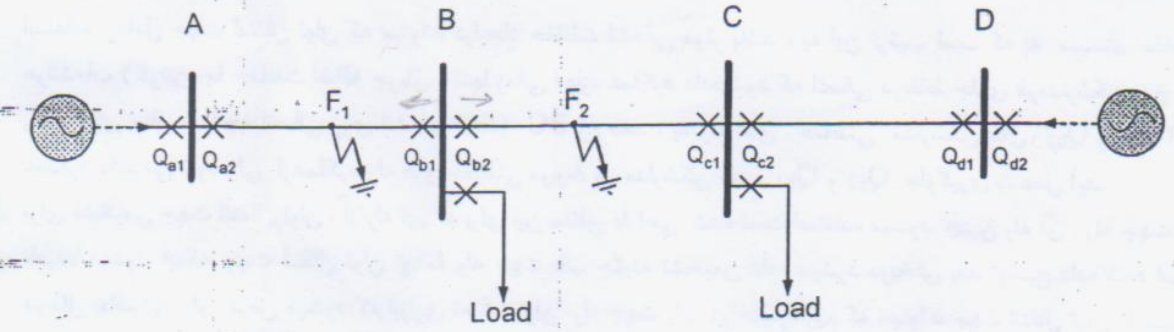
۳-۱۰- رله جهت‌یاب [1]

در شبکه شعاعی (یکسو تغذیه) هنگامیکه مدارشکن توسط رله باز می‌شود کلیه مصرف کننده‌هائی که پس از مدارشکن قرار دارند از مدار خارج می‌شوند. برای رفع این مشکل شبکه رینگ یا تغذیه از دو طرف راه حل مناسبی است. اما دراین صورت هر نقطه اتصالی نیز امکان تغذیه از دو مسیر را خواهد داشت. در چنین شبکه‌ای لازم است که برای هر خط دو مدارشکن در دو سر خط نصب گردد. شکل ۳-۱۶ چنین شبکه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۶ : درشبکه دو سو تغذیه قطع هر خط موجب بی برق شدن مصرف کننده ها نمیشود.

در چنین شبکه‌ای برای ایجاد یک حفاظت با قابلیت انتخاب ، برای اتصالی در نقطه‌ای مانند F_2 بایستی دو مدارشکن Q_{b2} , Q_{c1} توسط رله‌های مربوطه باز شود و به این ترتیب خط BC که درآن اتصالی رخ داده است از بقیهٔ شبکه جدا میشود بدون اینکه هیچ یک از مصرف‌کننده‌ها از مدار خارج شود. توجه شود که اگر دو مدارشکن Q_{b1} , Q_{c2} توسط رله های مربوطه بازشوند خطا ازشبکه رفع میگردد ولی درهمان حال مصرف کنندهائی که ازشینهای B وC تغذیه میشوند نیز بی برق خواهند شد که البته مطلوب نیست . از نظر حفاظت انتخابی اگر درهرخط از این شبکه خطائی رخ دهد حفاظت آن خط باید عمل نماید و مدارشکن های دو طرف همان خط را بازکند.

چنانچه از رله‌های اضافه جریان به منظور حفاظت شبکه‌ای مانند شکل بالا استفاده شود با کمی دقت ملاحظه می‌شود که نمی‌توان رله‌ها را به ترتیبی که در شبکه شعاعی یکسو تغذیه انجام شد، از نظر عملکرد با هم هماهنگ نمود. چون در شبکه بالا شین A یا D دیگر آخرین نقطه محسوب نمی‌گردد که هماهنگی از آن آغاز و به منبع ختم شود. از طرفی برای یک اتصالی در نقطه‌ای مانند F_2 جریان برای رله‌های Q_{b2},Q_{b1} یکسان است و چنانچه این دو رله از نظر زمانی با هم اختلاف نداشته باشند هر دو عمل کرده و مدارشکنهای مربوطه را بازمیکنند که مطلوب نیست. چنانچه این دو رله از نظر زمان عملکرد با هم اختلاف داشته باشند مثلاً رله Q_{b2} زودتر از Q_{b1} عمل نماید در اینصورت برای نقطه F_2 هماهنگی وجود دارد ولی برای اتصالی در نقطه‌ای مانند F_1 هماهنگی بین رله‌ها وجود نخواهد داشت. (چرا؟).

با در نظر گرفتن این مورد وموارد نظیر آن، این نتیجه حاصل می‌شود که برای اتصالی هائی که ازبیش یک مسیر امکان تغذیه وجود داشته باشد هماهنگی زمانی و جریانی رله‌های اضافه جریان به تنهائی نمی‌تواند حفاظت انتخابی را فراهم نماید. با توجه به ماهیت مسئله عامل سومی مانند موقعیتِ اتصالی می‌تواند عامل موثر در ایجاد حفاظت انتخابی باشد. اما موقعیت اتصالی چگونه قابل تعریف و تشخیص است . برای تشخیص موقعیت اتصالی ، برای هر مدارشکن که برروی یک انشعاب از شین نصب شده است جهت های قراردادی جلو و عقب تعریف میگردد. هنگامیکه انتقال توان ازسمت شین به سمت انشعاب باشد گفته میشود که جهت انتقال توان رو به جلو مدارشکن است و هنگامیکه انتقال توان از سمت انشعاب به سمت شین است ، جهت انتقال توان رو به عقب تعریف میگردد. برای روشن شدن این مفهوم به شکل ۳-۱۶ توجه شود . هنگامیکه اتصالی درنقطه ای مانند F_2 رخ میدهد ، انتقال توان

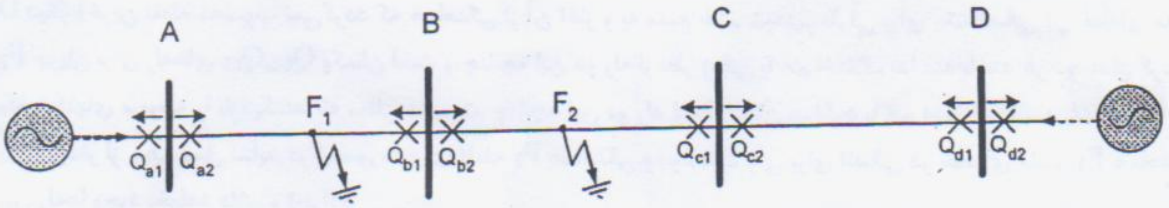
[1] Directional Relay

ازهردو منبع به طرف نقطه اتصالی صورت میگیرد. دراین صورت مدارشکن Q_{b1} ، انتقال توان را ازانشعاب به سمت شین می بیند درحالیکه مدارشکن Q_{b2} ، انتقال توان را از شین به سمت انشعاب می بیند. به این ترتیب گفته میشود که نقطه F_2 درپشت مدارشکن Q_{b1} و درجلو مدارشکن Q_{b2} واقع است . حال اگر اتصالی درنقطه ای مانند F_1 رخ دهد، مدارشکن Q_{b1} انتقال توان را ازشین به سمت انشعاب خواهد دید و دراین صورت این نقطه درجلوی این مدارشکن واقع میشود ، درحالیکه همین نقطه برای مدارشکن Q_{b2} درعقب آن واقع میشود. با تعریف نقاط جلو و عقب برای یک مدارشکن میتوان ملاحظه کرد که دریک شبکه دو سو تغذیه نقاط هر خط یا انشعاب درجلوی مدارشکن های دو سرآن خط واقع میشوند. درشکل ۳-۱۶ تمام نقاط خط BC ، درجلوی مدارشکنهای Q_{b2} و Q_{c1} واقع میشوند . درحالیکه از نظر مدارشکن های Q_{b1} و Q_{c2} ، تمام انشعاب مذکور درپشت سرواقع میشود.

استفاده ازعامل جهت انتقال توان که میتواند درایجاد حفاظت انتخابی موثر باشد ، به این ترتیب است که به سیستم حفاظتی هرانشعاب (دراین جا حفاظت اضافه جریان) تنها زمانی اجازه عملکرد داده شود که اتصالی درنقاط جلوی هرمدارشکن رخ داده باشد. برای مثال چنانچه اتصالی روی انشعاب (خط) BC رخ دهد ، به رله های حفاظتی مدارشکن های Q_{b2} و Q_{c1} اجازه عملکرد داده می شود ولی ازعملکرد رله های حفاظتی مربوط به مدارشکن های Q_{b1} و Q_{c2} جلوگیری به عمل آید.

برای تشخیص جهت انتقال توان ، از رله ای که برای این منظور طراحی شده است استفاده میشود. چنین رله ای ، رله جهت یاب نامیده میشود. اینکه جهت انتقال توان توسط رله جهت یاب چگونه تشخیص داده میشود دربخش بعد توضیح داده شده است . درحال حاضراین طور فرض میشود که ابزاری تحت عنوان رله جهت یاب دراختیارداریم که میتواند جهت انتقال توان را مشخص کند . به عبارت دیگر میتواند به هنگام بروز اتصال کوتاه درهرنقطه ازشبکه ، برای مدارشکن مشخص نماید که آن نقطه درجلوی مدارشکن واقع شده و یا درپشت سر. درصورتیکه درجلوی مدارشکن باشد ، اجازه عملکرد به رله حافظتی مربوط به آن مدارشکن داده میشود و درغیر این صورت از صدور فرمان قطع به مدارشکن جلوگیری میکند. هرمدارشکن که درسیستم حفاظت انشعاب مربوط به آن ، رله جهت یاب درنظر گرفته شده باشد ، مانند ناظری است که تنها برای اتصالی درنقاط جلوی خود عملکرد میتواند داشته باشد. دراین حالت گفته میشود رله های حفاظتی آن انشعاب تنها نقاط را به جلو را میتوانند ببینند و نقاط پشت سر از دید حفاظت انشعاب مربوطه خارج است.

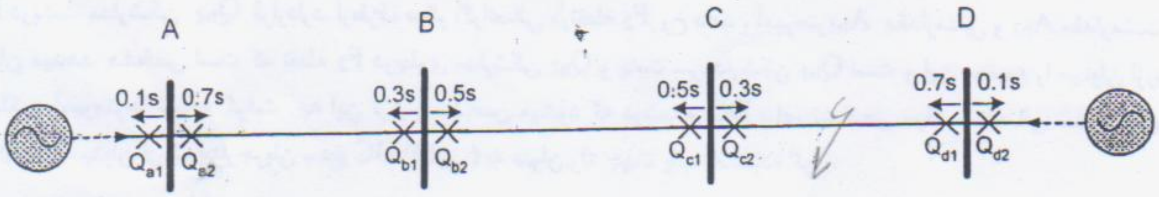
هررله اضافه جریان درشبکه دوسو تغذیه و یا هرشبکه ای که نقطه اتصالی درآن ، بیش ازیک مسیرتغذیه دارد ، با یک رله جهت یاب همراه می شود و حفاظت اضافه جریان جهت دار را تشکیل میدهد. رله اضافه جریان جهت دار، می‌تواند حفاظت موثر و انتخابی را درشبکه دو سو تغذیه تامین نماید. درشکل ۳-۱۷ وجود رله جهت یاب ، با پیکانهائی که بالای هرمدارشکن ترسیم شده ، مشخص شده است . جهت هرپیکان ازشین به سمت انشعاب است و بیانگراین است که مدارشکن مربوطه تنها زمانی ازطرف حفاظت انشعاب خود، فرمان قطع دریافت میکند که اتصالی درجلوی آن واقع شده باشد.



شکل ۳-۱۷: وجود ویژگی جهت یابی با علامت پیکان مشخص شده است .

بنابراین برای هماهنگ کردن رله‌ها در شبکه دو سر تغذیه، مدارشکنها را با وجود رله جهت‌یاب می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. هر دسته از مدارشکن ها دارای جهت رو به جلو می‌باشد بنابراین همانند یک شبکه شعاعی می‌توان رله‌های مربوطه را از انتها به ابتدا در هر دسته هماهنگ نمود. برای مثال در شکل مذکور مدارشکنهای $Q_{d1},Q_{c1},Q_{b1},Q_{a1}$ دسته اول و $Q_{d2},Q_{c2},Q_{b2},Q_{a2}$ دسته دوم را تشکیل می‌دهند. می‌توان تصور کرد که شبکه دو سو تغذیه به دو شبکه یک سو تغذیه تقسیم شده که طرف بار و طرف منبع در آنها قابل تشخیص است و می‌توان هماهنگی را انجام داد. درشکل ۳-۱۸، فرض شده است که رله های اضافه جریان جهت دار ازنوع زمان معین هستند . اگر رله حفاظتی نظیرمدارشکن Q_{a1} ، آخرین وسیله حفاظتی باشد زمان عملکرد آن ۰/۱

ثانیه و برای رله حفاظتی مدارشکن دیگر که باید با آن هماهنگ شود ، یعنی مدارشکن Q_{b1} ، زمان عملکرد ۰/۳ انتخاب شده است و به همین ترتیب سایر رله های موجود درطرح حفاظتی ازنظر زمان عملکرد بارله جلوترازخود هماهنگ شده است . زمان تنظیم شده برای عملکرد هررله در بالای مدارشکن نظیرآن نوشته شده است .



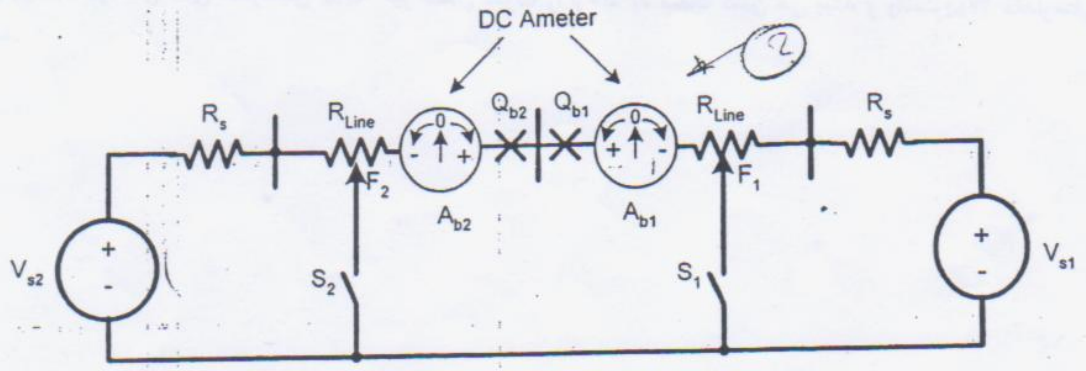
شکل ۳-۱۸ : هماهنگی رله های اضافه جریان جهت دارازنوع زمان معین درشبکه دوسوتغذیه

همچنانکه ازشکل ۳-۱۸ مشخص است ، درهر نقطه مفروض که اتصالی رخ دهد نزدیکترین مدارشکنها به آن نقطه عمل خواهند نمود . برای مثال چنانچه اتصالی روی خط CD رخ دهد، مدارشکن Q_{d1} بازمان ۰/۷ ثانیه ازسمت راست و مدارشکن Q_{c2} با زمان ۰/۳ ثانیه ازسمت چپ فرمان قطع دریافت نموده و خط CD ازمدارخارج میشود. برای چنین اتصالی ، رله مربوط به مدارشکن Q_{d2}، جریان اتصالی را دریافت میکند ، ولی با آنکه زمان عملکرد آن کمترازرله مدارشکن Q_{d1} است ، به دلیل وجود رله جهت یاب امکان عملکرد ندارد.

۳-۱۰-۱- نحوه عملکرد رله جهت‌یاب :

دراین بخش شیوه تشخیص موقعیت خطا نسبت به مدارشکن توسط رله جهت یاب بررسی میشود. برای شروع مطلب توضیحات مقدماتی درزمینه جهت جریان و انتقال توان دریک شبکه DC و مقایسه آن با شبکه AC به عمل می آید.

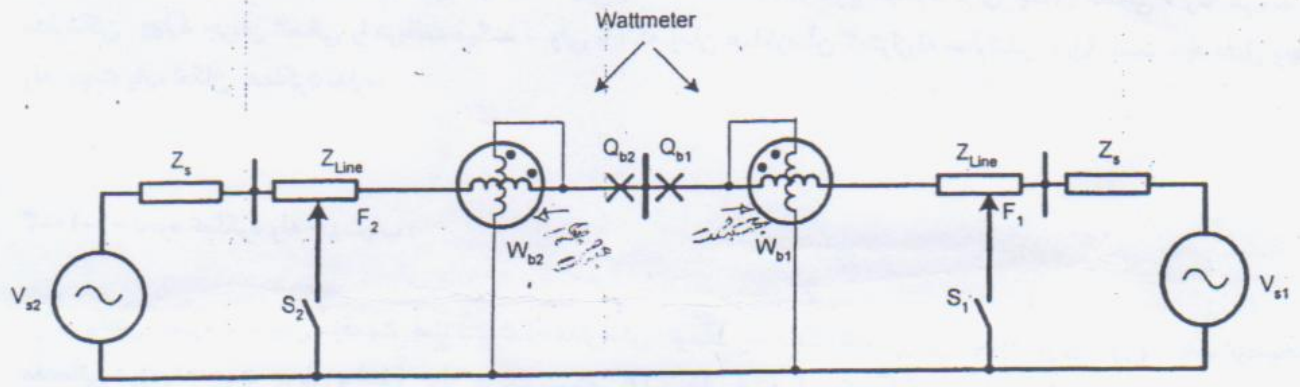
درشکل ۳-۲۰ یک شبکه مفروض DC با دومنبع تغذیه نشان داده شده است . دو آمپرمتر DC عقربه وسط که قادراست جریان مثبت و منفی را نشان دهد درمجاورت شین B استفاده شده است . دراین شبکه جهت جریان توسط دامنه ولتاژ دو منبع مشخص میشود. برای مثال اگر ولتاژ منبع سمت راست بزرگتراز ولتاژ منبع سمت چپ باشد ، جریان درمدارازراست به چپ خواهد بود . دراین صورت آمپرمترA_{b1} مقدار مثبت و آمپرمترA_{b2} مقدارمنفی را نشان میدهد . بدیهی است درشرایط عادی کارشبکه نیازی به تشخیص جهت نیست . بنابراین شرایط وقوع خطا مورد بررسی قرار میگیرد.



شکل ۳-۲۰ : درشبکه DC جهت جریان و جهت انتقال توان یکسان است

فرض میشود که کلید S1 بسته باشد. دراین صورت به منزله آن است که خطائی درنقطه F_1 رخ داده است . ملاحظه میشود که هردومنبع نقطه اتصالی را تغذیه میکنند و آمپرمتر A_{b1} مقدارمثبت و A_{b2} مقدارمنفی رانشان میدهد. انتقال توان نیز ازدید مدارشکن Q_{b1} ، ازشین به سمت انشعاب است و از دید مدارشکن Q_{b2} ازانشعاب به سمت شین است . بنابراین نقطه F_1 درجلوی مدارشکن Q_{b1} است و برای تشخیص موضوع میتوان از آمپرمتر A_{b1} استفاده کرد. آمپرمتر A_{b2} نیزنشان میدهد که نقطه F_1 درپشت مدارشکن Q_{b2} قراردارد. ازطرف دیگر اگراتصالی درنقطه F_2 رخ دهد ، آمپرمتر A_{b1} مقدارمنفی و A_{b2} مقدارمثبت را نشان میدهد. مشخص است که نقطه F_2 درجلوی مدارشکن Q_{b2} و پشت سرمدارشکن Q_{b1} است و این موضوع را میتوان ازروی عملکرد آمپرمترها نتیجه گرفت . به این ترتیب مشخص میشود که درشبکه DC برای تشخیص موقعیت اتصالی نسبت به یک مدارشکن میتوان ازیک ابزارجریان سنج DC (قطبی) به عنوان رله جهت یاب استفاده کرد .

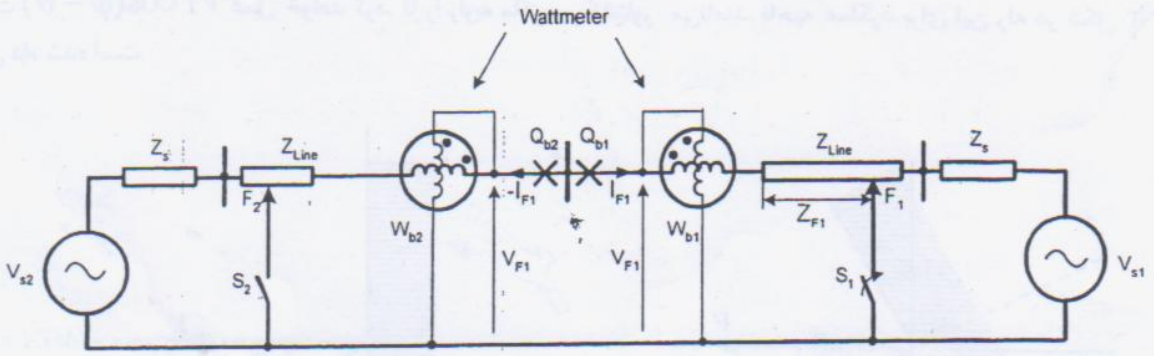
ولی درشبکه AC ، تعیین موقعیت اتصالی نسبت به هرمدارشکن را نمیتوان ازروی جهت جریان درمدارتعیین کرد .علت آن است که جریان در شبکه قدرت یک کمیت AC است که جهت آن به صورت تناوبی عوض میشود. درچنین شبکه ای برای تشخیص این موضوع از جهت انتقال توان استفاده میشود. برای روشن شدن موضوع شبکه AC درشکل ۳-۲۱ نشان داده شده است که مشابه شبکه DC است که قبلا بررسی شد.



شکل ۳-۲۱: درشبکه AC برای تشخیص جهت اتصالی ازمثبت یا منفی بودن توان اکتیو میتوان استفاده کرد.

هنگام اتصالی درهرنقطه ازشبکه انتقال توان ازهردو منبع به سمت نقطه اتصالی صورت میگیرد. دراین شبکه به جای آمپرمتر، از واتمتر برای تشخیص موقعیت نقطه اتصالی نسبت به مدارشکن Q_{b1} وQ_{b2} استفاده شده است .

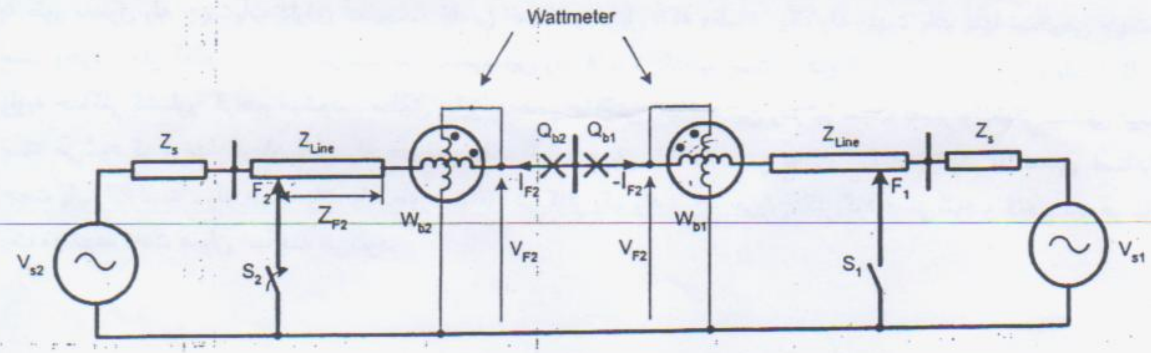
درشکل ۳-۲۲ الف فرض شده است که اتصالی در نقطه F_1 رخ داده باشد . با توجه به مطالب قبل ، این نقطه درجلو مدارشکن Q_{b1}و پشت سر مدارشکن Q_{b2} قرار دارد. دراین حالت هردومنبع نقطه اتصالی را تغذیه میکنند و انتقال توان اکتیوازهردومنبع صورت میگیرد. بدیهی است از نظر مدارشکن Q_{b1} انتقال توان ازشین به سمت خط است و دراین شرایط واتمتر W_{b1} مقدارمثبت نشان میدهد. درهمان حال مدارشکن Q_{b2} نیز انتقال قدرت را ازخط به سمت شین می بیند و واتمترW_{b2} مقدارمنفی نشان میدهد.



شکل ۳-۲۲ الف : اتصالی درنقطه F_1 ، درجلوی مدارشکن Q_{b1}

همچنین توجه شود که نسبت فازور ولتاژ وجریان ورودی به واتمتر W_{b1} ، برابر Z_{F1} است ولی نسبت فازور ولتاژ و جریان ورودی به واتمتر W_{b2} برابر $-Z_{F1}$ است .

شکل ۳-۲۲ ب نیز اتصالی درنقطه F_2 ، درجلوی مدارشکن Q_{b2} رخ داده باشد . دراین وضعیت نیز هردومنبع نقطه اتصالی را تغذیه میکنند و انتقال توان اکتیواز هردو منبع به طرف نقطه اتصالی صورت میگیرد. دراین صورت واتمتر W_{b1} توان منفی و W_{b2} توان مثبت را نشان خواهد داد. علاوه براین نسبت فازور ولتاژ وجریان ورودی به واتمتر W_{b1} برابر $-Z_{F2}$ و نسبت فازور ولتاژوجریان ورودی به واتمتر W_{b2} نیز Z_{F2} است .

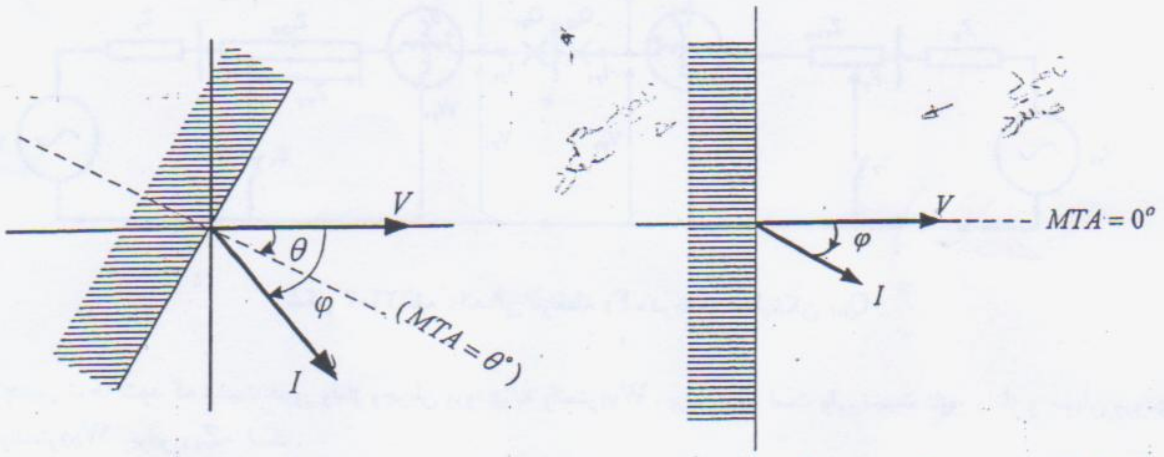


شکل ۳-۲۲ ب : اتصالی درنقطه F_2 درجلوی مدارشکن Q_{b2}

با توجه به مطالب بالا نتیجه می شود که علامت مثبت یا منفی توان اکتیو دراین مدار میتواند بیانگر موضع اتصالی نسبت به محل نصب واتمتر ودرنتیجه مدارشکن مجاور آن باشد. به همین دلیل رله‌های جهت یاب به طور معمول از نوع رله‌های سنجش توان هستند که در آنها $VI\cos(\varphi)$ مورد سنجش قرار می‌گیرد. V و I بترتیب ولتاژ و جریان ورودی به رله و φ زاویه بین این دو است. روشن است که مقدارتوان دراینجا مورد نظر نیست بلکه علامت مثبت یا منفی عبارت توان $VI\cos(\varphi)$ مورد نظراست . علامت عبارت مذکور به مقدار زاویه φ بستگی دارد. به عبارت دیگر برای تشخیص موقعیت اتصالی ، اختلاف فاز فازور جریان با فازور دیگری مانند ولتاژ مقایسه میشود. کمیتی که فازجریان با آن مقایسه میشود کمیت قطبی کننده [1] نامیده میشود. مناسبترین کمیت قطبی کننده برای رله جهت‌یاب ، نمونه ولتاژشبکه است که در آنصورت ولتاژ قطبی کننده نامیده می‌شود . در رله جهت‌یاب اگر حاصلضرب $VI\cos(\varphi)$ مثبت باشد رله عملکرد خواهد داشت و در صورت منفی بودن رله عملکرد ندارد. برای رله‌ای که $VI\cos(\varphi)$ را اندازه‌گیری می‌کند ، نیرو و یا گشتاوری که مکانیزم رله را تحریک می‌کند به مقداراین عبارت بستگی دارد. در عمل این حاصلضرب بایستی از یک مقدار مشخص اولیه k بیشتر باشد تا بتواند سبب راه‌اندازی رله بشود. ماکزیمم گشتاور یا نیروی عمل دهنده در رله در زاویه صفر ($\varphi = 0$) رخ می‌دهد. شکل ۳-۲۳ ناحیه عملکرد این رله را نشان می‌دهد. در برخی

[1] Polarizing Quantity

رله‌های جهت‌یاب می‌توان با انجام تغییراتی در ساختر آن ماکزیمم گشتاور در زاویه‌ای غیر صفر مثلاً θ رخ دهد. در این صورت رله با کمیت $VI\cos(\varphi-\theta)$ عمل خواهد کرد. θ را زاویه ماکزیمم گشتاور می‌نامند. ناحیه عملکرد برای این رله در شکل ۳-۲۴ نشان داه شده است.



شکل ۳-۲۳ : ناحیه عملکردوعدم عملکرد رله جهت یاب با زاویه ماکزیمم گشتاورصفردرجه $VI\cos(\varphi)$

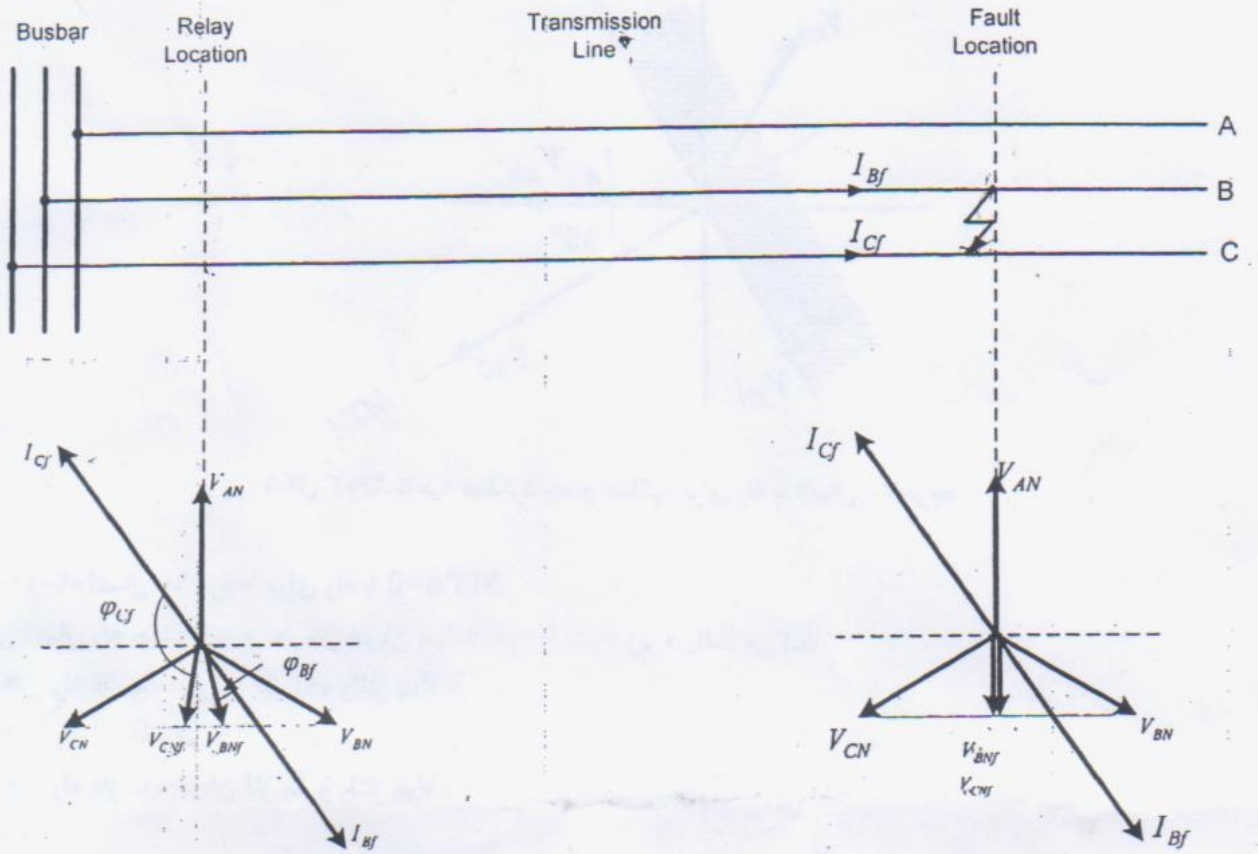
شکل ۳-۲۴: ناحیه عملکرد و عدم عملکرد رله جهت یاب با زاویه ماکزیمم گشتاور θ درجه $VI\cos(\varphi-\theta)$

به طور معمول رله جهت‌یاب دارای تنظیمات خاصی نیست. به دلیل آنکه وظیفه یک رله جهت یاب تنها تشخیص جهت اتصالی است وخود فرمان قطع را صادر نمیکند، لذا عملکرد این رله ها بدون تأخیر است . دربرخی ازرله های جهت یاب امکان تنظیم زاویه حداکثر گشتاور فراهم میشود. . مطابق سایر رله‌های حفاظتی عملکرد این رله نیز سبب تغییر وضعیت تعدادی تیغه باز و بسته می‌شود که درمدار فرمان قطع رله حفاظتی مانند اضافه جریان یا فاصله سنج به کار گرفته میشود. کد عددی استاندارد رله جهت یاب ۶۷ است . رله جهت یاب یابه طور مستقل در کنار یک رله اضافه جریان بکار گرفته می‌شود و گاهی نیز هر دو رله در یک مجموعه تحت عنوان ساخته می‌شود.

۳-۱۰-۲- اتصالات رله جهت یاب:

چنانچه کنترل جهت در طرح حفاظتی مورد نیاز باشد وروی هر فاز یک رله اضافه جریان حفاظت را انجام دهد معمولاً برای هر فاز نیز یک رله جهت یاب نیز در نظر گرفته میشود. ولتاژ از طریق ترانس ولتاژ و جریان نیز بطور مشترک برای هر دو رله از یک ترانس جریان دریافت میشود. برای رله جهت یاب که دارای دو مدار یکی مدار جریانی و دیگری مدار ولتاژی است جریان هر فاز به رله همان فاز اعمال میگردد ولی ولتاژی که به رله اعمال میشود ، ولتاژ همان فاز نیست بلکه از ولتاژ فازهای دیگر استفاده میشود. دو دلیل عمده برای این کار وجود دارد . اول آنکه به دلیل سلفی بودن شبکه ، به هنگام اتصال کوتاه ، اختلاف فاز جریان و ولتاژ درهرفاز ، بزرگ است درنتیجه تحت شرایط اتصال کوتاه $\cos(\varphi)$ کوچک است . ولتاژ سیستم بنا به نوع اتصالی به حدود صفر میتواند کاهش پیدا کند، در این صورت ممکن است گشتاور عمل دهنده به اندازه کافی بزرگ نباشد که سبب عملکرد رله بشود. گاهی نیز زاویه بنابه نوع اتصالی ممکن است در ناحیه عدم عملکرد واقع شود. برای مثال به شکل ۳-۲۵ توجه شود که یک اتصال کوتاه دو فاز را دریک خط سه فاز نشان میدهد.

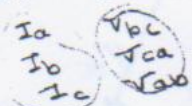
در محل وقوع اتصالی ولتاژ فازهای B وC با هم برابر و نصف ولتاژ نامی آنها در حالت عادی است ولی در محل نصب رله (ابتدای خط) ولتاژاین دو فاز با هم برابرنیست . چنانچه رله هر فاز با ولتاژ و جریان همان فاز تغذیه شود، رله فاز B ، عبارت $VI\cos(\varphi)$ را مثبت خواهد دید و عمل خواهد کرد اما رله فاز C، این عبارت را منفی می‌بیند و عملکرد نخواهد داشت.

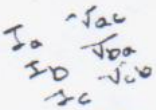


شکل ۳-۲۵: دیاگرام فازوری ولتاژوجریان ها قبل وبعداز اتصال کوتاه دو فاز.

به زاویه جریان و ولتاژهرفاز، درمحل نصب رله توجه شود .

برای رفع این اشکال ، از ولتاژ فازهای دیگر به عنوان ولتاژ پلاریزه کننده استفاده می‌شود. معمولاً در اکثر اتصالیها به جز اتصال کوتاه سه فاز، ولتاژ یک یا دو فاز تغییر زیادی ندارد بنابراین می‌توان برای رله فاز A از جریان این فاز و ولتاژ فاز به فاز V_{ac} ، V_{bc} و یا V_{ab} استفاده نمود. انتخاب هر یک از این ولتاژها، اتصالات مختلفی را برای رله جهت یاب به وجود می‌آورد . هردسته ازاتصالات برای رله جهت یاب با یک زاویه مشخص و شناخته می‌شود که در واقع زاویه بین ولتاژ و جریان اعمال شده به رله در شرایط عادی کارشبکه و با ضریب توان یک به عنوان پیش فرض، تعیین می‌گردد. دراین بخش این اتصالات برای رله جهت یاب با زاویه حداکثر گشتاور برابرصفر بیان میگردد. قبل ازآن ذکر این نکته ضروریست که برای اطمینان از درستی عملکرد رله درهردسته ازاتصالات ، می بایست محاسبات اتصال کوتاه تحت شرایط مختلف را انجام داد وزاویه بین ولتاژوجریان انتخاب شده برای رله جهت یاب را بررسی کرد که آیا منجربه عملکردرله میتواند بشود یا خیر.



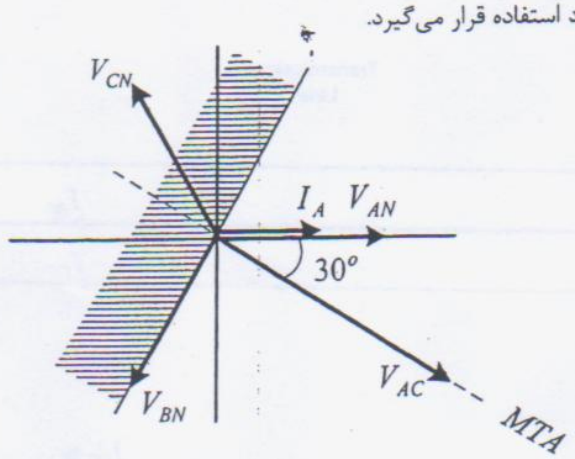


۳-۱-۲-۱۰- اتصال ۳۰ درجه برای رله با MTA=0

در این اتصال رله فاز A با جریان این فاز و ولتاژ V_{ac} تغذیه می‌گردد. در ضریب توان یک و در حالت عادی کارکرد شبکه فازور I_a نسبت به V_{ac} به اندازه ۳۰ درجه اختلاف فاز دارد. بنابراین این اتصال را ۳۰ درجه می‌نامند. ماکزیمم گشتاور هنگامی رخ می‌دهد که جریان و ولتاژ رله همفاز باشند ، یعنی I_a منطبق به V_{ac} شود. به این ترتیب I_a نسبت به V_a، ۳۰ درجه اختلاف فاز پیدا

می‌کند. ناحیه عملکرد رله مطابق دیاگرام شکل ۳-۲۶ خواهد بود. رله جهت یاب فاز B و C نیز به ترتیب با جریان های I_b و I_c ، و ولتاژهای V_{ba} و V_{cb} تغذیه میگردند.

این نوع اتصال در گذشته برای حفاظت خطوط به کار می‌رفته ولی برای حفاظت ترانس به خاطر وجود گروه‌برداری مختلف مناسب نیست. در حال حاضر نیز کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



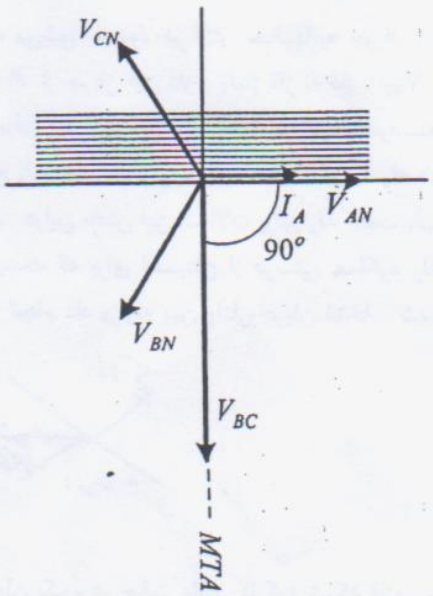
شکل ۳-۲۶: ناحیه عملکرد وعدم عملکرد برای رله با اتصال ۳۰ درجه

۳-۲-۱۰-۲- اتصال ۹۰ درجه برای رله با MTA=0

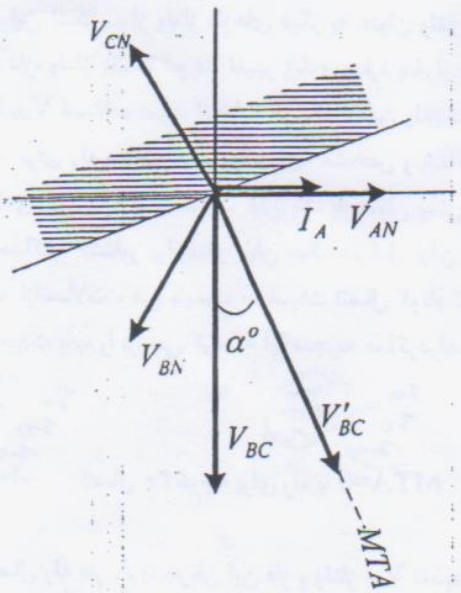
در این اتصال رله جهت یاب در هر فاز جریان و ولتاژ خود را بشرح زیر دریافت می‌کند:

- رله فاز A : جریان فاز I_a و ولتاژ V_{bc} .
- رله فاز B : جریان فاز I_b و ولتاژ V_{ca} .
- رله فاز C : جریان فاز I_c و ولتاژ V_{ab} .

با توجه به دیاگرام برداری شکل ۳-۲۷ الف ملاحظه می‌شود که ولتاژ و جریان اعمال شده به رله درشرایط کار عادی شبکه و با پیش فرض ضریب توان یک، ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند بنابراین اتصال ۹۰ درجه نامیده می‌شود.



شکل ۳-۲۷ الف : اتصال ۹۰ درجه



شکل ۳-۲۷ ب : اتصال(α ≠ ۹۰) درجه

بررسی‌های دقیقتر نشان داده است که این اتصال بسیار مناسب است اما اختلاف فاز ۹۰ درجه بسیار زیاد است و برای اتصال کوتاه با زاویه فاز کوچک مانند اتصال از طریق مقاومت ممکن است منجر به عملکرد نادرست رله بشود. برای جبران این مسئله، ولتاژ اعمال شده به رله قبل از اعمال به مدار ولتاژی در خود رله توسط یک مدار شیفت دهنده به اندازه زاویه مشخصی مانند α ، تغییر فاز پیدا می‌کند. در این صورت اتصال را $90-\alpha$ می‌نامند و زاویه گشتاور ماکزیمم عملاً همان زاویه α خواهد بود (چرا؟). در اکثر موارد α برابر ۳۰ یا ۴۵ درجه انتخاب می‌شود. دیاگرام شکل ۳-۲۷ ب ناحیه عملکرد این اتصال را نشان می دهد. رله جهت یاب فاز A کمیت $V_{bc}I_a\cos(\varphi-\alpha)$ را اندازه‌گیری می‌کند. زاویه α قابل تنظیم است ولی پس از تنظیم ثابت می‌ماند اما زاویه φ بستگی به شرایط اتصال کوتاه و محل وقوع آن دارد و حدود تغییرات آن از 0 تا 2π است شرط عملکرد رله ازنظر مقدار φ عبارت است از:

$$-\frac{\pi}{2}-\alpha \le \varphi \le \frac{\pi}{2}-\alpha$$

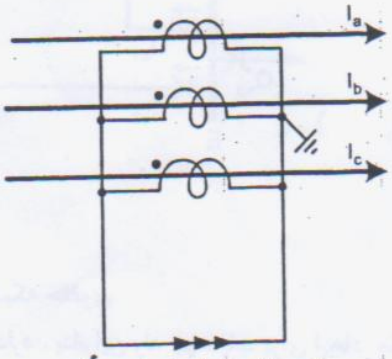
بدیهی است برای سایر مقادیر φ رله عملکرد ندارد.

در حال حاضر در اکثر طرحهای حفاظتی که شامل رله جهت‌یاب و اضافه جریان هستند از اتصال فوق که هم برای خطوط و هم ترانسهای قدرت مناسب است استفاده می‌شود.

۳-۱۰-۳ - رله جهت‌یاب برای اتصال زمین

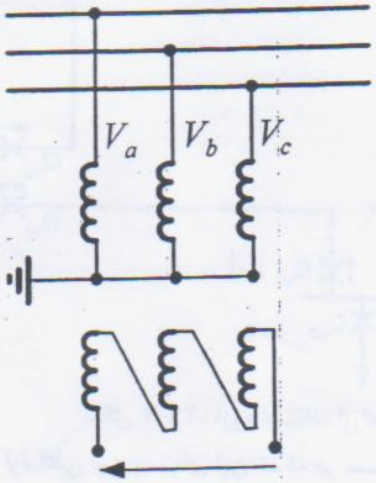
همچنانکه پیش ازاین بیان شد ، برای حفاظت دربرابراتصال زمین ، ازیک رله اضافه جریان جداگانه که جریان مولفه صفر ازآن عبور داده میشود ، استفاده میگردد. تشخیص جهت اتصال زمین نیز توسط یک رله جهت یاب جداگانه که با جریان و ولتاژ مولفه صفر تغذیه میگردد، صورت میگیرد.

جریان زمین در زمان وقوع اتصال زمین و یا به طور کلی در شرایط نامتعادل شبکه، جریان مولفه صفر است و از جمع سه جریان فازی می‌توان آن را به دست آورد، که قبلاً اشاره شد. این کار در عمل با اتصال ثانویه ترانسهای جریان فازی همانند دیاگرام شکل ۳-۲۸ الف انجام می‌شود. برای ولتاژ پلاریزه کننده نیزاز ولتاژ مولفه صفر استفاده میشود. برای بدست آوردن این ولتاژ که جمع برداری ولتاژهای فازی شبکه است ، ثانویه ترانس ولتاژ را در سه فاز به صورت اتصال مثلث باز[1] به هم متصل می‌نمایند. ولتاژی که در دو سر باز مثلث ظاهر می‌گردد سه برابر ولتاژ مولفه صفر است که ولتاژ باقیمانده[2] نامیده می‌شود، اتصال مثلث بازدرشکل ۳-۲۸ ب نشان داده شده است .



$$I_a^{'}+I_b^{'}+I_c^{'}=3I_o^{'}=I_n^{'}$$

شکل ۳-۲۸ الف : اتصال موازی ثانویه ترانس های جریان درشبکه سه فاز جریان مولفه صفررا بدست میدهد.



$$V_a^{'}+V_b^{'}+V_c^{'}=3V_o^{'}=V_n$$

شکل ۳-۲۸ ب : اتصال سری ثانویه ترانس های ولتاژ در شبکه سه فازولتاژ مولفه صفررا بدست میدهد.

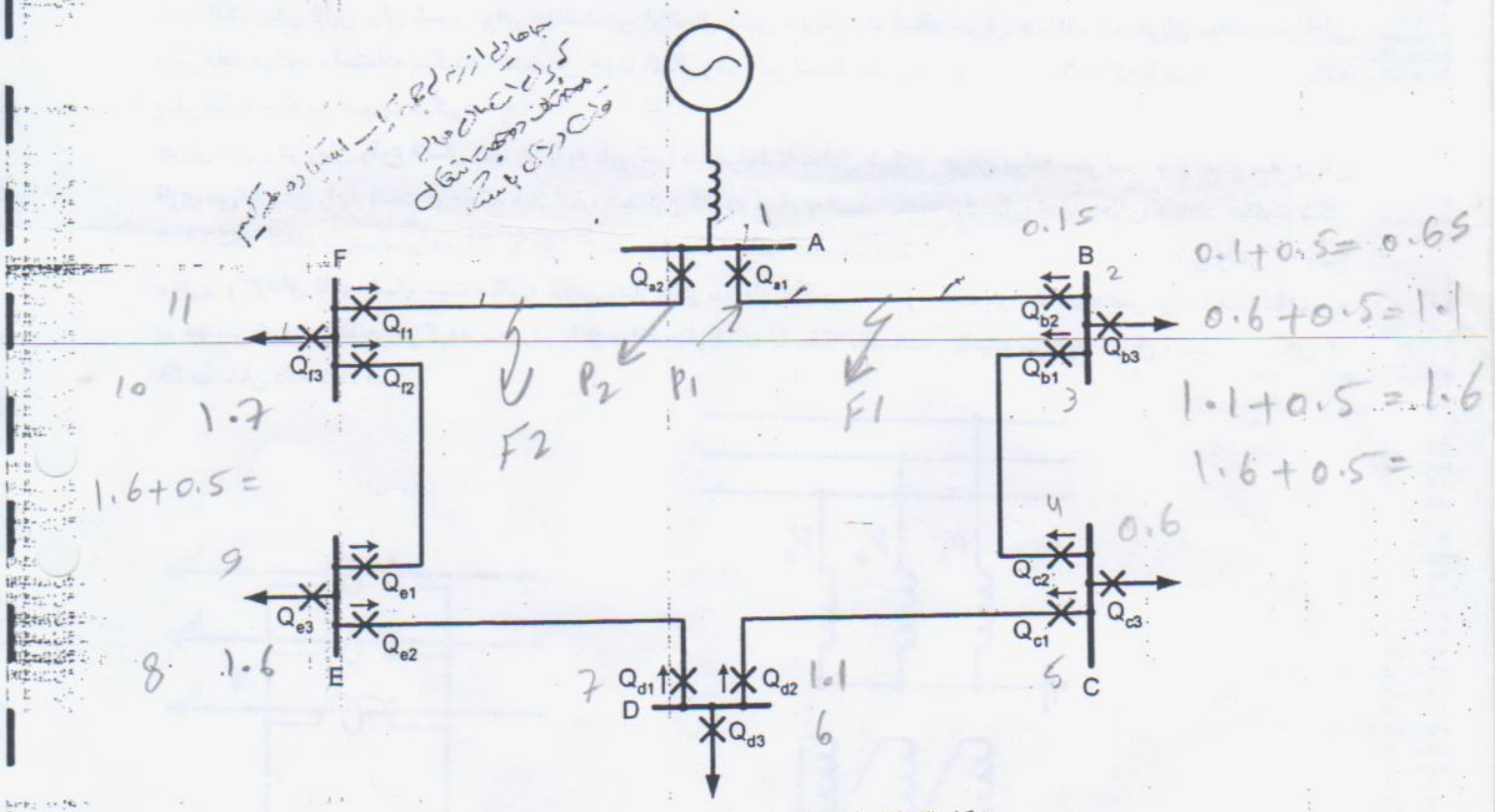
[1] Open Delta
[2] Residual Voltage

در مواردیکه نقطه صفر شبکه توسط مقاومت زمین شده باشد معمولاً این مقاومت نسبت به سایر امپدانسهای موجود در شبکه صفر بزرگتر است بنحویکه زاویه فاز بین ولتاژ و جریان مولفه صفر نسبتاً کوچک و بنابراین رله جهت یاب با زاویه ماکزیمم گشتاور ۳۰ درجه یا کمتر مناسب است. در مواردی که نقطه صفر شبکه به طورمستقیم زمین شده باشد ، امپدانس صفر شبکه بیشترسلفی بوده و زاویه فاز ممکن است تا حدود ۸۵ درجه و به خاطر خطای فاز در ترانسهای ولتاژ و جریان به ۹۰ یا بیشتر در پای رله نیز برسد. در اینصورت رله با زاویه ماکزیمم گشتاور ۶۰ درجه یا بالاتر مناسب خواهد بود.

به طور کلی برای اینکه مشخص شود که چه نوع رله جهت یاب برای اتصال زمین باید به کار رود، لازم است که در شین مورد نظر محاسبات اتصال کوتاه زمین انجام شود و حدود تغییرات زاویه فاز در شبکه صفر تعیین گردد.

۳-۱۰-۴- موارد کاربرد رله جهت یاب :

به جز شبکه دو سو تغذیه موارد دیگری نیز میتوان بیان کرد که هماهنگی زمانی و جریانی رله ها به تنهائی برای هماهنگی آنها کافی نیست . به طورکلی هرگاه دریک شبکه نقاطی وجود داشته باشد که جریان اتصالی از دو سو به سمت نقطه اتصالی جاری شود ، به رله جهت یاب نیازخواهد بود. برای نمونه شکل ۳-۲۹ یک شبکه حلقوی با یک منبع تغذیه را نشان میدهد. دراین شکل همچنانکه دیده میشود، پست A، پست اصلی این شبکه است و سایر پستها برای تغذیه بار به صورت حلقوی بهم متصل شده اند. برای



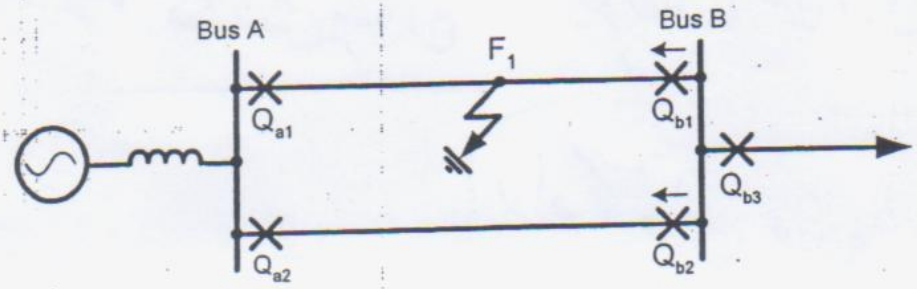
شکل ۳-۲۹ : لزوم استفاده ازرله جهت یاب درشبکه حلقوی

هر نقطه اتصالی در خطوط ارتباطی بین پستهای این شبکه دو مسیر تغذیه وجود دارد . بنابراین رله جهت‌یاب برای ایجاد حفاظت انتخابی ضرورت دارد. جهت عملکرد رله‌ها در شکل مشخص شده است. رله‌های پست اصلی نیاز به تشخیص جهت ندارند (چرا؟). هماهنگی رله‌ها همانند یک شبکه دو سو تغذیه انجام می‌شود به این ترتیب که مدارشکنها به دو دسته قابل تقسیم هستند که هر دسته جداگانه در نظر گرفته می‌شود.

در مواردی می‌توان تعدادی از رله‌های جهت‌یاب را در شبکه مذکور حذف نمود. برای مثال هنگامی که تعداد فیدرهای شبکه فرد باشد، در دو طرف فیدر میانی دو رله زمان عملکرد یکسان خواهند داشت و لازم نیست دارای عضو جهت‌یاب باشند. (چرا؟).

همچنین هر گاه زمان عملکرد رله‌ها در یکی از پستها با هم تفاوت داشته باشد مثلاً در پست C ، رله با زمان عملکرد بزرگتر می‌تواند فاقد رله جهت‌یاب باشد (چرا؟).

مثال دیگر شبکه شعاعی است که دربخشی از آن یک خط دو مداره (خطوط موازی) استفاده شده است . این مورد درشکل ۳-۳۰ نشان داده شده است . وجود دو خط موازی برای تغذیه یک بار قابلیت اطمینان شبکه را افزایش میدهد. دراین شبکه بار یکسویه تغذیه میشود اما هراتصالی در تمام نقاط خطوط موازی ، از دو سرخط تغذیه میگردد. برای حفاظت موثر وانتخابی خطوط موازی لازم است درهر خط دو مدارشکن دردوطرف آن نصب گردد. در صورتی که در یکی از خطوط اتصالی رخ دهد لازم است تنها همان خط از مدار خارج شود و بار از طریق خط دیگر بدون قطع برق همچنان تغذیه می‌شود. اما برای اتصالی در نقطه F_1 روی خط شماره یک، رله‌های حفاظتی متناظربا مدارشکن های Q_{b1} وQ_{b2} هر دو جریان یکسانی را خواهند داشت و سبب قطع مدارشکنهای مربوطه می‌شوند که خط شماره دو نیز به این ترتیب باز می‌شود. برای رفع این مشکل و هماهنگی رله‌های مذکور نمی‌توان از درجه بندی زمانی بین این دو رله استفاده کرد (چرا؟). برای هماهنگ نمودن حفاظت این شبکه به رله جهت‌یاب برای مدارشکنهای Q_{b1} و Q_{b2} نیاز است . جهت دید رله های جهت یاب مذکور به سمت خط باید درنظرگرفته شود.



شکل ۳-۳۰ : لزوم استفاده ازرله جهت یاب درخطوط موازی

به طور کلی برای اینکه دریک شبکه قدرت مشخص شود آیا به رله جهت یاب نیازهست یا خیر باید بررسی کرد که آیا برای مدارشکن مربوط به آن ممکن است شرایطی پیش آید که جریان (توان اکتیو) ازسمت انشعاب به سمت شین جاری شود یا خیر. چنانچه پاسخ مثبت باشد رله جهت یاب برای ایجاد هماهنگی ضرورت خواهد داشت . درشکل ۳-۳۰ هنگامی که اتصالی روی خط شماره ۱ درنقطه ای مانند F_1 رخ میدهد جریان اتصال کوتاه از دومسیر به سمت نقطه اتصالی جاری میشود. مدارشکن Q_{b2} جریان را از خط به سمت شین می بیند و به عبارت دیگرنقطه F_1 پشت سرمدارشکن مذکور واقع است .