۳

تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد و دیستانس با یکدیگر

۳-۱) مقدمه

بر روی خطوط شبکه‌های قدرت انواع رله‌های دیستانس، جریان زیاد و ترکیبی از آنها برای حفاظت شبکه به کار می رود. به منظور حفاظت صحیح، روش‌های مختلفی برای هماهنگی انواع رله‌های جریان زیاد در شبکه‌های شعاعی و به هم پیوسته وجود دارد [۱و۳و۴و۵] . همچنین مولفان مختلف در موضوع هماهنگی انواع رله‌های دیستانس کار کرده اند [۴و۵و۶]. ولی روش یا برنامه کامپیوتری که بتواند هماهنگی بین رله‌های جریان زیادو دیستانس را برقرار سازد توسط مولف اول این کتاب آورده شده است[۲۰]

هدف از این بخش، ارائه روشی است که با آن بتوان جفت رله‌های جریان زیاد و دیستانس را هماهنگ کرد. به عبارت دیگر پس از تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد و دیستانس به طور 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 آنهاست، سخت ترین شرایط را برای هماهنگی دارا هستند و دشوارترین شرایط قطع و وصل، مربوط به کلیدهای خطوط متصل به شین‌های اصلی و طرف دیگر خط فرض می‌شود و با منظور کردن شرایط ذکر شده هماهنگی بین تنظیم رله‌ها امتحان می‌گردد. برای حالاتی که اختلاف زمان قطع بین رله‌های جریان زیاد و دیستانس کافی نباشد، با روش‌های مندرج در این بخش، می‌توان هماهنگی لازم را برقرار ساخت. در برخی موارد هم ممکن است نتیجه این روش‌ها، قرار دادن یک نوع رله جدید را ایجاب کند.

۳-۲) تحلیل حالتهای مختلف

تشخیص عیب روی یک شبکه قدرت و صدور فرمان قطع قسمت‌های معیوب، با رله‌های مختلفی عملی می‌شود. دو نوع از این رله‌ها بر روی خطوط انتقال انرژی و توزیع کاربرد زیادی دارند. آنها عبارتند از: رله‌های جریان زیاد و دیستانس. در شبکه‌های توزیع از رله جریان زیاد هم به عنوان رله اصلی و هم به جای پشتیبان استفاده می‌شود و رله‌های دیستانس به عنوان اصلی در بعضی از شبکه های مهم به کار می‌روند. اما در شبکه‌های انتقال که از حساسیت بیشتری برخوردار دارند، معمولا از رله دیستانس به صورت رله اصلی یا پشتیبان و از رله‌های جریان زیاد فقط به جای پشتیبان استفاده می‌شود. به منظور عملکرد صحیح رله‌ها به طوری که شین‌ها و قسمت‌های معیوب را قطع کنند، هماهنگی بین رله‌ها امری الزامی‌و ضروری است.

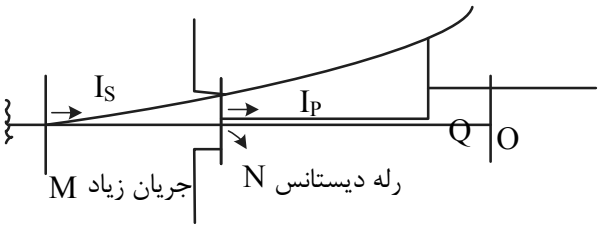
در شبکه‌های توزیع و انتقال انرژی، رله‌های مختلفی برای حفاظت قسمت‌های مختلف شبکه وجود دارد. برای حفاظت یک بخش از شبکه، ممکن است از چند دستگاه حفاظت استفاده شود که نوع یا انواع آنها بستگی به اهمیت آن بخش در کار برق رسانی دارد. معمولا یکی از این سیستم‌های حفاظتی اصلی و بقیه حفاظت پشتیبان محلی هستند. همچنین علاوه بر سیستم پشتیبان محلی، معمولا سیستم حفاظتی پشتیبان در قطعه 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 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 شوند. قبلا حالات مختلف هماهنگی شرح داده می‌شوند.

۳-۲-۱) رله دیستانس به صورت رله اصلی و رله جریان زیاد به جای پشتیبان

شکل(۱) بخشی از یک شبکه قدرت را نشان می‌دهد که روی شاخه NO و در پست N یک رله دیستانس در نظر گرفته شده است. در شاخه MN در نقطه M رله جریان زیاد کاهشی قرار دارد. البته ممکن است در نقطه N روی شاخه NO علاوه بر رله دیستانس، رله جریان زیاد کاهشی نیز موجود باشد.

در این بخش، چگونگی هماهنگی بین رله دیستانس مستقر در N و رله جریان زیاد واقع درنقطه M مورد نظر است. با فرض اینکه هماهنگی بین تنظیم رله‌های دیستانس قبلا صورت پذیرفته و نقطه q در شکل(۱) انتهای ناحیه ۱ و شروع ناحیه ۲ از رله دیستانس باشد، حداقل فاصله زمانی بین زمان‌های قطع رله‌های جریان زیاد و دیستانس بر طبق شکل، وقتی است که خطا در نقطه Q رخ دهد. به همین دلیل این نقطه را نقطه بحرانی می‌خوانند. هر نقطه دیگری را که بین Q و O، نقطه وقوع اتصال کوتاه در نظر بگیریم، زمان قطع رله بیشتر از وقتی 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 نقطه ای از خط در فاصله NQ را محل بروز عیب فرض کنیم، اختلاف زمانی بین دو رله بیشتر از اختلاف مربوط به نقطه Q خواهد بود.



شکل۱- رله دیستانس به عنوان اصلی و رله جریان زیاد به صورت پشتیبان

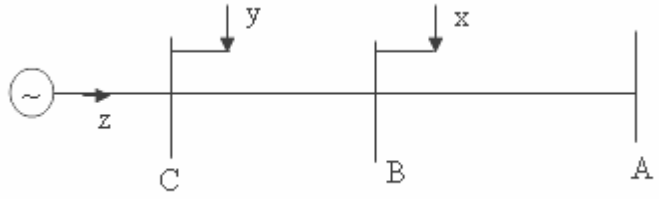
نکته دیگری که باید در تعیین فاصله زمانی بحرانی علاوه بر تعیین خود نقطه بحرانی (Q) مورد نظر قرار داد، حالت‌های وصل یا قطع بودن ارتباط خطوط مختلف با شین N است. بر حسب این حالت‌های مختلف، جریان‌های متفاوتی از رله جریان زیاد M می‌گذرد که نتیجه آن تغییر در زمان قطع رله جریان زیاد است و این امر فاصله زمانی بین زمان قطع دو رله را تغییر خواهد داد. به عبارت دیگر حالت بحرانی از این لحاظ، این است که زمان قطع رله جریان زیاد در هنگام اتصال کوتاه در نقطه Q کمترین مقدار خود را داشته باشد و آن در صورتی است که جریان بیشتری از رله M بگذرد. قطع شاخه‌های متصل به N (غیر از MN) و همچنین قطع کلید O باعث خواهد شد که مقدار جریان عبوری از رله M افزایش یابد. لذا بحرانی ترین شرایط برای این حالت، آن است که اتصال کوتاه در حد فاصل ناحیه ۱و۲ رله دیستانس روی دهد و کلیدهای خطوط منشعب از شین اصلی غیر از خطوطی که رله‌های اصلی و پشتیبان بر بر آنها قرار دارند و نیز کلید انتهای دیگر خط اصلی قطع باشند.

بنابراین درباره شرایط بحرانی می‌توان از این قسمت چنین نتیجه گرفت:

الف- انتهای ناحیه ۱ و یا ابتدای ناحیه ۳ باید نقطه بحرانی فرض شود.

ب- شرایط بحرانی عبارتست از قطع همه خطوط وصل به شین اصلی غیر از خطوطی که رله‌های پشتیبان و اصلی روی آنها قرار دارد و قطع کلید انتهای شین طرف دیگر خط اصلی.

مثال (۱): در شبکه شکل زیر، روی فیدر BA و در محل B روی فیدر CB ، روی C رله‌های جریان زیاد کاهشی معکوس و رله‌های دیستانس وجود دارند.



SCC	۷۰MVA	۵۲MVA	۴۰MVA
CT	۱۵۰/۵	۱۰۰/۵	۱۰۰/۵
VT	$\frac{۳۳}{\sqrt{۳}}$ kv/۱۰۰V	$\frac{۳۳}{\sqrt{۳}}$ kv/۱۰۰V	$\frac{۳۳}{\sqrt{۳}}$ kv/۱۰۰V
U	۳۳kv		

الف) ضرایب تنظیم جریانی و زمانی رله‌های جریان زیاد و امپدانس ناحیه ۱ رله دیستانس مستقر در B و نواحی ۱ و ۲ رله مستقر در C را به همراه زمان عملکرد آنها بیابید؟ (فرض کنید تغذیه‌های x، y وجود ندارند و تغییر سطح اتصال کوتاه را در فیدرها خطی فرض کنید.) رله دیستانس مهو دارای زاویه ۷۰ درجه و امپدانس خطوط نیز دارای زاویه ۷۰ درجه هستند.

ب) چنانچه تغذیه‌های x، y، z وجود داشته و برای هر خطا در این دو فیدر، سهم یکسانی داشته باشند و نیز با قطع شدن مسیر تغذیه x، همان سهم قبلی از طریق شین C وارد شود، هماهنگی رله جریان زیاد واقع در c را با رله دیستانس مستقر در B بیابید؟

حل قسمت اول به عنوان تمرین واگذار می شود. فرض کنیم پس از حل جوابها به صورت زیر باشند:

$TSM_B = ۰/۱$

$TSM_C = ۰/۳$

$I_{bB} = ۱۲۵\,A$

$I_{bC} = ۱۷۵\,A$

حال قسمت دوم حل می‌شود:

$$\begin{cases} Z_A = \frac{u^۲}{S_A} \\ Z_B = \frac{u^۲}{S_B} \end{cases} \Rightarrow Z_A - Z_B = \frac{u^۲}{S_A} - \frac{u^۲}{S_B} = \frac{u^۲(S_B - S_A)}{S_B S_A}$$

$$\Rightarrow Z_{AB} = \frac{(۳۳)^۲(۵۲-۴۰)}{۵۲\times۴۰} = ۶/۲۸\Omega$$

$$Z_۱ = ۰/۸ Z_{AB} = ۵\Omega$$

حال سطح اتصال کوتاه در نقطه انتهایی ناحیه اول رله دیستانس مستقر در B را محاسبه می‌کنیم:

$$S_F = 0/8 \times 40 + 0/2 \times 52 = 42/4\ MVA$$

طبق مطالب ذکر شده در بخش قبل، بدترین حالت برای هماهنگی رله دیستانس مستقر در B و رله جریان زیاد مستقر در C این است که مسیر تغذیه x قطع باشد، تا کل جریان اتصال کوتاه از رله اصلی بگذرد.

$$\mathrm{I_F} = \frac{۴۲/۴ \times ۱۰^{۳}}{\sqrt{۳} \times ۳۳} = ۷۴۲\ \mathrm{A}$$

زمان عملکرد رله جریان زیاد به ازای جریان گذرنده از آن برابر است با:

$$t_c = \frac{0/14 \times 0/3}{(\frac{742}{125})^{0/02} - 1} = 1/158\,s$$

از طرفی می‌دانیم زمان عملکرد رله دیستانس در ناحیه ۱ برابر s ۰،۳ تنظیم می‌شود. سپس اختلاف زمان عملکرد رله اصلی و پشتیبان برابر است با:

$$\Delta t = t_{OC} - t_{Dist.} = 1/158 - 0/3 > 0/3$$

چون هماهنگی بین دو رله برقرار است، نیازی به تغییر TSM رله پشتیبان نمی‌باشد.

مثال (۲): اگر تنظیمات رله های مثال قبل به صورت زیر باشند، هماهنگی رله جریان زیاد واقع در c را با رله دیستانس مستقر در B بررسی نمایید.

فرض کنیم در پایان حل قسمت اول پاسخها به صورت زیر باشند:

$$TSM_B = 0/1$$
$$TSM_C = 0/15$$
$$I_{bB} = 125\,A$$
$$I_{bC} = 175\,A$$

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

$$\mathrm{t_c} = \frac{۰/۱۴ \times ۰/۱۵}{(\frac{۷۴۲}{۱۲۵})^{۰/۰۲} - ۱} = ۰/۵۸\,\mathrm{s}$$

چون هماهنگی بین دو رله برقرار نیست، باید TSM رله پشتیبان را افزایش دهیم. با یک پله افزایش داریم:

$$TSM_C = ۰/۲$$

$$t_c = \frac{۰/۱۴ \times ۰/۲}{(\frac{۷۴۲}{۱۲۵})^{۰/۰۲} - ۱} = ۰/۷۷ s$$

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

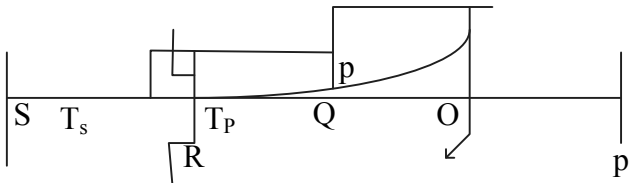
در این حالت نیز مانند حالت قبل دو عامل یعنی نقاط و شرایط بحرانی مورد نظر قرار می‌گیرد:

الف) نقطه یا نقاطی که باید شیب را در آنجاها در نظر گرفت و جریان‌های اتصال کوتاه را برای آن عیبها به دست آورد، عبارتند از انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس (Q) و نقطه ای روی شین دور دست رله اصلی (شین O).

به دلیل کوتاه بودن زمان قطع رله جریان زیاد و تفاوت بین زمان‌های قطع دو رله(جریان زیاد و دیستانس مندرج در شکل ۲) این تفاوت در حالت اتصال کوتاه در نقطه Q بیشتراست. نقطه Q به این دلیل انتخاب شده است که وقوع اتصال کوتاه درقسمت QO در مقایسه با نقطه Q تفاوت زمانی جداگانه ای خواهد داشت. زیرا زمان رله دیستانس مستقر در S از ناحیه ۲ به ناحیه ۳ افزایش می‌یابد و زمان قطع رله جریان زیاد هم روند افزایشی دارد. بنابراین با مراجعه به شکل (۲) در می‌یابیم که بدترین حالت به لحاظ هماهنگی رله‌ها در مقابل اتصال کوتاه بین نقاط Q و O وقتی است که اتصالی در خود نقطه Q روی دهد. حال ممکن است به ازای اتصال کوتاه در O میزان جریان برای اتصال کوتاه در Q (مندرج در شکل (۲)) کمتر یا بیشتر یا مساوی باشد. با توجه به این مسئله، 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. لذا هر دو نقطه Q و O نقاط بحرانی شناخته می‌شوند.

L

S



شکل۳-رله جریان زیاد به عنوان اصلی و رله دیستانس به جای پشتیبان

ب) حالتهای قطع و وصل شاخه‌های متصل به شین اصلی، نظر به اینکه زمان قطع ناحیه‌های ۲ و ۳ رله دیستانس ثابت می‌باشد، بحرانی ترین حالت وقتی است که زمان‌های قطع رله جریان زیاد در نقاط Q و O بیشترین مقدار را داشته باشند و آن هنگامی است که به ازاء اتصال کوتاه در این نقاط، جریانی که از رله R می‌گذرد، کم باشد.(البته تغییر نقطه ناحیه ۲ را نیز باید در نظر گرفت.) چون شرایط متفاوتی را برای اتصال کوتاه در نقاط Q و O می توان متصور شد، لذا بررسی جداگانه ای را در مورد این دو نقطه به شرح زیر انجام می‌دهیم:

ب-۱) اتصال کوتاه روی نقطه Q: در این شرایط تغییر جریان در شاخه RO باعث تغییر انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس مستقر در S می‌شود. پس علاوه بر تغییر مقدار جریان، تغییر نقطه Q(انتهای ناحیه۲)را نیز باید در نظر داشت. با توجه به این موضوع، دو حالت را در نظر می‌گیریم:

حالت اول

فرض کنید در R رله جریان زیاد و در S رله دیستانس مستقر باشد. وجود خط باعث خواهد شد که سهم جریان‌های جانبی که از طریق OQ(قسمت طرف شین اتصال کوتاه شده) عبور می‌کند،از طرف OQ بگذرد و گرچه کل جریان اتصال کوتاه به دلیل زیادتر شدن امپدانس معادل از حالت قبل کمتر است، 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 رله جریان زیاد به بیشترین مقدار برسد. که کاهش زمان قطع رله جریان زیاد را در شین خواهد داشت و تفاوت زمانی بین رله دیستانس و جریان زیاد زیادتر می‌شود، که بدین لحاظ این حالت بحرانی نیست. چون این جریان بر جابجایی انتهای

ناحیه ۲ رله دیستانس تاثیر دارد، ابتدا رابطه امپدانس ناحیه۲ (دیده شده توسط رله دیستانس مستقر در نقطهS) و با جریان I_P بدست می‌آوریم. این امپدانس برابر است با:

$$Z_2 = \frac{I_S Z_{SR} + I_R Z_{RQ}}{I_S} = Z_{SR} + \frac{I_R}{I_S} Z_{RQ} \qquad (۱-۳)$$

از رابطه فوق می‌توان گفت که چون امپدانس ناحیه ۲ رله دیستانس $(Z_۲)$ ثابت است و Z_{SR} امپدانس خط SR نیز مقدار ثابتی است، پس با افزایش I_R باید Z_{RQ} کاهش یابد، تا رابطه برقرار گردد و بدین سبب در شکل (۲)، نقطه Q به شین R نزدیکتر می‌گردد. این امر باعث کاهش زمان قطع رله جریان زیاد و افزایش فاصله زمانی بین دو رله گشته و شرایط را از حالت بحرانی دور می‌سازد. بنابراین نتیجه می‌گیریم که وصل بودن همه خطوط متصل به شین اصلی و قطع بودن کلید در انتهای دوردست خط اصلی، واجد شرایط مساعد برای بررسی هماهنگی بین دو رله جریان زیاد و دیستانس نیست.

حالت دوم

قطع بودن همه خطوط متصل به شین اصلی غیر از خطوط اصلی و پشتیبان و وصل بودن کلید روی خط اصلی واقع در شین دوردست. در این صورت کمترین جریان اتصال کوتاه از قسمت RQ خط اتصال کوتاه(شکل۲) می‌گذرد.

۳-۳) مختصری در خصوص روشهای هماهنگی

برای هماهنگی رله های جریان زیاد از سال ۱۹۶۴ تاکنون روشهای زیادی در مقالات مختلف پیشنهاد شده است. در ابتدا محاسبات مربوط به حفاظت سیستمهای قدرت توسط مهندسین و به صورت دستی صورت می‌گرفت. این روش 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 شد که روشهای معمولی که در ابتدا مورد استفاده قرار گرفتند از بین پاسخهای مختلف

هماهنگی جوابهای بهینه را تشخیص نمی دادند. بطور کلی مهمترین مراحل انجام عمل هماهنگی بهینه عناصر حفاظتی شبکه توزیع بصورت زیر می باشد:

۱- بدست آوردن مدل منحنی مشخصه عناصر حفاظتی

۲- بدست آوردن قیود هماهنگی

۳- تعیین تابع هدف

۴- تعیین روش بهینه سازی مناسب

در روشهای بهینه سازی اختلاف زمانی عملکرد عناصر اصلی و پشتیبان (Δt) بعنوان قیود در نظر گرفته می شوند و پاسخها با در نظر گرفتن تابع هدف و قیود بدست می آیند. پس از مدلسازی دقیق عناصر حفاظتی شبکه توزیع، باید قیود هماهنگی با توجه به ترتیب عملکرد عناصر بدست آید. این قیود برای ترکیب های مختلف رله ـ رله، فیوز ـ فیوز، رله ـ فیوز، رله ـ رکلوزر، رکلوزر ـ فیوز و رکلوزر ـ رکلوزر باید تعریف شود.

روشهای بهینه سازی به دو نوع کلی تقسیم می شوند:

۱- روشهای ریاضی

۲- روشهای هوشمند

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

در ابتدا این روشها offline بودند. یعنی در طول فرایند هماهنگی مهندس حفاظت تاثیری در فرایند هماهنگی نداشت[۸]. در مقالات دیگر این روشها توسعه پیدا کرد تا بتواند از تجربیات مهندس حفاظت در طول فرایند هماهنگی استفاده نماید[۹]. در تمام این روشها به دلیل نبود یک روند مشخص و ترتیب موثر برای هماهنگی مناسب از تکرار استفاده می‌شد. برای حل این مشکل یک روش ابتکاری برای پیدا کردن توالی مناسب در هماهنگی ارائه شد. در مرجع [۱۰] روشی ارائه شد که بر اساس آن قبل از عمل هماهنگی نقاط شروع هماهنگی و توالی رله ها بر اساس تئوری گراف تعیین شود. این

نقاط شروع هماهنگی رانقاط شکست(BP) می‌نامند. این روش توسعه پیدا کرد و روشهایی ارائه شد تا تعداد نقاط شکست می‌نیمم شود:

- تعیین نقاط شکست با استفاده از تئوری گراف [۱۱]
- تعیین نقاط شکست با استفاده از وابستگی رله های اصلی و پشتیبان به یکدیگر با توجه به شکل شبکه [۱۲]
- تعیین حداقل نقاط شکست با استفاده از تئوری گراف و کوچک کردن شبکه [۱۳]
- تعیین نقاط شکست با استفاده از سیستمهای خبره[۱۴]
- تعیین نقاط شکست با استفاده از تئوری گراف و تشخیص خطا به صورت بهنگام و اعمال سیگنالهای لازم به رله‌هائی که نزدیک ترین مکان را به خطا دارند[۱۵]

در مرحله اول نقاط شکست تعیین می‌شوند و سپس ماتریسهای توالی برای انجام عمل هماهنگی بدست می‌آیند سپس. با استفاده از ماتریس توالی (RSM)[۱] ترتیب تنظیم رله‌ها تعیین می‌شود. برای تنظیم یک رله باید مشخص شود که این رله پشتیبانی چه رله‌هایی می‌باشد. برای این کار مجموعهٔ رله‌های اصلی و پشتیبان که SSP[2] نامیده می‌شود استفاده می‌کنیم.

در مقالات دیگری که در این زمینه ارائه شده این روش بهبود داده شده و روشهای سیستماتیک برای تعیین BP و RSM و SSP ارائه شده است[۱۶]، [۱۷].

۳-۳-۱) روشهای هماهنگی بهینه

در مسائل بهینه‌سازی با یک یا چند تابع هدف روبرو هستیم که می‌خواهیم آنها را تحت شرایط و قیود حاکم بر مسأله بیشینه یا کمینه نماییم. مسأله 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 می‌باشد بیان مسأله هماهنگی به صورت یک مسأله بهینه‌سازی می‌باشد. هر مسأله بهینه‌سازی شامل دو قسمت مهم می‌باشد که عبارتند از :

1- Relative Sequence Matrix
2- Set of Selection Pairs

۱- تابع هدف که بایستی کمینه یا بیشینه آن بدست آید.
۲- مجموعه محدودیتهایی متغیرهای مسأله که بایستی این قیود و محدودیتها را ارضاء نمایند.

بنابراین به منظور استفاده از تکنیک بهینه‌سازی بایستی یک تابع هدف مناسب که شامل خصوصیات مورد نظر برای سیستم حفاظتی باشد تعریف کرد و سپس محدودیتهای حاکم بر متغیرهای مسأله را بیان کرد و در نهایت مسأله بهینه را حل نمود که با توجه به نوع مسأله روشهای حل متفاوتی را باید در پیش گرفت.

استفاده از تکنیک بهینه‌سازی در تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد در مقاله‌ای در سال ۱۹۸۸ توسط آقای A.Urdaneta وهمکارانش ارائه شد[۱۸]. از آن زمان تاکنون مقالات زیادی در زمینه هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد ارائه شده است. تفاوت عمده این روشها در موارد زیر می‌باشد:

۱- روش بهینه سازی
۲- تابع هدف
۳- نوع شبکه (شعاعی یا بهم پیوسته)
۴- مشخصه خطی یا غیر خطی نسبت به TSM
۵- TSM پیوسته یا گسسته
۶- تنظیم جریان Pickup

۳-۳-۲) مزیت روشهای هماهنگی بهینه

ایده هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد از آنجا نشأت گرفت که برای رله‌های یک سیستم قدرت امکان بدست آوردن تنظیمهای مختلفی وجود دارد و بالطبع این سوال مطرح می‌شود که از بین دسته جوابهای مختلفی که برای تنظیم رله‌ها وجود دارد، انتخاب کدامیک بهتر است؟ در حقیقت چند مجموعه جواب برای مسئله وجود دارد که بایستی یک مقایسه بین آنها انجام شود و مناسبترین آنها انتخاب گردد. از این رو هماهنگی رله‌های جریان زیاد با استفاده از روشهای بهینه‌سازی ارائه شد.

دراین روش نیاز به تعیین نقاط شکست نیست. همچنین این روش، هماهنگی بهینه رله‌ها را بدون توجه به نوع و شکل شبکه انجام می‌دهد.

مزیت دیگر این روش که در روشهای معمولی وجود ندارد، امکان وارد کردن جریان تنظیم در محاسبات هماهنگی جهت دست یافتن به جوابهای بهتر می باشد. این دلایل باعث شد که روش هماهنگی بهینه بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

برای هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد، ابتدا روشهای ریاضی مطرح شدند. روشهای ریاضی بهینه سازی به دو دسته خطی و غیر خطی تقسیم می شوند. روشهای ریاضی غیر خطی از پیچیدگی بیشتری نسبت به روشهای ریاضی خطی برخوردارند و در آنها تابع هدف و معادلات قیود سیستم به صورت غیرخطی هستند. به همین خاطر در مقالات از روشهای خطی بهینه سازی برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد استفاده شده است که عبارتند از:

۱- روش سیمپلکس[۱۱]
۲- روش سیمپلکس دو مرحله ای[۱۸]
۳- روش سیمپلکس دوگان[۱۲]
۴- روش بهینه‌سازی خطی با حذف تابع هدف[۱۹]

به خاطر پیچیدگی روشهای برنامه ریزی بهینه غیر خطی، هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان در مقالات معمولا با روشهای برنامه ریزی خطی انجام گرفته است. برای این منظور مسئله تا حد امکان باید خطی و ساده گردد. در حالیکه مدل‌های دقیق برای مدلسازی رله‌های جریان زیاد بصورت غیر خطی می باشند.

همچنین جریان تنظیم رله‌ها رابطه‌ای غیر خطی با معادله مشخصه رله‌ها دارد که در صورت وارد کردن در محاسبات به عنوان پارامتر هماهنگی مسئله غیرخطی خواهد شد. پس باید به دنبال روشی باشیم که مسائل بهینه‌سازی غیرخطی را بتواند به راحتی حل کند.

مشکل دیگر در مورد روشهای ریاضی این است که برای مسائلی که دارای چند نقطه می‌نیمم باشند جواب درستی نمی‌دهند. چون در مینیمم های محلی گیر می‌افتند. به عبارت دیگر پاسخ آنها به حدس اولیه بستگی دارد. این مشکلات باعث شده است که

از روشهای ریاضی نتوان بعنوان روش جامع در حل مسئله هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد استفاده کرد.

۳-۳-۳) الگوریتم سیمپلکس

صورت عمومی یک مسأله بهینه‌سازی خطی در شکل ماتریسی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} &\text{Min } C^T X \\ &\text{s.t.}: aX = b \\ &X \geq ۰ \end{aligned} \qquad (۲-۳)$$

که در آن:

(۳-۳)

$$X^T = \begin{bmatrix} x_۱ & x_۲ & ..... & x_{n-۱} & x_n \end{bmatrix}, \quad b^{Tt} = \begin{bmatrix} b_۱ & b_۲ & ..... & b_{n-۱} & b_n \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} a_{۱۱} & a_{۱۲} & .... & a_{۱n-۱} & a_{۱n} \\ a_{۲۱} & a_{۲۲} & .... & a_{۲n-۱} & a_{۲n} \\ .... & .... & .... & .... & .... \\ .... & .... & .... & .... & .... \\ a_{m۱} & a_{m۲} & .... & a_{mn-۱} & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad C^T = \begin{bmatrix} c_۱ & c_۲ & .... & c_{n-۱} & c_n \end{bmatrix}$$

نقطه شروع الگوریتم سیمپلکس همواره مجموعه‌ای از معادلات است که شامل تابع هدف و قیدهای مساوی در مسأله به شکل متعارف می‌باشند. اگر معادلات رابطه (۳-۳) رابخواهیم از روش حذف گوس حل نماییم، بایستی در هر مرحله یک عنصر لولا[1] انتخاب نماییم، بطوری که ضریب متغیر متناظر با آن را یک نماییم و ضریب آن متغیر را در بقیه معادلات به کمک عملیات جبری صفر نماییم. بنابراین هدف الگوریتم سیمپلکس یافتن بردار $X \geq ۰$ به گونه‌ای است که تابع $f(X)$ را کمینه و در معادلات زیرصدق کند.

1- Pivot

(۳-۴)

$$\begin{aligned} 1x_1 + 0x_2 + \dots + 0x_m + a''_{1,m+1}x_{m+1} + \dots + a''_{1n}x_n &= b''_1 \\ 0x_1 + 1x_2 + \dots + 0x_m + a''_{2,m+1}x_{m+1} + \dots + a''_{2n}x_n &= b''_2 \\ 0x_1 + 0x_2 + \dots + 1x_m + a''_{m,m+1}x_{m+1} + \dots + a''_{mn}x_n &= b''_m \\ 0x_1 + 0x_2 + \dots + 0x_m - f + c''_{m+1}x_{m+1} + \dots + c''_{m+n}x_n &= -f''_0 \end{aligned}$$

در این صورت اگر داشته باشیم

$$b''_i \geq 0 \qquad i = 1, 2, \dots, m \qquad (۳-۵)$$

جواب پایه بدست آمده امکان پذیر بوده و خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} x_i &= b''_i & i &= 1, 2, \dots, m \\ x_i &= 0 & i &= m+1, m+2, \dots, n \\ f &= f''_0 \end{aligned} \qquad (۳-۶)$$

در این مرحله اگر تمام ضرایب $c''_j \geq 0$ $(j = m+1, m+2, ..., n)$ مثبت باشند، جواب بدست آمده جواب بهینه امکان‌پذیر خواهد بود. ولی اگر دست‌کم یک c''_j منفی باشد، می‌توان مقدار f را با مثبت کردن x_j کاهش داد. اگر بیش از یک c''_j منفی وجود داشته باشد ، زیرنویس s مربوط به متغیر ناپایه x_s که باید وارد پایه شود به صورت زیر انتخاب می‌شود

$$c''_s = \min(c''_j < 0) \qquad (۳-۷)$$

حال باید عنصری از مجموعه متغیرهای پایه وارد متغیرهای غیر پایه شود. این عنصر را x_r می‌نامیم و به صورتی انتخاب می‌گردد که:

$$\frac{b''_r}{a''_{rs}} = \min\left(\frac{b''_i}{a''_{is}}\right) \qquad (۳-۸)$$

یعنی بایستی عنصر a''_{rs} را به عنوان عنصر لولا انتخاب کنیم و به مرحله اول الگوریتم برگردیم. این مراحل تا مثبت شدن تمامی ضرایب c''_j ادامه می‌دهیم. الگوریتم سیمپلکس برای مسائلی که یک جواب امکان پذیر اولیه داشته باشند قابل استفاده می‌باشد. با توجه به رابطه (۸)، نامعادلاتی که در مسأله هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد بدست می‌آید به صورت بزرگتر یا مساوی است.

بنابراین متغیرهای جبران را باید با علامت (ـ) وارد نامعادلات نماییم. لذا اگر بخواهیم در مرحله اول TSM ها را صفر قرار دهیم در آن صورت مقدار متغیرهای جبران منفی خواهند شد که با فرضِ مسأله، که مثبت بودن تمام متغیرها است، در تضاد است. برای اینگونه مسائل از روش سیمپلکس دوگان[1] استفاده می‌کنیم.

۳-۳-۴) الگوریتم سیمپلکس دو مرحله ای

در صورتیکه پاسخ اولیه‌ای برای شروع الگوریتم سیمپلکس وجود نداشته باشد، می‌توان از روش سیمپلکس دو مرحله‌ای استفاده نمود. در این روش متغیرهای مثبتی بنام متغیرهای هوشمند به تعداد متغیرهای پایه و غیر پایه قبلی اضافه می‌کنیم وتابع هدف جدیدی را که برابر با مجموع متغیرهای اضافه شده است را تعریف می‌نمائیم. سپس الگوریتم سیمپلکس را اجرا می‌کنیم. در صورتیکه مقدار مینیمم تابع هدف جدید برابر با صفر شود در اینصورت مقادیری که در این مرحله بدست می‌آیند همان مقادیر پاسخهای اولیه می‌باشند و می‌توان از آنها برای تعیین پاسخ بهینه در مرحله دوم استفاده نمود، در غیر اینصورت مسئله بهینه سازی دارای پاسخ نمی‌باشد[۱۶].

۳-۳-۵) الگوریتم سیمپلکس دوگان

برای هر مسأله بهینه‌سازی خطی یک مسأله دوگان مربوط وجود دارد. مسأله دوگان به راحتی از روی مسأله اولیه بدست می‌آید. مسائل دوگان و اولیه دارای ارتباط نزدیک و جالبی هستند اگر جواب یکی بهینه باشد جواب بهینه دیگری نیز قابل تعیین خواهد بود. برای هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد در شبکه‌های قدرت حل مسائل دوگان بهینه‌سازی خطی بسیار راحتر است زیرا این مسأله دارای جواب شدنی اولیه می‌باشد. در این پروژه برای بدست آوردن TSM های رله‌های اضافه جریان از روش سیمپلکس دوگان استفاده کرده‌ایم.

1- Dual Simplex

برای حل مسأله بهینه‌سازی به کمک الگوریتم سیمپلکس دوگان، ابتدا همه نامساویها را در یک منفی ضرب می‌کنیم تا هم جهت علامت نامساوی عوض شود و هم درایه‌های بردار b منفی شوند. حال سطر r را به عنوان سطر لولا به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که:

$$b_r = \min(b_i < 0) \qquad (۹-۳)$$

ستون s را به عنوان ستون لولا به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که:

$$\frac{c_s}{-a_{rs}} = \min\left(\frac{c_j}{-a_{rj}}\right) \qquad (۱۰-۳)$$

اگر همه $a_{rj} \geq 0$، اولیه دارای جواب امکان‌پذیر (بهینه) نیست عملیات لولا را بر روی a_{rs} انجام می‌دهیم. حال دوباره بهینه بودن جواب این مرحله را آزمایش می‌کنیم .اگر همه $b_i \geq 0$ جواب فعلی بهینه خواهد بود و در غیر اینصورت بایستی دوباره عملیات را تکرار نماییم.

۳-۳-۶) الگوریتم بهینه سازی خطی با حذف تابع هدف

در مرجع [۲۰]روشی ارائه شده است که تابع هدف در هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد حذف شده است. بر اساس تئوری بهینه‌سازی خطی در روش سیمپلکس، پاسخی که در قیود مسأله بهینه‌سازی صدق کند و تمام ضرایب تابع هدف مثبت باشند، همان پاسخ بهینه می‌باشد.

به عنوان مثال در صورتیکه تابع هدف بصورت رابطه $a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_nx_n$ در نظر گرفته شود که در آن تمام ضرایب $a_1 \ldots a_n$ مثبت می‌باشند، در اینصورت مقدار تابع هدف هنگامی مینیمم است که مقادیر $x_1 \ldots x_n$ دارای کوچکترین مقدار باشند و مشخص است که ضرایب مثبت $a_1 \ldots a_n$ اثری نخواهند داشت. بنابراین اگر بتوان روشی یافت که کوچکترین مقدار $x_1 \ldots x_n$ را از روی قیود مسأله هماهنگی بهینه بدست آورد، می‌توان بدون در نظر گرفتن تابع هدف جوابهای بهینه را محاسبه نمود.

با توجه به مطالب ذکر شده مراحل روش ارائه شده برای تعیین کوچکترین مقادیر تنظیم زمانی رله‌ها ، به شرح ذیل است:

ابتدا ماتریس ضرایبB و A را با توجه به روابط بدست می‌آوریم.

(۱۱-۳)

$$\begin{bmatrix} ۱ & ۰ & ۰ & ۰\ldots\ldots\ldots۰ \\ ۰ & ۱ & ۰ & ۰\ldots\ldots\ldots۰ \\ ۰ & ۰ & ۱ & ۰\ldots\ldots\ldots۰ \\ .. & .. & .. & \ldots\ldots\ldots\ldots \\ ۰ & ۰ & ۰ & ۰\ldots\ldots\ldots۱ \\ - & - & - & \text{————————} \\ & & A_{IJ} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_۱ \\ X_۲ \\ \vdots \\ \vdots \\ X_m \\ \text{---} \\ X_۱ \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} TSM_{min} \quad \text{یا} \quad t_{z_{min}} \\ TSM_{min} \quad \text{یا} \quad t_{z_{min}} \\ \vdots \\ TSM_{min} \quad \text{یا} \quad t_{z_{min}} \\ -- \\ CTI' \\ \vdots \\ CTI' \end{bmatrix}$$

در رابطه (۱۲-۳)، X_i همان متغیرهای مسأله بهینه‌سازی است که در واقع همان TSM یا $t_{z_۲}$ مربوط به رله i ام می‌باشد.

برای سادگی می‌توان رابطه (۱۱-۳) را به صورت زیر نشان داد.

$$A^* X \geq B \qquad (۱۲-۳)$$

رابطه (۱۱-۳) نشان میدهد که ماتریس A از دو قسمت تشکیل یافته است. قسمت بالایی این ماتریس یک ماتریس واحد است و مربوط به قیودی می‌شود که در رابطه با حداقل مقدار تنظیم زمانی رله‌ها می‌باشد. قسمت پایینی ماتریس A با ماتریس A_{ij}

نشان داده شده است. در هر ردیف این ماتریس تنها دو مقدار یکی مثبت و دیگری منفی وجود دارد که مقادیر آنها با انجام اتصال کوتاه در نقاط بحرانی شبکه، بدست می‌آید.

در روش پیشنهادی از محدودیت حد بالایی تنظیمهای زمانی رله‌ها صرف نظر می‌شود. زیرا الگوریتم پیشنهادی بگونه‌ای است که از کمترین مقدار تنظیمهای زمانی مربوط به رله‌ها جهت یافتن جوابها شروع می‌کند و در صورتیکه مقدار پاسخ بدست آمده برای یک رله بیشتر از مقدار حد بالایی مربوطه باشد، در این صورت امکان هماهنگی بهینه وجود ندارد و لازم است توسط مهندس حفاظت تغییراتی در شبکه صورت گیرد.

در نظر گرفتن هر تغییری در شبکه باعث ایجاد یک سری شرایط و قیود جدید در سیستم می‌شود که لازم است تمامی آنها در ماتریس A_{ij} در نظر گرفته شوند. به عبارت دیگر در هر ردیف یکی از شرایط و حالتهای پشتیبانی رله‌ها از یکدیگر قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه در هر سطر ماتریس A_{ij} فقط دو مقدار یکی مثبت و دیگری منفی قرار میگیرد، میتوان برای راحتی کار قسمت پایینی ماتریس A را بصورت رابطه (۳-۱۳) نشان داد.

$$A_1 * X - A_2 * X \geq CTI \qquad (۱۳-۳)$$

ماتریس A_1 در برگیرنده قسمت مثبت ماتریس A_{ij} و ماتریس A_2 قسمت منفی ماتریس A_{ij} را نشان می‌دهد. در صورتیکه کوچکترین مقدار X که همان TSM_{min} یا $t_{z_{min}}$ است در رابطه (۳-۱۳) صدق کند، می‌توان گفت که کوچکترین مقادیر X جوابهای بهینه می‌باشند و در غیر اینصورت لازم است که مقدارهای جدیدی برای آن تعیین گردد.

۲) برای این کار، توسط عملیات سطری ، مضرب مثبتی از سطرهای ماتریس A به نحوی به یکدیگر اضافه می‌شوند تا اعداد منفی در هر ستون صفر شوند و هر ستون فقط شامل ضرایب مثبت گردد.

با توجه به اینکه هر سطر ماتریسA حداکثر شامل دو عدد یکی مثبت و یکی منفی می‌باشد، بنابراین بعد از اتمام مرحله ۲ در هر سطر ماتریسA فقط یک عدد مثبت وجود خواهد داشت. به عبارت دیگر هر سطر ماتریس نشان دهنده نامعادله‌ای است که بر حسب یک متغیر ماتریس X است. بنابراین یک نامعادله جدید بصورت رابطه (۳-۱۴) می‌باشد.

$$A_1.X \geq CTI + A_2.TSM_{min} \qquad (۱۴-۳)$$

بنابراین می‌توان گفت کـه نتیجـه عملیـات سـطری روی مـاتریس A و B بـه رابطـه (۳-۱۴) منجر می‌گردد، زیرا می‌توان رابطه (۳-۱۰) را با توجه به مسأله بهینه‌سـازی بـه صورت دو رابطه (۳-۱۳) و (۳-۱۵) نشان داد.

$$I.X \geq X_{min} \qquad (۱۵-۳)$$

با ضرب رابطه (۳-۱۴) در ماتریس A۲ و جمع آن با رابطه (۳-۱۵)، می‌توان به رابطه (۳-۱۳) دست یافت. نکته‌ای کـه لازم اسـت بـه آن دقـت شـود ایـن اسـت کـه معمـولاً ماتریـسهای A_1, A_2 مربعـی نمـی‌باشـند و در نتیجـه وارون پـذیر نیـستند. زیـرا در هماهنگی بهینه سیستمهای قدرت تعداد قیود از تعداد متغیرها بیشتر می‌باشـد کـه ایـن امر ناشی از این است که برای هر جفت رله اصلی و پشتیبان چنـدین قیـد بـا توجـه بـه حالتهای مختلف توپولوژی شبکه در نظر گرفته می‌شود. بنابراین نمی‌تـوان بـرای تعیـین مقادیر X در رابطه (۱۳) از وارون ماتریس A_1 استفاده نمود.

۳) برای تعیین مقادیر X ، هر سطر رابطه (۳-۱۳) بصورت یک نامعادلـه جداگانـه در نظر گرفته می‌شود. با حل نامعادله مربوط به هر سطر، مـاتریسX را بدسـت مـی‌آوریـم. برای بعضی از متغیرهای ماتریس X چندین جواب بدست می‌آیـد کـه از بـین جوابهـای بدست آمده با توجه به نوع معادله قیود که بزرگتر یا مساوی است، مقدار بزرگترین پاسخ بدست آمده برای هر X_i را انتخاب می‌کنیم.

۴) پاسخهای بدست آمده از مرحله (۳) را در نامعادله (۳-۱۱) امتحان مـی‌کنـیم. در صورت برقراری تمام روابط نامعادله (۳-۱۱) پاسخهای بهینه بدست آمده‌اند و به مرحلـه (۶) می‌رویم و در غیر اینصورت به مرحله بعد می‌رویم.

۵) با توجه به رابطه (۳-۱۱)، ماتریسB از دو قسمت تشکیل شده است. قـسمت اول مربوط به حداقل مقدار TSM_{min} یا $t_{z_{min}}$ و قـسمت دوم مربـوط بـه مقـادیر CTI'هـا می‌باشد.

جوابهـای بدسـت آمـده از مرحلـه (۴) را جـایگزین مقـادیر مربـوط بـه قـسمت اول ماتریسB می‌کنیم و قسمت دوم را تغییـری نمـی‌دهـیم. بـدین ترتیـب مقـدار حـداقل TSM_{min} یا $t_{z_{min}}$ را افزایش می‌دهیم و به مرحله (۲) می‌رویم. به عبارت دیگـر بـا هـر

بار تکرار، مقدار حداقل تنظیمهای زمانی را افزایش می‌دهیم. البته تنها آن تنظیم‌های زمانی افزایش می‌یابند که در نامعادلات قیود صدق نمی‌کنند.

۶) در صورت برقراری رابطه پاسخهای بهینه تعیین شده است.

این روش نسبت به روشهای دیگر ساده تر بوده و نیاز به تکرارهای کمتری برای همگرا شدن دارد.

۳-۳-۷) محدودیتهای روشهای بهینه سازی

به خاطر پیچیدگی روشهای برنامه ریزی بهینه غیر خطی هماهنگی بهینه رله های اضافه جریان در مقالات معمولا با روشهای برنامه ریزی خطی انجام گرفته است. برای این منظور مسئله تا حد امکان باید خطی و ساده گردد. در حالیکه مدل‌های دقیق برای مدلسازی رله‌های جریان زیاد بصورت غیر خطی می‌باشند.

همچنین جریان تنظیم رله‌ها رابطه‌ای غیر خطی با معادله مشخصه رله‌ها دارد که در صورت وارد کردن در محاسبات به عنوان پارامتر هماهنگی مسئله غیرخطی خواهد شد. پس باید به دنبال روشی باشیم که مسائل بهینه‌سازی غیرخطی را بتواند به راحتی حل کند.

مشکل دیگر در مورد روشهای ریاضی این است که برای مسائلی که دارای چند نقطه می‌نیمم باشند جواب درستی نمی‌دهند چون در مینیمم های محلی گیر می‌افتند به عبارت دیگر پاسخ آنها به حدس اولیه بستگی دارد. این مشکلات باعث شده است که از روشهای ریاضی نتوان بعنوان روش جامع در حل مسئله هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد استفاده کرد.

۳-۳-۸) روشهای بهینه‌سازی هوشمند

با توجه به اینکه روشهای ریاضی برای حل مسائل بهینه‌سازی همیشه دارای محدودیتهایی می‌باشند، روشهای هوش مصنوعی در سالهای اخیر برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد استفاده شده است. این روشها با افزایش سرعت پردازنده‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

الگوریتم ژنتیک و الگوریتمهای تکاملی از روشهای بهینه‌سازی هوشمند هستند که برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد استفاده شده‌اند. در سال ۱۹۹۷ روش هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد بوسیله الگوریتم ژنتیک توسط SO.C.W و همکارانش ارائه شد[۲۳]. مقالات دیگری توسط همین افراد در مورد استفاده از الگوریتم تکاملی در هماهنگی رله های جریان زیاد در سالهای اخیر ارائه شده است[۲۴]. این روشها مشکلات ذکر شده در مورد روشهای هماهنگی بهینه بوسیله روشهای ریاضی را ندارند. زیرا قابلیت حل مسائل غیرخطی را دارند. با استفاده از این روشها می‌توان مدلهای دقیق و غیرخطی نسبت به TSM برای رله‌ها در نظر گرفت. همچنین جریان شروع (PICKUP) را می‌توان بطور مناسب در محاسبات هماهنگی وارد کرد. برخلاف روشهای ریاضی این روشها در مینیممهای محلی گیر نمی‌افتند 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 پردازنده‌ها در آینده قابل حل خواهد بود.

۳-۴) خلاصه مطالب

هماهنگی رله دیستانس به صورت رله اصلی و رله جریان زیاد به جای پشتیبان:

دو نقطه بحرانی برای تحلیل هماهنگی وجود دارد.

الف- انتهای ناحیه ۱ رله دیستانس

ب- ابتدای ناحیه ۳ رله دیستانس

شرایط بحرانی برای تحلیل نیز عبارتست از قطع همه خطوط وصل به شین اصلی، غیر از خطوطی که رله‌های پشتیبان و اصلی روی آنها قرار دارد و قطع کلید انتهای شین طرف دیگر خط اصلی.

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 - نقطه ای روی شین دور دست رله جریان زیاد اصلی.

شرایط بحرانی، قطع بودن همه خطوط متصل به شین اصلی غیر از خطـوط اصـلی و پشتیبان و وصل بودن کلید روی خط اصلی واقع در شین دوردست می‌باشد.

میزان تغییر نقطه انتهای ناحیه ۲ رله دیستانس پشتیبان در اثر تغییر جریـان ناشـی از قطع و وصل خطوط وصل به شینه اصلی را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$Z_2 = \frac{I_S Z_{SR} + I_R Z_{RQ}}{I_S} = Z_{SR} + \frac{I_R}{I_S} Z_{RQ}$$

فرم استاندارد روش سیمپلکس به صورت زیر است:

$$\text{Min } C^T X$$
$$\text{s.t.} : aX = b$$
$$X \geq ۰$$

که در آن:

$$X^T = \begin{bmatrix} x_۱ & x_۲ & ..... & x_{n-۱} & x_n \end{bmatrix} \quad , \quad b^{Tt} = \begin{bmatrix} b_۱ & b_۲ & ..... & b_{n-۱} & b_n \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} a_{۱۱} & a_{۱۲} & .... & a_{۱n-۱} & a_{۱n} \\ a_{۲۱} & a_{۲۲} & .... & a_{۲n-۱} & a_{۲n} \\ .... & .... & .... & .... & .... \\ .... & .... & .... & .... & .... \\ a_{m۱} & a_{m۲} & .... & a_{mn-۱} & a_{mn} \end{bmatrix} \quad , \quad C^T = \begin{bmatrix} c_۱ & c_۲ & .... & c_{n-۱} & c_n \end{bmatrix}$$

اگر همه $c''_j \geq 0 \quad (j = m+1, m+2, ..., n)$ مثبت باشند، جواب، بهینه خواهد بود. ولی اگر یک c''_j منفی باشد، می‌توان مقدار f را با مثبت کردن x_i کاهش داد. اگر بیش از یک c''_j منفی باشد، زیرنویس s مربوط به متغیر ناپایه x_s که بایـد وارد پایـه شـود بـه صورت زیر انتخاب می‌شود:

$$c''_s = \min(c''_j < ۰)$$

حال باید عنصری از مجموعه متغیرهای پایه وارد متغیرهای غیر پایه شود. این عنصر را x_r می‌نامیم و به صورتی انتخاب می‌گردد که:

$$\frac{b''_r}{a''_{rs}} = \min\left(\frac{b''_i}{a''_{is}}\right)$$

یعنی بایستی عنصر a''_{rs} را به عنوان عنصر لولا انتخاب کنیم و به مرحله اول الگوریتم برگردیم.

در الگوریتم سیمپلکس دوگان، همه نامساویها در یک منفی ضرب می‌شود تا جهت علامت نامساوی عوض شده و درایه‌های بردار b منفی شوند. حال سطر r به عنوان سطر لولا به گونه‌ای انتخاب می‌شود که:

$$b_r = \min(b_i < ۰)$$

ستون s به عنوان ستون لولا انتخاب می‌شود تا:

$$\frac{c_s}{-a_{rs}} = \min\left(\frac{c_j}{-a_{rj}}\right) \quad , \quad a_{rj} > ۰$$

اگر همه $a_{ij} > ۰$، اولیه دارای جواب امکان‌پذیر (بهینه) نیست. لذا عملیات لولا را بر روی a_{rs} انجام می‌دهیم. حال دوباره بهینه بودن جواب این مرحله را آزمایش می‌کنیم . اگر همه $b_i \geq ۰$ جواب فعلی بهینه است. در غیر اینصورت عملیات باید مجددا تکرار گردد.

۳-۵) مراجع

[۱] پایان نامه کارشناسی ارشد، رضا محمدی- دانشگاه صنعتی امیر کبیر- اردیبهشت ماه ۱۳۸۶.

[2] V.V. Bapesara and K.S. Rao," Computer Aided Coordination of Directional Relays: Determination of Break Point", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 2, pp.545-548, Appril. 1988.

[3] L. Jenkins, H.P. Khincha, S. Shivakumar and P.K. Dash," An Application of Functional Dependencies to the Analysis of Protection Schemes", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 1, pp.77-83, July. 1992.

[4] V.C. Prasad, K.S. Prakasa Rao, A. Subba Rao," Coordination of Directional relays wihout generating all circuit", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 6, No. 2, pp. 584-590, April. 1991.

[5] K. Kawahara, H. sasaki and H. Sugihara," An Application of Rule Based System to the Coordination of Directional Overcurrent Relays", Development in Power System Protection, IEE Conference, No. 434, pp. 58-61, March 1997.

[6] A. R. Abdelaziz and A. Hzawawi, "A New Computer-Based Relaying Technique for Power System Protection", Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 2, pp. 684-686, IEEE 2001.

[7] Ramaswami R. and Mc-Guire P. F., "Integrated Coordination and Short Circuit Analysis for System Protection", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.-7, No.-3, pp. 1112-1119, July 1992.

[8] Ramaswami R., Damborg M. J. and Venkata S. S., "Coordination of Directional Overcurrent Relays in Transmission Systems - A Subsystem Approach", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.-5, No.-1, pp. 64-71, January 1990.

[9] A.Urdaneta, R.Nadira, I.Jimenez, "Optimal Coordination of Directional Over current Relays in Interconnected Power Systems", IEEE Transaction on Power Delivery, vol.3, no.3, July 1988.

[10] Braga A. S. and Saraiva J. T., "Co-ordination of Directional Overcurrent Relays in Meshed Networks using Simplex Method", Proceedings, IEEE MELECON Conference, Vol.-3, pp. 1535-1538, 1996.

[11] D. Bertsimas and J. N. Tsitsiklis, "Introduction to Linear Optimization", Althena scientific, Belmont, Massachusetts, first edition, 1997.

[12] Abyaneh H. A. and Keyhani R., "Optimal Coordination of Overcurrent Relays in Power System by Dual Simplex Method", Proceedings, AUPEC Conference, Perth, Australia, Vol.-3, pp. 440-445, 1995.

[13] Abyaneh H. A., Al-Dabbagh M., Karegar H. K., Sadeghi S. H. H. and 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.

[14] So C. W., Li K. K., Lai K. T. and Fung K. Y., "Application of Genetic Algorithm for Overcurrent Relay Coordination," IEE Proceedings, 6th International Conference, Developments in Power System Protection, Nottingham, U.K, pp. 66–69, March 1997.

[15] 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.

[16] David E. Golldberg, ″Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning ″Addison-Wesly Pub.1989.

[17] H. Askarian Abyaneh, "Optimal coordination of overcurrent relays in power system by dual simplex method", AUPEC Conf. Australia, 1995.

[18] R. Keihani, H. Askarian Abyaneh, "optimal co- ordination of O/C relays by dual simplex method", ICEE95 Conf. Iran, 1995.

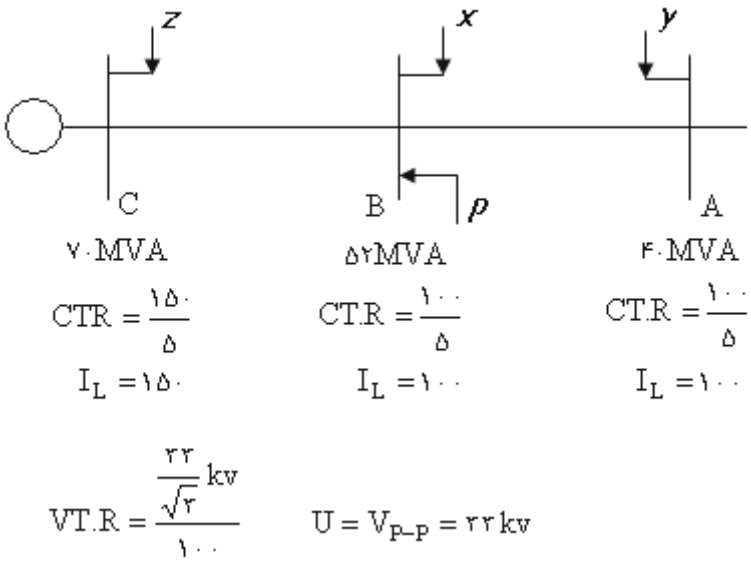
[19] H. Askarian Abyaneh, H. Kazemi, A. Zahedi "A New Approach to Reduce constraints of the optimal coordination ", ICEE Conf. Iran, 1995.

[۲۰] متین مشکین، حسین عسکریان ابیانه، حسین کاظمی کارگر، ″هماهنگی بهینه رله‌های دیستانس و اضافه جریان در شبکه‌های بهم پیوسته″، بیستمین کنفرانس بین المللی برق PSC2005 ، ایران، آبان ۱۳۸۴.

۳-۶) تمرینها

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

ضرایب تنظیم زمانی و جریان رله‌های جریان زیاد و نیز ناحیه اول رله دیستانس مستقر در B و ناحیه اول و دوم رله مستقر در C را بیابید؟ (با فرض اینکه در مرحله اول z,y,x نبوده و تغییر مگاولت آمپر روی هر خط خطی فرض شود).

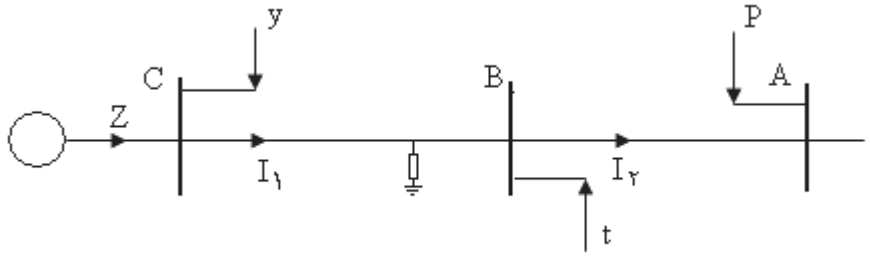


۲) الف) در مسئله قبل چنانچه z, y, x وجود داشته باشد و z, y,x برای هر خطا سهم یکسان داشته باشند و با قطع x همان جریان قبلی از طریق شین C وارد شود، هماهنگی رله جریان زیاد واقع در C را با رله دیستانس واقع در B بیابید؟

ب) چنانچه تغذیه P هم به مثال اضافه شود و سهم همه جریان‌ها برابر باشد و پس از قطع x , p همه جریان‌های مربوط به همان اندازه وارد شین C شود، هماهنگی رله جریان زیاد با دیستانس را بیابید؟

ج) چنانچه جریان‌های x , p برابر و هر کدام نصف x, z باشند، مثال را حل کنید؟

۳) در شکل زیر اولاً چنانچه روی فیدرهای BA و CB رله‌های جریان زیاد با منحنی مشخصه معکوس استاندارد و همچنین رله‌های دیستانس وجود داشته باشند، ضرایب تنظیم زمانی و جریانی رله‌های جریان زیاد و همچنین امپدانس ناحیه۱ رله مستقر در B و ۱و۲ مستقر در C را بیابید. فرض می‌شود MVA بازاء خطا بر روی خطوط BA , BC روی هر خط خطی تغییر می‌کند. رله های دیستانس مهو بوده و زاویه آنها با زوایه خط برابر و ۷۰ درجه می‌باشند.



۸۰MVA

$$CTR = \frac{۱۵۰}{۵}$$

$$I_L = ۱۵۰$$

۵۵MVA

$$CT.R = \frac{۱۰۰}{۵}$$

$$I_L = ۱۰۰$$

۴۵MVA

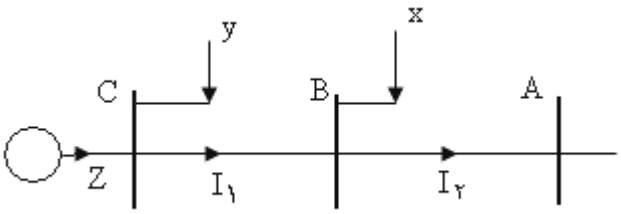
$$CT.R = \frac{۱۰۰}{۵}$$

$$I_L = ۱۰۰$$

$$VT.R = \frac{\frac{۲۲}{\sqrt{۳}}\,kv}{۱۰۰} \qquad U = V_{P-P} = ۲۲\,kv$$

ثانیاً چنانچه تغذیه‌های p,t ,z,y وجود داشته باشند و برای هر خطا سهم هر کدام از تغذیه‌ها یکسان باشد و با قطع t بهمان میزان (سهم t) به y افزوده شده و از طریق شین c وارد شود، هماهنگی رله‌های جریان زیاد و دیستانس را بیابید.

۴) در شکل زیر چنانچه جریان‌های اتصال کوتاه از سه مسیر تغذیه برای اتصال کوتاه‌های B, A دارای سهم یکسانی باشند و با قطع شدن هریک از آنها نیز مجدداً سطح اتصال کوتاه در شینه‌ها ثابت بماند و عنصر سریع هم وجود نداشته باشد، جفت جریان‌های لازم برای هماهنگی رله C با B را بیابید.



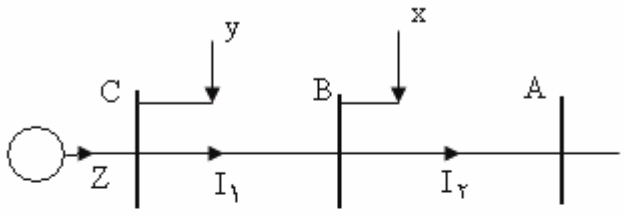
	C	B	A
سطح اتصال کوتاه	۷۴MVA	۵۲MVA	۴۰MVA
CTRatio	۱۰۰/۵	۷۵/۵	۵۰/۵
ماکزیمم جریان بار	۱۰۰ A	۷۵ A	۵۰ A

ب) چنانچه عنصر سریع در این مسئله وجود داشته باشد، جفت جریان‌ها را بیابید؟
ج) مقدار TSM رله‌های اصلی و پشتیبان را بیابید؟

۵) در مسئله قبل اگر برای اتصال کوتاه در انتهای ناحیه۱ رله دیستانس مستقر در B جریان x، z,y برابر با ۲۰۰ آمپر باشد و وقتی x قطع شود، جریان y به ۱/۵ برابر مقدار قبلی برسد و z همان مقدار قبلی باشد، بررسی کنید آیا هماهنگی رله جریان زیاد C و دیستانس در B برقرار است؟

میزان تغییر نقطه Q (یکی از نقاط بحرانی) برای شرایط بحرانی هماهنگی رله دیستانس- جریان زیاد چقدر است؟

۶) چنانچه جریان‌های z, y, x به ازای اتصال کوتاه در انتهای زون ۱ رله B برابر و هر کدام ۲۰۰ آمپر باشند و وقتی x قطع شود، جریان‌های اتصال کوتاه z, y ۱/۵ برابر مقدار قبلی شوند، بررسی کنید آیا هماهنگی رله جریان زیاد کاهشی واقع در C و دیستانس واقع در B برقرار است؟



	۷۲MVA	۵۲MVA	۴۰MVA
CTR	۱۰۰/۵	۷۵/۵	۵۰/۵
Lood	۱۰۰A	۷۵A	۵۰A