

۱۴) استفاده از سیستم‌های پایلوتی در حفاظت دیفرانسیلی

خطوط با طول کوتاه و کاربرد سیستم مخابراتی در حفاظت

دیستانس

(۱-۴) مقدمه

به منظور رفع خطا در زمان کم برای نواحی با طول کوتاه، یعنی ژنراتورها و ترانسفورماتورهای قدرت، از حفاظت دیفرانسیلی جریان گردشی استفاده می‌شود. این رله‌ها از نوع واحد بوده و سیگنال عملکرد را از ثانویه دو ترانسفورماتور جریان که در دو طرف ژنراتور یا ترانسفورماتور نصب شده‌اند، دریافت می‌کنند. به عبارت دیگر، وقتی خطا در داخل ناحیه حفاظتی اتفاق می‌افتد، جریان عبوری از رله زیاد می‌شود و سبب عملکرد رله حفاظتی می‌گردد. هنگامی که خطا در خارج ناحیه حفاظتی باشد، دو جریانی که از رله عبور می‌کنند یکدیگر را خنثی کرده و رله عمل نمی‌کند [۱].

برای حفاظت اصلی خطوط با فواصل کوتاه (فیدرها) مثلاً حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر، می‌توان از نوعی حفاظت دیفرانسیلی که به حفاظت دیفرانسیلی پایلوتی معروف است، استفاده کرد. سیستم‌های ارتباطی در حفاظت دیفرانسیلی پایلوتی خط بر دو نوع‌اند:

الف) استفاده از پایلوت وایر، که باید راهی برای یافتن ادمیتانس جبران آن ایجاد شود. در این نوع ارتباط یک سیگنال به وسیله سیستم مخابراتی و به کمک سیم، انتقال داده می‌شود.

ب) استفاده از امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا. در این نوع ارتباط از فرکانس‌های بالا استفاده شده و اطلاعات ورودی مدوله و ارسال می‌گردد. موج حامل یا کریر معمولاً دارای فرکانس بیشتری نسبت به سیگنال ورودی است. هدف استفاده از موج حامل، انتقال اطلاعات در قالب یک موج الکترومغناطیسی داخل فضا است [۲و۳].

۱-۱-۴) حفاظت دیفرانسیلی خط با طول کوتاه

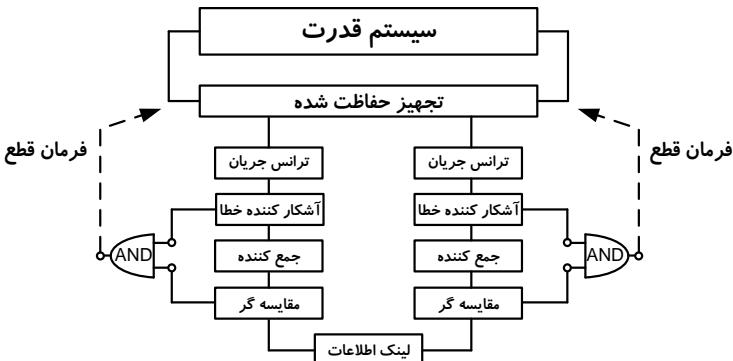
عملکرد سیستم‌های قدرت جدید بصورتی است که نواحی حفاظتی نوع واحد با هم تداخل و همپوشانی دارند. به طوری که هیچ قسمتی از سیستم قدرت بدون حفاظت نمی‌باشد. در این سیستم‌های قدرت و در هنگام بروز خطا، فقط منطقه‌ای که شامل خطا است قطع می‌گردد. به این نوع عملکرد سیستم قدرت انتخاب‌گری مطلق می‌گویند. اگر سیستم حفاظتی دارای انتخاب‌گری مطلق باشد، یعنی فقط منطقه‌ای که تحت خطاست قطع شده باشد، قابلیت اطمینان آن سیستم قدرت بالاست. یعنی سیستم حفاظتی فقط در قسمت خطا دیده عمل کرده و آن را بیرون خواهد برد. رله دیفرانسیل، رله REF^1 و رله بوخهلز که هر کدام بصورت منطقه‌ای عمل می‌نمایند، از نوع حفاظت یاد شده یا حفاظت واحد هستند [۲].

طرح‌های پایلوت وایر که برای حفاظت خط به کار می‌روند، به‌طور عادی به طول ۲۵ کیلومتر محدود می‌شوند. مقایسه بین مقدار و زاویه فاز جریان‌ها در دو طرف خط حفاظت شده به کمک وسایل جمع‌کننده انجام می‌شود. این جمع‌کننده‌ها، مقایسه برابری یا عدم برابری سه‌فاز را در یک مبنای تک‌فاز مقدور

می سازند. طرح های مقایسه فاز با استفاده از امواج کریر برای خطوط طولانی استفاده می گردد. اگرچه تجهیزات به کار رفته در طرح های پایلوت وایر و طرح های مقایسه فاز با استفاده از کریر با هم متفاوتند، ولی هر دو از لحاظ سیستم مقایسه بصورت مقایسه انتها-انتها می باشند. در طرح های مقایسه فاز با استفاده از امواج کریر، اطلاعات به سیگنال های فرکانس بالا تبدیل می شوند. این امر انتقال آن ها را در مسافت های زیاد، بر روی خطوط انتقال ممکن می سازد. در طرح های مقایسه فاز با استفاده از امواج کریر همچون طرح های پایلوت وایر، از وسائل جمع کننده برای تبدیل مقادیر سه فاز به مقادیر تک فاز استفاده می شود.

المان های اساسی حفاظت دیفرانسیل خط در شکل (۱-۴) نشان داده شده

است.



شکل (۱-۴): بلوك دیاگرام حفاظت دیفرانسیل

| ترانسفورماتور جریان | آشکار کننده خطا | جمع کننده | مقایسه گر | لينک اطلاعات |
|---------------------|-----------------|-----------------------|------------|------------------|
| Current Transformer | Fault Detector | Summation Transformer | Comparator | Link Information |
| Data Link | | | | |
| لينک اطلاعات | آشکار کننده خطا | جمع کننده | مقایسه گر | Command Cut |

در دو طرف مدار مورد حفاظت، ترانسفورماتور جریان، آشکار کننده خطا و مقایسه گر قرار می گیرد و از لینک داده نیز برای تبادل اطلاعات استفاده می شود. عملکرد حفاظت دیفرانسیل بدین صورت است که CT ها جریان شبکه را به مقدار کوچکی تبدیل می کنند. سپس جریان های سه فاز که دارای مقدار کوچکی هستند وارد وسایل جمع کننده می شوند. وسایل جمع کننده جریان های سه فاز را به جریان یک فاز تبدیل می کنند و با این کار مقایسه این جریان ها ساده تر

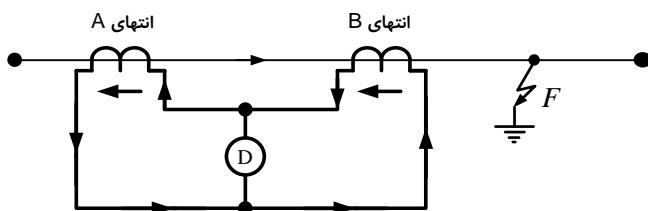
می‌گردد. در نهایت برای اعلام فرمان قطع در صورتی که واحد آشکارکننده خطا خطای را آشکار کرده باشد، نتیجه واحد مقایسه‌گر برای فرمان قطع استفاده خواهد شد. اطلاعات خروجی از جمع‌کننده‌ها با استفاده از لینک ارتباطی مبادله شده و توسط مقایسه‌گرها مقایسه می‌شود. المان آشکارساز خطا وظیفه تشخیص نوع خطا و محل آن را دارد. در صورتی که خطای اتفاق افتاده و داخل ناحیه مورد حفاظت باشد، سیستم حفاظتی دستور قطع مدار مورد حفاظت را از دو طرف صادر می‌کند[۴].

۲-۱-۴ عملکرد سیستم‌های حفاظتی پایلوتی

سیستم‌های حفاظتی دیفرانسیلی به دو صورت پیاده‌سازی می‌شوند[۴]:

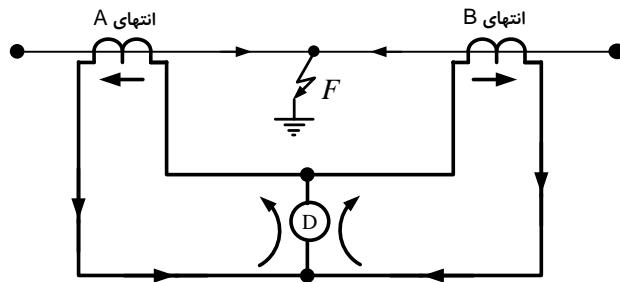
- ✓ جریان گردشی
- ✓ ولتاژ متقاضن

در حفاظت جریان گردشی دو ترانسفورماتور جریان در دو انتهای ناحیه مورد حفاظت قرار می‌گیرند. این دو بصورت سری متصل شده و جریان ثانویه بین آن‌ها می‌چرخد. اگر خطای خارج از ناحیه حفاظتی باشد، جریان‌های ثانویه دو CT یکدیگر را خنثی نموده و از رله جریانی عبور نمی‌کند. لذا رله به ازای خطاهای خارج از ناحیه حفاظتی مطابق شکل (۲-۴) عمل نخواهد نمود.



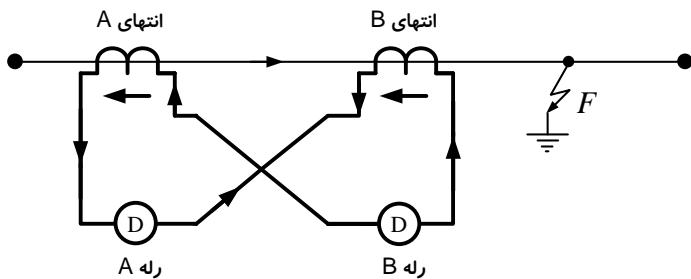
شکل (۲-۴): سیستم حفاظتی جریان گردشی با خطای خارج از ناحیه حفاظتی (پایدار) هنگامی که خطای در بین CT ‌ها و در واقع در ناحیه حفاظتی رخ دهد، رله عمل می‌کند. دلیل عملکرد رله این است که جهت جریان عبوری از ثانویه

یکی از CT ها تغییر کرده و تعادل جریانی به هم خورده است. در نتیجه جریان عبوری از رله صفر نبوده و مطابق شکل (۴-۳) موجب عملکرد آن می شود [۵].



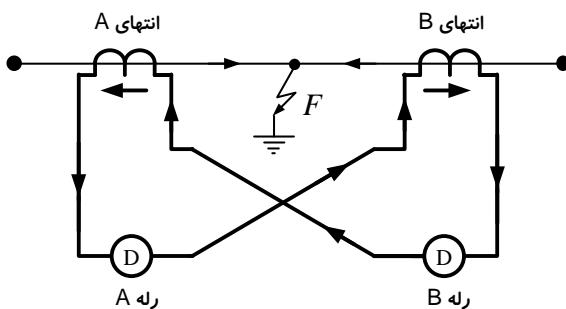
شکل (۴-۳): سیستم حفاظتی جریان گردشی با خطای داخل ناحیه حفاظتی

حال فرض کنید که از حفاظت جریان گردشی برای حفاظت خطوط استفاده شود و جریان ها وارد سیم های پایلوت شوند. در این حالت با توجه به طولانی بودن مسیر سیم های ارتباطی (پایلوت)، عملاً جریان از امپدانس بزرگی (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ اهم) عبور می کند. این امر باعث افت ولتاژ در خطوط پایلوت و مصرف زیاد روی ترانسفورماتور جریان خواهد شد. به عنوان نمونه در شرایط معمولی روی CT با مشخصات $1kVA$ و $1A$ در ثانویه، $1kV$ افت ولتاژ خواهیم داشت که چنین مقداری در یک شبکه ممکن نیست. توضیح آنکه اگر چنین سیستمی به خطوطی با طول های چندین کیلومتر متصل شود، به نیروی الکتروموتوری (EMF) زیادی نیاز است تا بتواند جریان گردشی حدود ۱ یا ۵ آمپر در بار کامل یا چندین بار نامی را در خطاهای خارجی در حلقه پایلوت به وجود آورد. این امر برای CT های معمولی غیر عملی می باشد. برای حل این مشکل مطابق شکل (۴-۴) از سیستم حفاظتی بالанс ولتاژ یا ولتاژ متقارن استفاده می شود [۶].



شکل (۴-۴): سیستم حفاظتی بالانس ولتاژ با خطای خارج از ناحیه حفاظتی (پایدار)

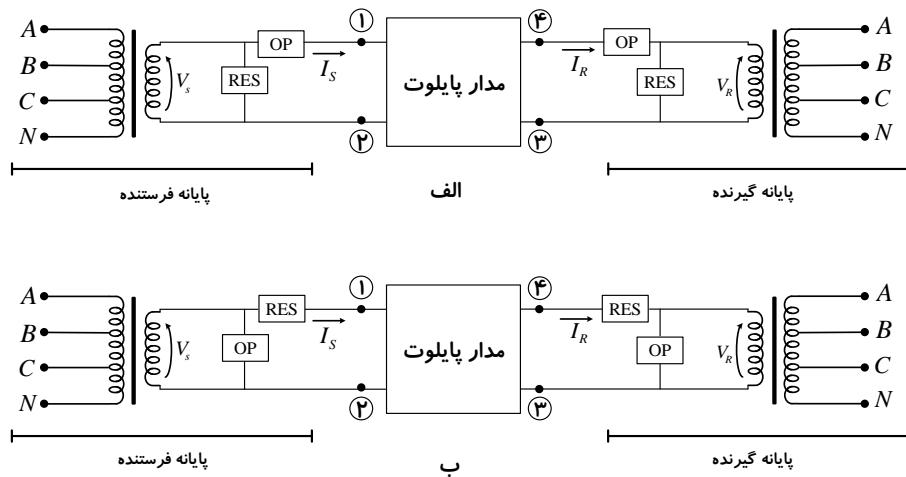
در این حالت با بروز خطای خارج از ناحیه حفاظتی و همچنین شرایط عادی شبکه، یک بالانس ولتاژ بین دو رله موجود در دو انتهای خط مورد حفاظت به وجود می‌آید. ولتاژهای به وجود آمده توسط جریان ثانویه ترانسفورماتورها با هم برابر و غیرهم‌علامتند. بنابراین هیچ جریانی در سیستم پایلوتی و رله‌ها راه نمی‌افتد و سیستم مورد حفاظت برای خطای خارج از ناحیه حفاظتی پایدار خواهد ماند. هنگامی که خطای در داخل ناحیه حفاظتی رخ دهد مطابق شکل (۴-۵) رله‌ها عمل خواهند نمود.



شکل (۴-۵): سیستم حفاظتی بالانس ولتاژ با خطای داخل ناحیه حفاظتی

باز از آنجایی که CT ‌های معمولی در طرح‌های بالانس ولتاژ به ثانویه مدار باز وصل شده‌اند و چنین شرایطی سبب افزایش حرارت CT می‌شود، ثانویه آن‌ها را به اولیه ترانسفورماتورهای جمع‌کننده وصل می‌کنند. در قسمتهای بعد ترانسفورماتورهای جمع‌کننده به‌طور کامل مورد بررسی قرار می‌گیرند [۷].

شکل (۶-۴) (الف) مدار یک طرح حفاظتی ولتاژ متقارن جبران نشده را نشان می‌دهد. رله سمت چپ مدار رله فرستنده^۱ و رله سمت راست رله گیرنده^۲ نامیده می‌شوند. مدار عملکرنده^۳ در این طرح دارای امپدانس کمی می‌باشد. در حالی که امپدانس مدار بازدارنده^۴ زیاد خواهد بود. زمانی این سیستم عمل می‌کند که آمپر دور مؤثر مدار عملکرنده بزرگتر از آمپر دور مؤثر مدار بازدارنده باشد [۸].



شکل (۶-۴): حفاظت پایلوت واير

(الف) طرح حفاظتی ولتاژ متقارن جبران نشده

(ب) طرح حفاظتی جریان گردشی جبران نشده

مدار اساسی یک طرح جریان گردشی جبران نشده نیز در شکل (۶-۴-ب) نشان داده شده است. به طوری که در آن جای مدارات بازدارنده و عملکرنده نسبت به حالت قبل عوض شده است.

1-Sender Relay

2-Receiver Relay

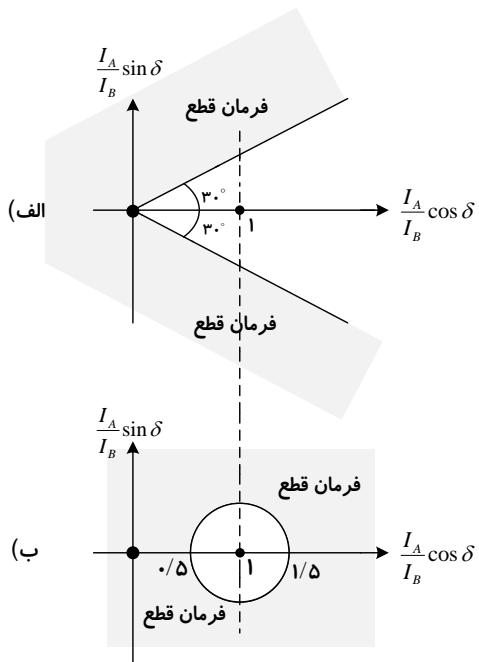
3-Tripping Circuit

4-Restraint Circuit

همان‌طور که ذکر گردید، روش حفاظتی ولتاژ متقارن برای حفاظت خطوط با طول کوتاه کاربرد گسترده‌ای دارد. روش حفاظت جریان گردشی دارای محدودیت‌هایی همچون طول پایلوت و خطی بودن جمع‌کننده‌ها است که روش ولتاژ متقارن یک چنین محدودیت‌هایی را ندارد. درنظر گرفتن مدار پایلوت در طرح‌های مهندسی عملی، امری ضروری است. در محاسبات طراحی، مدار پایلوت بر حسب پارامترهای A ، B ، C و D نمایش داده می‌شود که در قسمت‌های بعدی این فصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت [۴].

۳-۱-۴ مقایسه‌کننده‌ها

صرف‌نظر از روشهای مقایسه جریان ثانویه CT ‌ها استفاده می‌شود، می‌بایست از حفاظت سیستم در برابر تمامی خطاهای اعم از سری و موازی اطمینان حاصل شود. همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد، خروجی CT ‌ها به ورودی وسایل جمع‌کننده متصل می‌شود تا در خروجی این وسایل سیگنال‌های لازم برای وسایل حفاظتی فراهم شود. مشخصه ایده‌آل طرح‌های حفاظت دیفرانسیل خط با بالانس ولتاژ در شکل (۷-۴) نمایش داده شده است. در این شکل، مرزهای عملکرد دو نوع از مشخصه‌های رسم شده بر حسب نسبت مؤثر خروجی‌های جمع‌کننده در دو انتهای خط حفاظت شده نمایش داده شده‌اند. مشخصه خط راست، مقایسه‌کننده زاویه فاز را نشان می‌دهد و مشخصه دایره‌ای، بیانگر مقایسه‌کننده‌های زاویه و اندازه فاز می‌باشد.



شکل(۷-۱۴):(ا) مقایسه کننده زاویه فاز

(ب) مقایسه کننده دامنه و زاویه فاز

سیستم های کریر جریان به دلیل این که حساسیت سیگنال به نویز بالایی دارند و یا به عبارتی دامنه سیگنال در فضای آزاد به شدت تضعیف می گردد، مقایسه زاویه فاز خالص را به کار می گیرند. اما سیستم های پایلوت وایر می توانند هر دو مشخصه دایره ای (مقایسه کننده دامنه و فاز) و خط راست (مقایسه کننده فاز) را شامل شوند. در واقع کریر فقط زاویه فاز ابتدا و انتهای را مشخص می کند. ولی پایلوت وایر، هم زاویه و هم اندازه فاز را در ابتدا و انتهای مقایسه می کند. به طور ایده آل، ناحیه پایداری یک طرح حفاظت دیفرانسیل باید فقط نقطه یک با زاویه صفر را در صفحه مختلط $I_A/I_B \angle \delta$ دور بزند. در طرح های پایلوت وایر عملی چنین شرایط ایده آلی ممکن است به وجود نیاید.

مثال (۱-۳): اگر برای اتصال کوتاهی در شبکه، خروجی‌های وسایل جمع‌کننده در دو انتهای خط حفاظت شده بصورت زیر باشند، مشخص کنید رله برای این جریان‌ها عمل می‌کند یا خیر؟

$$\begin{cases} I_A = 105 \angle 0^\circ \\ I_B = 132 \angle 60^\circ \end{cases}$$

جواب:

برای جریان‌های I_A و I_B ، نسبت $\frac{I_A}{I_B}$ محاسبه می‌شود:

$$\frac{I_A}{I_B} = +0,397 - j0,688 = 0,79 \angle -60^\circ$$

مقایسه کننده دامنه و فاز: باید بررسی شود که این نقطه درون مشخصه دایره‌ای قرار می‌گیرد یا نه.

$$(x-1)^3 + y^3 \leq \frac{1}{4}$$

شرط عدم عملکرد:

$$(0,397-1)^3 + (-0,688)^3 = 0,837 > \frac{1}{4}$$

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

مقایسه کننده فاز: باید بررسی شود که این نقطه درون مشخصه خط راست قرار می‌گیرد یا نه.

$$x > 0, |x \operatorname{tg}(30^\circ)| \geq |y|$$

شرط عدم عملکرد:

$$|0,397 \times 0,577| = 0,229 \Rightarrow \begin{cases} |y| > |x \operatorname{tg}(30^\circ)| \\ x > 0 \end{cases}$$

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

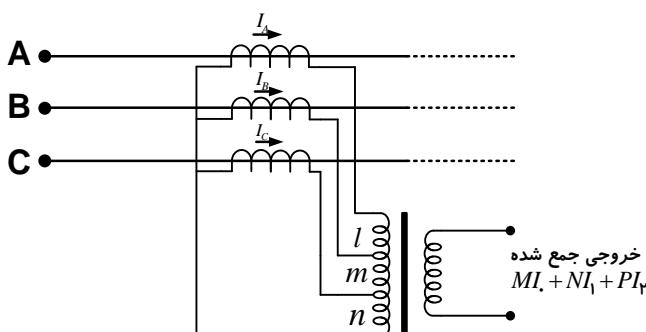
(۴-۱-۴) وسایل جمع‌کننده

آمپر دور خروجی هر دستگاه جمع‌کننده بر حسب مؤلفه‌های متقاضن به شکل MI_1 و MI_2 قابل بیان است. به طوری که M ، N و P به دستگاه

جمع کننده و همچنین فازهای متاثر از خطاب استگی دارند. تحت شرایط ایده‌آل، نسبت مقادیر مقایسه شده در دو انتهای خط مورد حفاظت بصورت رابطه (۱-۴) می‌باشد.

$$\frac{I_A}{I_B} \angle \delta = \frac{MI_{A\cdot} + NI_{A1} + PI_{A2}}{MI_{B\cdot} + NI_{B1} + PI_{B2}} \quad \dots \dots \dots \quad (1-4)$$

در این رابطه I_A و I_B جریان در دو طرف خط مورد حفاظت و $I_{A\cdot}$ ، I_{A1} و I_{A2} جریان‌های مؤلفه صفر، مثبت و منفی در ثانویه وسایل جمع کننده در طرف A می‌باشند. چنین شرایط ایده‌آلی بیان کننده خطی بودن وسایل جمع کننده و مبدل‌های جریان می‌باشد. بدین معنا که در یک طرح پایلوت وایر از نوع ولتاژ متقاضی یا بالанс ولتاژ، نسبت $\frac{V_A}{V_B}$ یعنی نیرو محرکه الکتریکی ثانویه ترانسفورماتور جریان جمع کننده، بصورت متناسب با نسبت $\frac{I_A}{I_B}$ ورودی‌های جریان جمع شده بوده که در ثانویه ترانسفورماتور جمع کننده و یا فیلتر توالی فاز حاصل شده است. یعنی از اشباع و محدودیت‌های ولتاژ اعمال شده صرف‌نظر شده است [۹]. به منظور یافتن مقادیر M ، N و P در یک ترانسفورماتور جمع کننده، شکل (۸-۴) را در نظر بگیرید.



شکل (۱-۴): ترانسفورماتور جمع کننده

در این ترانسفورماتور تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه با l ، m و n نشان داده شده است. در ترانسفورماتورهای جمع‌کننده عموماً تعداد دور دو سیم‌پیچ از سه سیم‌پیچ اولیه با هم برابر است. برای مثال می‌توان نسبت دور سیم‌پیچ‌ها در اولیه را با $1:n:1$ نشان داد. خروجی مؤثر از سیم‌پیچ ثانویه توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$(n+2)I_A + (n+1)I_B + nI_C \quad (3-4)$$

اگر این رابطه بر حسب مؤلفه‌های متقارن نوشته شود، داریم:

$$3(n+1)I_1 + (2+a^r)I_2 + (2+a)I_3 \quad (3-4)$$

که در آن a بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$a \equiv 1/\angle 120^\circ \quad (4-4)$$

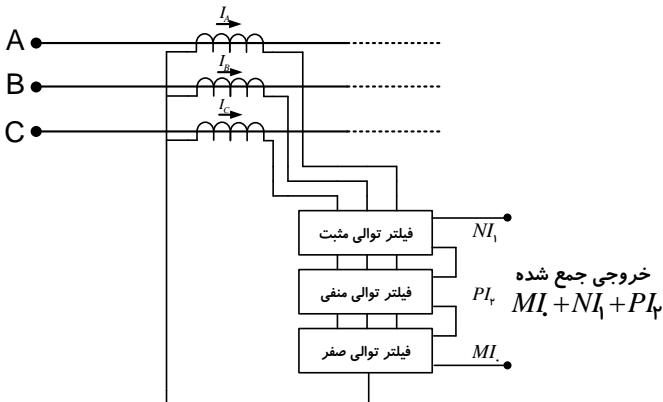
با در نظر گرفتن فاز A به عنوان فاز مبدأ، ثابت‌های M ، N و P را برای شرایط اتصالی فاز مبدأ یعنی اتصالی‌های $A-E$ (فاز به زمین)، $B-C$ (فاز-فاز)، $B-C-E$ (دو فاز به زمین)، قطع فاز A و ... تعریف می‌کنند. برای اتصالی‌های روی فازهای غیر از فاز مبدأ، ثابت‌های N و P در مقادیر $1/\angle 120^\circ$ و $a^r + 2 \angle 240^\circ$ ضرب می‌گردند. برای مثال N برای خطای شامل فاز A مقدار M را دارد. در حالی که این مقدار وقتی که چنین اتصالی‌هایی بر روی فاز B و C اتفاق بیفتند، به ترتیب برابر با aN و $a^r N$ می‌گردد که بر حسب فاز مبنای اتصال کوتاه شده محاسبه شده است. جدول (۱-۴) مقادیر M ، N و P را برای انواع گوناگون اتصال کوتاه‌های ارجاع داده شده به فاز A نشان داده است.

جدول (۱-۴): مقادیر M ، N و P ارجاع داده شده به فاز A برای ترانسفورماتور جمع‌کننده با

نسبت تبدیل $1:1:n$

| نوع خطای | M | N | P |
|-------------------------|----------|--------------|--------------|
| $B-C-E, B-C, A-E$ ، الف | $3(n+1)$ | $(a^r + 2)$ | $(2+a)$ |
| $C-A-E, C-A, B-E$ ، ب | $3(n+1)$ | $(2a+1)$ | $(2a^r+1)$ |
| $B-A-E, A-B, C-E$ ، ج | $3(n+1)$ | $(2a^r + a)$ | $(2a + a^r)$ |

اگر مطابق شکل زیر به جای ترانسفورماتور جمع‌کننده از فیلتر توالی فاز شکل (۹-۴) استفاده شود، رابطه (۳-۴) به فرم $I_1 + 6I_2 - I_3 = 0$ در می‌آید. یعنی برای اتصال کوتاه‌هایی شامل فاز مبنا، $M : N : P = 1 : 6 : 0$ را دارند.



شکل (۹-۴): فیلتر توالی فاز

برای اتصال کوتاه‌هایی شامل فازهای غیر از فاز مبنا (فاز A) مقادیر مطابق جدول (۲-۴) خواهد بود.

جدول (۲-۴): مقادیر M ، N و P برای یک فیلتر توالی فاز

| نوع خط | M | N | P |
|-------------------------|-----|--------|--------|
| $B-C-E, B-C, A-E$ ، الف | . | -1 | 6 |
| $C-A-E, C-A, B-E$ ، ب | . | -a | $6a^3$ |
| $B-A-E, A-B, C-E$ ، ج | . | $-a^3$ | $6a$ |

مثال (۳-۴): در یک سیستم حفاظت دیفرانسیلی پایلوتی، یک بار از ترانسفورماتور جمع‌کننده با نسبت $1 : 1 : 3$ و یک بار نیز از یک فیلتر توالی فاز استفاده شده است. در صورتی که یک خطای دو فاز به هم $C-A$ در شبکه تحت حفاظت اتفاق بیفتد، برای هر یک از دو وسیله جمع‌کننده نقطه کار را تعیین نموده و مشخص نمایید که در هر حالت رله به ازای خطای رخ داده عمل می‌کند یا خیر.

$$\begin{array}{ll} I_{A\cdot} = \bullet pu & I_{B\cdot} = j\bullet, 6579 pu \\ I_{A1} = -j1, 8519 pu & I_{B1} = -j2, 6017 pu \\ I_{A2} = +j1, 8519 pu & I_{B2} = +j1, 9438 pu \end{array}$$

جواب:

با توجه به داده‌های جدول(۱-۴) و جدول(۲-۴) می‌توان جدول زیر را تشکیل داد:

| فیلتر توالی فاز | ترانسفورماتور جمع‌کننده | نوع جمع‌کننده |
|----------------------|-------------------------|--------------------------------|
| . | $3(3+1) = 12$ | M |
| $-1\angle 12^\circ$ | $1+2\angle -120^\circ$ | N |
| $6\angle -120^\circ$ | $1+2\angle -120^\circ$ | P |
| $8,01-j6,48$ | $6,41$ | I_A |
| $7,84-j7,13$ | $7,87-j7,89$ | I_B |
| $0,97-j0,05$ | $0,4-j0,4$ | $I_A/I_B \angle \delta$ |
| عمل نمی‌کند | عمل می‌کند | مقایسه‌کننده دامنه و زاویه فاز |
| عمل نمی‌کند | عمل می‌کند | مقایسه‌کننده زاویه فاز |

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در صورتی که وسیله جمع‌کننده ترانسفورماتور باشد، رله به ازای خطای دو فاز به هم عمل می‌کند. در حالی که اگر از یک فیلتر توالی فاز استفاده شود، رله عمل نخواهد کرد.

- مثال(۳-۴): اگر یک سیستم حفاظت دیفرانسیلی با استفاده از ترانسفورماتور جمع‌کننده در دو انتهای یک خط موجود باشد،
- (الف) عبارتی برای آمپر دور خروجی ترانسفورماتور جمع‌کننده بر حسب نسبت دور ورودی بین تپ‌های اولیه و جریان‌های مؤلفه فاز C بدست آورید.
- (ب) در صورتی که فرض کنیم $I_{C1} = 4I_{C2}$ و $I_{C1} = 4I_C$ باشد، n را طوری بدست آورید که آمپر دور خروجی این ترانسفورماتور جمع‌کننده با نسبت دور $n:1:2$ برابر صفر گردد.

جواب:

الف) جریان های سه فاز بر حسب مؤلفه های متقارن فاز C عبارت است از:

$$I_A = I_{C.} + a^r I_{C1} + aI_{C2}$$

$$I_B = I_{C.} + aI_{C1} + a^r I_{C2}$$

$$I_C = I_{C.} + I_{C1} + I_{C2}$$

$$\text{آمپر دور خروجی} = (l + m + n)I_A + (m + n)I_B + nI_C$$

حال به جای I_A ، I_B و I_C بر حسب مؤلفه های متقارن فاز C قرار می دهیم:

$$I_A(l + m + n) + I_B(m + n) + I_C(n) =$$

$$(I_{A.} + I_{A1} + I_{A2})(l + m + n) + (I_{B.} + I_{B1} + I_{B2})(m + n) + (I_{C.} + I_{C1} + I_{C2})(n) =$$

$$(I_{C.} + a^r I_{C1} + aI_{C2})(l + m + n) + (I_{C.} + aI_{C1} + a^r I_{C2})(m + n) + (I_{C.} + I_{C1} + I_{C2})(n) =$$

$$I_{C.}(l + 2m + 3n) + I_{C1}(a^r l + a^r m + am) + I_{C2}(a^r m + am + al) =$$

$$I_{C.}(l + 2m + 3n) + I_{C1}(a^r l - m) + I_{C2}(al - m)$$

با در نظر گرفتن شرایط مثال در قسمت ب داریم:

$$I_{C.}(l + 2m + 3n) + I_{C1}(a^r l - m + al - m) = 0$$

$$\Rightarrow I_{C.}(l + 2m + 3n) = I_{C1}(l + 2m)$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C.}} = \frac{l + 2m + 3n}{l + 2m}$$

$$\Rightarrow \frac{I_{C1}}{I_{C.}} = \frac{1 + (2)(1/2) + (3)(n)}{1 + (2)(1/2)} = 4$$

$$\Rightarrow n = 3/4$$

۴-۱-۵ جبران در سیستم های حفاظتی پایلوت وایر ولتاژ

متقارن

طرح پایلوت وایر ولتاژ متقارن جبران نشده شکل (۶-۴-الف) را در نظر بگیرید. همان طور که در قسمت های قبل ذکر گردید، هنگامی که آمپر دور مدار عمل کننده از آمپر دور مدار بازدارنده بیشتر شود رله عمل خواهد نمود. با صرف نظر

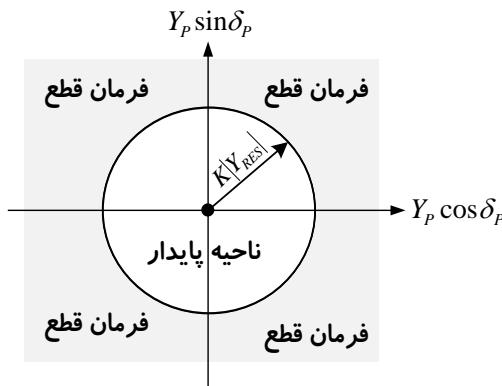
کردن از امپدانس مدار عملکرد، نقطه شروع عملکرد برای رله سمت راست یعنی رله گیرنده عبارت است از:

$$K_1 V_R Y_P \cong K_1 V_R Y_{RES} \quad \dots \quad (5-4)$$

که در آن Y_{RES} ادمیتانس مدار بازدارنده و Y_P ادمیتانس دیده شده توسط رله دریافت‌کننده از سمت مدار پایلوت و K_1 ضرایب ثابت می‌باشند. شرط عملکرد رله گیرنده را می‌توان بصورت زیر نیز بیان نمود:

$$\begin{cases} K_1 V_R Y_P > K_1 V_R Y_{RES} \\ |Y_P| > K |Y_{RES}| \end{cases} \quad \dots \quad (6-4)$$

این رابطه بدین معناست که مدارات مقایسه‌کننده زمانی فرمان قطع را صادر می‌کنند که اندازه ادمیتانس دیده شده از سمت مدار پایلوت مطابق شکل (۱۰-۴) بیشتر از $|K |Y_{RES}|$ شود.



شکل (۱۰-۴): مشخصه عملکرد در طرح پایلوت وایر ولتاژ متقارن

در طرح‌های ولتاژ متقارن عملی به جای مشخصه ادمیتانسی از مشخصه ولتاژی استفاده می‌گردد. یعنی به جای صفحه $Y_P \angle \delta_P$ با صفحه $\angle \delta$ سروکار داریم. در حالت پایدار سیستم، مقدار ادمیتانس دیده شده داخل مشخصه عملکرد شکل (۱۰-۴) قرار می‌گیرد که باید به نحوی مناسب بر روی مشخصه ولتاژی نگاشته شود.

برای مثال نقطه مرکز مشخصه ادمیتانسی یعنی $Y_p = 0$ که معادل امپدانس دیده شده بینهایت خواهد بود، بر روی نقطه $1\angle 0^\circ$ در صفحه $V_s/V_R \angle \delta$ که معادل $V_s = V_R$ است، منطبق خواهد شد. شرایط ایدهآل فوق در عمل برقرار نمی‌شود؛ یعنی ادمیتانس صفر بر نقطه $1\angle 0^\circ$ منطبق نخواهد شد. لذا لازم است که در یک طرح حفاظتی ولتاژ متقارن عملی از جبران‌کننده موازی استفاده شود. به‌طور کلی مدار باید طوری طراحی شود که کل مدار پایلوت جبران شده برای شرایط پایدار، ادمیتانس صفر را به رله‌ها اعمال کند. به منظور محاسبه جبران مورد نیاز، آرگومان Y_c در هر دو سمت مدار پایلوت بصورت یکسان در نظر گرفته شده و در ادامه مقدار آن تعیین می‌گردد.

از آنجایی که یک پایلوت متقارن فرض می‌شود، مشخصه رله‌های گیرنده و فرستنده توسط معکوس‌سازی بدست می‌آید. اگر A, B, C و D پارامترهای شبکه مدار پایلوت و A', B', C' و D' نیز پارامترهای نظیر برای مدار جبران‌شده باشند، در این صورت با صرفنظر کردن از امپدانس مدارهای عمل‌کننده سری و فرض جبران یکسان Y_c در هر دو انتهای داریم:

$$\begin{pmatrix} V_s \\ I_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y_c & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y_c & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_R \\ I_R \end{pmatrix} \quad (7-4)$$

و یا:

$$\begin{pmatrix} V_s \\ I_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_R \\ I_R \end{pmatrix}. \quad (8-4)$$

در نتیجه:

$$A' = A + BY_c \quad (9-4)$$

$$B' = B \quad (10-4)$$

$$C' = AY_c + C + Y_c(BY_c + D) \quad (11-4)$$

$$D' = BY_c + D \quad (12-4)$$

با توجه به روابط فوق، ولتاژ در سمت فرستنده برابر خواهد بود با:

$$V_S = A'V_R + B'I_R \quad (13-4)$$

همچنین رابطه بین ولتاژ فرستنده و گیرنده را می‌توان بصورت زیر تعریف نمود:

$$\frac{V_S}{V_R} = K\angle\delta \quad (14-4)$$

ادمیتانس Y'_{p+c} که توسط رله گیرنده دیده می‌شود، با توجه به روابط ساده مدار برابر خواهد بود با:

$$Y'_{p+c} = -\frac{I_R}{V_R} \quad (15-4)$$

از ترکیب سه رابطه فوق داریم:

$$K\angle\delta = A' - B'Y_{p+c} \quad (16-4)$$

در نتیجه مقدار امپدانس دیده شده توسط رله گیرنده را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$Y'_{p+c} = -\frac{K\angle\delta}{B'} + \frac{A'}{B'} \quad (17-4)$$

با جایگذاری به جای مقادیر A' و B' داریم:

$$Y'_{p+c} = -\frac{K\angle\delta}{B} + \frac{(A + BY_c)}{B} = -\frac{K\angle\delta}{B} + \frac{A}{B} + Y_c \quad (18-4)$$

در صورتی که جبران‌سازی بصورت کامل انجام شود، ادمیتانس دیده شده توسط رله گیرنده برابر صفر خواهد بود و بنابراین $K\angle\delta = 1\angle 0^\circ$ می‌گردد. از روابط قبل ملاحظه می‌شود که تحت این شرایط داریم:

$$A' = 1 \Rightarrow A + BY_c = 1\angle 0^\circ \quad (19-4)$$

لذا مقدار ادمیتانس جبران‌کننده برابر است با:

$$Y_c = \frac{1-A}{B} \quad (20-4)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که مقدار Y_c به پارامترهای A و B بستگی دارد. به منظور نگاشت صفحه ادمیتانس به صفحه ولتاژی می‌بایست ادمیتانس دیده

شده توسط رله گیرنده برای مبدأ صفحه ولتاژی یعنی $K\angle\delta = 0$ نیز معلوم باشد.
برای این منظور از معادلات قبلی داریم:

$$0 = A' - BY'_{p+c} \quad (21-4)$$

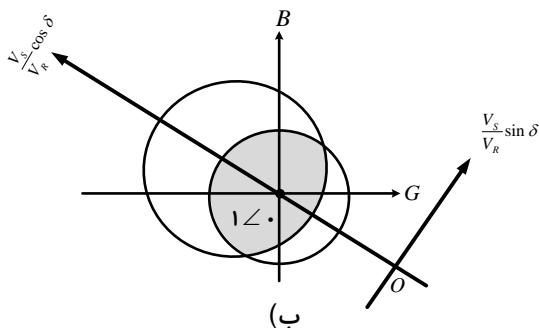
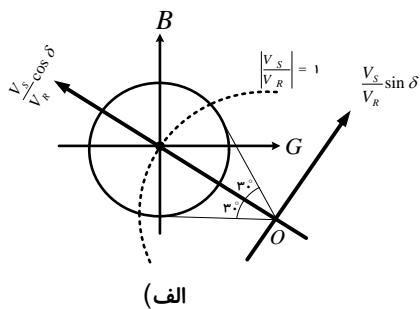
و یا:

$$Y'_{p+c} = + \frac{A'}{B'} = \frac{A + BY_c}{B} \quad (22-4)$$

در نتیجه با جایگذاری مقدار ادمیتانس جبران کننده داریم:

$$Y'_{p+c} = \frac{1}{B} \quad (23-4)$$

مطابق با این رابطه مبدأ مشخصه ولتاژی در نقطه‌ای است که ادمیتانس برابر $\frac{1}{B}$ خواهد بود. بنابراین مطابق با شکل (۱۱-۴-الف) دایره ایده‌آل با شعاع نیم، در صفحه ولتاژی شعاعی به اندازه $\frac{1}{2B}$ به همراه حد پایداری $\pm 30^\circ$ در صفحه ادمیتانسی خواهد داشت. در شکل (۱۱-۴-ب) نیز مشخصه‌های نقطه شروع رله‌های گیرنده و فرستنده نشان داده شده است.



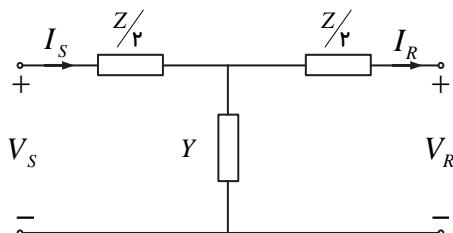
شکل (۱۴-۱): (الف) مشخصه و لذتازی که بر روی دیاگرام ادمیتانس جبران شده سوار شده است.

(ب) مشخصه های نقطه شروع رله های گیرنده و فرستنده

مثال (۱۴-۲): اگر مدار پایلوت در یک حفاظت دیفرانسیلی بصورت اتصال T بسته شده باشد و هر شاخه سری آن دارای مقاومت 5Ω و ادمیتانس شاخه موازی آن 4° از باشد، مقدار امپدانس جبرانساز چه اندازه باشد تا تضمین شود که ادمیتانس صفر در طرف رله گیرنده ظاهر می شود؟

جواب:

مدار معادل اتصال T بصورت شکل زیر خواهد بود:



در این صورت رابطه بین قسمت های فرستنده و گیرنده عبارتست از:

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R + Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) I_R$$

$$I_S = Y V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) I_R$$

بنابراین ماتریس انتقال این مدار برابر است با:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) \\ Y & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow Y_C = \frac{1 - A}{B} = \frac{1 - \left(1 + \frac{ZY}{2} \right)}{Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right)} = \frac{-Y/2}{1 + ZY/4}$$

با جایگذاری مقادیر Z و Y در رابطه ادمیتانس جبرانساز داریم:

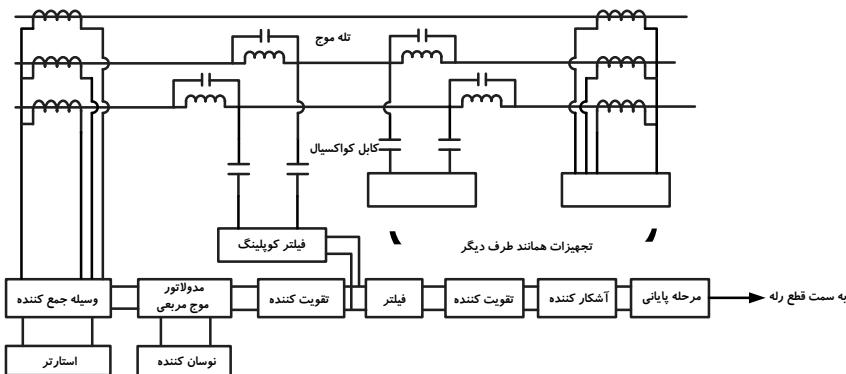
$$\Rightarrow Y_C = \frac{-2 \times j10^{-4}}{4 + 100 \times j10^{-4}} = -125 \times 10^{-4} - j5 \times 10^{-5}$$

۶-۱-۴ حفاظت دیفرانسیل جریانی با استفاده از کریر

در این روش از یک کanal جریان کریر که بر سیستم خطوط هوایی سوار شده است، استفاده می شود. بر خلاف طرح های پایلوت وایر که در آن مقایسه دامنه و فاز امکان پذیر است، در حفاظت دیفرانسیل جریانی با استفاده از کریر فقط از مقایسه فاز استفاده می شود. برای این منظور سیگنال هایی با فرکانس ۳۰۰-۴۰۰ kHz توسط خازن های فرکانس بالا بر روی خطوط قدرت سوار

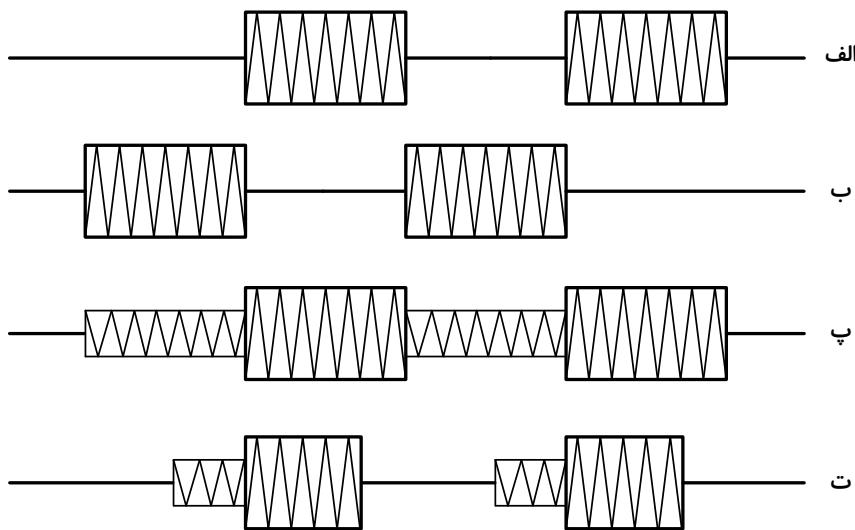
می‌شوند. سیگنال فرکانس بالا در ناحیه حفاظتی با استفاده از مدارهای تله موج دریافت وارد مدارهای مخابراتی می‌شود [۱۰۴].

در شکل (۱۲-۴) ترکیب اساسی تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی یک طرف خط همراه با تجهیزات کوپلاژ آن نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، یک وسیله جمع‌کننده مقادیر اولیه تنظیم را بدست آورده و در اختیار رله استارتر قرار می‌دهد. مقادیر تنظیم رله‌ها در هر دو انتهای خط برای مدولاسیون خروجی فرکانس بالا با استفاده از یک نوسان‌ساز استفاده می‌شود. به‌طوری‌که یک سری از بلوک‌های کریر نیم‌موج مطابق شکل (۱۳-۴) بدست می‌آید.



شکل (۱۲-۴): ترتیب قرار گرفتن بلوک‌های کریر

شکل (۱۳-۴) نمودار ساده طرح حفاظتی دیفرانسیل جریانی بر اساس کریر را نشان می‌دهد.



شکل(۱۳-۳): نمودار ساده طرح حفاظتی دیفرانسیل خط جریانی بر اساس کریر پلاریته مبدل های جریان طوری قرار گرفته اند که سیگنال های ایجاد شده در هریک از دو طرف خط به اندازه 180° اختلاف فاز دارند. سیگنال های تقویت شده از طریق کوپلرهای خط به طرف دیگر خط تغذیه می شوند. در شکل(۴)، قسمت (الف) نشان دهنده موجی است که توسط کریر ارسال می شود. قسمت (ب) شکل موجی است که در گیرنده تولید و برای طرف دیگر ارسال می گردد. سیگنال های گرفته شده با سیگنال های تولید شده در هر انتهای ترکیب می شوند. تحت شرایطی که خطا خارج از ناحیه حفاظتی رخ دهد، ترتیب سیگنال ها بصورت بهم پیوسته خواهد شد. بنابراین شکل موج (پ) مجموع دو موج (الف) و (ب) است وقتی سیستم سالم باشد. هنگامی که خطا در ناحیه حفاظت شده رخ دهد، مطابق قسمت (ت) ترکیب سیگنال ها به گونه ای است که پیوستگی از بین خواهد رفت. باید در نظر داشت که همه شکل موج های (الف) تا (ت) بصورت متناوب تکرار می شوند.

در عمل رله های استارتر دارای تنظیم های پائین و بالا هستند که این امر به منظور حفاظت در برابر عملکرد ناصحیح در اتصالی می باشد. رله با تنظیم پائین

قبل از این‌که جریان کریر منتقل شود می‌بایست عمل نماید و رله با تنظیم بالا مرتبه خروجی را برای فرمان قطع تهیه می‌کند. رله‌های استارتر ممکن است به شکل استارتر از نوع منفی، مثبت، صفر همراه با فیلترهای گذرا و یا استارترهای مبدل بایاس‌دار 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 زمانی که اتصالی در خارج از ناحیه بوجود بیاید به نقطه عملکرد می‌رسند. در حالت رفع چنین اتصالی، مقایسه‌گر می‌تواند در فاصله‌های زمانی قبل از زمان خاموشی استارتر مجددًا باعث عملکرد غلط در هنگامی که خط بار کمی دارد، گردد.

فاکتور دیگری که در هر طرح مقایسه زاویه فاز باید در نظر گرفته شود، تأثیر یک DC گذرا در جریان اتصالی می‌باشد. زیرا این عمل می‌تواند باعث کاهش یا توسعه طول بلوک‌های کریر شود. در حالت اتصال خارج ناحیه حفاظتی، بهم پیوستگی بلوک‌ها به علت کاهش در بلوک‌های نیمسیکل مثبت با گسترش نظیر در بلوک‌های نیمسیکل منفی خنثی می‌شود. با این حال برای اتصالی‌های داخلی ممکن است کاهش یا توسعه مشابه در هر یک از بلوک‌های بهم پیوسته اتفاق افتد. در مورد توسعه بلوک‌ها این امر تأثیر فزاینده بر زاویه پایداری دارد و ممکن است تأخیر یک سیکل قبل از این‌که عملکرد بتواند اتفاق بیفتد، نتیجه شود. در طرح‌های جریان کریر اولیه، کاتدهای حرارتی را به کار می‌گیرند. اما نوع ترانزیستوری آن‌ها امروزه کاربرد فراوان دارد و در طرح‌های عملی برای حفاظت خطوط انتقال هوایی به کار برده شده‌اند.

۲-۴) استفاده از سیستم های مخابراتی در حفاظت دیستانس خطوط

همان طور که در فصل یک ذکر گردید، زمانی که رله دیستانس به عنوان حفاظت یک خط انتخاب می‌گردد، همه قسمت‌های ناحیه ۱ و بخشی از ناحیه ۲ به عنوان حفاظت اصلی خط عمل می‌کنند. اگر خطا در ناحیه ۱ رله اتفاق بیفت، زمان قطع بسیار ناچیز و تقریباً آنی است. ولی چنانچه محل خطا بر روی خط اصلی و در ناحیه ۲ باشد، یک تأخیر زمانی در قطع وجود خواهد داشت. بدیهی است که رله دیستانس واقع در طرف دیگر خط، خطا را در ناحیه ۱ خود دیده و آن را بصورت آنی قطع خواهد نمود. برای از بین بردن این تأخیر زمانی از سیستم‌هایی شامل کanal ارتباطی بین رله‌های دیستانس دو طرف خط استفاده می‌شود. این سیستم‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود. در دسته اول سیگنالی جهت قطع کردن کلید طرف دیگر ارسال می‌شود و در دسته دوم سیگنال ارسال شده سبب قفل شدن رله طرف دیگر می‌شود^[۱]. برخی از انواع این سیستم‌ها که دارای اهمیت بیشتری هستند و در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند، عبارتند از:

حافظت دیستانس به کمک رله مجاز قطع کلید از نوع کاهاش برد^۱

حافظت دیستانس به وسیله دریافت مستقیم سیگنال قطع کلید^۲

حافظت دیستانس به وسیله ناحیه توسعه یافته (شتاب داده شده)^۳

حافظت دیستانس به وسیله رله مجاز قطع کلید از نوع افزایش برد^۴

1-Permissive under reach distance protection

2-Inter-tripping under reach distance protection

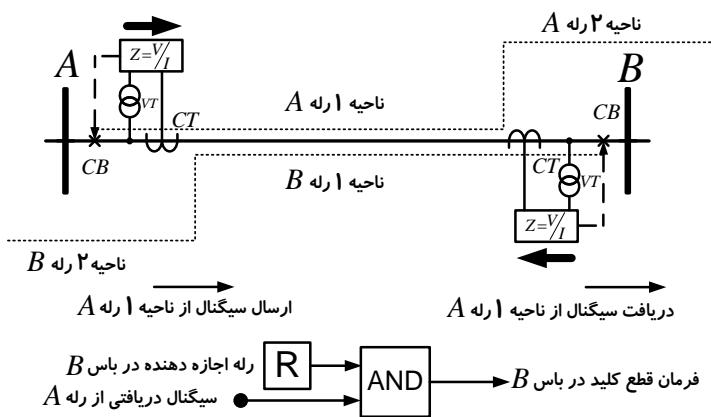
3-Accelerated under reach distance protection

4-Permissive over reach distance protection

^۱ حفاظت دیستانس به وسیله ارسال فرمان قفل از نوع افزایش برد

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

در این روش مطابق شکل(۱۴-۴) به ازای وقوع خطا نزدیک باس A و در ناحیه ۱ آن، رله A به سرعت عمل کرده و به موازات آن سیگنالی نیز به طرف رله B می‌فرستد. با رسیدن سیگنال ارسالی از رله A به رله B، در صورتی که رله B خطا را در ناحیه ۲ خود ببیند عمل خواهد نمود.



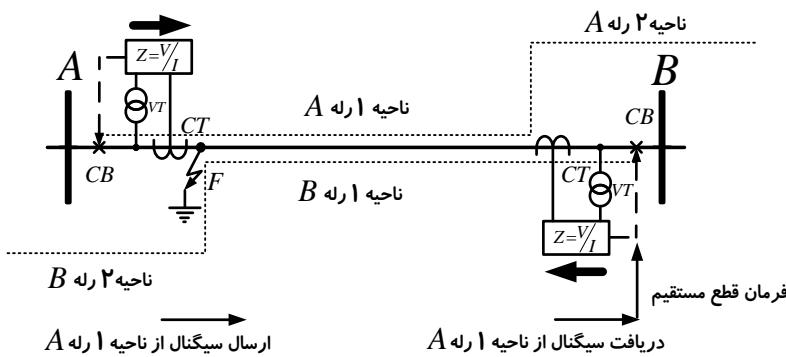
شکل(۱۴-۴): حفاظت دیستانس به کمک رله مجاز قطع کلید از نوع کاهش برد

در این روش تنها یک کانال ارتباطی از نوع ^۱PLC وجود دارد و سرعت عملکرد حفاظت اصلی نسبت به تأخیر موجود در ناحیه دوم بسیار بالا است.

۲-۲-۴ حفاظت دیستانس به وسیله دریافت مستقیم سیگنال

قطع کلید

در این روش با عمل کردن یکی از رله های طرفین خط، سیگنالی به طرف دیگر فرستاده شده و بدون هیچ ملاک و محدودیت دیگر سبب عملکرد رله طرف دیگر می شود. این روش به کاهش برد بدون استفاده از رله مجاز قطع کلید (روش مستقیم)^۱ نیز شناخته می شود. مطابق شکل (۱۵-۴) به ازای وقوع خطا در ناحیه ۱ رله A و ناحیه ۲ رله B، سیگنال قطع کلیدی که از رله A به رله B ارسال می گردد بصورت مستقیم باعث عملکرد رله B خواهد شد.



شکل (۱۵-۴): حفاظت دیستانس به وسیله دریافت مستقیم سیگنال قطع کلید

به دلیل آن که در این روش رله به وسیله سیگنال دریافتی عمل می کند، می بایست قابلیت اطمینان زیادی در نحوه ارسال سیگنال وجود داشته باشد و در نتیجه اغتشاش^۲ در این حالت اهمیت زیادی دارد.

1-Non-permissive under reach (direct method)

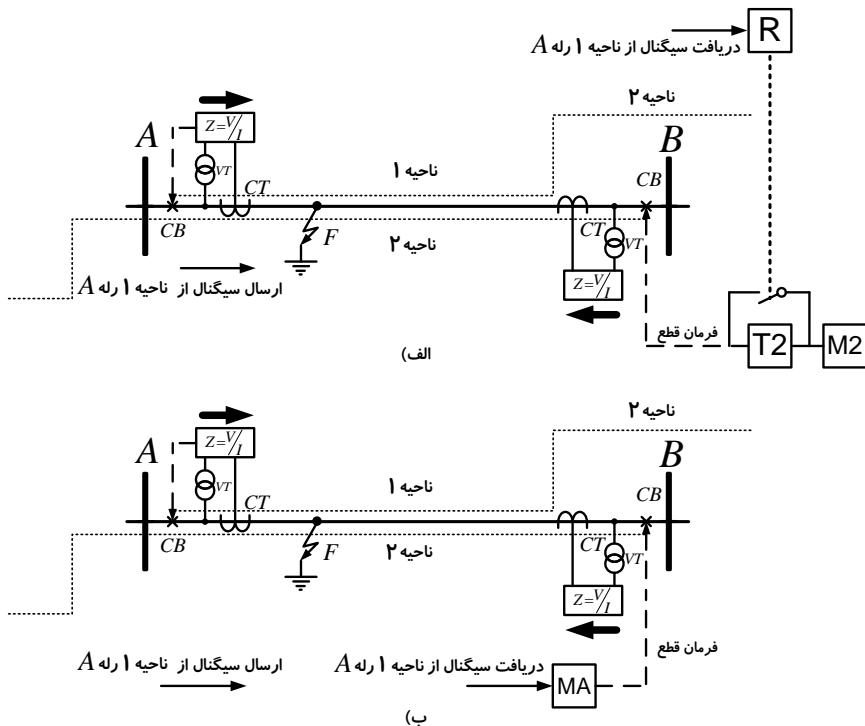
2-Noise

۳-۲-۴) حفاظت دیستانس به وسیله ناحیه توسعه یافته

حفاظت دیستانس به وسیله ناحیه توسعه یافته، شامل دو طرح حفاظتی بصورت زیر است:

الف- در طرح حفاظتی اول مطابق شکل(۱۶-۴-الف) زمانی که خطایی در ناحیه ۱ رله A و ناحیه ۲ رله B اتفاق می‌افتد، سیگنالی از طرف رله A به رله B ارسال می‌شود که باعث می‌گردد زمان تأخیر ناحیه ۲ رله B حذف شود. در این حالت رله B برای خطاها نزدیک به رله A که در ناحیه ۲ خود می‌بیند، در زمان بسیار کمی عمل خواهد نمود.

ب-در طرح حفاظتی دوم مطابق شکل(۱۶-۴-ب) زمانی که خطایی در ناحیه ۱ رله A و ناحیه ۲ رله B اتفاق می‌افتد، سیگنالی از طرف رله A به رله B ارسال می‌شود که باعث می‌گردد برد ناحیه ۱ رله B افزایش پیدا کرده و به طور متوسط ۱۳۰% طول خط و به طور کلی بین ۱۲۰% تا ۱۵۰% امپدانس خط را تحت پوشش قرار دهد. در این حالت به ناحیه ۱ رله A، ناحیه توسعه یافته یا ناحیه A^۱ گفته می‌شود.

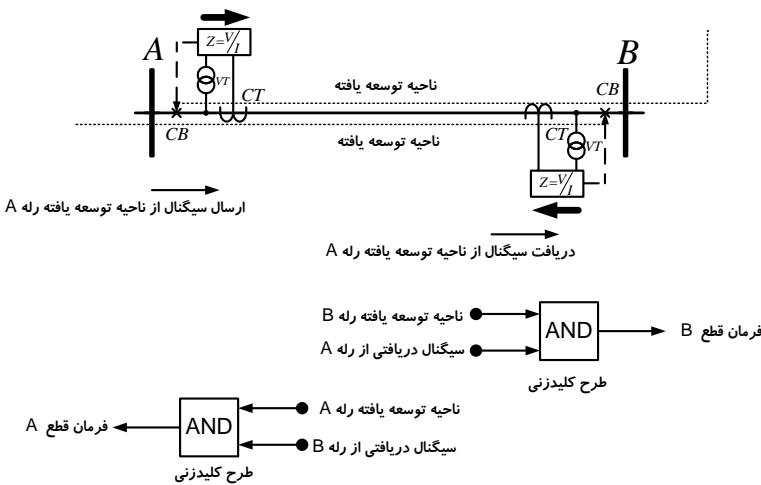


شکل (۴-۳۶): حفاظت دیستانس به وسیله ناحیه توسعه یافته

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

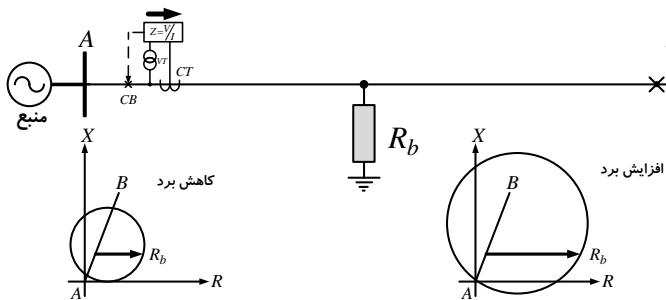
افزایش برد

مطابق شکل (۴-۳۶)، در این طرح حفاظتی برد ناحیه توسعه یافته (ZoneA) هر یک از رله ها به طور معمول بین ۱۲۰% تا ۱۵۰% امپدانس خط تعیین می شود. در این روش ناحیه توسعه یافته نه تنها موجب ارسال سیگنال به رله طرف دیگر می شود، بلکه ملاکی برای عملکرد هر رله نیز می باشد. در این روش عملکرد صحیح رله های دو طرف خط، به عملکرد صحیح ناحیه توسعه یافته هر دو رله وابسته است. بنابراین کanal ارتباطی در این روش از اهمیت زیادی برخوردار است.



شکل (۱۷-۱۶): حفاظت دیستانس به وسیله رله مجاز قطع کلید از نوع افزایش برد

از این روش برای حفاظت خطوط کوتاه، خطوطی که با خازن سری جبرانسازی شده‌اند و خطوطی که در آن‌ها خطاها بی‌با مقاومت زیاد اتفاق می‌افتد استفاده می‌شود. برای مثال زمانی که ناحیه توسعه یافته برابر ۱۲۰٪ امپدانس خط تنظیم شود، در صورت نبودن خازن سری حفاظت کافی وجود خواهد داشت (یعنی کل خط پوشش‌دار خواهد شد). همچنین هنگامی که خازن سری وارد سیستم شود نیز حفاظت به طور کاملتر انجام خواهد گرفت. یعنی ناحیه A در حد قابل توجهی از خط بعد را در نظر می‌گیرد که اطمینان از حفاظت کامل خط اصلی حاصل می‌شود. به عنوان یک مثال دیگر چگونگی پوشانده شدن اتصال کوتاه با مقاومت خط در طرح حفاظت دیستانس از نوع افزایش برد را در نظر می‌گیریم.

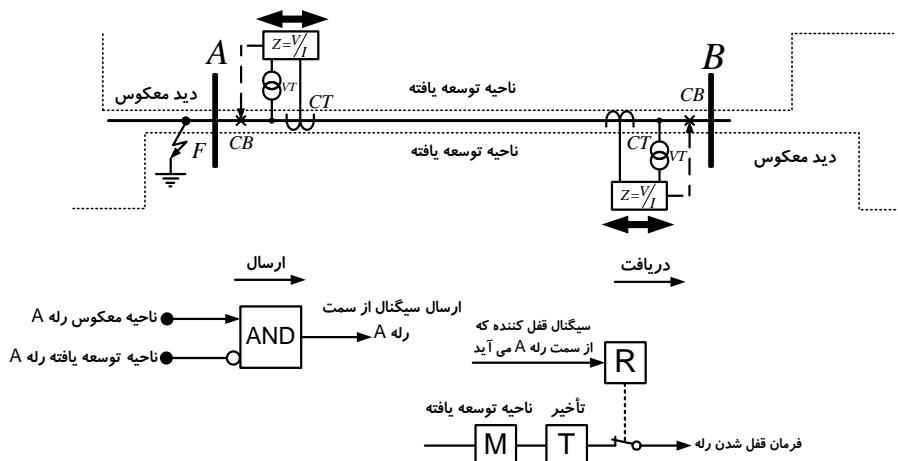


شکل(۱۱-۱۴): پوشانده شدن اتصال کوتاه با مقاومت خط در طرح حفاظت دیستانس از نوع افزایش برد

در شکل(۱۸-۴) دوایر نشان داده شده امپدانس تنظیمی رله دیستانس از نوع مهو را نشان می دهند. دایره با شعاع کوچکتر ۸۰٪ و دایره با شعاع بزرگتر ۱۲۰٪ امپدانس خط مورد حفاظت را می پوشانند. زمانی که خط داخل ناحیه حفاظتی مثلاً در ۷۰٪ امپدانس خط رخ دهد، در این حالت هم ناحیه ۱ و هم طرح با افزایش برد به درستی عمل خواهد نمود. در صورتی که خط در همان محل ولی با مقاومت R_b رخ دهد، طرح با افزایش برد این خط را خواهد دید در حالی که ناحیه ۱ قادر به تشخیص این خط خواهد بود. لذا می توان گفت طرح به کار رفته در این بخش و همچنین طرح های ارسال فرمان قفل از نوع افزایش برد و حفاظت دیستانس از نوع توسعه یافته و به طور کلی طرح های از نوع افزایش برد می توانند به خوبی خطاهای با مقاومت را حفاظت نمایند.

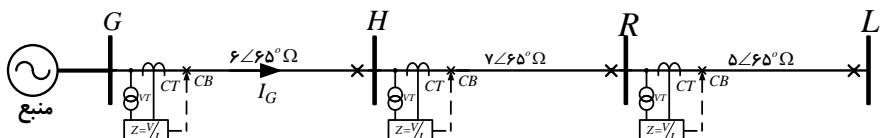
۵-۲-۴) حفاظت دیستانس به وسیله ارسال فرمان قفل از نوع افزایش برد

در روش قفل کننده، هر رله علاوه بر ناحیه توسعه یافته یک ناحیه معکوس نیز دارد. در صورتی که مطابق شکل(۱۹-۴) خطایی در ناحیه توسعه یافته رله باس B و در ناحیه معکوس رله باس A اتفاق افتاده باشد، سیگنالی از ناحیه معکوس رله باس A برای رله باس B ارسال شده و مانع از عملکرد آن می شود. در این روش ناحیه توسعه یافته رله B دارای تأخیر است و تا زمانی که سیگنال ارسالی از ناحیه معکوس رله باس A برسد و فرمان صحیح جهت عملکرد رله B صادر گردد، فرمان قطع صادر نخواهد شد. برای عملکرد صحیح این روش حفاظتی نیاز است که ناحیه معکوس هر رله از ناحیه توسعه یافته رله در طرف دیگر خط بیشتر باشد.



شکل (۱۹-۴): حفاظت دیستانس به وسیله ارسال فرمان قفل از نوع افزایش برد

مثال (۱۹-۵): در شکل زیر که بخشی از شبکه قدرت است، نوع حفاظت دیستانس از نوع افزایش برد قفل کننده بوده و زاویه رله دیستانس 65° است.



الف) ناحیه توسعه یافته رله‌های دیستانس واقع در G و H را محاسبه کنید.

ب) در صورتی که اتصال کوتاهی با مقاومت 3Ω در 75% خط GH رخ دهد، آیا رله دیستانس واقع در G آن را در ناحیه ۱ و یا ناحیه توسعه یافته خود خواهد دید؟

جواب:

(الف)

$$Z_{AG} = 1/\sqrt{3} \times Z_{GH} = 1/\sqrt{3} \times 6 \angle 65^\circ = 7.1 \angle 65^\circ$$

$$Z_{AH} = 1/\sqrt{3} \times Z_{HR} = 1/\sqrt{3} \times 7 \angle 65^\circ = 9.1 \angle 65^\circ$$

(ب)

$$Z_{IG} = 0.9 \times Z_{GH} = 0.9 \times 6 \angle 65^\circ = 5.4 \angle 65^\circ$$

امپدانس خطها برابر است با:

استفاده از سیستم های پایلوتوی در حفاظت دیفرانسیلی خطوط با طول کوتاه و کاربود سیستم مخابراتی در حفاظت دیستانس / ۱۶۳

$$3,5 + 0,75 \times 6 \angle 65^\circ = 6,75 \angle 37,05^\circ$$

$$\frac{6,75}{\cos(65 - 37,05)} \angle 65^\circ = 7,6 \angle 65^\circ$$

در نتیجه رله این خطای با مقاومت را در ناحیه ۱ خود نمی بیند اما در ناحیه توسعه یافته این خطا قابل روئیت خواهد بود.

۳-۴ خلاصه مطالب

(الف) مشخصه عملکرد رله‌های دیفرانسیلی بر دو نوع مقایسه‌کننده زاویه فاز و مقایسه‌کننده زاویه و اندازه فاز می‌باشد.

آمپر دور خروجی هر دستگاه جمع‌کننده بر حسب مؤلفه‌های متقارن به شکل MI ، NI_1 و PI_2 قابل بیان است. به طوری که N و P به انتخاب مقادیر جمع‌کننده بستگی دارند و برای خطاهای مختلف متفاوت می‌باشند. تحت شرایط ایده‌آل، نسبت مقادیر خروجی جمع‌کننده‌ها در دو انتهای خط مورد حفاظت بصورت زیر می‌باشد.

$$\frac{I_A}{I_B} \angle \delta = \frac{MI_{A\cdot} + NI_{A1} + PI_{A2}}{MI_{B\cdot} + NI_{B1} + PI_{B2}}$$

(ب) مقدار ادمیتانس جبران‌کننده در حفاظت پایلوت وایر برابر است با:

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

(ج) انواع حفاظت‌های دیستانس به کمک خطوط مخابراتی عبارتند از:

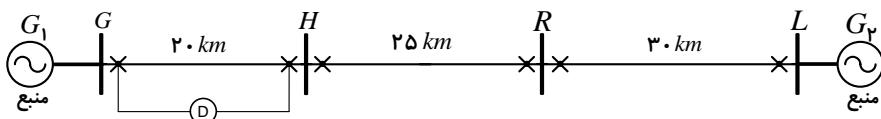
- ۱- حفاظت دیستانس به کمک رله مجاز قطع کلید از نوع کاہش برد
 - ۲- حفاظت دیستانس به وسیله دریافت مستقیم سیگنال قطع کلید
 - ۳- حفاظت دیستانس به وسیله ناحیه توسعه یافته (شتاب داده شده)
 - ۴- حفاظت دیستانس به وسیله رله مجاز قطع کلید از نوع افزایش برد
 - ۵- حفاظت دیستانس به وسیله ارسال فرمان قفل از نوع افزایش برد
- هدف عمدۀ این طرح‌ها پوشانیدن خطا در قسمت انتهای خط مورد حفاظت است. این روش‌ها سبب می‌شوند که رله بتواند در زمان کوتاهی عمل کند. طرح‌های نوع افزایش برد یعنی بندهای ۳ تا ۵ برای اتصال کوتاه‌های به همراه مقاومت مناسبند.

۴-۳) تمرین ها

۱) اگر در سیستم حفاظت دیفرانسیل به کار رفته برای خطی به طول ۵ کیلومتر، مدل خط بصورت π در نظر گرفته شود و امپدانس خط برابر با $\frac{4\Omega}{km}$ و خازن خط برابر با $10^{-7} \Omega$ 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 تک فاز C به زمین، جریان اتصال کوتاه در فاز C در دو سمت خط انتقال بصورت $I_A = -j27523 pu$ و $I_B = -j16822 pu$ باشد، در دو حالت استفاده از رله مقایسه زاویه فاز و رله مقایسه دامنه و زاویه فاز، عملکرد و پایداری رله را تحقیق نمایید.

۳) شبکه زیر را در نظر بگیرید. فرض کنید خط GH با حفاظت دیفرانسیلی محافظت شده است و سایر خطوط دارای حفاظت دیستانس می باشند. در خط GH برای سیستم رله بندی حفاظت دیفرانسیلی از وسایل جمع کننده شامل ترانسفورماتور جمع کننده با نسبت دورهای اولیه ۱:۴ و فیلتر توالی فاز با خروجی مناسب با $I_1 = 4I_2$ استفاده شده است. رله ها از نوع مهو با زاویه 45° بوده و امپدانس واحد طول برای همه خطوط یکسان است.



$$V_G = 1\angle 0^\circ$$

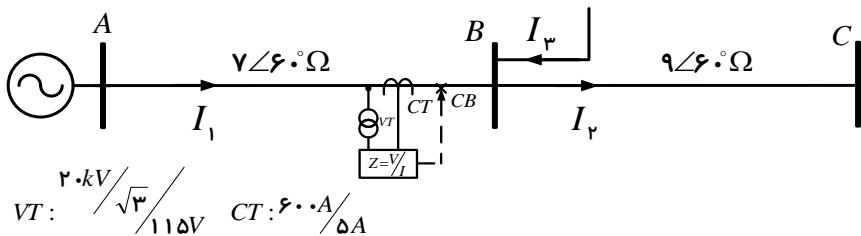
$$Z_{G1} = j0.03 pu, Z_{1G} = Z_{2G} = j0.06 pu$$

$$Z_{L1} = j0.38 pu, Z_{1L} = Z_{2L} = j0.15 pu$$

الف) برای وقوع خطایی در فاز B به زمین با مقاومت $0.02 pu$ در فاصله ۱۵ کیلومتری از بس H در خط GH، پایداری رله دیفرانسیل را بررسی نمایید.

- ب) پایداری رله دیفرانسیل را برای وقوع خطای فاز به فاز AC در فاصله 30% از بس H و در خط GH بررسی نمایید.
- ج) اگر حفاظت دیستانس خطوط HR و RL دارای آرایش ارتباط مخابراتی باشند و از تنظیم افزایش برد استفاده شود، تنظیمات لازم برای آن را بیابید.
- د) اگر اتصال کوتاهی به فاصله $\frac{2}{3}$ از G و $\frac{1}{3}$ از H رخ دهد، حداقل مقاومت خطایی که در این نقطه می‌تواند وجود داشته باشد تا خطا توسط رله‌های دیستانس موجود در بس‌های G و H و در ناحیه توسعه یافته آن‌ها دیده شود چقدر است؟

- ۴) در شکل زیر بر روی خط AB حفاظت دیستانس با مشخصه مهو با زاویه 45° قرار داده شده است.



- الف) دو ناحیه تنظیمی ۱ و ۲ رله دیستانس مستقر در پست A و روی خط AB را با فرض اینکه $I_f = \frac{1}{4} I_1$ بآشید، بیابید.
- ب) چنانچه رله دیستانس خط AB رله دیستانس با مشخصه مهو ذکر شده و از نوع افزایش برد قفل‌کننده باشد، تنظیم ناحیه توسعه یافته چه مقدار خواهد بود؟ ضمناً چگونگی عملکرد آن را تشریح نمایید.
- ج) اگر خازن سری معادل 2Ω در خط AB قرار گیرد، میزان تغییری که در انتهای ناحیه توسعه یافته رله دیستانس واقع در بس A حاصل می‌شود چقدر

است؟ در این صورت (با وجود خازن سری)، ناحیه توسعه یافته رله دیستانس واقع در بس A چند درصد (امپدانس خط + خازن سری) را خواهد دید؟
د) با فرض این که اتصال کوتاه سه فاز با مقاومت 4Ω روی خط AB و در فاصله $\frac{1}{4}$ از بس B رخ دهد، آیا رله مهו با مشخصه توسعه یافته می‌تواند این اتصال کوتاه را بیند؟

مراجع (۵-۴)

- [1] حسین عسکریان ابیانه با همکاری مهدی طالشیان جلودار، "حفظ و رله‌ها" انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲.
- [2] El-Hawary, M.E "Electric Power Systems: Design and Analysis", Wiley Publishing, IEEE Press Series on Power Engineering, 1995.
- [3] "Wi-Fi Protected Access for Protection and Automation a Work in Progress by CIGRE Working Group B5.22", IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, Atlanta, United States, pp. 2004 – 2011, November 2006.
- [4] Jones, D "Analysis and Protection of Electrical Power Systems", Pitman Publishing, 1971.
- [5] Hunt, R; Adamiak, M; King, A; McCreery, S "Application of Digital Radio for Distribution Pilot Protection", Conference Record of 54th Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference, Seattle, United States, pp. 238 – 245, June 2008.
- [6] Burzese, A.A; Appleyard, J.C; Banerjee, H.N; Barnett, C.W; Brandt, J; Bright, J.A; Burnett, R.O; Dempsey, R.W; Esztergalyos, J; Fernandez, R.J; Fohey, J; Fromen, C.W; Hauptmann, E.A; Lang, M; Mustaphi, K.K; Nail, G.R; Ohnesorge, R.W; Sage, E.T; Smith, H.S; Stephens, J.E; Taylor, R.P; Tyska, W.Z; Pope, J.W; Politis, A; Colwell, D.H "Pilot Relaying Performance Analysis: IEEE Committee Report", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, no. 1, pp. 85 – 102, January 1990.
- [7] Hewitson, L.G; Brown, M; Balakrishnan, R "Practical Power System Protection", Newnes Publishing, 2005.
- [8] Ward, S; Dahlin, T; Ince, B "Pilot Protection Communications Requirements", 57th Annual Conference for Protective Relay Engineers, Bled, Slovenia, pp. 350 - 391, April 2004.
- [9] "Tele-Protection", THE SECOND CG KO CIGRE SESSION, WG 34/35, May 2011.
- [10] Wei, C; Linlin, Z; Yong, B; Jin, K; Hui,W; Tangsheng, X "Unified Pilot Protection Based on Digital Communication System", 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, Weihai, China, pp. 885 – 889, July 2011.
- [11] Saha, M.M; Izykowski, J; Rosolowski, E; Bozek, M; "Adaptive Line Distance Protection with Compensation for Remote End Infeed", 9th International Conference on Developments in Power System Protection, Glasgow, Scotland, pp. 321 – 326, March 2008.