

# فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱..... فهرست مطالب	۲
۵..... فهرست شکلها	۵
۶..... فهرست جداول	۶
۷..... (۱) تنظیم و هماهنگی رله‌ها در شبکه دو سطح ولتاژ:	۷
۷..... (۱-۱) مقدمه:	۷
۱..... (۱-۲) آنالیز خطای در طریفین ترانسفورماتور دو سیم پیچه:	۱
۱..... (۱-۲-۱) ترانسفورماتور ستاره- ستاره با سیم صفر:	۱
۱..... (۱-۲-۲) ترانسفورماتور ستاره- ستاره بدون سیم صفر:	۱
۱..... (۱-۲-۳) ترانسفورماتور ستاره- مثلث:	۱
۱..... (۱) اتصال کوتاه تکفار به زمین:	۱
۱۰..... (۱۰) اتصال کوتاه سه فاز و دو فاز:	۱۰
۱۰..... (۱۰-۲) ترانسفورماتور ستاره- مثلث با ترانسفورماتور زمین:	۱۰
۱۱..... (۱۱) آنالیز خطای در طریفین ترانسفورماتور سه سیم پیچه (ستاره- مثلث) و اتوترانسفورماتورهای مشابه:	۱۱
۱۳..... (۱۳) اصول هماهنگی رله‌ها در دو سطح ولتاژ:	۱۳
۱۳..... (۱۴) اصول هماهنگی رله‌های اضافه جریان در دو سطح ولتاژ:	۱۳
۱۳..... (۱-۴) مقدمه	۱۳
۱۳..... (۱-۴-۱) تنظیم زمانی رله اضافه جریان با منحنی کاهشی:	۱۳
۱۴..... (۱-۴-۲) تنظیم زمانی رله اضافه جریان با منحنی مشخصه کاهشی:	۱۴
۱۵..... (۱-۴-۳) تنظیم زمانی رله اتصال زمین با منحنی مشخصه کاهشی:	۱۵
۱۶..... (۱-۴-۴) تنظیم بخش آنی رله اضافه جریان:	۱۶
۱۷..... (۱-۴-۵) هماهنگی رله‌های دیستانس در دو سطح ولتاژ:	۱۷
۱۸..... (۱-۴-۶) تنظیم ناحیه یک رله‌های $X$ و $Y$ :	۱۸
۱۸..... (۱-۴-۷) ب- تنظیم ناحیه دو رله $X$ :	۱۸
۱۸..... (۱-۴-۸) تنظیم ناحیه ۲ رله $Y$ :	۱۸
۱۹..... (۱-۴-۹) اصول هماهنگی رله‌های دیستانس در یک شبکه ساعی دارای دو سطح ولتاژ:	۱۹
۲۰..... (۱-۴-۱۰) اصول هماهنگی رله‌های دیستانس در یک شبکه حلقی دارای دو سطح ولتاژ:	۲۰
۲۱..... (۱-۴-۱۱) اصول هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در شبکه دو سطح ولتاژ:	۲۱
۲۱..... (۱-۴-۱۲) اتصال کوتاه مورد نیاز هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در دو سطح ولتاژ:	۲۱
۲۵..... (۱-۴-۱۳) شرایط بحرانی چهت هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در دو سطح ولتاژ:	۲۵
۳۶..... (۲) هماهنگی و تنظیم بهینه:	۳۶
۳۶..... (۲-۱) مقدمه:	۳۶
۳۷..... (۲-۱-۱) تابع هدف:	۳۷
۳۷..... (۲-۱-۲) محدودیتهای مسئله بهینه‌سازی:	۳۷
۳۸..... (۲-۱) محدودیتهای ساختمنی:	۳۸
۳۹..... (۲-۱-۲) محدودیت منحنی مشخصه:	۳۹
۳۹..... (۲-۱-۳) محدودیتهای هماهنگی:	۳۹
۳۹..... (۲-۲) روش‌های قدیمی حل مسئله بهینه‌سازی هماهنگی رله‌های جریان زیاد:	۳۹

۳۰	۳-۲) الگوریتم سیمپلکس:
۳۱	۱-۳-۲) الگوریتم سیمپلکس دوگان:
۳۲	۲-۳-۲) بهینه‌سازی بدون تابع هدف:
۳۳	۳-۳) بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک:
۳۴	۴-۳-۲) اصول ژنتیک:
۳۵	I) انتخاب مقادیر اولیه و کدکردن
۳۶	II) ارزیابی و محاسبه تابع هدف
۳۷	III) اعمال عملکردهای ژنتیکی
۳۸	IV) مرحله انتخاب
۳۹	V) توقف الگوریتم ژنتیک
۴۰	۳-۴-۲) استفاده از ژنتیک در بهینه‌سازی راه‌ها:
۴۱	I) مقدمه:
۴۲	II) مشکلات موجود
۴۳	III) روش جدید:
۴۴	۳-۴-۲) هماهنگی راه‌های اضافه جریان و دیستانس:
۴۵	I) شرح مسئله:
۴۶	II) روش جدید:
۵۶	(۳) برنامه کامپیوتی:
۵۷	۱-۳) مقدمه:
۵۸	۲-۳) فلوچارت و توضیح:
۵۹	۳-۳) خواندن اطلاعات شبکه
۶۰	۳-۳) محاسبه تنظیم جریانی
۶۱	۴-۳) محاسبه جریانهای اتصال کوتاه
۶۲	۳-۴) تابع هدف الگوریتم ژنتیک
۶۳	۳-۵) حل مسئله توسط الگوریتم ژنتیک
۶۴	۱-۳) چاپ نتایج خروجی
۶۴	(۴) اطلاعات شبکه:
۹۰	(۵) خروجی‌ها و تحلیل آنها:
۹۱	۱-۵) جداول تنظیمات جدید و خروجی‌های برنامه کامپیوتی:
۹۲	۲-۵) توضیح جداول:
۹۳	۳-۵) تحلیل داده‌ها:
۹۴	۴-۳-۱) دسته‌بندی خروجی‌ها:
۹۵	۴-۳-۵) تحلیل اولیه:
۹۶	۳-۳-۵) تحلیل مجموع TSM های راه‌های جریان زیاد:
۹۷	۳-۳-۵) تحلیل مجموع امپانس راه‌های دیستانس:
۱۰۵	(۶) نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای ادامه کار:
۱۰۶	۱-۶) نتیجه‌گیری:
۱۰۷	۲-۶) پیشنهاد برای ادامه کار:
۱۰۸	(۷) مراجعت:
۱۰۹	(۸) ضمیمه:



## فهرست شکلها

شکل ۱-۱: جریانهای توالی مثبت، منفی و صفر در طرف سیم پیچ ستاره.....	۸
شکل ۱-۲: جریان توالی مثبت و منفی طرف مثلث .....	۹
شکل ۱-۳: ترانسفورماتور ستاره- مثلث با خطای تکفار به زمین.....	۹
شکل ۱-۴: اتصال کوتاه سه فاز و دو فاز در طرف ستاره ترانسفورماتور ستاره- مثلث .....	۱۰
شکل ۱-۵: جریانهای ناشی از اتصال زمین در ترانسفورماتور ستاره- مثلث به همراه ترانسفورماتور زمین.....	۱۱
شکل ۱-۶: اتصال زمین در یکی از خروجیهای ترانسفورماتور (یا انوتروانسفورماتور) ستاره- ستاره- مثلث .....	۱۱
شکل ۱-۷: حفاظت یک سیستم در دو سطح ولتاژ.....	۱۳
شکل ۱-۸: نحوه هماهنگی رله‌های حفاظت ترانسفورماتور .....	۱۵
شکل ۱-۹: قسمتی از یک شبکه دارای دو سطح ولتاژ و دیاگرام امپدانس تنظیم رله‌های این شبکه.....	۱۷
شکل ۱-۱۰: قسمتی از یک شبکه دو سطح ولتاژ .....	۱۹
شکل ۱-۱۱: قسمتی از یک شبکه حلقوی دارای چند سطح ولتاژ .....	۲۰
شکل ۱-۱۲: حفاظت ترکیب رله دیستانس اصلی و اضافه جریان پشتیبان .....	۲۲
شکل ۱-۱۳: حفاظت ترکیب رله دیستانس پشتیبان و رله اضافه جریان اصلی در دو سطح ولتاژ.....	۲۲
شکل ۱-۱۴: شمایی دیگر از شبکه دارای دو سطح ولتاژ.....	۲۳
شکل ۱-۱۵: حفاظت ترکیب رله دیستانس اصلی و رله اضافه جریان پشتیبان در دو سطح ولتاژ.....	۲۶
شکل ۱-۱۶: هماهنگی ترکیب رله اضافه جریان اصلی و رله دیستانس پشتیبان در دو سطح ولتاژ با مدل ستاره ترانسفورماتور.....	۲۷
شکل ۱-۱۷: هماهنگی ترکیب رله اضافه جریان اصلی و دیستانس پشتیبان با المان سلفی در مدل ترانسفورماتور .....	۲۸
شکل ۱-۱۸: هماهنگی ترکیب رله اضافه جریان اصلی و رله دیستانس پشتیبان با اولین المان بصورت سلفی دومین المان بصورت خازنی.....	۳۰
شکل ۱-۱۹: دو وضعیت دیگر حالت ب .....	۳۱
شکل ۲۰-۱: اولین المان خازنی مدل ترانسفورماتور پس از خط انتقال.....	۳۲
شکل ۲۱-۱: حالت د در دو سطح ولتاژ.....	۳۳
شکل ۲۲-۱: وجود بخش آئی در رله اضافه جریان جانبی ترانسفورماتور .....	۳۴
شکل ۱-۲: شبکه نمونه.....	۴۸
شکل ۱-۳: فلوچارت روش مؤثر هماهنگی رله‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک .....	۵۷
شکل ۲-۳: فلوچارت هماهنگی رله‌های دیستانس و جریان زیاد.....	۶۲

## فهرست جداول

جدول ۱-۱: دامنه و جهت جریان انواع خطها در اتصالات و گروه برداری مختلف ترانسفورماتورها.....	۱۲
جدول ۲-۱: تنظیم رله تفاضلی ترانسفورماتور بر اساس جریان هجومی (ترانسفورماتور کاهنده فرض شده است).....	۱۷
جدول ۴-۴: اطلاعات ژئاتورهای ایران:.....	۶۴
جدول ۲-۴: اطلاعات خطوط ایران:.....	۶۸
جدول ۳-۴: اطلاعات ترانسفورماتورهای دوسر ایران:.....	۸۰
جدول ۳-۳: اطلاعات ترانسفورماتورهای سهسر ایران:.....	۸۷
جدول ۱-۵: رلهای خطوط، تنظیمات قدیم و جدید.....	۹۱
جدول ۳-۵: رلهای ترانسفورماتورهای ژئاتورها.....	۹۷
جدول ۴-۵: رلهای ترانسفورماتورهای ۳ سیم پیچه.....	۹۸
جدول ۵-۵: مجموع TSM های رلهای جریان زیاد.....	۱۰۳
جدول ۵-۶: مجموع امپدانس های رلهای دیستانس.....	۱۰۴

# فصل اول

## ۱) تنظیم و هماهنگی رله‌ها در شبکه دو سطح ولتاژ:

### (۱-۱) مقدمه:

هدف از طرح این مطلب این است که در انواع اتصالات ترانسفورماتورها (ستاره- ستاره، مثلث- ستاره،...) با بروز خطاهای سه فاز، دو فاز، سه فاز به زمین و تکفاز به زمین در یک طرف ترانسفورماتور، چگونه جریانهای خطا به طرف دیگر این وسیله منعکس می‌گردد تا مشخص شود که جهت هماهنگی رله‌های دو طرف ترانسفورماتور چه خطا‌ی بحرانی‌ترین شرایط را ایجاد می‌نماید. چنانچه رله‌ها برای این شرایط بحرانی هماهنگ شوند می‌توان اطمینان حاصل نمود که برای اتصال کوتاه‌های دیگر نیز هماهنگ خواهد بود.

هماهنگی رله‌های اضافه جریان فازی در یک سطح ولتاژ بر اساس محاسبات اتصال کوتاه سه فاز و هماهنگی رله‌های اضافه جریان اتصال زمین بر اساس محاسبات اتصال کوتاه تکفاز به زمین انجام می‌شود. به عبارت دیگر این دو نوع اتصال کوتاه برای رله‌های فازی و اتصال زمین بحرانی‌ترین شرایط را فراهم می‌آورند و چنانچه این رله‌ها برای این دو نوع اتصال کوتاه هماهنگ شوند برای اتصال کوتاه‌های دیگر نیز هماهنگ خواهد بود.<sup>[۱]</sup>

هماهنگی رله‌های اضافه جریان و دیستانس در یک سطح ولتاژ بر اساس محاسبات اتصال کوتاه سه فاز است. در هماهنگی این رله‌ها چنانچه رله اضافه جریان پشتیبان رله دیستانس باشد، وقوع اتصال کوتاه سه فاز در انتهای ناحیه اول رله دیستانس شرایط بحرانی را ایجاد می‌کند و چنانچه رله دیستانس پشتیبان رله اضافه جریان باشد آنگاه وقوع اتصال کوتاه سه فاز در انتهای ناحیه دوم رله دیستانس شرایط بحرانی را فراهم می‌نماید.<sup>[۱]</sup>

در شبکه‌های دو سطح ولتاژ به دلیل وجود ترانسفورماتورها با گروه برداری‌های مختلف وضعیت تا حدود زیادی متفاوت است. بنابراین لازم است که خطاهای مختلف برای انواع اتصالات ترانسفورماتورها مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.

## ۲-۱) آنالیز خط‌ها در طرفین ترانسفورماتور دو سیم‌پیچه:

### ۱-۲) ترانسفورماتور ستاره-ستاره با سیم‌صفز:

با توجه به اینکه جریان‌های طرفین این نوع ترانسفورماتور هیچ اختلاف فازی ندارند و مدل اتصال کوتاه این نوع ترانسفورماتور یک امپدانس مشابه مدل خط است، لذا همانگی رله‌های اضافه جریان دو طرف ترانسفورماتور دو سیم‌پیچه ستاره-ستاره با سیم‌صفز همانگی رله‌های اضافه جریان در خطوط انتقال یک سطح ولتاژ است.

### ۲-۲) ترانسفورماتور ستاره-ستاره بدون سیم‌صفز:

در این نوع اتصال معمولاً سیم‌پیچ ثالثیه وجود دارد که بصورت مثلث بسته می‌شود تا جریان مؤلفه صفر در شرایط نامتعادلی در سیم‌پیچ ثالثیه برقرار شوند. بنابراین در مورد این نوع ترانسفورماتور در بخش ترانسفورماتورهای سه سیم‌پیچه بحث خواهد شد.

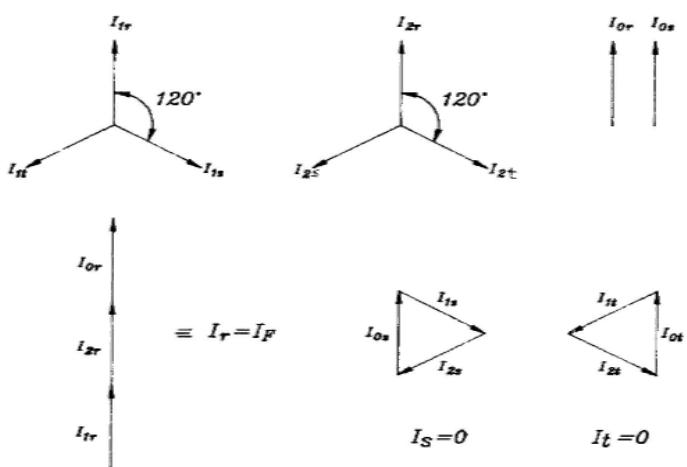
### ۳-۲) ترانسفورماتور ستاره-مثلث:

#### I) اتصال کوتاه تکفاز به زمین:

یک ترانسفورماتور سه فاز که اولیه آن مثلث متصل به منبع و ثانویه آن ستاره زمین شده است را در نظر بگیرید. یک اتصال کوتاه تکفاز به زمین در پایانه فاز ۲ طرف ستاره این ترانسفورماتور رخ داده است. جریان خط طرف مثلث را می‌توان با استفاده از مؤلفه‌های متقارن برای گروه برداری  $YD1$  بدست آورد.

$$\begin{cases} I_r = I_f = I_{1r} + I_{2r} + I_{0r} \\ I_s = I_t = 0 \end{cases} \quad \text{فرمول ۱-۱:}$$

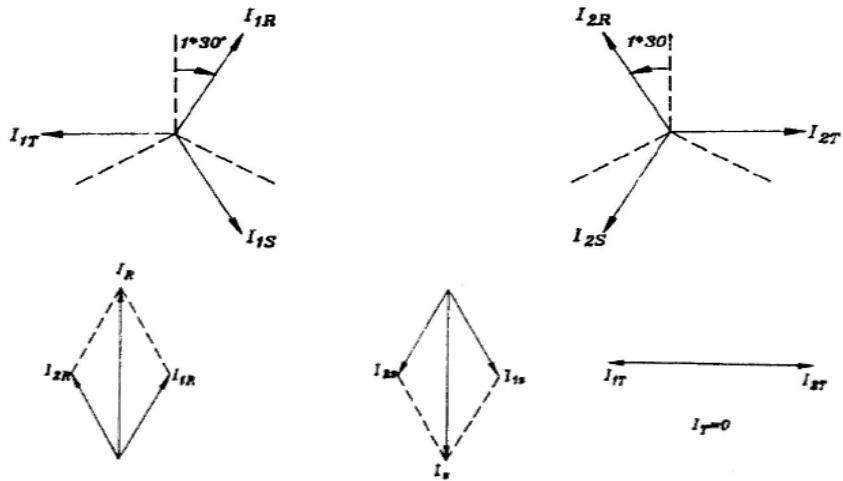
جریان‌های توالی مثبت، منفی و صفر در طرف سیم‌پیچ ستاره بصورت شکل ۱-۱ می‌باشند.



شکل ۱-۱: جریان‌های توالی مثبت، منفی و صفر در طرف سیم‌پیچ ستاره

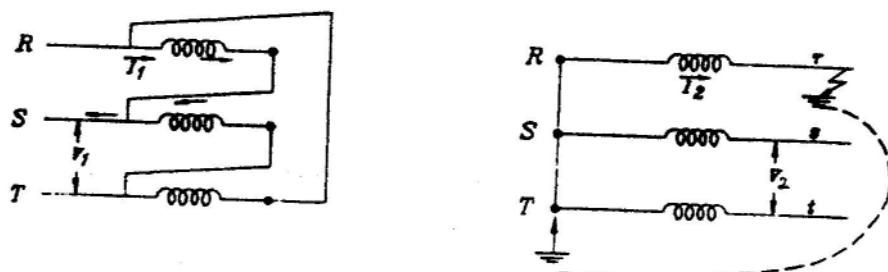
جریان مؤلفه صفر که به طرف مثلث منتقل می‌شود فقط در سیم‌پیچ مثلث دور می‌زند و در طرف خط مثلث جریان توالی صفر نداریم.

با توجه به گروه برداری  $YD11$  و یا  $YD1$ ، جریان توالی مثبت در طرف مثلث به اندازه 330 درجه در جهت مثلثاتی (30 درجه در جهت عقربه‌های ساعت) نسبت به  $I_{1r}$  دوران می‌نماید. جریان توالی منفی نیز در طرف مثلث به اندازه 30 درجه در جهت مثلثاتی دوران می‌نماید. بنابراین جریان توالی مثبت و منفی طرف مثلث بصورت شکل ۱-۲ خواهد بود.



شکل ۱-۲: جریان توالی مثبت و منفی طرف مثلث

بدین ترتیب جریان اتصال کوتاه تکفاز طرف ستاره به جریان اتصال کوتاه دو فاز در طرف مثلث تبدیل می‌شود. این موضوع در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: ترانسفورماتور ستاره-مثلث با خطای تکفاز به زمین

با فرض آنکه نسبت تبدیل ترانسفورماتور برابر  $n$  باشد می‌توان نوشت:

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_2}{N_1} &= \frac{V_2 / \sqrt{3}}{V_1} \\ \frac{V_2}{V_1} &= n \end{aligned} \right\} \rightarrow N_1 = \frac{\sqrt{3}}{n} N_2 \quad \text{فرمول ۳-۱:}$$

جهت سهولت بحث،  $n = 1$  در نظر می‌گیریم. بنابراین:

$$N_1 = \sqrt{3} N_2 \quad \text{فرمول ۳-۲:}$$

با توجه به شرط برابری آمپر دورها می‌توان نوشت:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad \text{فرمول ۴-۱:}$$

از فرمول ۳-۱ و فرمول ۴-۱ می‌توان نتیجه گرفت:

$$\sqrt{3}N_2I_1 = N_2I_2 \rightarrow I_1 = 0.577I_2 \dots \text{فرمول ۱-۵:}$$

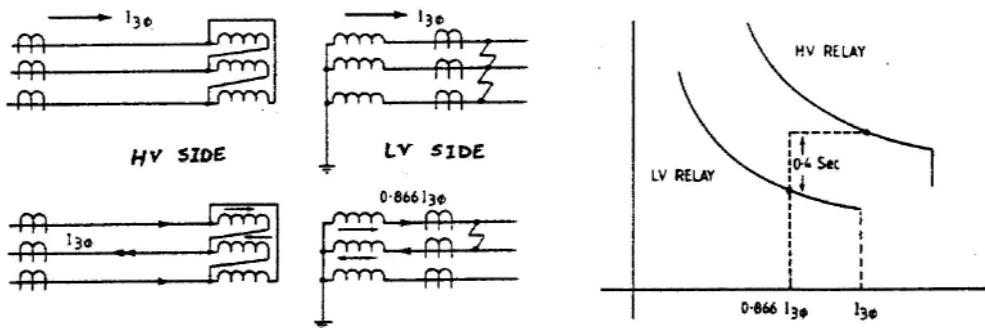
بنابراین جریان خط طرف مثلث  $0.577$  برابر جریان خط طرف ستاره است. بنابراین برای هماهنگی رله‌های اضافه جریان فازی طرفین این ترانسفورماتور باید منحنی رله اضافه جریان فازی طرف مثلث را در

$$\text{ضرب کرده تا مقدار مربوط به طرف ستاره حاصل شود. } \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$$

در شکل ۳-۱ جریان دو خط طرف مثلث بطور مساوی و در خلاف جهت یکدیگر می‌باشد. جمع جریانهای خطوط طرف مثلث صفر است و از آنجا که رله اتصال زمین از جمع جریان  $CT$ ‌های خطوط طرف مثلث تعذیه می‌شود و لذا رله اتصال زمین طرف مثلث خطای اتصال کوتاه تکفاز به زمین طرف ستاره را نمی‌بیند. بنابراین لزومی به هماهنگی رله‌های اتصال زمین دو طرف این نوع ترانسفورماتور نمی‌باشد [2]، ولی رله اضافه جریان اتصال زمین طرف ستاره باید با رله‌های اضافه جریان فازی طرف مثلث هماهنگ شود [3]. رله اتصال زمین طرف مثلث فقط برای خطاهای اتصال کوتاه تکفاز به زمین طرف خودش عمل می‌نماید.

## II) اتصال کوتاه سه فاز و دو فاز:

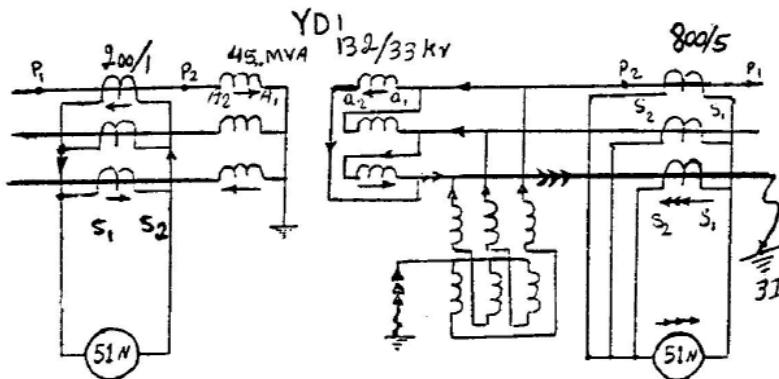
بحranی‌ترین شرایط برای هماهنگی رله‌های فازی در یک سطح ولتاژ، وقوع جریان اتصال کوتاه سه فاز بود. برای دو سطح ولتاژ با توجه به شکل ۴-۱، بحرانی‌ترین شرایط برای رله فازی سمت ستاره وقوع خطای دو فاز و برای طرف مثلث وقوع خطای سه فاز است. زیرا سطح خطای دو فاز رخ داده در طرف ستاره معادل  $80\%$  سطح خطای سه فاز می‌باشد و باعث عبور جریانی معادل خطای سه فاز در یکی از فازهای سمت مثلث خواهد شد.



شکل ۴-۱: اتصال کوتاه سه فاز و دو فاز در طرف ستاره ترانسفورماتور ستاره- مثلث

## ۴-۲-۱) ترانسفورماتور ستاره- مثلث با ترانسفورماتور زمین:

شکل ۱-۵ یک ترانسفورماتور ستاره- مثلث ( $YDI$ ) را نشان می‌دهد که طرف مثلث آن به کمک یک ترانسفورماتور زمین، زمین شده است. در خط طرف مثلث یک خطای تکفاز به زمین رخ داده است. جریانهای سیم‌پیچها، خطوط، ترانسفورماتور زمین و رله‌های اتصال زمین در شکل مشخص شده‌اند.



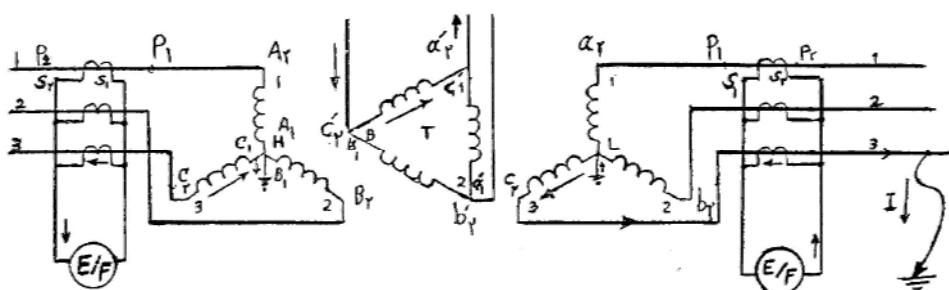
شکل ۱-۵: جریانهای ناشی از اتصال زمین در ترانسفورماتور ستاره- مثلث به همراه ترانسفورماتور زمین

همانطور که در شکل ۱-۵ مشخص است از رله اتصال زمین طرف ستاره جریان عبور کرده و عمل می‌نماید ولی از رله اتصال زمین سمت مثلث جریانی عبور نمی‌کند و جریان اتصال زمین صرفاً در دو خط دور می‌زند و وارد رله نمی‌شود. بنابراین همانگونه که در بخش قبل بیان شد لزومی به هماهنگی رله‌های اتصال زمین طرفین این نوع ترانسفورماتور نیست ولی رله اتصال زمین طرف ستاره باید با رله‌های اضافه جریان فازی طرف مثلث هماهنگ شود.

مطلوب گفته شده در این بخش در مورد رله‌های اضافه جریان فازی نیز صادق است و باید بکار برده شود.

### ۱-۳) آنالیز خطای در طرفین ترانسفورماتور سه سیم‌پیچه (ستاره- ستاره- مثلث) و اتوترانسفورماتورهای مشابه:

شکل ۱-۶ حالتی را نشان می‌دهد که دو سیم‌پیچ ستاره این نوع ترانسفورماتور مستقیماً زمین شده و از سیم‌پیچ ثالثیه نیز بار گرفته شده است و یک خطای اتصال کوتاه تکفاز به زمین در یکی از پایانه‌های طرف ستاره این ترانسفورماتور رخ داده است. این خطای اتصال کوتاه تکفاز توسط رله‌های اتصال زمین دو سیم‌پیچ ستاره دیده می‌شود ولی رله اتصال زمین طرف مثلث این خطا را نمی‌بیند. بنابراین فقط باید دو رله اتصال زمین سیم‌پیچهای ستاره را با یکدیگر هماهنگ نمود و لزومی به هماهنگی رله اتصال زمین سیم‌پیچ مثلث با رله‌های اتصال زمین سیم‌پیچهای ستاره نیست.



شکل ۱-۶: اتصال زمین در یکی از خروجیهای ترانسفورماتور (یا اتوترانسفورماتور) ستاره- ستاره- مثلث

برای هماهنگی رله‌های اتصال زمین طرفین ستاره- ستاره این نوع ترانسفورماتور بربطیق آنچه که در بخش (۱-۲-۱) گفته شد، باید اتصال کوتاه تکفاز به زمین انجام شود و هماهنگی بر اساس نتایج آن انجام

پذیرد. برای هماهنگی رله‌های اضافه جریان فازی طرفین ستاره نیز مطابق بخش (۱-۲-۱) ملاک، محاسبات اتصال کوتاه سه فاز می‌باشد. برای هماهنگی رله‌های اضافه جریان فازی طرفین ستاره- مثلث نیز مطابق بخش (۱-۲-۳)، اتصال کوتاه دو فاز بحرانی ترین شرایط را ایجاد می‌کند.

در جدول ۱-۱ خلاصه‌ای از انواع اتصالات و گروه برداری ترانسفورماتورها آمده است که برای هریک، انواع خطاهای در ثانویه آنها قرار داده شده است و جریان ناشی از این خطاهای در سمت خط اولیه بدست آورده شده است. با توجه به مقدار و جهت جریانها می‌توان نسبت به نحوه هماهنگی رله‌های اضافه جریان فازی و اتصال زمین تصمیم‌گیری نمود.

جدول ۱-۱: دامنه و جهت جریان انواع خطاهای در اتصالات و گروه برداری مختلف ترانسفورماتورها

نول	جریان اتصال کوتاه در خط اولیه			جریان اتصال کوتاه در خط ثانویه				محل خطا در پایانه	نوع خطا	نوع اتصالات ترانسفورماتور
	C	B	A	نول	c	b	a			
-	$\frac{I}{3K}$	0	$-\frac{I}{3K}$	-1	+1	0	0	c	تکفاز به زمین	DY11
-	$\frac{-2I}{3K}$	$\frac{I}{3K}$	$\frac{I}{3K}$	0	-1	+1	0	b-c	دو فاز	DY11
-	$\frac{-2I}{3K}$	$\frac{I}{3K}$	$\frac{I}{3K}$	-	-1	+1	0	b-c	دو فاز	YD1
-	$\frac{-I}{K}$	0	$\frac{I}{K}$	-	-1	+1	0	b-c	دو فاز	DD0
$\frac{I}{K}$	$\frac{I}{K}$	0	0	-1	+1	0	0	c	تکفاز به زمین	YY0
-	$\frac{2I}{3K}$	$-\frac{I}{3K}$	$-\frac{I}{3K}$	-1	+1	0	0	c	تکفاز به زمین	YDY (ثالثیه مثلث)
-	$\frac{-I}{K}$	$\frac{I}{K}$	0	0	-1	+1	0	b-c	دو فاز	YDY (ثالثیه مثلث)
-	$\frac{I}{3K}$	0	$-\frac{I}{3K}$	-1	+1	0	0	c	تکفاز به زمین	DY11 (ET(Y))
-	$\frac{-2I}{3K}$	$\frac{I}{3K}$	$\frac{I}{3K}$	0	-1	+1	0	b-c	دو فاز	DY11 (ET(Y))
0	$\frac{I}{3K}$	0	$-\frac{I}{3K}$	-1	+1	0	0	c	تکفاز به زمین	YD11 (ET(D))
0	$\frac{-2I}{3K}$	$\frac{I}{3K}$	$\frac{I}{3K}$	0	-1	+1	0	b-c	دو فاز	YD11 (ET(D))

در مورد جدول ۱-۱ به نکات زیر دقت شود:

- $K$  نسبت تبدیل خطی ترانسفورماتور (نسبت ولتاژ خط اولیه به ولتاژ خط ثانویه) است.
- در ستون نوع اتصالات علامت سمت چپ مربوط به سیم‌پیچ اولیه و علامت سمت راست مربوط به سیم‌پیچی ثالثیه است.
- چنانچه جهت جریان خطوط از چپ به راست باشد علامت آن مثبت و در غیر اینصورت علامت آن منفی در نظر گرفته می‌شود.
- چنانچه جهت جریان نول از بالا به پایین باشد علامت آن مثبت و در غیر اینصورت علامت آن منفی در نظر گرفته می‌شود.

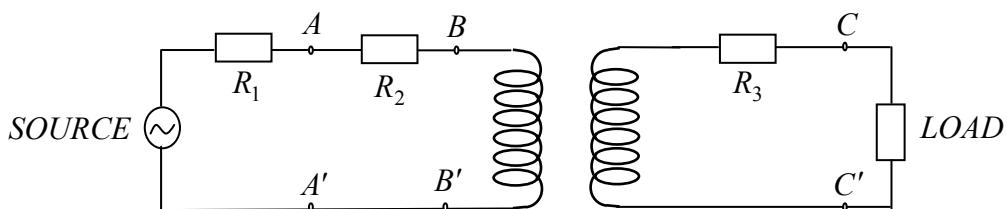
• علامت  $(T)$  و  $(Y)$   $ET$  به ترتیب به معنای آن است که طرف مثلث و یا ستاره توسط ترانسفورماتور زمین، زمین شده است.

#### ۴-۱) اصول هماهنگی رله‌ها در دو سطح ولتاژ

#### ۴-۲) اصول هماهنگی رله‌های اضافه جریان در دو سطح ولتاژ

#### ۱-۵-۱ مقدمه

شکل ۷-۱ یک شبکه ساده شعاعی را نشان می‌دهد که دارای ترانسفورماتور بوده و توسط رله‌های اضافه جریان حفاظت می‌شود. رله اضافه جریان  $R_1$  حفاظت منبع، رله اضافه جریان  $R_2$  حفاظت سمت اوپریه ترانسفورماتور و رله اضافه جریان  $R_3$  حفاظت بار می‌باشد.



شکل ۷-۱: حفاظت یک سیستم در دو سطح ولتاژ

برای خطای محدوده  $CC'$ ، رله  $R_3$  حفاظت اصلی و رله  $R_2$  حفاظت پشتیبان، برای خطای محدوده  $BB'$ ، رله  $R_2$  حفاظت اصلی و رله  $R_1$  حفاظت پشتیبان و برای خطای محدوده  $AA'$ ،  $R_1$ ، حفاظت اصلی می‌باشد.

چنانچه خطای رخ داده در محدوده  $CC'$  به سرعت رفع نشود باعث اضافه بار ترانسفورماتور شده و به آن صدمه می‌زند. بنابراین می‌توان از رله‌های اضافه جریان به منظور جداسازی ترانسفورماتور از خطوط و یا فیدرهای معیوب استفاده نمود. همچنین رله‌های اضافه جریان در ترانسفورماتورهای کوچک برای تشخیص خطای داخلی و در ترانسفورماتورهای بزرگ به عنوان حفاظت پشتیبان رله تفضیلی بکار می‌رود.

رله‌های اضافه جریان از منظر رفع خطای خارجی اهمیت زیادی دارد. خطاهای خارجی شامل خطاهای محدود و یا خطاهای رخ داده به فاصله کم از ترانسفورماتور (پست مربوطه) می‌شود. این جریان خطای کم می‌باشد (۰.۵ تا ۵ برابر جریان بار نامی ترانسفورماتور) و به جریان بار اضافه شده و باعث اضافه بار ترانسفورماتور می‌گردد.

#### ۱-۵-۲) تنظیم جریانی رله اضافه جریان با منحنی کاوهشی

رله‌های اضافه جریان باید به گونه‌ای تنظیم شوند که به ازای اضافه بار ترانسفورماتور عمل ننمایند. عموماً تنظیم رله اضافه جریان بیش از حد حرارتی ترانسفورماتور انتخاب می‌شود. تنظیم جریانی ترانسفورماتورهای خود خنک، ۲۰۰% تا ۳۰۰% جریان نامی آن است. در ترانسفورماتورهایی که بطور اجباری خنک می‌شوند رله اضافه جریان فازی را برای ۱۵۰% جریان نامی تنظیم می‌کنند.

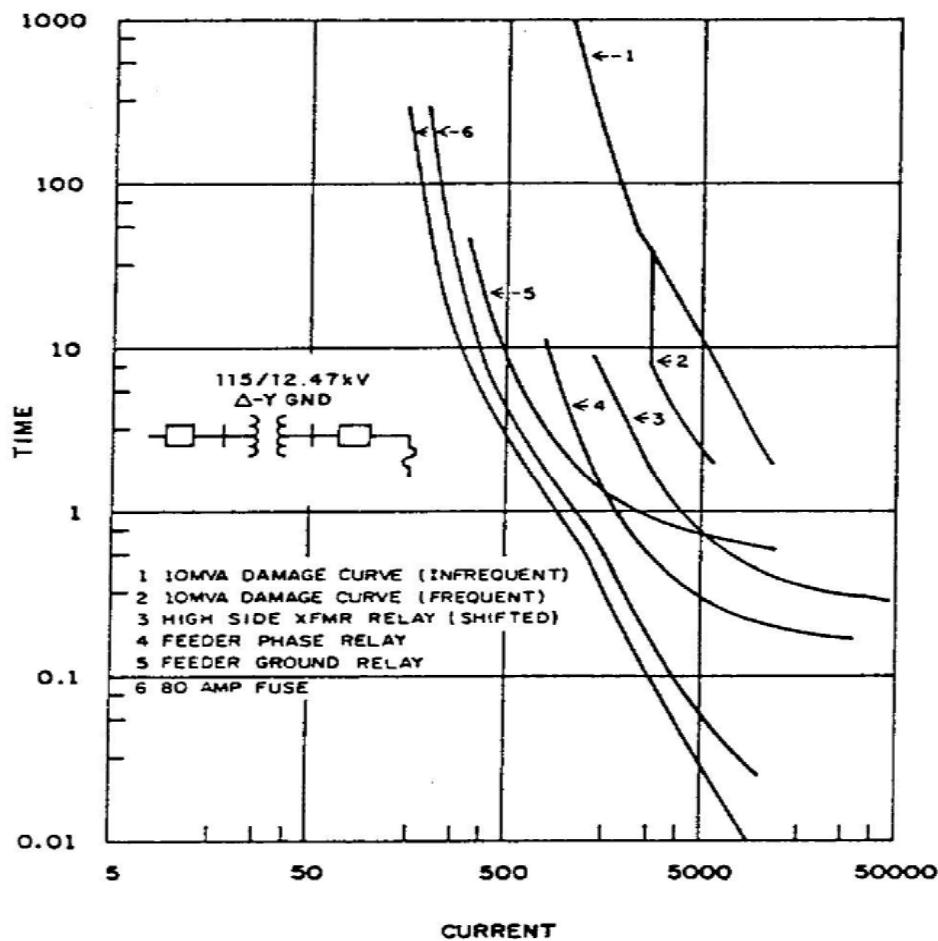
اگر دو ترانسفورماتور و یا بیشتر شین فشار ضعیف را تغذیه کنند، در اثر خروج یکی از ترانسفورماتورها اضافه باری به ترانسفورماتورهای دیگر تحمیل می‌شود و بنابراین رله اضافه جریان این ترانسفورماتورها نباید برای این اضافه بارهای کوتاه مدت عمل نمایند. با توجه به این موضوع رله اضافه جریان از تنظیم بالاتری برخوردار می‌باشد که این از معایب این نوع حفاظت برای ترانسفورماتور است. هرچند که حفاظت اضافه جریان برای ترانسفورماتورها نقش حفاظت پشتیبان را دارد.

### (۳-۵) تنظیم زمانی رله اضافه جریان با منحنی مشخصه کاهشی

همانگونه که گفته شد تنظیم رله اضافه جریان فازی باید به اندازه کافی بزرگ انتخاب شود تا به هنگام وقوع اضافه بارهای گذرا عمل ننماید. از طرفی رله اضافه جریان ترانسفورماتور باید با رله‌های خطوط و فیدرهای منتهی به شینهای فشار قوی و فشار ضعیف هماهنگ باشند و بنابراین عملکرد آنی آن امکان‌پذیر نیست. رله اضافه جریان معمولاً برای خطاهای خارجی عمل می‌کند تا از صدمه دیدن ترانسفورماتور جلوگیری نمایند.

آسان‌ترین روش تعیین زمانی رله‌ها رسم منحنی‌های زمان-جریان رله‌های فیدرها و خطوط جانبی، منحنی حد تحمل عبور خطای خارجی و مشخصه جریان هجومی ترانسفورماتور است. مقادیر جریان خطای شینهای نزدیک و دور رله نیز باید در نظر گرفته شود. سپس نقاط بحرانی موجود بر روی منحنی مشخصه‌ها تعیین شده و هماهنگی بر اساس آنها انجام می‌شود. منظور از نقاط بحرانی نقاطی هستند که فاصله زمانی بین دو منحنی بسیار کم می‌باشد. شکل ۸-۱ یک نمونه از هماهنگی رله‌های اضافه جریان در دو طرف ترانسفورماتور را نشان می‌دهد.

برای دو رله پشت سر هم که دارای مدارشکن 8 سیکلی می‌باشند، با در نظر گرفتن زمان  $OverShoot$  برابر  $0.1s$  و خطاهای رله و  $C.T$ ، یک فاصله زمانی  $0.4s$  لازم است. اگر این دو رله دارای مدارشکن 5 سیکلی باشند آنگاه این فاصله زمانی برابر  $0.35s$  خواهد بود. با کالیبره کردن رله‌ها می‌توان فاصله زمانی را باز هم کاهش داد.



شکل ۱-۸: نحوه هماهنگی رله‌های حفاظت ترانسفورماتور

اگر ترانسفورماتور بخشی از سیستم انتقال باشد، تنظیم رله‌های اضافه جریان مشکل می‌شود زیرا هر تغییری در شبکه باعث تغییر مقدار جریان و در نتیجه تغییر زمان عملکرد رله خواهد شد. یک راه حل برای این مسأله این است که رله‌های ترانسفورماتور با یک فاصله زمانی ۰.۵s تا ۱s برای خطای شین مجاور تنظیم شوند. راه حل دیگر این است که زمان رله‌های اضافه جریان را کمی سریعتر از منحنی حد تحمل خطای عبوری از ترانسفورماتور تنظیم نمود. مزیت این روش این است که دیگر به اطلاعات خطای نیاز نمی‌باشد و فقط داشتن اطلاعات بار کامل ترانسفورماتور و تنظیم جریان عملکرد رله لازم است [4]-[5]-[6]-[7].

#### ۱-۵-۴) تنظیم زمانی رله اتصال زمین با منحنی مشخصه کاهاشی

با توجه به برخی ملاحظات، هماهنگی رله‌های اتصال زمین آسان‌تر است. جریان هجومی توالی صفر به اندازه‌های نیست که بتواند باعث عملکرد رله اتصال زمین شود و بنابراین تأثیری بر تنظیمات رله ندارد. در سیستم فشار ضعیف که مستقیماً زمین شده است، بسیاری از خطاهای فاز به زمین بصورت خطای زمین با قوس الکتریکی است. جریان اتصال کوتاه در خطای زمین با قوس الکتریکی ۳۸٪ جریان اتصال زمین بدون مقاومت می‌باشد. چنانچه سیستم فشار ضعیف توسط مقاومت زمین شده باشد مقدار جریان اتصال زمین کوچک می‌باشد.

با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که در سیستم‌هایی که جریان اتصال زمین بسیار کوچک است، رله اتصال زمین می‌تواند از نوع زمان ثابت با تأخیر کم باشد. در حالتی که سیستم توسط مقاومت کم زمین شده است محدوده هماهنگی کم و بیش ثابت است.

همانطور که در بخش ۲-۱ بیان شد چنانچه ترانسفورماتور از نوع ستاره- ستاره باشد آنگاه لازم است که رله‌های اتصال زمین دو طرف با هم هماهنگ شوند. در ترانسفورماتوهای ستاره- مثلث فقط باید رله اتصال زمین طرف ستاره با رله فازی طرف مثلث هماهنگ گردد زیرا وقوع خطای اتصال زمین در طرف ستاره باعث برقراری جریانی برابر ۵۷٪ جریان اتصال کوتاه در خط طرف مثلث می‌شود [2]-[5]-[7]. [8]

#### ۱-۵-۵) تنظیم بخش آنی رله اضافه جریان:

اگر به سیم‌پیچ اولیه (فشار قوی) یک ترانسفورماتور ولتاژ نامی اعمال شود و سیم‌پیچ ثانویه (فشار ضعیف) اتصال کوتاه شده باشد و مقدار امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور ۶٪ فرض شود، آنگاه جریان اتصال کوتاه جاری شده در سیم‌پیچهای ترانسفورماتور  $\frac{100}{6} \times 16.7 P.U = 16.7$  خواهد بود. بنابراین هر خطای رخ داده در سمت ثانویه این ترانسفورماتور نمی‌تواند بزرگتر از این مقدار باشد و در اینصورت واحد آنی رله اضافه جریان که در مقداری بیشتر از ۱۶.۷ برابر جریان بار کامل تنظیم شده است، برای خطای دورتر از ترانسفورماتور عمل نخواهد کرد. به این ترتیب واحد آنی با کلیه حفاظتهای واقع در طرف دیگر ترانسفورماتور هماهنگ خواهد بود. از طرفی جریان خطایی که در طرف فشار قوی رخ می‌دهد به مراتب بزرگتر از تنظیم جریانی خواهد بود و بنابراین خطای رفع می‌شود.

عملکرد آنی این رله نیز در هماهنگی زمانی رله‌های طرحهای اضافه جریان مهم است. اگر یک شبکه حلقوی در طرف فشار ضعیف ترانسفورماتور وجود داشته باشد و تنظیم‌های رله‌ها چنان باشد که زمان عملکرد این رله‌ها برابر ۰.۵، ۰.۹ و ۱.۳ ثانیه باشد، در اینصورت رله اضافه جریان با مشخصه IDMT طوری تنظیم می‌شود که زمان عملکرد آن ۱.۷ ثانیه شود و هر رله IDMT بین ترانسفورماتور و منبع باید برای زمان ۲.۱ ثانیه تنظیم شود. با استفاده از یک رله اضافه جریان آنی در ترانسفورماتور می‌توان زمان عملکرد این رله‌ها را به میزان ۰.۵ ثانیه کاهش داد. همچنین با استفاده از بخش آنی رله اضافه جریان سمت اولیه ترانسفورماتور می‌توان خطاهای داخلی را سریعتر رفع نمود.

بخش آنی باید به گونه‌ای تنظیم شود که جریانهای بزرگتر از ماکریم جریان خطای عبوری را قطع نماید. معمولاً ماکریم جریان خطای عبوری از ترانسفورماتور به ازای خطای سه فاز در طرف فشار ضعیف محاسبه می‌شود. بنابراین جریان عملکرد بخش آنی رله اضافه جریان باید معادل ۱۲۵٪ ماکریم جریان اتصال کوتاه متقاضی و یا ۸ برابر جریان بار نامی ترانسفورماتور تنظیم شود تا حفاظت مناسبی برای خطاهای شدید داخلی ترانسفورماتور ایجاد شود ضمن آنکه مانع از عملکرد اشتباہ آن برای خطاهای شین شویم. این جریان تنظیمی باید از جریان هجومی ترانسفورماتور بیشتر باشد.

در بسیاری حالات امکان استفاده از بخش آنی وجود ندارد زیرا تنظیم‌های مورد لزوم بزرگتر از این جریان خطای و یا ماکریم تپ موجود بر روی رله است.

از طرفی رله‌های اضافه جریان به عنوان پشتیبان رله‌های دیفرانسیل هستند. بنابراین با توجه به جدول ۲-۱ که نحوه تنظیم رله تفاضلی ترانسفورماتور را پیشنهاد می‌دهد، می‌توان بخش آنی رله اضافه جریان را تنظیم نمود بطوریکه تنظیمات آن کمتر از مقادیر به جدول ۲-۱ نباشد.

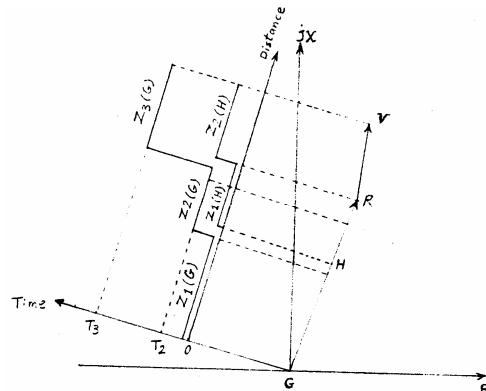
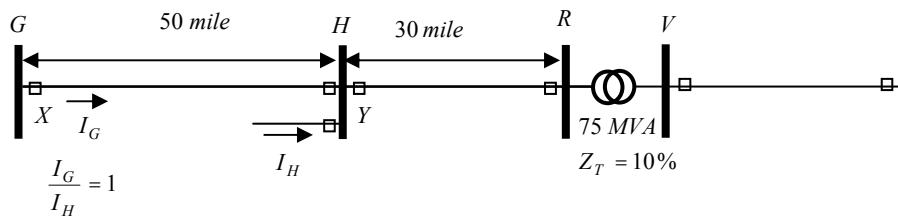
جدول ۱-۲: تنظیم رله تفاضلی ترانسفورماتور بر اساس جریان هجومی (ترانسفورماتور کاهنده فرض شده است)

تنظیم توصیه شده ضربدر جریان نامی انرژی دار کردن ترانسفورماتور از طرف فشار ضعیف	مقدار قدرت نامی بر حسب MVA	نوع اتصال ترانسفورماتور
20	<10	
13	10-100	Yy
8	>100	Yy
13	-	Yd
20	<100	Dy
13	>100	Dy

## ۶-۱ هماهنگی رله های دیستانس در دو سطح ولتاژ

در قالب یک مثال، اصول هماهنگی رله های دیستانس در دو سطح ولتاژ بیان می گردد. لازم به ذکر است که در طرفین ترانسفورماتور رله دیستانس قرار نداشتند و در صورتی که وجود داشته باشد رله دیستانس تک ناحیه ای است و جهت هماهنگی ناحیه اول رله دیستانس (اصلی) با ناحیه دوم رله دیستانس پشتیبان (واقع بر خط جانی ترانسفورماتور) مسئله و مشکلی وجود نخواهد داشت. بدین خاطر به حضور احتمالی این رله تک ناحیه ای دیستانس توجهی نمی گردد. شکل ۹-۱ قسمتی از یک شبکه را نشان می دهد که تنظیم رله های  $x$  و  $y$  مد نظر است. ولتاژ شبکه سمت چپ این شکل  $138 \text{ kV}$  است.

مقادیر امپدانسهای خطوط و ترانسفورماتور نیز در شکل مشخص شده اند، این امپدانسهای همچنین امپدانس تنظیم رله ها در صفحه مختلط  $R - X$  نشان داده شده اند.



شکل ۹-۱: قسمتی از یک شبکه دارای دو سطح ولتاژ و دیاگرام امپدانس تنظیم رله های این شبکه

نسبت تبدیل ترانس های جریان  $\frac{138000}{115}$  و  $\frac{120}{1}$  و  $\frac{600}{5}$  و نسبت تبدیل ترانس های ولتاژ  $\frac{1200}{1}$  می باشد. در نتیجه امپدانس های سنجیده شده توسط رله ها که در طرف ثانویه ترانس های جریان و ولتاژ قرار دارند برابر خواهد بود:

$$Z_S = \frac{CTR}{VTR} Z_P = \frac{120}{1200} Z_P = 0.1 Z_P \Omega$$

در رابطه فوق  $CTR$  نسبت تبدیل ترانس جریان،  $VTR$  نسبت تبدیل ترانس ولتاژ،  $Z_P$  امپدانس اولیه و  $Z_S$  امپدانس ثانویه (امپدانس طرف نصب رله) می‌باشد. بنابراین:

$$Z_{GH} = 50(0.259 + j0.786) \times 0.1 \rightarrow Z_{GH} = 4.13\angle 71.7^\circ \Omega$$

$$Z_{HR} = 30(0.259 + j0.786) \times 0.1 \rightarrow Z_{HR} = 2.48\angle 71.7^\circ \Omega$$

### ۱-۶-۱ تنظیم ناحیه یک رله‌های $X$ و $Y$ :

چون ناحیه یک هر رله ۰.۹ خط اصلی را حفاظت می‌کند، در اینصورت تنظیم ناحیه یک رله‌ها برابر خواهد بود با:

$$Z_{1X} = 0.9 \times 4.13\angle 71.7^\circ \Omega \rightarrow Z_{1X} = 3.64\angle 60^\circ \Omega$$

$$Z_{1Y} = 0.9 \times 2.48\angle 71.7^\circ \Omega \rightarrow Z_{1Y} = 2.15\angle 60^\circ \Omega$$

با در نظر گرفتن مقاومت قوس محل خط، ناحیه یک رله‌های  $X$  و  $Y$  بجای ۹۰٪ ۸۰٪ خطوط  $HR$  و  $GH$  را حفاظت می‌کنند.

### ۲-۶-۱ ب-تنظیم ناحیه دو رله $X$ :

تنظیم این ناحیه حداقل باید کل خط  $GH$  را حفاظت کند، حداقل برد این ناحیه از رله  $X$  می‌تواند در روی خط  $HR$  تا محلی برسد که مرز عملکرد نواحی یک و دو رله  $Y$  می‌باشد. در نتیجه برای بدست آوردن حداقل مقدار تنظیم این ناحیه رله، امپدانس ظاهری رله  $X$  را تا این محل و همچنین امپدانس حقیقی بدست آورده می‌شود:

$$\begin{cases} Z_{2X(actual)} = Z_{GH} + 0.9Z_{HR} = 4.13\angle 71.7^\circ + 0.9 \times 2.48\angle 71.7^\circ \Omega \rightarrow \\ Z_{2X(actual)} = 6.36\angle 71.7^\circ \Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z_{2X(apparent)} = Z_{GH} + 0.9Z_{HR}(1 + \frac{I_H}{I_G}) = 4.13\angle 71.7^\circ + 1.8 \times 2.48\angle 71.7^\circ \Omega \\ \rightarrow Z_{2X(apparent)} = 8.59\angle 71.7^\circ \Omega \end{cases}$$

با توجه به نکات مورد بحث در مورد هماهنگی و تنظیم رله‌های دیستانس در یک سطح ولتاژ و تصویر امپدانس خط بر روی امتداد زاویه رله دیستانس ۴۷.۷٪ از خط بعد در پوشش ناحیه دو رله  $X$  قرار می‌گیرد.

### ۳-۶-۱ تنظیم ناحیه ۲ رله $Y$ :

بعد عدم وجود جریانهای *Infeed* در باس  $R$  تنظیم این ناحیه رله براحتی صورت می‌گیرد. در این صورت این ناحیه رله می‌تواند کل ترانسفورماتور را حفاظت کند (در رابطه با این فرض در انتهای این مثال، بخشی انجام می‌شود). برای بدست آوردن تنظیم این ناحیه در سمت ثانویه ترانسهای ولتاژ و جریان به ترتیب زیر عمل می‌شود:

$$Z_{1(autotransformet)} = Z_T = 2.53\Omega$$

$$Z_{2Y(actual)} = Z_{HR} + Z_T = 2.48\angle 71.7^\circ + 2.53\angle 90^\circ = 4.95\angle 81^\circ \Omega$$

پس تنظیم این ناحیه برابر خواهد بود با:

$$Z_{2Y} = 4.95\angle 60^\circ \Omega$$

زمان عملکرد ناحیه دو هر دو رله حداقل مقدار ممکنه یعنی  $0.3s$  انتخاب می‌گردد.

د- تنظیم ناحیه ۳ رله  $X$ : این ناحیه نیز می‌تواند تا انتهای ترانسفورماتور را بصورت پشتیبان حفاظت کند. از اینرو امپدانس‌های حقیقی و ظاهری این رله تاشین  $V$  محاسبه می‌شود:

$$Z_{3X(actual)} = Z_{GH} + Z_{HR} + Z_T = (4.13 + 2.48)\angle 71.7 + 2.53\angle 90 \Omega \rightarrow Z_{3X(actual)} = 9.05\angle 76.7 \Omega$$

$$Z_{3X(apparent)} = Z_{GH} + (Z_{HR} + Z_T)(1 + \frac{I_H}{I_G}) = (4.13 + 4.96)\angle 71.7 + 5.06\angle 90$$

$$\rightarrow Z_{3X(apparent)} = 13.98\angle 78.2 \Omega$$

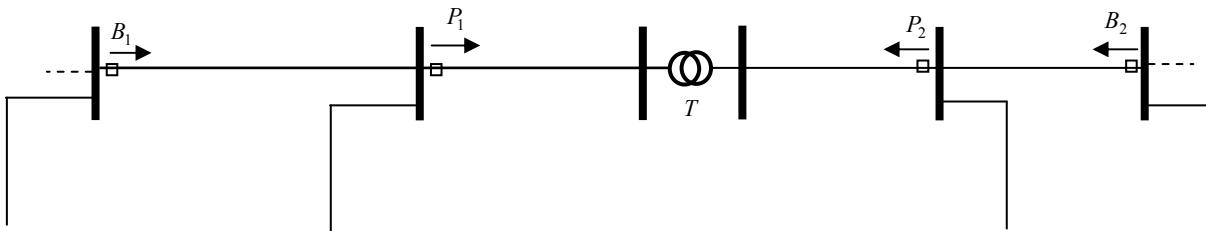
از بین این دو مقدار، امپدانسی که از نظر قدر مطلق کوچکتر است انتخاب می‌گردد [1]:

$$Z_{3X} = 9.05\angle 60 \Omega$$

زمان تاخیر ناحیه سوم رله  $X$  نیز کوچکترین حد ممکن یعنی  $0.6s$  انتخاب می‌شود. مطالب قابل بحث در رابطه با حضور ترانسفورماتور در شبکه، در ادامه آورده می‌شود.

#### ۴-۶-۱) اصول هماهنگی رله‌های دیستانس در یک شبکه شعاعی دارای دو سطح ولتاژ:

شکل ۱۰-۱ از یک شبکه دو سطح ولتاژ را نشان می‌دهد. در این شکل خطوط سمت چپ ترانسفورماتور در سطح ولتاژ  $V_1$  و خطوط سمت راست ترانسفورماتور در سطح ولتاژ  $V_2$  قرار دارند:



شکل ۱۰-۱: قسمتی از یک شبکه دو سطح ولتاژ

فرض کنید رله‌های هر قسمت (منظور از هر قسمت، شبکه با یک سطح ولتاژ است) بطور جداگانه تنظیم شده‌اند، حال باید بررسی کرد که با حضور همه رله‌های دیستانس در دو قسمت یاد شده (کل شبکه) هماهنگی برقرار است یا خیر؟

همانطور که در گزارش مربوط به شبکه  $230 kV$  [1] در رابطه با هماهنگی رله‌های دیستانس در یک سطح ولتاژ شرح داده شد مشخص می‌شود که در تنظیم نواحی یک و دو این رله‌ها نباید خطوط آن طرف ترانسفورماتور را بپوشانند. تنها در مورد تنظیم ناحیه سه این رله‌ها، این نکته را باید در نظر داشت که محدوده عملکرد این ناحیه فقط باید تا انتهای ترانسفورماتور  $T$  را بپوشاند. عبارت دیگر ناحیه سه این رله‌ها علاوه بر حفاظت پشتیبان خطوط، ترانسفورماتور را نیز تا حدی پوشش دهدن. با اینکار هماهنگی همچنان برقرار می‌باشد. بدین خاطر قاعده تنظیم ناحیه سه رله‌های  $B_1$  و  $B_2$  یعنی رله‌های واقع بر خط دوم نسبت به ترانسفورماتور، بدین ترتیب در نظر گرفته می‌شود که نیمی از امپدانس ترانسفورماتور را بپوشاند.

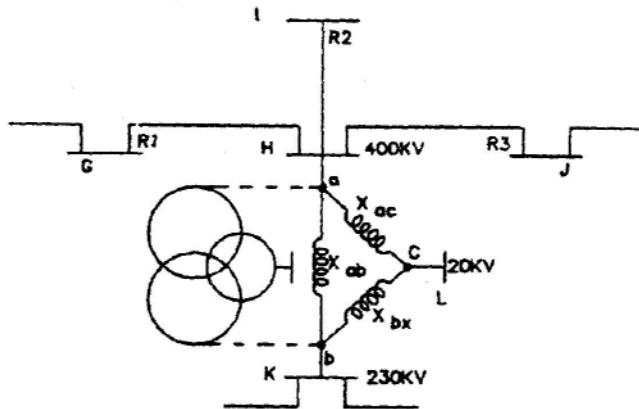
در مورد ناحیه یک رله‌های  $P_1$  و  $P_2$  نیز مشکلی وجود ندارد و همان تنظیمات قبل همچنان صادق می‌باشد اما لازم است نواحی دو و سه این رله‌ها را به نحوی تنظیم نمود که خطوط آن طرف رله را پوشش نداده و تنها تا انتهای ترانسفورماتور را پوشش دهند. با این عمل مشاهده می‌شود که تنظیماتی که قبلاً بطور مجزا برای هر قسمت از این شبکه بدست آورده شد با اندک تغییری برای کل شبکه نیز معتبر خواهد بود [5 و 8]. این تغییرات بدین شرح‌اند:

• انتهای ناحیه دو رله‌های  $P_1$  و  $P_2$  که رله‌های واقع بر خطوط جانبی ترانسفورماتور در شبکه‌های دارای یک سطح ولتاژ می‌باشند، قبلاً تعیین شده‌اند لیکن یک تست انجام می‌گیرد که بررسی شود انتهای ناحیه دو این رله‌ها از نصف امپدانس ترانسفورماتور تجاوز ننماید.

• انتهای ناحیه سه رله‌های  $P_1$  و  $P_2$  که رله‌های واقع بر خطوط جانبی ترانسفورماتور در شبکه‌های دارای یک سطح ولتاژ می‌باشند، قبلاً تعیین شده‌اند لیکن آزمایشی در برنامه هماهنگی رله‌های دیستانس در دو سطح ولتاژ انجام می‌گیرد که بررسی نماید انتهای ناحیه سه این رله‌ها از کل امپدانس ترانسفورماتور تجاوز ننماید. لازم به ذکر است که زمان عملکرد نواحی دو و سه کل این رله‌ها بترتیب برابر  $TD_{min}$  (حداقل فاصله زمانی هماهنگی) و  $2TD_{min}$  می‌باشد.

### ۱-۶-۵) اصول هماهنگی رله‌های دیستانس در یک شبکه حلقوی داری دو سطح ولتاژ

در شکل (۱۱-۱) قسمتی از شبکه حلقوی دارای چند سطح ولتاژ نشان داده شده است و در حالت کلی ترانسفورماتور (یا اتوترانسفورماتور) این شبکه، سه سیم پیچه در نظر گرفته می‌شود چون ترانسفورماتور دو سیم پیچه حالت خاصی از ترانسفورماتور سه سیم پیچه می‌باشد.



شکل ۱۱-۱: قسمتی از یک شبکه حلقوی دارای چند سطح ولتاژ

در این شکل رله‌های دیستانس واقع بر خطوط ترانسفورماتور با حروف  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  در نزدیکی شینهای  $G$ ،  $I$  و  $J$  نمایش داده شده است. ترانسفورماتور دارای سه سطح ولتاژ ۴۰۰، ۲۳۰ و ۲۰ کیلوولت می‌باشد که شینهای این سطوح ولتاژ بترتیب با  $H$ ،  $K$  و  $L$  نامگذاری شده‌اند معادل ترانسفورماتور سه سیم پیچه، المانهای راکتانسی بسته شده به شکل مثلث قرار داده شده است تا مقادیر امپدانس نواحی دوم و سوم رله‌های دیستانس واقع بر خطوط جانبی ترانسفورماتور را بتوان به کمک این راکتانسها مشخص نمود. نحوه تنظیم امپدانس نواحی دوم و سوم رله  $R_1$  بیان می‌شود و نحوه تنظیم رله‌های  $R_2$  و  $R_3$  بر اساس همین قاعده است. در شبکه یک سطح ولتاژ ناحیه دو رله  $R_1$  نباید ۰.۸ یا ۰.۹ برابر کوتاهترین خط متصل به شین دور این رله، تجاوز نماید [۱]. در شبکه‌های دارای دو سطح ولتاژ حد دیگری نیز به این حد افزوده می‌شود که می‌توان توسط فرمول ۱-۶-۶ بیان نمود.

$$Z_{2Max(R_1)} = Z_{GH} + 0.5 \{ (X_{ab} \parallel (X_{ac} + X_{bc})) , (X_{ac} \parallel (X_{ab} + X_{bc})) \} \quad \text{فرمول ۱-۶-۶:}$$

پس ملاک تنظیم ناحیه دو رله دیستانس واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور، کمترین مقدار از دو حد ماکزیمم می‌باشد پس ناحیه دوم رله‌های دیستانس  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  می‌تواند درصد کوچکتری از ۵۰%

امپدانس ترانسفورماتور (در صورتیکه امپدانس خطوط GH، IH و JH کوچکتر از نصف امپدانس ترانسفورماتور باشند) و یا حداقل 50% امپدانس ترانسفورماتور را بپوشاند [9].

حداقل ناحیه سوم رله دیستانس  $R_1$  می‌تواند شین دور کوتاهترین خط متصل به شین دور این رله را بپوشاند و حداقل برد ناحیه سوم رله دیستانس  $R_1$  می‌تواند تا انتهای ناحیه دو رله دیستانس واقع بر کوتاهترین خط متصل به شین دور رله  $R_1$  باشد. پس در اینجا هم بدون طرح شبکه دو سطح ولتاژ مبنایی برای حداقل ناحیه سوم رله دیستانس  $R_1$  موجود است. علاوه بر این حد ماکریم مطابق آنچه گفته شد به علت وجود ترانسفورماتور می‌باشد که می‌توان توسط رابطه (۷-۱) برای حداقل ناحیه سوم رله  $R_1$  بیان نمود.

$$Z_{3Max(R_1)} = Z_{GH} + 0.5\{(X_{ab} \parallel (X_{ac} + X_{bc})), (X_{ac} \parallel (X_{ab} + X_{bc}))\} \quad \dots \dots \dots \quad (7-1)$$

پس ملاک تنظیم ناحیه سه رله دیستانس واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور کمترین مقدار از دو حد ماکریم فوق الذکر می‌باشد. بنابراین ناحیه سوم رله‌های دیستانس  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  می‌تواند درصدی از امپدانس ترانسفورماتور و یا حداقل کل امپدانس ترانسفورماتور را بپوشاند.

### (۷-۱) اصول هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در شبکه دو سطح ولتاژ

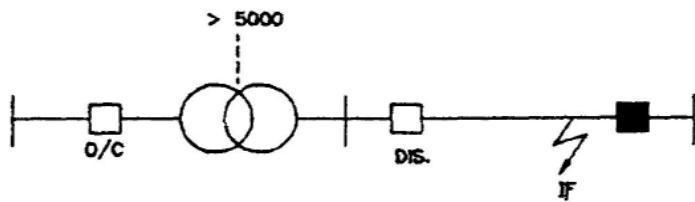
قبل از اینکه به موضوع پرداخته شود، انواع اتصال کوتاه مورد نیاز برنامه هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در دو سطح ولتاژ بررسی می‌گردد.

#### (۷-۱) اتصال کوتاه مورد نیاز هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در دو سطح ولتاژ

در هماهنگی ترکیب رله‌های دیستانس و اضافه جریان با استفاده از جریانهای اتصال کوتاهی که در نقاط بحرانی و برای شرایط بحرانی بدست می‌آیند، وجود و یا عدم هماهنگی بین رله‌ها بررسی می‌گردد. این نقاط بحرانی روی شین نبوده بلکه روی خط بین دو شین می‌باشند و با توجه به درصد حفاظت نواحی یک و دو رله‌های دیستانس محل این نقاط تغییر می‌کند [1]. از طرفی جریانهای اتصال کوتاه در نقاط بحرانی باید در شرایط بحرانی بدست آیند و همانطور که مشاهده شد در همه حالتها یکی از شروط بحرانی قطع همه خطوط متصل به شین نزدیک رله اصلی بجز خطوطی که شامل رله اصلی و پشتیبان هستند، می‌باشد. با توجه به مطالب فوق واضح است که برنامه اتصال کوتاه معمولی که تنها جریانهای اتصال کوتاه برنامه تغییراتی می‌باشد صورت گیرد تا جریانهای اتصال کوتاه مطلوب را محاسبه نماید. مطالبی که تا حال گفته شد مورد نیاز برای برنامه هماهنگی ترکیب قابل کاربرد نیست. بنابراین در این بود که در قبل انجام گردیده و در مرجع [10] به توضیح تغییرات لازم از این دید، پرداخته شده است که از جهت طولانی شدن مبحث مورد نیاز برای دو سطح ولتاژ از طرح آن صرف نظر می‌گردد.

اما همانطور که در این بخش پیرامون اصول هماهنگی رله‌های اضافه جریان در دو سطح ولتاژ بیان گردید تفاوت مدل خط و ترانسفورماتور باعث عدم کفایت برنامه اصلاح شده اتصال کوتاه جهت برنامه ترکیب در یک سطح ولتاژ شده و نیاز به اصلاح و تکمیل این برنامه می‌باشد.

جهت هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در دو سطح ولتاژ، دو حالت عمدۀ وجود دارد. در حالت اول، رله دیستانس، حفاظت اصلی و رله اضافه جریان حفاظت پشتیبان است و رله‌ها در طرفین ترانسفورماتور قرار دارند. این وضعیت در شکل (۱۲-۱) نشان داده شده است.

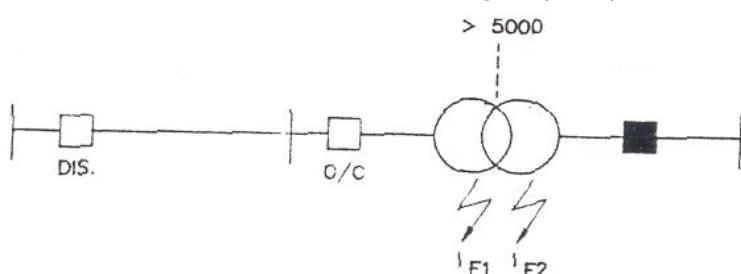


شکل ۱۲-۱: حفاظت ترکیب رله دیستانس اصلی و اضافه جریان پشتیبان

بحث پیرامون نقاط و شرایط بحرانی بطور مفصل در ادامه خواهد آمد. بطور مجمل جهت طرح موضوع اتصال کوتاه مورد نیاز جهت برنامه ترکیب در دو سطح ولتاژ به این مسئله پرداخته می‌شود. در حالت اول در دو سطح ولتاژ نقطه بحرانی در انتهای ناحیه اول و یا ابتدای ناحیه دوم رله دیستانس اصلی است و شرایط بحرانی نیز قطع بودن کلیه خطوط و ترانسفورماتورهای متصل به شین اصلی بجز خطوط اصلی و ترانسفورماتور پشتیبان و همچنین باز بودن کلید انتهایی خط اصلی، می‌باشد. با توجه به این مفروضات و در نظر گرفتن مدل ترانسفورماتور بصورت دو المان امپدانسی سری در امتداد شبکه شکل (۱۲-۱) می‌توان نتیجه گرفت که جهت هماهنگی رله دیستانس اصلی با رله اضافه جریان پشتیبان در دو سطح ولتاژ نیاز به دانستن سهم اول و سوم جریان خطأ به ازای خطأ در نقطه بحرانی فوق الذکر ( $P$  درصد خط اصلی) و به ازای شرایط بحرانی فوق الذکر می‌باشد.

لازم به ذکر است که بین شینهای نزدیک رله‌های اصلی و پشتیبان، ترانسفورماتور قرار داشته که شین با شماره بزرگتر از ۵۰۰۰، شین فرضی است که در مدل ترانسفورماتور وارد می‌گردد. به علت وجود این شین (فرضی) اضافی برنامه اتصال کوتاه جهت هماهنگی ترکیب رله‌ها در یک سطح ولتاژ برای هماهنگی ترکیب رله‌ها در دو سطح ولتاژ کافی نیست چون در این برنامه اتصال کوتاه سهم جریانهای دو خط مجاور بر اثر وقوع خطأ بر یکی از خطوط محاسبه می‌گردد ولی در اینجا سهم خطوط غیر مجاور لازم می‌گردد. بدین خاطر جهت دستیابی به جریانهای عبوری از رله‌های دیستانس (اصلی) و اضافه جریان (پشتیبان) می‌بایست برنامه اتصال کوتاه جهت هماهنگی ترکیب رله‌ها در دو سطح ولتاژ که تغییرات اساسی نسبت به یک سطح ولتاژ نیاز دارد.

حالت دوم این است که رله اضافه جریان حفاظت اصلی و رله دیستانس حکم پشتیبان را دارد و رله اضافه جریان در نزدیکی ترمینال ترانسفورماتور قرار داشته و رله دیستانس واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور است. این وضعیت در شکل (۱۳-۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۱: حفاظت ترکیب رله دیستانس پشتیبان و رله اضافه جریان اصلی در دو سطح ولتاژ

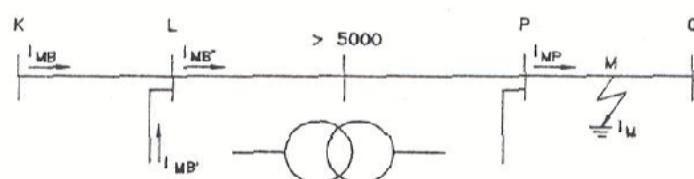
نقاط بحرانی حالت دوم در دو سطح ولتاژ که در ادامه این فصل به تجزیه و تحلیل آن پرداخته می‌شود، انتهای ناحیه دوم و ناحیه سوم رله دیستانس (پشتیبان)، نقطه‌ای بر روی ترانسفورماتور می‌باشد. علی‌الخصوص انتهای ناحیه سوم که به احتمال زیاد بر روی ترانسفورماتور قرار دارد و بر حسب درصدی از امپدانس ترانسفورماتور می‌باشد و این اساساً با مباحث ترکیب در یک سطح ولتاژ تفاوت زیادی پیدا می‌کند. شرایط بحرانی این حالت نیز قطع بودن کلیه خطوط و ترانسفورماتورهای متصل به شین اصلی بجز ترانسفورماتور اصلی و خط پشتیبان بوده و کلید ترمیان دو ترانسفورماتور نیز وصل باشد.

با توجه به مدل ترانسفورماتور و مفروضات فوق، در  $P_2$  و یا  $P_3$  درصد خطی که رله اضافه جریان بر روی آن قرار دارد و یا خط دوم مدل ترانسفورماتور، اتصال کوتاه باید رخ بدهد و شرایط بحرانی فوق الذکر نیز وجود داشته باشد. بطور کلی جهت هماهنگی رله‌های اضافه جریان (اصلی) و دیستانس (پشتیبان)، اتصال کوتاه در  $P$  درصد خط اولی و یا دوم مدل ترانسفورماتور رخ داده و نیاز به دانستن سهم جریانهای اول و دوم اتصال کوتاه و یا سهم جریانهای دوم و سوم اتصال کوتاه وجود دارد چون این سهم جریانها به ازاء نقاط بحرانی و شرایط بحرانی از دو رله اصلی و پشتیبان در این حالت بدست می‌آید. تعیین نقاط بحرانی حالت دوم در دو سطح ولتاژ با توجه به مدل ترانسفورماتور که می‌تواند شاخه‌ای خازنی نیز داشته باشد تعیین نقاط بحرانی از پیچیدگی بیشتری نسبت به حالت اول برخوردار است که شرح آن در ادامه می‌آید.

برنامه اتصال کوتاه مورد نیاز برای دو سطح ولتاژ باید قابلیت باز و یا بسته بودن کلید انتهای خط را داشته باشد. همچنین برنامه باید توانایی انجام دو نوع اتصال کوتاه سه فاز (جهت هماهنگی رله‌های فازی) و تکفار به زمین (جهت هماهنگی رله‌های زمین) را داشته باشد. در ضمن ترانسفورماتور یا اتوترانسفورماتور می‌تواند دو یا سه سیم پیچه باشد.

در برنامه اتصال کوتاه جهت هماهنگی ترکیب رله‌ها، سهم اول و دوم جریان اتصال کوتاه باز و بسته بودن کلید انتهایی خط بدست آورده می‌شود با توجه به جریانهای مورد نیاز هماهنگی در دو حالت اول و دوم در دو سطح ولتاژ، دانستن سهم سوم جریان خطای نیز لازم می‌گردد. بدین خاطر و با دیدی وسیعتر در صورت نیاز آتی برنامه اتصال کوتاه جهت هماهنگی ترکیب رله‌ها در دو سطح ولتاژ به ترتیبی فراهم گردید که سهم چهارم جریان خطای نیز بدست آورد. سهم سوم جریان خطای نیز از مجموع سهم چهارم جریان خطای خطوط متصل به یک شین را بدست می‌آید. پس در توضیح اصول برنامه اتصال کوتاه جهت هماهنگی ترکیب رله‌ها، صرفاً به نحو بدست آوردن سهم چهارم جریان خطای پرداخته می‌شود منظور از سهم سوم و چهارم خطای اینست که وقتی خطای در خطی بروز می‌کند جریانهایی که جهت تغذیه این خطای بترتیب در دومین و سومین خط جانبی (همسایه) این خط جاری می‌گردند نماینده سهم سوم و چهارم خطای هستند.

به شکل (۱۴-۱) توجه شود. در این شکل با دیدی گسترده‌تر به موضوع جریانهای مورد نیاز هماهنگی پرداخته می‌شود.



شکل ۱۴-۱: شمایی دیگر از شبکه دارای دو سطح ولتاژ

در شکل (۱۴-۱) جریانهای  $I_{MB}$  و  $I_{MB'}$  که در اثر جریان خطای  $I_M$  به وجود می‌آیند، محاسبه می‌شوند. در مرحله اول در شبکه داده شده باید بررسی گردد که آیا بین شین اصلی و

پشتیبان، شین وسط ترانسفورماتور وجود دارد یا نه؟ در صورت وجود شینی با شماره بزرگتر از 5000 مشخص می‌گردد که ترانسفورماتوری وجود دارد و جریانهای  $I_{MB}$  محاسبه می‌شوند.

$$I_M^{3\phi} = \frac{1}{Z_{MM}^{(1)}} = I_{M3} \quad \text{فرمول ۱-۸:} \quad \dots \dots \dots$$

$$I_M^{1\phi} = \frac{1}{2Z_{MM}^{(1)} + Z_{MM}^{(0)}} = I_{M1} \quad \text{فرمول ۹-۱:} \quad \dots \dots \dots$$

$Z_{MM}^{(1)}$  و  $Z_{MM}^{(0)}$  به ترتیب عناصر  $M$  ماتریس امپدانس مولفه صفر و مثبت شبکه می‌باشند. در حقیقت برای انجام محاسبات اتصال کوتاه در نقطه  $M$  یک گره اضافه اضافه شده و  $Z_{MM}^{(1)}$  و  $Z_{MM}^{(0)}$  مربوط به آن است.

جریان عبوری اتصال کوتاه از خط  $KL$  بر اثر خطای سه فاز در نقطه  $M$  از رابطه (۱۰-۱) محاسبه می‌شود.

$$I_{MB3} = DIS1B \times I_{M3} \quad \text{فرمول ۱۰-۱:} \quad \dots \dots \dots$$

$$DIS1B = \frac{Z_{MK}^{(1)} - Z_{ML}^{(1)}}{Z_{E(K,L)}^{(1)}} \quad \text{فرمول ۱۱-۱:} \quad \dots \dots \dots$$

$DIS1B$  ضریبی است که سهم جریان چهارم ناشی از کل جریان اتصال کوتاه را در اثر خطای سه فاز مشخص می‌کند.

جریان عبوری اتصال کوتاه از خط  $KL$  بر اثر خطای تک فاز با زمین در نقطه  $M$  از رابطه (۱۲-۱) بدست می‌آید.

$$I_{MB1} = \frac{(2DIS1B + DIS2B)}{3} \quad \text{فرمول ۱۲-۱:} \quad \dots \dots \dots$$

که در آن:

$$DIS2B = \frac{Z_{MK}^{(0)} - Z_{ML}^{(0)}}{Z_{E(K,L)}^{(0)}} \quad \text{فرمول ۱۳-۱:} \quad \dots \dots \dots$$

$DIS2B$  ضریبی است که سهم جریان چهارم ناشی از کل جریان اتصال کوتاه را در خطای تک فاز به زمین مشخص می‌کند.

در این روابط  $Z_{ML}$ ،  $Z_{MK}$  و  $Z_{MM}$  بترتیب امپدانس دیده شده از شین  $M$ ، امپدانس بین شین  $M$  و  $K$  و امپدانس بین شین  $M$  و  $L$  در ماتریس امپدانس شبکه می‌باشد و بالانویس‌های یک و صفر بترتیب بیانگر توالی مثبت و توالی صفر می‌باشند و  $Z_{E(K,L)}$  نمایشگر امپدانس خط ما بین شین  $K$  و  $L$  است.

بدین ترتیب کافی است به ازای خط  $M$  در نقطه  $M$ ، امپدانسهای  $Z_{MK}$ ،  $Z_{MM}$  و  $Z_{ML}$  در شرایط مطرح شده در قبل بدست آید و با روابط فوق، جریانهای مورد لزوم هماهنگی ترکیب رله‌ها در دو سطح ولتاژ بدست آید. بقیه جریانهایی که ممکن است لازم شود براحتی بدست می‌آیند.

اصلاحات مورد نیاز برای المانهای ماتریس امپدانس شبکه با توجه به قطع کلیه خطوط متصل به شین اصلی بجز خط اصلی و پشتیبان به ترتیب زیر است (المانهای جدید  $PL$  و  $QL$  ماتریس امپدانس شبکه):

$$Z_{N_{PL}} = Z_{PL} - \frac{(Z_{PP} - Z_{PQ})(Z_{PL} - Z_{QL})}{Z_{PP} + Z_{QQ} - 2Z_{PQ} - Z_{E(P,Q)}} \quad \text{فرمول ۱۴-۱:}$$

امپدانس خط ما بین شینهای P و Q می‌باشد.

$$Z_{N_{QL}} = Z_{QL} - \frac{(Z_{PQ} - Z_{QQ})(Z_{PL} - Z_{QL})}{Z_{PP} + Z_{QQ} - 2Z_{PQ} - Z_{E(P,Q)}} \quad \text{فرمول ۱۵-۱:}$$

که بدین ترتیب  $Z_{ML}$  و  $Z_{MK}$  را می‌توان محاسبه نمود:

$$Z_{ML} = Z_{N_{PL}} - \frac{(Z_{N_{PL}} - Z_{N_{QL}})Z_{LP}}{Z_{LQ}} \quad \text{فرمول ۱۶-۱:}$$

$$Z_{MK} = Z_{N_{PK}} - \frac{(Z_{N_{PK}} - Z_{N_{QL}})Z_{LP}}{Z_{LQ}} \quad \text{فرمول ۱۷-۱:}$$

## ۲-۱) شرایط بحرانی جهت هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در دو سطح ولتاژ:

همانطور که گفته شد دو حالت برای عملکرد ترکیب رله‌های دیستانس و اضافه جریان وجود دارد. در حالت اول رله اضافه جریان پشتیبان غیر محلی رله دیستانس می‌باشد و حالت دوم عکس اینحال است. در هر دو حالت فوق رله پشتیبان باید با رله اصلی اش هماهنگ بوده و برای هر خطای بوقوع پیوسته روی خط اصلی، زمان عملکرد رله پشتیبان باید حداقل به اندازه فاصله زمانی هماهنگی TDMIN از زمان عملکرد رله اصلی بیشتر باشد.

همچنین به علت اینکه خطا در حالات و محلهای مختلف یک شبکه ممکن است رخ دهد لذا نمی‌توان نسبت به تک تک این حالات رله‌های اصلی و پشتیبان را با هم هماهنگ نمود بدین خاطر نقطه بحرانی و شرایط بحرانی خطا مشخص می‌گردد تا در صورتی که در این وضعیت، رله‌ها با یکدیگر هماهنگ گردند در بقیه حالات نیز هماهنگی بین آنها برقرار باشد یا به تعبیری دیگر در مختصات جریان-زمان (و یا فاصله-زمان)، در نقطه و شرایط بحرانی کمترین فاصله زمانی بین عملکرد دو رله اصلی و پشتیبان وجود دارد و اگر این کمترین فاصله زمانی از فاصله زمانی لازم هماهنگی بیشتر باشد هماهنگی برای این حالت و بقیه حالات برقرار می‌باشد. محل و شرایط بحرانی هماهنگی ترکیب رله‌های دیستانس و اضافه جریان در یک سطح ولتاژ به ترتیب زیر است:

۱- رله دیستانس اصلی و رله اضافه جریان پشتیبان

نقطه بحرانی خطا: انتهای ناحیه یک و یا ابتدای ناحیه دو رله دیستانس اصلی.

شرایط بحرانی: کلید خطوط متصل به شین اصلی بجز خط اصلی و پشتیبان قطع باشند و کلید انتهای خط اصلی باز باشد.

۲- رله اضافه جریان اصلی و رله دیستانس پشتیبان:

نقطه بحرانی خطا: انتهای ناحیه دوم رله دیستانس پشتیبان روی خط رله اصلی

شرایط بحرانی: کلیه خطوط متصل به شین اصلی بجز خط اصلی و پشتیبان قطع باشند و کلید انتهای خط اصلی بسته باشد.

۳- رله اضافه جریان اصلی و رله دیستانس پشتیبان:

نقطه بحرانی خط: شین دور رله اصلی

شرایط بحرانی: کلیه خطوط به شین اصلی بجز خط اصلی و پشتیبان قطع باشند و کلید انتهای خط اصلی بسته باشد.

قبل از پرداختن به مباحث خاص اصول هماهنگی ترکیب رله‌های اضافه جریان و دیستانس در دو سطح ولتاژ لازم است که نکات لازم تنظیم رله‌های اضافه جریان و دیستانس در دو سطح ولتاژ هر کدام بطور جداگانه یادآوری شود:

- در تنظیم بخش آنی رله اضافه جریان واقع در جانب ترانسفورماتور به این نکته اشاره شد که این تنظیم برابر ۱۲۵% حداکثر سطح اتصال کوتاه خارجی می‌باشد. همچنین این تنظیم باید از جریان هجومی ترانسفورماتور بیشتر باشد. جهت دستیابی به حداکثر سطح اتصال کوتاه عبوری از ترانسفورماتور محل خطا در ترمینال دیگر ترانسفورماتور در نظر گرفته می‌شود.

- جهت تنظیم رله دیستانس واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور ناحیه دوم این رله  $P_2$  درصد امپدانس ترانسفورماتور را پوشش می‌دهد (حداکثر  $P_2$  درصد، ۵۰% می‌باشد) و ناحیه سوم این رله دیستانس  $P_3$  درصد امپدانس ترانسفورماتور را می‌پوشاند که حداکثر این پوشش، کل امپدانس ترانسفورماتور می‌باشد. هماهنگی ترکیب رله‌های دیستانس و اضافه جریان در دو سطح ولتاژ به ترتیب زیر است:

#### ۱- رله دیستانس اصلی و رله اضافه جریان پشتیبان

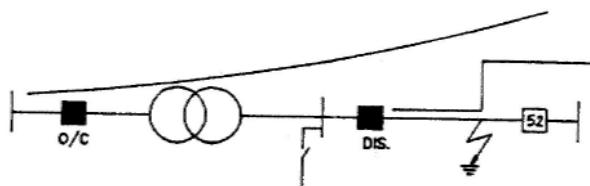
در شکل (۱۵-۱) با توجه مختصات جریان- زمان (و یا فاصله- زمان) برای رله اضافه جریان پشتیبان و مختصات فاصله- زمان رله دیستانس اصلی، زمان عملکرد این دو رله به ازای خط در هر محل از خط اصلی نمایش داده شده است. در صورتیکه جریان بیشتری از رله اضافه جریان پشتیبان عبور کند زمان عملکرد آن کمتر شده و در نتیجه فاصله زمان عملکرد و رله کاهش یافته و شرایط بحرانی را ایجاد می‌نماید. همانطور که در شکل (۱۵-۱) مشخص است نقطه بحرانی، انتهای ناحیه یک و یا ابتدای ناحیه دو رله دیستانس اصلی می‌باشد. شرایط بحرانی نیز بر اثر عبور جریان بیشتر از رله اضافه جریان پشتیبان رخ می‌دهد و در صورتی است که کلیه خطوط و یا ترانسفورماتورهای متصل به شین اصلی بجز خط اصلی و ترانسفورماتور پشتیبان از مدار خارج باشند. همچنین با باز بودن کلید (که در شکل بر اساس استاندارد آمریکا با عدد ۵۲ مشخص شده است) انتهای خط اصلی بیشترین سهم جریان خط از رله اضافه جریان پشتیبان عبور می‌نماید. پس بطور خلاصه نقطه بحرانی و شرایط بحرانی عبارتند از:

نقطه بحرانی: انتهای ناحیه یک و یا ابتدای ناحیه دو رله دیستانس اصلی

شرایط بحرانی:

- کلیه خطوط و یا ترانسفورماتورهای متصل به شین اصلی بجز خط اصلی و ترانسفورماتور پشتیبان از مدار خارج باشد.

- کلید انتهای خط اصلی باز باشد.

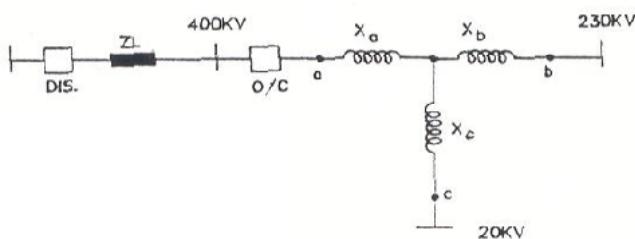


شکل ۱۵-۱: حفاظت ترکیب رله دیستانس اصلی و رله اضافه جریان پشتیبان در دو سطح ولتاژ

در صورت وجود بخش آنی در رله اضافه جریان پشتیبان به علت تنظیم پیشنهادی 125% حداکثر سطح اتصال کوتاه خارجی، عملکرد آن از محدوده ترانسفورماتور فراتر نرفته و در محدوده خط اصلی، بطور کاهشی و یا تأخیری عمل می نماید و تفاوتی از جهت نقطه و یا شرایط بحرانی ایجاد نمی شود.

## ۲- رله اضافه جریان، اصلی و رله دیستانس، پشتیبان

با توجه به حالات متفاوت و زیادی که برای هماهنگی ترکیب رله های اضافه جریان (اصلی) و دیستانس (پشتیبان) در دو سطح ولتاژ بعلت مدل ترانسفورماتور و همچنین وجود محتمل شاخه خازنی در یکی از سه المان مدل ترانسفورماتور، پیش می آید (نسبت به این عنصر محتمل خازنی در ادامه بحث توضیح داده می شود). اینحالات در دو سطح ولتاژ نسبت به حالت مشابه در یک سطح ولتاژ تفاوت های زیادی دارد. اینحالات در دو سطح ولتاژ به پنج وضعیت مختلف تقسیم می شود. قبل از ورود به مباحث نقاط بحرانی و شرایط بحرانی در وضعیت های مختلف حالت دوم در دو سطح ولتاژ، توجه به دو مطلب زیر ضروری است:



شکل ۱۶-۱: هماهنگی ترکیب رله اضافه جریان اصلی و رله دیستانس پشتیبان در دو سطح ولتاژ با مدل ستاره ترانسفورماتور

شکل (۱۶-۱) بیانگر رله اضافه جریان حفاظت اصلی و رله دیستانس (حفاظت پشتیبان) می باشد. عموماً انتهای نواحی دوم و سوم رله دیستانس بعنوان نقاط بحرانی در نظر گرفته می شود و اتصال کوتاه باید در آنجا صورت پذیرد. همچنین نمایش مدل ترانسفورماتور بشکل ستاره که آنرا به حالت خطوط چند ترمیناله در می آورد و بر اثر جریان ورودی و خروجی بین راهی باعث افزایش و یا کاهش برد نواحی دوم و سوم رله دیستانس می شود. از این موارد چنین نتیجه می شود که اگر ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان تا انتهای ترانسفورماتور (یعنی شین 230 kV) را پوشاند و جریانی از شین 20 kV به نقطه اتصالی بین راهی برسد ( $I_c$ )، حداکثر امپدانس ناحیه سوم رله دیستانس بر اساس رابطه (۱۸-۱) بدست می آید.

$$Z_{3apparent} = Z_L + X_a + \left(1 + \frac{I_c}{I_a}\right) X_b \quad \text{فرمول ۱۸-۱:}$$

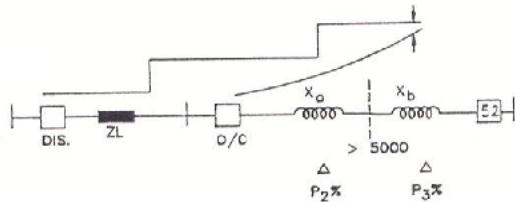
اما در شبکه انتقال ثالثیه ترانسفورماتور عموماً جهت تغذیه بار مصرفی پست و یا اتصال را کتور به آن می باشد. بدین خاطر جریان ورودی به خطوط مجاور و جریانهای خروجی از خطوط مجاور از T-off نسبت

به جریان اتصالی قابل صرف نظر کردن است. در رابطه (۱۸-۱) مقدار  $I_c$  صفر قرار داده شود نتیجه چنین می‌شود:

بدین ترتیب با فرض فوق، اثر شاخه سوم (مربوط به ثالثیه) حذف می‌گردد. لذا در تحلیل نقاط و شرایط بحرانی اثر شاخه سوم در نظر گرفته نمی‌شود.

دومین مسأله در برنامه اتصال کوتاه این است که در پاره‌ای موارد یکی از امپانس‌های مدل سه خطه ترانسفورماتور دارای مقداری منفی است. این مسأله در مورد شبکه ایران که دارای سطوح ولتاژ  $400\text{ kV}$   $230\text{ kV}$  و  $132\text{ kV}$  و برحی ولتاژهای دیگر می‌باشد، در نظر گرفته شده است و مقادیر واقعی امپانس ترانسفورماتورها در آن موجود است. بنابراین در فایل ورودی اطلاعات شبکه، فقط در پاره‌ای از موارد امپانسی از امپانس‌های مدل ترانسفورماتور که جهت برنامه هماهنگی رله‌های اضافه جریان در دو سطح ولتاژ مورد استفاده قرار گرفته، مقداری منفی دارد. یعنی المان موجود یک خازن می‌باشد. همچنین در هر جا که این المان مقداری منفی دارد، این المان متصل به شبکه با ولتاژ کمتر است و در این موضوع استثنایی وجود ندارد. در مرجع [11] نیز احتمال وجود المان خازنی ذکر شده است. با توجه به پاره‌ای المانهای خازنی در طرف ولتاژ کم ترانسفورماتور به تحلیل نحوه هماهنگی و منطق، آن در مورد ترکیب رله‌ها اضافه جریان و دیستانس در پاره‌ای موارد حالت دوم در دو سطح پرداخته می‌شود. حال به بررسی نقاط و شرایط بحرانی در وضعیتهای مختلف حالت دوم پرداخته می‌شود.

الف- وجود المانهای سلفی در مدل ترانسفورماتور:



شکل ۱۷-۱: همانگی ترکیب رله اضافه جریان اصلی و دیستانس پشتیبان با المان سلفی در مدل ترانسفورماتور

شکل (۱۷-۱) بیانگر رله دیستانس (پشتیبان) و رله اضافه جریان (حفظت اصلی) بوده و کلیه المانهای مدل ترانسفورماتور سلفی هستند. همانطور که در دیاگرام فاصله- زمان و جریان- زمان رله‌های حفاظتی شکل (۱۷-۱) نمایان است، نقاط بحرانی در انتهای ناحیه دوم و ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان است و در این دو نقطه دو مشخصه فاصله- زمان رله دیستانس (پشتیبان) و جریان زمان رله اضافه جریان (اصلی) کمترین فاصله زمانی را با یکدیگر پیدا می‌کنند و اگر به ازای خطا در این نقاط و شرایط بحرانی که در بعد بحث می‌شود، هماهنگی بین این دو رله اصلی و پشتیبان برقرار باشد، در کلیه حالات دیگر نیز هماهنگی برقرار است.

با توجه به شکل (۱۷-۱) چنانچه نقطه بحرانی جهت هماهنگی ترکیب رله‌ها در دو سطح ولتاژ در انتهای ناحیه دوم رله دیستانس پشتیبان باشد، انتهای این ناحیه بر اساس استدلال و فرضی که در بخش ۱-۶ پیرامون اصول هماهنگی رله‌های دیستانس در یک شبکه حلقوی دارای دو سطح ولتاژ گردید، می‌تواند بر درصد کوچکتری از ۵۰% امپدانس ترانسفورماتور و یا حداقل ۵۰% این امپدانس، واقع باشد. با توجه به اولین مطلب مطروحه در ابتدای بحث حالت دوم در دو سطح ولتاژ، امپدانس ترانسفورماتور با تقریب موردنظر

برابر  $X_a + X_b$  می باشد و میزان پوشش ناحیه دو رله دیستانس پشتیبان از المان اول مدل ترانسفورماتور  $(X_a)$  برابر  $P_2$  درصد است.

لازم به ذکر است که چون در برنامه اتصال کوتاه شین، فرضی با شماره شین بزرگتر از 5000 برای ترانسفورماتورها در نظر گرفته شده، لذا  $P_2$  بر حسب درصد  $X_a$  بیان می شود و نه بر اساس  $X_a + X_b$  و مقدار درصد  $P_2$  از رابطه (۲۰-۱) بدست می آید.

$$P_2 \% = \frac{Z_{2(Dis)} - Z_L}{X_a} \times 100 \quad \text{فرمول ۲۰-۱:}$$

با توجه به مقادیر متفاوت  $X_a$  و  $X_b$  نسبت به یکدیگر و مقدار تنظیم ناحیه دوم رله دیستانس، مقدار  $P_2$  درصد می تواند کوچکتر، مساوی و بزرگتر از 100 بشود که به احتمال قوی تر کوچکتر و یا مساوی 100 درصد است. اگر  $P_2$  درصد بزرگتر از 100 باشد نقطه بحرانی بر روی  $P_2'$  درصد از خط بعدی که بر طبق رابطه (۲۱-۱) بدست می آید، واقع می شود.

$$P_2' \% = \frac{Z_{2(Dis)} - Z_L - X_a}{X_b} \times 100 \quad \text{فرمول ۲۱-۱:}$$

بحث پیرامون شرایط بحرانی نیز مشابه بحث در یک سطح ولتاژ است یعنی عواملی که باعث عبور کمترین جریان از رله اضافه جریان (اصلی) شده و در نتیجه افزایش زمان عملکرد این رله و در نهایت کاهش فاصله زمانی عملکرد دو رله اضافه جریان و دیستانس به ازای نقطه بحرانی در انتهای ناحیه دوم رله دیستانس را به همراه دارد، شرایط بحرانی ایجاد می کنند که عبارتند از:

- کلیه خطوط و یا ترانسفورماتورهای متصل به شین اصلی به جز ترانسفورماتور اصلی و خط پشتیبان، قطع باشند.

- کلید پایانه (ترمینال) دیگر ترانسفورماتور وصل باشد.

چنانچه نقطه بحرانی جهت هماهنگی ترکیب رله ها در دو سطح ولتاژ در انتهای ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان باشد آنگاه براساس استدلال و فرضی که در بخش ۲-۶ پیرامون تنظیم ناحیه سوم رله دیستانس در یک شبکه حلقوی دارای دو سطح ولتاژ بیان گردید، انتهای این ناحیه می تواند بر درصدی از امپدانس ترانسفورماتور و یا حد اکثر کل امپدانس ترانسفورماتور، واقع شود. با توجه به اولین مطلب گفته شده در ابتدای اینحالت و دقت در شکل (۱۷-۱)، مقدار درصد پوشش ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان از المان  $(P_3)$  برابر است با:

$$P_3 \% = \frac{Z_{3(Dis)} - Z_L - X_a}{X_b} \times 100 \quad \text{فرمول ۲۲-۱:}$$

با توجه به مقادیر متفاوت  $X_a$  و  $X_b$  نسبت به یکدیگر و نحوه تنظیم ناحیه سوم رله دیستانس بر اساس مقادیر امپدانس خطوط و ترانسفورماتورها و شکل شبکه، مقدار  $P_3$  درصد می تواند مثبت، صفر و منفی شود. یعنی انتهای ناحیه سوم رله دیستانس بر درصدی از المان  $X_b$ ، و یا بین المان  $X_a$  و  $X_b$  و یا بروی  $X_a$  واقع شود. در صورتی که  $P_3$  درصد مثبت گردد رابطه (۲۲-۱) تعیین کننده محل خطا بر روی  $P_3$  درصد از المان  $X_b$  می باشد و در صورتی که  $P_3$  درصد صفر و یا منفی گردد، رابطه (۲۳-۱) تعیین کننده محل خطا بر روی  $P_3'$  درصد از المان  $X_a$  خواهد بود.

$$P_3' \% = \frac{Z_{3(Dis)} - Z_L}{X_a} \times 100 \quad \text{فرمول ۲۳-۱:}$$

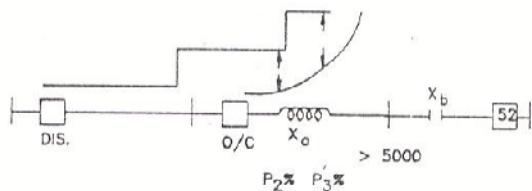
شرایط بحرانی برای این نقطه بحرانی عبارتند از:

- کلیه خطوط و یا ترانسفورماتورهای متصل به شین اصلی بجز ترانسفورماتور اصلی و خط پشتیبان، قطع باشند.

- کلید پایانه (ترمینال) دیگر ترانسفورماتور وصل باشد.

لازم به ذکر است با توجه به شکل (۱۷-۱)، تفاوتی در محل کلید بین یک سطح ولتاژ و دو سطح ولتاژ به علت مدل ترانسفورماتور وجود دارد. در یک سطح ولتاژ باید کلید انتهایی خطی که رله اضافه جریان (یعنی خط اصلی) بر روی آن واقع است، وصل باشد. ولی در دو سطح ولتاژ به علت اینکه شین وسط ترانسفورماتور (با شماره بزرگتر از ۵۰۰۰)، شین فرضی است و واقعیت ندارد. در نتیجه در انتهای المانی که رله اضافه جریان بر روی آن قرارداد کلیدی وجود ندارد و بر روی انتهای المان بعدی (ترمینال دیگر ترانسفورماتور) کلید واقع می‌گردد. لذا در شرط بحرانی دوم دو سطح ولتاژ، کلید ترمینال دیگر ترانسفورماتور مطرح است.

ب- مدل ترانسفورماتور با اولین المان سلفی پس از خط انتقال و دومین المان خازنی:

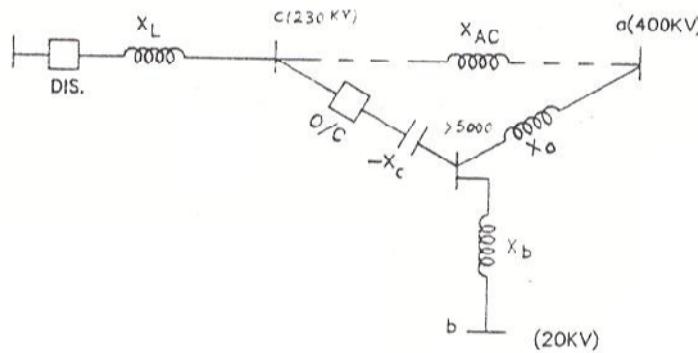


شکل ۱۸-۱: هماهنگی ترکیب رله اضافه جریان اصلی و رله دیستانس پشتیبان با اولین المان بصورت سلفی دومین المان بصورت خازنی

با توجه به شکل (۱۸-۱) رله دیستانس واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور (حفظت پشتیبان) و رله اضافه جریان در جنب ترانسفورماتور (حفظت اصلی) بوده و اولین المان مدل ترانسفورماتور بلاfaciale بعد از خط انتقال، المان سلفی است و المان بعدی، خازنی است. در اینجا به اختصار مطلبی بازگو می‌شود که در ادامه این فصل به اثبات آن پرداخته می‌شود و آن اینست که مقدار راکتانس خازنی مدل ترانسفورماتور نسبت به راکتانس سلفی این مدل کوچکتر است. لذا بر همین اساس بحث هماهنگی ترکیب رله‌ها را در دو سطح ولتاژ در حالت ب و رسم دیاگرام فاصله - زمان و جریان - زمان رله‌ها، انجام شده است. با توجه به نکته اول طرح شده در ابتدای مبحث حالت دوم در دو سطح ولتاژ که بطور تقریب امپدانس ترانسفورماتور دیده شده توسط رله دیستانس، برابر مجموع  $X_a$  و  $X_b$  است و نباید ناحیه سوم رله دیستانس نیز از کل امپدانس ترانسفورماتور تجاوز نماید.  $X_a$  در مقدار یک پریونیت یا بیشتر می‌باشد و راکتانس خازنی آن کم می‌شود تا در مجموع امپدانس ترانسفورماتور را تشکیل دهد. بدین خاطر ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان از المان سلفی مدل ترانسفورماتور تجاوز نمی‌کند. بنابراین مطابق روابطی که در حالت الف جهت  $P_2$  درصد و  $P_3'$  درصد آورده شد،  $P_2$  و  $P_3'$  درصد از المان  $X_a$  نقاط بحرانی در حالت ب می‌باشند و شرایط بحرانی نیز با مطالب مذکور در قسمت الف تفاوتی نمی‌کند.

قبل از طرح دو حالت بعدی ب در دو سطح ولتاژ، چون موضوع جهت هماهنگی رله‌های دیستانس بر روی خط جانبی ترانسفورماتور و اضافه جریان واقع بر المان خازنی ترانسفورماتور (المان بعدی مدل ترانسفورماتور، سلفی است) می‌باشد، بدین خاطر در ابتدا به تحلیل این شبکه پرداخته می‌شود.

شكل (۱۹-۱) بیانگر دو وضعیت دیگر حالت ب می‌باشد در این دو وضعیت رله دیستانس واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور (حفظاًت پشتیبان) و رله اضافه جریان واقع بر المان خارجی مدل ترانسفورماتور (حفظاًت اصلی) می‌باشد.



### شکل ۱۹-۱: دو وضعیت دیگر حالت ب

شین c نماینده شین با سطح ولتاژ کمتر (بفرض در شبکه kV 400-230) نشان دهنده 230 kV است) می‌باشد. همانطوریکه قبلًا گفته شد حتماً المان متصل به شین با ولتاژ کمتر یعنی kV 230 محتمل است که خازنی باشد و المان متصل به شین با سطح ولتاژ بالا حتماً سلفی است. در شکل مذکور، شین a نماینده شین با سطح ولتاژ بالاتر (400 kV) است و شین b نیز دارای کمترین سطح ولتاژ (بفرض 20 kV) می‌باشد. سه المان  $X_a$ ,  $X_b$  و  $X_c$  مدل کننده ترانسفورماتور می‌باشند و المان  $X_{AC}$  نیز بیانگر امپدانس بین دو سیم پیچ (یا دوشین) صرفنظر می‌شود. ابتدا جهت اثبات کوچک بودن نسبی امپدانس خازنی یکی از شاخه‌های مدل ترانسفورماتور مباحث زیر مطرح می‌گردد. در ضمن جهت سهولت بحث، کل امپدانسها را بحالت راکتانسی در نظر گرفته و از مقاومت کم آنها صرفنظر شده است. فرض می‌شود که بین راکتانس المانهای مدل ترانسفورماتور و راکتانس خط جانبی ترانسفورماتور رابطه (۲۴-۱) برقرار باشد که در آن راکتانس المان متصل به شین با سطح ولتاژ بالا ( $X_a$ ) مبنی قرار گرفته است.

$$\begin{aligned} X_a \\ X_b &= \alpha X_a \\ X_c &= \beta X_a \\ X_L &= \gamma X_a \end{aligned} \quad \text{.....: فرمول ۱-۲۴}$$

$\alpha$ ,  $\beta$  و  $\gamma$  ضرایب تناسبی هستند که به ترتیب نسبت المانهای  $X_b$  و  $X_c$  مدل ترانسفورماتور و راکتانس خط جانبی ترانسفورماتور به المان  $X_a$  را بیان می‌نمایند. با استفاده از تبدیل ستاره به مثلث، رابطه (۱-۲۵) حاصل می‌شود.

$$X_{AC} = \frac{X_a X_b - X_a X_c - X_b X_c}{X_b} \quad \text{..... فرمول ۲۵-۱}$$

با جایگزینی رابطه (۱-۲۴) در رابطه (۱-۲۵)، رابطه (۱-۲۶) نتیجه می‌شود.

با توجه به اینکه سمت چپ رابطه (۲۶-۱) همیشه مثبت است (با توجه به اطلاعات موجود ترانسفورماتورها)، یعنی راکتانس  $X_{AC}$  یک المان سلفی است و  $X_a$  هم که مقداری مثبت است. بنابراین از رابطه (۲۶-۱) رابطه (۲۷-۱) نتیجه می‌گردد.

$$1 - \beta - \frac{\alpha\beta}{\alpha} > 0 \rightarrow \beta + \frac{\beta}{\alpha} < 1 \rightarrow \beta < 1 \quad \text{فرمول ۲۷-۱:}$$

از رابطه (۲۷-۱) نتیجه می‌گردد که قدر مطلق  $X_c$  (قدر راکتانس خازنی مدل ترانسفورماتور متصل به شین با ولتاژ کمتر ترانسفورماتور)، کوچکتر از راکتانس  $X_a$  (قدر راکتانس سلفی مدل ترانسفورماتور متصل به شین با ولتاژ بیشتر ترانسفورماتور) می‌باشد و امیدانس  $X_c$  کوچک است. به عنوان مثال چنانچه  $\alpha = 1$  و  $\beta = 0.1$  باشد آنگاه با توجه به رابطه (۲۶-۱) خواهیم داشت:

$$X_{AC} = (1 - 0.1 - \frac{0.1}{1}) X_a = 0.8 X_a$$

مقادیر عددی المانهای امیدانس مدل ترانسفورماتورهای شبکه ایران بیانگر کوچکی قدر مطلق شاخه خازنی نسبت به شاخه سلفی متصل به شین با ولتاژ بیشتر مدل ترانسفورماتور می‌باشد.

در وضعیتی که رله دیستانس واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور (حکم حفاظت پشتیبان) و رله اضافه جریان واقع بر المان خازنی مدل ترانسفورماتور (عنوان حفاظت اصلی) باشد و با توجه به اینکه المان خازنی مدل ترانسفورماتور حتماً به شین با ولتاژ کمتر (در شبکه  $400-230 \text{ kV}$ ، شین  $230 \text{ kV}$ ) متصل می‌باشد، بدین خاطر این حالت در همانگی ترکیب رله‌ها در بخش شبکه‌ای با سطح ولتاژ پائین‌تر (بغض در شبکه ۲۳۰ کیلوولت) پیش می‌آید.

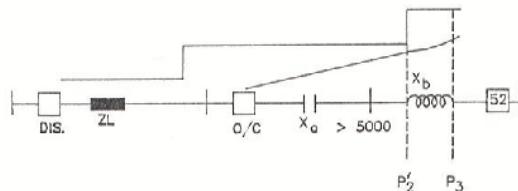
در شکل (۱۹-۱) دو وضعیت پیش می‌آید. در وضعیت اول چنین رابطه‌ای برقرار است:

$$|X_c| < |X_L - X_{1(Dis)}| \quad \text{فرمول ۲۸-۱:}$$

در وضعیت دوم در شکل (۱۹-۱) رابطه زیر برقرار است.

$$|X_c| > |X_L - X_{1(Dis)}| \quad \text{فرمول ۲۹-۱:}$$

ج- اولین المان خازنی مدل ترانسفورماتور، پس از خط انتقال با راکتانس خازنی کم می‌باشد:



شکل ۲۰-۱: اولین المان خازنی مدل ترانسفورماتور پس از خط انتقال

شکل (۲۰-۱) این وضعیت را نشان می‌دهد. این وضعیت در دو سطح ولتاژ در حالت کلی در صورتی پیش می‌آید که رابطه (۳۰-۱)، مشابه رابطه کلی (۲۸-۱)، برقرار باشد.

$$|X_a| < |X_L - X_{1(Dis)}| \quad \text{فرمول ۳۰-۱:}$$

در اینصورت مشخصه فاصله زمان نواحی اول، دوم و سوم رله دیستانس پشتیبان به شکل پلکانی بالارونده می‌باشد. جهت تحلیل نحوه ترسیم دیاگرام فاصله - زمان و جریان - زمان رله‌ها در شکل (۲۰-۱)، چنین می‌توان گفت:

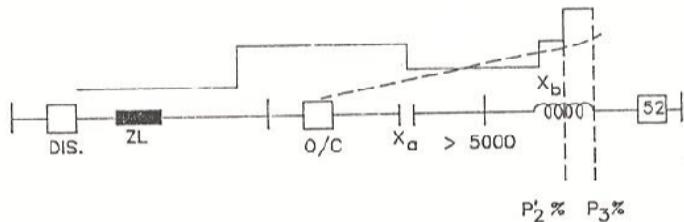
مقدار پوشش ناحیه یک رله دیستانس از خطی که واقع برآن است، ۰.۸ یا ۰.۹ امپدانس این خط ( $Z_L$ ) می‌باشد. تفاوت ناحیه یک رله دیستانس تا انتهای خط بدین ترتیب ۰.۲ تا ۰.۱ پریونیت است. با فرض اینکه مقدار راکتانس خازنی نشان داده شده در شکل از ۰.۱ تا ۰.۲ پریونیت کوچکتر است. اگر از مقدار امپدانس خط جانبی ( $Z_L$ ) کم شود (بعلت منفی بودن مقدار راکتانس خازن)، در طول المان خازنی مدل ترانسفورماتور، نایه دورله دیستانس پشتیبان ادامه یافته و تا  $P_2'$  درصد از المان  $X_b$  این ناحیه ادامه می‌یابد. به علت اینکه ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور، از کل امپدانس ترانسفورماتور فراتر نرود، بدین خاطر  $P_3$  درصد (حداکثر ۱۰۰%) از المان  $X_b$  را نیز ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان می‌پوشاند.

بدین ترتیب نقاط بحرانی در حالت ج در دو سطح ولتاژ عبارتند از:

- انتهای ناحیه دوم رله دیستانس پشتیبان واقع بر  $P_2'$  درصد از المان  $X_b$  که از رابطه (۲۱-۱)،  
درصد بدست می‌آید.

✓ انتهای ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان واقع بر  $P_3$  درصد از المان  $X_b$  که از رابطه (۲۲-۱)،  
درصد به دست می‌آید.

✓ اولین المان خازنی مدل ترانسفورماتور، پس از خط انتقال و راکتانس خازنی نسبتاً بزرگ باشد:



شکل ۲۱-۱: حالت د در دو سطح ولتاژ

شکل (۲۱-۱) بیانگر این وضعیت در دو سطح ولتاژ است. این وضعیت در حالت کلی در صورتی پیش می‌آید که رابطه (۳۱-۱) مشابه رابطه (۲۹-۱)، برقرار باشد.

$$|X_a| > |X_L - X_{1(Dis)}| \quad \text{فرمول ۳۱-۱:} \quad \dots \dots \dots$$

در اینصورت شکل مشخصه فاصله - زمان رله دیستانس پشتیبان به شکل (۲۱-۱) درمی‌آید. بدین ترتیب بخشی از ترانسفورماتور به علت خطای داخلی در آن توسط ناحیه یک (بحتی که به علت تفاضل امپدانسهای سلفی و خازنی در ناحیه یک مجدد رله دیستانس پشتیبان دیده می‌شود) این رله پشتیبان بطور آنی از مدار خارج می‌شود که این مطلوب نیست.

لازم به ذکر است که طرح این مسئله جدید بوده و در تمامی منابع که به این موضوع و یا اساساً تنظیم رله دیستانس واقع و یا نزدیک المانهای خازنی در شبکه پرداخته باشد، موجود نمی‌باشد. همچنین شکستن ناحیه دوم رله دیستانس و بازگشت آن به ناحیه یک رله و مجدداً رفتن به ناحیه سوم و سپس ناحیه سوم، حالت خاصی است که تاکنون به آن پرداخته نشده است. بدین خاطر در طرح مسئله نقاط بحرانی، تفاوت ماهوی با حالات سابق پیش می‌آید.

حال به نقاط بحرانی در این حالت پرداخته می‌شود. با توجه به شکل (۲۱-۱) مسلم‌آ نقطه اول شکست ناحیه دوم رله دیستانس پشتیبان ( نقطه ورودی مجدداً به ناحیه یک ) نمی‌تواند نقطه بحرانی باشد، اما می‌توان انتهای دوم ناحیه دو رله دیستانس پشتیبان ( نقطه ورودی به ناحیه سوم ) را نقطه بحرانی دانست.

چون با توجه به شکل (۲۱-۱)، حداقل فاصله زمانی عملکرد برای دو رله اصلی و پشتیبان در اینجا وجود دارد. همچنین با توجه به مقادیر امپدانسها و راکتانسها و علائم آنها، مشابه آنچه که در بند سه به آن پرداخته شد، انتهای ناحیه دوم و سوم رله دیستانس پشتیبان در  $P_2'$  و  $P_3'$  درصد از المان  $X_b$  واقع می‌گردد. بدین ترتیب نقاط بحرانی در این وضعیت عبارتند از:

✓ انتهای دوم ناحیه دوم رله دیستانس پشتیبان واقع بر  $P_2'$  درصد از المان  $X_b$  که از رابطه (۱-۲۱)،  $P_2'$  درصد به دست می‌آید.

✓ انتهای دوم ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان واقع بر  $P_3'$  درصد از المان  $X_b$  که از رابطه (۱-۲۲)،  $P_3'$  درصد به دست می‌آید.

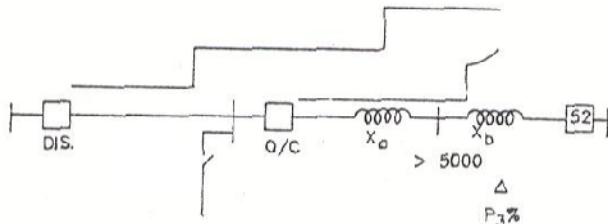
شرایط بحرانی نیز با مطالب مذکور در بند الف تفاوتی نمی‌کند.

در شکل (۲۱-۱)، محدوده‌ای از محل شکست ناحیه دوم به ناحیه اول رله دیستانس پشتیبان تا شروع مجدد ناحیه دوم این رله، توسط رله پشتیبان سریعتر از رله اصلی و آنهم بطور آنی، خطای رخداده پاک می‌گردد که این امر نامطلوب است. راه حل‌هایی که جهت این عدم هماهنگی می‌توان ارائه نمود چنین است:

✓ استفاده از رله دیستانس، تک ناحیه‌ای، اصلی (در محل رله اضافه جریان اصلی) که بطور آنی خطای داخلی ترانسفورماتور را پاک نماید.

✓ استفاده از بخش آنی رله اضافه جریان جهت محدوده‌ای که ناحیه یک رله دیستانس پشتیبان مجدداً بروز نموده است که بدین شیوه خطای واقع در این محدوده توسط بخش آنی رله اضافه جریان، بطور آنی پاک می‌شود.

#### ۵- وجود بخش آنی در رله اضافه جریان جانبی ترانسفورماتور:



شکل ۲۲-۱: وجود بخش آنی در رله اضافه جریان جانبی ترانسفورماتور

وضعیت ۵ در دو سطح ولتاژ، در حالتی پیش می‌آید که رله دیستانس پشتیبان واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور بوده و رله اضافه جریان اصلی جانبی ترانسفورماتور دارای بخش آنی باشد. حضور بخش آنی برای رله اضافه جریان جنب ترانسفورماتور معقول و منطقی است و مباحثی که باعث عدم استفاده از این عنصر در شبکه انتقال پیش می‌آید و تناقصی که با فلسفه حفاظتی موجود برای عناصر بازبست اتوماتیک در شبکه قدرت وجود دارد، در اینجا صدق نمی‌کند. به دلیل عدم استفاده از رله بازبست در کنار ترانسفورماتور در شبکه انتقال ایران، وجود عنصر آنی رله اضافه جریان غیرمنطقی نیست. بدین خاطر به تحلیل این وضعیت در دو سطح ولتاژ پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که بر طبق مطالب مطروحه در بخش ۵-۵-۱، در صورتی حضور بخش آنی رله اضافه جریان موردنظر مجاز است که تنظیم این بخش بیشتر از جریان هجومی ترانسفورماتور باشد. همچنین بر طبق مطلب طرح شده در بخش ۵-۵-۱ برای تنظیم جریانی بخش آنی رله اضافه جریان برابر ۱۲۵% ماکزیمم سطح خطای خارجی ترانسفورماتور به شرح مطالب این بند می‌پردازیم.

در مبحث اصلی هماهنگی رله‌های دیستانس در دو سطح ولتاژ مطرح شد که تنظیم ناحیه دو رله دیستانس واقع بر خط جانبی ترانسفورماتور به ترتیبی است که حداقل از ۵۰% پوشش ترانسفورماتور تجاوز ننماید. از طرفی دیگر بخاطر تنظیم ۱۲۵% ماکزیمم سطح خطا برای بخش آنی رله اضافه جریان و قوع خطاب در پایانه (ترمینال) دیگر ترانسفورماتور باعث بروز ماکزیمم سطح خطا می‌گردد لذا بدون در نظر گرفتن امپدانس منبع،  $\frac{1}{125\%}$  امپدانس ترانسفورماتور توسط بخش آنی پوشیده می‌گردد یعنی ۸۰% ترانسفورماتور توسط این بخش پوشش داده می‌شود. با توجه به شکل (۲۲-۱) بخش آنی رله اضافه جریان فراتر از ناحیه دوم رله دیستانس پشتیبان را بر اثر بروز خطا بطور لحظه‌ای پاک می‌نماید و مجالی برای عملکرد رله دیستانس پشتیبان نمی‌دهد و در صورتی که رله اضافه جریان به هر دلیل عمل نکند، رله دیستانس پشتیبان با زمان ناحیه دو ( $T_2$ ) که برابر حداقل فاصله زمانی هماهنگی (TDMN) می‌باشد خطای رخ داده را پاک می‌نماید و هماهنگی در هر صورت برای انتهای ناحیه دوم برقرار است.

مطابق شکل (۲۲-۱) تنها نقطه بحرانی در حالت ۵، انتهای ناحیه سوم رله دیستانس پشتیبان است. این نقطه در  $P_3$  درصد از راکتانس  $X_b$  خواهد بود که مقدار  $P_3$  درصد از رابطه (۲۲-۱) بدست می‌آید. شرایط بحرانی مشابه آنست که در قسمت الف برای نقطه بحرانی در انتهای ناحیه سوم توضیح داده شد.