‌های اصلی دیستانس و پشتیبان اضافه جریان از ۱ تا q تغییر می‌کند. Δt_{oc_j} و Δt_{ocd_k} هم بصورت زیر می‌باشند:

$$\begin{aligned} \Delta t_{oc_j} &= t_{boc_j}(F_1) - t_{moc_j}(F_1) - CTI \\ \Delta t_{ocd_k} &= t_{boc_k}(F_r) - t_{mdis_k}(F_r) - CTI \end{aligned} \quad (6-3)$$

از رابطه (5-3) دیده می‌شود که اگر Δt_{ocd_k} یا Δt_{oc_j} مثبت باشند، مقدار مربوطه در عبارت دوم یا سوم تابع هدف صفر خواهد گردید. ولی اگر مقداری منفی داشته باشند، مربع دو برابر آن‌ها در ضریب وزنی مربوطه ضرب شده و مقدار تابع هدف را افزایش می‌دهد. لذا الگوریتم هوشمند که در جستجوی مینیمم کردن تابع هدف (5-3) است از این نقاط دور خواهد شد. ضرایب وزنی به گونه‌ای تنظیم می‌گردند که الگوریتم حل تابع را به سوی جوابی که در آن

ناهمانگی نداریم و یا کمترین تعداد ناهمانگی را داریم سوق دهنده و لذات ضرایب وزنی α و β_1 در قیاس با α باید به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شوند.

متغیرهایی که در الگوریتم بهینه‌سازی وارد می‌گردند تا تابع هدف مورد نظر را بهینه‌سازی نمایند، ضرایب تنظیم زمانی رله‌های جریان زیاد هستند. یعنی مجموعه متغیرها بصورت $X = [TSM_1, TSM_2, \dots, TSM_n]$ خواهند بود. البته ضریب تنظیم جریانی رله‌ها را نیز می‌توان در این مجموعه در نظر گرفت ولی آن را از روی جریان بار هم می‌توان تنظیم نمود.^[۱۸و۱۹]

(۴-۳) خلاصه مطالب

- ۱- هماهنگی رله دیستانس بصورت رله اصلی و رله جریان زیاد به عنوان رله پشتیبان:
- یک نقطه بحرانی برای تحلیل هماهنگی وجود دارد.
- الف- انتهای ناحیه ۱ و یا ابتدای ناحیه ۲ رله دیستانس
- ب- شرایط بحرانی برای تحلیل نیز عبارت است از قطع همه خطوط وصل به باس اصلی، غیر از خطوطی که رله‌های پشتیبان و اصلی روی آن‌ها قرار دارند و قطع کلید انتهای باس طرف دیگر خط اصلی.

- ۲- رله جریان زیاد کاهشی به عنوان رله اصلی و رله دیستانس به عنوان رله پشتیبان:
- دو نقطه بحرانی برای تحلیل هماهنگی وجود دارد.
- الف- انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس پشتیبان
- ب- نقطه‌ای روی باس دور رله جریان زیاد اصلی.
- شرایط بحرانی، قطع بودن همه خطوط متصل به باس اصلی غیر از خطوط اصلی و پشتیبان و وصل بودن کلید روی خط اصلی واقع در باس انتهایی می‌باشد. میزان تغییر نقطه انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس پشتیبان در اثر تغییر جریان ناشی از قطع و وصل خطوط وصل به باس اصلی را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:
- $$Z_2 = \frac{I_S Z_{SR} + I_R Z_{RQ}}{I_S} = Z_{SR} + \frac{I_R}{I_S} Z_{RQ}$$

- ۳- روش‌های هوشمند نسبت به روش‌های ریاضی دارای این مزیت هستند که جواب بهینه مطلق را می‌توان بدست آورد و در مینیمم‌های محلی گیر نمی‌کنند. لیکن زمان محاسبات آن‌ها طولانی است.

تمرین‌ها (۵-۳)

۱) در شکل زیر، روی خطوط BA در محل B و CB در محل C ، رله‌های جریان زیاد معکوس معمولی و همچنین رله‌های دیستانس مهو وجود دارد.

الف) ضرایب تنظیم زمانی و جریانی رله‌های جریان زیاد، ناحیه امپدانسی اول رله دیستانس مستقر در B و ناحیه اول و دوم رله دیستانس مستقر در C را بیابید.

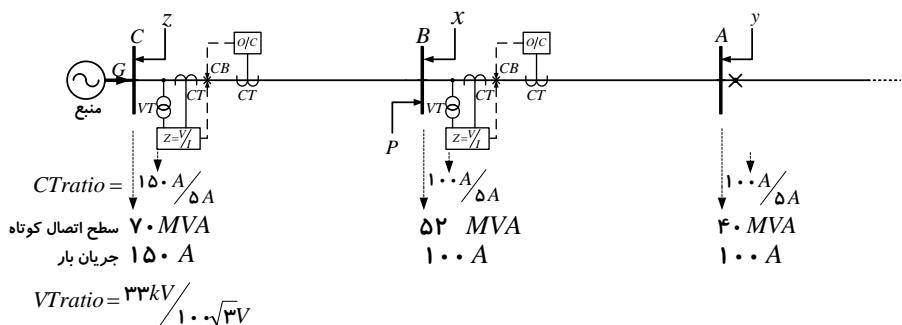
ب) هماهنگی رله جریان زیاد با دیستانس و بالعکس را بررسی کنید و در صورت عدم هماهنگی راهکارهایی را پیشنهاد نمایید.

فرضیات:

۱- سهم همه انشعاب‌ها در جریان اتصال‌کوتاه یکسان بوده و با قطع هر انشعاب سطح اتصال‌کوتاه همه باس‌ها ثابت باقی می‌ماند و سهم آن از باس C وارد می‌گردد.

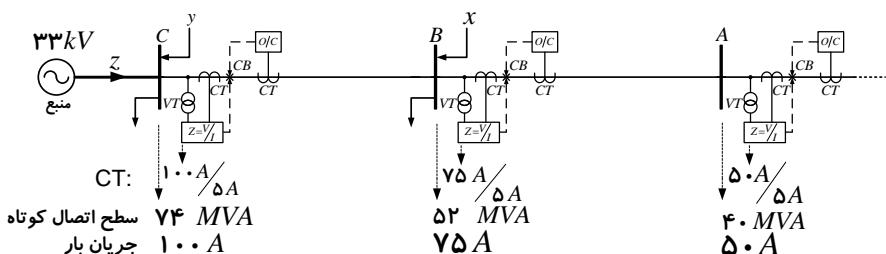
۲- رله‌های دیستانس از نوع مهو بوده و زاویه آن‌ها با زاویه خط برابر و 70° می‌باشد.

۳- سطح اتصال‌کوتاه به ازای وقوع خطا در نقاط مختلف خطوط BA و CB بصورت خطی تغییر می‌کند.



۳) در شکل زیر چنانچه جریان‌های اتصال‌کوتاه از سه مسیر تغذیه برای اتصال‌کوتاه‌های A و B دارای سهم یکسانی باشند و با قطع شدن هریک از آن‌ها نیز مجدداً سطح اتصال‌کوتاه در باس‌ها ثابت بماند و عنصر سریع هم وجود داشته باشد،

الف) جفت جریان‌های لازم برای هماهنگی رله C با B را مشخص نموده و مقدار TSM رله‌های اصلی و پشتیبان را بیابید.



ب) اگر برای اتصال‌کوتاه در انتهای ناحیه ۱ رله دیستانس مستقر در B جریان‌های x، y و z برابر با ۲۰۰A باشند و وقتی x قطع شود، جریان y به ۱/۵ برابر مقدار قبلی برسد و z همان مقدار قبلی را دارا باشد، بررسی کنید آیا هماهنگی رله جریان زیاد مستقر در C و دیستانس مستقر در B برقرار است؟ میزان تغییر نقطه Q (یکی از نقاط بحرانی) برای شرایط بحرانی هماهنگی رله دیستانس-جریان زیاد چقدر است؟

۴) برای بهینه‌سازی هماهنگی رله‌های حفاظتی اضافه جریان با یکی از روش‌های هوشمند، می‌توان یکی از توابع هدف زیر را استفاده نمود:

$$OF = \alpha \sum_{i=1}^n t_i^r + \beta \sum_{j=1}^p (\Delta t_{oc(j)})^3$$

$$OF = \alpha \sum_{i=1}^n t_i^r + \beta \sum_{j=1}^p (\Delta t_{oc(j)} - |\Delta t_{oc(j)}|)^3$$

که در آن α و β ضرایب وزنی، p تعداد زوج رله، n تعداد رله‌ها، t_i زمان قطع رله‌ها به ازای خطأ جلوی رله و $\Delta t_{oc(j)} = t_{bo(j)}(F_1) - t_{moc(j)}(F_1) - 0.3$ می‌باشند.
با تحلیل بیان نمایید که کدامیک از توابع هدف فوق برای هماهنگی مناسب‌ترند؟
برای مقادیر عددی $\alpha = 1$ و $\beta = 1000$ با ذکر مثالی عددی، برتری تابع هدف مناسب‌تر را نشان دهید.

مراجع (۶-۳)

- [1] Abyaneh, H; Mohammadi, R, Razavi, F; Khoddami, M; Torkaman, H “A New Genetic Algorithm Method for Overcurrent Relays and Fuses Coordination” Power Tech Conference, Lausanne, Switzerland, July 2007.
- [2] R. Mohammadi, H. Askarian, F. Razavi, S. Hashemi, “A New Genetic Algorithm Method for Optimal Coordination of Overcurrent and Distance Relays Considering Various Characteristics for Overcurrent Relays” 2nd International Power & Energy Conference, Johor Bahru, Malaysia, pp. 569 – 573, December 2008.
- [۳] رضا محمدی، "تنظیم و هماهنگی بهینه حفاظت شبکه‌های توزیع"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، اردیبهشت ماه ۱۳۸۶
- [۴] متین مشکین، حسین عسکریان ابیانه، حسین کاظمی کارگر، "هماهنگی بهینه رله‌های دیستانس و اضافه جریان در شبکه‌های بهم پیوسته"، بیستمین کنفرانس بین المللی برق، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران، آبان ۱۳۸۴
- [5] Hashemi, S.S; Abyaneh, H.A; Razavi, F; Mohamadi, R “Optimal Combined Overcurrent and Distance Relays Coordination Using a New Genetic Algorithm Method”, International Journal of Innovations in Energy Systems and Power, vol. 5, no. 1, pp. 17-21, April 2010.
- [6] Sharifian, H; Abyaneh, H.A; Salman, S.K; Mohammadi, R “Determination of the Minimum Break Point Set Using Expert System and Genetic Algorithm ”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 3, pp. 1284-1295, July 2010.
- [7] Sadeh, J; Aminotojari, V; Bashir, M “Optimal Coordination of Overcurrent and Distance Relays with Hybrid Genetic Algorithm ”, 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Rome, Italy, May 2011.
- [8] Abdelaziz A.R; Hzawawi, A “A New Computer-Based Relaying Technique for Power System Protection”, Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 2, pp. 684-686, 2001.
- [9] Ramaswami, R; Mc-Guire, P.F “Integrated Coordination and Short Circuit Analysis for System Protection”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 7, no. 3, pp. 1112-1120, August 2002.
- [10] Asadi, M.R , Abyaneh, H.A; Mahmoodan, M; Naghizadeh, R.A; Koochaki, A “Optimal Overcurrent Relay Coordination Using Genetic

- Algorithms", International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE), Beijing, China, June 2010.
- [11] Razavi,F; Askarian, H; Al-dabbagh,M; Mohammadi,R; Torkaman, H "A New Comprehensive Genetic Algorithm Method for Optimal Overcurrent Relays Coordination", Electric Power Systems Research vol. 78, no. 4, pp. 713-720, April 2008.
- [12] Askarian, H; Hashemi, S; Razavi,F; Mohammadi, R "A New Genetic Algorithm Method for Optimal Coordination of Overcurrent Relays in a Mixed Protection Scheme with Distance Relays", 43rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Padova ,Italy, September 2008.
- [13] Hashemi, S; Askarian, H; Razavi, F; Mohammadi, R "Combine Coordination of Distance and Overcurrent Relays Using Genetic Algorithom," 22th International Power System Conference (PSC), Tehran, Iran, November 2007.
- [۱۴] سمیه السادات هاشمی کمانگر، حسین عسکریان ابیانه، فرزاد رضوی، رضا محمدی چبنلو " هماهنگی ترکیب رله های جریان زیاد و دیستانس به کمک الگوریتم ژنتیک "، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران، ۱۳۸۶.
- [15] So, C.W; Li, K.K "Intelligent Method For Protection Coordination", International Conference on Electric Utility Deregulation Restructuring and Power Technology, Hong Kong, pp. 378-382, April 2004.
- [16] Kamangar, S.S.H; Abyaneh, H.A; Chapanlo, R.M; Razavi, F "Flexible Approach for Optimization of Distance and Overcurrent Protection Coordination", 4th Power Systems Protection & Control Conference (PSPC), Tehran, Iran, 2009.
- [17] Abyaneh, H. A; Al-Dabbagh, M; Karegar, H.K; Sadeghi, S.S.H; Khan, R.A.H, "A New Optimal Approach for Coordination of Overcurrent Relays in Interconnected Power Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, no. 2, pp. 430-435, April 2003.
- [۱۸] یاسر رضازاده، "همانگی بهینه رله‌های جریان زیاد با دیستانس در شبکه‌های بهم پیوسته با استفاده از الگوریتم جستجوی ذرات بهبود یافته"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، اسفند ماه ۱۳۸۹.
- [۱۹] ایرج پورکیوانی نرگور، "جایابی و مقداریابی بهینه محدودکننده‌های جریان خطای ابررسانا در شبکه قدرت با در نظرگیری هماهنگی ادوات حفاظتی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مهر ماه ۱۳۹۰.

