۴

استفاده از سیستم‌های پایلوتی در حفاظت دیفرانسیلی فیدرها و کاربرد سیستم مخابراتی در حفاظت دیستانس

۴-۱) مقدمه

به منظور رفع خطا در زمان کم برای نواحی کوتاه یعنی ژنراتورها و ترانسفورماتورهای قدرت، از حفاظت دیفرانسیلی جریان گردشی استفاده می‌شود. این رله ها از نوع واحد بوده و سیگنال عملکرد را از ثانویه دو ترانسفورماتور جریان که در دو طرف ژنراتور یا ترانسفورماتور نصب شده‌اند، دریافت می‌کند. به عبارت دیگر وقتی خطا (اتصال کوتاه) در داخل ناحیه حفاظتی اتفاق می‌افتد، جریان عبوری از رله زیاد می‌شود و سبب عملکرد رله حفاظتی می‌شود. هنگامی که خطا (اتصال کوتاه) در خارج ناحیه حفاظتی باشد، دو جریانی که از رله عبور می‌کند، همدیگر را خنثی کرده و رله عمل نمی‌کند. در فیدرها (خطوط با فواصل کوتاه) مثلا حدود۲۰ تا ۳۰ کیلومتر، برای حفاظت اصلی

می‌توان از حفاظت دیفرانسیلی که به حفاظت دیفرانسیلی پایلوتی معروفند، استفاده کرد. سیستمهای ارتباطی در حفاظت دیفرانسیلی بر دو نوع است:

الف) استفاده از پایلوت وایر که باید راهی برای یافتن ادمیتانس جبران آن ایجاد شود.

ب) استفاده از امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا

۴-۱-۱) حفاظت دیفرانسیلی فیدر

عملکردهای اخیر در حفاظت سیستم قدرت در زون‌های حفاظتی باعث برهم افتادگی (زون در زون) گشته است. بطوری که هیچ قسمتی از سیستم قدرت بدون حفاظت نمی‌باشد. در هنگام بروز اتصالی فقط منطقه‌ای که شامل اتصال می‌باشد، جدا می‌گردد. چنین انتخاب‌گری برای قابلیت اطمینان شبکه مناسب می‌باشد.

اگر انتخاب‌گری مطلق بدست آمده باشد، یعنی فقط منطقه‌ای که تحت اتصالی است، قطع شده باشد، قابلیت اطمینان مناسب است. یعنی حفاظت فقط در خطاهائی که در منطقه خودش بوجود آید، جواب خواهد داد. که به این نوع حفاظت، حفاظت واحد گویند. مانند رله دیفرانسیل طولی و عرضی و رله REF و رله بوخهلز و ... که هر کدام به صورت منطقه‌ای عمل می‌نمایند.

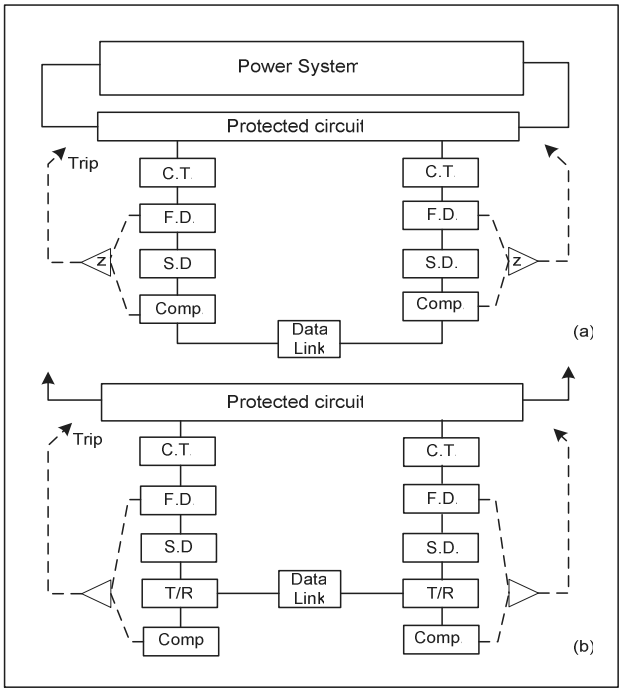
طرح‌های پایلوت وایر بطور نرمال به طول ۲۵ کیلومتر محدود می‌شوند (پایلوت‌ها یا در کابل‌های خصوصی و یا در خطوط تلفن خصوصی یا دفاتر پستی استفاده می‌شوند).

مقایسه بین مقدار و زاویه فاز جریان‌ها در دو طرف فیدر حفاظت شده به کمک وسایل جمع کننده انجام می‌شود. این جمع کننده مقایسه برابری یا عدم برابری سه فاز را در یک مبنای تکفاز مقدور می‌سازد. طرح‌های مقایسه فاز کاریر برای فیدرهای طولانی استفاده می‌گردد. گرچه تجهیزات متفاوت می‌باشند، اما چنین طرح‌هائی بسیار با طرح‌های پایلوت وایر مشابه می‌باشند. زیرا هر دو سیستم از نوع مقایسه انتها- انتها می‌باشند.

در طرح‌های مقایسه فاز کاریر، اطلاعات به سیگنال‌های فرکانس بالا تبدیل می‌شوند، که این امر انتقال آنها را در مسافت‌های زیاد بر روی خطوط انتقال ممکن می‌سازد. اما هنوز نیاز به بدست آوردن مقادیر تنظیم رله در فاصله اولیه وجود دارد. بطوری که در

طرح‌های پایلوت وایر، وسائل جمع کننده برای تبدیل مقادیر سه فاز به مقادیر تک فاز استفاده می‌شود.

المان‌های اساسی هرکدام از روش‌های حفاظت دیفرانسیل فیدر در شکل (۴-۱) و وسائل جمع کننده در شکل (۴-۲) نشان داده شده است.



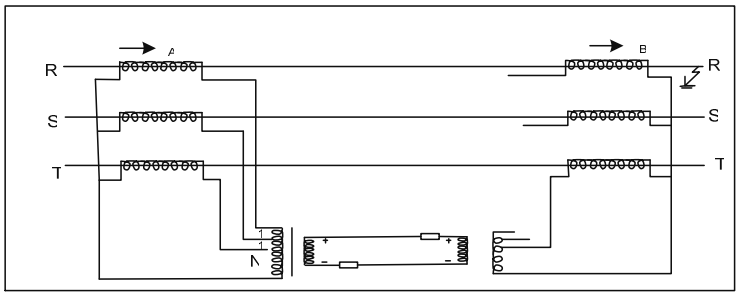
شکل(۴-۱) بلوک دیاگرام حفاظت دیفرانسیلی با بالانس ولتاژ

ترانسفورماتور جریان[1]	C.T	آشکارکننده عیب[2]	F.D
جمع کننده[3]	S.D	مقایسه کننده[4]	Comp
لینک اطلاعات[5]	Data link		

1 - Current Transformer
2 - Fault Detector
3 - Summation Transformer
4 - Comparator
5 - Data Link

۴-۱-۲) میزان مؤثر بودن مقایسه کننده‌ها

برای مقایسه مقادیر تنظیم، از جریان سه فاز در مدار اولیه استفاده می‌شود. در ثانویه، CT های تبدیل به یک سیستم تکفاز، برای مقایسه استفاده می‌شود. در این نوع حفاظت الزامی است که از حفاظت سیستم در برابر تمام اتصال‌های سری و موازی اطمینان حاصل شود. مقایسه مقادیر تنظیم بدست آمده، برحسب سیستم‌های دیفرانسیل حفاظت فیدر از نوع جمع کننده، برای ایجاد خروجی تکفاز از مقادیر جریان سه فاز بهره‌برداری می‌کنند. در نتیجه مشخصه حفاظت بطور ایده‌آل بر حسب نسبت مختلط این خروجی‌های جمع شده قابل بیان است. جمع کننده‌ها در نتیجه از دست دادن قدرت تشخیص به خاطر حجم فشردگی اطلاعات و تعدادی از شرایط، محدودیت‌های خاص خودشان را دارند. شکل (۴-۲) چگونگی استفاده از ترانسفورماتور مجموع را برای حفاظت دیفرانسیلی نشان می‌دهد.



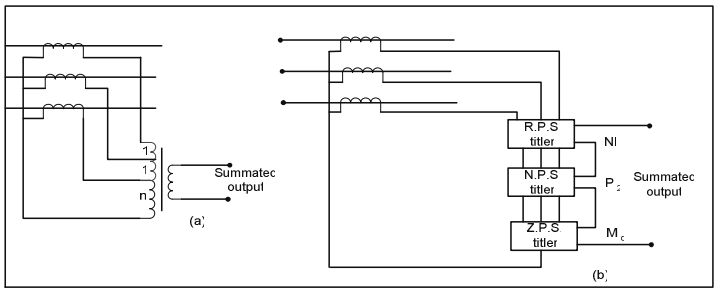
شکل (۴-۲) استفاده از ترانسفورماتور مجموع

به خاطر طول مسیر، افت جریانی وجود دارد. لذا ناچارا باید جریان تبدیل به ولتاژ شود. حفاظت دیفرانسیلی در خطوط و کابل‌های کوتاه استفاده می‌شود. حفاظت دیفرانسیلی با بالانس ولتاژ بر دو نوع می‌باشد.

۱- عملکرد سیستم حفاظتی با استفاده از ترانس مجموع.

۲- عملکرد سیستم حفاظتی با استفاده از فیلتر توالی.

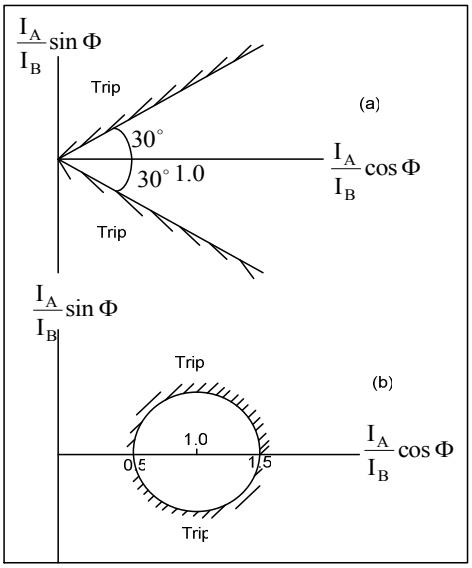
شکل (۴-۳) عملکرد بلوک دیاگرامی با استفاده از ترانس مجموع و فیلتر توالی را نشان می دهد.



شکل (۴-۳) عملکرد بلوک دیاگرامی با استفاده از ترانس مجموع و *فیلتر توالی*

مشخصه ایده‌آل طرح‌های حفاظت دیفرانسیل فیدر در شکل (۴-۴) نمایش داده شده است.

مرزهای مبداء دو نوع از مشخصه‌های رسم شده بر حسب نسبت مؤثر خروجی‌های جمع کننده در دو انتها خط حفاظت شده نمایش داده شده‌اند. مشخصه دایره‌ای بیانگر مقایسه کننده‌های زاویه و اندازه فاز می‌باشد. در حالی که مشخصه خط راست فقط مقایسه کننده زاویه فاز را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴) (الف) مقایسه کننده فاز و (ب) مقایسه کننده دامنه

سیستم‌های کاریر جریان، مقایسه زاویه فاز خالص را بکار می‌گیرند. اما سیستم‌های پایلوت وایر می‌توانند هر دو مشخصه دایره‌ای و خط راست را شامل شوند.

کاریر فقط زاویه فاز ابتدا و انتها را مشخص می‌کند. ولی پایلوت وایر هم زاویه و هم اندازه فاز را در ابتدا و انتها مقایسه می‌کند.

بطور ایده‌آل ناحیه پایداری یک طرح حفاظت دیفرانسیل می‌بایستی فقط یک با زاویه صفر $(۱\angle ۰)$ را در صفحه مختلط $\frac{I_A}{I_B}\angle\Phi$ دور بزند که در طرح‌های پایلوت وایر عملی چنین شرایط ایده‌آل را برای ما ممکن است بوجود نیاورد. در یک رله، یک مشخصه بسته که شرایط بار کم را دارا می‌باشد، ممکن است یک مشخصه مقایسه فاز خالص تحت شرایط اتصالی اشباع شده را نمایش دهد. این امر در شکل (۴-۴) نمایش داده شده است. بطوری که مشخصه‌های مبدأ دو انتها، بر یک صفحه مشترک $\frac{I_A}{I_B}\angle\Phi$ نمایش داده شده است.

مثال (۱): اگر برای اتصال کوتاهی در شبکه، جریان‌های گذرنده از اولیه CTهای قرار گرفته در دو انتهای ناحیه حفاظتی رله دیفرانسیلی، به صورت زیر باشند، مشخص کنید آیا رله برای این جریان ها عملکرد خواهد داشت یا نه؟

$$\begin{cases} I_1 = 1050\angle 0^\circ \\ I_2 = 1321\angle 60^\circ \end{cases} \qquad \begin{cases} I_3 = 925\angle 0^\circ \\ I_4 = 1521\angle 176^\circ \end{cases}$$

حل: برای جریان های $I_۱ , I_۲$، نسبت $\frac{I_۱}{I_۲}$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{I_1}{I_2} = 0/397 - 0/688j = 0/79\angle -60^\circ$$

حال باید ببینیم آیا این نقطه در داخل دایره عملکرد رله قرار می‌گیرد یا نه.

شرط عدم عملکرد: $(X-1)^2 + y^2 \le 0.25$

$$(0/397-1)^2 + (-0/688)^2 = 0/837 \ge 0.25$$

در نتیجه رله به ازای این جفت جریان عمل خواهد نمود.

$$\frac{I_3}{I_4} = -0/61 - 0/04j = 0/61\angle -176^\circ$$

$(X-1)^2 + y^2 \le 0.25$ شرط عدم عملکرد

$(-0/61-1)^2 + (-0/04)^2 = 2/6 \ge 0.25$

لذا رله به ازای این جفت جریان عمل می کند.

$$\frac{I_1}{I_2} = 0/397 - 0/688j$$

$|X \tan(30^\circ)| \ge |y|$ شرط عدم عملکرد:

$|۰/۳۹۷ \times ۰/۵۷۷| = ۰/۲۲۹ \ge ۰/۶۸۸$

در نتیجه رله به ازای این جفت جریان عمل می کند.

$$\frac{I_۳}{I_۴} = -۰/۶۱ - ۰/۰۴j$$

$|X \tan(30^\circ)| \ge |y|$ شرط عدم عملکرد:

$|۰/۶۱ \times ۰/۵۷۷۱| = ۰/۳۵ \ge ۰/۰۴$

لذا رله به ازای این جفت جریان عمل نمی‌کند.

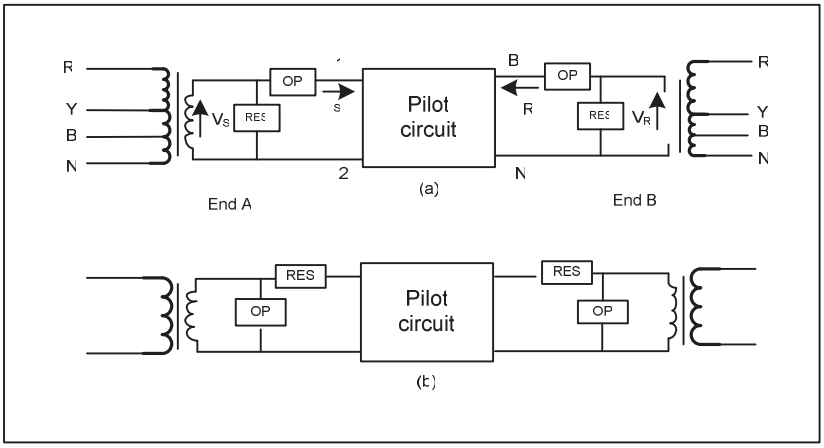
۴-۱-۳) عملکرد سیستم‌های حفاظتی پایلوتی

سیستم‌های حفاظتی پایلوت وایر در مواقعی ممکن است اصل Merz-price را مطابق آنچه گفته خواهد شد بکار بگیرد.

الف- بالانس ولتاژ

ب- جریان گردشی

شکل (۴-۵) مدار اساسی یک طرح حفاظتی ولتاژ متقارن جبران نشده را نشان می‌دهد. آمپر دور عمل کننده معادل، از یک مدار عمل کننده با امپدانس کم بدست می‌آید. در حالی که امپدانس مدار منع کننده زیاد خواهد بود.



شکل (۴-۵): حفاظت پایلوت وایر

مدار اساسی یک طرح گردشی جبران نشده، در شکل (۴-۵) نشان داده شده است. بطوری که در آن جهت مدارات منع کننده و عمل کننده در دو حالت جابجا شده است.

شکل (۴-۵- الف) طرح حفاظتی ولتاژ متقارن می‌باشد. در حالی که (۴-۵- ب)طرح جریان گردشی می‌باشند.

روش اول برای حفاظت فیدر کاربرد گسترده‌تری دارد. زیرا محدودیت‌هائی همچون طول پایلوت و خطی بودن جمع کننده‌ها مانند روش دوم را ندارد. این امر اساسی است که در طرح‌های مهندسی عملی، مدار پایلوت را به حساب آورد. در محاسبات طراحی، این مدار بر حسب پارامترهای A ، B ، C و D نمایش داده می‌شود.

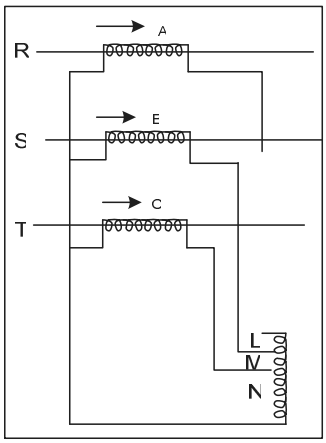
در طرح‌های ولتاژ متقارن، مناسب است که مکان هندسی ادمیتانس ارائه شده توسط مدار پایلوت، در نقطه مبداء نمایش داده شود. نمایش مدار پایلوت بر حسب ثابت‌های شبکه آن، بطور ساده‌ای از صفحه ادمیتانس مختلط به صفحه $\frac{I_A}{I_B}\angle\Phi$ انتقال داده می‌شود. در طرح‌های جریان گردشی، اثر امپدانس جبران کننده موازی روی ادمیتانس مدار پایلوت، بگونه‌ای است که رابطه بین نمایش ادمیتانس و نمایش صفحه $\frac{I_A}{I_B}\angle\Phi$ به سادگی طرح‌های ولتاژ متقارن نیست.

۴-۱-۴) خروجی‌های دستگاه جمع کننده

آمپر دور خروجی هر دستگاه جمع کننده مرسوم بر حسب مؤلفه‌های متقارن به شکل MI_0, NI_1, PI_2 قابل بیان است، بطوری که M ، N و P به انتخاب مقادیر جمع کننده بستگی دارد. تحت شرایط ایده‌آل، نسبت مورد نیاز مقادیر مقایسه شده در دو انتهای A و B فیدر مورد حفاظت بر حسب فرمول زیر می‌باشد.

$$\frac{\mathrm{IA}}{\mathrm{IB}}\angle\Phi = \frac{\mathrm{MI_{Ao}} + \mathrm{NI_{A1}} + \mathrm{PI_{A2}}}{\mathrm{MI_{Bo}} + \mathrm{NI_{Bl}} + \mathrm{PI_{B2}}} \qquad (۱-۴)$$

مقادیر مشخص شده M ، N و P به دستگاه جمع کننده و همچنین فازهای متأثر از اتصالی بستگی دارد. چنین شرایط ایده‌آلی بیان کننده خطی بودن وسایل جمع کننده و مبدل‌های جریان می‌باشد. یعنی در یک طرح پایلوت وایر با ولتاژ متقارن (بالانس ولتاژ) نسبت $\frac{\mathrm{V_A}}{\mathrm{V_B}}$ یعنی e.m.f ثانویه ترانس جریان جمع کننده بصورت متناسب با نسبت $\frac{I_A}{I_B}$ ورودی‌های جریان جمع شده می‌باشد (یعنی از اشباع و محدودیت‌های ولتاژ اعمال شده صرفنظر شده است)، که هم برای ترانسفورماتور جمع کننده و هم فیلتر توالی فاز مناسب است. لازم به توضیح است که فاز R را بعنوان مبنا نگه داشته و اتصالی روی فازهای دیگر با کاربرد مناسب اپراتور ۱۲۰ درجه به منظور ساده‌تر شدن آنالیز اتصالی بکار می‌رود.



شکل (۴-۶) ترانسفورماتور جمع کننده

ابتدا ترانسفورماتور جمع کننده شکل (۴-۶) که نسبت دور سیم پیچ اولیه n:1:1 را دارد، در نظر بگیرید. خروجی مؤثر از سیم پیچ ثانویه توسط رابطه:

$$(n+2)I_R + (n+1)I_Y + nI_B \qquad (۲-۴)$$

بدست می‌آید.

که وقتی که بر حسب مؤلفه متقارن نوشته شود، بصورت فرمول زیر درمی‌آید.

$$3(n+1)I_o + (2+h^2)I_1 + (2+h)I_2 \qquad (۳-۴)$$

در عمل ناحیه پایداری توسط شرایطی مانند شرایط مورد توجه پایلوت وایر که اشباع ترانس جریان و جریان خازنی در مدار اولیه می‌باشد، بیان می‌شود. در حالت مقایسه‌گر زاویه فاز کاریر، محدودیت‌ها توسط شیفت زاویه فاز بوجود آمده که توسط زمان انتقال سیگنال و زمان پاسخ فیلتر میان گذر اعمال می‌گردد. بنابراین بوجود آوردن یک طرح ایده‌آل حفاظت، به بهینه‌سازی انتخاب مقادیر تنظیم در ارتباط با مشخصه مرزی عملی به منظور رساندن اثر قابلیت مشخص به ماکزیمم مقدار خود منجر می شود.

ثابت‌های M ، N و P را برای شرایط اتصالی فاز مبنا تعریف می‌کنند. یعنی اتصال‌های R-E (فاز به زمین) وY-B (فاز- فاز) و Y-B,E (دو فاز با زمین) و هادی جدا شده فاز R و غیره.

برای اتصال‌های روی فازهای غیر از فاز مبنا (فاز R) ثابت‌های N و P نیاز به ضرب اپراتورهای ۱۲۰ درجه و ۲۴۰ درجه برای تعریف خروجی مناسب را دارد. برای مثال N

برای اتصال موازی شامل فاز R مقدار h^2+2 را دارد در حالی که این مقدار وقتی که چنین اتصال‌هایی به ترتیب برروی فاز Y و B اتفاق بیفتد، $N'=hN$ یا $N''=h^2N$ می‌گردد که بر حسب فاز مبنای اتصالی شده محاسبه شده است. جدول (۴-۱) مقادیر M ، N و P را برای انواع گوناگون اتصال‌های ارجاع داده شده به فاز R نشان داده است.

جدول(۴-۱): مقادیر M ، N و P *ارجاع داده شده به فاز* R *برای ترانسفورماتور جمع کننده با نسبت* تبدیل n:۱:۱

Type of fault	M	N	P
Shunt R-E, Y-B or Y-B-E Series R-phase	۳(n+1)	(h^2+۲)	(h+۲)
Shunt Y-E, B-R or B-R-E Series Y-phase	۳(n+1)	(۲h+۱)	($2h^2$+۱)
Shunt B-E, R-Y or Y-R-E Series B-phase	۳(n+1)	($2h^2$+h)	(h^2+2h)

در حالت

استفاده از فیلتر توالی فاز شکل (۴-۳) مطالعات اخیر ترکیبی به فرم $-I_1+6I_2$ دارد. برای اتصالهایی شامل فاز مبنا، M:N:P مقادیر عددی ۶ :1- :۰ را دارد. برای اتصال‌هایی شامل فازهای غیر از فاز مبنا (فاز R) مقادیر مطابق جدول (۴-۲) خواهد بود.

جدول(۴-۲) مقادیر P,M,N *برای یک فیلتر توالی فاز*

Type of fault	M	N	P
R-phase R-E, Y-B or Y-B-E	۰	-1	6
Y-phase Y-E, B-R or B-R-E	۰	-h	$6h^2$
B-phase B-E, R-Y or Y-R-E	۰	$-h^2$	6h

هر شرایط اتصالی ویژه‌ای، اجباری بر جریان‌های مؤلفه فاز تحمیل می‌کند و بدین وسیله عبارت را برای $\frac{I_A}{I_B}\angle\Phi$ تنظیم می‌کند. گرچه بعلت خروجی‌های چندگانه آنها، فیلترهای شبکه توالی فاز از ترانسفورماتور جمع کننده هستند.

مثال (۲): اگر در یک ترانسفورماتور مجموع از نسبت ۱:۱:۳ استفاده شود و برای یک خطای Y-E ، مقادیر مؤلفه‌های توالی جریان به صورت زیر باشند، آنگاه نقطه عملکرد رله را بدست آورید؟

$$I_{A0}=1000 \qquad I_{B0}=1300$$
$$I_{A1}=1000 \qquad I_{B1}=1200$$
$$I_{A2}=0 \qquad I_{B2}=100$$
$$\frac{I_A}{I_B}\angle\varphi=\frac{MI_{AO}+NI_{A1}+PI_{A2}}{MI_{BO}+NI_{B1}+PI_{B2}}$$

حل: از داده‌های جدول (۴-۱)، برای خطای Y-E و n=۳ داریم:

M=۱۲ و N= ۱+۲ $\angle 120^\circ$ و P =۱+۲ $\angle -120^\circ$

لذا داریم:

$$\frac{I_A}{I_B}\angle\varphi=\frac{12\times1000+(1+2\angle120)(1000)}{12\times1300+(1+2\angle120^\circ)(1200)+(1+2\angle-120^\circ)(100)}$$
$$=\frac{12000+1732j}{14401+1905j}=0/83\angle0/68^\circ$$

مثال (۳): در مسئله قبل اگر رله دیفرانسیل از مقایسه فاز و اندازه استفاده می‌کرد، آیا در مقابل این خطا عملکرد داشت؟

$$\frac{I_A}{I_B}\angle\varphi=0/83\angle0/68=0/83+0/85\times10^{-3}j$$

شرط عدم عملکرد: $(X-1)^2+Y^2\le0.25 \Rightarrow (0/83-1)^2+(0/85\times10^{-3})^2=0/029$

لذا رله به ازای این خطا عملکرد نخواهد داشت.

مثال (۴): اگر در یک فیلتر توالی، برای خطای R-Y ، مقادیر مؤلفه‌های جریان به صورت زیر باشند، آنگاه نقطه عملکرد رله را بدست آورید؟

$$I_{A0} = 1500 \qquad I_{B0} = 1300$$
$$I_{A1} = 2000 \qquad I_{B1} = 1000$$
$$I_{A2} = 1200 \qquad I_{B2} = 800$$

$$\frac{I_A}{I_B}\angle\varphi = \frac{MI_{AO} + NI_{A1} + PI_{A2}}{MI_{BO} + NI_{B1} + PI_{B2}}$$

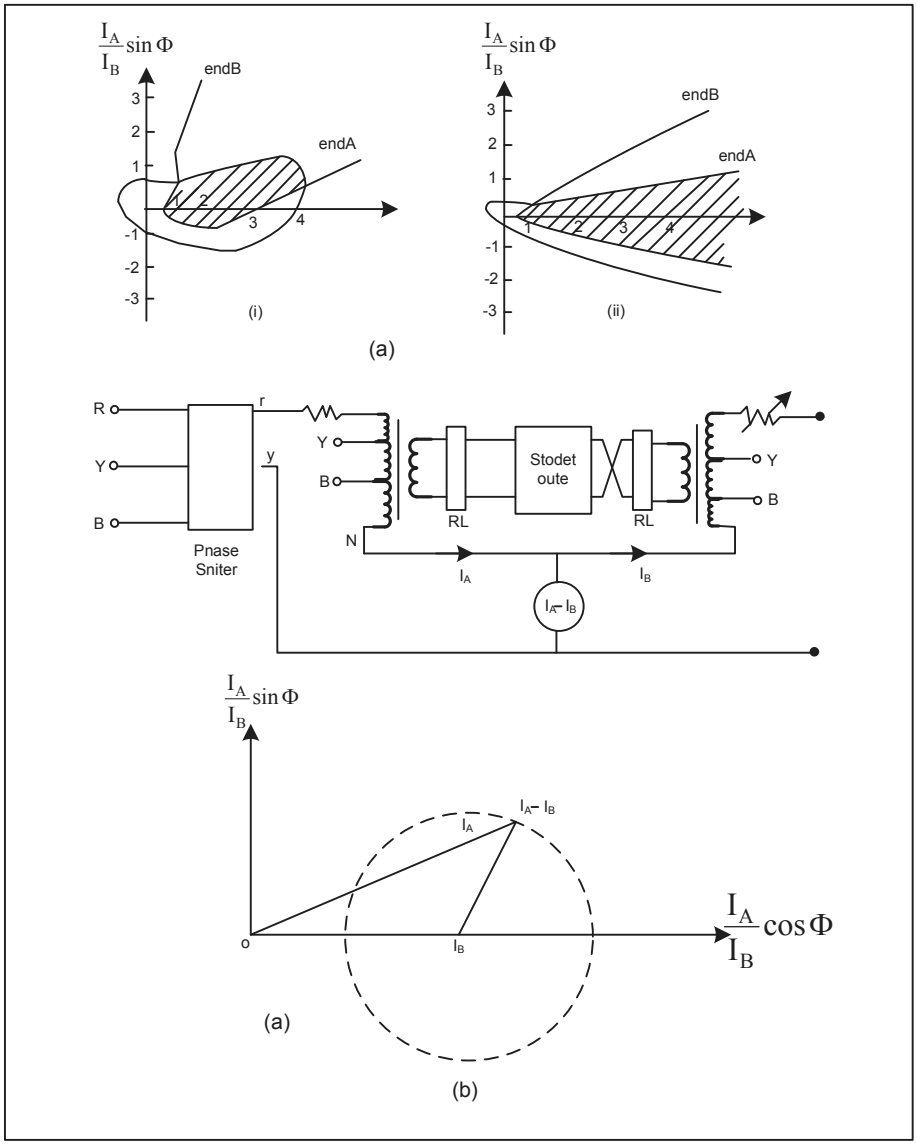
از جدول (۴-۲) داریم:

$$m = 0 \ , N = -h^2 = -1\angle -120 \ , \ p = 6\angle 120$$

$$\Rightarrow \frac{I_A}{I_B} < \varphi = \frac{(-1\angle -120)(2000) + (6\angle 120)(1200)}{(-1\angle -120)(1000) + (6\angle 120)(800)}$$
$$= \frac{-2600 + 7967j}{-1900 + 5023j} = 1/56 - 0/07j = 1/56\angle -2/6^\circ$$

۴-۱-۵) تعیین مشخصه‌های $\frac{I_A}{I_B}$ طرح رله دیفرانسیل پایلوت وایر

با این شرط که یک مدل برای نمایش مدار پایلوت قابل تشکیل باشد، یک روش ساده تعیین مشخصه قطبی از یک ترکیب شامل ترانسفورماتورهای جمع کننده مرسوم، توسط شکل (۴-۷) رسم می‌شود.



شکل (۴-۷) مشخصه قطبی هنگام استفاده از ترانسفورماتور جمع کننده

مدار نشان داده شده این قابلیت را دارد که مشخصه رله انتهای B را با ثابت نگه داشتن جریان انتهای B و تغییر اندازه و زاویه فاز جریان انتهای A تا زمانی که نقطه مبداء بدست آید را مهیا سازد. از شکل (۴-۷-ب) مشاهده می‌شود که برای I_B ثابت مکان هندسی I_A-I_B مشخصه رله انتهای B را دنبال می‌کند. اگر مشخصه انتهای A لازم باشد، (با استفاده از یک مقدار ثابت I_A) مشخصه مبداء بطور جداگانه قابل رسم می‌باشد.

همانطور که قبلا نشان داده شد، آمپر دور خروجی یک ترانسفورماتور جمع کننده (n:۱:۱) برحسب فاز مبنا R توسط فرمول:

$$3(n+1)I_0 + (2+h^2)I_1 + (2+h)I_2 \qquad (۴-۴)$$

قابل نمایش است که برای شرایط بارداری متقارن مقدار $(۲+h^۲)I_۱$ یا $\sqrt{۳}\ I_۲$ را دارد. نتیجه می‌شود که اگر $I_۱$ یک واحد (پریونیت) باشد، در آن صورت آمپر دور خروجی مقدار $\sqrt{۳}$ واحد را دارد و مستقل از نسبت n می‌باشد.

در یک مسئله شبیه آنچه در شکل (۴-۷) نشان داده شده است، جریان ثابت در انتهای B مقدار $\frac{\sqrt{۳}}{n+۲}$ پریونیت در حالت ترانسفورماتور جمع کننده n:۱:۱ خواهد داشت. برای مثال اگر n=۳ باشد، یک پریونیت با $\frac{\sqrt{۳}}{۵}$ پریونیت نمایش داده شده و اگر جریان‌های ثانویه ترانس جریان یک آمپری باشد، این را معنی می‌دهد که جریان $\frac{\sqrt{۳}}{۵}$ می‌بایستی بین ترمینال N و R در جمع کننده انتهائی B باید بکار برده شود.

مثال (۵): یک ترانسفورماتور جمع کننده برای بدست آوردن تنظیم برای یک سیستم دیفرانسیلی که توسط سه فاز ورودی نامتقارن با توالی فاز R-Y-B در حالت نرمال تغذیه می‌شود، بکار برده شده است.

الف) یک عبارت برای آمپر دور خروجی ترانسفورماتور جمع کننده برحسب نسبت دور ورودی بین تپ‌های اولیه و جریان‌های ترانسفورماتور جمع کننده برحسب نسبت دور ورودی بین تپ‌های اولیه و جریان‌های مؤلفه فاز B بدست آورید؟

ب) اگر شرایط سیستم بصورت $IB_۱ = IB_۲$ باشد، مینیمم مقدار n را برای یک ترانسفورماتور جمع کننده با نسبت دور اولیه n:۱،۲:۱ بدست آورید؟

ج) چنانچه برای شرایط $\frac{IB_1}{IB_o} = ۴$ خروجیها مقدار مثبتی نگاه داشته شود، بررسی نمایید اگر نسبت تبدیل ۱:۱:n استفاده شده باشد، چه تاثیری خواهد داشت؟

$$I_R = I_o + I_+ + I_-$$
$$I_Y = I_o + h^۲ I_+ + hI_-$$
$$I_B = I_o + hI_+ + h^۲ I_-$$
$$I_R = I_{Ro} + I_{R۱} + I_{R۲}$$
$$I_Y = I_{Ro} + h^۲ I_{R۱} + hI_{R۲}$$
$$I_B = I_{Ro} + hI_{R۱} + h^۲ I_{R۲}$$
$$I_{R۱} = h^۲ I_{B۱}, IR_۲ = hI_{B۲} \qquad I_{Y_۱} = hI_{B۱}$$
$$I_{Ro} = I_{Bo} = I_{yo} \qquad I_{Y_۲} = h^۲ I_{B_۲}$$

آمپر دور خروجی $= (L + M + N)I_R + (M + N)I_y + NI_B$

آمپر دور ناشی از I_R به واسطه اینکه از همه حلقه‌ها می‌گذرد را محاسبه می‌کنیم.

داریم:

$$I_{B_۱} = I_{B_۲} \qquad L = ۱ \qquad M = ۱/۲ \qquad N = ?$$
$$\frac{I_{B_۱}}{I_{B_o}} = ۴$$

پس به جای I_B و I_Y و I_R قرار می‌دهیم:

استفاده از سیستم‌های پایلوتی در حفاظت دیفرانسیلی فیدرها ـــ

$$I_R(L+M+N)+I_Y(M+N)+I_B(N)=$$
$$(I_{R_0}+I_{R_1}+I_{R_2})\,(L+M+N)$$
$$+(L_{Y_0}+I_{Y_1}+I_{Y_2})(M+N)+(I_{B_0}+I_{B_1}+I_{B_2})(N)$$
$$(I_{B_0}+h^2I_{B_1}+hI_{B_2})\,(L+M+N)$$
$$+(I_{B_0}+hI_{B_1}+h^2I_{B_2})(M+N)+(I_{B_0}+I_{B_1}+I_{B_2})(N)$$
$$I_{B_0}(L+M+N+M+N+N)+I_{B_1}(h^2L+h^2M+h^2N+h^2M+hN^2N+N)$$
$$+I_{B_0}(hL+hM+h^2M+h^2N+N)$$
$$I_{B_1}=I_{B_2}$$
$$I_{B_0}(L+2M+3N)+I_{B_1}((L)(h^2+h)+2M(h^2+h)+2N(h^2+h+1))$$
$$h_1=1\angle 120\ ,h_2=1\angle 240$$
$$I_{B_0}(L+2M+3N)=I_{B_1}(L+2M)$$
$$I_{B_0}(L+2M+3N)=I_{B_1}(L+2M)$$
$$\frac{I_{B_1}}{I_{B_0}}=\frac{L+2M+3M}{L+2M}$$
$$\frac{I_{B_1}}{I_{B_2}}=4=\frac{1+(2)(1/2)+3N}{1+(2)(1/2)}$$
$$L=1 \qquad M=1$$
$$\frac{I_{B_1}}{I_{B_0}}=4=\frac{L+2M+3N}{L+2M}$$
$$4=\frac{1+(2)(1)+3N}{1+(2)(1)}$$
$$N=3$$

۴-۱-۶) یافتن تنظیم رله دیفرانسیلی پایلوت وایر (موازنه ولتاژ) برای خطای مختلف

حسن این رله این است که برای همه خطاها (فاز به فاز و فاز به زمین- سه فاز- دو فاز با زمین) جواب می‌دهد ولی از معایب آن این است که برای خطاهای مختلف دارای تنظیم‌های مختلف می‌باشد.

مثال(۶): اگر حفاظت دیفرانسیلی با ترانس مجموع با توالی فاز R-Y-B داشته باشیم فرض کنیم برای خطای Y-B تنظیم I_n۰/۴ باشد می‌خواهیم ببینیم برای خطای R-E و B-E و R-B و R-Y و Y-E و R-Y-B مقدار تنظیم چقدر است با فرض اینکه نسبت اولیه سیم‌پیچ ۱:۱:۴ باشد.

کل آمپر دور خروجی= NI

تنظیم برای R-B

$$x = \frac{۰/۴I_n(M)}{I_n(L+M)} = ۰/۲$$

تنظیم برای B-E

$$x = \frac{0/4I_nM}{I_nN} = \frac{0/4}{4} = 0/1$$

تنظیم برای Y-E

$$x = \frac{۰/۴M}{M+N} = \frac{۰/۴}{۵} = ۰/۰۸$$

تنظیم برای R-Y

$$x = ۰/۴$$

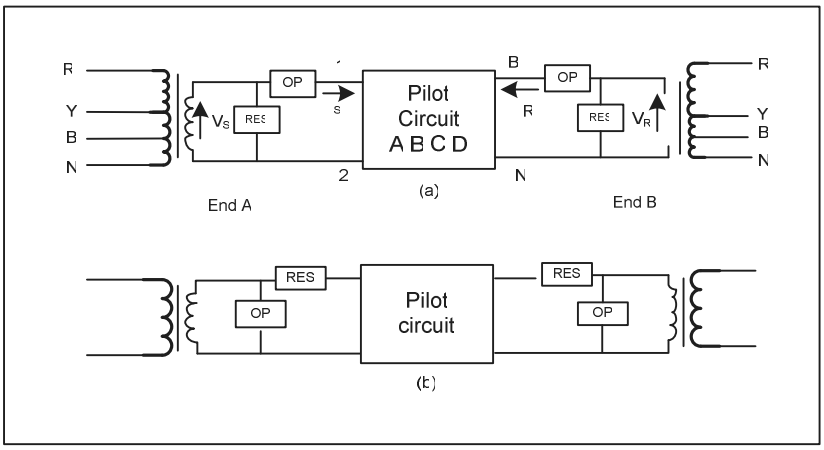
تنظیم برای R-E

$$x = \frac{0/4I_nM}{I_n(L+M+N)} = \frac{(0/4)(1)}{(1+1+4)} = 0/06$$

۴-۱-۷) جبران در سیستم‌های حفاظتی پایلوت وایر ولتاژ متقارن

طرح پایلوت وایر ولتاژ متقارن جبران نشده شکل (۴-۸) را در نظر بگیرید. مدارات عمل کننده و سد کننده مقایسه کننده اندازه را به خود می‌گیرد. بطوری که در آن عملکرد، زمانی رخ می‌دهد که آمپر دور عمل کننده از آمپر دور مؤثر سد کننده بیشتر

می‌شود. با صرفنظر کردن از امپدانس مدار عمل کننده، رابطه نقطه شروع عملکرد برای رله انتهائی دریافت کننده به صورت زیر داده می‌شود:



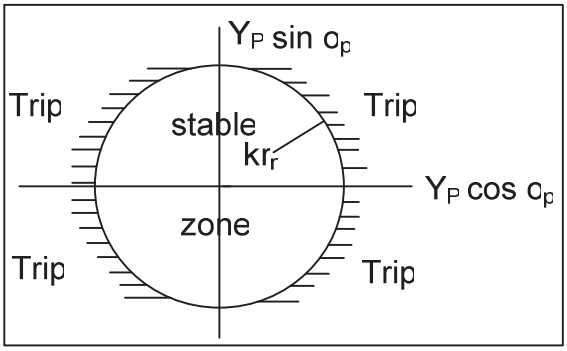
شکل (۴-۸) طرح پایلوت وایر در حفاظت دیفرانسیلی

$$K_1 I_R \cong K_2 V_R Y_R \qquad (۵-۴)$$

بطوری که Y_R ادمیتانس مدار سد کننده را نشان می‌دهد. با فرض خطی بودن رابطه ولتاژ، جریان I_R متناسب با V_R بوده و به صورت $V_R Y_{rk}$ نمایش داده می‌شود، بطوری که Y_{rk} ادمیتانس ارائه شده به رلهٔ انتهائی دریافت کننده توسط مدار پایلوت می‌باشد. بنابراین:

$$\begin{aligned} K_1 V_R Y_{PK} &> K_2 V_R Y_r \\ Y_{rR} &> K Y_r \end{aligned} \qquad (۶-۴)$$

بطوری که $k = \frac{k_2}{k_1}$ یعنی مدارات مقایسه کننده اندازه دو ورودی را می‌سنجند. بطوری که برای آن، فرمان قطع زمانی رخ می‌دهد که اندازه ادمیتانس ارائه شده توسط پایلوت بیشتر از $K|Y_r|$ شود (شکل (۴-۹)).



شکل (۴-۹) مشخصه عملکرد در طرح پایلوت وایر

محلی که برای نقطه مبداء در یک طرح ولتاژ متقارن عملی وجود دارد، چنین است که مرکز دایره می‌بایستی نقطه $۱\angle ۰$ را در صفحه $\frac{V_S}{V_R}$ با زاویه θ نشان دهد $\left(\frac{V_S}{V_R}\angle\theta\right)$. با استفاده از پایلوت عملی، انتقال مشخصه مبداء از صفحه ادمیتانس به صفحه $\frac{I_A}{I_B}\angle\theta$ جبران این امر را لازم می‌گرداند که ادمیتانس صفر را با شرط $\frac{V_S}{V_R}=۱\angle ۰$ ارائه کند.

یک طرح حفاظتی ولتاژ متقارن عملی با جبران موازی و بهره‌برداری از مقایسه‌گرهای اندازه بین مقادیر سد کننده و عمل کننده قابل ارائه است.

بطور ایده‌آل مدار می‌بایستی طوری تنظیم شود که کل مدار پایلوت جبران شده (Y_{r+c}) ، برای شرایط $\frac{V_S}{V_R}=۱\angle ۰$، ادمیتانس صفر را به رله‌ها اعمال کند. به منظور محاسبه جبران مورد نیاز، آرگومان Y_c به حالت ساده پایلوت متقارن محدود می‌شود و Y_c در هر دو یکسان فرض خواهد شد.

عملکرد مدارات پایلوت غیرمتقارن ساده نیست، اما مبحثی در این موارد در چشم‌انداز این بحث موجود است که توجه به رله انتهایی دریافت کننده معطوف خواهد بود. از آنجایی که یک پایلوت متقارن فرض شده است، مشخصه‌های رله انتهایی

فرستنده، توسط معکوس‌سازی قابل دسترسی است. اگر D,C,B,A پارامترهای شبکه مدار پایلوت را نمایش دهند و D',C',B',A' پارامترهایی نظیر برای مدار جبران شده باشد، در این صورت با صرفنظر کردن از امپدانس مدارات عمل کننده سری و فرض جبران یکسان Y_c در هر دو انتها:

$$\begin{pmatrix} V_S \\ I_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ۱ & ۰ \\ Y_c & ۱ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ۱ & ۰ \\ Y_c & ۱ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_R \\ I_R \end{pmatrix} \quad (۷-۴)$$

$$\begin{pmatrix} V_S \\ I_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_R \\ I_R \end{pmatrix} \quad (۸-۴)$$

$$A' = A + BY_c \quad (۹-۴)$$

$$B' = B \quad (۱۰-۴)$$

$$C' = AY_c + C + Y_c(BY_c + D) \quad (۱۱-۴)$$

$$D' = BY_c + D \quad (۱۲-۴)$$

ادمیتانس $Y'_{(p+c)}$ اکنون توسط رله انتهایی دریافت کننده دیده می‌شود و از معادلات زیر بدست می‌آید. بطوری که می‌توان داشت:

$$V_S = A'V_R + B'I_R \quad (۱۳-۴)$$

$$V_S = KV_R\angle\delta \quad (۱۴-۴)$$

$$Y'_{(p+c)} = -\frac{I_R}{V_R} \quad (۱۵-۴)$$

$$K\angle\delta = A' - B'Y_{(p+c)} \quad (۱۶-۴)$$

با عوض شدن علامت ادمیتانس $Y'_{(p+c)}$ ارائه شده به رله انتهایی دریافت کننده توجه کنید این امپدانس از نقطه نظر پایانه دریافت کننده مشاهده می‌شود. از معادلات فوق می‌توان نوشت:

$$Y'_{(p+c)} = -\frac{K\angle\delta}{B'} + \frac{A'}{B'} \quad (۱۷-۴)$$

مقادیر B',A' را اگر در رابطه (۱۷) قرار دهیم:

$$Y'_{(p+c)} = -\frac{K\angle\delta}{B} + \frac{(A + BY_c)}{B'} = -\frac{K\angle\delta}{B} + \frac{A}{B} + Y_c \quad (۱۸-۴)$$

اگر جبران سازی کامل وجود داشته باشد، در این صورت هنگامی که $K\angle\delta = 1\angle 0$ باشد، ادمیتانس $Y'_{(p+c)}$ داده شده به رله انتهایی دریافت کننده صفر خواهد بود. از معادله (۸-۴) مشاهده می‌شود که تحت این شرایط A' مقدار $1\angle 0$ را خواهد داشت. بنابراین $A + BY_c = 1\angle 0$ و جبران سازی Y_c بصورت زیر داده می‌شود:

$$Y_{(p+c)} = \frac{A' - 1}{B'} \qquad A' = A + BY_c \qquad B' = B \quad (۱۹-۴)$$

$$Y_{(p+c)} = \frac{A - BY_c - 1}{B} \quad (۲۰-۴)$$

چون می‌خواهیم Y_c جبران بقیه مدار را بکند، یعنی برای شرایط ایده‌آل $Z = \infty$ و یا $Y=0$.

$$Y_{(p+c)} = 0 \quad (۲۱-۴)$$

$$A + BY_c - 1 = 0 \quad (۲۲-۴)$$

$$Y_c = \frac{1 - A}{B} \quad (۲۳-۴)$$

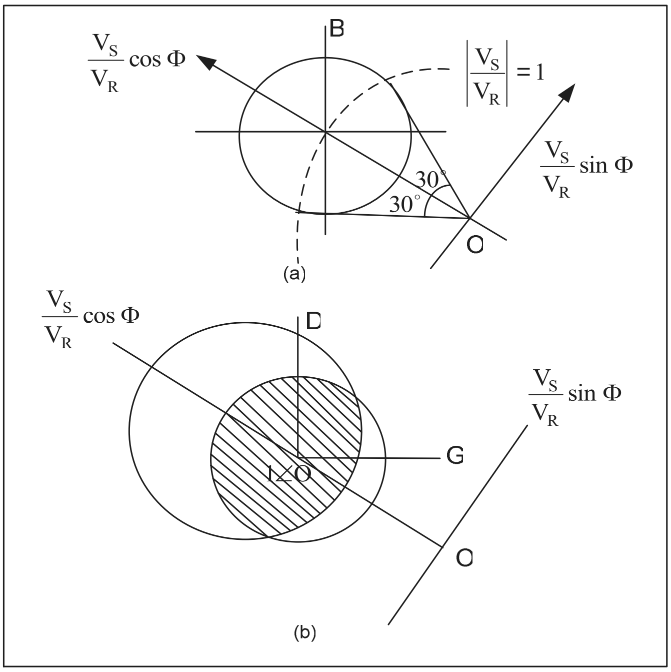
یعنی Y_c بستگی به پارامترهای B,A دارد.

برای نمایش صفحه ادمیتانس به صفحه‌های $\frac{V_S}{V_R}\angle\delta$ یا $\frac{I_A}{I_B}\angle\delta$ لازم است که ادمیتانس $Y'_{(p+c)}$ ارائه شده به انتهای دریافت کننده هنگامی که $\frac{V_S}{V_R} = k\angle\delta = o$ است، معلوم باشد. از معادله:

$$o = A' - BY'_{(p+c)} \quad (۲۴-۴)$$

$$Y'_{(p+c)} = +\frac{A'}{B'} = \frac{A + BY_c}{B} \quad (۲۵-۴)$$

نتیجه اینکه مقدار Y_c چه اندازه باید باشد که ادمیتانس دیده شده $\left(Y_{(p+c)}\right)$ مساوی صفر شرایط عادی مدار یعنی $\frac{V_S}{V_R} = 1\angle o$ باشد.



شکل (۴-۱۰) الف) مشخصه $\frac{V_S}{V_R}\angle\delta$ که برروی دیاگرام ادمیتانس جبران شده سوار شده است.

ب)مشخصه‌های نقطه شروع رله دریافت کننده و فرستنده انتهایی

صفحه $\frac{V_S}{V_R}\angle\delta$ یا $\frac{I_A}{I_B}\angle\theta$ می‌تواند بر دیاگرام ادمیتانس جبران شده سوار گردد. مطابق شکل(۴-۱۰) مبداء آن درنقطه‌ای است که ادمیتانس توسط $\frac{۱}{B}$ معرفی می‌گردد. بطوری که دایره ایده‌آل با شعاع نیم در صفحه $\frac{V_S}{V_R}\angle\delta$ شعاعی به اندازه $\frac{۱}{۲B}$ در صفحه ادمیتانس خواهد داشت. چنین دایره‌ای یک حد پایداری ۳۰± درجه برای حالت نشان داده شده در شکل (۴-۱۰) که k واحد است را می‌دهد.

از شکل (۴-۱۰-الف) دیده خواهد شد که رابطه $Y'_{(p+c)}$ که توسط رابطه:

$$Y'_{(p+c)} = -\frac{K\angle\delta}{B} + \frac{A}{B} + Y_c \qquad (۲۶-۴)$$

داده شده است، همیشه اجرا می‌شود. یک پایلوت متقارن فرض کنید که مشخصه انتهای فرستنده توسط معکوس سازی بدست می‌آید و شکل (۴-۱۰-ب) مشخصه سوار شده بر صفحه $\frac{V_S}{V_R}\angle\delta$ رله فرستنده و گیرنده را نشان می‌دهد. کل ناحیه پایداری هاشور خورده شده است.

مثال(۷): یک مدار پایلوت استفاده شده در حفاظت دیفرانسیلی از جبران Y_C در دو طرف مدار پایلوت، استفاده می‌کند.

اولا: رابطه ای بر حسب Y_C به دست آورید که شامل ثابت های شبکه ۴ ترمیناله بوده و نسبت ولتاژهای ارسالی و دریافتی را با زاویه آن بیان کند.

ثالثا، اگر مدار پایلوت به صورت T بسته شده باشد و هر بازوی سری آن دارای مقاومت 50Ω و ادمیتانس بازوی موازی آن $j10^{-4}$ باشد، مقدار Y_C چه اندازه باشد تا تضمین کند که ادمیتانس صفر در طرف دریافتی ظاهر می شود؟ (به هنگام پایداری، $(\frac{V_S}{V_R}=1<0$

ثالثا: بر روی طبیعت Y_C بحث کنید؟ (خازنی یا سلفی)

رابعا: دیاگرام تطبیق صفحه مختلف $\frac{V_S}{V_R}\angle\delta$ با دیاگرام ادمیتانس جبران شده را کشیده و بر روی آن بحث کنید؟

$$YC=\frac{(1\text{-}A)}{B}$$

$$A=\frac{V_S}{V_R}\Big|_{IR=0}=\frac{50-j10000}{-j10000}=1+j5\times10^{-3}$$

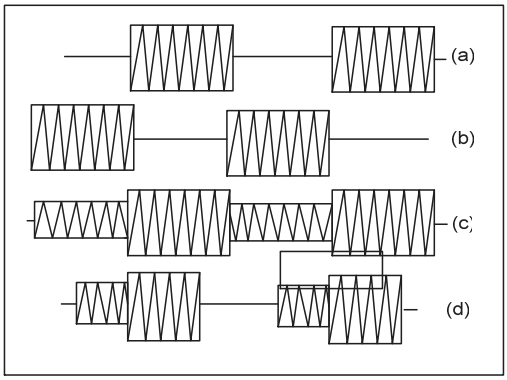
$$B=\frac{V_S}{I_R}\Big|_{VR=0}=\frac{50I_R+(50I_R\times10^{-4}j+I_R)50}{I_R}=100+j0/25$$

$$Y_C=\frac{-j5\times10^{-3}}{100}\Rightarrow \quad (B\approx 100)$$ سلفی است.

۴-۱-۸) حفاظت دیفرانسیل جریانی با استفاده از کاریر

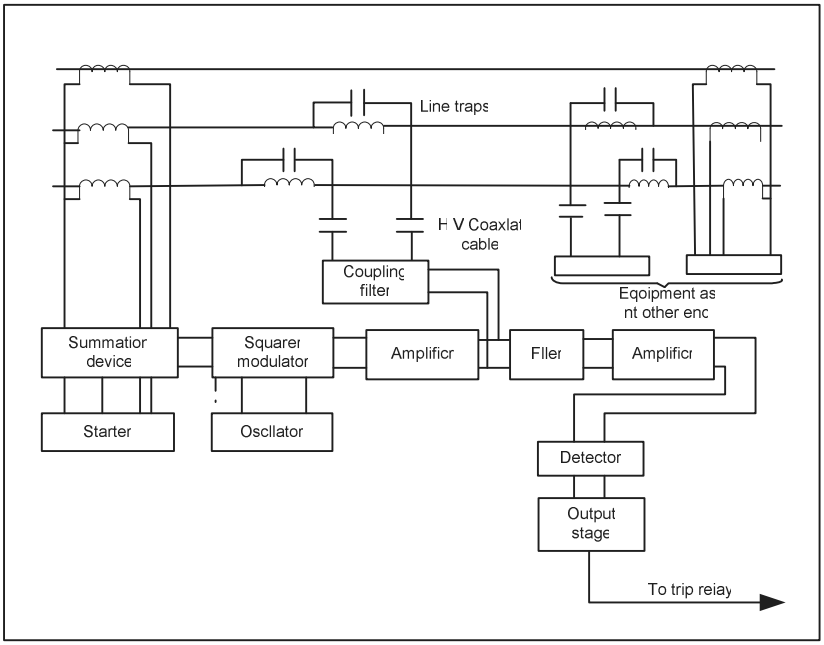
یک کانال جریان کاریر که بر سیستم خطوط هوائی سوار شده، با طرح حفاظت دیفرانسیلی فیدر در یک زاویه فاز مقایسه‌گری، بجای مدار پایلوت استفاده می‌گردد.

خطوط قدرت، سیگنال‌های با فرکانس‌های (۳۰۰-۲۰۰) کیلوهرتز به طرف داخل یا خارج خط توسط خازن‌های فرکانس بالا به نام کوپلاژهای خط تغذیه می‌شوند. سینگال فرکانس بالا در ناحیه حفاظتی با استفاده از مدارات برگرداننده (لاین تراپ) تنظیم شده نگه داشته می‌شوند. در شکل (۴-۱۲) ترکیب اساسی تجهیزات الکترونیکی یک انتهای خط همراه با تجهیزات کوپلاژ آن نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۱) نمودار ساده طرح حفاظتی دیفرانسیل فیدر جریانی براساس کاریر

از شکل (۴-۱۲) مشاهده می‌گردد که یک وسیله جمع کننده برای بدست آوردن مقادیر اولیه تنظیم استفاده شده است و برای برآوردن احتیاجات رله‌های استارتر با تنظیم کم و زیاد در نظر گرفته می‌شود. مقادیر تنظیم رله‌ها در هر دو انتهای خط برای مدولاسیون خروجی فرکانس بالا، از یک نوسان ساز استفاده می‌شود. بطوری که یک سری از بلوک‌های کاریر نیم موج مطابق شکل (۴-۱۲) بدست می‌آید.



شکل (۴-۱۲) ترتیب قرار گرفتن بلوک‌های کاریر

پلاریته‌های مبدل‌های جریان طوری ترتیب یافته‌اند که بلوک‌های ایجاد شده در هریک از انتهای خط به اندازه ۱۸۰ درجه در فاز اختلاف دارند. بلوک‌های تقویت شده از طریق کوپلرهای خط به انتهای دیگر خط تغذیه می‌شوند. سیگنال‌های گرفته شده با سیگنال‌های تولید شده در هر انتها ترکیب می‌شوند. تحت شرایط اتصالی خارج ناحیه، بلوک‌ها به هم پیوسته شده اند. در این وضعیت فیلترها یک بایاس ثابت در مرتبه خروجی بوجود می‌آورند، که مانع فرمان قطع می‌گردد. در هنگام وجود اتصالی در ناحیه حفاظت شده، بایاس بطور متناسب با بیشتر از ۳۰ ± درجه برداشته شده و فرمان قطع صادر می‌کنند. در عمل رله‌های استارتر دارای تنظیمهای پائین و بالا هستند، که این امر به منظور حفاظت در برابر عملکرد ناصحیح در اتصالی می‌باشد.

رله با تنظیم پایین قبل از اینکه جریان کاریر منتقل شود، می‌بایستی عمل نماید و رله با تنظیم بالا مرتبه خروجی را برای فرمان قطع تهیه می‌کند.

رله‌های استارتر ممکن است به شکل استارتر از نوع N.P.S همراه با فیلترهای گذرا باشند، یا می‌توانند استارترهای مبدل بایاس دار باشند. جزئیات هر کدام در دستورالعمل تولیدکنندگان وجود دارد. تنظیم رله استارتر باید بصورتی باشد که تحت بار سبک (فقط جریان شارژ کننده) عمل ننماید. زیرا استارترها وقتی که اتصال در حالت خارج از ناحیه بوجود آید، به نقطه عملکرد می‌رسند (Pickup). در حالت رفع چنین اتصالی، مقایسه‌گر بیشتر در فاصله‌های زمانی قبل از (drop off) زمان خاموشی استارتر دوباره می‌توانند باعث عملکرد غلط در هنگامی که خط کمی بار دارد، شوند.

فاکتور دیگری که در هر طرح مقایسه زاویه فاز می‌بایستی در نظر گرفته شود، تأثیر یک dc گذرا در جریان اتصالی می‌باشد. زیرا این عمل می‌تواند باعث کاهش یا توسعه طولهای بلوک‌های کاریر شوند. در حالت اتصال خارج ناحیه، به هم پیوستگی بلوک‌ها بعلت کاهش در بلوک‌های نیم سیکل مثبت با گسترش نظیر در بلوک‌های نیم سیکل منفی خنثی می‌شود.. با این حال برای اتصال‌های داخلی ممکن است کاهش یا توسعه مشابه در هر یک از بلوک‌های بهم پیوسته اتفاق افتد. در مورد توسعه بلوک‌ها این امر تأثیر افزاینده بر زاویه پایداری دارد و ممکن است تأخیر یک سیکل قبل از اینکه عملکرد بتواند اتفاق بیفتد، نتیجه شود.

در طرح‌های جریان کاریر اولیه، کاتدهای حرارتی را بکار می‌گیرند. اما نوع ترانزیستوری آنها امروزه کاربرد فراوان دارد و اینها در طرح‌های عملی برای حفاظتی خط انتقال هوائی بکار برده شده‌اند.

۴-۲) استفاده از سیستم‌های مخابراتی در حفاظت دیستانس خطوط

اگر خطی توسط رله دیستانس حفاظت شده باشد، همه قسمت‌های ناحیه ۱ و بخشی از ناحیه ۲ به عنوان حفاظت اصلی خط محسوب می‌گردد. اگر خطا در ناحیه ۱ رله اتفاق بیافتد، زمان قطع رله بسیار ناچیز و تقریبا آنی است. ولی چنانچه محل خطا بر روی خط اصلی و در ناحیه۲ باشد، در این صورت یک تاخیر زمانی در قطع وجود خواهد داشت. بدیهی است که رله دیستانس واقع در انتهای دیگر خط خطا را در ناحیه ۱ خود خواهد دید. برای از بین بردن این تاخیر زمانی، از یک کانال ارتباطی بین رله‌های دیستانس دو طرف خط استفاده می‌شود.

این سیستم‌ها را به دو دسته کلی می‌توان تقسیم نمود. در دسته اول از یک طیف سیگنالی جهت قطع کردن کلید طرف دیگر ارسال می‌شود و در دسته دیگر سیگنال ارسال شده سبب قفل شدن رله طرف دیگر می‌شود.

انواع این ساختارهاعبارتند از:

۱- حفاظت دیستانس به کمک رله مجاز قطع کلید از نوع کاهش برد
Permissive under reach distance protection

۲- حفاظت دیستانس به وسیله دریافت مستقیم سیگنال قطع کلید
Inter tripping under reach distance protection

۳- حفاظت دیستانس به وسیله ناحیه توسعه یافته
Accelerated under reach distance protection

۴- حفاظت دیستانس به وسیله رله مجاز قطع کلید از نوع افزایش برد
Permissive overreach distance protection

۵- ارسال فرمان قفل از نوع افزایش برد
Blocking overreach distance protection

۴-۲-۱) حفاظت دیستانس به کمک رله مجاز قطع کلید از نوع کاهش برد

این روش به طور شماتیک در شکل زیر نشان داده شده است. با بروز خطا نزدیک شین A ، رله آن سریعا توسط ناحیه ۱ عمل کرده و به موازات آن سیگنالی نیز به سمت رله B می‌فرستد. با رسیدن سیگنال به این رله، در صورت دیده شدن این خطا توسط ناحیه ۲ رلهB ، فرمان قطع به کلیدB داده می‌شود. در این روش تنها یک کانال ارتباطی وجود دارد.

شکل (۴-۱۵) حفاظت دیستانس به وسیله ناحیه توسعه یافته

۴-۲-۲) حفاظت دیستانس به وسیله رله مجاز قطع کلید از نوع افزایش برد

این روش، متد دیگری است که بر روی سیگنال فرستاده شده عمل می‌شود. برد ناحیه A به طور معمول بین ۱۲۰ تا۱۵۰ درصد امپدانس خط تعیین می‌شود. Zone A

نه تنها موجب ارسال سیگنال می‌شود، بلکه ملاکی برای عملکرد رله نیز می‌شود. بدین جهت واحد اندازه گیر ناحیه ۲ می‌تواند این کار را انجام دهد.

در این روش، عملکرد صحیح رله‌های طرفین یک خط، بستگی مستقیم به عملکرد صحیح ناحیه A هر دو رله دارد، که مشخص می‌شود کانال ارتباطی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. شکل (۴-۱۶) عملکرد این روش را نشان می‌دهد.

شکل (۴-۱۶) حفاظت دیستانس به وسیله رله مجاز قطع کلید از نوع افزایش برد

یکی از مواردی که این روش استفاده می‌شود، حفاظت خطوط کوتاه می‌باشد. در این روش نسبت به قبل، مقاومت قوس بیشتر در نظر گرفته می‌شود. این روش برای خطوطی که خازن جبران سری نیز دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب که ناحیه A برابر ۱۲۰ درصد امپدانس خط تنظیم می‌شود. با این کار در صورت نبودن خازن سری، حفاظت وجود خواهد داشت. در صورتی که خازن سری نیز وارد سیستم شود، حفاظت به طور کاملتر انجام خواهد شد و مسئله ای به وجود نمی‌آید.

مثال (۹): در شکل زیر که بخشی از شبکه قدرت است، نوع حفاظت دیستانس از نوع افزایش برد قفل کننده است.

الف) اگر زاویه رله از نوع مهو برابر ۶۵ درجه باشد، ZONE A رله های دیستانس واقع در G و H را محاسبه کنید؟

$$Z_{GH} = ۶ < ۶۵^{\circ}\,\Omega$$

$$Z_{HR} = ۷ < ۶۵^{\circ}\,\Omega$$

$$Z_{RL} = ۵ < ۶۵^{\circ}\,\Omega$$

ب) اگر اتصال کوتاه با مقاومت $۱/۵\Omega$ در فاصله ۱۸٪ خط GH رخ دهد، آیا رله دیستانس در طرف G آن را در ناحیه ۱ خود می‌بینند؟

$$\text{UT ratio} = \frac{\frac{۲۰\text{k}\upsilon}{\sqrt{۳}}}{۱۱۵\upsilon}$$

$$\text{CT ratio} = \frac{۶۰۰}{۵}$$

ج) اگر خطا در فاصله ۲۰٪ خط GH و از طرف رخ دهد، آیا توسط رله با سیستم مخابراتی یاد شده، خطا دیده خواهد شد یا خیر؟

$$Zone_A(G) = 1/3 \times Z_{GH} = 1/3 \times 6\angle 65 = 7/8\angle 65$$

$$Zone_1(G) = 0/9 \times Z_{GH} = 0/9 \times 6\angle 65$$

$$3/5 + 0/8 \times 6\angle 65 = 7\angle 38^\circ = \frac{7}{\cos(65-28)}\angle 65^\circ = 7/86 > 7/8$$

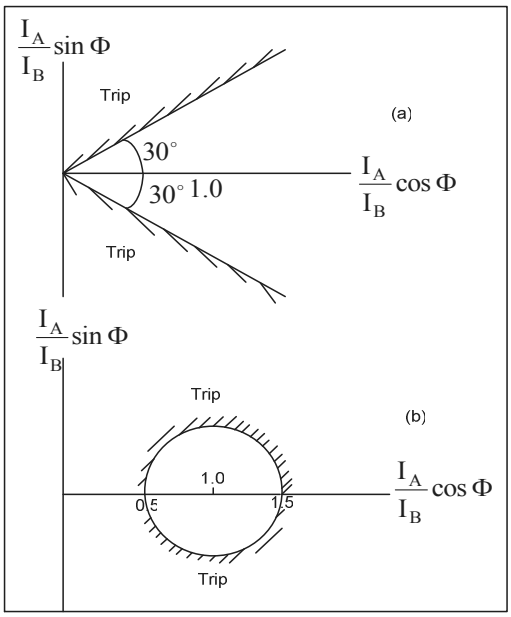
رله آن خطا را در Zone A نمی بیند.

۴-۳) خلاصه مطالب

مشخصه عملکرد رله های دیفرانسیلی مقایسه کننده زاویه فاز و رله های دیفرانسیلی مقایسه کننده زاویه و اندازه فاز در شکل بعد نشان داده شده اند. در این شکل، مرزهای عملکرد رله ها هاشور خورده اند.

آمپر دور خروجی هر دستگاه جمع کننده مرسوم، بر حسب مؤلفه‌های متقارن به شکل MI_0, NI_1, PI_2 قابل بیان است. بطوری که P,N,M به انتخاب مقادیر جمع کننده بستگی دارد. تحت شرایط ایده‌آل، نسبت مورد نیاز مقادیر مقایسه شده در دو انتهای B,A فیدر مورد حفاظت بر حسب فرمول زیر می‌باشد.

$$\frac{\text{IA}}{\text{IB}}\angle\Phi = \frac{\text{MI}_{\text{Ao}} + \text{NI}_{\text{A۱}} + \text{PI}_{\text{A۲}}}{\text{MI}_{\text{Bo}} + \text{NI}_{\text{B۱}} + \text{PI}_{\text{B۲}}}$$



مقادیر P,M,N ارجاع داده شده به فاز R برای ترانسفورماتور جمع کننده با نسبت تبدیل n:1:1 و نیز برای فیلتر توالی فاز هستند. برای انواع خطاها، جداول زیر تعیین کننده اندازه این پارامترها برای ترانسفورماتور مجموع و نیز فیلتر توالی فاز می‌باشد.

مقادیر P,M,N برای یک ترانسفورماتور مجموع 1:1:n

Type of fault	M	N	P
Shunt R-E, Y-B or Y-B-E Series R-phase	۳(n+1)	(h^2+۲)	(h+۲)
Shunt Y-E, B-R or B-R-E Series Y-phase	۳(n+1)	(۲h+۱)	($2h^2$+۱)
Shunt B-E, R-Y or Y-R-E Series B-phase	۳(n+1)	($2h^2$+h)	(h^2+2h)

مقادیر P,M,N برای یک فیلتر توالی فاز

Type of fault	M	N	P
R-phase R-E, Y-B or Y-B-E	۰	-1	6
Y-phase Y-E, B-R or B-R-E	۰	-h	$6h^2$
B-phase B-E, R-Y or Y-R-E	۰	$-h^2$	6h

در حفاظت پایلوت وایر، داریم:

$$Y'_{(p+c)} = -\frac{K\angle\delta}{B'} + \frac{A'}{B'}$$

$$Y'_{(p+c)} = -\frac{K\angle\delta}{B'} + \frac{(A+BY_c)}{B'} = -\frac{K\angle\delta}{B} + \frac{A}{B} + Y_c$$

$$Y_c = \frac{1-A}{B}$$

انواع حفاظتهای دیستانس به کمک خطوط مخابراتی عبارتند از:

۱- حفاظت دیستانس به کمک رله مجاز قطع کلید از نوع کاهش برد

۲- حفاظت دیستانس به وسیله دریافت مستقیم سیگنال قطع کلید

۳- حفاظت دیستانس به وسیله ناحیه توسعه یافته

۴- حفاظت دیستانس به وسیله رله مجاز قطع کلید از نوع افزایش برد

۵- ارسال فرمان قفل از نوع افزایش برد

۴-۴) مراجع

[1] Mohammad E. El-Hawary, "Electric Power Systems", Design and Analysis, Reston Publishing, A Prentice-Hall company, 1983.

[2] "Protection Systems Using Telecommunication", CIGRE, WG 34/35, February, 1987.

[3] "Tele-Protection", CIGRE, WG 34/35, March 1989.

[4] D. Jones, "Analysis and Protection of Electrical Power Systems", Wheeler Publishing, 1979.

[۱۷] حسین عسکریان ابیانه، اصغر رحیمی، "تست رله دیفرانسیل با مدلسازی دقیق ترانسفورماتورهای جریان"، هفتمین کنفرانس مهندسی برق ایران، ایران، اردیبهشت ۱۳۷۸.

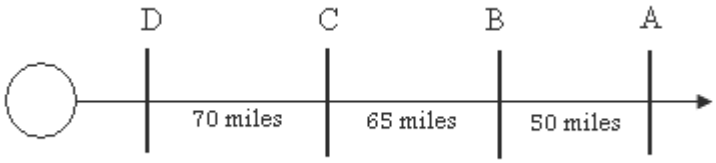
۴-۵) تمرینها

۱) اگر در سیستم پایلوت حفاظت دیفرانسیل بکار رفته برای خطی به طول ۱۲۰ کیلومتر، مدل خط به صورت π در نظر گرفته شود و امپدانس خط $0.1+0.4j$ بر حسب اهم بر کیلومتر باشد و خازن خط برابر 10^{-7} در هر طرف فرض شود، مقدار Y_C چقدر باشد تا جبران کامل در حفاظت پایلوت وایر استفاده شده انجام شود؟

۲) اگر در اثر وقوع خطای تکفاز B به زمین، جریان اتصال کوتاه در فاز B در دو سمت خط انتقال به صورت $I_A = ۱۳۴۶A$ و $I_B = ۱۲۷۶A$ باشد، در دو حالت که خطا در داخل و خارج ناحیه حفاظتی رله دیفرانسیل رخ دهد، و در صورت استفاده از رله مقایسه زاویه فاز، عملکرد یا پایداری رله را تحقیق نمایید؟

۳) شبکه ساده زیر را در نظر بگیرید. بین باسهای D و C حفاظت دیفرانسیل بکار رفته است. حفاظت دیستانس برای حفاظت قسمتهای دیگر سیستم استفاده شده است.

$$CTrotio = \frac{۴۰۰}{۵}$$



$$Z = ۰/۷ \Omega/\text{mile}$$
$$I_l = ۱۰۰A$$

جریان‌های اتصال کوتاه در شبکه‌های شبکه به صورت

D	C	B	A
۸۰۰A	۷۰۰A	۶۰۰A	۵۰۰A

می‌باشد. برای وقوع خطایی در فاز Y به زمین با مقاومت ۲،۵ اهم در فاصله ۲۰ مایلی از شین C در فیدر CB ،

الف) پایداری رله دیفرانسیل را بررسی نمایید.

ب) رله دیستانس مستقر در C و B در چه ناحیه ای خطا را می‌بینند؟

ج) اگر حفاظت دیستانس دارای آرایش ارتباط مخابراتی باشد، و از تنظیم Overreach استفاده کند، تنظیم لازم برای آن را بیابید؟

۴) اگر برای حفاظت خط سه ترمیناله شکل زیر از حفاظت دیفرانسیل استفاده شود،

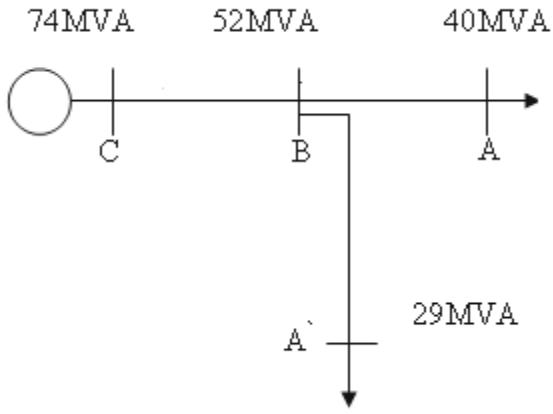
الف) مشخصه عملکرد آن را رسم کنید؟

ب) اگر یکی از خطوط A یا A’ قطع شوند، مشخصه چه تغییری خواهد نمود؟

ج) در حالت وقوع اتصال کوتاهی در وسط قطعه خط BA، در صورتی که تغییر سطح اتصال کوتاه خطی فرض شود، و جریان اتصال کوتاه تامین شده از سمت شینهای A و A’ با هم برابر و هر کدام ربع سهم منبع باشد، نقطه کاری را در منحنی عملکرد رله نشان دهید؟

د) با استفاده از این مثال چگونگی مکانیزم عملکرد رله دیفرانسیلی چند ترمینالـه را نتیجه گیری نمایید.

ه) حفاظت باس بار تعمیمی از این حالت می‌باشد. به صورت تحلیلی تعیین کنید در حفاظت باس بار چگونه حفاظت دیفرانسیل اعمال می‌گردد؟



۵) اگر در یک حفاظت دیفرانسیل از ترانسفورماتور مجموع با نسبت دور ۱:۱:۳ استفاده شده باشد و تنظیم رله برای خطای تکفاز A به زمین برابر ۴۰ درصد باشد،

الف) تنظیم را برای خطای B به C بیابید؟

ب) اگر ترانسفورماتور مجموع دارای نسبت دور ۱:۱:۴ باشد، تنظیم برای خطای B به C چگونه خواهد بود؟

ج) میزان تغییر در تنظیم بین خطاهای مختلف در کدام حالت بیشتر است؟

۶) مسئله مطرح شده در مثال (۹) را با فرض اینکه F در وسط خط باشد، حل کنید؟ بار دیگر F را بعد از B فرض کنید و مسئله را حل کنید؟

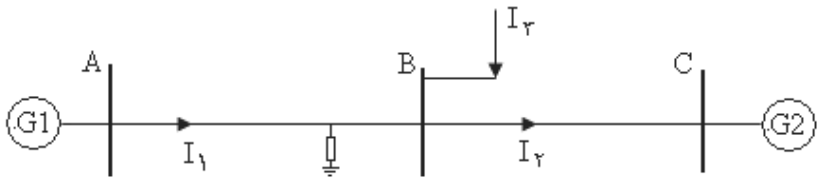
۷) مسئله مطرح شده در مثال (۹) را برای وقتی که تغذیه در طرف دیگر شبکه وجود داشته باشد، حل کنید؟

$$\begin{cases} Z_{G_1} = ۵ < ۶۵ \\ Z_{S_1} = ۳ < ۶۵ \end{cases}$$

۸) تمرین قبل را برای وقتی که زاویه رله مهو 45° باشد، حل کنید؟

۹) چنانچه شرایط مسئله مطرح شده در مثال (۹) حاکم باشد و اتصال کوتاهی به فاصله ۲/۳ از G و ۱/۳ از H رخ دهد، حداکثر مقاومت خطایی که در این نقطه می‌تواند وجود داشته باشد تا خطا توسط رله‌های دیستانس (Gو H) و در Zone A آنها دیده شود، چقدر است؟

۱۰) در شکل زیر



این اطلاعات را در اختیار داریم:

$$Z_{AB} = ۷/۵\angle ۶۰ \qquad Z_{BC} = ۸/۵\angle ۶۰$$
$$Z_{G۱} = ۱/۵\angle ۶۰ \qquad Z_{G۲} = ۱/۵\angle ۶۰$$
$$VT = \frac{\frac{۲۰}{\sqrt{۳}}\text{kv}}{۱۱۵} \qquad GT. = \frac{۶۰۰}{۵}$$

برروی خط AB حفاظت دیستانس با مشخصه مهو با زاویه ۴۵ درجه و از نوع توسعه یافته و رله‌های جریان زیاد معمولی قرار داده شده است.

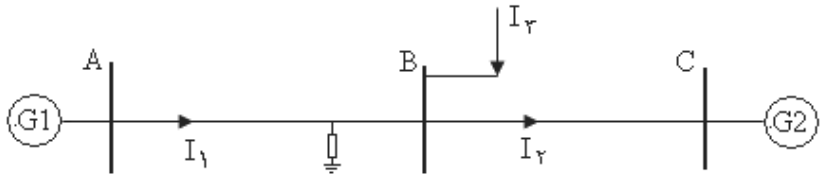
الف) ناحیه تنظیمی ۱و۲ رله دیستانس مستقر در پست A و روی خط AB را بیابید (با فرض اینکه $I_۳ = \frac{۱}{۳} I_۱$ باشد).

ب) تنظیم‌های جریانی و زمانی رله‌های مستقر در پست A و روی خط AB، و مستقر در پست B و روی خط BC را بررسی نمایید. آیا ترکیب هماهنگی رله‌های جریان زیاد و دیستانس مستقر در B, A تغییری در تنظیم‌های زمانی، جریان و امپدانس خواهد داد یا خیر؟ جریان بار در خطوط AB و BC نصف جریان اتصال کوتاه سه فاز در شین‌های دور این خطوط فرض شود.

ج) اگر خازن سری معادل ۲ اهم در خط AB قرار گیرد آیا تغییری در زون A رله مستقر A و روی خط AB حاصل می‌شود یا نه؟

د) با فرض اینکه اتصال کوتاهی با مقاومت ۶ اهم در فاصله $\frac{۲}{۳}$ خط AB و از A رخ دهد آیا رله مهو توسعه یافته می‌تواند این اتصال کوتاه را ببیند یا خیر؟

۱۱) در شکل زیر بر روی خط AB حفاظت دیستانس با مشخصه مهو با زاویه ۴۵ و از نوع توسعه یافته و رله‌های جریان زیاد معمولی قرار داده شده است.



$$Z_{AB} = ۸\angle ۶۰^\circ \qquad Z_{BC} = ۸\angle ۷۰^\circ$$

$$Z_{G۱} = ۱/۴\angle ۷۰^\circ \qquad Z_{G۲} = ۱/۴\angle ۷۰^\circ$$

$$VT = \frac{\frac{۲۰}{\sqrt{۳}}}{۱۱۵} \qquad CT.\frac{۶۰۰}{۵}$$

الف) دو ناحیه تنظیمی ۱و۲ رله دیستانس مستقر در پست A و روی خط AB را بیابید. با فرض آنکه $I_{۳} = \frac{۲}{۳} I_{۱}$ باشد.

ب) تنظیم‌های جریانی و زمانی رله‌های مستقر در پست A و روی خط AB، و مستقر در پست B و روی خط BC را بررسی نمایید. آیا ترکیب هماهنگی رله‌های جریان زیاد وایستانس مستقر در A و B تغییری در تنظیم‌های الف و ب زمانی، جریانی و امپدانسی خواهد داد یا خیر؟ جریان بار در خطوط AB و BC نصف جریان اتصال کوتاه سه فاز در شین‌های دور این خطوط فرض شود.

ج) با فرض اینکه اتصال کوتاهی با مقاومت ۱۵ اهم در $\frac{۲}{۳}$ خط AB از A رخ دهد آیا رله مهو توسعه یافته آن را می‌بیند؟