

۱) تنظیم و هماهنگی رله‌های دیستانس در شبکه‌های بهم

پیوسته

(۱-۱) مقدمه

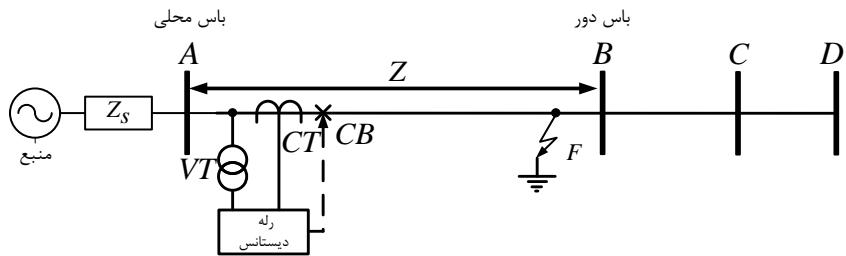
در شبکه‌های قدرت از رله‌های دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال انرژی در برابر خطاهای مختلف فاز به فاز و فاز به زمین استفاده می‌شود. این رله‌ها بر خلاف رله‌های جریان زیاد، به مقدار جریان خطا حساس نیستند؛ بلکه به اندازه امپدانس ظاهری بین محل نصب رله تا محل وقوع خطا حساس می‌باشند. این به امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله دیستانس مقدار ثابتی ندارد و اندازه آن به جریان و ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط رله وابسته است[۱]. عموم رله‌های دیستانس سه ناحیه حفاظتی دارند. از ناحیه اول و بخشی از ناحیه دوم به عنوان حفاظت اصلی و از بقیه ناحیه دوم و ناحیه سوم به عنوان حفاظت پشتیبان استفاده می‌شود. عملکرد رله در ناحیه اول سریع است و در نواحی دوم و سوم با تأخیر صورت می‌گیرد. زمان‌های عملکرد در نواحی دوم و سوم نیز توسط کاربر مشخص می‌شود. بنابراین برای تنظیم یک رله دیستانس، سه امپدانس مربوط به نواحی و دو زمان برای ناحیه دوم و سوم مشخص می‌گردد. تنظیم امپدانس‌های نواحی دوم و سوم رله دیستانس به جریان‌های ورودی و خروجی خطوط مجاور خط مورد حفاظت توسط رله، بستگی دارد. این جریان‌ها موجب می‌شوند امپدانس دیده شده توسط رله، کمتر و یا بیشتر از امپدانس حقیقی میان محل نصب رله و محل وقوع خطا باشد. لذا بیشترین و کمترین این امپدانس‌ها تعیین شده و امپدانس و زمان‌های رله دیستانس طوری تنظیم می‌گردد که عملکرد آن

با رله‌های دیگر موجود در شبکه هماهنگ باشد. تعیین این امپدانس‌ها برای انواع خطاهای و آرایش‌های گوناگون شبکه (مانند در مدار بودن یا نبودن برخی از خطوط) و تعیین زمان‌های ناحیه‌های دوم و سوم رله برای عملکرد هماهنگ مجموعه رله‌های دیستانس موجود در شبکه، بصورت دستی بسیار دشوار و با استفاده از کامپیوتر کمی ساده‌تر است [۲]. در این فصل ابتدا خلاصه‌ای از نحوه تنظیم و هماهنگی رله‌های دیستانس در شبکه‌های ساده شعاعی که موضوع درس «رله و حفاظت» است، شرح داده شده و سپس تنظیم و هماهنگی کامپیوتراً یعنی تعیین امپدانس‌ها و زمان‌های تأخیر رله‌های دیستانس در شبکه‌های بهم‌پیوسته مورد بررسی قرار می‌گیرد.

(۲-۱) رله‌های دیستانس

اگرچه رله‌های دیستانس از لحاظ قیمت نسبت به رله‌های جریان زیاد گران‌تر هستند، ولی سرعت عملکرد آن‌ها سبب شده است که به عنوان حفاظت اصلی برای حفاظت خطوط انتقال به کار روند. این رله‌ها از آنجا که فاصله محل نصب تا محل وقوع خطا را توسط اندازه‌گیری امپدانس مشخص می‌کنند، بدین نام مشهور شده‌اند. به طور کلی وقتی خطای در شبکه رخ می‌دهد این رله‌ها نقش حفاظت از خط و تعیین فاصله محل وقوع خطا تا رله را به عهده دارند. عموماً حفاظت اصلی خطوط انتقال رله‌های دیستانس و حفاظت پشتیبان این خطوط، رله‌های جریان زیاد هستند. دلیل این امر آن است که زمان عملکرد رله‌های دیستانس در مقایسه با زمان عملکرد رله‌های جریان زیاد نسبتاً کم است. این رله‌ها در موقعی که حداقل جریان خطا با جریان بار قابل مقایسه باشد کاربرد وسیعی پیدا می‌کنند. دلیل این امر عدم حساسیت رله‌های دیستانس به جریان است. این رله‌ها در حقیقت امپدانس ظاهری (فاصله الکتریکی) تا محل خطا را

می‌سنجند. ناحیه اول رله‌های دیستانس دارای یک امپدانس تنظیمی رله به نام Z_1 می‌باشد که برابر امپدانس قسمتی از خط است که رله باید آن قسمت را به عنوان حفاظت اصلی مورد حفاظت قرار دهد. شکل (۱-۱) مدار تونن شبکه را از دید رله نشان می‌دهد که در آن رله نیز مشخص شده است. در این شکل، $Z_1 = K \times Z$ می‌باشد که K ضریب کوچکتر از واحد و معمولاً بین ۰,۸ تا ۰,۹ می‌باشد. در حالتی که نسبت V/I یعنی امپدانس دیده شده توسط رله کمتر از Z_1 باشد، رله دیستانس عمل می‌کند. در حالت عادی یعنی زمانی که خطای رخ نداده است، $V/I > Z_1$ و در نتیجه رله عمل نخواهد کرد. بنابراین هنگامی که در محدوده عملکرد رله مثلاً در نقطه F خطایی ایجاد گردد، نسبت V/I کوچکتر از Z_1 خواهد شد و در نتیجه رله عمل می‌کند. دیده می‌شود که افزایش جریان موجب عملکرد رله و افزایش ولتاژ موجب عمل نکردن آن می‌شود. به همین علت به جریان کمیت عمل کننده و به ولتاژ کمیت بازدارنده اطلاق می‌شود.



شکل (۱-۱): مدار تونن شبکه از دید رله

طبق توضیحات ارائه شده مشخص گردید که رله‌های دیستانس با توجه به امپدانس تنظیمی عمل می‌کنند. این امپدانس مقداری مختلط است در نتیجه دارای دامنه و فاز می‌باشد. با توجه به این موضوع می‌توان محدوده عملکرد رله‌های دیستانس را در صفحه مختلط $R-X$ توسط یک مشخصه بیان نمود. یک رله دیستانس با هر نوع منحنی مشخصه‌ای، دارای سه ناحیه حفاظتی می‌باشد. در ناحیه اول معمولاً امپدانس معادل ۸۰٪ خط اول (خط اصلی) تنظیم

می‌شود. زمان عملکرد آن نیز خیلی سریع یعنی حدود ۰,۰۱ ثانیه درنظر گرفته می‌شود و به عنوان حفاظت اصلی خط به کار می‌رود. علت اینکه کل خط اصلی به عنوان تنظیم ناحیه اول انتخاب نمی‌شود آن است که به واسطه خطاهای ناشی از ترانسفورماتور جریان و ترانسفورماتور ولتاژ، عملکرد این رله با رله حفاظتی روی خط بعدی همزمان نباشد. امپدانس تنظیم ناحیه دوم رله معمولاً برابر کل امپدانس خط اصلی به اضافه حدود ۵۰٪ امپدانس خط بعدی است و زمان عملکرد آن حدود ۰,۳ ثانیه است. ناحیه سوم رله دیستانس دارای امپدانس تنظیمی برابر کل خط اول به اضافه کل خط دوم، بعلاوه حدود ۲۵٪ خط سوم است. زمان عملکرد این ناحیه حدود ۰,۶ ثانیه است [۱].

در ادامه انواع مختلف مشخصه‌های موجود برای رله‌های دیستانس مختصرأ ذکر می‌شوند.

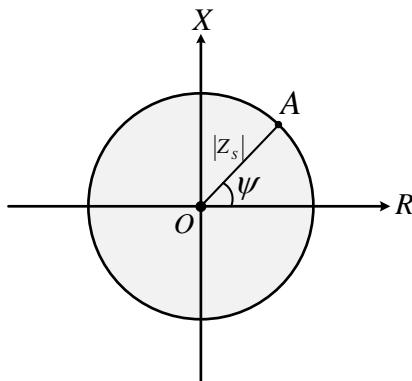
۱-۲-۱) رله دیستانس با مشخصه امپدانسی یا تخت^۱

این نوع رله دیستانس، ساده‌ترین رله از نظر ساختمان و عملکرد می‌باشد. مشخصه این رله دیستانس، دایره‌ای است که مرکز آن مبدأ مختصات و شعاع آن به اندازه قدرمطلق امپدانس تنظیمی یعنی $|Z_s|$ می‌باشد [۱]. در شکل (۲-۱) مشخصه این رله نشان داده شده است. در این شکل، Ψ زاویه امپدانس خط OA است. این رله فقط به دامنه امپدانس دیده شده توسط رله حساس است و برای خطاهایی که قدرمطلق امپدانس دیده شده از محل نصب رله تا محل وقوع خطا کمتر از $|Z_s|$ باشد، صرفنظر از جهت جریان خطا عمل می‌کند. با توجه به شکل (۲-۱)، رله برای خطاهای در جهت دید رله و پشت سر رله عمل می‌نماید

که این عملکرد عیب بزرگی محسوب می‌شود. زیرا همانند رله‌های غیرجهت‌دار عمل می‌کند. از این رو هماهنگی این رله‌ها با یکدیگر مشکل و در بعضی موارد غیرممکن است. به همین دلیل این رله را هیچگاه به تنها‌یی مورد استفاده قرار نمی‌دهند و همواره به همراه رله‌های دیگر که در ادامه شرح داده می‌شوند، استفاده می‌گردد. رابطه مشخصه عملکرد این رله عبارت است از:

$$|Z| \leq |Z_s| \quad \dots \dots \dots \quad (1-1)$$

رابطه فوق نشان‌دهنده درون و روی محیط دایره‌ای است که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. در رابطه اخیر، $|Z|$ امپدانس خط و $|Z_s|$ امپدانس تنظیمی رله است.

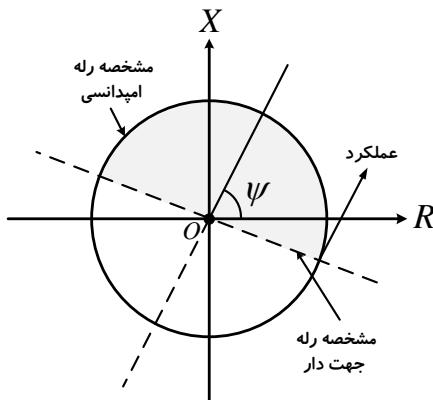


شکل (۳-۱): مشخصه رله امپدانسی

برای آنکه بتوان این رله را به تنها‌یی مورد استفاده قرار داد، باید آن را جهت‌دار کرد. برای این کار باید محدوده عملکرد این رله تا حد ممکن در ناحیه اول مختصات قرار داده شود. بهترین زاویه مشخصه المان جهت‌دار با امپدانس تنظیمی خط موردن حفاظت، در حدود 90° می‌باشد. شکل (۳-۱) مشخصه رله امپدانسی جهت‌دار را نشان می‌دهد.

معایب رله دیستانس با مشخصه امپدانسی یا تخت را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- ✓ این رله جهت خط را تشخیص نمی‌دهد و در نتیجه استفاده از یک المان اضافی جهت‌دار در آن ضروری است.
- ✓ این رله بر اثر مقاومت خط را در محل اتصال کوتاه، می‌تواند عملکرد اشتباه داشته باشد. زیرا بر اثر مقاومت خط، بردار امپدانس خط در روی محور R ها در جهت مثبت کشیده می‌شود و با این کار ممکن است امپدانس خط از محدوده عملکرد این رله خارج شود.
- ✓ بعلت پوشانده شدن محدوده وسیعی از صفحه مختلط توسط مشخصه این رله، عملکرد آن به مقدار زیادی به نوسانات توان حساس است. به عبارت دیگر مکان هندسی امپدانس به هنگام نوسانات توان پایدار (قابل برگشت به وضع عادی)، به داخل مشخصه عملکرد رله وارد شده و سبب عملکرد رله می‌گردد.

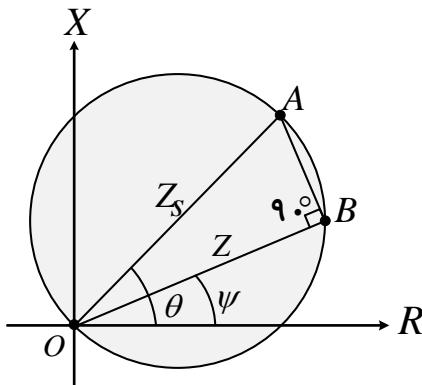


شکل (۱-۳): جهت‌دار کردن رله امپدانسی

۱-۲-۳) رله دیستانس با مشخصه مهوا

این رله ذاتاً جهت‌دار و محدوده عملکرد آن نیز دایره‌ای است که از مبدأ مختصات گذشته و قطر آن برابر امپدانس تنظیمی رله می‌باشد. در شکل (۴-۱) مشخصه این رله نشان داده شده است. رابطه ریاضی مشخصه عملکرد این رله

بصورت رابطه زیر می‌باشد که در آن $|Z_s|$ دامنه امپدانس تنظیمی، θ زاویه امپدانس تنظیمی و Ψ زاویه امپدانس خط می‌باشد.

$$|Z| \leq |Z_s| \cos(\theta - \Psi) \quad (2-1)$$


شکل (۲-۱): مشخصه رله مهو

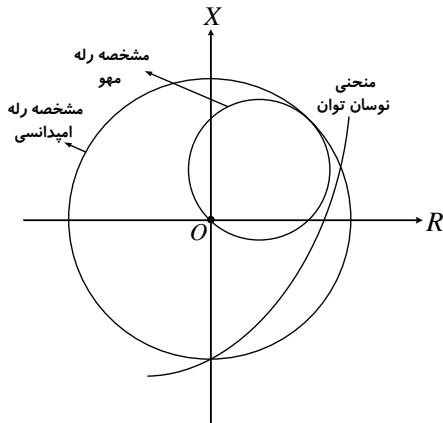
رله مهو علاوه بر جهت‌دار بودن، ناحیه کمتری از صفحه مختصات را پوشش می‌دهد. زیرا در مقایسه با رله امپدانسی برای دو رله با امپدانس تنظیمی یکسان، منحنی مشخصه رله مهو دایره‌ای با قطر نصف رله امپدانسی است و لذا حساسیت کمتری به نوسانات توان پایدار نشان می‌دهد.

به طور کلی در مورد رله مهو می‌توان گفت:
✓ رله مهو ذاتاً جهت‌دار است.

✓ با توجه به این که رله توسط دو عامل امپدانس و زاویه تنظیم می‌شود، با تنظیم زاویه رله یعنی θ ، این امکان وجود دارد که اثر نامطلوب مقاومت خطا تا حدود زیادی خنثی شود. به عبارت دیگر چنانچه در کاربردی امکان وقوع خطا با مقاومت زیاد وجود داشته باشد، زاویه تنظیم رله متناسب با آن کمتر منظور می‌شود.

چون سطح مشخصه رله مهو نسبت به رله امپدانسی کمتر است، لذا امکان اینکه مکان هندسی امپدانس در هنگام نوسان توان پایدار داخل مشخصه شود

کمتر است. این مسئله در شکل(۱-۵) به وضوح قابل روئیت است. در این شکل منحنی امپدانس دیده شده به هنگام نوسان توان رسم شده است.

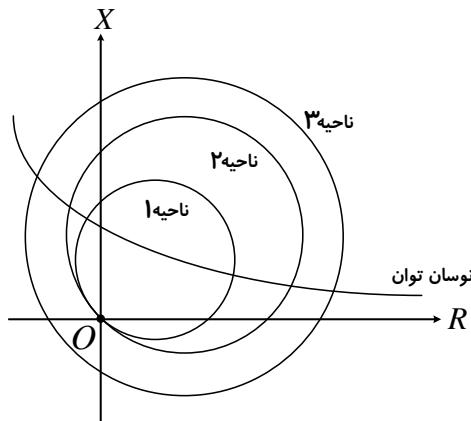


شکل(۱-۵): مقایسه رله مهو و امپدانسی در عملکرد نسبت به نوسانات قدرت

۱-۳-۲) رله دیستانس با مشخصه آفست مهو'

همان‌طور که از مشخصه این رله پیداست، علاوه بر در برگرفتن خط مورد حفاظت در جهت دید خود، قسمتی از خط پشت سرش را نیز می‌پوشاند. مشخصه آفست که سبب می‌شود رله قسمتی از پشت سر خود را ببیند، معمولاً هنگامی استفاده می‌شود که رله حفاظت باس عمل نکرده و این رله به عنوان پشتیبانی برای ناحیه پشت سر خود عمل می‌کند. بنابراین به منظور عمل پشتیبانی، لازم است فقط ناحیه سوم رله مطابق شکل(۱-۶) دارای آفست باشد. در شکل(۱-۶) مشخصه نواحی سه‌گانه یک رله دیستانس مهو و منحنی نوسان

توان شبکه نشان داده شده است. در فصل پنج نحوه عملکرد واحد نوسان توان یک رله و رابطه آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل (۱-۶): منحنی نوسان توان شبکه به همراه مشخصه رله دیستانس

۱-۴-۲) رله دیستانس با مشخصه راکتانسی

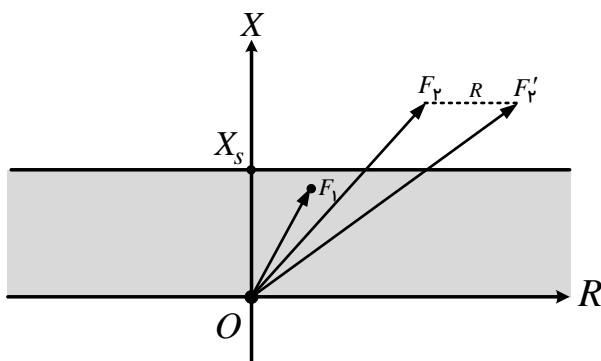
مشخصه این رله یک خط مستقیم موازی با محور افقی است که دارای راکتانسی ثابت می‌باشد. اگر راکتانس دیده شده توسط رله کمتر از راکتانس تنظیمی آن باشد، رله دیستانس با این مشخصه تنها به راکتانس حساس بوده و مقاومت خطا روی عملکرد آن هیچگونه اثری ندارد. این مشخصه سبب می‌شود رله برای تمام خطاهای پشت سر خود و حتی برای شرایط نوسانات توان عمل کند. به همین دلیل در کاربرد واقعی، این رله تنها برای محدود کردن گستره عملکرد رله‌های دیگر نظیر رله امپدانسی به کار می‌رود. رابطه این رله عبارت است از:

$$X \leq X_s = cte \quad \dots \quad (3-1)$$

که در آن X راکتانس خطا و X_s راکتانس تنظیم رله است. منحنی مشخصه رله راکتانسی مطابق شکل (۱-۷) می‌باشد و ناحیه عملکرد رله متناسب

با درصد پوشش راکتانس خط است. اگر راکتانس دیده شده به وسیله رله کمتر از X_s باشد(نقطه F_1)، رله عمل می‌کند و اگر بیشتر از آن باشد(نقطه F_2)، رله عمل نخواهد نمود. همان‌طور که از مشخصه این رله استنباط می‌شود، افزایش مقاومت خطا تأثیری در عملکرد رله نخواهد داشت. افزایش مقدار مقاومت باعث می‌شود که انتهای بردار امپدانس بصورت افقی انتقال پیدا کند. به همین دلیل F'_2 نقطه‌ای است که راکتانسی برابر با نقطه F_2 دارد ولی مقاومت خطای آن به اندازه R بیشتر از مقاومت خطای نقطه F_2 است.

برای برطرف کردن نواقص این رله نظیر عملکرد نادرست در هنگام وقوع نوسانات توان پایدار، محدوده عملکرد آن را محدود ساخته و از آن رله چهارگوش ساخته می‌شود.



شکل (۱-۷): مشخصه رله راکتانسی

(۱-۲-۵) رله دیستانس با مشخصه کوآد (چهارگوش)

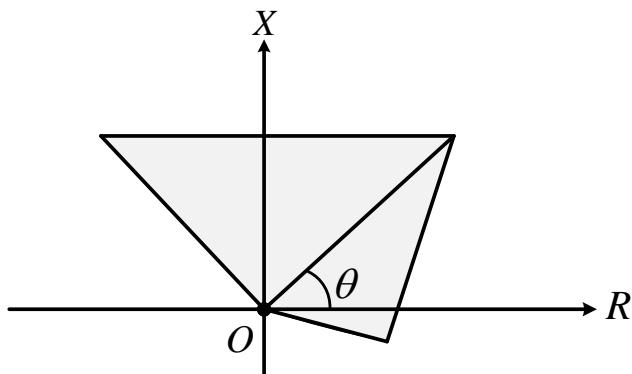
همان‌طور که گفته شد، رله کوآد یک رله راکتانسی محدود شده است. شکل (۱-۸) مشخصه رله کوآد یا چهارگوش را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل دیده می‌شود، یکی از محسن این رله آن است که علاوه بر حساسیت رله به

راکتانس خطا، با توجه به امتداد این مشخصه در جهت محور R می‌توان مقاومت خطا را نیز در تنظیم رله در نظر گرفت.

بنابراین:

- ✓ این رله جهت‌دار است.
- ✓ مشخصه این رله مشکل مقاومت خطا را تا حدود بسیار زیادی حل کرده است.

با انتخاب مناسب امپدانس تنظیمی برای این رله، می‌توان از عملکرد آن در مقابل نوسانات توان پایدار جلوگیری کرد. با توجه به مزایای ذکر شده برای این نوع مشخصه و همچنین مشخصه مهه، این دو مشخصه کاربرد وسیعی در حفاظت شبکه‌های قدرت دارند.



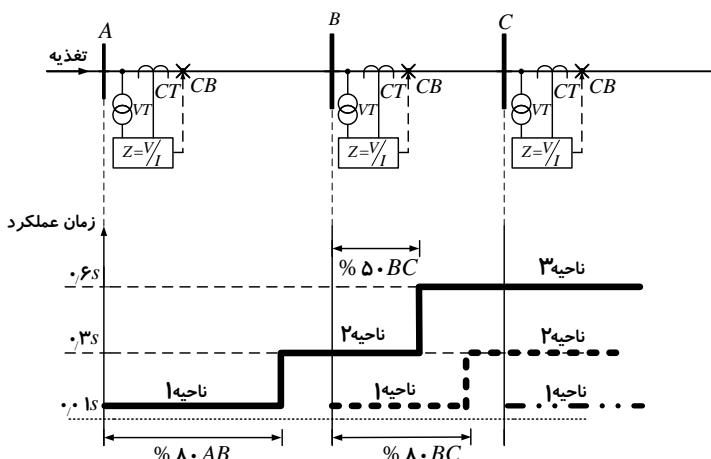
شکل (۱-۱): مشخصه رله چهارگوش

۱-۳) تنظیم و هماهنگی رله‌های دیستانس در یک شبکه ساعی

همان‌طور که اشاره شد، در شبکه‌های قدرت از رله دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال در برابر خطاهای مختلف فاز به فاز و فاز به زمین استفاده می‌شود.

این رله دارای سه ناحیه کاری بوده و به امپدانس ظاهری بین محل نصب رله تا محل وقوع خطا حساس است. هماهنگی رله‌های دیستانس در یک شبکه باید به گونه‌ای باشد که عملکرد سه ناحیه هر جفت رله اصلی و پشتیبان، با هم تداخل نکنند. برای این منظور، زمان عملکرد رله پشتیبان به اندازه فاصله زمانی مشخصی برابر $0,3$ ثانیه بیشتر از رله اصلی در نظر گرفته می‌شود. چون رله دیستانس دارای سه ناحیه کاری است، حداکثر تا سه خط جلوی خود را می‌بیند؛ لذا تأثیر پشتیبانی رله دیستانس نسبت به رله‌های هم‌جوار به مراتب کمتر از رله‌های جریان زیاد است. بنابراین تنظیم و هماهنگی آن آسانتر می‌باشد. منظور از تنظیم و هماهنگی، بدست آوردن امپدانس تنظیمی و زمان تنظیم برای سه ناحیه است [۲].

معمولًاً تنظیم زمانی برای ناحیه اول رله دیستانس $1,0$ ثانیه، ناحیه دوم $0,3$ تا $0,4$ ثانیه و ناحیه سوم $0,8$ تا $1,0$ ثانیه در نظر گرفته می‌شود. همچنین مطابق منحنی شکل (۹-۱)، امپدانس تنظیمی یک شبکه شعاعی برای ناحیه اول 80% خط اصلی، ناحیه دوم، کل خط اصلی و 50% خط دوم و ناحیه سوم، کل خط اصلی و خط دوم به همراه 25% خط سوم است (AB ، خط اول و BC ، خط دوم است).



شکل (۹-۱): منحنی زمان عملکرد-مسافت برای نواحی مختلف رله دیستانس

بنابراین اگر امپدانس خط اول Z_{L1} ، امپدانس خط دوم Z_{L2} و امپدانس خط سوم Z_{L3} باشد، امپدانس تنظیمی نواحی سه‌گانه بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$Z_1 = \alpha Z_{L1}$ ناحیه اول:

$$(4-1) \quad Z_{r1} = \frac{|Z_1|}{\cos(\phi_1 - \theta)} \text{ تنظیم ناحیه اول}$$

θ : زاویه تنظیم رله

ϕ_1 : زاویه Z_1

$Z_r = Z_{L1} + \beta Z_{L2}$ ناحیه دوم:

$$(5-1) \quad Z_{r2} = \frac{|Z_r|}{\cos(\phi_r - \theta)} \text{ تنظیم ناحیه دوم}$$

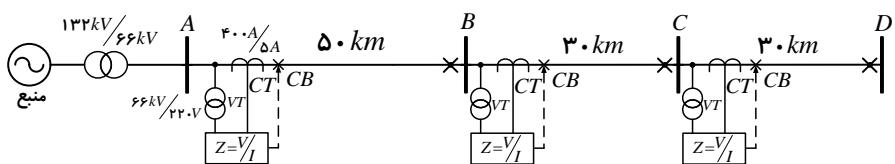
ϕ_r : زاویه Z_r

$Z_r = Z_{L1} + Z_{L2} + \gamma Z_{L3}$ ناحیه سوم:

$$(6-1) \quad Z_{r3} = \frac{|Z_r|}{\cos(\phi_r - \theta)} \text{ تنظیم ناحیه سوم}$$

ϕ_r : زاویه Z_r

مثال (۱-۱): در شکل زیر خطوط اول، دوم و سوم به ترتیب ۵۰، ۳۰ و ۳۰ کیلومتر و امپدانس واحد طول خط $(0.25 + j0.5)\Omega/km$ است. رله دیستانس مورد استفاده نیز رله دیستانس مهو با زاویه 45° می‌باشد. تنظیم نواحی سه‌گانه رله دیستانس واقع در بابس A را بیابید.



جواب:

تنظیم ناحیه اول رله در جهت زاویه خط و نسبت به طرف اولیه ترانسفورماتور جریان و ولتاژ:

$$Z_1 = 0,8 \times 50 \times (0,25 + j0,5) = 22,36 \angle 63,4^\circ$$

تنظیم ناحیه اول رله در جهت زاویه رله و نسبت به طرف ثانویه ترانسفورماتور جریان و ولتاژ:

$$Z_{r1} = \frac{22,36}{\cos(63,4 - 45)} \times \frac{220}{66 \times 10^3} \times \frac{400}{5} = 6,3 \angle 45^\circ$$

تنظیم ناحیه دوم:

$$Z_r = 50 \times (0,25 + j0,5) + 0,5 \times 30 \times (0,25 + j0,5) = 36,34 \angle 63,4^\circ$$

$$Z_{rr} = \frac{36,34}{\cos(63,4 - 45)} \times \frac{220}{66 \times 10^3} \times \frac{400}{5} = 10,2 \angle 45^\circ$$

تنظیم ناحیه سوم:

$$Z_r = 50 \times (0,25 + j0,5) + 30 \times (0,25 + j0,5) + 0,25 \times 30 \times (0,25 + j0,5) = 48,9 \angle 63,4^\circ$$

$$Z_{rrr} = \frac{48,9}{\cos(63,4 - 45)} \times \frac{220}{66 \times 10^3} \times \frac{400}{5} = 13,75 \angle 45^\circ$$

۴-۱ تنظیم و هماهنگی نواحی سه‌گانه رله‌های دیستانس

در شبکه‌های بچشم پیوسته

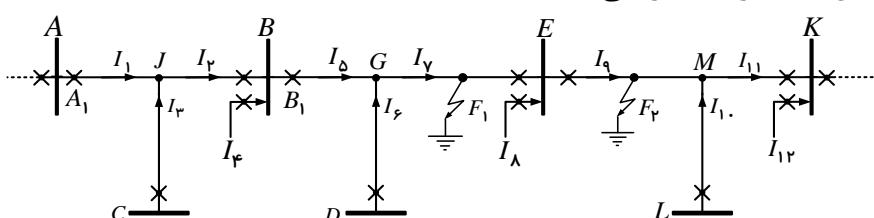
راهنمای کلی تنظیم نواحی سه‌گانه رله‌های دیستانس در شکل (۱۰-۱) نشان داده شده است [۳]. در ادامه این بخش، هر یک از مراحل تنظیم به‌طور مفصل شرح داده می‌شود.



شکل (۱-۰۰): چگونگی تنظیم نواحی سه‌گانه رله‌های دیستانس

۱-۴-۱) تنظیم ناحیه اول رله دیستانس

برای بیان چگونگی تنظیم نواحی سه‌گانه رله‌های دیستانس در شبکه‌های بهم پیوسته، قسمتی از یک شبکه قدرت مطابق شکل (۱۱-۱) در نظر گرفته می‌شود. این قسمت از شبکه حالتی کلی از نظر حفاظت دیستانس و مسائل مربوط به آن را نشان می‌دهد. در این شبکه خطوط BE ، AB و EK با انشعاب میانی در نظر گرفته شده‌اند. خطوطی که فاقد انشعاب میانی باشند، حالت خاصی از این شبکه را تشکیل می‌دهند.



شکل (۱۱-۱): نمونه‌ای از شبکه قدرت جهت بررسی تنظیم نواحی رله دیستانس

ناحیه اول رله دیستانس A_1 برای حفاظت اصلی و سریع خطوط AB و AC در نظر گرفته شده است. برد این رله هیچگاه نباید از باس‌های B و C با بودن یا نبودن انشعاب میانی بیشتر شود. بنابراین لازم است برای اتصال کوتاه‌های در B و C و برای حالات وجود و یا عدم وجود انشعاب میانی، امپدانس دیده شده توسط رله محاسبه شود و کوچکترین آن‌ها به عنوان تنظیم ناحیه اول برگزیده شود. برای اطمینان از اینکه با وجود خطاهای ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ و سایر خطاهای، برد رله هیچگاه از باس‌های B و C فراتر نمی‌رود، امپدانس تنظیمی حاصل در ضرب کوچکتر از واحد FZ^1 ضرب می‌شود. پس امپدانس تنظیمی ناحیه اول رله، به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_{1A_1} = FZ \times \min\{Z_{AB}, Z_{AC}, Z_A(A_1, B), Z_A(A_1, C)\} \quad (7-1)$$

ضریب FZ ، $0,8$ تا $0,9$ در نظر گرفته می‌شود. در رابطه بالا و در روابط دیگری که خواهد آمد، امپدانس تنظیمی ناحیه n ام رله M خواهد بود. همچنین $Z_A(M, F)$ امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله M برای خطا در نقطه‌ای مانند F می‌باشد. بنابراین $Z_A(A_1, B)$ امپدانس دیده شده توسط رله A_1 است وقتی که خطا در B واقع شده باشد [1].

۲-۴-۱) تنظیم ناحیه دوم رله دیستانس

ناحیه ۲ رله دیستانس باید بتواند پشتیبانی رله‌های خط یا خطوط جلو را به عهده داشته باشد. یعنی در شکل (۱۱-۱) ناحیه ۲ رله دیستانس A_1 باید پشتیبان رله B_1 و رله دیستانس روی خطی که از باس C گرفته می‌شود، باشد. لذا حتماً باید باس یا باس‌های دور را ببیند. از طرف دیگر، ناحیه ۲

رله دیستانس هرگز نباید با ناحیه دوم رله دیستانس خط جلویی، یعنی رله دیستانسی که این رله در ناحیه دوم به عنوان پشتیبان آن عمل می‌کند، تلاقی ناحیه‌ای داشته باشد. این بدان جهت است که اگر اتصال کوتاهی در خط جلویی و در ناحیه دوم رله دیستانس خط اصلی رخ دهد، دو رله دیستانس اصلی و پشتیبان عملکرد همزمان نداشته باشند. به عبارت دیگر، در شکل(۱۱-۱) برد ناحیه دوم رله دیستانس A_1 باید به گونه‌ای باشد که انتهای ناحیه ۲ این رله، از انتهای ناحیه اول رله B_1 کمتر باشد. بنابراین امپدانس تنظیمی ناحیه دوم رله A_1 می‌تواند بین یک مقدار مینیمم و یک مقدار ماکزیمم انتخاب گردد. مقدار مینیمم، مقداری است که اگر تنظیم ناحیه ۲ رله برابر آن قرار داده شود، حتماً همه باس‌های دور رله توسط این ناحیه حفاظت می‌شوند. طبق این توضیحات، مقدار مینیمم امپدانس تنظیم ناحیه دوم رله دیستانس A_1 چنین است:

$$Z_{r_{\min}} = SZ_{\min} \times \max\{Z_{AB}, Z_{AC}, Z_A(A_1, B), Z_A(A_1, C)\} \quad (۱-۱)$$

که در آن ضریب SZ_{\min} ^۱ برابر $1/1$ تا $1/3$ در نظر گرفته می‌شود و Z_{AB} $Z_A(A_1, C)$ و $Z_A(A_1, B)$ نیز قبلاً تعریف شده‌اند.

مقدار ماکزیمم نیز مقدار امپدانسی را نشان می‌دهد که اگر ناحیه ۲ رله برابر آن تنظیم شود، با ناحیه ۲ هیچکدام از رله‌های خطوط مجاور تلاقی نداشته باشد. به عنوان مثال، تنظیم ناحیه یک رله B_1 در شکل(۱۱-۱) به گونه‌ای است که حداقل تا نقطه F_1 از خط BE را حفاظت می‌کند. نقطه F_1 مرز عملکرد نواحی ۱ و ۲ رله B_1 می‌باشد. ناحیه ۲ رله دیستانس A_1 حداقل می‌تواند تا این نقطه را حفاظت کند. از این رو حداقل امپدانسی که می‌توان ناحیه ۲ رله دیستانس A_1 را برابر آن تنظیم کرد، مساوی امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله A_1 تا این نقطه است و در صورت انتخاب مقادیر بزرگ‌تر، میان نواحی رله‌های

A_1 و B_1 تلاقی ایجاد می‌شود که موجب از بین رفتن هماهنگی بین دو رله اصلی A_1 و پشتیبان می‌گردد. البته در صورتی که مجبور شویم ناحیه ۲ رله دیستانس A_1 را فراتر از نقطه F_1 تنظیم کنیم، باید زمان عملکرد ناحیه دوم رله A_1 بیشتر از زمان عملکرد ناحیه دوم رله B_1 در نظر گرفته شود تا از تلاقی میان نواحی ۲ رله‌ها جلوگیری شود. بنابراین مقدار ماکزیمم امپدانس تنظیم ناحیه ۲ رله A_1 ، با فرض وقوع یک خطای سه‌فاز متقارن در نقطه F_1 بصورت زیر بدست می‌آید:

$$Z_A(A_1, F_1) = \frac{Z_{AJ} \times I_1 + Z_{JB} \times I_2 + Z_{BG} \times I_5 + Z_{GF_1} \times I_7}{I_1} \quad \dots \dots \dots (9-1)$$

$$Z_A(A_1, F_1) = Z_{AJ} + Z_{JB} \times \frac{I_2}{I_1} + Z_{BG} \times \frac{I_5}{I_1} + Z_{GF_1} \times \frac{I_7}{I_1} = \frac{V(A_1, F_1)}{I_1}$$

از طرف دیگر چون نقطه F_1 مرز عملکرد نواحی ۱ و ۲ رله B_1 می‌باشد، می‌توان نوشت:

$$Z_{1B_1} = Z_A(B_1, F_1) = \frac{Z_{BG} \times I_5 + Z_{GF_1} \times I_7}{I_5} \quad \dots \dots \dots (10-1)$$

و یا

$$Z_{1B_1} = Z_A(B_1, F_1) = Z_{BG} + \frac{I_7}{I_5} \times Z_{GF_1} \quad \dots \dots \dots (11-1)$$

اگر طرفین رابطه (۱۱-۱) را در نسبت $\frac{I_7}{I_5}$ ضرب کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{I_5}{I_1} \times Z_{1B_1} = \frac{I_5}{I_1} \times Z_{BG} + \frac{I_7}{I_1} \times Z_{GF_1} \quad \dots \dots \dots (12-1)$$

با استفاده از رابطه (۱۲-۱) و جایگذاری در رابطه (۱۱-۱)، رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z_A(A_1, F_1) = Z_{AJ} + Z_{JB} \times \frac{I_2}{I_1} + Z_{1B_1} \times \frac{I_5}{I_1} \quad \dots \dots \dots (13-1)$$

همان‌طور که گفته شد، روابط فوق برای خطای سه‌فاز متقارن است و برای انواع دیگر خطای باید از روابط مربوط به خطاهای فاز به فاز یا فاز به زمین استفاده کرد.

با بدست آوردن روابط اخیر، ماکریم امپدانس تنظیم ناحیه ۲ رله A_1 مشخص شده است. اگر رله A_1 تنها پشتیبان یک رله اصلی باشد، مقداری که برای $Z_A(A_1, F_1)$ تا این مرحله بدست آمده است مقدار ماکریم امپدانس تنظیم ناحیه ۲ این رله خواهد بود. اما در صورتی که رله‌های اصلی دیگری نیز وجود داشته باشند، برای بدست آوردن ماکریم امپدانس تنظیم ناحیه ۲ رله A_1 باید روابط مشابهی برای این رله با هر یک از رله‌های اصلی معین ساخت و از میان آن‌ها کوچکترین امپدانس بدست آمده را برگزید.

برای اطمینان بیشتر از عدم تلاقی میان ناحیه ۲ رله A_1 با ناحیه ۲ رله‌های اصلی اش و با توجه به خطاهای موجود در ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ، ضریب اطمینان SZ_{\max} ^۱ در نظر گرفته می‌شود. در این صورت مقدار ماکریم امپدانس تنظیم ناحیه ۲ رله A_1 چنین خواهد بود:

$$Z_{r_{\max}} = SZ_{\max} \times \min\{Z_A(A_1, F_1), Z_A(A_1, F'_1), Z_A(A_1, F''_1)\} \quad (14-1)$$

در این رابطه ضریب SZ_{\max} را 0.8 تا 0.9 در نظر گرفته و F'_1 و F''_1 نقاطی مشابه F_1 بر روی خطوط جلوی خط اصلی می‌باشند. این نقاط محل تلاقی نواحی ۱ و ۲ رله‌های دیستانس موجود بر روی خطوط جلوی خط اصلی هستند. دلیل انتخاب کوچکترین مقدار $Z_A(A_1, F_1)$ مشخص است. زیرا برای حفظ هماهنگی بین رله A_1 با همه رله‌های اصلی اش، محدوده عملکرد ناحیه ۲ این رله هیچگاه نباید از نقطه F_1 متناظر با رله‌های اصلی دیگر یعنی F'_1 ، F''_1 و ... فراتر رود. با توجه به مقادیری که برای مینیمم و ماکریم امپدانس تنظیم ناحیه ۲

بدست می‌آید، برای تعیین تنظیم امپدانس نهایی رله یکی از حالت‌های زیر در نظر گرفته می‌شود [۶ و ۵]:

الف) اگر $Z_{2\min} < Z_{2\max}$ باشد، تنظیم این ناحیه به سادگی صورت می‌گیرد. در این حالت ناحیه ۲ رله برابر $Z_{2\max}$ تنظیم می‌شود. با این کار اطمینان حاصل می‌شود که علاوه بر حفاظت باس‌های دور رله، قسمت زیادی از خطوط مجاور نیز توسط ناحیه دوم محافظت شده است و هیچ‌گونه تلاقی با ناحیه دوم رله اصلی وجود ندارد.

ب) اگر $Z_{2\min} > Z_{2\max}$ باشد، در تنظیم ناحیه ۲ رله تنافضی وجود دارد. زیرا از یک طرف نمی‌توان مقداری بیشتر از $Z_{2\max}$ را برای تنظیم برگردید و از طرف دیگر حداقل مقادیری که می‌توان انتخاب کرد $Z_{2\min}$ است و این دو امر ناسازگارند. برای حل این مشکل یکی از راه حل‌های زیر پیشنهاد می‌شوند:

ب-۱) تنظیم ناحیه ۲ رله برابر $Z_{2\max}$ قرار داده می‌شود. با این کار ممکن است حفاظت باس‌های دور رله A_1 توسط ناحیه دوم پوشش داده نشود، اما این اطمینان وجود دارد که رله هیچ‌گاه افزایش برد پیدا نکرده و در نتیجه هماهنگی همواره حفظ می‌شود.

ب-۲) تنظیم ناحیه ۲ رله برابر $Z_{2\min}$ قرار داده می‌شود. در این حالت برای آنکه بین تنظیمات ناحیه دوم رله A_1 با ناحیه‌های دوم رله‌های اصلی اش تلاقی ایجاد نگردد، زمان عملکرد ناحیه دوم رله A_1 بیشتر در نظر گرفته می‌شود.

ب-۳) برای خط یا خطوطی که رله‌های آنها در شرط $Z_{2\max} > Z_{2\min}$ صدق نمی‌کنند، رله پایلوت به کار بردہ می‌شود. رله پایلوت یک رله حفاظتی واحد است که به عنوان یک حفاظت ثانویه بر روی خطی که حفاظت پشتیبان وجود ندارد، استفاده می‌شود. یعنی حفاظت خطی که این رابطه را برابر هم می‌زند، از مجموعه محاسبات حذف شده و به جای آن از حفاظت پایلوت استفاده می‌شود.

تا این مرحله، امپدانس تنظیم ناحیه ۲ یک رله بدست آمده است. برای بدست آوردن امپدانس تنظیم همه رله‌ها، باید از ماتریسی که تعیین کننده

رله‌های اصلی و پشتیبان است، استفاده شود. امپدانس تنظیم ناحیه دوم و چنان که در بخش بعد دیده می‌شود، امپدانس تنظیم ناحیه سوم رله‌های دیستانس، حداکثر در دو تکرار بدست می‌آیند. یک تکرار برای تعیین امپدانس تنظیم و دیگری برای زمان‌های عملکرد. زمان عملکرد نواحی دوم را ابتدا در حدود ۰,۳ ثانیه در نظر می‌گیرند و فقط در موقعی که نواحی اول و دوم رله پشتیبان با نواحی اول و دوم رله‌های اصلی اش تلاقی پیدا کنند، این زمان‌ها با پله‌های ۰,۳ ثانیه‌ای افزایش داده می‌شوند.

۱-۴-۳) تنظیم ناحیه سوم رله‌های دیستانس

با توجه به مطالب قبل، ناحیه اول و بخشی از ناحیه دوم رله‌های دیستانس به حفاظت خط اصلی اختصاص دارد. مابقی ناحیه دوم و ناحیه سوم این رله‌ها به عنوان حفاظت پشتیبان عمل می‌کنند. ناحیه سوم که خطوط مجاور رله را پشتیبانی می‌کند، دارای برده است که حداقل می‌تواند بزرگترین خط مجاور در جهت دید رله را بپوشاند. همچنین حداکثر برد آن باید به گونه‌ای انتخاب گردد که اولاً با ناحیه سوم رله‌های خطوط مجاور تلاقی نداشته باشد و ثانیاً رله به ازای بیشترین مقدار جریان بار عمل نکند [۱ و ۲]. وقتی جریان بار از ترانسفورماتور جریان تغذیه کننده رله دیستانس بگذرد، امپدانسی که رله می‌بیند همان امپدانس بار است. به علت آنکه جریان بار عموماً بسیار کمتر از جریان خطاست، رله امپدانس بزرگی را می‌بیند و عمل نخواهد کرد. اما در صورتی که مقدار جریان بار زیاد باشد، امپدانس بار کم شده و ممکن است سبب عملکرد ناحیه سوم رله شود. لذا در تنظیم ناحیه سوم رله دیستانس، امپدانس متناظر با شرایط حداکثر بار را نیز باید در نظر داشت. زمان عملکرد این ناحیه برابر ۶,۰ ثانیه است. همان‌طور که گفته شد، امپدانس تنظیم ناحیه سوم نیز مانند ناحیه دوم می‌تواند بین یک مقدار مینیمم و یک مقدار ماکزیمم تعیین شود. مقدار مینیمم را باید به

گونه‌ای برگزید که بلندترین خط مجاور توسط رله محافظت گردد. این مقدار برای رله A_1 و برای خطای سه‌فاز متقاضن برابر است با:

$$Z_{r\min} = TZ_{\min} \times \max \{Z_{AE}, Z_{AD}, Z_A(A_1, E), Z_A(A_1, D)\} \quad (15-1)$$

مقدار TZ_{\min}^1 را بین $1/1$ تا $1/13$ در نظر می‌گیرند. مقدار ماکزیمم امپدانس

تنظیم نیز از آنجا ناشی می‌شود که ناحیه سوم رله A_1 نباید با نواحی سوم رله‌های اصلی خود تلاقی داشته باشد. برای بدست آوردن ماکزیمم امپدانس تنظیم این ناحیه، فرض می‌شود که نقطه F_2 در شکل(۱۱-۱)، مرز عملکرد نواحی دوم و سوم رله B_1 باشد. در این صورت ناحیه سوم رله A_1 حداقل می‌تواند تا این نقطه را حفاظت کند. ماکزیمم امپدانس ظاهری رله A_1 تا نقطه F_2 هنگام وقوع خطای سه‌فاز متقاضن برابر است با:

$$Z_A(A_1, F_2) = \frac{V(A_1, F_2)}{I_1} = \frac{1}{I_1} \times (Z_{AJ} \times I_1 + Z_{JB} \times I_2 + Z_{BG} \times I_5 + Z_{GE} \times I_4 + Z_{EF_2} \times I_9) \quad (16-1)$$

و یا:

$$Z_A(A_1, F_2) = Z_{AJ} + Z_{JB} \times \left(\frac{I_2}{I_1} \right) + Z_{BG} \times \left(\frac{I_5}{I_1} \right) + Z_{GE} \times \left(\frac{I_4}{I_1} \right) + Z_{EF_2} \times \left(\frac{I_9}{I_1} \right) \quad (17-1)$$

$$Z_{EF_2} \times \left(\frac{I_9}{I_1} \right)$$

از طرف دیگر چون نقطه F_2 مرز عملکرد نواحی دوم و سوم رله B_1 است، می‌توان نوشت:

$$Z_{rB_1} \times \frac{I_5}{I_1} = Z_{BG} \times \left(\frac{I_5}{I_1} \right) + Z_{GE} \times \left(\frac{I_4}{I_1} \right) + Z_{EF_2} \times \left(\frac{I_9}{I_1} \right) \quad (18-1)$$

با استفاده از رابطه (۱۶-۱)، رابطه (۱۸-۱) بصورت زیر در می‌آید:

$$Z_A(A_1, F_r) = Z_{AJ} + Z_{JB} \times \frac{I_2}{I_1} + Z_{2B_1} \times \frac{I_5}{I_1} \quad (19-1)$$

امپدانسی که بدین ترتیب محاسبه شد، برای خطاهای سه‌فاز متقارن معتبر است. برای خطاهای فاز به فاز یا فاز به زمین باید از روابط مربوط به این گونه خطاهای استفاده کرد. تا این مرحله، با توجه به تنظیم ناحیه دوم رله اصلی A_1 ، ماکریم مقدار امپدانس تنظیم ناحیه سوم رله پشتیبان A_1 بدست آمده است. اما چون رله A_1 می‌تواند رله‌های اصلی متعددی داشته باشد، برای بدست آوردن مقدار نهایی ماکریم امپدانس تنظیم می‌بایست برای همه رله‌هایی که رله A_1 از آن‌ها پشتیبانی می‌کند مقدار $Z_A(A_1, F_r)$ در حالت عادی و حالت خارج شدن یک خط از شبکه بدست آورده شود. از میان همه مقادیر بدست آمده برای $Z_A(A_1, F_r)$ کوچکترین مقدار را برگزیده و با در نظر گرفتن ضریب TZ_{\max}^1 با ملاحظه خطاهای احتمالی، ماکریم مقدار تنظیم ناحیه سوم حاصل می‌شود.

$$Z_{r_{\max}} = TZ_{\max} \times \min \{Z_A(A_1, F_r), Z_A(A_1, F'_r), Z_A(A_1, F''_r), \dots\} \quad (20-1)$$

در این رابطه، ضریب TZ_{\max} مقداری بین ۰,۸ تا ۰,۹ دارد. F'_r و F''_r نقاط مشابه F_r و محل تلاقی ناحیه ۲ و ۳ رله‌های دیستانس موجود بر روی خطوط جلوی خط اصلی هستند. دلیل انتخاب کوچکترین مقدار $Z_A(A_1, F_r)$ مشخص است. زیرا برای حفظ هماهنگی بین رله A_1 با همه رله‌های اصلی اش، محدوده عملکرد ناحیه ۳ این رله هیچگاه نباید از نقطه F_r متناظر با رله‌های اصلی دیگر یعنی F'_r ، F''_r و ... فراتر رود.

در تنظیم این ناحیه باید اثر امپدانس بار را نیز در نظر گرفت. یعنی همواره باید مقداری که برای تنظیم نهایی ناحیه سوم رله در نظر گرفته شده

است، کوچکتر از $Z_{L\min}$ باشد. $Z_{L\min}$ مینیمم امپدانس باری است که رله در هنگام عبور بیشترین جریان بار می‌بیند. بعد از مشخص شدن مقادیر ماکریم و مینیمم امپدانس تنظیم ناحیه سوم رله، یکی از حالات زیر ممکن است رخ دهد:

الف-اگر $Z_{\min} < Z_{L\min} < Z_{\max}$ باشد، آنگاه:

الف-۱- اگر میان مقادیر مینیمم و ماکریم رابطه $Z_{\max} > Z_{\min} > Z_{L\min}$ برقرار باشد، با انتخاب Z_{\max} به عنوان امپدانس تنظیم ناحیه سوم رله A_1 ، اولاً همه خطوط مجاور زیر پوشش این ناحیه قرار می‌گیرند؛ ثانیاً هیچ‌گونه تلاقی بین ناحیه ۳ رله‌های اصلی و پشتیبان وجود نخواهد داشت.

الف-۲- اگر میان این دو مقدار رابطه $Z_{\max} > Z_{\min} > Z_{L\min}$ صادق باشد، برای مشخص کردن تنظیم ناحیه سوم رله A_1 یکی از حالت‌های ذیل پیشنهاد می‌شود:

الف-۲-۱- تنظیم ناحیه سوم رله A_1 بر روی مقدار Z_{\max} قرار داده می‌شود. با این انتخاب، گرچه برد ناحیه سوم رله A_1 کاهش پیدا می‌کند و ممکن است تمامی خطوط مجاور پوشانده نشود، اما هماهنگی همچنان باقی خواهد ماند.

الف-۲-۲- تنظیم ناحیه سوم رله A_1 برابر Z_{\min} انتخاب می‌شود. در این حالت به خاطر جلوگیری از تلاقی میان عملکرد ناحیه سوم رله A_1 با ناحیه سوم رله‌های اصلی اش، لازم است زمان عملکرد ناحیه سوم رله A_1 به اندازه ۰.۳ ثانیه از بزرگترین زمان عملکرد ناحیه سوم رله‌های اصلی اش بیشتر در نظر گرفته شود که در این صورت رله کمی تأخیر در عملکرد خواهد داشت.

ب- اگر رابطه $Z_{\max} > Z_{L\min} > Z_{\min}$ برقرار باشد، بدون توجه به مقدار Z_{\min} باید $Z_{L\min}$ را به عنوان تنظیم ناحیه سوم رله A_1 در نظر گرفت. زیرا اگر $Z_{\min} < Z_{L\min}$ باشد، برای افزایش برد رله مقدار بزرگتر یعنی $Z_{L\min}$ در نظر گرفته شده است و اگر $Z_{\min} > Z_{L\min}$ باشد، باز هم برای آنکه اندازه امپدانس تنظیمی رله نباید از امپدانس بار متجاوز شود، $Z_{L\min}$ به عنوان امپدانس تنظیم در نظر گرفته شده است.

ج- اگر $Z_{\text{min}} > Z_{L\text{min}}$ و $Z_{\text{max}} < Z_{L\text{min}}$ باشد، چون امپدانس تنظیمی باید حتماً کمتر یا مساوی $Z_{L\text{min}}$ باشد، باید یکی از مقادیر Z_{min} یا Z_{max} را انتخاب کنیم. البته چون هردوی این مقادیر از Z_{min} کوچکتر هستند، در نتیجه بخشی از خطوط مجاور پوشش داده نمی‌شوند. حال اگر مقدار Z_{max} را انتخاب کنیم هیچ‌گونه تداخلی بین ناحیه سوم رله پشتیبان و رله‌های اصلی وجود نخواهد داشت، اما میزان پوشش خطوط مجاور کم خواهد بود. ولی اگر مقدار $Z_{L\text{min}}$ را انتخاب کنیم، مقدار پوشش خطوط مجاور بهتر می‌شود. البته باز هم خطوطی بدون پوشش خواهند بود ولی چون این مقدار از Z_{max} بیشتر است، با نواحی سوم بعضی از رله‌های اصلی تداخل خواهند داشت که باید زمان تنظیمی ناحیه سوم رله A_1 را به مقدار مناسب افزایش داد.

مثال (۱-۳): شبکه شکل زیر را در نظر بگیرید. در این شبکه، تغذیه I_{H2} در وسط خط GH وارد شده و مفروضات زیر برقرارند:

$$|I_{H2}| = \frac{1}{\sqrt{3}} |I_G|, |I_{H1}| = \frac{1}{\sqrt{3}} |I_G|$$

$$\angle I_{H2} = \angle I_G + 20^\circ, \angle I_{H1} = \angle I_G$$

$$Z_{GH} = 5 \angle 60^\circ \Omega, Z_{HR} = 3 \angle 60^\circ \Omega$$

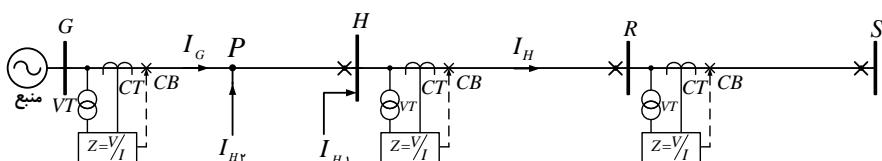
$$CTratio = 60\% / 5, VTratio = 1380\% / 115$$

$$\theta = 45^\circ \text{ زاویه رله}$$

الف- تنظیم ناحیه اول رله دیستانس مهو واقع در G را بدست آورید.

ب- فرض کنید تغذیه I_{H2} قطع باشد. با قطع و وصل تغذیه I_{H1} ، تنظیم نواحی ۲ و

۳ رله دیستانس مهو واقع در G را بیابید.



جواب:

الف) امپدانس ناحیه ۱ رله G :

قطع $: I_{H1}$

$$Z_1 = 0.8 \times Z_{GH} = 4 \angle 60^\circ$$

$$Z_{r1a} = \frac{|Z_1|}{\cos(\angle Z_1 - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 4141$$

وصل $: I_{H2}$

$$Z_1 = 0.8 \times \left(Z_{GP} + \frac{I_{PH}}{I_G} \times Z_{PH} \right) = 7.4 \angle 66.6^\circ$$

$$Z_{r1b} = \frac{|Z_1|}{\cos(\angle Z_1 - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 796$$

$$Z_{r1} = \text{Min}\{Z_{r1a}, Z_{r1b}\} = 4141$$

ب) محاسبه ناحیه ۲ رله دیستانس واقع در G :

مطابق قسمت الف، بدون در نظر گرفتن تغذیه I_{H2} امپدانس تنظیمی ناحیه اول رله G برابر است با:

$$Z_{r1} = 4141$$

برای محاسبه تنظیم ناحیه ۲ رله دیستانس G ، ابتدا با استفاده از ناحیه ۱ رله دیستانس H بدست آید:

$$Z_1 = 0.8 \times Z_{HR} = 2.4 \angle 60^\circ$$

حال با در نظر گرفتن این مطلب که برای تنظیم ناحیه ۲ می‌باشد دو حالت تنظیم مینیمم و ماکزیمم در نظر گرفته شود، تنظیم این ناحیه بصورت زیر بدست می‌آید:
تنظیم ماکزیمم ناحیه ۲:

قطع $: I_{H1}$

$$Z_{r1a} = 0.85 \times (Z_{GH} + Z_{IH}) = 6.29 \angle 60^\circ$$

$$Z_{r1b} = \frac{|Z_{r1a}|}{\cos(\angle Z_{r1a} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = \frac{6.29}{\cos(60 - 45)} \times \frac{60/5}{1380/115} = 6512$$

وصل $: I_{H1}$

$$Z_{rb} = 0.85 \times \left(Z_{GH} + \frac{I_H}{I_G} \times Z_{IH} \right) = 0.85 \times \left(Z_{GH} + \frac{\frac{4}{3} I_G}{I_G} \times Z_{IH} \right) = 6.97 \angle 60^\circ$$

$$Z_{rvb} = \frac{|Z_{rb}|}{\cos(\angle Z_{rb} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 7.216$$

تنظیم نهایی ماکزیمم ناحیه ۲ رله برابر است با:

$$Z_{rv\max} = \min\{Z_{rvb}, Z_{rvb}\} = 6.512$$

تنظیم مینیمم ناحیه ۲:

$$Z_{rv\min} = 1.1 \times Z_{GH} = 5.5 \angle 60^\circ$$

$$Z_{rv\min} = \frac{|Z_{rv\min}|}{\cos(\angle Z_{rv\min} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 5.66$$

با مقایسه بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم، داریم:

$$Z_{rv\max} > Z_{rv\min} \Rightarrow Z_{rv} = Z_{rv\max} = 6.512$$

محاسبه ناحیه ۳ رله دیستانس واقع در G :

برای محاسبه ناحیه ۳ رله دیستانس G ، لازم است ناحیه ۲ رله دیستانس H محاسبه گردد. برای این منظور، ابتدا باید ناحیه ۱ رله دیستانس R را حساب کنیم:

$$Z_{1R} = 0.8 \times Z_{RS} = 3.2 \angle 60^\circ$$

$$Z_{rH} = 0.85 \times (Z_{HR} + Z_{1R}) = 5.27 \angle 60^\circ$$

به طریق مشابه ناحیه ۲، حالات ماکزیمم ناحیه ۳ را با قطع و وصل تغذیه I_{H1} حساب می‌کنیم:

قطع:

$$Z_{ra} = 0.9 \times (Z_{GH} + Z_{rH}) = 9.243 \angle 60^\circ$$

$$Z_{rv\alpha} = \frac{|Z_{ra}|}{\cos(\angle Z_{ra} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 9.569$$

: I_{H1} وصل

$$Z_{rb} = 0.9 \times \left(Z_{GH} + \frac{I_H}{I_G} \times Z_{rH} \right) = 10.824 \angle 60^\circ$$

$$Z_{r^{\text{max}}b} = \frac{|Z_{rb}|}{\cos(\angle Z_{rb} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 1120.5$$

$$Z_{r^{\text{max}}\text{max}} = \min\{Z_{r^{\text{max}}a}, Z_{r^{\text{max}}b}\} = 956.9$$

تنظیم مینیمم ناحیه ۳ رله بصورت زیر بدست می‌آید:

$$Z_{r^{\text{min}}} = 1.1 \times \max\{Z_{GR}, Z(G_1, R)\} = 99 \angle 60^\circ$$

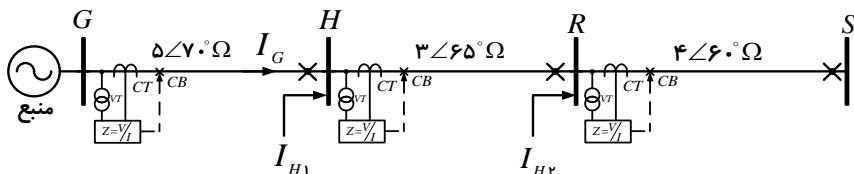
$$Z_{r^{\text{min}}\text{min}} = \frac{|Z_{r^{\text{min}}}|}{\cos(\angle Z_{r^{\text{min}}} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 10.24$$

با مقایسه بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم داریم:

$$Z_{r^{\text{max}}\text{max}} < Z_{r^{\text{min}}\text{min}}$$

طبق توضیحات ارائه شده در مورد تنظیم ناحیه ۳ رله دیستانس، در این حالت می‌توان هر یک از مقادیر ماکزیمم و مینیمم را با در نظر گرفتن شرایط مطرح شده به عنوان تنظیم نهایی ناحیه ۳ در نظر گرفت.

مثال (۱-۳): در شبکه شکل زیر تنظیم نواحی سه‌گانه رله دیستانس واقع در G را بیابید.



زاویه رله $\theta = 45^\circ$

$$I_{H_1} = \frac{1}{3} I_G$$

$$I_{H_2} = \frac{1}{2} I_G$$

$$CTratio = \frac{600}{5}$$

$$VTratio = \frac{13800}{115}$$

راهنمایی - مطابق شکل داریم:

$$I_{HR} = I_G + I_{H1}$$

$$I_{RS} = I_{HR} + I_{H2} = I_G + I_{H1} + I_{H2}$$

جواب:

محاسبه امپدانس ناحیه ۱ رله G :

$$Z_1 = 0.8 \times Z_{GH} = 4 \angle 70^\circ$$

$$Z_{r1} = \frac{|Z_1|}{\cos(\angle Z_1 - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 4.41$$

محاسبه امپدانس ناحیه ۲ رله G :

برای محاسبه امپدانس ناحیه ۲ رله G می‌بایست ابتدا ناحیه ۱ رله H را بدست آورد:

$$Z_{1H} = 0.8 \times Z_{HR} = 2.4 \angle 65^\circ$$

تنظیم ماکزیمم ناحیه ۲:

قطع I_{H1}

$$Z_{ra} = 0.85 \times (Z_{GH} + Z_{1H}) = 6.284 \angle 68.38^\circ$$

$$Z_{rra} = \frac{|Z_{ra}|}{\cos(\angle Z_{ra} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = \frac{6.29}{\cos(63.38 - 45)} \times \frac{60/5}{1380/115}$$

$$= 6.847$$

وصل I_{H1}

$$Z_{rb} = 0.85 \times \left(Z_{GH} + \frac{I_{HR}}{I_G} \times Z_{1H} \right) = 6.963 \angle 68.05^\circ$$

$$Z_{rrb} = \frac{|Z_{rb}|}{\cos(\angle Z_{rb} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 7.568$$

تنظیم نهایی ماکزیمم ناحیه ۲ رله برابر است با:

$$Z_{r\max} = \text{Min}\{Z_{rra}, Z_{rrb}\} = 6.847$$

تنظیم مینیمم ناحیه ۲:

$$Z_{r\min} = 1.1 \times Z_{GH} = 0.5 \angle 70^\circ$$

$$Z_{rr\min} = \frac{|Z_{r\min}|}{\cos(\angle Z_{r\min} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 6.068$$

با مقایسه بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم، داریم:

$$Z_{r\gamma\max} > Z_{r\gamma\min} \Rightarrow Z_{r\gamma} = Z_{r\gamma\max} = 6,847$$

محاسبه امپدانس ناحیه ۳ رله G :

برای محاسبه امپدانس ناحیه ۳ رله G ، ابتدا باید ناحیه ۲ رله H بdst آورده شود.

برای محاسبه ناحیه ۲ رله H نیز ابتدا ناحیه ۱ رله R را بdst می‌آوریم:

$$Z_{1R} = 0,8 \times Z_{RS} = 3,2 \angle 60^\circ$$

تنظیم ماکزیمم ناحیه ۲ رله H :

قطع $: I_{H\gamma}$

$$Z_{\gamma a} = 0,85 \times (Z_{HR} + Z_{1R}) = 5,265 \angle 62,42^\circ$$

$$Z_{r\gamma a} = \frac{|Z_{\gamma a}|}{\cos(\angle Z_{\gamma a} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 5,518$$

وصل $: I_{H\gamma}$

$$Z_{\gamma b} = 0,85 \times \left(Z_{HR} + \frac{I_{RS}}{I_{HR}} \times Z_{1R} \right) = 5,53 \angle 61,69^\circ$$

$$Z_{r\gamma b} = \frac{|Z_{\gamma b}|}{\cos(\angle Z_{\gamma b} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 5,86$$

تنظیم نهایی ماکزیمم ناحیه ۲ رله برابر است با:

$$Z_{r\gamma\max} = \text{Min}\{Z_{r\gamma a}, Z_{r\gamma b}\} = 5,518$$

تنظیم مینیمم ناحیه ۲ رله H :

$$Z_{\gamma\min} = 1,1 \times Z_{HR} = 3,3 \angle 65^\circ$$

$$Z_{r\gamma\min} = \frac{|Z_{\gamma\min}|}{\cos(\angle Z_{\gamma\min} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 3,5$$

با مقایسه بین مقدار ماکزیمم و مینیمم داریم:

$$Z_{r\gamma\max} > Z_{r\gamma\min} \Rightarrow Z_{r\gamma} = Z_{r\gamma\max} = 5,518$$

$$\Rightarrow Z_{\gamma H} = Z_{\gamma a} = 5,265 \angle 62,42^\circ$$

تنظیم ماکزیمم ناحیه ۳ رله G :

وصل $: I_{H1}$

$$Z_{ra} = 0.9 \times \left(Z_{GH} + \frac{I_{HR}}{I_G} \times Z_{RH} \right) = 1.79 \angle 65.57^\circ$$

$$Z_{rra} = \frac{|Z_{ra}|}{\cos(\angle Z_{ra} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 11.51$$

قطع: I_{H_1}

$$Z_{rb} = 0.9 \times (Z_{GH} + Z_{RH}) = 1.29 \angle 66.11^\circ$$

$$Z_{rrb} = \frac{|Z_{rb}|}{\cos(\angle Z_{rb} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 1.88$$

تنظیم نهایی ماکزیمم ناحیه ۳ رله برابر است با:

$$Z_{r^{\max}} = \text{Min}\{Z_{ra}, Z_{rb}\} = 1.88$$

تنظیم مینیمم ناحیه ۳ رله G :

قطع: I_{H_1}

$$Z_{ra} = 1.1 \times (Z_{GH} + Z_{HR}) = 1.792 \angle 68.125^\circ$$

$$Z_{rra} = \frac{|Z_{ra}|}{\cos(\angle Z_{ra} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 9.56$$

وصل: I_{H_1}

$$Z_{rb} = 1.1 \times \left(Z_{GH} + \frac{I_{HR}}{I_G} \times Z_{HR} \right) = 9.89 \angle 67.778^\circ$$

$$Z_{rrb} = \frac{|Z_{rb}|}{\cos(\angle Z_{rb} - \theta)} \times \frac{CTratio}{VTratio} = 1.727$$

$$Z_{r^{\min}} = \text{Max}\{Z_{ra}, Z_{rb}\} = 1.727$$

با مقایسه بین مقدار ماکزیمم و مینیمم داریم:

$$Z_{r^{\min}} > Z_{r^{\max}}$$

در این مثال نیز می‌توان هر یک از مقادیر ماکزیمم و مینیمم را با در نظر گرفتن شرایط مطرح شده در تنظیم ناحیه ۳، به عنوان تنظیم نهایی ناحیه ۳ برگزید.

در این مثال‌ها، تنظیم امپدانس نواحی اول تا سوم از رله اول محاسبه شد.

برای تنظیم امپدانس نواحی اول تا سوم دیگر رله‌ها نیز باید همین روش را تکرار کرد. زمان عملکرد، در ابتدا برای نواحی دوم کلیه رله‌ها $3/0$ و برای نواحی سوم

۶۰ ثانیه در نظر گرفته می‌شود و فقط در موقعی که ناحیه دوم و سوم رله پشتیبان با نواحی دوم و سوم رله‌های اصلی اش تلاقی پیدا کند، این زمان‌ها با پله‌های ۳۰ ثانیه‌ای افزایش داده می‌شوند [۷ و ۸].

۵-۱ خلاصه مطالب

الف- در شبکه‌های قدرت، از رله‌های دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال انرژی در برابر خطاهای مختلف فاز به فاز و فاز به زمین استفاده می‌شود. رله‌های دیستانس سه ناحیه حفاظتی دارند. از ناحیه اول و بخشی از ناحیه دوم برای حفاظت اصلی و از بخشی از ناحیه دوم و ناحیه سوم برای حفاظت پشتیبان استفاده می‌شود. عملکرد رله در ناحیه اول سریع است و در نواحی دوم و سوم با تأخیر صورت می‌گیرد. برای تنظیم رله، علاوه بر نواحی حفاظتی، زمان‌های عملکرد در نواحی دوم و سوم نیز باید مشخص شود. بنابراین برای تنظیم یک رله دیستانس، سه امپدانس مربوط به نواحی ۱، ۲ و ۳ و دو زمان برای نواحی ۲ و ۳ باید مشخص گردد.

ب- چگونگی تنظیم ناحیه یک رله دیستانس زمانی که شبکه بهم پیوسته است:

$$Z_1(A_1) = FZ \times \min\{Z_{AB}, Z_{AC}, Z_A(A_1, B), Z_A(A_1, C)\}$$

ضریب FZ ، ۰.۸ تا ۰.۹ در نظر گرفته می‌شود.

ج- تنظیم و هماهنگی ناحیه دوم رله دیستانس زمانی که شبکه بهم پیوسته است:

$$Z_{r_{\min}} = SZ_{\min} \times \max\{Z_{AB}, Z_{AC}, Z_A(A_1, B), Z_A(A_1, C)\}$$

$$Z_{r_{\max}} = SZ_{\max} \times \min\{Z_A(A_1, F_1), Z_A(A_1, F'_1), Z_A(A_1, F''_1)\}$$

ضریب SZ_{\min} را بین ۰.۶ تا ۱.۳ و ضریب SZ_{\max} را بین ۰.۸ تا ۰.۹ در نظر می‌گیرند.

د- تنظیم و هماهنگی ناحیه سوم رله دیستانس زمانی که شبکه بهم پیوسته است:

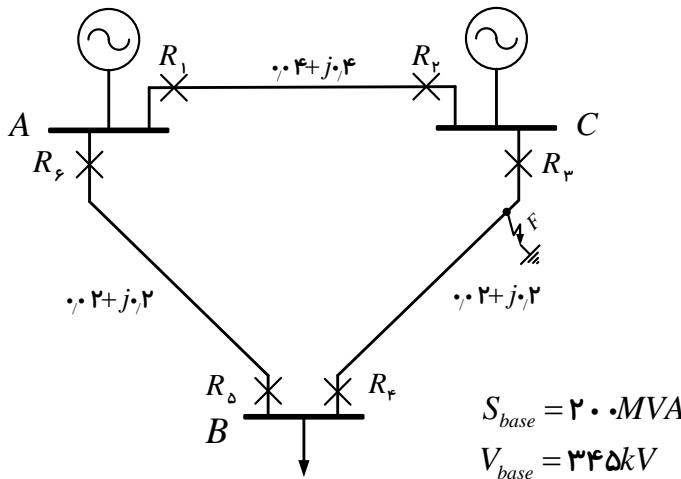
$$Z_{r_{\min}} = TZ_{\min} \times \max\{Z_{AE}, Z_{AD}, Z_A(A_1, E), Z_A(A_1, D)\}$$

$$Z_{r_{\max}} = TZ_{\max} \times \min \{Z_A(A, F_r), Z_A(A, F'_r), Z_A(A, F''_r)\}$$

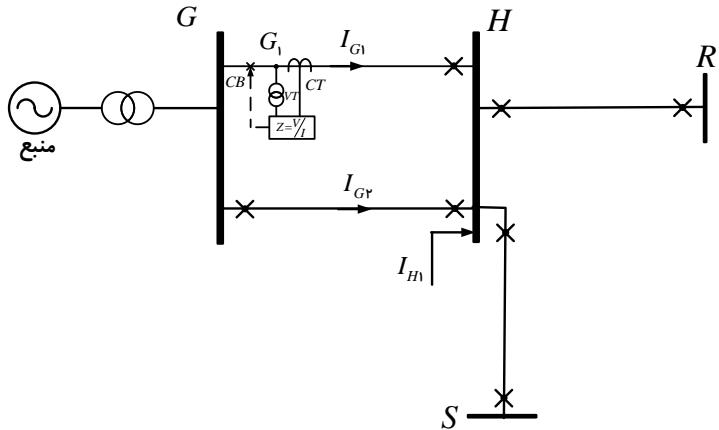
ضریب TZ_{\min} را بین ۰,۸ تا ۱,۳ و ضریب TZ_{\max} را بین ۰,۹ تا ۱,۱ در نظر می‌گیرند. در تنظیم این ناحیه، باید اثر امپدانس بار را نیز در نظر گرفت. یعنی همواره باید مقداری که برای تنظیم نهایی ناحیه سوم رله در نظر گرفته شده است، کوچکتر از $Z_{L_{\min}}$ باشد.

۶-۱ تمرین‌ها

- ۱) در شبکه شکل زیر تمامی خطوط با رله‌های دیستانس حفاظت شده‌اند.
- امپدانس خطوط بر حسب پریونیت بیان شده است.
- الف- تنظیم نواحی سه‌گانه هر یک از رله‌های دیستانس R_1 تا R_r را بباید. فرض می‌شود که ناحیه اول 80% ، ناحیه دوم 150% و ناحیه سوم 225% خط اصلی را می‌پوشانند.
- ب- در صورتی که خطایی مطابق شکل در فاصله 15% از سمت باس C و در خط BC اتفاق بیفتد، هر یک از رله‌های R_1 تا R_r این خطا را در چه ناحیه‌ای می‌بینند؟ چگونگی عملکرد رله‌ها را تشریح کنید.



۲) شکل زیر بخشی از یک شبکه قدرت می‌باشد.



برای هر خط $Z_{GH} = 5 \angle 70^\circ \Omega$

$$Z_{HR} = 4 \angle 70^\circ \Omega$$

$$Z_{HS} = 6 \angle 70^\circ \Omega$$

$$\text{زاویه رله } \theta = 45^\circ$$

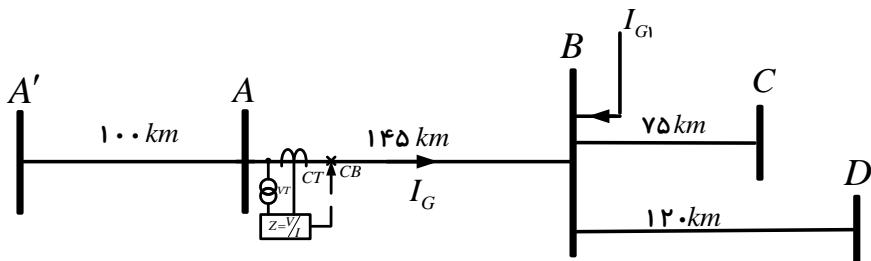
$$V\text{Ratio} = \frac{33kV}{100\sqrt{3}V}$$

$$C\text{Ratio} = \frac{50A}{5A}$$

اگر اندازه جریان تزریقی $I_{G1} = I_{Gr}$ و $I_{H1} = \frac{1}{3}I_{G1}$ باشد، تنظیم نواحی ۱ و ۲ رله مشخص شده در پست G یعنی G_1 را پیدا کنید.

- ۳) رله دیستانس واقع در بس A از شبکه ۲۳ کV شکل زیر دارای مشخصه مهو برای نواحی ۱ و ۲ و مشخصه مهو دارای offset برای ناحیه ۳ می‌باشد.
- الف) تنظیم سه ناحیه رله دیستانس را بدست آورید. فرض کنید امپدانس offset، امپدانس ناحیه ۳ باشد.

- ب) به ازای وقوع خطا بیانی در موقعیت ۶۰٪ خط AB، حداقل مقاومت خطا چقدر باشد تا رله دیستانس مورد بحث این خطا را در ناحیه ۱ خود بیند؟



$$Z = (0.2 + j0.5) \Omega/km$$

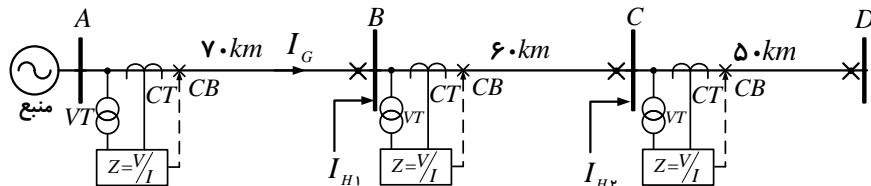
$$VTratio = 230kV / 1.1\sqrt{3}kV$$

$$CTratio = 40 \cdot A / 1A$$

$$I_{G1} = \frac{1}{3} I_G$$

$$\text{زاویه رله } \theta = 45^\circ$$

۱۴) شبکه ساده زیر را در نظر بگیرید. ولتاژ شبکه $33kV$ می‌باشد.



$$\text{امپدانس خط } Z = 1.8 \angle 65^\circ \Omega/km$$

$$\text{زاویه رله } \theta = 45^\circ$$

$$CTratio = \frac{100A}{5A}$$

$$VTratio = \frac{33kV}{100\sqrt{3}V}$$

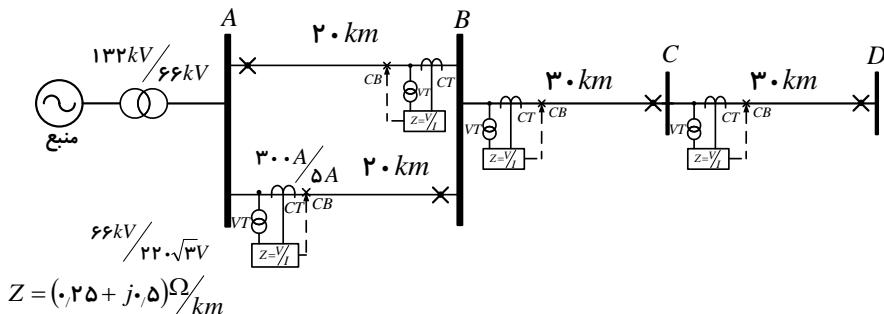
الف) وقتی تغذیه‌های I_{H1} و I_{H2} وجود ندارند، تنظیم سه ناحیه رله دیستانس واقع در A را بیابید.

ب) اگر $I_{H2} = \frac{1}{2} I_G$ و $I_{H1} = \frac{1}{3} I_G$ باشند، تنظیم سه ناحیه رله دیستانس واقع در A را بیابید.

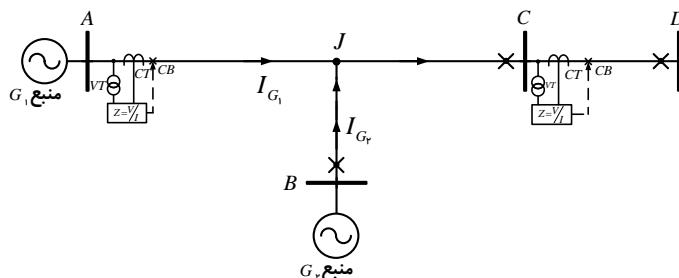
ج) در مورد تأثیر جریان‌های I_{H1} و I_{H2} بر پوشاندن خطوط BC و CD توسط نواحی ۲ و ۳ رله دیستانس واقع در A بحث و تحلیل نمایید.

د) اگر امپدانس خط BC، 20% از امپدانس خط AB از نظر قدر مطلق بزرگتر و زاویه آن برابر 50° و $Z_{CD} = 3Z_{AB}$ باشد، مجددًا قسمت ب را حل کنید.

۵) در شبکه زیر زاویه رله دیستانس واقع در خط پایین از بس A، 45° می‌باشد. تنظیم نواحی آن را بیابید.



۶) در شکل زیر فرض بر این است که I_{Gr} به وسط خط AC وصل بوده و ولتاژ ژنراتورها یکسان است.



اطلاعات شبکه بصورت زیر است:

$$Z_{G1} = Z_{G2} = 2 \angle 65^\circ \Omega$$

$$Z_{AC} = 5 \angle 65^\circ \Omega$$

$$Z_{AB} = 6 \angle 65^\circ \Omega$$

$$Z_{CD} = 3 \angle 65^\circ \Omega$$

$$\text{زاویه رله} \theta = 45^\circ$$

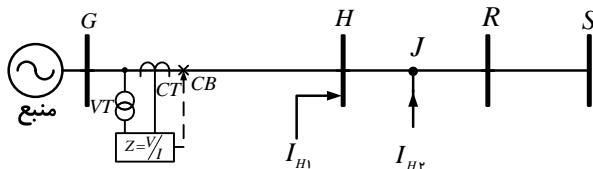
$$CTratio = \frac{1000A}{5A}$$

$$VTratio = \frac{33kV}{110\sqrt{3}V}$$

الف) نسبت I_{G1} به I_{Gr} را برای خطاهای روی J تا D بدست آورید.

ب) امپدانس تنظیمی نواحی ۱ و ۲ رله دیستانس واقع در A را حساب کنید.

۷) در شکل زیر تنظیم امپدانس سه ناحیه رله دیستانس واقع در G را بیابید.



$$Z_{GH} = 4 \angle 70^\circ \Omega$$

$$Z_{HR} = 3.5 \angle 65^\circ \Omega$$

$$Z_{RS} = 6.5 \angle 65^\circ \Omega$$

$$I_{H1} = \frac{1}{\mu} I_G$$

$$I_{Hr} = \frac{\mu}{\mu} I_G$$

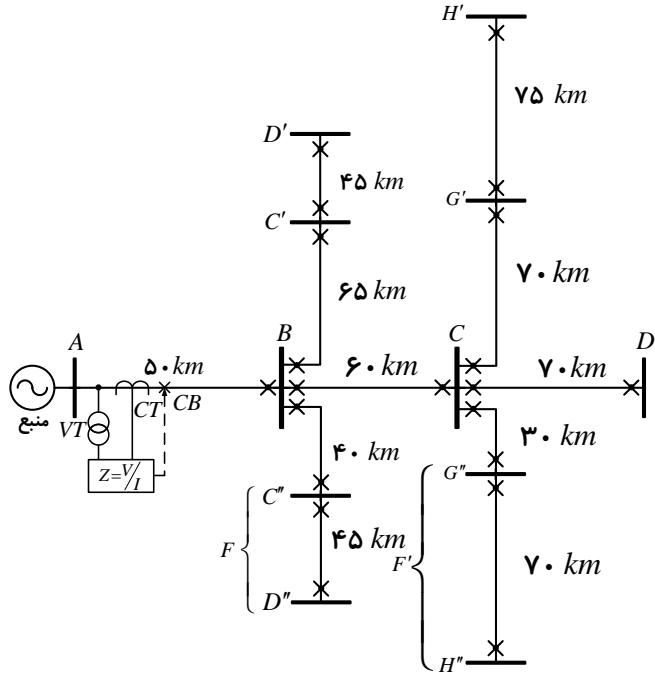
$$Z_{HJ} = \frac{1}{\mu} Z_{HR}$$

$$\text{زاویه رله} \theta = 45^\circ$$

$$VTratio = \frac{20kV}{115\sqrt{3}V}$$

$$CTratio = \frac{500A}{5A}$$

۱) در شکل زیر، سه ناحیه رله دیستانس واقع در باتس A را حساب کنید.



$$Z = (0.2 + j0.45) \Omega/km$$

$$CTratio = \frac{40.0A}{5A}$$

$$VTratio = \frac{55kV}{220\sqrt{3}V}$$

$$\text{زاویه رله } \theta = 45^\circ$$

مراجع (۷-۱)

- [1] Damborg, M.J; Ramaswami, R; Venkata, S.S; Postforoosh, J.M "Computer Aided Transmission Protection System Design Part I: Alcorithms ", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, no. 1, pp. 51 - 59, January 1984.
- [۲] حسین عسکریان ابیانه با همکاری مهدی طالشیان، "حفظت و رله‌ها" انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲.
- [۳] بیژن رازی، حسین عسکریان ابیانه، فرزاد رضوی، رضا محمدی "روش جدید برای هماهنگی رله‌های دیستانس در شبکه‌های به هم پیوسته"، دومین کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستم‌های قدرت، دانشگاه امیرکبیر، تهران، دی ۱۳۸۶.
- [4] R.Ramaswami, S. Venkata, J. Damborg and postforoosh, "Computer Aided Transmission Protection System Design, Part II Implementation and Results", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, no. 1, pp. 60 - 65, January 1984.
- [5] R.Ramaswami, M. J. Damborg, S. Venkata, A.K. Jampala and J.M. Postforoosh, "Enhanced Algorithm for Transmission Protective Relay Coordination", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 1, no. 1, pp. 280-287, January 1986.
- [6] Abedi, E; Abyaneh, H.A; Asgari, R; Sadeghi, S "Analysis of the SVC Impact on Distance Relays Performance", 31st International Telecommunications Energy Conference, Incheon, South Korea, pp. 1-5, October 2009.
- [7] R.M.Chabanlo, H.A.Abyaneh, S.S.H Kamangar, F.Razavi, "Optimal Combined Overcurrent and Distance Relays Coordination Incorporating Intelligent Overcurrent Relays Characteristic Selection", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, no. 3, pp. 1381 - 1391, June 2011.
- [8] Kamangar, S.S.H; Abyaneh, H.A; Razavi, F; Chabanlo, R.M, "Optimal Combined Overcurrent and Distance Relays Coordination Using a New Genetic Algorithm Method", International Journal of Innovations in Energy Systems and Power(IJIESP), vol. 5, no. 1, pp. 17-21, April 2010.