

(۱) تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد فازی و زمین در

شبکه‌های بهم پیوسته

(۱-۲) مقدمه

تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد به معنی پیدا کردن ضرایب تنظیم جریانی و زمانی است. این ضرایب با محاسبه جریان‌های اتصال کوتاه و بار محاسبه می‌شوند. برای یافتن تنظیم زمانی، علاوه بر جریان‌های اتصال کوتاه، محاسبه زمان عملکرد رله نیز نیاز است. به همین منظور لازم است مدل مشخصه‌های مختلف رله‌های جریان زیاد بصورت ریاضی بیان شوند. لذا در این فصل ابتدا به چگونگی مدل کردن مشخصه رله‌ها پرداخته می‌شود. سپس چگونگی تنظیم و هماهنگ نمودن رله‌های جریان زیاد در شبکه‌های ساعی بیان شده و در نهایت تنظیم و هماهنگی این رله‌ها در شبکه‌های حلقوی و بهم پیوسته شرح داده می‌شود [۱].

(۲-۲) مدل منحنی مشخصه رله‌های جریان زیاد و اتصال

زمین کاهشی

در هماهنگی رله‌های شبکه توسط کامپیوتر، لازم است که منحنی مشخصه تمام رله‌های کاهشی در داخل برنامه مدل شده باشند. تاکنون روش‌های مختلفی برای این منظور ارائه گردیده است. ابتدایی‌ترین طرح، ذخیره نمودن نقاطی از منحنی رله‌ها در حافظه کامپیوتر می‌باشد. در این روش سایر نقاط هر منحنی را

می‌توان با تقریب از روی نقاط داده شده بدست آوردن. اشکال این روش آن است که برای افزایش دقت کار باید تعداد زیادی نقطه از هر منحنی بصورت اطلاعات ورودی در نظر گرفته شود. اگر این کار برای تمام منحنی‌های یک رله و همچنین انواع مختلف رله‌ها انجام گیرد، علاوه بر اشغال حجم زیادی از حافظه کامپیوتر، سرعت محاسبات نیز کند می‌شود. بدین علت در عمل از این روش استفاده نمی‌گردد [۲].

در روش‌های دیگری که تاکنون به کار رفته‌اند، منحنی مشخصه رله بصورت یک رابطه ریاضی مدل شده است. در گذشته انواع گوناگونی از این معادلات پیشنهاد گردیده که اغلب آن‌ها نیز در برنامه‌های کامپیوتری هماهنگی رله‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یک رابطه ریاضی مناسب باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر دقت خوب در تقریب منحنی، حتی المقدور دارای تعداد ضرایب چندان زیادی نیز نباشد. افزایش تعداد ضرایب، باعث اشغال حجم بیشتری از حافظه کامپیوتر می‌شود. علاوه بر این، محاسبه زمان عملکرد یا ضریب تنظیم زمانی رله توسط معادلات نیز باید به سادگی و در زمان کمی قابل انجام باشد. معمولاً افزایش تعداد ضرایب از یک طرف باعث افزایش دقت و از طرف دیگر باعث ازدیاد حجم اشغالی در حافظه کامپیوتر و همچنین افزایش زمان محاسبات می‌شود. لذا با در نظر گرفتن این موضوع، بعد از بیان انواع مدل‌های پیشنهاد شده و مقایسه آن‌ها، رابطه ریاضی مناسب برای هر یک انتخاب می‌گردد. البته لازم به توضیح است که امروزه با پیشرفت زیادی که در امور کامپیوتر صورت پذیرفته مسئله حافظه تا حدود زیادی حل شده است. در معادلات ریاضی زمان عملکرد رله t بر حسب جریان عبوری رله I نشان داده می‌شود. جریان I مطابق مشخصه رله بر حسب PSM^1 داده شده است. همچنین ضریب تنظیم زمانی نیز با TDS^1 یا

^۱ مشخص می‌گردد. PSM نسبت جریان اتصال کوتاه به جریان تنظیم رله است. TSM و TDS ضرایب تنظیم زمانی به ترتیب برای رله‌های اروپایی و آمریکایی هستند [۱ و ۳ و ۴].

(۱-۲-۲) مدل پیشنهادی توسط وارینگتن

در این مدل، زمان عملکرد رله بر حسب PSM و TSM ‌های مختلف بصورت رابطه (۱-۲) داده شده است:

$$t = C + \frac{K}{(I^n - 1)} \times (TSM) \quad (1-2)$$

در رابطه (۱-۲)، t زمان عملکرد رله بر حسب ثانیه و I جریان رله بر حسب PSM می‌باشد. K یک ضریب ثابت است که بستگی به طراحی رله دارد. TSM ضریب تنظیم زمانی رله و n یک عدد ثابت وابسته به نوع مشخصه کاهاشی است. C ضریب ثابتی برای در نظر گرفتن اثر اصطکاک و هیسترزیس مغناطیسی می‌باشد. معادلاتی که توسط کارخانه‌های سازنده رله داده می‌شود، در اغلب موارد مشابه رابطه (۱-۲) می‌باشند. این معادلات برای چندین نوع رله در جدول (۱-۲) داده شده‌اند. در این مدل علاوه بر این که تعداد ضرایب کم می‌باشد، محاسبه زمان عملکرد رله در شرایطی که جریان و TSM معلوم هستند و همچنین محاسبه TSM در حالت معلوم بودن جریان و زمان عملکرد، ساده می‌باشد. برای بدست آوردن ضرایب مجھول K و C در رابطه (۱-۲) از روش برآش منحنی^۳ رله با مینیمم کردن مقدار مربع خطاهای استفاده می‌شود. این

1-Time Dial Setting

2-Time Setting Multiplier

3-Curve Fitting

4-Least Square

روش‌ها بر تقریب زدن منحنی عملکرد رله استوارند. در تقریب زدن منحنی توسط یک رابطه ریاضی، برای هر TSM حدود ۱۰ تا ۱۵ نقطه انتخاب می‌شود. این نقاط باید تمام محدوده جریانی و TSM ‌هایی را که در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرند، بپوشانند. ضرایب K و C با توجه به تمام این نقاط محاسبه می‌شوند. جدول (۱-۲) معادلات منحنی رله‌ها را که توسط سازندگان رله ارائه شده است، نشان می‌دهد. دقت رابطه (۱-۲) برای انواع منحنی‌های کاهشی، نسبتاً کم می‌باشد.

جدول (۱-۳): رابطه ریاضی انواع رله‌های کاهشی با استفاده از مدل وارینگتن [۱۰۵]

ردیف	نوع رله	معادله
۱	رله کاهشی معمولی	$t = \frac{0.14}{(I)^{0.2} - 1} \times TSM$
۲	رله کاهشی اتصال زمین	$t = \frac{0.11}{(I)^{0.2} - 1} \times TSM$
۳	رله کاهشی با شیب تند	$t = \frac{13/5}{(I) - 1} \times TSM$
۴	رله کاهشی با شیب بسیار تند	$t = \frac{8.0}{(I)^2 - 1} \times TSM$
۵	رله حرارتی	$t = \frac{35}{(I)^2 - 1} \times TSM$
۶	رله اتصال زمین با تأخیر زمانی زیاد	$t = \frac{120}{(I) - 1} \times TSM$

۲-۲-۲ مدل پیشنهادی توسط هیبر^۱

در این مدل زمان عملکرد رله بر حسب جریان مطابق رابطه (۲-۲) پیشنهاد شده است.

$$t = C + \left(\frac{K}{(I - h + w \times I^{-\alpha l})^q} - b \left(\frac{I}{50} \right)^n \right) \times TSM \quad (2-2)$$

مقادیر q ، h ، b ، l و w ضرایب ثابت هستند و کمیات C ، K ، I و n در رابطه (۱-۲) تعریف شده‌اند. این رابطه با خطی در نظر گرفتن تغییر زمان عملکرد رله نسبت به ضریب تنظیم زمانی، می‌تواند برای همه TSM ‌ها به کار رود. مشکل عمدۀ این رابطه، وجود پارامترهای زیاد است که باعث شده به‌طور مستقیم در برنامه‌های کامپیوتری مورد استفاده قرار نگیرد.

۳-۲-۲ مدل چند جمله‌ای درجه n

این مدل توسط اسمولک^۲ و باجاج^۳ مورد استفاده قرار گرفته است. در مدل باجاج، جریان بر حسب چند جمله‌ای درجه n از زمان مطابق رابطه (۳-۲) بیان گردیده است.

$$I = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n \quad (3-2)$$

در مدل اسمولک، زمان بر حسب چند جمله‌ای درجه n از جریان بصورت رابطه (۴-۲) بیان شده است.

$$t = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + \dots + a_n I^n \quad (4-2)$$

1-J. E. Hieber

2-Howard A. Smolleck

3-K. S. Bajaj

در این دو مدل نیز تغییر زمان عملکرد رله نسبت به TSM بصورت خطی در نظر گرفته شده است. برای بدست آوردن ضرایب ثابت در تمام مدل‌هایی که تاکنون ذکر شده یا در قسمت‌های بعدی بیان می‌گردد، از روش برازش منحنی با حداقل کردن مقدار مربع خطاهای استفاده می‌شود. در حالت کلی، تعداد ضرایب مجھول در یک رابطه درجه n را می‌توان برابر $n+1$ درنظر گرفت. تعداد نقاط خوانده شده از روی منحنی رله برای بدست آوردن این ضرایب، حداقل باید برابر $n+1$ باشد. در حالت کلی برای این که رابطه پوشش کاملی برای تمام محدوده N مورد استفاده از منحنی را داشته باشد، بهتر است تعداد این نقاط یعنی N بزرگتر از $n+1$ انتخاب گردد. در اینجا روش بدست آوردن ضرایب مجھول، از طریق حداقل کردن مربع خطاهای برای چند جمله‌ای رابطه (۴-۲) ذکر می‌شود. روش کار برای تمام معادلات دیگر نیز به گونه‌ای مشابه می‌باشد.

مختصات نقاط خوانده شده از منحنی برای هر نقطه با اندیس i مشخص می‌شود. این اندیس می‌تواند مقادیر ۱ تا N را اختیار نماید. به عنوان مثال نقطه i دارای جریان I_i و زمان عملکرد t_i می‌باشد. برای بدست آوردن مربع خطاهای و مینیمم کردن آن، ابتدا برای هر نقطه مقدار خطای حاصل توسط رابطه تقریب زده شده یعنی رابطه (۴-۲) بدست آورده می‌شود. اگر به ازای جریان I_i زمان عملکرد از روی رابطه (۴-۲) برابر T_i بدست آید، مقدار خطای برای این نقطه برابر می‌شود با:

$$e_i = t_i - T_i \quad \dots \quad (5-2)$$

که در این رابطه، t_i زمان عملکرد به ازای جریان I_i از روی منحنی مشخصه رله می‌باشد. با جایگزین نمودن مقدار T_i از رابطه (۴-۲) در رابطه (۵-۲) خواهیم داشت:

$$e_i = t_i - a_0 - a_1 I_i - a_2 I_i^2 - \dots - a_n I_i^n \quad \dots \quad (6-2)$$

حال باید مقادیر a_0, a_1, \dots و a_n محاسبه شوند. اگر مجموع مربع خطاهای e_i برای تمام نقاط با E نشان داده شوند، مقدار E برابر خواهد شد با:

$$E = \sum_{i=1}^N (e_i)^{\nu} = \sum_{i=1}^N (t_i - a_0 - a_1 I_i - a_2 I_i^{\nu} - \dots - a_n I_i^n)^{\nu} \quad (\text{V-2})$$

برای این‌که مقدار E مینیمم شود، باید مشتقات جزئی آن نسبت به ضرایب a_i تا a_n برابر صفر قرار داده شود. بعد از محاسبه $n+1$ مشتق جزئی E نسبت به a_0 تا a_n پارامتر ذکر شده و مساوی صفر قرار دادن آن‌ها در یک دستگاه معادلات، $n+1$ معادله با $n+1$ مجهول بدست می‌آید. در این دستگاه معادلات، ضرایب a_i تا a_n مجهولات معادلات می‌باشند. این دستگاه معادلات بعد از مرتب کردن بصورت رابطه (۸-۲) در می‌آید:

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^N I_i & \sum_{i=1}^N I_i^{\nu} & \dots & \sum_{i=1}^N I_i^n \\ \sum_{i=1}^N I_i & \sum_{i=1}^N I_i^{\nu} & \sum_{i=1}^N I_i^{\nu} & \dots & \sum_{i=1}^N I_i^{n+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sum_{i=1}^N I_i^n & \sum_{i=1}^N I_i^{n+1} & \sum_{i=1}^N I_i^{n+2} & \dots & \sum_{i=1}^N I_i^{2n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum t_i \\ \sum I_i \times t_i \\ \vdots \\ \vdots \\ \sum I_i^n \times t_i \end{bmatrix} \quad (\text{۸-۲})$$

برای حل معادله ماتریسی (۸-۲) و بدست آوردن ضرایب a_i تا a_n می‌توان از یکی از روش‌های حل عددی دستگاه معادلات مانند گوس-سایدل استفاده نمود. البته از روش‌های معکوس کردن ماتریس نیز می‌توان استفاده کرد. ولی باید دانست در اغلب موارد روش‌های حل عددی، مناسب‌ترند. لازم به یادآوری است که در معادله (۸-۲)، ماتریس بدست آمده معمولاً بد رفتار بوده و دترمینان آن

بسیار نزدیک به صفر می‌شود. بدین علت برای بالا بردن دقت در محاسبات کامپیوتری می‌بایست از دقت مضاعف^۱ استفاده گردد.

یکی از محاسن استفاده از روش مینیمم کردن مجدور خطاهای برای تعیین ضرایب مجھول a_n تا a_1 ، این است که می‌توان با افزایش تعداد نقاط خوانده شده میزان دقت مدل را بالا برد. نکته قابل توجه آن است که این افزایش دقت، بدون افزوده شدن ابعاد دستگاه معادلات صورت می‌گیرد.

در مقایسه معادلات (۳-۲) و (۴-۲) جهت تقریب زدن منحنی رله‌ها، توجه به این نکته ضروری است که در استفاده از این معادلات همواره مقدار جریان معلوم بوده و با قرار دادن آن در معادله، زمان عملکرد رله بدست می‌آید. در معادله (۴-۲) مشاهده می‌گردد که با قرار دادن مقدار جریان، با انجام چند ضرب و جمع مقدار زمان عملکرد رله محاسبه می‌شود. ولی در معادله (۳-۲) با معلوم بودن جریان، مقدار زمان عملکرد رله باید از حل یک معادله درجه n محاسبه گردد که از نظر انجام محاسبات مشکل‌تر از معادله (۴-۲) می‌باشد. بدین دلیل با توجه به مشابه بودن مدل‌های (۳-۲) و (۴-۲) از جنبه دقت، از نظر محاسباتی معادله (۴-۲) نسبت به (۳-۲) ترجیح داده می‌شود. در مواردی که در مراجع از معادله (۴-۲) استفاده شده است، با قرار دادن درجه معادله چند جمله‌ای برابر چهار، دقت لازم بدست آمده است. برای بدست آوردن ضرایب مجھول a_i نیز از ده نقطه استفاده گردیده است. این ده نقطه در فواصل مساوی از یکدیگر در محدوده کار از مینیمم تا ماکزیمم جریان عملکرد انتخاب شده‌اند.

۴-۲-۲) مدل پیشنهادی توسط رادکه

• شرح مدل

در مدل رادکه بر خلاف روش‌های قبل، معادله ریاضی برای منحنی زمان-جریان رله در مقیاس لگاریتمی بیان می‌گردد. به عبارت دیگر، در این روش لگاریتم زمان بر حسب معادله‌ای از لگاریتم جریان مشخص می‌گردد. در مقیاس لگاریتمی زمان اگر دو زمان متغیر t_1 و t_2 با نسبت ثابت در نظر گرفته شوند $\left(\frac{t_2}{t_1} = K\right)$ ، برای تمام مقادیر t_1 و t_2 فاصله آن‌ها روی محور لگاریتمی مقداری ثابت خواهد بود. زیرا فاصله این دو زمان در مقیاس لگاریتمی برابر $\log(t_2) - \log(t_1)$ است که با در نظر گرفتن رابطه زیر:

$$\log(t_2) - \log(t_1) = \log \frac{t_2}{t_1} = \log K \quad (9-2)$$

و با ثابت بودن مقدار K ، فاصله مذکور برای تمام مقادیر t_1 و t_2 ، ثابت می‌ماند. به عنوان مثال اگر $K=2$ باشد، برای مقادیر $t_1=10$ و $t_2=20$ یا $t_1=25$ و $t_2=50$ یا $t_1=35$ و $t_2=70$ ، فاصله زمان‌های t_1 و t_2 ، روی محور لگاریتمی مقدار ثابتی خواهد بود.

اگر تغییر زمان عملکرد رله نسبت به ضریب تنظیم زمانی خطی در نظر گرفته شود، نسبت زمان عملکرد دو مشخصه با TSM_1 و TSM_2 برای هر جریان معین، برابر مقدار $\frac{TSM_2}{TSM_1}$ یعنی یک مقدار ثابت می‌گردد و این بدین معنی است که در صورت رسم مشخصه‌ها در مقیاس لگاریتمی زمان، فاصله دو مشخصه برای تمام جریان‌ها یک مقدار ثابت خواهد شد. در نتیجه، در اثر تغییر ضریب تنظیم زمانی، مشخصه رله فقط در جهت محور زمان تغییر مکان می‌یابد و هیچ تغییر دیگری نمی‌کند.

در مدل تقریب منحنی رله‌ها در مقیاس تمام لگاریتمی، از یک معادله چند جمله‌ای درجه n استفاده گردیده است. در ابتدا فرض می‌شود که تغییر زمان عملکرد رله نسبت به ضریب تنظیم زمانی، خطی تغییر می‌نماید. سپس حالت غیر خطی بودن آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. معادله چند جمله‌ای را در حالت کلی می‌توان بصورت $\log t = f(\log I) + K$ در نظر گرفت. چنانچه این معادله برای یک منحنی مشخصه رله بدست آورده شود، با توجه به این که منحنی‌های مربوط به TSM ‌های دیگر فقط در جهت محور زمان تغییر مکان می‌دهند، می‌توان نتیجه گرفت که عبارت $f(\log I)$ برای تمام TSM ‌ها ثابت بوده و فقط مقدار K تغییر می‌نماید. در معادله مذکور، معمولاً استفاده از چند جمله‌ای با درجه چهار دقیق لازم را جهت تقریب زدن منحنی به وجود می‌آورد. در نتیجه معادله بصورت زیر در می‌آید:

$$\log t = K - A_1(\log I) + A_2(\log I)^2 - A_3(\log I)^3 + A_4(\log I)^4 \quad (10-2)$$

ضرایب A_1 تا A_4 و مقدار ثابت K با روش برآش منحنی از طریق حداقل کردن مربع خطاهای محاسبه می‌گردند. نقاطی که برای بدست آوردن این ضرایب به کار می‌روند از روی یک منحنی خوانده نمی‌شوند. بلکه با استفاده از زمان عملکرد تمام منحنی‌ها با توجه به TSM آن‌ها زمان متوسطی بدست آورده می‌شود. ضرایب معادله (10-2) توسط این زمان‌های متوسط تعیین می‌شوند. مزیت این روش، آن است که تا حدودی اثر غیر خطی بودن تغییر زمان عملکرد رله نسبت به TSM در محاسبه ضرایب در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این که مقدار K در معادله (10-2) برای هر TSM متفاوت است، در برآش منحنی مقدار آن فقط برای یک TSM بدست می‌آید. برای بدست آوردن مقدار ثابت سایر مشخصه‌ها بصورت زیر عمل می‌شود:

ابتدا فرض می‌شود برای ضریب تنظیم زمانی TSM_1 ، مقدار ثابت K_1 برابر (10-2) محسوبه شده است. مقدار ثابت K_2 برای TSM_2 بصورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\frac{t_1}{t_r} = \frac{TSM_1}{TSM_r} \quad \dots \dots \dots \quad (11-2)$$

که در آن t_1 زمان عملکرد برای TSM_1 و t_r زمان عملکرد برای TSM_r می‌باشند.

$$\log \frac{t_1}{t_r} = \log \frac{TSM_1}{TSM_r} \quad \dots \dots \dots \quad (12-2)$$

$$\log t_1 - \log t_r = \log \left(\frac{TSM_1}{TSM_r} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (13-2)$$

با استفاده از رابطه (10-2):

$$\log t_1 = K_1 + f(\log I) \quad \dots \dots \dots \quad (14-2)$$

$$\log t_r = K_r + f(\log I) \quad \dots \dots \dots \quad (15-2)$$

در نتیجه:

$$\log t_1 - \log t_r = K_1 - K_r = \log \left(\frac{TSM_1}{TSM_r} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (16-2)$$

و یا:

$$K_r = K_1 - \log \left(\frac{TSM_1}{TSM_r} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (17-2)$$

بدین ترتیب با حل معادله (10-2) برای یک منحنی رله (مثلاً برای ضریب تنظیم زمانی TSM_1)، معادله تمام منحنی‌های دیگر از روی معادله (17-2) قابل محاسبه می‌باشند. همان‌گونه که ذکر شد، از منحنی مشخصه رله‌ها در دو مورد استفاده می‌گردد:

الف- تعیین زمان عملکرد رله با معلوم بودن جریان عبوری و ضریب تنظیم زمانی رله

ب- بدست آوردن ضریب تنظیم زمانی رله با مشخص بودن جریان عبوری و زمان عملکرد رله

مثال(۱-۲): ضرایب معادله (۱) برای یک منحنی با $TSM = ۰,۱$ بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\log t = ۱,۳۹۶ - ۴,۲۴۵(\log I) + ۳,۱۲۳(\log I)^۲ - ۰,۹۳۵(\log I)^۳ + ۰,۰۷۲(\log I)^۴$$

در معادله فوق t بر حسب ثانیه و I بر حسب PSM می‌باشد. جریان عملکرد رله برابر ۲۵۰ آمپر تنظیم گردیده است. جریان عبوری رله ۲۰۰۰ آمپر و TSM برابر $۰,۳۵$ فرض می‌شود. مقدار ثابت معادله (۱) و زمان عملکرد رله را برای TSM یاد شده بدست آورید.

جواب:

$$K_r = K_1 - \log\left(\frac{TSM_1}{TSM_r}\right) = ۱,۳۹۶ - \log\left(\frac{۱}{۰,۳۵}\right) = ۱,۹۴$$

زمان t از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\log t = ۱,۹۴ - ۴,۲۴۵(\log I) + ۳,۱۲۳(\log I)^۲ - ۰,۹۳۵(\log I)^۳ + ۰,۰۷۲(\log I)^۴$$

$$I = \frac{۲۰۰۰}{۲۵۰} = ۸ \Rightarrow \log I = ۰,۹۰۳۱$$

$$\log t = ۱,۹۴ - ۴,۲۴۵(۰,۹۰۳) + ۳,۱۲۳(۰,۹۰۳)^۲ - ۰,۹۳۵(۰,۹۰۳)^۳ + ۰,۰۷۲(۰,۹۰۳)^۴$$

$$\Rightarrow t = ۱,۰۲۹۵$$

برای موقعي که زمان عملکرد رله و جریان عبوری آن مشخص است و TSM مجهول است، باید بعد از محاسبه مقدار ثابت K از روی I و t ، ضریب تنظیم زمانی توسط معادله مذکور بدست آورده شود. فرض می‌شود که جریان عملکرد رله ۲۵۰ آمپر بوده و زمان عملکرد برای جریان ۱۶۲۵ آمپر، برابر $۰,۹$ ثانیه شود. TSM بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\log t = K - ۴,۲۴۵(\log I) + ۳,۱۲۳(\log I)^۲ - ۰,۹۳۵(\log I)^۳ + ۰,۰۷۲(\log I)^۴$$

$$I = \frac{1625}{250} = 6,5 \Rightarrow \log I = 0,8129$$

$$\begin{aligned} \log(0,9) &= K - 4,245(0,812) + 3,123(0,812)^2 - 0,935(0,812)^3 \\ &+ 0,072(0,812)^4 \end{aligned}$$

در نتیجه:

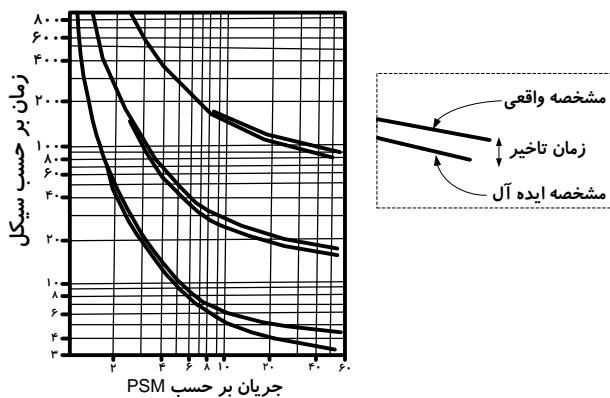
$$K = 1,812$$

و لذا:

$$1,812 - 1,396 = \log\left(\frac{TSM}{0,1}\right) \rightarrow TSM = 0,26$$

در معادله (۱۰-۲) اگر چه خطای حاصل بین زمان تقریب زده شده و زمان واقعی عملکرد رله در بیشتر نقاط کمتر از ۵ درصد است، ولی در تعدادی از نقاط نیز خطا بیشتر از مقدار ذکر شده می‌باشد. بدین دلیل نمی‌توان با اطمینان کامل از معادله (۱۰-۲) جهت برنامه کامپیوتری استفاده نمود.

اشکال معادله (۱۰-۲) این است که از یک منحنی برای تمام TSM ‌ها استفاده شده و با افزایش TSM ، منحنی در جهت محور زمان به بالا انتقال می‌یابد. در این موارد اگر ضرایب معادله به گونه‌ای محاسبه شوند که منحنی بدست آمده توسط معادله (منحنی ایده‌آل) نزدیک به مشخصه با TSM ‌های بزرگ باشد، در مقادیر TSM ‌های کوچک اختلاف منحنی ایده‌آل با منحنی واقعی رله زیاد می‌شود. از طرفی چنانچه ضرایب معادله به گونه‌ای محاسبه گردند که برای جریان‌های کوچک منحنی معادله با منحنی رله انطباق داشته باشد، در اثر افزایش جریان اختلاف مشخصه رله با منحنی ایده‌آل افزایش می‌یابد. این مسئله در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل (۱-۲): نمایش اختلاف زمانی منحنی ایده‌آل و مشخصه واقعی رله

اختلاف موجود بین منحنی ایده‌آل و واقعی رله بدین علت است که زمان عملکرد واقعی رله از دو زمان مجزا تشکیل شده است. این دو زمان در یک رله الکترومکانیکی بصورت زیر می‌باشند:

- (الف) زمانی که دیسک رله شتاب می‌گیرد تا به سرعت زاویه‌ای ثابت مربوط به جریان عبوری از رله برسد. این زمان به خصوصیات فیزیکی رله از قبیل اصطکاک، اینرسی، کمیات گذرای الکتریکی و غیره بستگی دارد.
- (ب) زمانی که دیسک با سرعت ثابت حرکت می‌نماید و اتصالات رله را می‌بندد (زمان عملکرد ایده‌آل رله).

• بهبود دقیق مدل

زمان قسمت دوم با منحنی ایده‌آل رله انطباق دارد و زمان قسمت اول که به عنوان زمان تأخیر نامیده می‌شود، سبب اختلاف منحنی واقعی و ایده‌آل رله می‌گردد. اگر زمان تأخیر رله از زمان عملکرد واقعی رله کاسته شود، زمان حاصل برابر زمان قسمت (ب) یا زمان عملکرد ایده‌آل رله می‌شود و این زمان نسبت به ضریب تنظیم زمانی رله بصورت خطی تغییر می‌نماید. چون عامل غیر خطی بودن یعنی زمان تأخیر از آن حذف گردیده است. بدین ترتیب اگر در معادله

(۱۰-۲) زمان عملکرد واقعی با زمان عملکرد ایده‌آل رله جایگزین شود، میزان خطای معادله (۱۰-۲) به میزان زیادی بهبود می‌یابد. اگر زمان تأخیر رله با D نشان داده شود، زمان عملکرد ایده‌آل رله برابر $t - D$ می‌شود و معادله (۱۰-۲) بصورت رابطه (۱۸-۲) در می‌آید:

$$\log(t - D) = K - A_1(\log I) + A_2(\log I)^2 - A_3(\log I)^3 + A_4(\log I)^4 \dots \quad (۱۸-۲)$$

برای بدست آوردن زمان تأخیر از این موضوع استفاده می‌شود که این زمان در مقایسه با زمان عملکرد واقعی رله فقط در مواقعي قابل مقایسه است که زمان عملکرد واقعی کوچک باشد و برای زمان‌های بزرگ می‌توان از D در برابر t صرفنظر نمود. برای نمونه در منحنی مشخصه با بزرگترین TSM می‌توان به علت بزرگ بودن زمان عملکرد رله، مشخصه را به عنوان منحنی ایده‌آل در نظر گرفت. برای محاسبه D از روش زیر می‌توان استفاده نمود:

در این روش از دو منحنی با TSM ‌های 0.1 و 0.5 برای PSM بزرگ (مثلاً ۲۰) استفاده می‌گردد. زمان عملکرد واقعی رله در این دو نقطه با $t_{0.1}$ و $t_{0.5}$ و زمان عملکرد ایده‌آل با $T_{0.1}$ و $T_{0.5}$ نشان داده می‌شود. چون در هر دوی این نقطه‌ها زمان تأخیر با زمان عملکرد رله قابل مقایسه است، می‌توان نوشت:

$$t_{0.5} = T_{0.5} + D \quad (۱۹-۲)$$

$$t_{0.1} = T_{0.1} + D$$

با توجه به این که زمان عملکرد ایده‌آل نسبت به TSM بصورت خطی تغییر می‌کند، در نتیجه $T_{0.5} = 2 \times T_{0.1}$ خواهد گردید. زمان تأخیر رله با توجه به روابط بالا بصورت رابطه (۲۰-۲) بدست می‌آید:

$$2t_{0.5} - t_{0.1} = 2T_{0.5} + 2D - T_{0.1} - D \quad (۲۰-۲)$$

در نتیجه:

$$D = 2t_{0.5} - t_{0.1} \quad (۲۱-۲)$$

در این حالت می‌توان زمان تأخیر را برای چندین PSM محاسبه و متوسط آن‌ها را به عنوان D در نظر گرفت. برای این که مقدار تأخیر زمان حاصل در این

روش دارای دقت کافی باشد، باید رله طوری تنظیم گردد که مسافت طی شده توسط دیسک در $TSM = 0,1$ دقیقاً دو برابر $TSM = 0,05$ باشد.

پس از محاسبه زمان تأخیر، برای بدست آوردن سایر ضرایب معادله (۱۰-۲) کافی است تنها از منحنی با بزرگترین ضریب تنظیم زمان $TSM = 1$ استفاده شود. در نتایجی که از برازش منحنی چند رله توسط معادله (۱۰-۲) حاصل شده است، ماکزیمم خطای زمان عملکرد رله ۵ درصد برای $TSM = 0,05$ بدست آمده است.

مثال (۲-۲): اگر زمان عملکرد واقعی رله‌ای برای تنظیم $TSM = 0,05$ برابر $0,1$ ثانیه باشد و زمان عملکرد همین رله برای $TSM = 0,1$ برابر با $0,15$ باشد، مقدار زمان تأخیر و زمان ایده‌آل عملکرد این رله برای $TSM = 0,1$ چقدر است؟

جواب:

$$D = 2 \times 0,1 - 0,15 = 0,05s$$

$$T = 0,15 - 0,05 = 0,1s$$

(۵-۲-۲) مدل پیشنهادی توسط آلبرشت^۱

در مدلی که ابتدا توسط آلبرشت و همکاران او در برنامه کامپیوتري هماهنگی رله‌ها استفاده شد، برای هر ضریب تنظیم زمانی یک معادله مستقل بصورت رابطه (۲۲-۲) به کار رفته بود:

$$t = \sum_{i=1}^n a_i (PSM)^i \quad (22-2)$$

که در آن n تعداد معادلاتی است که برای هر تنظیم زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این معادله اگر برای هر منحنی از ۵ ضریب استفاده شود، با در

نظر گرفتن ۱۲ منحنی برای هر رله تعداد ضرایب برابر ۶۰ می‌گردد که بسیار زیاد می‌باشد. بدین دلیل بعداً از معادله (۲۳-۲) با ۲۰ ضریب برای تمام منحنی‌های یک رله استفاده گردید:

$$t = \left[\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ji} (TDS)^j (PSM)^i \right]^K \quad (23-2)$$

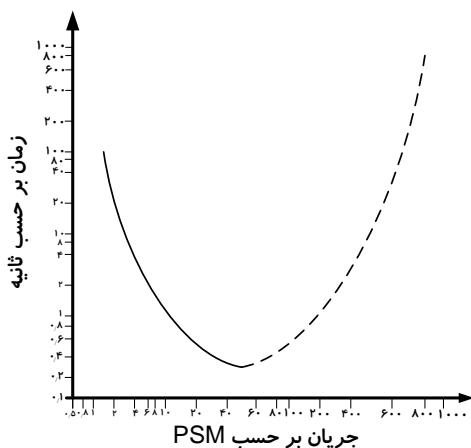
که در آن n تعداد معادلات وابسته به PSM و m تعداد معادلات وابسته به TDS هستند و برای مدلسازی مشخصه رله مورد استفاده قرار می‌گیرند. این معادله بعد از بررسی‌های بیشتر، هم‌اکنون در برنامه کامپیوتری بصورت رابطه (۲۴-۲) به کار برده می‌شود:

$$\begin{cases} t = [C_1 + \frac{C_2}{(TDS)} + C_3 (TDS) + C_4 (TDS)^2 \\ + C_5 \frac{(PSM)}{(TDS)^3} + C_6 \frac{(PSM)}{(TDS)^4} \\ + C_7 (PSM)(TDS) + C_8 (PSM)(TDS)^2 \\ + \frac{C_9}{(PSM)} + \frac{C_{10}}{(PSM)(TDS)} \\ + C_{11} \frac{(TDS)}{(PSM)} + C_{12} \frac{(TDS)^2}{(PSM)} + C_{13} \frac{(TDS)^3}{(PSM)} \\ + \frac{C_{14}}{(PSM)^2} + \frac{C_{15}}{(PSM)^3} + \frac{C_{16}}{(PSM)^4} \\ + \frac{C_{17}}{(TDS)(PSM)^3} + C_{18} \frac{(TDS)^4}{(PSM)^3} \\ + C_{19} \frac{(TDS)}{(PSM)^5} + C_{20} \frac{(TDS)^2}{(PSM)^5}] \end{cases} \quad (24-2)$$

ضرایب معادله (۲۴-۲) با انتخاب ۱۰ تا ۱۵ نقطه برای هر TSM در محدوده مینیمم تا ماکزیمم جریان رله توسط روش برآش منحنی و از طریق حداقل کردن مربع خطاهای محاسبه می‌گردد. از معاویت این روش داشتن ضرایب زیاد است.

۶-۲-۲ مدل پیشنهادی توسط ساچدو^۱

در تحقیقات آقای ساچدو برای یافتن یک معادله ریاضی، ابتدا تمام مدل‌های قبل مورد بررسی قرار گرفته است. اشکالاتی که توسط ایشان برای معادله (۶-۲) ذکر شده این است که اولاً به جای این که برای $PSM = 1$ زمان معادلات به سمت بی‌نهایت میل کند، به ازای $PSM = 0$ به سمت بی‌نهایت می‌رود. ثانیاً منحنی حاصل از این معادله برای PSM ‌های بزرگتر از مقادیر به کار رفته در برآش منحنی انحراف زیادی از منحنی واقعی پیدا می‌نماید. این موضوع در شکل (۶-۲) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، برای PSM ‌های بزرگتر منحنی معادله با منحنی واقعی کاملاً متفاوت است. شکل (۶-۲) مربوط به مشخصه رله $CO-11$ می‌باشد که توسط یک معادله چند جمله‌ای درجه ۴ برای $PSM = 1.5$ تا 5.0 برآش گردیده است.



شکل (۶-۲): نمایش اختلاف منحنی برآش شده و منحنی رله برای PSM ‌های بزرگ

بدین دلیل ساچدو سعی در ارائه مدلی نمود که علاوه بر حل اشکالات مذکور، دارای دقت خوبی نیز باشد. شرایطی که باید یک مدل ریاضی مناسب جهت مدلسازی رله جریان زیاد دارا باشد عبارتند از:

- ✓ منحنی برازش شده نسبت به منحنی مشخصه واقعی رله باید دارای خطای کوچکی باشد.
- ✓ منحنی بدست آمده توسط معادله ریاضی، باید به ازای $PSM = 1$ به سمت بی‌نهایت میل نماید.
- ✓ منحنی برازش شده باید برای مینیمم جریان عملکرد رله تا مقادیر بزرگ PSM مشابه منحنی واقعی رله باشد.
- ✓ معادله ریاضی دارای شکل ساده باشد و به آسانی محاسبات لازم قابل انجام باشد.

به منظور به وجود آوردن شرایط مذکور در مدل‌های قبل، تغییراتی در آن‌ها در نظر گرفته شده است. در این راستا، ساچدو پس از بررسی‌های لازم، مدل زیر را پیشنهاد نمود[۵]:

$$\frac{t}{TSM} = a_0 + \frac{a_1}{\log(I)} + \frac{a_2}{(\log(I))^2} + \dots \quad (25-2)$$

محاسبات لگاریتم و آنتی لگاریتم در کامپیوتر وقت زیادی نسبت به محاسبات ضرب و تقسیم معمولی می‌گیرد. بنابراین برای سادگی، مدل قبلی بصورت رابطه زیر اصلاح شده است:

$$\frac{t}{TSM} = a_0 + \frac{a_1}{(I-1)} + \frac{a_2}{(I-1)^2} + \dots \quad (26-2)$$

در رابطه (۲۶-۲)، رابطه زمان عملکرد رله نسبت به TSM خطی فرض شده است. این امر با توجه به برازش منحنی مشخصه رله با TSM ثابت یا برازش به ازای متوسط تمام منحنی مشخصه‌ها انجام شده است. مدل دیگری که ساچدو

ارائه کرده است نسبت به TSM غیرخطی می‌باشد. به طوری که به ازای جریان‌های ثابت، معادله بصورت چند جمله‌ای از توان‌های TSM است:

$$t = C_1 + C_2 TSM + C_3 \frac{TSM^3}{(I-1)^3} + C_4 \frac{TSM^4}{(I-1)^4} + C_5 \frac{TSM^5}{(I-1)^5} + C_6 \frac{TSM^6}{(I-1)^6} + C_7 \frac{TSM^7}{(I-1)^7} + C_8 \frac{TSM^8}{(I-1)^8} \quad (27-2)$$

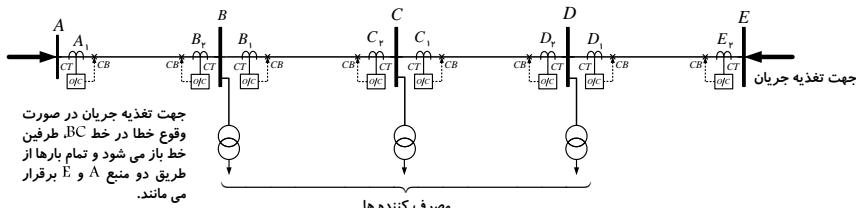
لزوم وجود عناصر جهت‌دار در شبکه‌های قدرت بهم

پیوسته

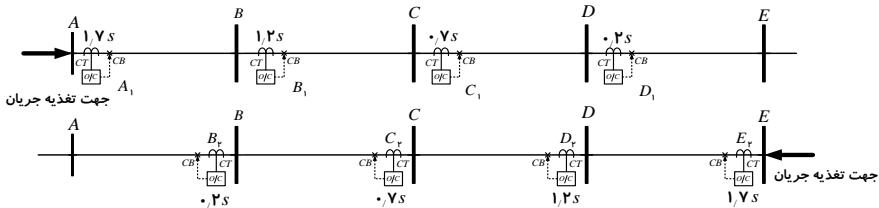
شبکه‌های توزیع معمولاً بصورت شعاعی و شبکه‌های فوق توزیع، ممکن است بصورت شعاعی یا حلقوی با یک یا چند منبع تولید باشند. در حالی که شبکه‌های انتقال عموماً بصورت بهم پیوسته هستند[۶]. خطوط موازی که توسط یک منبع تغذیه می‌شوند، حالت خاصی از شبکه‌های حلقوی هستند که نیاز به بررسی جداگانه دارند. در شبکه‌های شعاعی قطع یک خط سبب بی‌برق شدن تمام باس‌های بعدی و بارهای آن‌ها می‌شود. ولی در شبکه‌های حلقوی با تغذیه هر باس از دو جهت این اشکال رفع می‌گردد. حفاظت شبکه‌های فوق توزیع شعاعی مانند حفاظت شبکه‌های توزیع شعاعی می‌باشد. ولی در شبکه‌های حلقوی به علت این‌که هر خطایی از دو طرف تغذیه می‌گردد، حفاظت خطوط به سادگی شبکه‌های شعاعی نیست. به همین خاطر لازم است تمهیدات خاصی اندیشیده شود که یکی از آن‌ها جهت‌دار بودن رله‌های جریان زیاد در شبکه‌های حلقوی است. در شبکه‌های بهم پیوسته که مجموعه‌ای از شبکه‌های حلقوی است، به علت تغذیه‌های مختلفی که وجود دارد بایستی تمهیدات خاصی برای تنظیم‌های زمانی و جریانی رله‌ها منظور گردد[۷].

(۱-۳-۲) نمونه‌هایی از هماهنگی رله‌های جریان زیاد در شبکه‌های حلقوی

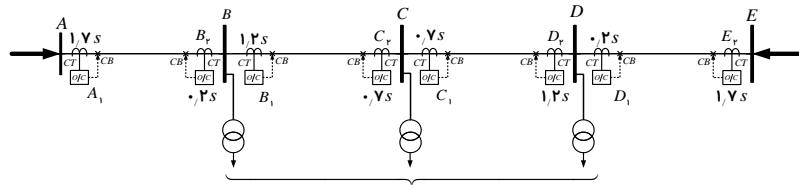
به عنوان مثال، شبکه شکل (۳-۲) که قسمتی از یک شبکه حلقوی است مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این شبکه، خطوط از دو سمت A و E تغذیه شده‌اند. در صورت وقوع اتصال کوتاه در هر خط، کلیدهای طرفین آن باز می‌شوند و برقراری به هیچکدام از بسیارها با وقفه‌ای موافق نمی‌گردد. جهت حفاظت انتخاب‌گرانه^۱ شبکه با توجه به تغذیه هر خط از دو سو، رله‌ها باید در دو جهت به‌گونه‌ای که شرح داده خواهد شد هماهنگ شوند. یعنی رله‌های E_2 , D_2 , C_2 , A_2 , B_2 برای جریان‌های اتصال کوتاهی که از بسیار E تغذیه می‌شوند و رله‌های A_1 , B_1 , C_1 و D_1 برای جریان‌های اتصال کوتاهی که از بسیار A تغذیه می‌شوند باید هماهنگ گردند. با فرض اینکه رله‌ها از نوع زمان ثابت باشند، تنظیم زمانی آن‌ها در شکل (۴-۲) داده شده است. روش هماهنگی رله‌ها در هر دو جهت شبکه شبکه‌های شعاعی می‌باشد. مثلاً زمان عملکرد دورترین رله به منبع A , $0.3s$ در نظر گرفته شده و زمان عملکرد رله‌های C_1 , B_1 و A_1 به ترتیب با اضافه نمودن زمان ثابت $0.5s$ به زمان رله قبل بدست آمده است.



شکل (۳-۲): قسمتی از یک شبکه حلقوی



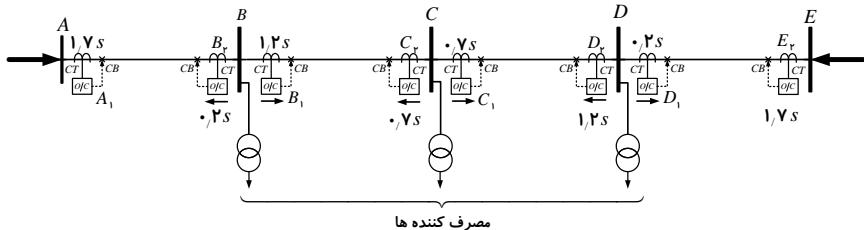
(الف) نمایش تنظیم زمان مستقل رله ها در دو جهت مختلف (بر حسب ثانیه)



(ب) نمایش تنظیم تمام رله ها در دو جهت (بر حسب ثانیه)

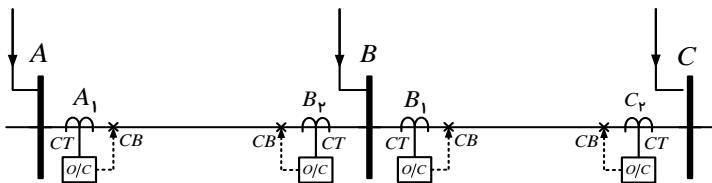
شکل (۴-۲): تنظیم زمانی رله های با مشخصه زمان ثابت برای یک شبکه حلقوی

اشکالی که هنوز در هماهنگی رله های شبکه شکل (۳-۲) وجود دارد این است که وقوع هر خطای در وسط شبکه سبب عملکرد رله های D_1 و B_2 می شود و در نتیجه باس های B ، C و D بدون ضرورت بی برق می شوند. برای جلوگیری از وقوع این عملکرد، بایستی رله های شبکه در جهتی که تنظیم شده اند عمل نمایند. یعنی رله های B_1 ، C_1 و D_1 برای خطاها طرف راست خود و رله های B_2 ، C_2 و D_2 برای خطاها طرف چپ خود عمل نمایند. بنابراین مطابق شکل (۵-۲) باید از رله های جریان زیاد جهت دار استفاده نمود. در شکل (۵-۲) تنظیم زمانی رله ها بر حسب ثانیه و پیکان روی آن ها که نشان دهنده جهت عملکرد رله می باشد نشان داده شده است.



شکل (۵-۲): تنظیم زمانی رله های جریان زیاد جهت دار در قسمتی از یک شبکه حلقوی

در رله‌های جریان زیاد جهت‌دار برای تشخیص جهت جریان، معمولاً از یک رله جهت‌دار علاوه بر رله جریان زیاد استفاده می‌شود. رله جهت‌دار که در حقیقت جهت توان عبوری از خط را تشخیص می‌دهد، در صورتی که جهت توان در جهت عملکرد رله جریان زیاد باشد به آن اجازه عملکرد می‌دهد و در غیر این صورت از عملکرد آن جلوگیری می‌نماید. رله‌های جهت‌دار که دارای انواع مختلفی می‌باشند، علاوه بر جریان توسط ولتاژ خط نیز باید تغذیه شوند. برای بررسی دقیق‌تر موارد استفاده از رله‌های جریان زیاد جهت‌دار در شبکه‌های حلقوی، شکل (۶-۲) در نظر گرفته می‌شود و دلایل جهت‌دار یا بدون جهت بودن رله‌های جریان زیاد آن به ترتیب مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.



شکل (۶-۲): قسمتی از یک شبکه حلقوی جهت بررسی لزوم استفاده از رله‌های جهت‌دار

الف) علت جهت‌دار انتخاب نمودن رله A_1 این است که رله با وجود حفاظت محدوده خود نباید برای خطاهای پشت سرش عمل نماید. در صورتی که رله A_1 بدون جهت انتخاب شود، جریان عملکرد آن از طرفی باید از مینیمم جریان اتصال کوتاه در C یا B باشد و از طرف دیگر از ماکزیمم جریان اتصال کوتاه در پشت سر رله بیشتر باشد تا علاوه بر حفاظت مناسب، عملکرد اشتباه نیز نداشته باشد. در این بررسی، اثر مقاومت خط در محاسبه مینیمم جریان اتصال کوتاه و اثر مؤلفه گذرای جریان در ماکزیمم جریان اتصال کوتاه باید در نظر گرفته شود.

در شکل (۶-۲) جریان عبوری از رله A_1 برای خطاهای بس A با I_1 ، برای خطاهای بس B با I_2 و برای خطاهای بس C با I_3 در نظر گرفته می‌شود. چنانچه رله A_1 فقط خط AB را حفاظت نماید، به شرطی که ماکزیمم I_1 از

۰,۲۵ مینیمم I_2 بزرگتر باشد، رله باید جهت‌دار انتخاب شود (ضریب ۰,۲۵ برای در نظر گرفتن خطاهای ناشی از مؤلفه گذرا و اثر مقاومت خطا در جریان اتصال کوتاه می‌باشد). اگر پشتیبانی رله A_1 توسط B_1 نیز مورد نظر باشد، در آن صورت اگر ماکزیمم I_1 از ۰,۲۵ مینیمم I_3 بزرگتر باشد، رله A_1 باید جهت‌دار انتخاب گردد. به طور خلاصه شرط جهت‌دار بودن رله A_1 را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$\frac{I_{1\max}}{I_{2\min}} > 0,25 \quad \dots \dots \dots \quad (28-2)$$

ب) در شرایطی که ماکزیمم جریان بار از باس B به A یعنی $I_{BA\max}$ ماکزیمم جریان بار از باس A به B یعنی $I_{AB\max}$ بزرگتر باشد، با جهت‌دار نمودن رله A_1 می‌توان آن را برای جریان عملکرد کمتری تنظیم نمود. در صورت جهت‌دار بودن رله، تنظیم آن بر اساس $I_{AB\max}$ و در غیر این صورت بر اساس $I_{BA\max}$ می‌باشد. حسن جهت‌دار نمودن رله A_1 در این شرایط، خصوصاً در مواردی است که مینیمم جریان اتصال کوتاه در باس C یعنی $I_{3\min}$ نزدیک به $I_{BA\max}$ باشد و تنظیم رله بر اساس $I_{BA\max}$ احتمال عمل نکردن رله را برای $I_{3\min}$ به وجود می‌آورد. در صورتی که رله A_1 در شکل (۶-۲) دارای عنصر سریع باشد، جهت‌دار بودن عنصر سریع نیز باید مستقل از عنصر کاهشی رله A_1 مورد بررسی قرار گیرد.

در شبکه‌های حلقوی، رله‌های سریع نباید در هیچ شرایطی برای خطاهای پشت سر رله عمل نمایند. بدین دلیل، در صورتی که ماکزیمم جریان اتصال کوتاه (با در نظر گرفتن کلیه خطاهای) در پشت سر رله یعنی $I_{1\max}$ از جریان عملکرد عنصر سریع بیشتر باشد، رله باید جهت‌دار شود. عمدۀ ترین خطا در این حالت ناشی از مؤلفه گذراي جریان A_1 می‌باشد. ثابت زمانی این مؤلفه به زاویه امپدانس معادل منبع از محل خطا یعنی φ_s بستگی دارد. با توجه به این که:

$$\varphi_s = \operatorname{tg}^{-1} \frac{L\omega}{R} \quad \dots \dots \dots \quad (29-2)$$

و ثابت زمانی مؤلفه گذرا نیز بصورت رابطه (۳۰-۲) است:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad \text{(۳۰-۲)}$$

می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش φ_s ، ثابت زمانی مؤلفه گذرا و تأثیر این مؤلفه روی رله زیاد می‌شود. برای در نظر گرفتن اثر این مؤلفه برای زوایای φ_s کوچکتر از ۶۰ درجه، ضریبی برابر ۰,۹ و برای زوایای φ_s بزرگتر از ۶۰ درجه، ضریبی مساوی ۰,۸ قرار داده می‌شود. بدین ترتیب، شرط جهتدار بودن رله سریع را می‌توان بصورت روابط زیر بیان نمود.

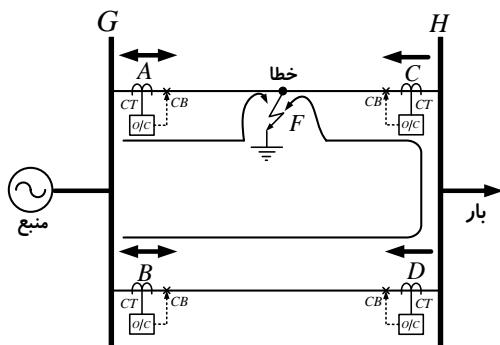
برای φ_s کوچکتر از ۶۰ درجه:

$$\frac{I_{I_{\max}}}{I_{II}} > 0,9 \quad \text{(۳۱-۲)}$$

و برای φ_s بزرگتر از ۶۰ درجه:

$$\frac{I_{I_{\max}}}{I_{II}} > 0,8 \quad \text{(۳۲-۲)}$$

که در آن I_{II} جریان عملکرد عنصر سریع می‌باشد. در شبکه‌های حلقوی و بهم پیوسته که احتمال تغییرات در وضعیت شبکه وجود دارد، بهتر است در تمام نقاط از رله‌های جهتدار استفاده شود. زیرا در غیر این صورت بعد از هر تغییری در شبکه نظیر احداث پستها و خطوط جدید، ممکن است لازم باشد بعضی از رله‌های بدون جهت با رله‌های جهتدار تعویض شوند. در شبکه‌های شعاعی که بار توسط خطوط موازی تغذیه می‌شود (شکل (۷-۲)), چنانچه از رله‌های جریان زیاد بدون جهت استفاده شود، با هر گونه تنظیم رله‌ها امکان حفاظت انتخاب‌گر دو خط وجود ندارد. زیرا به جای این که در اثر خطا در یکی از خطوط فقط همان خط از مدار خارج شود، هر دو خط قطع می‌شوند و منبع تولید از بارها جدا می‌گردد. برای رفع این اشکال باید رله‌های C و D جهتدار باشند. پیکان روى رله‌ها جهت عملکرد آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۷-۳): کاربرد رله‌های جریان زیاد جهت‌دار در خطوط موازی

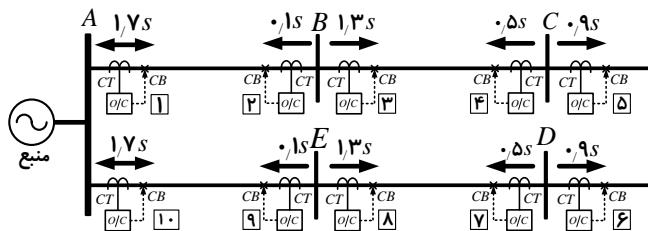
برای خطاهای واقع در خطوط این شبکه، رله‌های جهت‌دار C و D باید زودتر از رله‌های بدون جهت A و B عمل نمایند. به عنوان مثال برای خطا در نقطه F ، رله جهت‌دار C باید زودتر از رله B عمل نماید. برای هماهنگی رله‌های شبکه فوق کافی است ابتدا رله‌های C و D تنظیم شوند و بعد رله B با C و رله A با D هماهنگ گردند. در رله‌های C و D چون جریان بار در خلاف جهت عملکرد آن‌ها می‌باشد، می‌توان تنظیم جریان این رله‌ها را کمتر از جریان نامی بار (معمولًاً حدود ۵۰٪ جریان نامی) قرار داد. برای این‌که زمان عملکرد رله‌های مذکور مینیمم باشد، لازم است TSM رله‌های C و D برابر کمترین مقدار ممکن در نظر گرفته شوند. چنانچه در شکل (۷-۲) باس H از سمت راست نیز توسط منابع تولید تغذیه گردد، علاوه بر رله‌های C و D رله‌های A و B نیز باید جهت‌دار انتخاب شوند. در این شرایط، تنظیم رله‌ها مشابه شبکه‌های حلقوی با دو منبع تولید انجام می‌شود.

۲-۳-۲) حفاظت شبکه‌های حلقوی با یک منبع تولید توسط

رله‌های جریان زیاد جهت‌دار

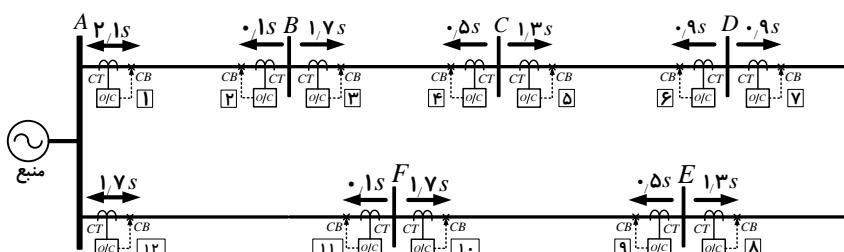
یک شبکه حلقوی با یک منبع تولید در شکل (۸-۲) نشان داده شده است. در این شبکه غیر از رله‌های ۱ و ۱۰، جریان اتصال کوتاه از همه رله‌ها می‌تواند در

دو جهت عبور نماید. چون در اثر وقوع اتصال کوتاه در بس A هیچ جریانی از رله‌های ۱ و ۱۰ عبور نماید، می‌توان این دو رله را بدون جهت انتخاب نمود. در حالت کلی سایر رله‌ها باید جهت‌دار باشند. ولی چنانچه جریان اتصال کوتاه عبوری از بعضی رله‌ها مانند ۳ و ۸ در خلاف جهت عملکرد آن‌ها کوچک باشد، در این نقاط نیز می‌توان از رله‌های بدون جهت استفاده نمود.



شکل(۸-۲): یک شبکه حلقوی با یک منبع تولید و تعداد خطوط فرد همراه با رله‌هایی با مشخصه زمان ثابت

در صورتی که تعداد کل خطوط شبکه حلقوی مطابق شکل(۸-۲) فرد باشد، دو رله‌ای که دارای زمان عملکرد تقریباً یکسان هستند در طرفین خط وسط قرار می‌گیرند و می‌توان آن‌ها را بدون جهت انتخاب نمود. در شکل(۸-۲) زمان‌های عملکرد برای رله‌های با مشخصه زمان ثابت داده شده است. در این شکل زمان عملکرد رله‌های ۵ و ۶ برابر بوده و می‌توان آن‌ها را بدون جهت انتخاب کرد. در صورتی که تعداد خطوط مطابق شکل(۹-۲) زوج باشد، رله‌های با زمان عملکرد برابر در طرفین باس وسط قرار می‌گیرند.



شکل(۹-۲): یک شبکه حلقوی با یک منبع تولید و تعداد خطوط زوج با رله‌هایی با مشخصه زمان ثابت

رله‌های بس D باید جهت‌دار انتخاب شوند. از طرف دیگر در بس‌های میانی چنانچه در تمام شرایط اختلاف زمان عملکرد دو رله متصل به یک بس بیشتر از فاصله زمانی لازم جهت هماهنگی دو رله باشد، می‌توان رله با زمان عملکرد بزرگتر را بدون جهت انتخاب نمود. به عنوان مثال در شکل(۹-۲) با انتخاب رله‌های با مشخصه زمان ثابت، می‌توان در نقاط ۳، ۵، ۸ و ۱۰ از رله‌های بدون جهت استفاده نمود. زیرا این رله‌ها برای جریان‌های اتصال کوتاه در خلاف جهت عملکردشان، هیچ وقت زودتر از رله‌های ۲، ۴، ۹ و ۱۱ عمل نمی‌کنند.

در صورتی که از رله‌های کاهشی استفاده شود، با توجه به زمان عملکرد آن‌ها می‌توان جهت‌دار بودن رله را مشخص نمود. زمان عملکرد رله‌ها با توجه به جریان‌های اتصال کوتاه و تنظیم زمانی رله بدست می‌آید. در عمل ممکن است برای عدم تغییر رله‌ها در صورت تغییر وضعیت شبکه، در اکثر نقاط از رله‌های جهت‌دار استفاده شود. در شبکه شکل(۹-۲) خطوط AB و AF را می‌توان توسط رله‌های جریان زیاد جهت‌دار سریع در نقاط ۲ و ۱۱ حفاظت نمود. این رله‌ها را می‌توان بسیار حساس تنظیم کرد. زیرا امکان افزایش برد برای آن‌ها وجود ندارد. جریان اتصال کوتاه عبوری از این رله‌ها با نزدیک شدن محل خطابه بس A به سمت صفر میل می‌نماید. بدین دلیل برای قسمتی از خطوط BA و FA ، جریان اتصال کوتاه عبوری از رله‌های ۲ و ۱۱ کمتر از جریان عملکرد آن‌ها می‌باشد. برای این خطابها، ابتدا عنصر کاهشی یا عنصر سریع رله‌های ۱ و ۱۲ عمل می‌نماید و بعد از باز شدن کلیدهای مربوط به آن‌ها، جریان رله‌های ۲ و ۱۱ افزایش یافته و سبب عملکرد آن‌ها می‌شود. بدین ترتیب برای خطابهای خط AB نزدیک به بس A ، ابتدا کلید ۱ و بعد کلید ۲ باز می‌شود و برای خطابهای خط AF نزدیک به بس A ، ابتدا کلید ۱۲ و بعد کلید ۱۱ باز می‌گردد.

تنظیم جریانی این رله‌ها مشابه آنچه که در شبکه‌های شعاعی ذکر شد می‌باشد. با این تفاوت که رله‌های ۲ و ۱۱ در شکل(۹-۲) به این ترتیب تنظیم

می‌شوند که جریان عملکرد رله ۲ کمتر از مینیمم جریان اتصال کوتاه خط BA در شرایط باز بودن کلید ۱ قرار داده می‌شود. در این حالت تمام خطاهای خط BA توسط رله ۲ قطع می‌شوند. روش تنظیم رله ۱۱ نیز مشابه رله ۲ می‌باشد. تنظیم جریانی رله‌های ۴ و ۹ به گونه‌ای انتخاب می‌شود که در هنگام باز بودن کلیدهای ۱ و ۱۲، به ترتیب رله‌های ۲ و ۱۱ را پشتیبانی نمایند. البته این تنظیم نباید سبب عملکرد رله‌های ۴ و ۹ در شرایط ماکزیمم جریان بار شود. در تنظیم جریان سایر رله‌ها برای پشتیبانی رله خط بعد به ازای مینیمم جریان اتصال کوتاه، باید جریان‌های اتصال کوتاه در شرایط بسته بودن حلقه در نظر گرفته شوند. زیرا در این شرایط جریان عبوری از رله‌ها نسبت به شرایط باز بودن حلقه، کمتر می‌باشد. در هماهنگی رله‌ها، در صورت مشابه بودن مشخصه‌ها باید ماکزیمم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله‌ها را که هنگام باز بودن حلقه به وجود می‌آید در نظر گرفت و رله را برای این شرایط هماهنگ نمود. در صورت مشابه نبودن مشخصه رله‌ها، علاوه بر هماهنگی در ماکزیمم جریان اتصال کوتاه، رله‌ها به ازای مینیمم جریان اتصال کوتاه نیز باید هماهنگ شوند.

در شبکه‌های حلقوی چون جریان‌های اتصال کوتاه در دو جهت از شبکه عبور می‌نمایند، رله‌های مربوطه در جهت عقربه‌های ساعت و خلاف جهت آن هماهنگ می‌شوند. برای هماهنگ کردن رله‌های شکل (۹-۲) به ازای ماکزیمم جریان اتصال کوتاه، بعد از تنظیم رله‌های ۲ و ۱۱ با مینیمم زمان عملکرد، با باز نمودن کلید ۱ به ترتیب رله ۴ با ۲، رله ۶ با ۴، رله ۸ با ۶، رله ۱۰ با ۸ و رله ۱۲ با ۱۰ هماهنگ می‌شوند و با باز نمودن کلید ۱۲ به ترتیب رله ۹ با ۱۱، رله ۷ با ۹، رله ۵ با ۷، رله ۳ با ۵ و رله ۱ با ۳ هماهنگ می‌گردند. در صورت استفاده از عنصر سریع در رله‌های مذکور، تنظیم جریانی این رله‌ها برای شرایط عبور ماکزیمم جریان اتصال کوتاه یعنی باز بودن حلقه انجام می‌پذیرد.

۴-۲ تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد فازی و زمین

۱-۴) جریان‌های لازم برای تنظیم جریانی رله‌ها

قبل از بدست آوردن تنظیم جریانی رله‌های جریان زیاد فازی و اتصال زمین و عناصر سریع، لازم است برای هر رله کمیاتی از قبیل ماکزیمم جریان بار، ماکزیمم و مینیمم جریان اتصال کوتاه و ... از روی اطلاعات ورودی برنامه هماهنگی یا اطلاعات خروجی برنامه اتصال کوتاه تعیین شوند [۷, ۸].

این جریان‌ها عبارتند از [۹]:

الف- ماکزیمم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله برای خطا جلوی رله (I_{CLIN}))

این جریان در محاسبات اتصال کوتاه برای شرایط عادی شبکه و حالات قطع خطوط مختلف محاسبه می‌گردد، که می‌توان مقدار ماکزیمم آن را بدست آورد. این جریان لزوم استفاده از عنصر سریع را مشخص می‌نماید. چنانچه تنظیم عنصر سریع بیشتر از این مقدار باشد، استفاده از آن هیچ فایده‌ای ندارد. مطابق با این توضیح، لزوم استفاده از عنصر سریع عبارت است از:

$$(33-2) \quad I_{CLIN} < I_{IT(\min)} \dots$$

ب- ماکزیمم جریان عبوری از رله برای خطا در باس دور رله ($I_{FB_{\max}}$) باس اتصال کوتاه در این حالت، باس دور رله است. با توجه به وقوع اتصال کوتاه در این باس برای شرایط مختلف، ماکزیمم جریان عبوری از رله مشخص می‌گردد. چنانچه خط دارای خطوط منشعب و در نتیجه چند باس دور

باشد، ماکزیمم جریان از میان اتصال کوتاه در تمام بس‌های دور انتخاب می‌شود. این جریان برای محاسبه تنظیم عنصر سریع رله استفاده می‌گردد. عنصر سریع رله‌های جریان زیاد و اتصال زمین، ضمن تشخیص خطاهای خط مربوط به رله، نباید برای خطاهای بس دور رله عمل نمایند. بدین دلیل تنظیم این رله‌ها برابر ماکزیمم جریان عبوری رله به ازای خطا در بس انتهای خط $I_{FB\max}$ ضربدر یک ضریب قرار داده می‌شود. این ضریب جهت جلوگیری از عملکرد رله برای خطاهای بس دور رله به کار می‌رود و مقدار مناسب آن حدود $1/2$ تا $1/3$ می‌باشد. انتخاب این ضریب بستگی به درصد افزایش برد رله سریع دارد و برای رله‌های مختلف مقادیر متفاوتی می‌تواند انتخاب گردد. با توجه به این‌که جریان‌های I_{CLIN} و $I_{FB\max}$ جریان تنظیم عنصر سریع I_{IT} مشخص هستند، درصد پوشش خط توسط عنصر سریع را از رابطه تقریبی زیر می‌توان بدست آورد:

$$(34-2) \quad \frac{I_{CLIN} - I_{IT}}{I_{CLIN} - I_{FB\max}} \times 100$$

ج- مینیمم جریان عبوری از رله برای خطا در بس دور رله ($I_{FB\min}$) چنانچه به دلایلی نتوان ماکزیمم تنظیم جریان رله‌ها را توسط اتصال کوتاه در انتهای محدوده حفاظت پشتیبان یا انتهای خط بعد مشخص نمود، تنظیم جریانی رله می‌تواند با توجه به مینیمم جریان عبوری رله برای اتصال کوتاه در بس دور آن تعیین گردد.

د- مینیمم جریان رله برای اتصال کوتاه در انتهای خط، در شرایط باز بودن کلید ته خط ($I_{LE\min}$)

کاربرد این جریان مشابه قسمت «ج» می‌باشد، و از روی جریان‌های مربوط به این نوع خطا بدست می‌آید.

ه - مینیمم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله ($I_{F\min}$)

این جریان برای مشخص نمودن ماکزیمم تنظیم جریان رله‌های جریان زیاد و اتصال زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در رله‌های فازی، این جریان مساوی ۰,۵ یا ۰,۶ ضرب در مینیمم جریان خطای عبوری از رله برای اتصال کوتاه سه‌فاز در انتهای محدوده حفاظتی مورد پشتیبانی توسط رله (باس‌های انتهای خطوط متصل به باس دور رله) می‌باشد. چنانچه این جریان از ماکزیمم جریان بار خط در جهت عملکرد رله کمتر شود، به جای جریان مذکور ماکزیمم جریان بار خط در نظر گرفته می‌شود. در رله‌های اتصال زمین، این جریان برابر ۰,۲۵ مینیمم جریان خطای عبوری از رله برای اتصال کوتاه تک فاز در انتهای محدوده حفاظتی مورد پشتیبانی رله می‌باشد. در این حالت نیز چنانچه این جریان از جریان مؤلفه صفر بار در جهت عملکرد رله کمتر باشد، به جای آن جریان مؤلفه صفر بار قرار داده می‌شود. ضرایب ۰,۵ در رله‌های فازی و ۰,۲۵ در رله‌های اتصال زمین (آن به دلیل مقاومت خطاب و ۰,۵ دیگر به دلیل مقاومت زمین)، برای در نظر گرفتن اثر مقاومت خطاب در جریان اتصال کوتاه می‌باشد.

و - مینیمم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله، برای اتصال کوتاه در انتهای خطوط متصل به باس دور رله یعنی باس‌های دور دست ($I_{BLE\min}$)

این جریان، مینیمم جریان خطای عبوری از رله برای اتصال کوتاه در انتهای خطوط متصل به باس دور رله در شرایط باز بودن کلید انتهای خط مربوطه می‌باشد و کاربردی مشابه جریان قسمت «ه» دارد.

ز - ماکزیمم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله برای خطاب در پشت رله ($I_{NB\max}$)

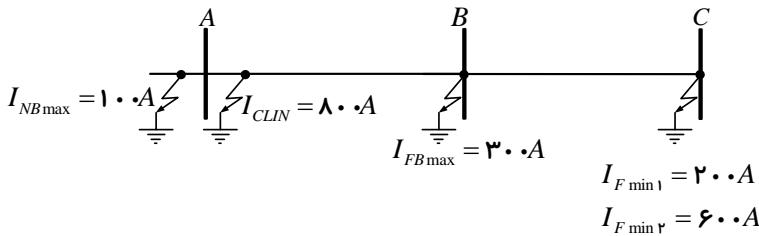
این جریان برای بررسی لزوم جهت‌دار انتخاب نمودن رله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این‌که از مطالعات اتصال‌کوتاه، مینیمم جریان اتصال‌کوتاه عبوری از رله یعنی $I_{F \min}$ و ماکزیمم جریان عبوری از رله برای خطا در پشت آن یعنی $I_{NB \max}$ مشخص گردیده است، با مقایسه نسبت $I_{NB \max} / I_{F \min}$ با یک ضریب معین ($DOCF^1$)، لزوم جهت‌دار بودن رله مشخص می‌گردد. مقدار ضریب $DOCF$ بین ۰,۵ تا ۰,۲۵ قابل انتخاب است. به‌طور معمول عدد ۰,۲۵ توصیه گردیده است. اگر نسبت فوق از $DOCF$ بزرگتر باشد، رله جریان زیاد یا اتصال زمین باید جهت‌دار انتخاب گردد. به‌طور خلاصه، در صورتی که رابطه زیر برقرار باشد نیاز به جهت‌دار نمودن رله جریان زیاد خواهد بود.

$$I_{F \min} \times (0,25 - 0,5) < I_{NB \max} \quad \dots \quad (35-2)$$

برای تعیین لزوم جهت‌دار بودن رله سریع بدین ترتیب عمل می‌شود که با معلوم بودن ماکزیمم جریان اتصال‌کوتاه در باس نزدیک رله یعنی $I_{NB \max}$ و همچنین جریان عملکرد عنصر سریع یعنی I_{Π} ، نسبت $I_{NB \max} / I_{\Pi}$ محاسبه شده و با عدد ۰,۸ مقایسه می‌شود. بنابراین اگر رابطه زیر برقرار باشد، نیاز به جهت‌دار بودن عنصر سریع رله جریان زیاد خواهد بود [۱].

$$I_{\Pi} \times 0,8 < I_{NB \max} \quad \dots \quad (36-2)$$

مثال (۳-۲): در شبکه شکل زیر با توجه به داده‌های موجود بررسی نمایید که:



- الف) آیا رله R_1 باید جهت دار باشد؟
- ب) با فرض اینکه مینیمم تنظیم بر روی رله جریان زیاد در دو حالت برابر $350A$ و $100A$ باشد، تعیین نمایید که برای هر حالت نیازی به عنصر سریع هست یا خیر؟
- ج) با فرض وجود عنصر سریع بر روی رله R_1 برای حالتی از قسمت الف که نیاز به عنصر سریع است، تنظیم آن را بدست آورده و تعیین نمایید که چه درصدی از خط AB توسط این عنصر پوشش داده می‌شود؟

جواب:

الف) حالت اول:

$$\begin{aligned}
 I_{F\min 1} &= 200A \\
 0.25I_{F\min 1} &= 0.25 \times 200 = 50A \\
 \Rightarrow 50A &< 100A
 \end{aligned}$$

در نتیجه رله باید جهت دار باشد.

حالت دوم:

$$\begin{aligned}
 I_{F\min 2} &= 600A \\
 0.25I_{F\min 2} &= 0.25 \times 600 = 150A \\
 \Rightarrow 150A &> 100A
 \end{aligned}$$

در نتیجه رله می‌تواند جهت دار نباشد.

ب) حالت اول:

$$\begin{aligned}
 I_{IT(\min)} &= 100A \\
 I_{CLIN} &= 100A \quad \Rightarrow I_{IT(\min)} > I_{CLIN}
 \end{aligned}$$

در نتیجه عنصر سریع لازم نیست.

$$I_{IT(\min)} = 100 \cdot A$$

$$I_{CLIN} = 80 \cdot A \Rightarrow I_{IT(\min)} > I_{CLIN}$$

حالت دوم:

$$I_{IT(\min)} = 35 \cdot A$$

$$I_{CLIN} = 80 \cdot A \Rightarrow I_{IT(\min)} < I_{CLIN}$$

در نتیجه عنصر سریع لازم است.

ج) تنظیم عنصر سریع برابر است با:

$$I_{IT} = 1.2 \times 30 = 36 \cdot A$$

و درصد پوشش برابر است با:

$$\frac{80 - 36}{80 - 30} = 88\%$$

ح- ماکزیمم جریان بار خط در جهت عملکرد رله

مقدار این جریان در محاسبه تنظیم جریانی رله‌ها ضروری بوده و معمولاً با توجه به مطالعات پخش بار یا اطلاعات ثبت شده جریان خطوط بدست می‌آید. چنانچه رله بدون جهت باشد، ماکزیمم جریان بار خط صرفنظر از جهت آن مورد نیاز خواهد بود.

۲-۴-۲) تنظیم جریانی رله‌های جریان زیاد فازی و اتصال زمین

محدوده تنظیم جریانی مجاز رله‌های جریان زیاد و اتصال زمین توسط دو حد ماکزیمم و مینیمم مشخص می‌گردد. مقدار مینیمم جریان به گونه‌ای انتخاب می‌شود که رله برای ماکزیمم جریان بار عمل ننماید و مقدار ماکزیمم آن طوری تعیین می‌گردد که رله برای مینیمم جریان اتصال کوتاه در انتهای محدوده حفاظتی پشتیبان عمل کند. مقدار مینیمم تنظیم جریانی رله باید بزرگترین مقادیر زیر باشد:

الف - مینیمم تنظیم جریانی موجود روی رله

ب - حاصلضرب ماکریم جریان بار عبوری از رله در ضریب MLF^1

این مقدار به گونه‌ای تعیین می‌شود که در شرایط ماکریم جریان بار رله عمل ننماید. مقدار مناسب آن حدود ۱/۲۵ تا ۱/۵ می‌باشد. این ضریب برای رله‌های اتصال زمین با توجه به میزان عدم تعادل جریان‌های خطوط، باید طوری انتخاب شود که رله در شدیدترین شرایط بار نیز عمل ننماید. مقدار نمونه آن حدود ۰/۱ تا ۰/۲ می‌باشد. مقدار ماکریم تنظیم جریان رله باید برابر کوچکترین مقادیر زیر باشد:

الف- ماکریم تنظیم جریانی موجود روی رله

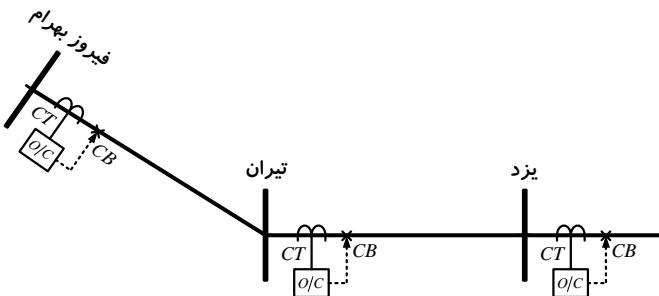
ب- مینیم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله به ازای خطا در انتهای

محدوده حفاظت پشتیبان ($I_{F\min}$)

جریان عملکرد تنظیمی رله می‌تواند هر مقداری در بین دو حد ماکریم و مینیم مذکور انتخاب شود. چنانچه حد ماکریم تنظیم جریانی از حد مینیم آن کمتر باشد، بدین معنا است که امکان تنظیم مناسب رله وجود ندارد. در این شرایط، تنظیم جریان رله برابر مینیم مقدار ممکن قرار داده می‌شود و چون رله برای مینیم جریان خطا یعنی $I_{F\min}$ عمل نمی‌نماید، جریان عملکرد رله با جریان $I_{BLE\min}$ مقایسه می‌گردد. چنانچه جریان تنظیمی رله کمتر از $I_{BLE\min}$ باشد، در خطاها انتهای خطوط متصل به باس دور رله بعد از باز شدن کلید انتهای آن خط، رله می‌تواند عمل نماید. در صورتی که جریان تنظیمی از $I_{BLE\min}$ بیشتر باشد، می‌توان آن را با $I_{FB\min}$ مقایسه نمود تا عملکرد یا عدم عملکرد رله در خطاها ببس دور مشخص گردد. به هر حال جهت حفاظت مناسب در تمام شرایط مذکور می‌توان رله جریان زیاد را با رله جریان زیاد دارای کنترل ولتاژ و یا رله دیستانس جایگزین نمود.

مثال (۳-۲): شکل زیر قسمتی از شبکه 400kV برق ایران را نشان می‌دهد.

الف) اگر برای رله واقع در خط فیروز بهرام- تهران، مینیمم جریان اتصال کوتاه برای رله‌های فازی A فرض شود و مقدار جریان بار 120A از رله واقع در فیروز بهرام عبور کند، تنظیم جریانی رله چقدر است؟



ب) اگر مقدار جریان بار نامی 190A و مینیمم جریان اتصال کوتاه A 200A باشد و مینیمم جریان در تهران 200A و در یزد 250A فرض شود، مقدار تنظیم جریانی رله چقدر است؟

جواب:

(الف)

$$I_L = 120\text{A}$$

$$I_b = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 120 = 156\text{A}$$

$$I_{F\min} = 200\text{A}$$

چون مقدار I_b بدست آمده از مینیمم جریان اتصال کوتاه کمتر است، می‌توان تنظیم جریانی را در فاصله بین I_b بدست آمده و $I_{F\min}$ تنظیم نمود. به عبارت دیگر:

$$156 < I_{bset} < 200$$

(ب)

$$I_L = 190\text{A}$$

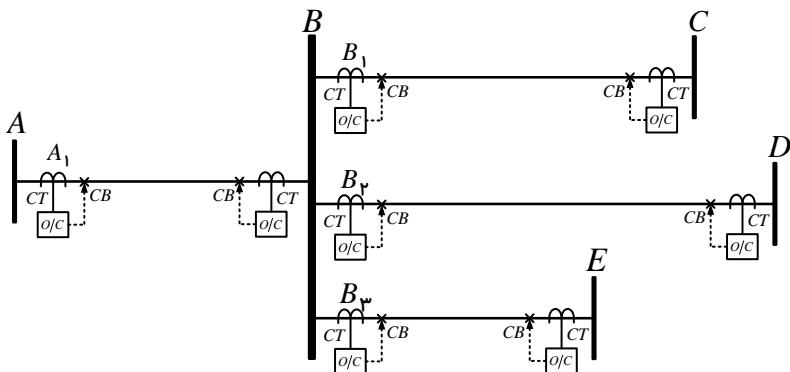
$$I_b = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 190 = 250\text{A}$$

$$I_{F\min} = 200\text{A}$$

چون مقدار I_b بدست آمده از مینیمم جریان اتصال کوتاه بیشتر است، می‌توان I_b را برابر 250 A در نظر گرفت که در این صورت رله به ازای بعضی اتصال کوتاه‌ها عمل نخواهد کرد.

۳-۴-۲ تنظیم زمانی و هماهنگی رله‌ها

ضریب تنظیم زمانی هر رله باید به گونه‌ای تعیین گردد که به ازای تمام جریان‌های اتصال کوتاه در شرایط مختلف، رله با تمام رله‌های اصلی اش هماهنگ باشد. به عنوان مثال در شکل (۱۰-۲) تنظیم زمانی رله A_1 از روی رله‌های اصلی آن یعنی B_1 ، B_2 و B_3 انتخاب می‌شود. جهت هماهنگی دو رله اصلی و پشتیبان مثلاً B_1 و A_1 در حالت کلی، باید چندین جریان اتصال کوتاه بررسی شوند. این جریان‌ها، بدترین شرایط ممکن برای هماهنگی دو رله را در بر می‌گیرند.



شکل (۱۰-۲): رله‌های اصلی و پشتیبان

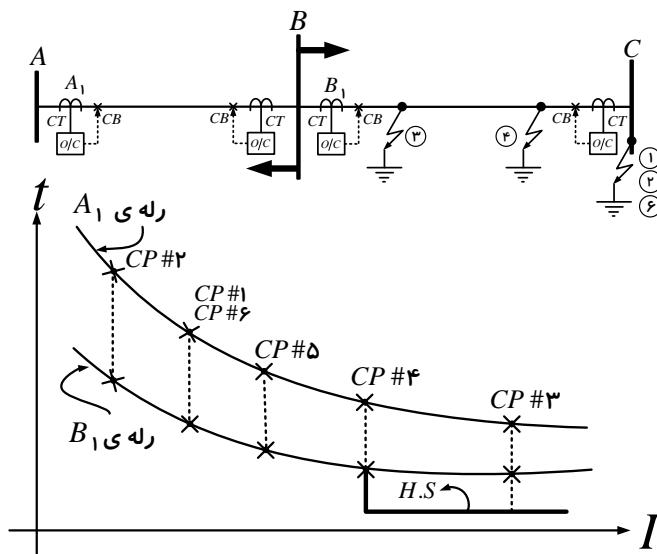
• هماهنگی دو رله اصلی و پشتیبان نمونه از شبکه برای یافتن تنظیم زمانی

به منظور برقراری هماهنگی دو رله، علاوه بر ماکزیمم و مینیمم جریان‌های اتصال کوتاه، چندین جریان دیگر نیز در نظر گرفته می‌شوند. این جریان‌ها در

حالت کلی و برای هر دو رله اصلی و پشتیبان، شامل شش جفت جریان اتصال کوتاه هستند. با در نظر گیری این شش جفت جریان، اطمینان حاصل می‌شود که با وقوع اتصال کوتاه در کلیه نقاط، هماهنگی رله‌های اصلی و پشتیبان برقرار است. به عنوان مثال در شکل(۱۰-۲) برای هر جفت رله (A_1, B_1), (A_1, B_2) و (A_2, B_2) شش جفت جریان اتصال کوتاه وجود دارد. این شش جفت جریان برای رله‌های فازی به ازای اتصال کوتاه سه‌فاز و برای رله‌های اتصال زمین به ازای خطای فاز به زمین محاسبه می‌گردند. این جریان‌ها برای رله‌های فازی و اتصال زمین به ترتیب زیر می‌باشند:

الف- جفت جریان اتصال کوتاه اول

این جفت جریان از میان اتصال کوتاه در بس دور رله اصلی برای شرایط عادی و قطع خطوط به نحوی انتخاب می‌گردد که جریان عبوری از رله پشتیبان مقدار ماکزیمم را داشته باشد. این جفت جریان سریعترین زمان عملکرد را برای رله پشتیبان به وجود می‌آورد. جفت جریان اتصال کوتاه اول در شکل(۱۱-۲) با (CP#۱) نشان داده شده است.



شکل(۱۱-۲): شش جفت جریان برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد

ب- جفت جریان اتصال کوتاه دوم

این جفت جریان در حقیقت به عنوان مینیمم جریان اتصال کوتاه جهت هماهنگی رله‌های اصلی و پشتیبان انتخاب می‌گردد و عبارتست از مینیمم جریان عبوری از رله اصلی به ازای اتصال کوتاهی که در باس دور رله اصلی به وجود می‌آید. در نتیجه این جفت جریان به نحوی از میان اتصال کوتاه‌های واقع در باس دور رله اصلی انتخاب می‌گردد که جریان عبوری از رله اصلی مینیمم باشد. برای در نظر گرفتن اثر مقاومت خطا در این حالت، جفت جریان‌های بدست آمده در رله‌های فازی بر ۲ و در رله‌های اتصال زمین بر ۴ تقسیم شده و به عنوان جفت جریان دوم قرار داده می‌شود. این جریان‌ها کمترین مقادیری هستند که لازم است رله‌های اصلی و پشتیبان به ازای آن‌ها هماهنگ گردند. این جفت جریان در شکل (۱۱-۲) با (CP# ۲) نشان داده شده است.

ج- جفت جریان اتصال کوتاه سوم

این جریان‌ها ماکزیمم جریان اتصال کوتاه برای هماهنگی رله‌های اصلی و پشتیبان می‌باشند و عبارتند از جریان‌های عبوری از رله‌های اصلی و پشتیبان به ازای خطا در محل رله اصلی. این جفت جریان باید به نحوی از میان اتصال کوتاه‌ها در محل رله اصلی انتخاب گردد که جریان رله پشتیبان ماکزیمم باشد. چنانچه با شرایط فوق در دو حالت مختلف جریان عبوری از رله پشتیبان برابر شود، حالتی در نظر گرفته می‌شود که نسبت جریان رله پشتیبان به اصلی بزرگتر باشد. این جفت جریان در شکل (۱۱-۲) با (CP# ۳) نشان داده شده است.

د- جفت جریان اتصال کوتاه چهارم

به ازای این جفت جریان، رله‌های اصلی و پشتیبان برای حالتی که جریان رله اصلی برابر جریان تنظیم عنصر سریع می‌باشد هماهنگ می‌گردد. در این شرایط، جریان رله پشتیبان از ضرب نمودن جریان رله اصلی در نسبت جریان رله پشتیبان به اصلی برای جفت جریان ششم بدست می‌آید. علت انتخاب این نسبت آن است که معمولاً انتهای ناحیه حفاظت عنصر سریع نزدیک باس دور رله اصلی

بوده و در این نقطه بزرگترین نسبت جریان‌ها برابر نسبت جفت جریان‌ها ششم می‌باشد. این جفت جریان در شکل(۱۱-۲) با (CP#۴) نشان داده شده است.

ه- جفت جریان اتصال کوتاه پنجم

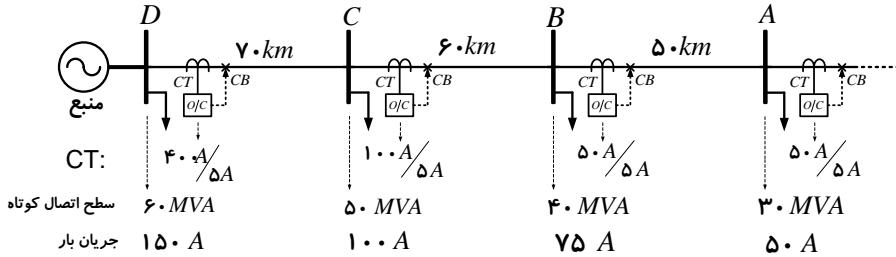
این جفت جریان در واقع نشان دهنده اتصال کوتاه در محل خاصی نیست و فقط جفت جریانی در فاصله دو جفت جریان از جریان‌های فوق است. در حالتی که (CP#۴ ≠ ۰) یعنی رله اصلی دارای عنصر سریع باشد، جفت جریان پنجم متوسط (CP# ۲) و (CP# ۴) خواهد بود. اگر (CP# ۴) وجود نداشته باشد، به جای آن (CP# ۳) در نظر گرفته می‌شود. این جفت جریان در شکل(۱۱-۲) با (CP# ۵) مشخص شده است.

و- جفت جریان اتصال کوتاه ششم

این جفت جریان مشابه (۱) و (CP# ۲) به ازای اتصال کوتاه در باس دور رله اصلی و در حالتی که نسبت جریان رله پشتیبان به اصلی ماکزیمم باشد بدست می‌آید. اگر جفت جریان‌های ششم از میان حالات مختلف اتصال کوتاه در باس مذکور در دو حالت مساوی باشد، جفت جریانی در نظر گرفته می‌شود که به ازای آن، جریان رله پشتیبان بزرگتر باشد. این جفت جریان در بعضی موارد با (۱) (CP# ۱) برابر می‌گردد و در مواردی می‌تواند متفاوت با (۱) (CP# ۱) بوده و جفت جریان تعیین کننده هماهنگی رله اصلی و پشتیبان باشد. جفت جریان ششم در شکل(۱۱-۲) در محل (CP# ۶) نشان داده شده است.

بدست آوردن تنظیم زمانی رله‌ها مهمترین قسمت هماهنگی رله‌ها می‌باشد. با توجه به این که تنظیم زمانی و جریانی رله‌ها در یک شبکه شعاعی موضوع درس «رله و حفاظت» می‌باشد، در این بخش از تکرار مطالب اضافی خودداری نموده و تنها به ذکر یک مثال اکتفا می‌گردد. سپس در مثال بعدی تنظیم زمانی و جریانی رله‌های جریان زیاد در یک شبکه بهم پیوسته مدنظر قرار می‌گیرد.

مثال(۵-۲): شبکه زیر را در نظر بگیرید. سطح اتصال کوتاه و جریان بار در باس‌ها داده شده است. ضرایب جریانی و زمانی رله‌های جریان زیاد را که از نوع کاهشی معمولی می‌باشند بدست آورید.



جواب:

با توجه به سطوح اتصال کوتاه می‌توان مقدار جریان اتصال کوتاه باس‌ها را بصورت زیر بدست آورد:

$$\begin{cases} S_A = 3.0 \text{ MVA} \\ S_B = 4.0 \text{ MVA} \\ S_C = 5.0 \text{ MVA} \\ S_D = 6.0 \text{ MVA} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{FA} = \frac{S_A}{\sqrt{3}V} = 525 \text{ A} \\ I_{FB} = \frac{S_B}{\sqrt{3}V} = 700 \text{ A} \\ I_{FC} = \frac{S_C}{\sqrt{3}V} = 175 \text{ A} \\ I_{FD} = \frac{S_D}{\sqrt{3}V} = 1050 \text{ A} \end{cases}$$

با توجه به مقادیر جریان بار می‌توان I_b سایر رله‌ها را بدست آورد:

$$\begin{cases} I_{LA} = 50 \text{ A} \\ I_{LB} = 75 \text{ A} \\ I_{LC} = 100 \text{ A} \\ I_{LD} = 150 \text{ A} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{bA} = 1.3 \times 50 = 65 \text{ A} \\ I_{bB} = 1.3 \times 75 = 97.5 \text{ A} \\ I_{bC} = 1.3 \times 100 = 130 \text{ A} \\ I_{bD} = 1.3 \times 150 = 195 \text{ A} \end{cases}$$

سپس مقادیر PSM رله‌ها از رابطه $PSM = \frac{100 \times I_b}{CT_{primary}}$ بدست می‌آید:

$$\left\{ \begin{array}{l} PSM_A = \frac{100 \times 65}{50} = 130 \\ PSM_B = \frac{100 \times 97.5}{50} = 195 \\ PSM_C = \frac{100 \times 130}{100} = 130 \\ PSM_D = \frac{100 \times 195}{400} = 48.75 \end{array} \right.$$

از آنجا که مقادیر استاندارد PSM رله‌ها را از مقدار 50% تا 200% با پله‌های 25% قرار داده‌اند، لذا با گرد کردن مقادیر بدست آمده به مقادیر استاندارد یعنی به سمت بالا، مقادیر صحیح I_b رله‌ها بدست می‌آید:

$$\left\{ \begin{array}{l} PSM_A = 150\% \\ PSM_B = 200\% \\ PSM_C = 150\% \\ PSM_D = 50\% \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} I_{bA} = 75A \\ I_{bB} = 100A \\ I_{bC} = 150A \\ I_{bD} = 200A \end{array} \right.$$

با داشتن تنظیمات جریانی رله‌ها می‌توان هماهنگی زمانی رله‌ها را بصورت زیر انجام داد:

را برای اولین رله کمترین مقدار ممکن در نظر می‌گیریم.

$$TSM_A = 0.05$$

فاصله زمانی هماهنگی رله‌ها در این مثال، $3s$. فرض شده است. لذا اختلاف زمان عملکرد هر دو رله اصلی و پشتیبان باید بیش از این مقدار باشد یعنی $t_B - t_A \geq 0.3$ برای انجام سریعترین حفاظت، رابطه فوق با علامت مساوی حل می‌شود. در صورت نیاز TSM ‌های بدست آمده استاندارد می‌شوند (به سمت بالا گرد می‌شوند تا هماهنگی به هم نخورد).

برای هماهنگی رله‌های A و B داریم:

$$t_B - t_A = 0.3 \Rightarrow \frac{0.14 \times TSM_B}{\left(\frac{525}{100}\right)^{0.2}} - \frac{0.14 \times 0.05}{\left(\frac{525}{75}\right)^{0.2}} = 0.3$$

از حل معادله داریم:

$$TSM_B = 0,114$$

بعد از گرد کردن داریم:

$$TSM_B = 0,15$$

برای هماهنگی رله‌های B و C داریم:

$$t_C - t_B = 0,3 \Rightarrow \frac{0,14 \times TSM_C}{\left(\frac{V_{..}}{150}\right)^{0,2}} - 1 - \frac{0,14 \times 0,15}{\left(\frac{V_{..}}{100}\right)^{0,2}} - 1 = 0,3$$

لذا:

$$TSM_C = 0,185$$

بعد از گرد کردن داریم:

$$TSM_C = 0,2$$

برای هماهنگی رله‌های C و D داریم:

$$t_D - t_C = 0,3 \Rightarrow \frac{0,14 \times TSM_D}{\left(\frac{V_{..}}{200}\right)^{0,2}} - 1 - \frac{0,14 \times 0,2}{\left(\frac{V_{..}}{150}\right)^{0,2}} - 1 = 0,3$$

لذا:

$$TSM_D = 0,231$$

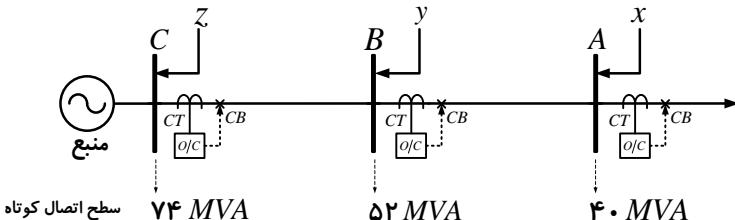
بعد از گرد کردن داریم:

$$TSM_D = 0,25$$

توجه شود که برای هماهنگی زمانی رله اصلی و پشتیبان، اتصال کوتاه جلوی رله اصلی در نظر گرفته می‌شود.

مثال (۲-۶): در شکل زیر چنانچه جریان‌های اتصال کوتاه از ۳ مسیر تغذیه x ، y و z برای اتصال کوتاه‌های واقع در A و B و بین آن‌ها سهم یکسانی داشته باشند و با قطع هر یک از آن‌ها نیز مجدداً سطح اتصال کوتاه ثابت بماند به طوری که سهم آن مسیر از طریق باس C وارد گردد، جفت جریان‌های لازم

برای هماهنگی رله‌های B و C را بباید. رله B دارای عنصر سریع بوده و ولتاژ خط به خط شبکه $33kV$ می‌باشد.



جواب:

$$I_{FA} = \frac{40}{\sqrt{3} \times 33} = 70 \text{ A}$$

$$I_{FB} = \frac{52}{\sqrt{3} \times 33} = 91 \text{ A}$$

مطابق با توضیحات صورت مثال، در صورتی که در هر یک از بس‌های A و B و در هر نقطه بین این دو بس واقع در خط AB خطایی اتفاق افتد، جریان‌های عبوری از رله‌های اصلی و پشتیبان بصورت زیر تغییر می‌کند:

- ۱) در صورتی که همه تغذیه‌ها وصل باشند، $\frac{1}{3}$ از جریان خط از رله پشتیبان و $\frac{2}{3}$ از آن از رله اصلی عبور می‌کند.
- ۲) در صورتی که تغذیه x قطع گردد، $\frac{2}{3}$ از جریان خط از رله پشتیبان و همه آن از رله اصلی عبور می‌کند.
- ۳) در صورتی که تغذیه y قطع گردد، جریان عبوری از رله‌های اصلی و پشتیبان برابر $\frac{2}{3}$ جریان خط خواهد بود.
- ۴) در صورتی که تغذیه z قطع گردد، $\frac{1}{3}$ از جریان خط از رله پشتیبان و $\frac{2}{3}$ از آن از رله اصلی عبور می‌کند.

مطابق با این توضیحات و با در نظر گرفتن شرایط شش جفت جریان، به راحتی می‌توان جفت جریان‌های اول تا ششم را محاسبه نمود. این جفت جریان‌ها بر حسب آمپر در جدول زیر آمده است:

CP	وصل همه با قطع		قطع X		قطع y		توضیحات
	I_B	I_M	I_B	I_M	I_B	I_M	
CP#1	۲۳۳,۳	۴۶۶,۶	۴۶۶,۶	۷۰۰	۴۶۶,۶	۴۶۶,۶	خطا در بس A - جریان خطا = ۷۰۰ شرایط: جریان عبوری از پشتیبان ماکریم. بین دو حالت قطع X و قطع y ، قطع y انتخاب می‌گردد. چرا که جریان عبوری از رله اصلی در این حالت مینیمم است.
CP#۲	۲۳۳,۳	۴۶۶,۶	۴۶۶,۶	۷۰۰	۴۶۶,۶	۴۶۶,۶	خطا در بس A - جریان خطا = ۷۰۰ شرایط: جریان عبوری از اصلی مینیمم. بین سه حالت قطع x، y و z ، قطع y انتخاب می‌گردد. چرا که جریان عبوری از رله پشتیبان در این حالت ماکریم است.
CP#۳	۳۰۳,۳	۶۰۶,۶	۶۰۶,۶	۹۱۰	۶۰۶,۶	۶۰۶,۶	خطا در بس B - جریان خطا = ۹۱۰ شرایط: جریان عبوری از پشتیبان ماکریم. بین دو حالت قطع X و قطع y ، قطع y انتخاب می‌گردد. چرا که جریان عبوری از رله اصلی در این حالت مینیمم است.
CP#۴	$I_M = I_{II} = ۱,۲ \times ۷۰۰ = ۸۴۰$ $I_B = ۸۴۰ \times ۱ = ۸۴۰$						خطا در محل عنصر سریع جریان خطا = ۸۴۰ شرایط: جریان عبوری از رله اصلی برابر جریان عنصر سریع و جریان عبوری از رله پشتیبان برابر جریان رله اصلی ضرب در نسبت جریان پشتیبان به اصلی در جفت جریان ششم.
CP#۵	$I_M = \frac{۸۴۰ + ۴۶۶,۶}{۲} = ۶۵۳,۳$ $I_B = \frac{۸۴۰ + ۴۶۶,۶}{۲} = ۶۵۳,۳$						میانگین جفت جریان‌های دوم و چهارم
CP#۶	۲۳۳,۳	۴۶۶,۶	۴۶۶,۶	۷۰۰	۴۶۶,۶	۴۶۶,۶	خطا در بس A - جریان خطا = ۷۰۰ شرایط: حالتی که نسبت جریان پشتیبان به اصلی ماکریم گردد. قطع y به عنوان حالت بحرانی انتخاب می‌گردد.

• هماهنگی یک رله پشتیبان با تمام رله‌های اصلی آن

تنظیم زمانی هر رله باید به گونه‌ای انجام گیرد که با تمام رله‌های اصلی اش هماهنگ باشد. هر جفت رله اصلی و پشتیبان به ازای شش جفت جریان اتصال کوتاه باید هماهنگ گردد. برای هر جفت جریان، ابتدا زمان عملکرد رله اصلی یعنی t_M با توجه به تنظیم جریانی و زمانی آن محاسبه می‌شود و سپس

زمان لازم جهت هماهنگی دو رله^۱ (CTI) به t_M اضافه شده و برابر زمان عملکرد رله پشتیبان یعنی t_B قرار داده می‌شود.

$$t_B = t_M + CTI \quad \dots \dots \dots \quad (37-2)$$

سپس از روی t_B و تنظیم جریانی رله پشتیبان، مقدار جدید ضریب تنظیم زمانی آن محاسبه می‌شود. محاسبات برای هر شش جفت جریان رله اصلی و پشتیبان انجام شده و در نهایت برای TSM رله پشتیبان مقداری بدست می‌آید که هماهنگی دو رله را به ازای تمام جریان‌های اتصال کوتاه تضمین می‌نماید. چنانچه در هماهنگی رله‌های اصلی و پشتیبان بعضی جفت جریان‌ها وجود نداشته باشند، عملیات محاسبه TSM برای آن جفت جریان صورت نمی‌پذیرد. تمام عملیات فوق برای سایر رله‌های اصلی رله پشتیبان انجام گرفته و بالاخره مقدار نهایی TSM رله بدست می‌آید.

• انتخاب تنظیم جریانی مناسب جهت کاهش متوسط زمان عملکرد رله

در این قسمت برای بهینه کردن هماهنگی رله‌های اصلی و پشتیبان، از تغییر تنظیم جریانی رله پشتیبان استفاده می‌شود. بعد از مشخص شدن TSM نهایی رله پشتیبان، زمان عملکرد این رله برای جریان‌هایی در محدوده حفاظت پشتیبان رله محاسبه و متوسط این زمان تعیین می‌شود. زمان عملکرد رله پشتیبان به ازای جریان تنظیم عنصر سریع آن نیز محاسبه می‌گردد. سپس متوسط این دو زمان تعیین می‌شود که در واقع نشان دهنده متوسط زمان

عملکرد رله پشتیبان در محدوده حفاظت پشتیبان و اصلی آن می‌باشد و می‌تواند به عنوان کمیتی جهت مناسب بودن تنظیم رله به کار برده شود.

چنانچه امکان افزایش تنظیم جریانی رله پشتیبان وجود داشته باشد، تنظیم جریانی را در تنظیم بعدی قرار داده و محاسبات هماهنگی رله پشتیبان با رله‌های اصلی آن تکرار می‌شود. مجدداً برای *TSM* نهایی بدست آمده، زمان‌های عملکرد رله پشتیبان برای جریان‌هایی در محدوده حفاظت پشتیبان رله و به ازای جریان تنظیم عنصر سریع آن و متوسط آن‌ها محاسبه می‌شوند. چنانچه این زمان متوسط در این مرحله کمتر از مرحله قبل شود، افزایش تنظیم جریانی رله سبب بهبود متوسط زمان عملکرد رله شده است و تنظیم جریانی جدید برای رله پشتیبان انتخاب می‌شود. عملیات مشابه برای تنظیم جریانی ادامه می‌یابد تا اینکه انتخاب تنظیم جریان بزرگتر امکان پذیر نباشد و یا زمان متوسط عملکرد به ازای تنظیم جریانی جدید بزرگتر از زمان متوسط عملکرد قبل شود. در این مرحله، تنظیم قدیم به عنوان تنظیم جریانی مناسب رله انتخاب می‌گردد.

• کنترل هماهنگی رله‌های شبکه

بعد از اتمام هماهنگی رله‌های شبکه، برای مشخص نمودن زمان عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان به ازای جفت جریان‌های مختلف برای هر رله پشتیبان و اصلی، زمان عملکرد رله‌ها به ازای شش جفت جریان اتصال کوتاه محاسبه می‌شود. در موارد عدم هماهنگی رله‌های اصلی و پشتیبان، ممکن است که زمان عملکرد رله پشتیبان به میزان کافی از زمان عملکرد رله اصلی بیشتر نباشد و یا زمان عملکرد رله پشتیبان کمتر از رله اصلی شده باشد. بعد از ملاحظه نتایج و اعمال تغییرات لازم در تنظیم بعضی رله‌ها، کنترل هماهنگی کامل رله‌ها باقیستی مدنظر قرار گیرد.

• کنترل نسبت تبدیل و اشباع ترانسفورماتورهای جریان

برای کنترل اشباع ترانسفورماتورهای جریان، از ماکزیمم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله استفاده می‌شود. برای بدست آوردن $I_{F_{\max}}$ ، جریان‌های I_{CLN} و $I_{NB_{\max}}$ مقایسه شده و $I_{F_{\max}}$ برابر جریان بزرگتر قرار داده می‌شود. ترانسفورماتور جریان نباید به ازای این جریان وارد ناحیه اشباع شود. ناحیه اشباع این ترانسفورماتورها توسط ضریب اشباع^۱ (SF) مشخص می‌گردد. این ضریب بستگی به کلاس دقت ترانسفورماتورهای جریان دارد و مشخص کننده آن است که ترانسفورماتور جریان تا چند برابر جریان نامی اشباع نمی‌شود. مثلاً برای کلاس دقت ۵P۲۰، ترانسفورماتور تا ۲۰ برابر جریان نامی اشباع نمی‌شود. چون ترانسفورماتور جریان باید به ازای جریان $I_{F_{\max}}$ اشباع نگردد، ابتدا این جریان به ثانویه‌اش منتقل می‌شود. سپس چنانچه رابطه $I_{F_{\max,Sec}} > SF \times I_{NCT}$ برقرار باشد، احتمال اشباع ترانسفورماتور جریان وجود دارد. در این رابطه I_{NCT} جریان نامی ثانویه ترانسفورماتور جریان بوده و معمولاً ۵ یا ۱ آمپر می‌باشد.

جهت کنترل نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان، دو مورد زیر می‌بایست بررسی گردند:

الف- مناسب بودن نسبت تبدیل برای مصارف اندازه‌گیری

ب- مناسب بودن نسبت تبدیل برای رله‌های جریان زیاد

در مورد ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری، ماکزیمم جریان بار باید از حدود ۸۰٪ جریان نامی ترانسفورماتور جریان، کمتر باشد. در کاربرد ترانسفورماتور جریان برای رله‌های جریان زیاد، مینیمم تنظیم جریان رله مطابق مطالب مذکور در قسمت‌های پیشین انتخاب می‌شود. چنانچه این مقدار از بیشترین تنظیم

موجود رله بزرگتر باشد، در آن صورت نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان باید افزایش داده شود یا رله‌ای با تنظیمات بیشتر به کار رود.

• تحمل حرارتی رله

در مشخصات رله‌های حفاظتی علاوه بر جریان نامی که رله می‌تواند به‌طور دائم از خود عبور دهد، معمولاً تحمل حرارتی رله توسط ماکزیمم جریانی که مجاز است به مدت یک ثانیه از رله عبور نماید ذکر می‌گردد. تحمل حرارتی با تغییر تنظیم جریانی متفاوت است. با فرض اینکه تحمل حرارتی رله مناسب با حاصلضرب مربع جریان و زمان عبور آن باشد (مقدار ثابت $I^3 \times t$)، می‌توان زمان مجاز را برای هر جریان اتصال‌کوتاه مشخص نمود. چنانچه تحمل حرارتی رله برای یک ثانیه با جریان I_1 نشان داده شود، زمان مجاز برای هر جریان I_2 را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$(I_2)^3 \times t_2 = (I_1)^3 \times 1 \quad (38-2)$$

و یا:

$$t_2 = \left(\frac{I_1}{I_2} \right)^3 \quad (39-2)$$

بدین ترتیب چنانچه زمان t_2 از زمانی که جریان I_2 توسط سیستم حفاظتی قطع می‌گردد بیشتر باشد، مسئله باید به نحوی بررسی گردد.

خلاصه مطالب (۵-۲)

مدل‌های رله جریان زیاد

$$t = C + \frac{K}{(I^n - 1)} \times (TSM) \quad \text{مدل وارینگتن}$$

$$t = C + \left(\frac{K}{(I - h + w \times I^{-\gamma})^q} - b \left(\frac{I}{50} \right)^n \right) \times TSM \quad \text{مدل هیبر}$$

$$I = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n \quad \text{مدل باحاج}$$

$$t = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + \dots + a_n I^n \quad \text{مدل اسمولک}$$

$$\log t = K - A_1 (\log I) + A_2 (\log I)^2 - A_3 (\log I)^3 + A_4 (\log I)^4 \quad \text{مدل رادکه}$$

$$t = \left[\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ji} (TDS)^j (PSM)^i \right]^K \quad \text{مدل آلبشت}$$

عنصر جهت‌دار و سریع

لزوم استفاده از عنصر سریع: $I_{IT} < I_{CLIN}$ و $I_{CLIN} > 0.25 I_{FBMAX}$

لزوم جهت‌دار بودن رله جریان زیاد: $I_{NBmax} > 0.25 I_{Fmin}$

$$\text{درصد پوشش خط توسط رله سریع} = \frac{I_{CLIN} - I_{IT}}{I_{CLIN} - I_{FBmax}} \times 100$$

تنظیم جریانی رله جریان زیاد

تنظیم جریانی رله باید برابر کوچکترین مقدار از بین مقادیر زیر باشد:

الف - ماکزیمم تنظیم جریانی موجود روی رله

ب - مینیمم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله به ازای خطا در انتهای

محدوده حفاظت پشتیبان (I_{Fmin})

از رابطه زیر PSM رله بدست آمده و پس از گرد کردن آن به مقدار

استاندارد، تنظیم جریانی رله دوباره از همین رابطه بدست می‌آید.

$$I_b = \frac{PSM \times CT_{primary}}{100}$$

تنظیم زمانی رله جریان زیاد

جفت جریان‌ها بدست آمده و برای هر یک از آن‌ها از رابطه زیر TSM رله پشتیبان مشخص شده و ماکزیمم آن‌ها به عنوان تنظیم زمانی رله پشتیبان منظور می‌گردد.

$$t_B - t_A = 0.3 \Rightarrow \frac{0.14 \times TSM_B}{\left(\frac{I_{FB}}{I_{bB}}\right)^{0.2} - 1} - \frac{0.14 \times TSM_A}{\left(\frac{I_{FB}}{I_{bA}}\right)^{0.2} - 1} = 0.3$$

(الف- جفت جریان اتصال کوتاه اول) (CP#۱)

این جفت جریان از میان اتصال کوتاه در باس دور رله اصلی برای شرایط عادی و قطع خطوط، به نحوی انتخاب می‌گردد که جریان عبوری از رله پشتیبان مقدار ماکزیمم را داشته باشد.

(ب- جفت جریان اتصال کوتاه دوم) (CP#۲)

این جفت جریان عبارتست از مینیمم جریان اتصال کوتاه عبوری از رله اصلی به ازای اتصال کوتاه در باس دور رله اصلی.

(ج- جفت جریان اتصال کوتاه سوم) (CP#۳)

این جفت جریان عبارتند از جریان‌های عبوری از رله‌های اصلی و پشتیبان به ازای خطا در محل رله اصلی. این جفت جریان باید به نحوی از میان اتصال کوتاه‌ها در محل رله اصلی انتخاب گردد که جریان رله پشتیبان ماکزیمم باشد.

(د- جفت جریان اتصال کوتاه چهارم) (CP#۴)

به ازای این جفت جریان، رله‌های اصلی و پشتیبان برای حالتی که جریان رله اصلی برابر جریان تنظیم عنصر سریع می‌باشد، هماهنگ می‌گردند. در این

شرايط، جريان رله پشتيبان از ضرب نمودن جريان رله اصلی در نسبت جريان رله پشتيبان به اصلی برای جفت جريان ششم، بدست می آيد.

هـ - جفت جريان اتصال کوتاه پنجم (CP#۵)

اين جفت جريان در حالتی که (CP#۴) مخالف صفر باشد، يعني رله اصلی داراي عنصر سريع باشد، برابر متوسط (CP#۲) و (CP#۴) خواهد بود. اگر (CP#۴) وجود نداشته باشد، به جاي آن (CP#۳) در نظر گرفته می شود.

و- جفت جريان اتصال کوتاه ششم (CP#۶)

اين جفت جريان مشابه (۱) و (CP#۲) به ازاي اتصال کوتاه در باس دور رله اصلی و در حالتی که نسبت جريان رله پشتيبان به اصلی ماکزيم باشد بدست می آيد. اگر جفت جريان‌های ششم از ميان حالات مختلف اتصال کوتاه در باس مذكور مساوی باشند، جفت جريانی در نظر گرفته می شود که به ازاي آن جريان رله پشتيبان بزرگتر باشد.

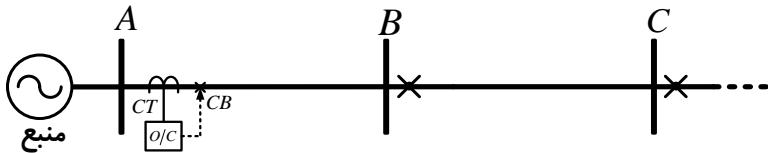
۶-۲ تمرین‌ها

۱) اگر مینیمم جریان اتصال کوتاه با احتساب مقاومت خطاب رله‌های فازی $200A$ باشد،

الف) با فرض جریان بار $120A$ ، تنظیم جریانی رله در چه محدوده‌ای است؟

ب) اگر مقدار جریان بار $200A$ باشد تنظیم جریانی در چه محدوده‌ای خواهد بود؟

۲) در شکل زیر اگر ولتاژ شبکه $33kV$ ، نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان $CTratio = 50A/5A$ ، مقاومت خطاب در بس‌های B و C برابر با 4Ω و مقدار جریان بار $500A$ باشد، تنظیم جریانی رله A را بیابید.



$$Z_{G_1} = 10.5 \angle 60^\circ$$

$$Z_{AB} = 4 \angle 60^\circ$$

$$Z_{BC} = 4 \angle 60^\circ$$

۳) اگر برای $TSM = 0.1$ ، معادله منحنی بصورت زیر باشد:

$$\log t = 1.396 - 4.245(\log I) + 3.123(\log I)^2 - 0.935(\log I)^3$$

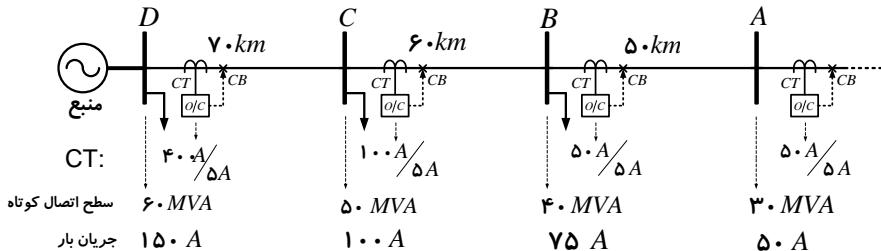
$$+ 0.072(\log I)^4$$

الف) برای $TSM = 0.2$ مقدار k چقدر است؟

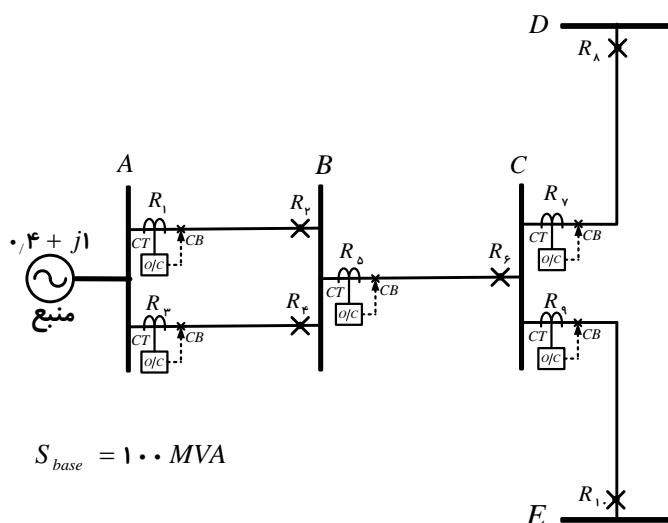
ب) اگر جریان تنظیمی نسبت به طرف اولیه CT ، $250A$ باشد و جریان $1500A$ از خطی که رله روی آن است عبور کند، زمان عملکرد رله برای $TSM = 0.2$ را بیابید.

- ج) چنانچه جریان تنظیم $A\ 250A$ فرض شود و زمان عملکرد برای جریان $1900A$ ، $75S$ باشد، مقدار ضریب تنظیم زمانی برای رله به کار رفته چقدر است؟

- ۱۴) ضرایب تنظیم جریانی و زمانی رله‌های واقع در بسیارهای A ، B ، C و D را حساب کنید؟ (ولتاژ منبع $33kV$ می‌باشد)



- ۱۵) شبکه $30kV$ زیر را در نظر بگیرید. فرض بر این است که همه خطوط دارای امپدانس مثبت $j0.15 + 0.15$ پریونیت بوده و امپدانس مثبت ثریاتور نیز برابر با $j0.14 + 0.14$ پریونیت می‌باشد. چنانچه همه خطوط با رله‌های جریان زیاد که دارای عنصر سریع هستند حفاظت شده باشند، تنظیم عناصر سریع و درصد پوشش خط توسط هر عنصر سریع را بدست آورید.

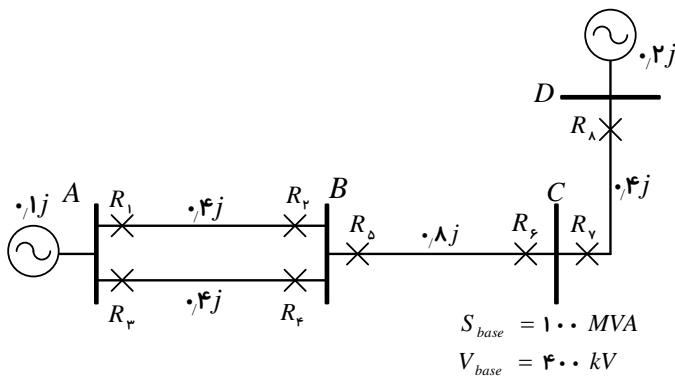


۶) در شبکه زیر تمامی خطوط با رله‌های اضافه جریان با منحنی مشخصه معکوس معمولی حفاظت شده‌اند. امپدانس خطوط و ژنراتورها نیز بر حسب پریونیت بیان شده است.

الف) لزوم جهت دار بودن هر یک از رله‌های R_1 تا R_8 را با ذکر دلیل مشخص نمایید.

ب) با فرض اینکه هدف هماهنگی رله‌های R_7 ، R_8 و R_1 باشد، تنظیم‌های جریانی و زمانی را برای این سه رله بدست آورید. رله R_8 و R_7 مجهز به عنصر سریع می‌باشند.

توجه: در محاسبه شش جفت جریان در نظر داشته باشید که با قطع و وصل خط پایینی از خط دومداره، سطح اتصال‌کوتاه همه باس‌ها ثابت باقی خواهد ماند.

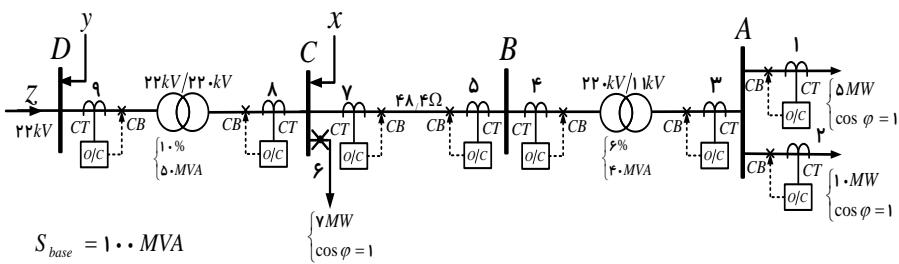


۷) شبکه زیر را در نظر بگیرید. فرض کنید تغذیه‌های x و y موجود نباشند.

الف) اگر سطح اتصال‌کوتاه در باس D برابر با 25.0 MVA باشد، سطح اتصال‌کوتاه سایر باس‌ها را بدست آورید.

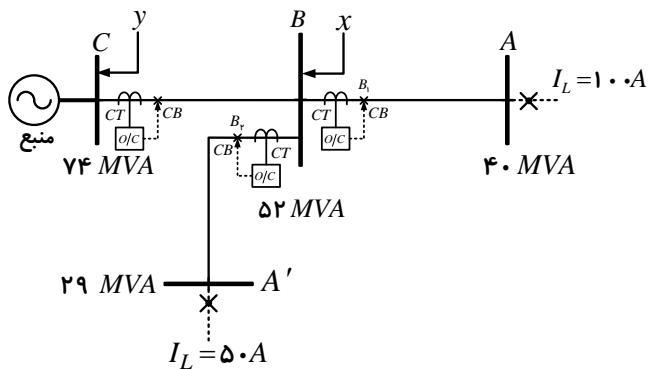
ب) نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان مربوط به رله‌های ۱ تا ۹ و جریان اولیه CT ‌ها را بیابید. با این فرض که CT ‌ها تا 400 آمپر مضربی از 50 و بالاتر از آن مضربی از 100 باشند.

ج) در صورتی که تغذیه های x و y وصل گردند، سطح اتصال کوتاه در باس های شبکه نسبت به قسمت الف دو برابر می گردد. در این حالت، هر کدام از تغذیه های x ، y و z دارای سهم یکسانی در اتصال کوتاه باس های مختلف بوده و با قطع هر کدام از دو مسیر تغذیه x و y ، سهم آن از مسیر z وارد می گردد. به گونه ای که سطوح اتصال کوتاه باس های شبکه ثابت باقی می ماند. با این فرضیات، PSM و TSM رله های ۶، ۷ و ۹ را بباید. TSM رله ۷ را، فرض نموده و رله ها را از نوع جریان زیاد با منحنی مشخصه معکوس معمولی در نظر بگیرید.



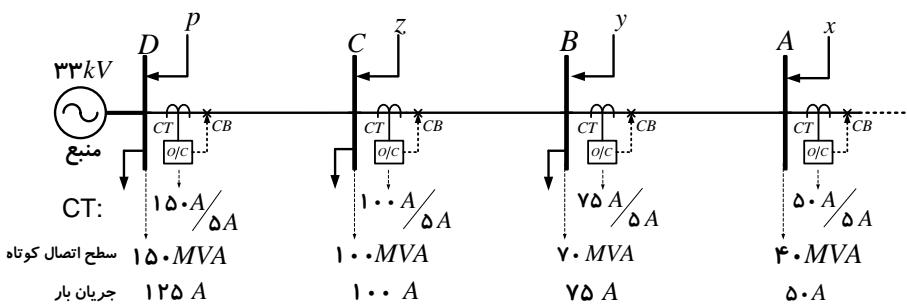
۱) در شکل زیر چنانچه جریان های اتصال کوتاه از سه مسیر تغذیه برای اتصال کوتاه های A و B دارای سهم یکسانی باشند و با قطع شدن هر یک از آن ها نیز مجدداً سطح اتصال کوتاه در باس ها ثابت بماند و سهم خط قطع شده بصورت مساوی به وسیله دو مسیر دیگر تأمین شود، ابتدا نسبت تبدیل CT ها را بدست آورید و سپس تنظیم های زمانی و جریانی رله های جریان زیاد را برای وقتی که رله ها کاوشی معمولی هستند بباید (ولتاژ شبکه $20.4kV$ است).

راهنمایی: رله ها با جریان نامی 5 آمپر کار می کنند.



۹) شبکه زیر را در نظر بگیرید. فرض کنید توزریق‌های x ، y ، z و p موجود نباشد.

الف) با فرض این‌که حداقل جریان عنصر سریع 150.0 A باشد، در کدام رله‌ها نیاز به عنصر سریع است؟ میزان تنظیم عنصر سریع را بدست آورید. در صد پوشش عناصر سریع را معین کنید.



ب) با فرض این‌که برای اتصال کوتاه‌های همه بس‌ها سهم تغذیه‌ها برابر باشد و با قطع هر تغذیه سهم آن از بس D وارد گردد، تنظیم زمانی و جریانی رله‌ها را برای حالتی که توزریق‌های x ، y ، z و p موجود باشند بدست آورید.

مراجع (۷-۲)

- [1] Abyaneh, H.A “Modeling of Very Inverse and Long Time Delay Overcurrent Relay Characterization by Fuzzy Logic and Neural Network”, 4th International Conference on Modeling and Simulation, Australia, July 2002.
- [2] Mohammadi, R; Abyaneh, H.A; Razavi, F; Al-Dabbagh, M; Sadeghi, S.H “Optimal Relays Coordination Efficient Method in Interconnected Power Systems ”, Journal of Electrical Engineering, vol. 61, no. 2, pp. 75-83, June 2011.
- [3] Chabanloo, R.M ; Abyaneh, H.A ; Agheli, A ; Rastegar, H “Overcurrent Relays Coordination Considering Transient Behaviour of Fault Current Limiter and Distributed Generation in Distribution Power Network ”, IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 5, no. 9, pp. 903-911, September 2011.
- [4] Sharifian, H; Askarian Abyaneh, H; 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.
- [5] Razavi, F; Abyaneh, H.A ,Al-Dabbagh, M; Mohammadi, R “A New Comprehensive Genetic Algorithm Method for Optimal Overcurrent Relays Coordination” , Electric Power Systems Research, vol. 74, no. 4, pp. 713-720, April 2008.
- [6] Karegar, H.K; Abyaneh, H.A; Al-Dabbagh, M, “A Flexible Approach for Overcurrent Relay Characteristics Simulation”, Electric Power Systems Research, vol. 66, no. 3, pp. 233-239, September 2003.
- [7] Abyaneh, H.A; AL-Dabagh, M; Kazemi, M.H; Jabbar,A “A New Model of Overcurrent Relays Considering Nonlinear Characteristic to TDS”, The Australasian Universities Power Engineering Conference(AUPEC), Australia, 2001.
- [8] Birla, D; Maheshwari, R.P; Gupta, H.O “Time-Overcurrent Relay Coordination: A Review” International Journal of Emerging Electric Power Systems, vol. 2, no. 2, April 2005.
- [9] 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.

