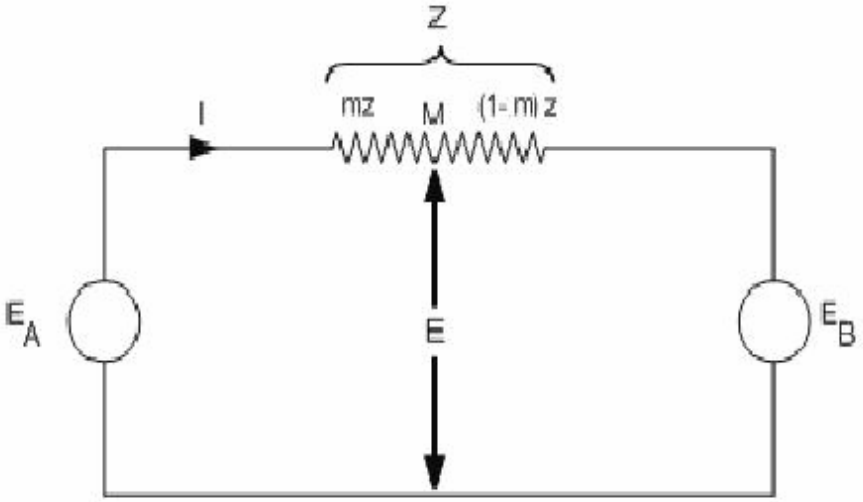
۵

حفاظت نوسان توان

۵-۱- مقدمه

نوسان توان، ناشی از تغییرات مقدار و زاویه ولتاژ دو سر خط انتقال است و در اثر اتصال کوتاه در شبکه، قطع خط، بازبست رله‌ها و اغتشاشات دیگر در شبکه بوجود می‌آید. معمولا شدیدترین نوسانات در اثر اتصال کوتاه بوجود می‌آید و اتصال کوتاه سه فاز بیشترین ضربه را نسبت به اتصال کوتاههای دیگر به شبکه وارد می‌کند. نوسان توان مدتی پس از وقوع اتصال کوتاه یعنی پس از قطع اتصال کوتاه توسط کلیدهای قدرت بوجود می‌آید. در اثر نوسان توان، ولتاژ و جریان تغییر کرده و امپدانس دیده شده توسط رله دیستانس که از نسبت ولتاژ و جریان بدست می‌آید، تغییر می‌نماید. بعضی مواقع این امپدانس تغییر یافته در اثر نوسان توان، وارد مشخصه‌های رله دیستانس شده و ممکن است رله اشتباها آن را امپدانس حالت خطا در نظر بگیرد و دستور قطع کلیدها را صادر کند. باید توجه داشت که ممکن است شبکه‌ای با قطع یکی از خطوط آن در اثر وجود

خطا پایدار باقی بماند؛ ولی باز شدن خط دیگری براثر نوسان توان ناشی از قطع خط مذکور، باعث ناپایداری سیستم گردد. بنابراین باید وجود نوسان توان در شبکه مطالعه گردد و رله‌های نوسان توان به صورتی تنظیم گردند تا از قطع بدون دلیل خطوط جلوگیری گردد. مشخصه‌های رله دیستانس بصورت منحنی‌های R-X هستند. از اینرو منحنی‌های نوسان توان نیز بصورت R-X مطالعه می‌شوند تا مقایسه قابل انجام باشد. شبکه ساده ای شامل دو ژنراتور بصورت زیر درنظر گرفته می‌شوند.



شکل (۵-۱): شبکه شامل یک خط و دو ژنراتور

در شکل ۵-۱ خط انتقال با امپدانس z وجود دارد و در دو طرف آن ژنراتور قرار گرفته است. رله در نقطه M واقع شده و امپدانس خط انتقال را به mZ و Z (۱-m) تقسیم کرده است. در اینجا این شبکه ساده تحلیل می‌گردد و تغییرات امپدانس از دید رله در نقطه M با توجه به تغییرات مقدار و زاویه ولتاژ مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنین شبکه‌ای برای پی بردن به چگونگی تغییر امپدانس در اثر نوسان توان کافی است. بدیهی است که در حالت واقعی، مدل خط انتقال را می‌توان بصورت گسترده π و T در نظر گرفت و با برنامه‌های کامپیوتری مربوطه مطالعه کرد که جوابهای دقیقتری خواهیم داشت. ولی اصول کلی کار را می‌توان از شبکه ساده شکل (۵-۱) نتیجه گرفت.

ابتدا فرض بر این است که ولتاژهای E_A و E_B در هنگام نوسان دارای اندازه دامنه ثابت ولی زوایای متغیر هستند. با در نظر گرفتن ولتاژ E_B بعنوان مبنا، ولتاژ E_A زاویه‌ای متغیر برابر δ خواهد داشت. بنابراین جریان در هر نقطه مدار برابر است با:

$$I = \frac{E_A \angle \delta - E_B \angle 0}{Z} \qquad (۱-۵)$$

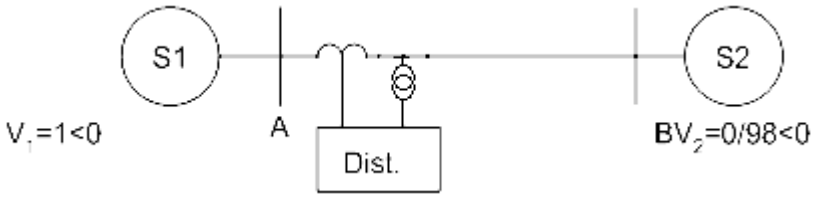
که در رابطه فوق Z مجموع امپدانس خط و امپدانس‌های دو ژنراتور می‌باشد. چنانچه فرض کنیم که امپدانس تمام اجزای مدار شکل ۵-۱ زاویه مشابه دارند، کل امپدانس Z بوسیله رله در محل M به دو قسمت mZ و (۱-m) Z تقسیم می‌شود. m عددی حقیقی و کوچکتر از یک است. در نقطه M ولتاژ E نسبت به ولتاژ E_B که مبنا فرض شده است برابر است با:

$$E = I(1-m)Z + E_B \qquad (۲-۵)$$

که اگر از رابطه (۵-۱) بجای I قرار دهیم، نتیجه می‌شود که:

$$E = (1-m)\, E_A \angle \delta + mE_B \qquad (۳-۵)$$

مثال (۱) : اگر در شبکه شکل زیر، امپدانس تونن شبکه از سمت باس بار A، برابر Z_A=۰/۳+j ۰/۸ p.u و از طرف باس بار B برابر Z_B=۰/۵+j۱/۲ p.u باشد و طول خط AB برابر ۱۰۰km بوده و امپدانس واحد طول خط نیز برابر Z=۰/۰۱+j۰/۰۳ p.u باشد، در این حالت ولتاژ شبکه در نقطه نصب رله دیستانس در باس A چقدر است؟



$$I = \frac{1\angle 0 - 0/98\angle 0}{Z_A + Z_{AB} + Z_B} = \frac{0/2}{(0/3 + j0/8) + (1 + j3) + (0/5 + j1/2)} = 0/038\angle 70^\circ$$

$$E = 1\angle 0 - Z_A I = 1/0 - (0/3 + J0/8)\ (0/038\angle 70^\circ) = 0/967\angle 0^\circ$$

۵-۲- تأثیر نوسان توان بر رله های دیستانس

۵-۲-۱- مقدمه

رله‌های حفاظتی نقش بسیار مهمی را روی رفتار دینامیکی سیستم قدرت در شرایط مختلف ایفا می‌کنند. زمانی که گروهی از ژنراتورها نسبت به همدیگر شروع به نوسان می‌کنند، رله‌های دیستانس ممکن است به اشتباه سبب قطع خطوط سالم بشوند و منجر به ایجاد شرایط نامطلوب در شبکه گردند. قطع شدن خطوط بدون عیب در هنگام نوسانهای قدرت که سیستم می‌تواند از آن رهایی یابد، تقریبا همیشه نامطلوب است.

دو دلیل می‌توان برای این مطلب ارائه داد:

اولا، اگر خط زیر بار باشد و دو سر آن بازگردد، ارتباط دو سر خط و انتقال توان بطور غیرضروری قطع می‌شود.

دلیل دوم که مهمتر می‌باشد، این واقعیت است که ارتباط بین گروههای اصلی در حال نوسان ماشینها ضعیفتر می‌شود. ارتباطی که قبلا به علت قطع خط خطا دیده ضعیف شده، با باز شدن یک خط سالم بیشتر تضعیف می‌شود. بنابراین این پیوند می‌تواند تا حدی ضعیف شود که سیستم ناپایدار شود، درصورتیکه اگر عمل قطع کاذب رخ نمی‌داد، سیستم پایداری خود را حفظ می‌کرد. بنابراین لازم است استراتژی مناسبی برای قطع بی‌مورد رله دیستانس در چنین شرایطی داشته باشیم.

نهایتا رله باید قادر به تمایز شرایط نرمال، اتصال کوتاه و نوسانات با دامنه بلند (ناپایدار) را داشته باشد و در هر یک از شرایط فوق‌الذکر عملکرد صحیح داشته باشد.

بدین منظور برای جلوگیری از قطع خطوط در زمان وقوع نوسان توان پایدار، از وسیله نوسان توان قفل کننده استفاده می‌کنند.

۵-۲-۲- امپدانس اندازه گیری شده توسط رله دیستانس

امپدانسی که رله در نقطه M می‌بیند، بصورت زیر است:

$$Z_r = \frac{E}{I} = \frac{(1-m)\, E_A \angle\delta + mE_B}{E_A \angle\delta - E_B} \qquad (۴-۵)$$

چنانچه E_A، E_B و m ثابت و δ متغیر باشند، مکان هندسی Z_r در صفحه R-X بصورت دایره و یا خط مستقیم خواهد بود. اگر $E_A=E_B$ فرض شود، عبارت فوق ساده می‌شود و مکان هندسی بصورت خط مستقیم است. با تقسیم طرفین رابطه (۵-۴) به Z و تقسیم صورت و مخرج به $E_A=E_B$ خواهیم داشت:

(۵-۵)

$$\frac{Z_r}{Z} = \frac{(1-m)\ \angle\delta + m}{1\angle\delta - 1} = \frac{-m(1\angle\delta - 1) + 1\angle\delta}{1\angle\delta - 1}$$

$$= -m + \frac{1}{1-1\angle-\delta} = -m + \frac{1+1\angle\delta}{(1-1\angle-\delta)\ (1+1\angle\delta)}$$

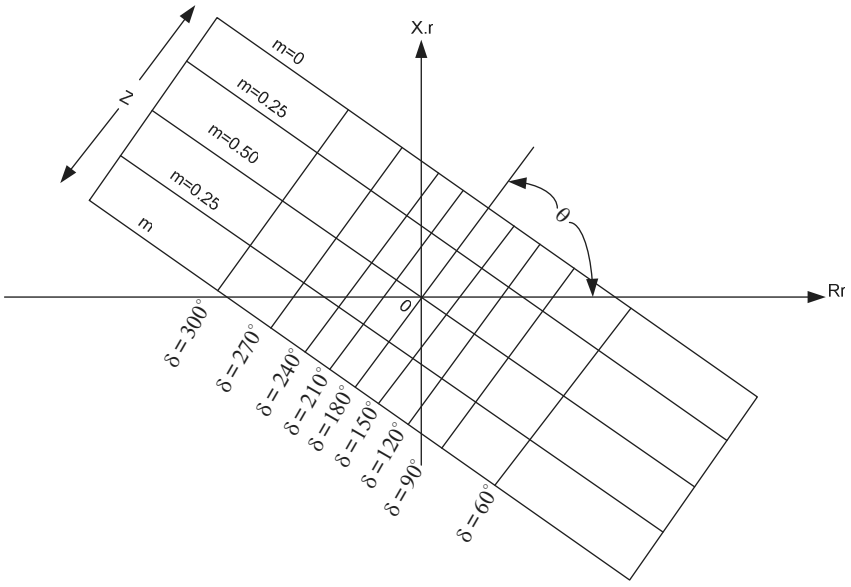
$$= -m + \frac{1+1\angle\delta}{1+1\angle+\delta-1\angle-\delta} = -m + \frac{1+1\angle\delta}{1\angle\delta\ \ -1\angle(-\delta)}$$

$$= -m + \frac{1+\cos\delta + J\sin\delta}{2J\ \ \sin\delta} = (\frac{1}{2} - m) - J(\frac{1+\cos\ \delta}{2\ \sin\delta})$$

$$= (\frac{1}{2} - m) - J\,\frac{1}{2}\ \cot\ \frac{\delta}{2} \qquad (۶-۵)$$

این رابطه در صفحه R-X نشان داده شده است. زیرا قسمت حقیقی آن که متناسب با مقاومت می‌باشد، ثابت است. ضمن آنکه قسمت موهومی که متناسب با راکتانس است،

با زاویه δ تغییر می‌کند. با ضرب کردن طرفین رابطه (۵-۶) در Z مکان هندسی Z_r بدست می‌آید. مقدار طول خط در جهت عقربه ساعت به اندازه زاویه امپدانس θ می‌باشد، که در شکل ۵-۲ برای m های مختلف رسم گردیده است.

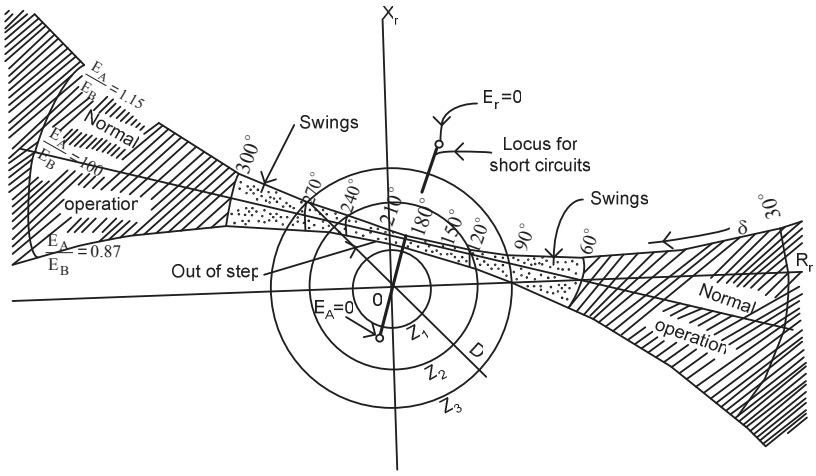


شکل (۵-۲): مکان امپدانس R_r+JX_r دیده شده توسط رله دیستانس قفل کننده نوسان توان برای سیستم دو ژنراتور (برای وقتی که $E_A=E_B$)

اگر دو ژنراتور نسبت به یکدیگر همفاز باشند، از رابطه (۵-۲)، جریان صفر و امپدانس دیده شده بینهایت خواهد بود. ولی اگر زاویه ولتاژ ژنراتورها ۱۸۰ درجه اختلاف داشته باشند، ولتاژ در نیمه خط صفر شده و چون $Z_r=0$ است و در نتیجه اتصال کوتاه سه فاز در نیمه خط یعنی در نقطه m =۰/۵ بنظر می‌رسد. در صورتیکه اتصال کوتاهی نبوده و تغییرات زاویه ژنراتورها در اثر نوسان توان این مسئله را بوجود آورده‌اند. در صورتی که $E_A \neq E_B$ باشد، مکان هندسی به جای خط مستقیم، به شکل دایره خواهد بود.

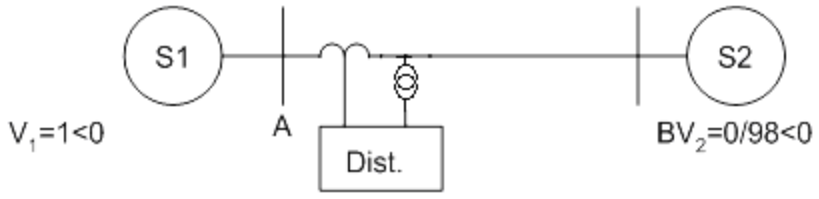
بنابراین با داشتن چنین شکلی برای مقادیر مختلف E_A / E_B و مقادیر مختلف زاویه δ و سپس انطباق منحنی نوسان توان با این منحنی‌ها، می‌توان در هر لحظه

نسبت ولتاژ دو طرف خط و زاویه نسبی آنها را بدست آورد و از وضعیت ژنراتورهای فرضی دو طرف خط اطلاع حاصل نمود.

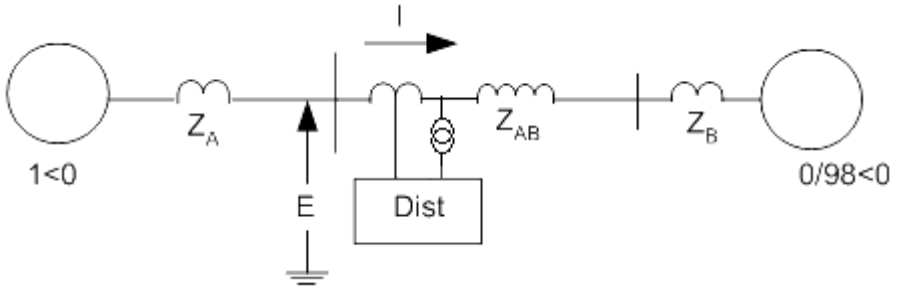


شکل (۵-۳): امپدانس دیده شده بوسیله رله در حالات بار نرمال، نوسان قدرت، Out of Step، اتصال کوتاه و نیز منحنی مشخصه قطع رله

مثال (۲) : در شبکه شکل زیر، رله دیستانس که دارای قابلیت تشخیص نوسان تـوان است، بر روی باس A نصب شده است. اگر امپدانس تونن شـبکه از سـمت بـاس بـار A، برابر Z_A=۰/۳+j ۰/۸ p.u و از طرف باس بار B برابر Z_B=۰/۵+j۱/۲ p.u باشد و طـول خـط AB برابر ۱۰۰km بوده و امپدانس واحد طول خط نیز برابر Z=۰/۰۱+j۰/۰۳ p.u باشد، در این حالت امپدانس دیده شده توسط رله A در شرایط کارکرد عادی شبکه چقدر است؟



مدار معادل شبکه در شکل زیر رسم شده است.



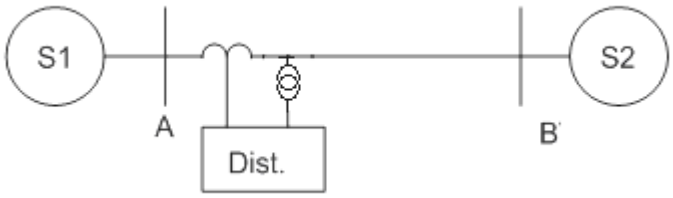
$Z = \frac{E}{I}$ = امپدانس دیده شده توسط رله دیستانس

$$I = \frac{۱\angle ۰ - ۰/۹۸\angle ۰}{Z_A + Z_{AB} + Z_B} = \frac{۰/۲}{(۰/۳ + j۰/۸) + (۱ + j۳) + (۰/۵ + j۱/۲)} = ۰/۰۳۸\angle -۷۰^\circ$$

$$E = ۱\angle ۰ - Z_A I = ۱\angle ۰ - (۰/۳ + j۰/۸)\ (۰/۰۳۸\angle -۷۰^\circ) = ۰/۹۶۷\angle ۰^\circ$$

$$\Rightarrow Z = \frac{۰/۹۶۷\angle ۰^\circ}{۰/۰۳۸\angle -۷۰^\circ} = ۲۵.۴۵\angle ۷۰^\circ$$

مثال (۳) : در شبکه شکل زیر، چنانچه $E_A = ۱\angle ۳۰^\circ$ و $E_B = ۱\angle ۰^\circ$ باشد و نسبت امپدانس معادل تونن از دید رله دیستانس از دو سمت شبکه برابر k باشد، اندازه $\frac{Z_r}{Z}$ را برای مقادیر داده شده برای k های مختلف آورده شده در ذیل بیابید؟ (Z مجموع امپدانس تونن دیده شده از دو سمت رله است).



الف) k=۰/۲۵

ب) k=۰/۵

ج) k=۰/۷۵

الف)

$$K = \frac{m}{1-m} = 0.25 \Rightarrow m = 0.25 - 0.25m \Rightarrow m = \frac{0.25}{1.25} = 0.2$$

$$\frac{Z_r}{Z} = (\frac{1}{2} - m) - j\frac{1}{2}\cot\frac{30}{2} = 0.3 - j1.87$$

ب)

$$K = \frac{m}{1-m} = 0.5 \Rightarrow m = 0.5 - 0.5m \Rightarrow m = \frac{0.5}{1.5} = 0.3$$

$$\frac{Z_r}{Z} = (\frac{1}{2} - m) - j\frac{1}{2}\cot\frac{30}{2} = 0.2 - j1.87$$

ج)

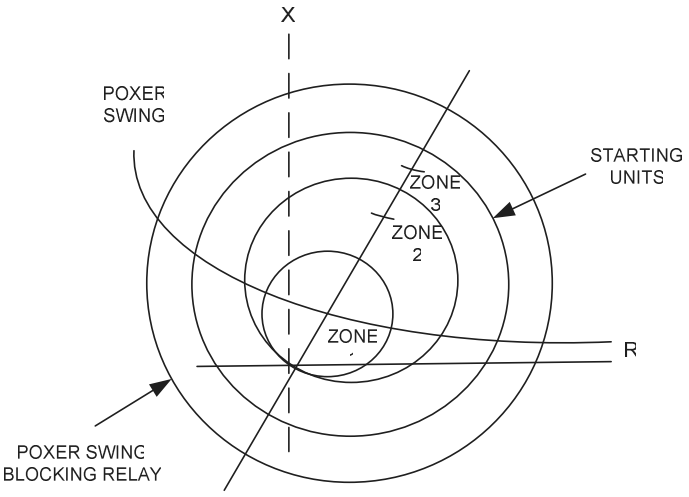
$$k = \frac{m}{1-m} = 0.75 \Rightarrow m = 0.75 - 0.75m \Rightarrow m = \frac{0.75}{1.75} = 0.43$$

$$\frac{Z_r}{Z} = (\frac{1}{2} - m) - j\frac{1}{2}\cot\frac{30}{2} = 0.07 - j1.87$$

۵-۲-۳- رفتار رله‌های دیستانس در مقابل نوسان قدرت

همانطور که گفته شد، عملکرد رله‌های دیستانس در مقابل نوسانات قدرت، با توجه به نوع اندازه‌گیری و منحنی مشخصه آنها، مختلف می‌باشد و به دلیل اینکه منحنی امپدانس R-X نوسان توان معمولا به صورت غیرخطی و مارپیچی بوده و می‌تواند سطح زیادی را در صفحه R-X تحت پوشش قرار دهد، هرچه مساحت منحنی مشخصه رله دیستانس بطور نسبی بیشتر باشد، رله مربوطه در مقابل نوسانات آسیب‌پذیرتر خواهد بود. مثلا رله‌های امپدانسی در مقایسه با رله‌های مهو بیشتر در مقابل این پدیده حساسیت نشان می‌دهند. مشخصه R-X نوسانات توان، دارای سرعت حرکت آرامی بوده و در مقایسه با سرعت حرکت مشخصه خطا، بسیار کند عمل می‌کنند. حرکت مشخصه R-X از موقعیت امپدانس بار در اطراف محور R بیشتر محسوس می‌باشد. بنابراین مشخصه‌های رله هایی که مساحت بیشتری از محور R ها را می‌پوشانند، بیشتر با پدیده نوسانات قدرت تلاقی خواهند داشت. بنابراین نوسانات قدرت پایدار نیز توسط این رله‌ها (برای مثال رله مسطح) قطع خواهد شد.

رله‌های مهو در شرایط نوسان قدرت در خطوط انتقال نیرو توسط قسمت قفل کننده نوسانات از انجام عملکرد اشتباه جلوگیری می‌کنند. با نگاهی اجمالی به شکل ۵-۴ معلوم می‌شود که اگر ناحیه سوم رله را به صورت دایره جابجا شده از مبدا مختصات در نظر بگیریم، مشخصه قسمت قفل کننده نوسانات به صورت دایره‌ای هم مرکز با عملکرد ناحیه سوم و محیط بر آن خواهد بود.



شکل(۵-۴) مشخصه رله مهو جابجا شده و حرکت امپدانس نوسان توان در صفحه R-X

۵-۲-۴- مثالی از بررسی مکان امپدانس در وضعیت‌های مختلف زاویه بار

مکان هندسی امپدانس Z_r را که توسط رله‌هایی در مدار شکل ۵-۱ دیده می‌شود، برای E_A/E_B مساوی ۰/۸۷ و ۱/۰۰ و ۱/۱۵ با زاویه δ متغیر بین E_B و E_A محاسبه می‌نماییم. با فرض اینکه $Z = ۱.۰۰\angle ۷۵^\circ$ می‌باشد و ۱، M=۰/۲۵ است.

الف- برای E_A/E_B مکان هندسی $\frac{Z_r}{Z}$ را می‌توان از معادله (۵-۶) بدست آورد. این مکان هندسی، خط مستقیمی است به فاصله $\frac{۱}{۲}M = ۰/۲۵$ در سمت راست مبدا. عرض نقاط واقع در روی این خط به ازای مقادیر مختلف δ از قسمت موهومی معادله (۵-۶) به صورت زیر بدست می‌آید.

$$Y = -\frac{1}{2}\cot ang(\delta/2) \qquad (۵-۷)$$

Y قسمت موهومی مکان امپدانسی است.

این مقادیر در جدول ۵-۱ برای زاویه δ در فواصل $^\circ$۰ از $^\circ$۱۸۰ محاسبه و ارائه شده است. برای زوایای $^\circ$۱۸۰ تا $^\circ$۳۶۰ مقادیر Y را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد.

$$Y = (۳۶۰ \quad \delta) = \quad Y(\delta) \qquad (۸-۵)$$

جدول (۵-۱): محاسبه مکان هندسی امپدانس نوسان به ازای E_A/E_B

δ	$\frac{\delta}{۲}$	$\cot\frac{\delta}{۲}$	y
0	۰	∞	∞
۳۰°	۱۵۰°	۳/۷۳۲	۱/۸۶۶
۶۰°	۳۰°	۱/۷۳۲	۰/۸۶۶
۹۰°	۴۵°	۱	۰/۵
۱۲۰°	۶۰°	۰/۵۷۷	۰/۲۸۹
۱۵۰°	۷۵°	۰/۲۶۳	–0.134
۱۸۰°	۹۰°	۰	۰

ب- برای بدست آوردن E_A/E_B =۱/۱۵ با توجه به معادله زیر خواهیم داشت:

$$\frac{Z_r}{Z} = \frac{0/75 \times 1/15 \angle \delta + 0/25}{1.15 \angle \delta \quad 1.00} \qquad (۹-۵)$$

مقدار ماکزیمم این عبارت در δ = ۰ می‌باشد و عبارت است از:

(۱۰-۵)

$$\frac{Z_r}{Z} = \frac{۰.۸۶ + ۰.۲۵}{۱.۱۵ - ۱.۰۰} = ۷.۴\angle ۰ \qquad \begin{cases} \max - in & \delta = ۰ \\ \min - in & \delta = ۱۸۰ \end{cases}$$

مقدار مینیمم عبارت در $\delta = ۱۸۰°$ می‌باشد که عبارتست از:

$$\frac{Z_r}{Z} = \frac{-0.86 + 0.25}{-1.15 - 1.00} = 0.28\angle 0$$

چون مکان هندسی یک دایره است، مرکز آن باید در وسط مقادیر حداکثر و حداقل و یا $\frac{7.4+0.28}{2}=3.84<0$ باشد و شعاع باید نصف اختلاف بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم یا $\frac{7.4-0.28}{2}=3.56<0$ باشد.

نقاط روی مکان هندسی برای دیگر مقادیر δ از معادله بالا در جدول ۵-۲ محاسبه شده است. قسمتهای موهومی Z_r/Z تفاوت چندانی با مقادیر محاسبه شده برای E_A/E_B=۱ ندارند. برای δ بین ۱۸۰° تا ۳۶۰° مقادیر Z_r/Z مزدوج‌های مقادیر بین ۰° و ۱۸۰° ولی به ترتیب معکوس می‌باشند.

جدول (۵-۲): محاسبه مکان هندسی امپدانس نوسان به ازای E_A/E_B

δ	$0.86\angle\delta$	$0.86\angle\delta+0.25$
30°	$0.86\angle30^\circ=0.75+j0.43$	$1.00+j0.43=1.09\angle23.3^\circ$
60°	$0.86\angle60^\circ=0.43+j0.75$	$0.86+j0.75=1.01\angle47.8^\circ$
90°	$0.86\angle90^\circ=0.00+j0.86$	$0.25+j0.86=0.90\angle73.8^\circ$
120°	$0.86\angle120^\circ=-0.43+j0.75$	$-0.18+j0.75=0.77\angle103.5^\circ$
150°	$0.86\angle150=-.75+j.43$	$-0.50+j0.43=0.60\angle139.1^\circ$

$1.15\angle\delta$	$1.15\angle90^\circ$
$1.15\angle30^\circ=1.00+j0.58$	$1.00+j0.43=1.09\angle23.3^\circ$
$1.15\angle60^\circ=0.58+j1.00$	$0.86+j0.75=1.01\angle47.8^\circ$
$1.15\angle90^\circ=0+j1.15$	$0.25+j0.86=0.90\angle73.8^\circ$
$1.15\angle120^\circ=-0.58+j1.00$	$-0.18+j0.75=0.77\angle103.5^\circ$
$1.15\angle150^\circ=-1.00+j0.58$	$-0.50+j0.43=0.60\angle139.1^\circ$

ج- برای E_A/E_B =۱/۱۵ از معادله بالا خواهیم داشت:

$$\frac{Z_r}{Z}=\frac{۰.۷۵\times۱.۱۵\angle\delta+۰.۲۵}{۱.۱۵\angle\delta-۱.۰۰} \qquad (۱۱-۵)$$

۵-۳- نمونه‌ای از حفاظت نوسان توان در شبکه ایران

برای بررسی نوسان توان در شبکه انتقال ایران لازم است از برنامه کامپیوتری پخش‌بار و پایداری استفاده شود. در برنامه پایداری تغییراتی باید داده شود تا بتوان نوسان توان را به صورت تغییر امپدانس و به شکل منحنی‌های $R-X$ و همچنین مقدار دقیق R و X را در هر زمان طبق جدولی در اختیار داشت. برای بررسی نوسان توان در شبکه انتقال و تاثیر آن بر رله‌های دیستانس، باید حالات زیادی را مورد مطالعه قرار داد و چنین حجم زیادی نمی‌تواند در این مختصر آورده شود. از این رو فقط به ذکر یک نمونه اکتفا می‌شود. نمونه انتخابی خط دومداره بندرعباس- سیرجان است که برای مطالعه نوسان توان روی این خط، اتصال کوتاه در خطوط مجاور، خارج شدن تولید نیروگاه و بازبست خطوط مجاور انجام گرفته و نواسانات ناشی از این ضربات دیده شده است.

در شبکه ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلو ولت ایران، در سیرجان رله دیستانس ABB و در بندرعباس رله دیستانس زیمنس روی خطوط بندرعباس- سیرجان قرار گرفته است. در جدول ۵-۳ ، رله‌های دیستانس و سازنده‌های آنها در شبکه ۴۰۰ کیلو ولت ایران آورده شده است. مشخصه دو رله دیستانس ABB-RAZFE و زیمنس برای نمونه در شکلهای ۵-۵ و ۵-۶ آورده شده اند. مدت اتصال کوتاه روی خطوط ۲۳۰ کیلو ولت، ۱۰ سیکل و روی خطوط ۴۰۰ کیلو ولت، ۷ سیکل است.

لازم به توضیح است که اگر منحنی امپدانس مربوط به نوسان توان، وارد مشخصه‌های رله شود و قبل از زمان تاخیر ناحیه مربوطه از آن خارج شود، مشکلی به وجود نخواهد آمد.

جدول (۵-۳): رله‌های دیستانس در خطوط ۴۰۰ کیلو ولت

رله *MITSUBISHI*	
ابتدای خط (محل رله)	**ابتدای خط (محل رله)**
تبریز	زیاران
تهرانپارس	جلال
حسن‌کیف	تکا

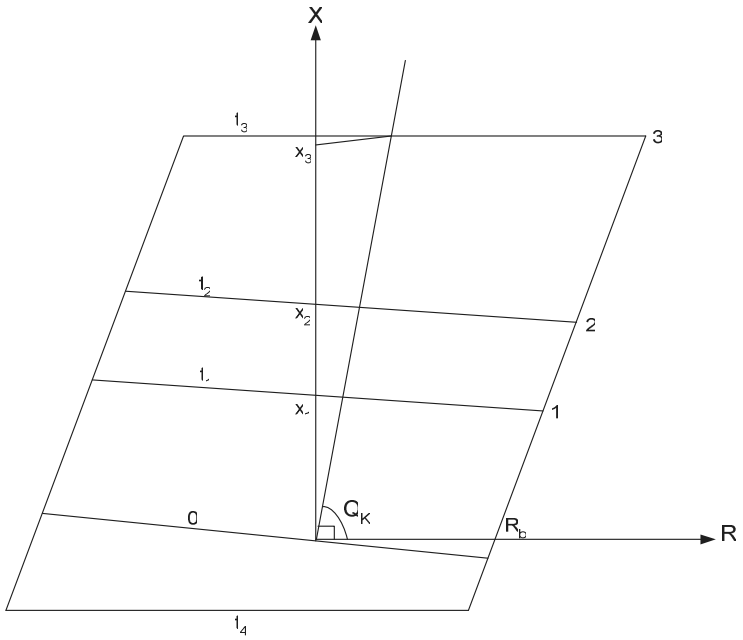
رله ABB RAZFE	
ابتدای خط (محل رله)	**ابتدای خط (محل رله)**
امیدیه ۲	امیدیه ۲
اهواز۲	
شیراز	

	زیاران
جلال	تکا
	تهرانپارس
	رودشور
زیاران	حسن‌کیف
	تبریز
	رودشور
تکا	جلال
	حسن‌کیف

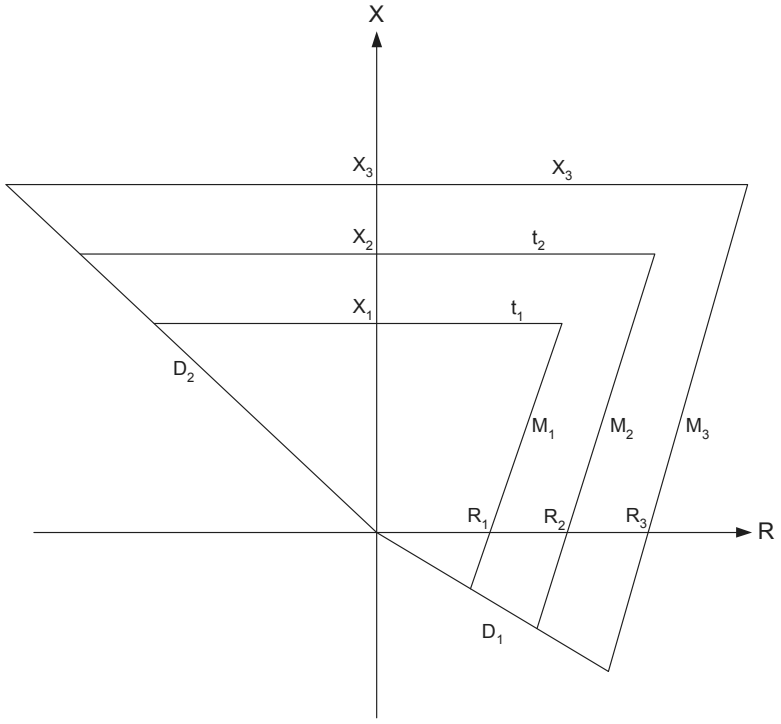
	عباس‌پور
تهران	اراک
	عباس‌پور
	نجف‌آباد
	یزد
رودشور	اراک
	جلال
	زیاران
	فیروزبهرام
سیرجان	بندرعباس
	فا
	یزد
شیراز	امیدیه۲
	فا
فیروزبهرام	رودشور
اهواز۲	امیدیه۲

رله *SCHIE – BETCER*	
ابتدای خط (محل رله)	**ابتدای خط (محل رله)**
اراک	عباس پور
اهواز۲	عباس پور
امیدیه۱	امیدیه۱
نجف آباد	تهران

تاخیر زمانی ناحیه یک رله، صفر و تاخیر زمانی ناحیه دو رله حدود۴۰۰ میلی‌ثانیه و تاخیر زمانی ناحیه سه رله حدود۸۰۰ میلی‌ثانیه می‌باشد. بنابراین اگر یک امپدانس نوسان توان وارد ناحیه دو شود و قبل از۴۰۰ میلی‌ثانیه از آن خارج شود، ناحیه دوم رله به آن توجه نمی‌کند. در بررسی منحنی‌های نوسان توان، این مطلب مورد توجه قرار گرفته است. البته زمان‌های تاخیر عملکرد نواحی مختلف از تنظیم دقیق رله‌های دیستانس به دست می‌آیند.



شکل (۵-۵): مشخصه نواحی مختلف رله و مشخصه نوسان توان رله ABB *نوع* RAZFE



شکل (۵-۶) : مشخصه نواحی مختلف رله و مشخصه نوسان توان رله زیمنس

در این مشخصه خط $D_۲$ با زاویه ۱۳۵ درجه از مبدا مختصات رسم می‌شود و خط $D_۱$ با زاویه ۳۰ درجه و خطوط $M_۱$ و $M_۲$ و $M_۳$ با زاویه ۷۰ درجه و خطوط $L_۱$ و $L_۲$ و $L_۳$ با زاویه بسیار کوچکی نسبت به افق و از نقاط $X_۱$ و $X_۲$ و $X_۳$ رسم می‌شوند. معمولا در خطوط بلند، نسبت $\frac{R}{X}$ را برابر ۰/۵ می‌گیرند. بنابراین با مشخص شدن X_1 و X_2 و X_3 که برای حفاظت ناحیه‌های ۱ و ۲ و ۳ استفاده می‌شوند، هر کدام را در نسبت $\frac{R}{X}$ (مثلا ۰/۵) ضرب می‌کنند و مقادیر $R_۱$ و $R_۲$ و $R_۳$ به دست می‌آید. بنابراین مشخصه‌های فوق به راحتی ترسیم می‌شود.

۵-۴- تنظیمات نمونه ای از رله های دیستانس و نوسان توان

مقادیر ولتاژ و جریان تغذیه کننده رله دیستانس به عنوان اولیه و مقادیر تبدیل شده توسط ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ، به عنوان مقادیر ثانویه هستند و در محاسبات مربوطه باید به این نکته توجه داشت و تبدیلات لازم را انجام داد. رابطه بین امپدانس ثانویه و اولیه به صورت زیر است:

$$Z_{sec} = Z_{prim} \cdot \frac{CTRatio}{VTRatio} \qquad (۱۲-۵)$$

$CTRatio$: نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان

$VTRatio$: نسبت تبدیل ترانسفورماتور ولتاژ

برای تبدیل راکتانس نیز می‌توان نوشت:

$$X_{sec} = X_{Prim} \cdot \frac{CTRatio}{VTRatio} \qquad (۱۳-۵)$$

این پارامتر، یکی از مقادیری که باید در مشخصه رله تنظیم گردد. این پارامتر، با توجه به مقادیر ثانویه بدست می‌آید و طبق رابطه (۵-۱۴) است.

$$X_L I_n = X_{sec} I_{nR} \frac{CTRatio}{VTRatio} \qquad (۱۴-۵)$$

در رابطه فوق، X_L راکتانس ناحیه مورد حفاظت در هر فاز است و I_N جریان نامی‌رله دیستانس است.

مشخصه نواحی مختلف رله برای خطاهای سه فاز به صورت شکلهای ۵-۵ و ۵-۶ است که به شرح بیشتر آن پرداخته می‌شود.

مقدار X_1 حدود۸۵ درصد امپدانس خط مورد حفاظت است و مقدار X_2 برابر خط اول بعلاوه نصف خط دوم (کوتاهترین خط دوم) و مقدار X_3 برابر امپدانس خط اول و خط دوم و۲۵ درصد خط سوم خواهد بود. در این رله با توجه به مقادیر بدست آمده، تنظیم X_1, X_2, X_3 به صورت زیر انجام می‌گردد:

مقدار X_1 از رابطه زیر به دست می‌آید:

(۱۵-۵)

$$X_1 = \frac{f}{I_n} \times \frac{c \times a}{P_1} \Omega/\text{phase}$$

بطوری که:

فرکانس f ، ۵۰ یا ۶۰ هرتز است.

I_n جریان ثانویه و برابر۲،۱ یا ۵ آمپر می‌باشد.

a برابر ۱،۲،۴،۸،۱۶ یا۳۲ می‌باشد.

c برابر۰/۵ یا ۲ است.

P1 برابر۵۰، ۵۱، ۵۲،...۹۹ یا۱۰۰است و برای هر سه فاز به یک صورت است.

مقدارa و c برای سه ناحیه رله یکسان بوده و یک مقدار را دارا می‌باشد.

مقدار X_1 با توجه به رابطه بالا در جدول زیر بر حسب مقادیر مختلف a و c آورده شده است. فرکانس،۵۰ هرتز در نظر گرفته شده است. این مقادیر در ثانویه هستند و برای بدست آوردن مقادیر در اولیه، در صورتی که نسبت تبدیل CT برابر۲۰۰۰ به ۱ آمپر و نسبت تبدیل VT برابر۴۰۰ به ۰/۱ کیلو ولت باشد، بایستی مقادیر زیر در عدد۲ ضرب شوند.

جدول (۵-۴): مقادیر X_1

c	a	X_1 Ω/Phase		
		I_n=۵ آمپر	I_n=۲ آمپر	I_n=۱ آمپر
۰/۵	۱	۰/۰۵-۰/۱	۰/۱۲-۰/۲۵	۰/۲۵-۰/۵
۰/۵	۲	۰/۱-۰/۲	۰/۲۵-۰/۵	۰/۵۱ -۱
۰/۵	۴	۰/۲-۰/۴	۰/۵۱-۱	۱/۰۱=۲
۰/۵	۸	۰/۴-۰/۸	۱/۰۱-۲	۲/۰۲-۴
۰/۵	۱۶	۰/۸۱-۱/۶	۲/۰۲-۴	۴/۰۴-۸
۰/۵	۳۲	۱/۶۲-۳/۲	۴/۰۴-۸	۸/۰۸-۱۶
۲	۱۶	۳/۲۳-۶/۴	۸/۱-۱۶	۱۶/۲-۳۲
۲	۳۲	۶/۴۶-۱۲/۸	۱۶/۲-۳۲	۳۲/۴-۶۴

مقدار X_2 از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$X_۲ = \frac{f}{I_n} \times \frac{c \times a}{P_۲} \Omega/_{phase} \qquad (۱۶-۵)$$

aو c همان مقادیر ناحیه یک را دارا هستند.

P2 برابر ۱۰، ۱۱، ۱۲،...، ۹۹ یا ۱۰۰ است.

مقدارP2 برای سه فاز یکسان است.

X2در ثانویه از ۰/۲۵ تا۳۲۰ اهم می‌تواند تغییر کند(در اولیه از۰/۵ تا۶۲۰ اهم).

مقدار $X_۳$ از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$X_۳ = \frac{f}{I_n} \times \frac{c \times a}{P_۳} \Omega/_{phase} \qquad (۱۷-۵)$$

c و a همان مقادیر ناحیه یک را دارا هستند.

P3برابر ۵، ۶، ۷، ...، ۹۹۰یا۱۰۰۰ است.

مقدارP3 برای هر سه فاز یکسان است.

X3در ثانویه از ۰/۲۵ تا۳۴۰ اهم قابل تغییر است (در اولیه ۰/۵ تا۶۸۰ اهم).

بنابراین با تعیین مقادیر X_1 و X_2 و X_3 برای ناحیه۱ و۲ و۳ رله می‌توان مقدار c و a و P را به دست آورد و آنها را تنظیم کرد.

حال به چگونگی تعیین R_b پرداخته می‌شود. R_b از رابطه (۵-۱۸) مشخص می‌شود.

$$R_b = \frac{b}{I_n} \Omega \qquad (۱۸-۵)$$

b برابر۴،۲، ۸، ۱۶،۳۲ ، ۴۰ یا۵۰ است.

I_n برابر۱،۲ یا ۵ است.

مثال (۴): برای یک رله **دیستانس بهمراه** نوسان توان که در شبکه با فرکانس ۵۰Hz استفاده شده و دارای جریان نامی ۱A است، در صورتیکه مقادیر a , c از کاتالوگ

رله برابر ۲ و ۰/۵ قرار گیرند و تنظیم x_1 در ثانویه برای فاز A برابر ۰/۸ در نظر گرفته شده باشد، آنگاه:

الف) مقدار P_1 برای فاز A چقدر است؟

ب) مقدار P_1 برای فاز C, B چقدر است؟

الف) $$X_1 = \frac{f}{I_n} \times \frac{C \times a}{p_1} \Rightarrow p_1 = \frac{fCa}{I_n X_1} = \frac{50 \times 0.5 \times 2}{1 \times 0.8} = \frac{50}{0.8} = 62.5$$

ب) تنظیم برای فازهای دیگر هم برابر فاز A است.

مثال (۵) : اگر برای یک رله **دیستانس بهمراه** نوسان توان در شبکه ۵۰Hz و با جریان نامی ۲A، مقادیر a, c برابر ۴، ۰/۵ در نظر گرفته شود و $X_2=2X_1$ و $X_3=1/2X_2$ بوده و تنظیم X_1 در ثانویه برابر ۰/۷۵ باشد، مقادیر P_1, P_2, P_3 را بدست آورید؟

$$p_1 = \frac{fCa}{I_n X_1} = \frac{50 \times 0.5 \times 4}{2 \times 0.75} = 66$$

$$p_2 = \frac{p_1}{2} = 33$$

$$p_3 = \frac{p_1}{1.2 \times 2} = \frac{66}{2.4} = 27.5$$

مقادیر مختلف R_b در جدول ۵-۵ مشخص شده که از۲ تا۵۰ اهم در ثانویه و از۴ تا۱۰۰ اهم در اولیه است. عملا برای تنظیم R_b باید مقدار آن را مشخص نمود و سپس با توجه به رابطه و جدول مقدار b را به دست آورد و تنظیم نمود. ناحیه۴ بین۲۵ تا۴۰ درصد R_b تنظیم می‌شود (حالت معکوس).

جدول (۵-۵): مقادیر R_b

b	R_b Ω		
	آمپر I_n=۱	آمپر I_n=۲	آمپر I_n=۵
۲	۲	۱	۰/۴
۴	۴	۲	۰/۸
۸	۸	۴	۱/۶
۱۶	۱۶	۸	۳/۲
۳۲	۳۲	۱۶	۶/۴

۸	۲۰	۴۰	۴۰
۱۰	۲۵	۵۰	۵۰

برای بدست آوردن R_b از رابطه (۵-۱۹) استفاده می‌شود:

$$R_b > R_f + \frac{R_0 - R_1}{3} - K_N K_3 \frac{R_1}{X_1} \qquad (۱۹-۵)$$

R_f مقاومت قوس است.

R_0 و R_1 مقاومت مولفه صفر و مثبت خط مورد حفاظت است.

K_N از رابطه (۵-۲۰) بدست می‌آید:

(۲۰-۵)

$$K_N = \frac{X_0 - X_1}{3X_1}$$

X_0 و X_1 راکتانس صفر و مثبت خط مورد حفاظت هستند (نه تمامی‌خط).

مقدار K_N برابر۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، ۱ و۱/۱ می‌باشد که باید مقادیر فوق و رابطه K_N خیلی نزدیک باشند. البته باید ابتدا طبق رابطه محسابه نمود و بعد نزدیکترین مقدار K_N را انتخاب کرد. به K_N فاکتور جبران مولفه صفر نیز می‌گویند.

علاوه بر روابط فوق، مقدار R_b باید در روابط زیر نیز صدق کند:

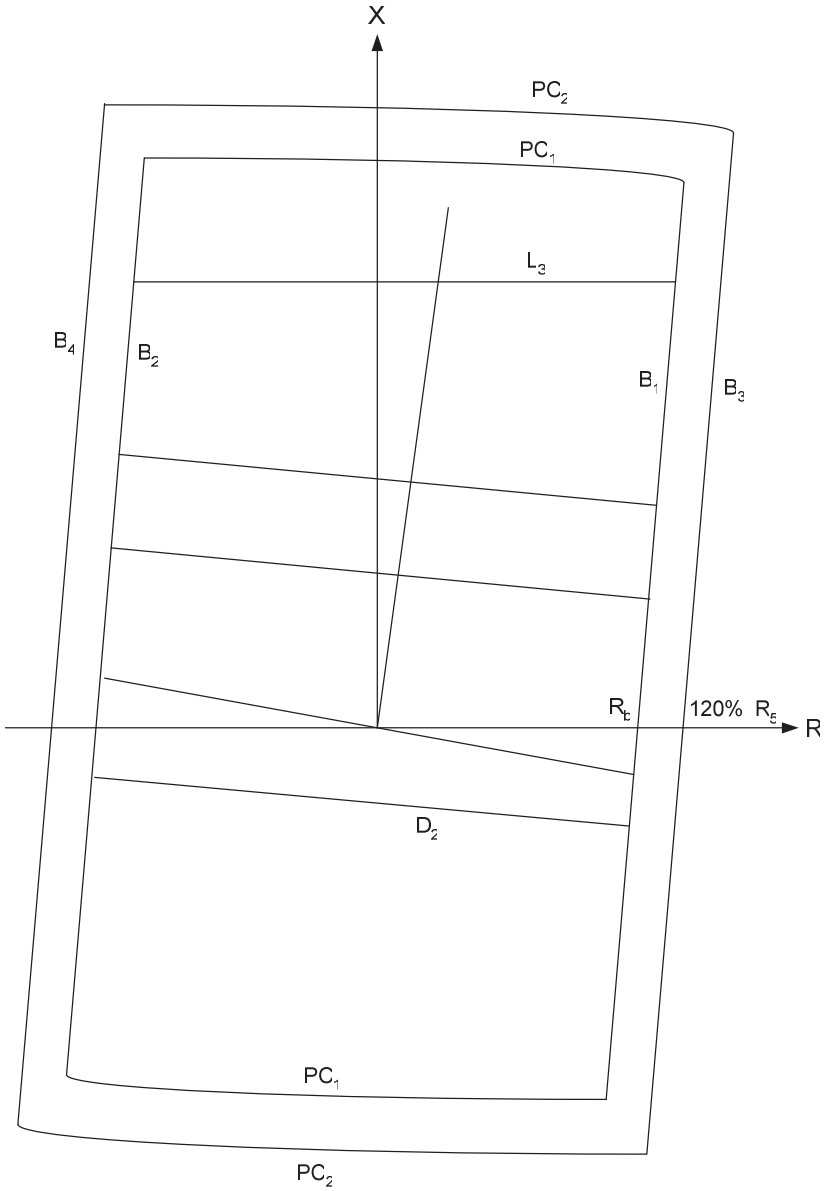
$$R_b \le 0.8 Z_{Load} \qquad (۲۰-۵)$$

و در حالتی که از تابع *Blocking* برای نوسان قدرت استفاده می‌شود، باید:

$$R_b \le 0.65 \times Z_{Load} \qquad (۲۱-۵)$$

خط L_4 با زاویه 60 ± 2 درجه نسبت به افق رسم می‌شود.

مشخصه نوسان توان را به صورت شکل ۵-۷ می‌توان رسم نمود:



شکل (۵-۷) : مشخصه رله نوسان توان قفل کننده

همان طور که از شکل مشخص است، خطوط B_3 و B_4 به موازات خطوط B_1 و B_2 می‌باشند و در روی محور مقاومت، B_3 به اندازه ۲۰ درصد از B_1 روی محور فوق بیشتر است. اما X_{PC1} از رابطه (۵-۲۲) محاسبه می‌شود:

$$X_{PC1} = \frac{K_3}{I_n}\Omega \qquad (۲۲-۵)$$

K3 برابر ۱، ۲، ۴، ۸ یا ۲۵ است.

جریان In ۱، ۲ یا ۵ آمپر است.

بنابراین با تنظیم K_3 می‌توان مقدار X_{PC1} را تنظیم نمود. که می‌تواند از۵ تا۲۰۰ اهم در ثانویه باشد و در اولیه از۱۰ تا۴۰۰ اهم است.

X_{PC2} از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$X_{PC2} = 1.2X_{PC1} \qquad (۲۳-۵)$$

که از ۶ تا ۲۴۰ اهم در ثانویه می‌تواند باشد و در اولیه از۱۲ تا۴۸۰ اهم است.

برای کارکرد صحیح رله نوسان توان، حداقل مقدار تنظیم X_{PC1} باید برابر مقدار زیر باشد:

(۲۴-۵)

$$X_{PC1} \geq ۱.۲\sqrt{\left(\frac{X_3}{X_1/R_1} + R_b\right)^2 + (X_3)^2}$$

$$\frac{X_1}{R_1} = \tan\Phi_K \qquad (۲۵-۵)$$

ϕ_K زاویه تنظیمی‌خط است و متناظر با تنظیم T_K بوده و برابر۶۲، ۷۰ یا۸۰ درجه است.

برای تشخیص نوسان توان، از مدت زمان عبور موج از بین دو مشخصه استفاده می‌شود. اگر زمان عبور از مدت زمان مرجع ۵۰ میلی‌ثانیه بیشتر باشد، نوسان توان وجود دارد و اگر کمتر از این زمان باشد، خطا اتفاق افتاده است. اگر نوسان توان وجود داشته باشد، رله نوسان توان سیگنالی که۲ ثانیه به طول خواهد انجامید، به وجود می‌آورد. این زمان‌ها در داخل رله در نظر گرفته شده و برای استفاده کننده قابل دسترس و تنظیم

نیست. تشخیص رله در زمان نوسان توان سنگین، نسبت به خطای سه فاز بسیار مشکل است.

سیگنال خروجی توسط یک کلید K_4 قابل برنامه ریزی است و به صورت جدول (۵-۶) عمل می‌کند.

جدول (۵-۶): نحوه عملکرد رله نوسان توان

مقدار	نحوه عمل رله نوسان توان
۱	تمام مدارهای اندازه‌گیری RAZFE بلوکه می‌شوند.
۲	تمام خروجی‌هائی که فرمان قطع می‌دهند بلوکه می‌شوند.
۳	سیگنال خروجی نوسان توان روی رله دیستانس بی‌اثر است و در نتیجه بلوکه نمی‌کند و رله می‌تواند فرمان قطع در صورت لزوم صادر کند.

رله نوسان توان می‌تواند به طور کلی کنار گذاشته شده و یا می‌تواند با بعضی تغییرات در ارتباطات پشت رله دیستانس، حالت‌های خاصی را در نظر گرفت. مثلا رله RAZFE را به صورتی برنامه ریزی کرد که اگر نوسان توان وارد ناحیه یک شد، دستور قطع صادر کند و فقط اگر نوسان توان وارد ناحیه‌های ۲ و۳ شد، آن را بلوک نماید.

یا به عنوان مثالی دیگر، مقادیر قابل تنظیم رله دیستانس 7SL32 می‌تواند به دو صورت در نظر گرفته شود. یکی از آنها برای خطوط کوتاه و دیگری برای خطوط بلند قابل استفاده هستند.

جدول (۵-۷): مقادیر قابل تنظیم رله زیمنس

شرح	خطوط کوتاه	خطوط بلند
کمترین مقدار تنظیم r	۰/۱	۰/۵
بیشترین مقدار تنظیم r	۶۴/۱۹	۱۳۸/۵۵
پله‌ها	۰/۰۲	۰/۰۵

همان طور که قبلا اشاره شد، این مقادیر برای ثانویه هستند و جریان ثانویه یک آمپر فرض شده است. در صورتی که جریان نامی‌رله ۵ آمپر باشد، مقادیر جدول فوق بر ۵ تقسیم می‌شوند.

برای روشن شدن مسئله، یک مثال ساده آورده می‌شود.

مثال (۶) : اگر در خط انتقالی Z_1=۰/۵ +j۱/۲ Ω و Z_o =۰/۷ +j۳/۲ Ω باشد و در حفاظت خط توسط رله دیستانس، از رله نوسان توان مثال قبل استفاده شود و از تابع Blocking برای این رله استفاده شود، با فرض امپدانس خطای ۲Ω، محدوده مجاز تنظیم R_b را بدست آورید؟ (امپدانس بار در شرایط کارکرد عادی شبکه از دید رله دیستانس برابر Zload است).

$$K_N = \frac{X_0 - X_1}{3X_1} = \frac{3.2 - 1.2}{3.6} = 0.56$$

$$R_b > R_f + \frac{R_0 - R_1}{3} - K_N K_3 \frac{R_1}{X_1}$$

$$\Rightarrow R_b > 2 + \frac{0.7 - 0.5}{3} - 0.56 \times$$

$$R_b \le 0.65 \times Z_{Load}$$

مثال (۷): رله دیستانس با جریان نامی $I_N = 1A$ نسبت تبدیل ترانس جریان ۲۰۰۰A/۱A و نسبت تبدیل ترانس ولتاژ ۴۰۰KV/۰.۱KV وجود دارد. این رله روی خط ۴۰۰ کیلوولتی به طول ۱۴۴ کیلومتر قرار گرفته است. مقدار مقاومت و راکتانس واحد طول خط به صورت $R = 0.034\ \Omega/Km$ و $X = 0.25\ \Omega/Km$. در صورتی که تنظیم ناحیه ۱ رله ۸۵ درصد خط باشد، مقدار تنظیم R را بدست آورید.

اولیه $X_L = 0.85 \times x_1 \times L \Rightarrow 0.85 \times 0.25 \times 144 = 30.6\Omega$

این مقدار راکتانس اولیه است. برای به دست آوردن r از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$r = X_L I_n \frac{\text{CTRatio}}{\text{VTRatio}}$$

$$R = \frac{2000}{4000} \times 206 \times 1 = 1.3\Omega$$

$$X = \frac{۲۰۰۰}{۴۰۰۰} \times ۳۰.۶ \times x = ۱۵.۳\Omega$$

معمولا برای ناحیه ۱ مقدار تنظیم کوچکتر از مقدار محاسبه شده و نزدیک به آن در نظر گرفته می‌شود.

نسبت $\frac{R}{X}$ طبق جدول زیر در نظر گرفته می‌شود و برای هر ناحیه به طور مستقل می‌تواند تنظیم شود.

جدول (۵-۸) : نسبت مقاومت به راکتانس

شرح	خطوط کوتاه	خطوط بلند
کمترین مقدار تنظیم R/X	۰/۵	۰/۲۵
بیشترین مقدار تنظیم R/X	۴	۲
پله‌ها	۰/۵	۰/۲۵

در عمل نباید مقدار $\frac{R}{X}$ بیش از آنچه که واقعا اندازه گیری می‌شود، انتخاب گردد. مقدارهای بالاتر از $\frac{R}{X} = 2$ باید فقط در شرایط استثنایی در نظر گرفته شود. برای تنظیم می‌توان از جدول زیر استفاده کرد.

جدول (۵-۹) : اندازه تنظیم راه انداز

شرح	جریان نامی۱ آمپر	جریان نامی ۵ آمپر
کوچکترین مقدار تنظیم X	۱ اهم	۰/۲ اهم
بزگترین مقدار تنظیم X	۱۵۹ اهم	۲۱/۸ اهم
پله‌ها	۱ اهم	۰/۲ اهم

مقدار راه انداز باید ۱۲۰ درصد طول خط تنظیم شود.

مثلا برای حالت قبل، مقدار تنظیم از روابط زیر به دست می‌آید.

$$X_L = ۱.۲ \times ۰.۲۵ \times ۱۴۴ = ۴۳.۲\Omega$$

این مقدار در اولیه است. در ثانویه داریم:

$$X = \frac{۲۰۰۰}{۴۰۰۰} \times ۴۳.۲ \times ۱ = ۲۱.۶\Omega$$

اما مقدار $\frac{R}{X}$ برای راه انداز طبق جدول (۵-۱۰) خواهد بود.

جدول (۵-۱۰) : مقادیر محدوده نسبت مقاومت به راکتانس راه انداز

شرح	مقدار R/X
کمترین مقدار تنظیم	۰/۲
بیشترین مقدار تنظیم	۰/۹
پله‌ها	۰/۱

تنظیم مقدار راکتانس در جهت منفی محور به صورت زیر است:

جدول (۵-۱۱) : مقادیر محدوده نسبت مقاومت به راکتانس جهت منفی راه انداز

شرح	راکتانس در جهت منفی / راکتانس در جهت مثبت
کمترین مقدار تنظیم	۰/۱
بیشترین مقدار تنظیم	۰/۴
پله‌ها	۰/۱

حتی الامکان باید مقدار راکتانس در جهت منفی محور کوچک باشد.

جدول (۵-۱۲) : اندازه راکتانس در جهت منفی

شرح	خطوط کوتاه	خطوط بلند
ناحیه ۱ در جهت r.	۰/۱-۶۴/۱۹ اهم	۰/۵-۱۲۸/۵۵ اهم
ناحیه ۲ در جهت r.	۰-۲۱/۷۵ اهم	۰-۶۳/۵ اهم
ناحیه ۳ در جهت r.	۰-۳۱/۷۵ اهم	۰-۶۳/۵ اهم
نسبت تنظیم (مشترک برای سه ناحیه)	۰/۵-۴ اهم	۰/۲۵-۲ اهم

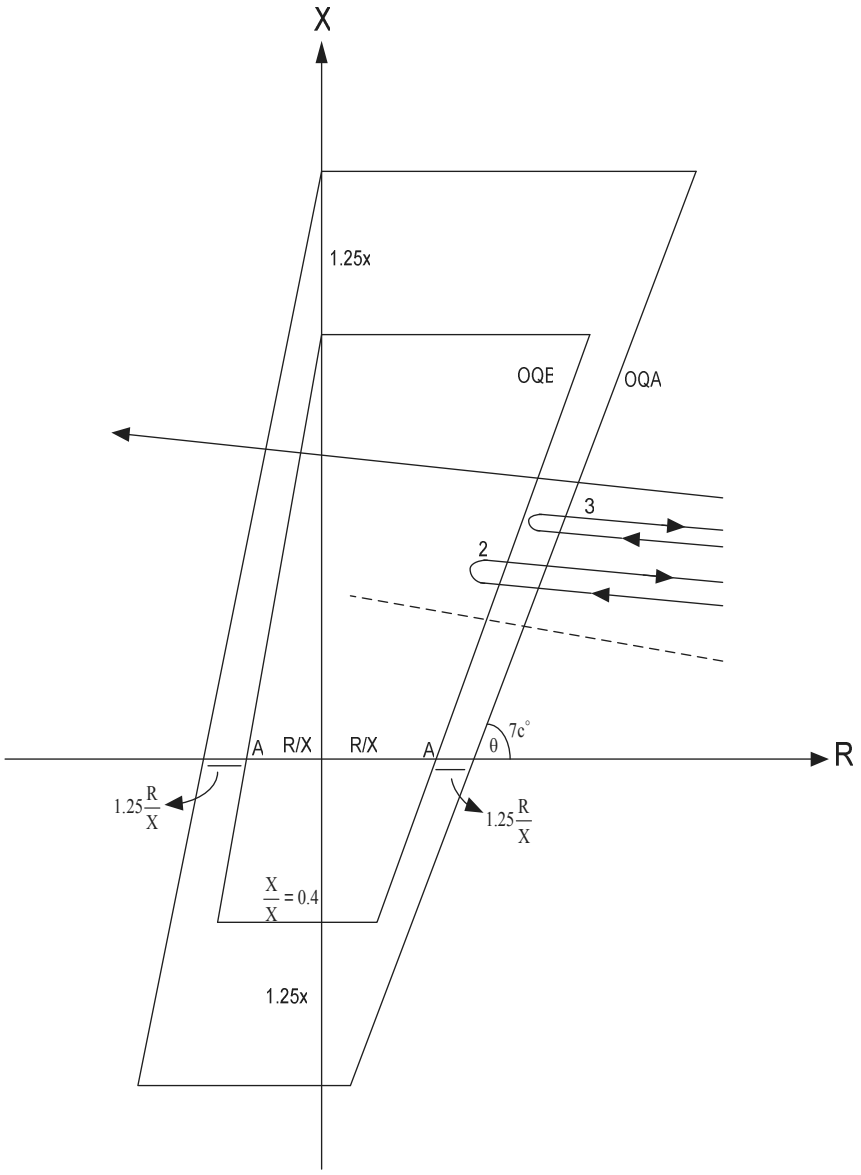
در شکل ۵-۸ حالت ۱ نشان دهنده وجود خطا، حالت۲ نشان دهنده نوسان توان و حالت ۳ نوسان توان خفیف، حالت ۴ نشان دهنده خارج شدن از سنکرون قسمتی از شبکه می‌باشد.

سیگنال به وجود آمده با توجه به سرعتش مورد شناسایی قرار می‌گیرد. در صورتی که فاصله بین مشخصه OA و OB را در بیش از ۵۰ میلی‌ثانیه طی کند، این سیگنال نوسان توان است و در صورتی که مدت زمان عبور از ۵۰ میلی‌ثانیه کمتر باشد، نشان دهنده وجود خطا است. حال در صورتی که نوسان توان وجود داشته باشد، می‌توان سه حالت زیر را برنامه ریزی کرد:

۱- بلوک کردن همه ناحیه‌ها به جز ناحیه۱

۲- بلوک کردن ناحیه ۱ فقط تا زمانی معین

۳- بلوک کردن تمام ناحیه‌ها



شکل (۵-۸): منحنی رله نوسان توان

۵-۵- محاسبه ضرایب حساسیت خطوط

۵-۵-۱- مقدمه

در بخشهای قبل، بررسی تأثیر نوسان توان بر روی رله‌های دیستانس ارائه و نحوه قفل رله در هنگام وقوع نوسان توان بررسی شد. در این بخش ضرایب حساسیت قطع خطوط حاصل از پخش بار DC که یکی از ابزارهای مهم برای تجزیه و تحلیل سیستم قدرت می‌باشد، بررسی می‌گردد. با استفاده از این ضرایب یکی از روش‌های ایجاد بدترین شرایط نوسان توان یعنی قطع خط، حاصل می‌گردد.

۵-۵-۲- پخش بار

تقریبی از پخش بار متناوب که کاربرد وسیعی دارد، پخش بار خطی شده یا مستقیم است که حل متناوب را به مسئله ساده مدارهای خطی تبدیل می‌کند. فرض کنید که خط انتقالی با مدار معادل مطابق با شکل (۵-۹) مورد نظر باشد. معادله توان انتقالی در محل شین ۱ به صورت زیر است:

$$p_{ij} + jQ_{ij} = E_i\left|(E_I - E_J)y_{ij}\right|^* + E_i\left|E_i Y_{cphj}\right|^* \qquad (۲۶-۵)$$

$$= \left|E_i\right|e^{j\theta_i}\,|\,(\left|E_i\right|e^{j\theta i} - |\,E_j\,|\,e^{j\theta j})\times(G_{ij} + jB_{ij})\,|^* - J\,|\,E_i\,|^2\,B_{capij} \qquad (۲۷-۵)$$

$$= (|\,E_i\,|^2 - |\,E_i\,|\,|\,E_j\,|Cos(\theta_i - \theta_j) - |\,E_i\,|\,|\,E_j\,|\,JSin(\theta_i - \theta_j)\times(G_{ij} + JB_{ij})^* - J\,|\,E_i\,|^2\,B_{capij}$$

$$P_{ij} = G_{ij}\,|\,E_i\,|^2 - G_{ij}\,|\,E_i\,|\,|\,E_j\,|\,Cos(\theta_i - \theta_j) - B_{ij}\,|\,E_i\,|\,|\,E_j\,|\,Sin(\theta_i - \theta_j)$$

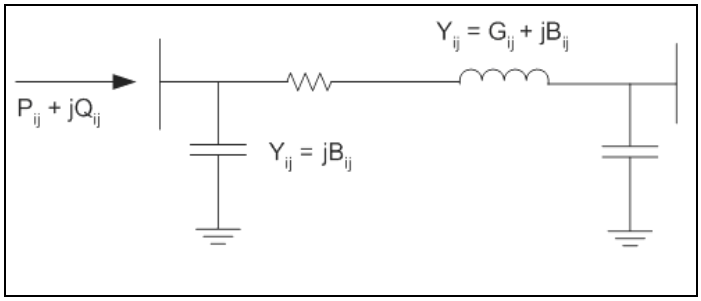
(۲۸-۵)

با فرض اینکه:

$$\begin{cases} |E_i| = |E_j| = ۱ \\ x_{ij} >> r_{ij} \Rightarrow G_{ij} = \dfrac{r_{ij}}{r_{ij}^{۲} + x_{ij}^{۲}} \approx ۰ \\ B_{ij} = \dfrac{-X_{ij}}{r_{ij}^{۲} + X_{ij}^{۲}} \approx \dfrac{-۱}{x_{ij}} \end{cases} \qquad (۲۹\text{-}۵)$$

$(\theta_i - \theta_j)$ بسیار کوچک است.

$$\begin{cases} Cos(\theta_i - \theta_j) \approx 1 \\ Sin(\theta_i - \theta_j) \approx \theta_i - \theta_j \\ p_{ij} = \dfrac{1}{x_{ij}}(\theta_i - \theta_j) \end{cases} \qquad (۳۰\text{-}۵)$$



شکل (۵-۹): مدار معادل خط انتقال

این رابطه خطی می‌تواند جهت تعیین تمام زوایای فاز شینها مورد استفاده واقع شود.

$$P_i = \sum_j P_{ij} = \sum_j \frac{۱}{x_{ij}}(\theta_i - \theta_j) \qquad (۳۱\text{-}۵)$$

j تمام گره‌هایی را شامل می‌شود که به شین i متصل هستند.

$$B_{xij} = \Sigma_j \frac{۱}{X_{ij}} \qquad i \neq ref \qquad (۳۲\text{-}۵)$$

j تمام خطوطی را شامل می‌شود که به شینها متصل هستند.

$$B_{xij} = ۰.۰ \qquad i = ref$$

$$B_{xij} = \frac{-۱}{X_{ij}} \qquad i = ref\,,\, j \neq ref \qquad (۳۳-۵)$$

$$B_{xij=۰.۰} \qquad i=ref \quad or \quad j=ref$$

با حذف سطر و ستون اول که مربوط به شین مبنا می‌باشد، ماتریس [X] که معکوس ماتریس $[B_X]$ است، به دست می‌آید. با استفاده از این روش پس از وقوع یک حادثه، می‌توان با استفاده از رابطهٔ (۵-۳۰) توانهای عبوری از خطوط شبکه را سریعا محاسبه و با مقادیر مجازشان مقایسه کرد و در صورت اضافه بار، اقدامات لازم را به عمل آورد.

۵-۵-۳- ضرایب حساسیت شبکه

این ضرایب تغییر تقریبی در توانهای انتقالی خطوط در اثر تغییر در تولید یا بار یا وضعیت شبکه را نشان می‌دهند و با استفاده از پخش بار مستقیم به دست می‌آیند. این ضرایب با روشهای مختلفی به دست می‌آیند که به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- ضرایب جابجایی در تولید (GSF)[1]

۲- ضرایب جابجایی در بار (LSF)[2]

۳- ضرایب توزیع خروج خطوط (LODF)[3]

در ادامه به محاسبهٔ این ضرایب می‌پردازیم:

ضرایب جابجایی در تولید که با al_i نشان داده می‌شوند، به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$al_i = \frac{\Delta FL}{\Delta Pi} \qquad (۳۴-۵)$$

1 - Generation Shit Factor
2 - Load Shit Factor
3 - Line Outage Distribution Factor

که در آن:

l: شاخص خط.

I: شاخص شین.

Δ_{FL}: تغییر در توان انتقالی از خط l در اثر تغییر Δ_{pi} در تولید شین i

Δ_{pi}: تغییر در تولید شین i

در این تعریف فرض می‌شود که تغییر در تولید Δ_{pi} دقیقا با تغییری برابر و مخالف در تولید شین مبنا جبران می‌شود و تولید سایر واحدها ثابت می‌ماند. با توجه به رابطه فوق، توان‌های عبوری از خطوط را پس از حادثه خروج واحد i می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\hat{f}_L = f_l^{\circ} + al_i P_i^{\circ} \qquad l = ۱.۲ ....L \qquad (۳۵-۵)$$

که در آن P_i° تولید واحد از دست رفته قبل از خروج است و $\hat{f}_L, f_l^{\circ}$ توان عبوری خط، قبل و بعد از خروج واحد i ام می‌باشد. ضرایب جابجایی در تولید را می‌توان با استفاده از رابطه (۳-۳۶) و با استفاده از اطلاعات پخش بار مستقیم بدست آورد.

$$al_i = \frac{df_i}{df_i} = \frac{d}{dp_i}(\theta_n - \theta_m) = \frac{۱}{X_l}\left(\frac{d\theta_n}{dp_i} - \frac{d\theta_m}{dp_i}\right) = \frac{۱}{X_l}(X_{ni} - X_{mi}) \qquad (۳۶-۵)$$

که در آن X_L راکتانس خط n, l و m شین‌های ابتدا و انتهای خط l می‌باشد. و X_{ni} و X_{mi} عناصر سطرهای m , n و ستون، از ماتریس [X] از پخش بار DC می‌باشد.

$$f_L = f_l + al_i \Delta_{pi} \qquad l = ۱:۲,....,L \qquad (۳۷-۵)$$

$\hat{f}_L$ در هر خط را می‌توان با محدوده مجاز آن مقایسه کرد و در صورت انحراف از محدوده، اخطار لازم را داد. در این صورت اپراتور می‌داند که وقفه تولید در شین I باعث اضافه بار در خط l می‌شود.

ضرایب جابجایی در تولید، تخمینی به صورت خطی از تغییر در توان انتقالی نسبت به تغییر در توان یک شین است، بنابراین می‌توان با استفاده از اصل جمع آثار تأثیر تغییرات همزمان در تولیدات چند شین تولید را مورد بررسی قرار داد.

در شرایطی که فرض شود کمبود تولید توسط تمام واحدهای سیستم جبران می‌شود، برای بررسی توان انتقالی از خط l از رابطه (۵-۳۸) استفاده می‌کنیم:

$$f_L = f_l + \sum_i al_i y_{ji} \Delta_{pi} \qquad (۳۸-۵)$$

$$y_{ij} = \frac{\rho_j^{max}}{\sum_{k=i}^{k} \rho_k^{max}} \qquad (۳۹-۵)$$

P_k^{max}: حداکثر مگاوات نامی واحد k

γ_{ij} ضریب تناسب مربوط به واحد j هنگامی که وقفه در واحد I اتفاق می‌افتد.

ضرایب جابجایی در بار که با αL_i نشان داده می‌شود، در حقیقت به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\alpha d_i = \frac{\Delta f_i}{\Delta PL_i} \qquad (۴۰-۵)$$

که در آن:

l: شاخص خط

i: شاخص شین

Δf_i: تغییر در توان انتقالی از خط l در اثر تغییر Δ_{PLi} در بار شین ^{i}

Δf_{Li}: تغییر در بار شین

۵-۵-۴- ضرایب توزیع خروج خطوط

ضرایب توزیع خروج خطوط به صورت مشابه و زمانی که خطوط انتقال از مدار می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق تعریف داریم:

$$d_{l.k} = \frac{\Delta f_L}{f_k} \qquad (۴۱-۵)$$

که در آن Δf_l تغییر در مگاوات انتقالی از خط l

f_k: توان اولیه انتقالی از خط k قبل از وقفه در آن

$d_{l.k}$: ضریب توزیع وقفه هنگام نظارت بر وضعیت خط l به علت وقفه در خط k

اگر توان اولیه انتقالی از خط k وl. را بدانیم، می‌توان با استفاده از ضرایب توزیع $d_{l.k}$ توان انتقالی جدید از خط l را در صورت خروج از مدار خط k به دست آورد:

$$f_l = f_L + d_{Lk} f_k \qquad (۴۲-۵)$$

که در آن:

f_l , f_k: توان‌های انتقالی از خطوط k, l قبل از خروج خط k از مدار

$\hat{f}_L$: توان انتقالی خط خط l زمانی که خط k از مدار خارج شده است. برای محاسبهٔ $d_{l.k}$ به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\Delta\theta = |X|\Delta\rho \qquad (۴۳-۵)$$

$$\Delta\rho = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \Delta\rho n \\ \Delta\rho m \end{vmatrix} \qquad (۴۳-۵)$$

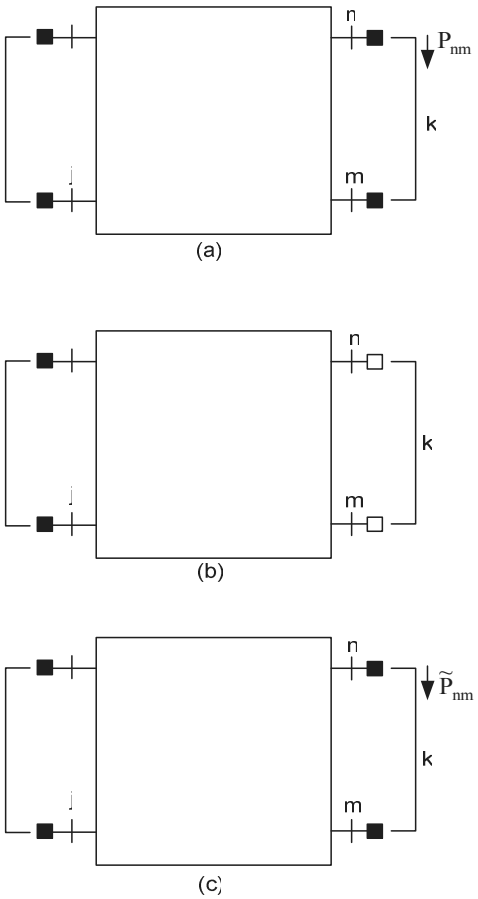
$$\Delta\theta_n = X_{nn}\Delta\rho n + X_{nm}\Delta\rho m \qquad (۴۴-۵)$$

$$\Delta\theta_m = X_{mn}\Delta\rho n + X_{nm}\Delta\rho m \qquad (۴۵-۵)$$

p_{nm} و θ_mو θ_n: مقادیر توان و زوایای فاز قبل از وقفه باشد(توان انتقالی خط k از شین n به m است).

Δ_{pm} و $\Delta\theta_m$و $\Delta\theta_n$: تغییرات در مقادیر توان و زوایای فاز در اثر وقفه باشد.

$\overline{p}_{nm}$ و $\overline{\theta}_m$و $\overline{\theta}_n$: مقادیر توان و زوایای فاز بعد از بروز وقفه باشند.



شکل (۵-۱۰): نحوه تغییرات ایجاد شده درخط k (a) پیش از وقفه، (b) حین وقفه، (c) پس از وقفه

معیار مدلسازی وقفه، مستلزم این است که تزریقات افزایش Δ_{pn} و Δ_{pm} مساوی توان انتقالی خط از مدار خارج شده بعد از اعمال تزریقات باشد. بنابراین اگر راکتانس خط X_k باشد داریم:

$$\overline{\rho}_{nm} = \Delta\rho n = -\Delta\rho m \qquad (۴۶-۵)$$

$$P_{nm} = \frac{۱}{x_k}(\overline{\theta}_n - \overline{\theta}_m) \qquad (۴۷-۵)$$

بنابراین:

$$\Delta\theta_n = (X_{nn} - X_{nm})\Delta\rho n \qquad (۴۸-۵)$$

$$\Delta\theta_m = (X_{mn} - X_{mm})\Delta\rho m \qquad (۴۹-۵)$$

$$\bar{\theta}_n = \theta_m + \Delta\theta_m$$

$$\bar{\theta}_m = \theta_m + \Delta\theta_m \qquad (۵۰-۵)$$

در نتیجه:

$$\bar{P}_{nm} = \frac{۱}{x_k}(\bar{\theta}_n - \bar{\theta}_m) + \frac{۱}{x_k}(\Delta\theta_n - \Delta\theta_m) \qquad (۵۱-۵)$$

یا

$$\bar{P}_{nm} = P_{nm} + \frac{۱}{x_k}(X_{nn} + X_{mm} - ۲X_{nm})\Delta_{pn} \qquad (۵۲-۵)$$

و با استفاده از این حقیقات که $P_{nm} = \Delta Pn$ است، داریم:

$$\Delta\rho n = \left|\frac{X_k}{۱ - ۱/x_k(X_{nn} + X_{mm} - ۲X_{nm})}\right|\rho_{nm} \qquad (۵۳-۵)$$

فرض کنید که ضریب حساسیت δ مساوی نسبت تغییر در زاویه فاز θ (در نقطه‌ای از سیستم) به توان اولیه P_{nm} از خط nm، قبل از خارج از مدار شدن باشد:

$$\delta_{i,nm} = \frac{\Delta\theta_i}{P_{nm}} \qquad (۵۴-۵)$$

اگر هیچکدام از n یا m شین مبنای سیستم نباشند، دو تزریق $\Delta\rho n$ و $\Delta\rho m$ در شین‌های n و m اعمال می‌شوند و باعث می‌شود که تغییری در زاویه فاز شین i مساوی:

$$\Delta\theta_i = X_{in}\Delta\rho n + X_{im}\Delta\rho m \qquad (۵۵-۵)$$

داشته باشیم. با استفاده از رابطهٔ بین $\Delta\rho n$ و $\Delta\rho m$، ضریب حاصلهٔ δ برابر است با:

$$\delta_{i,nm} = \frac{(X_{in} - X_{im})x_k}{x_k - (X_{nn} + X_{mm} - ۲X_{nn})} \qquad (۵۶-۵)$$

اگر m یا n شین مبناء باشند، تنها یک تزریق انجام می‌شود و در این صورت ضرایب δ برابرند.

$$\delta_{i,nm} = \frac{X_{in}\, x_k}{(X_{nm} - X_{nn})} \qquad m = ref \qquad (۵۷-۵)$$

$$\delta_{i,nm} = \frac{-X_{in}\, x_k}{(X_{nm} - X_{nn})} \qquad n = ref \qquad (۵۸-۵)$$

اگر شیین I مبنا باشد:

$$d_{l.k} = \frac{Af_l}{f_k} = \frac{۱}{X_l}(\delta_{i,nm} - \delta_{j,nm}) \qquad (۵۹-۵)$$

اگر j ,I هیچیک شین مبناء نباشند، داریم:

$$d_{l.k} = \frac{۱}{x_۱}\left(\frac{(X_{in} - X_{im})x_k - (X_{in} - X_{im})x_k}{x_k - (X_{nn} + X_{mm} - ۲X_{nm})}\right) \qquad (۶۰-۵)$$

۵-۶- استفاده از ضرایب حساسیت خطوط برای تنظیم واحد نوسان توان رله‌های دیستانس

هر تغییر ناگهانی در ساختار یا مقدار بار یک سیستم قدرت، موجب وقوع نوسانات توانی می‌شود که نسبت به شدت و ضعف آن ممکن است باعث عملکرد ناخواسته در رله‌های دیستانس موجود در شبکه انتقال گردد و ناپایداری کل یا قسمتی از شبکه را سبب شود. در این بخش روشی ارائه می‌شود که با استفاده از ضرایب حساسیت، خطوط انتخاب شده برای بررسی نوسان توان چگونه پربار می‌شوند. سپس از نتیجه روش یاد شده برای به حداقل رساندن فاصله بین امپدانس بار و آخرین ناحیه حفاظتی استفاده می‌گردد. حال با بکارگیری مجدد همین پارامتر حساسیت، خط دیگری را که قطع آن به واسطه خطای اعمال شده بر روی آن بیشترین اثر را برروی خطوط مورد مطالعه دارد، شناسایی می‌نماید. در صورت وقوع نوسان توان در آن به تنظیم واحد نوسان توان رله دیستانس خط مربوطه پرداخته می‌شود.

۵-۶-۱- مقدمه

باز شدن یک خط سالم در طی یک واقعه نوسان توان که خود تغذیه کننده بار مجموعه‌ای از یک سیستم قدرت می‌باشد، به احتمال نسبتاً زیادی باعث ناپایدار شدن

آن سیستم خواهد شد. نمونه‌ای از واقعه فوق را در شبکه برق ایران می‌توان خارج شدن کل شبکه آذربایجان از شبکه سراسری ایران در تاریخ ۷۴/۱۲/۷ نام برد. در آن واقعه بر اثر وقوع یک اتصال کوتاه در خط شهید رجایی- تبریز و خارج شدن آن خط از مدار پس از مدت کوتاهی، با عملکرد رله‌های دیستانس خط پونل- تقی دیزه و میانه- زنجان به علت نوسان توان، این دو خط نیز از مدار خارج شدند. نهایتا با خارج شدن یکی از واحدهای بخار نیروگاه تبریز در اثر عملکرد رله زیر فرکانسی، کل شبکه آذربایجان بی‌برق گردید [۵]. لذا لازم است واحد قفل کننده رله‌های دیستانس که به عنوان رله‌های اصلی شبکه انتقال به کار برده می‌شوند، به گونه‌ای تنظیم گردند که از عملکرد ناخواسته رله در چنین مواقعی جلوگیری نمایند. به عبارت دیگر، رله به گونه‌ای تنظیم شود که قادر به تشخیص خطا از نوسان توان باشد. بنابراین جهت تنظیم واحد نوسان توان، لازم است که در ابتدای امر ماهیت نوسان توان شناخته شود تا پس از آن بتوان به ارائه روشی جهت احتمال وقوع نوسان توان در خطوط شبکه و در نتیجه تنظیم واحد مربوطه در رله دیستانس واقع در آن خط پرداخت.

در ارتباط با ماهیت نوسان توان مطالعات کاملی صورت پذیرفته است [۹، ۸، ۷]. در این بخش با استفاده از ضرایب حساسیت خطوط نسبت به یکدیگر، به بررسی وقوع نوسان توان پرداخته شده است. به عبارت دیگر با استفاده از این پارامترها، می‌توان حالتی را در شبکه مورد مطالعه برقرار نمود که با اعمال یک خطا در خطوط دیگر شدیدترین نوسان را در خطی که جهت مطالعه نوسان توان انتخاب شده ایجاد کرد. سپس با بررسی نحوه رفتار امپدانس برای این خطوط و نفوذ آن به مشخصه رله نوسان توان به تنظیم زمانی واحد قفل کننده رله مربوطه پرداخت.

۵-۶-۲- محاسبه ضرایب حساسیت

برای بررسی نوسان توان در شبکه لازم است که خطوط را پربار نماییم. چرا که با پربار کردن خط، امپدانس بار به ناحیه حفاظتی رله نزدیکتر خواهد شد. چگونگی روش پربار نمودن خط، استفاده از روش ضرایب حساسیت می‌باشد. این ضرایب تغییر تقریبی در توان‌های انتقال خطوط در اثر تغییر در تولید و یا قطع، وصل خطوط شبکه را نشان می‌دهند. این ضرایب با استفاده از پخش بار مستقیم [۶] حاصل می‌شوند.

ضرایب حساسیت شبکه به طور عمده به دو دسته تقسیم شده است که در بخشهای قبل روش و چگونگی محاسبه آنها بیان شد.

۵-۶-۳- الگوریتم تشخیص نوسان توان در یک خط با استفاده از ضرایب حساسیت

پس از پر بار کردن خط مورد نظر جهت مطالعه نوسان توان توسط ضرایب جابجایی در تولید، به شناسایی خطی که دارای بیشترین ضریب وقفه نسبت به خط مورد نظر می‌باشد، پرداخته می‌شود. پس از آن با اعمال یک خطا بر روی خط شناسایی شده و رفع آن خطا توسط عملکرد رله‌های حفاظتی دیستانس دو سر خط پس از مدت زمان تنظیم شده بر روی نواحی حفاظتی رله، بررسی نفوذ نوسانات به داخل نواحی حفاظتی خط مورد نظر انجام می‌گیرد. در این قسمت دو حالت وجود دارد که در دو قسمت زیر به بررسی آنها پرداخته می‌شود.

۵-۶-۳-۱- عمق و نفوذ نوسانات واردناحیه حفاظتی رله مورد نظرشده است

در این حالت اگر تغییرات امپدانس بتواند هر دو محدوده استارتر و Z_3 (ناحیه ۳) را قطع نماید و در صورتی که مدت زمان نفوذ نوسانات در داخل Z_3 بیشتر از زمان عملکرد ناحیه سوم باشد، در این صورت می‌توان مدت زمانی را که طول می‌کشد تا این نوسانات از محدوده قفل کننده نوسان توان PSB به محدوده استارتر رله برسد را محاسبه نموده و آن را T_m می‌نامند.

حال این مقدار T_m به عنوان ملاک تشخیص نوسان توان از خط انتخاب می‌گردد. این بدین معنی است که اگر مدت تغییرات امپدانس اندازه‌گیری شده از محدوده نوسان توان تا ناحیه استارتر بیشتر از T_m باشد، رله آن را به عنوان نوسان توان تلقی نموده و رله را قفل خواهد نمود. در غیراین صورت اختلال ایجاد شده را به عنوان خطا می‌شمارد و از قفل شدن رله جلوگیری می‌نماید.

علت اینکه این اختلال به عنوان معیاری جهت تنظیم زمانی واحد نوسان توان خط مورد مطالعه می‌باشد، آن است که این خطا به عنوان شدیدترین اختلال می‌باشد. در

نتیجه سرعت تغییرات امپدانس حاصل نسبت به سایر اختلالات در خطوط دیگر بیشتر است. لذا به عنوان معیاری جهت تنظیم زمانی واحد نوسان توان رله دیستانس خط مورد نظر انتخاب می‌گردد.

۵-۶-۳-۲- عمق نفوذ نوسانات وارد هیچیک از نواحی حفاظتی رله خط مورد نظر نشده است.

در این خط به واسطه ساختار شبکه ایجاد شده چون به ازای این خطا عمق نفوذ نوسانات وارد نواحی حفاظتی نشده، لذا به ازای هیچیک از خطاهای اعمال شده در خطوط دیگر عمق نفوذ نوسانات وارد ناحیه حفاظتی رله خط مورد نظر نشده و در نتیجه هیچ نوسان توانی در این خط بوقوع نمی‌پیوندد.

۵-۷- خلاصه مطالب

نوسان توان در شبکه های قدرت به سه طریق رخ می‌دهد:

۱- اتصال کوتاهی رخ داده و کلیدی قطع می‌شود. در این صورت در خط دیگری نوسان توان به وجود آید.

۲- در اثر تعمیرات، خطی را از مدار خارج می‌کنیم. افزایش بار بر روی خط دیگری، موجب نوسان توان در آن می‌گردد.

۳- بار زیادی به یک باره وارد مدار می‌شود.

در این شرایط منحنی امپدانس دیده شده توسط رله دیستانس ممکن است وارد نواحی عملکرد آن شود. لذا رله دیستانس ممکن است در اثر نوسان توان به صورت اشتباه تریپ دهد. برای جلوگیری از این کار از خاصیت سرعت تغییر امپدانس دیده شده رله دیستانس استفاده می‌کنند. بدین صورت که اگر فاصله زمانی وارد شدن امپدانس به ناحیه سوم رله تا خارج شدن آن، بیش از ۵۰ میلی ثانیه باشد، آن را نوسان توان در نظر می‌گیرند و اگر این فاصله زمانی کمتر از ۵۰ میلی ثانیه باشد، آن را خطا فرض می‌کنند. لذا در مورد اول سیگنال بلاک رله دیستانس صادر می‌شود اما در مورد دوم، رله دیستانس عمل کرده و فرمان تریپ را صادر می‌کند.

سایر تنظیمات رله های نوسان توان برای سازندگان مختلف بـه صـورت گـسترده ای تغییر می‌کند. برای آشنایی با یکی از آنها به بخش ۵-۴ مراجعه نمایید.

۵-۸- مراجع

1. Kimbarh, “Power System Stability”, Vol.2, NewYork - John Wiley.

2. H. Asharian, M. Marjanmehr, “Stability Analysis For Power Swing Protection”, IEEE Power Tech. Conference, Budapest,1998.

۳- مرجانمهر، “ تنظیم حفاظت نوسان توان رله‌های دیستانس با استفاده از بررسی نوسان توان شبکه” پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر، آبان ۷۷.

۴- سید سعید طاهری، “توسعه یک نرم‌افزار مناسب جهت تنظیم زمان عملکرد بحرانی رله‌های نوسان توان در شبکه بهم پیوسته قدرت”، بهمن ماه ۱۳۸۲.

۵- گزارش مرکز دیسپاچینگ در رابطه با حادثه خارج شدن شبکه آذربایجان از شبکه سراسری در تاریخ ۷۴/۱۲/۷.

6- J.Wood Bruce, F. Wollen bern, "Power Generation, Operation and Control", John Wiley & Sons, 1993.

8- A. Kimbark, E. Wilson, "Power System Stability", Vol. 3, 1962.

9- A. Mechraui, D.W. P. Thomas , "A New Blocking Principle with Phase and Earth Fault Detection During fast power Swings for Distance Protection", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995.

10- "A New Power Swing Block in Distance Protection Based on a Microcomputer-Principle and Performance Analysis "IEE, P. 843 -7 , Vol. 2-1992.

۵-۹- تمرینها

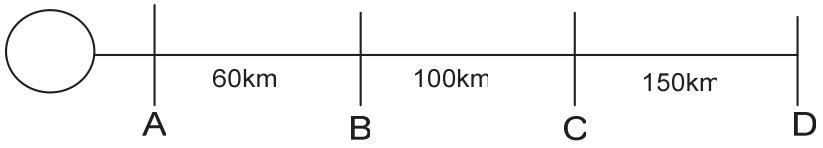
۱- در مثال (۳)، مکان هندسی $\frac{Z_r}{Z}$ را برای مقادیر مختلف $m = \frac{k}{1+k}$ رسم کنید؟

۲- مکان هندسی $\frac{Z_r}{Z}$ برای شبکه‌ای با داده‌های زیر رسم کنید؟

$E_A = 1.1 < S \quad , E_B = 1 < 0 \quad , Z = 1 < 40^\circ$

۳- اگر مکان هندسی امپدانس $\frac{Z_r}{Z}$ برای یک رله دیستانس در شبکه به صورت $\frac{Z_2}{Z} = \frac{0.85 < \delta + 0.25}{1.1 < \delta - 1}$ باشد، آنگاه ناحیه PSB را برای این رله رسم کنید؟

۴- در شبکه زیر، چنانچه نسبت $\frac{Z_r}{Z}$ برای رله دیستانل واقع در A برای وقوع اغتشاشی در شبکه به صورت $\frac{Z_2}{Z} = \frac{0.75 < \delta + 0.15}{1.2 < \delta - 1}$ باشد، آنگاه منحنی تنظیمات نواحی ۱و ۲و ۳ PSB رله واقع در A را رسم کنید؟



$CTratio = 1000/1A$

$VTratio = 400/0.1kV$

$Z = 0.075 < 60^\circ \ \frac{\Omega}{km}$

۵- حداقل مقدار تنظیم X_{PC1} برای کارکرد صحیح رله نوسان توان RAZFE که در بخش ۵-۴ بررسی شد، بر حسب پارامترهای شبکه چقدر است؟

۶- در اثر حادثه ای در شبکه، امپدانس دیده شده توسط رله دیستانسی تغییر می-کند. اگر داده های بررسی شده از بخش Event Recording رله نشان دهد امپدانس دیده شده رله، در زمان نسبی ۳۰ میلی ثانیه وارد ناحیه ۳ شده و در زمان ۷۰ میلی ثانیه از آن خارج شده است، دیاگرامی رسم کنید که ایت تغییرات را نشان دهد و سپس به صورت تحلیلی نوسان توان بودن یا نبودن حادثه را بررسی نمایید.

۷- اگر در تمرین ۶، امپدانس رله در زمان نسبی ۳۰ میلی ثانیه وارد ناحیه ۳ شود و در زمان ۱۰۰ میلی ثانیه وارد ناحیه ۲ گردد، مسئله را مجددا حل کنید.

۸- در صورتی که در تمرین ۷ رله نوسان توان طوری تنظیم شده باشد که در صورت تشخیص نوسان توان ناحیه ۱ و۲ آن بلاک شوند، آیا رله در اثر این تغییر امپدانس تریپ خواهد داد؟