



**MohandesYar.com**

مهندس یار، یار مهندسان ایرانی!

جزوه درس حفاظت و رله

لطفاً نواقص احتمالی این جزوه را جهت اصلاح در ویرایش های بعدی به نشانی  
bazyar@mohandesyar.com ارسال فرمایید.

## فصل اول: اصول حفاظت

## اهداف آموزشی فصل اول

- بررسی و آشنایی با مفاهیم اساسی در حفاظت
- بررسی و آشنایی با اصطلاحات فنی کاربردی در حفاظت
- آشنایی با کدهای استاندارد رله های حفاظتی
- گروه بندی انواع رله ها

### ۱-۱- وسایل حفاظت

وسایل حفاظت عبارتی است کلی که همه تجهیزات مورد استفاده جهت آشکارسازی، محل یابی و شروع رفع عیب را در سیستم قدرت شامل می شود. غالبا برای وظایف اصلی حفاظت، رله ها را به کار می برند ولی وسایل حفاظت، قطع کننده های جریان متناوب هستند، که مستقیما عمل می کنند، و فیوزها را نیز شامل می شوند.

برای دستیابی به یک سیستم تشخیص دهنده با سرعت بهینه برای آرایشهای شرایط عملکردی و خصوصیات ساختاری گوناگون سیستم های قدرت، تولید انواع گوناگون رله که در برابر کنشهای مختلف کمیتهای سیستم قدرت واکنش نشان دهند، الزامی می باشد. برای مثال در برخی حالتها تنها دانستن اندازه جریان اتصال کفایت می کند ولی در موارد دیگر ممکن است اندازه گیری توان یا امپدانس لازم باشد. رله ها غالبا تابعهای مختلط کمیتهای سیستم را که تنها از طریق روشهای ترسیمی و ریاضی به سادگی قابل بیان اند، می سنجند.

در بسیاری از موارد، حفاظت در مقابل تمامی خطاها با یک رله میسر نمی شود. بنابراین ترکیبی از انواع گوناگون رله، که هر کدام به تنهایی حفاظت در برابر خطاهای مختلفی را انجام می دهند، به کار می رود. هر آرایش حفاظت جداگانه را سیستم حفاظت می نامند، در حالی که کل ترکیب هماهنگ رله ها طرح حفاظت خوانده می شود.

### ۱-۲- قابلیت اطمینان

به لزوم دستیابی به قابلیت اطمینان در بخش مقدمه اشاره شد. عملکرد نادرست را می توان به یکی از عوامل زیر نسبت داد:

الف: طراحی اشتباه

ب: نصب اشتباه

ج: نگهداری و تعمیرات ناصحیح و بی برنامه

### ۳-۱- گزینش

عمل حفاظت در چند حوزه انجام می گیرد تا تجهیزات سیستم قدرت را به طور کامل تحت پوشش قرار دهد و هیچ قسمتی را حفاظت نشده رها نکند. هنگامی که یک عیب بروز می کند، عمل حفاظت، گزینش و قطع نزدیکترین کلید قدرت را ایجاب می کند. این خاصیت قطع گزینشی، متمایز کردن نامیده می شود و به وسیله دو روش کلی به دست می آید.

#### الف. سیستمهای زمانبندی شده

سیستمهای حفاظت، در منطقه هایی متوالی قرار داده میشوند بطوریکه زمانهای عملکرد آنها به واسطه توالی تجهیزات درجه بندی میگردد، به گونه ای که هنگام بروز عیب، اگر چه شماری از تجهیزات حفاظتی پاسخ می دهند، ولی تنها تجهیزات مربوط به منطقه معیوب، عمل قطع را به طور کامل انجام دهند و دیگر تجهیزات بطور کامل عمل نکرده، و به وضعیت اولیه خود باز گردند.

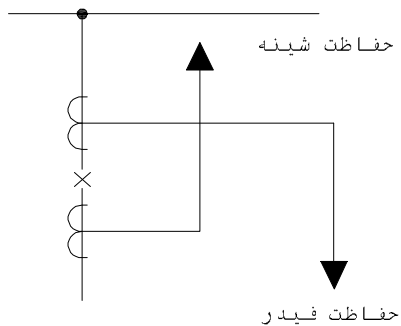
#### ب. سیستمهای واحد

ممکن است سیستمهای حفاظت به گونه ای طراحی شوند که تنها به شرایط اتصالی واقع در یک منطقه کاملاً معین پاسخ دهند. این حفاظت واحد یا حفاظت محدود را می توان در سراسر یک سیستم قدرت به کار برد و از آنجا که درگیر زمانبندی نمی شود، در عملکرد نسبتاً سریع است. باید در نظر داشت که گزینش نمودن منحصر به طراحی رله مربوط نمی شوند. گزینش تابعی از هماهنگی صحیح ترانسفورماتورهای جریان و رله ها با یک انتخاب مناسب از تنظیمهای رله است، که در آن محدوده متغیرهایی همچون جریانهای اتصال کوتاه، حداکثر جریان بار، امپدانس های سیستم و غیره هر کدام که نیاز باشد، به حساب می آید.

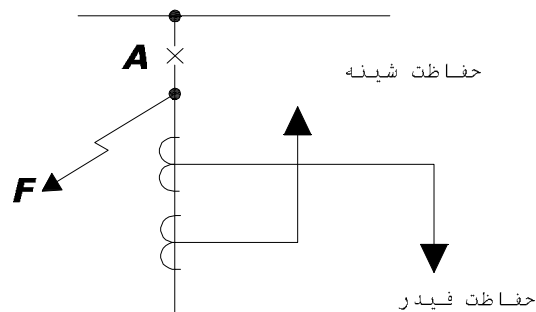
### ۴-۱- منطقه های (محدوده های) حفاظت

چنانکه در شکل ۱-۱ دیده می شود، به طور ایده ال، منطقه های حفاظت اشاره شده در بخش ۱-۳ باید در دو سوی دیژنکتور همپوشی داشته باشند و دیژنکتور در هر دو منطقه قرار گیرد. به دلایل عملی، این حالت ایده ال همواره به دست نمی آید. در بعضی موارد محل مناسب برای ترانسفورماتورهای جریان، مطابق شکل ۱-۲، تنها در یک طرف دیژنکتور میسر است. در این روش در صورتیکه اتصالی بین ترانسفورماتورهای جریان و دیژنکتور A رخ دهد با عملکرد حفاظتی، برطرف نمی شود. در شکل ۱-۲ اتصال کوتاه در نقطه F باعث می شود که حفاظت شینه عمل کرده، دیژنکتور مدار را باز کند ولی تغذیه اتصالی از طریق منبع ادامه می یابد.

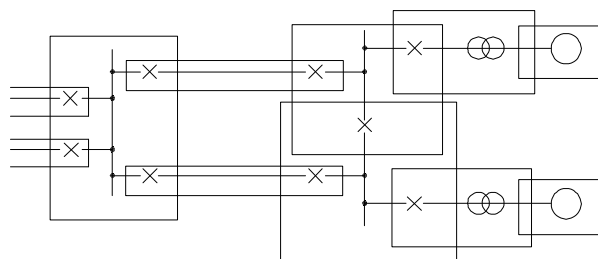
حفاظت منبع اگر از نوع واحد باشد عمل نمی کند، زیرا اتصالی در خارج از منطقه مربوطه قرار دارد. محل اتصال وسیله حفاظت به سیستم قدرت معمولا منطقه را مشخص می کند و با محل قرار گرفتن ترانسفورماتورهای جریان مطابقت می کند. در صورتیکه حفاظت از نوع واحد باشد مرزش یک حلقه کاملا معین و بسته است. شکل ۱-۳ یک نمونه از آرایش محدوددهای همپوش را نشان می دهد.



شکل ۱-۱



شکل ۱-۲



شکل ۱-۳

## ۵-۱- پایداری

این عبارت، اگر در سیستم حفاظت به صورت جدا از شبکه های قدرت به کار رود، به توانایی بی حرکت ماندن سیستم در همه شرایط بار و اتصالیهای خارج از منطقه مربوطه دلالت دارد.

## ۱-۶- سرعت

وظیفه حفاظت خودکار، جداسازی اتصالیها از سیستم قدرت در زمانی به مراتب کوتاهتر از زمانی است که می تواند به طور دستی، حتی با یک نظارت شخصی بسیار دقیق، به دست آید. هدف اصلی سرعت در حفاظت، حفظ پیوستگی تغذیه با رفع هرگونه اغتشاش است پیش از آنکه اغتشاش به از دست رفتن گسترده همزمانی منجر شود، که در این صورت تعطیلی نیروگاه را الزامی می کند. وسایل حفاظت باید تا حد امکان سریع عمل کنند، هر چند که سرعت، باید در مقابل جنبه های اقتصادی ارزیابی شود. به این دلیل مدارهای توزیع که در آنها نیاز به عملکرد بسیار سریع نیست، معمولا با سیستمهای زمانبندی شده حفاظت می شوند، ولی نیروگاه و سیستمهای ولتاژ خیلی قوی به وسایل حفاظت با بالاترین سرعت قابل حصول نیاز دارند و تنها عامل محدود کننده، ضرورت عملکرد صحیح خواهد بود.

## ۱-۷- حساسیت

حساسیت عبارتی است که غالبا هنگام اشاره به حداقل جریان عملکردی یک سیستم حفاظت به کار می رود. اگر جریان عملکرد کم باشد، سیستم حفاظت، حساس خوانده می شود. هنگامی که عبارت فوق برای رله منفرد به کار می رود به یک تنظیم جریان یا ولتاژ اشاره نمی کند بلکه به مصرف ولت - آمپر در حداقل جریان عملکرد دلالت دارد. برای رله های جریان مستقیم، ورودی ولت - آمپر، مصرف توان را نیز بیان می کند، بنابراین بارگذاری رله غالبا برحسب وات بیان می شود.

## ۱-۸- حفاظت پشتیبان و اصلی

عوامل بسیاری ممکن است موجب عدم کارایی حفاظت شوند و همواره احتمال عدم عملکرد دیژنکتور وجود دارد. به این دلیل، تکمیل حفاظت اصلی با سیستمهای دیگر به منظور پشتیبانی از عملکرد سیستم اصلی و اطمینان، رایج است. حفاظت پشتیبان ممکن است به طور خودکار به صورت یک ویژگی ذاتی طرح حفاظت اصلی، یا به طور مستقل به وسیله تجهیزات اضافی به دست آید. حفاظتهای زمانبندی شده همچون حفاظت دیستانس یا اضافه جریان نمونه های تامین حفاظت پشتیبان ذاتی اند. در حالت عادی بخش معیوب با زمانبندی جدا می شود، اما اگر رله مربوطه عمل نکند یا دیژنکتور نتواند قطع کند، رله بعدی درتوالی زمانبندی، عملکرد آن را کامل کرده، دیژنکتور مربوطه را قطع می کند. بدین وسیله، مدار اتصالی از یک بخش عقب تر قطع می شود. بنابراین حفاظت پشتیبان کامل به دست می آید و یک بخش بیشتر از آنچه مطلوبست، جدا می شود که این امر در صورت عدم عملکرد یک دیژنکتور، اجتناب ناپذیر است. در جایی که اتصالات سیستم پیچیده تر باشد، عملکرد فوق تکرار می شود تا تمام تغذیه کننده

های موازی قطع شوند. اگر سیستم قدرت عمدتاً با حفاظت واحد حفاظت شود، حفاظت پشتیبان خودکار لزومی ندارد و طبیعی است که حفاظت اصلی با حفاظت اضافه جریان زمانبندی شده کامل شود تا اگر رله های حفاظت اصلی عمل نکردند حفاظت پشتیبان موضعی فراهم شود و در صورت عدم عملکرد دیژنکتور، شبکه از عقب تر قطع گردد.

## **۹-۱- تعاریف و اصطلاحات فنی**

### **۹-۱-۱- رله عمومی**

رله ای که برای داشتن دقت معینی جهت عملکرد، طراحی نشده باشد.

### **۹-۱-۲- رله کمکی**

رله کمکی برای تکمیل عمل رله دیگر به کار می رود. این کار به عنوان مثال با تغییر حالت کنتاکت یا با ایجاد تأخیر زمانی صورت می گیرد.

### **۹-۱-۳- حفاظت پشتیبان**

سیستم حفاظتی که برای تکمیل حفاظت اصلی (در صورت غیر مؤثر بودن حفاظت اصلی) یا برای مقابله با اتصالها در آن قسمتهایی از سیستم قدرت که به سادگی در منطقه های عملکرد حفاظت اصلی قرار نمی گیرند ، در نظر گرفته می شود.

### **۹-۱-۴- کمیت مشخصه**

کمیتی که مقدار آن عملکرد رله را مشخص می کند، مثلاً جریان در رله اضافه جریان ، ولتاژ در رله اضافه ولتاژ ، زاویه فاز در رله جهت دار و زمان در رله تأخیر زمانی مستقل

### **۹-۱-۵- رله تأخیر زمانی وابسته**

رله تأخیر زمانی که در آن تأخیر زمانی با مقدار کمیت تحریک کننده تغییر می کند.

### **۹-۱-۶- رله تأخیر زمانی مستقل**

رله تأخیر زمانی که در آن تأخیر زمانی مستقل از کمیت تحریک کننده است.

### **۹-۱-۷- رله تأخیر زمانی معکوس**

رله تأخیر زمانی وابسته که زمان عملکرد آن تابعی معکوس از کمیت مشخصه الکتریکی است.

### **۹-۱-۸- رله تأخیر زمانی معکوس با کمینه معین (IDMT)**

رله ای که در آن، تأخیر زمانی تا مقدار معینی با کمیت مشخصه به طور معکوس تغییر می کند و پس از آن ، تأخیر زمانی اساساً از کمیت مشخصه مستقل می شود.

### **۹-۱-۹- برگشت**

هنگامی که رله از وضعیت تحریک شده به وضعیت تحریک نشده برمیگردد، یعنی غیر فعال می شود.

#### ۱-۹-۱۰- سیستم حفاظت اتصالی زمین

سیستم حفاظتی که به گونه ای طراحی می شود که فقط در مقابل اتصالیهای زمین پاسخ دهد.

#### ۱-۹-۱۱- ترانسفورماتور زمین

ترانسفورماتور سه فازي که الزاماً برای ایجاد نقطه خنثی در سیستم قدرت به منظور زمین کردن آن، در نظر گرفته می شود.

#### ۱-۹-۱۲- کمیت تحریک کننده

کمیت الکتریکی جریان یا ولتاژ، که به تنهایی یا همراه با کمیتهای تحریک کننده دیگر، باید به رله اعمال شود تا موجب به کارافتادن آن شود.

#### ۱-۹-۱۳- رله آنی

رله ای که بدون هیچ تأخیر زمانی به کار می افتد و برگشت می کند.

#### ۱-۹-۱۴- حفاظت اصلی

سیستم حفاظتی که در حالت عادی انتظار می رود تا در پاسخ به عیب ایجاد شده در منطقه حفاظت شده عمل کند.

#### ۱-۹-۱۵- زمان عملکرد

زمانی است که بین اعمال یک کمیت مشخصه و لحظه ای که رله عمل می کند (در رله ای که تحریک نشده و در وضعیت اولیه است)، سپری می شود.

#### ۱-۹-۱۶- مشخصه زمانی عملکرد

منحنی نمایش دهنده ارتباط بین مقادیر مختلف کمیت مشخصه اعمال شده به رله و مقادیر زمان عملکرد

#### ۱-۹-۱۷- مقدار عملکرد

مقدار حدی کمیت مشخصه که در آن رله به طور واقعی عمل می کند.

#### ۱-۹-۱۸- محدوده حفاظت شده

بخشی از سیستم قدرت که توسط یک سیستم حفاظت معین یا قسمتی از آن حفاظت ، حفاظت می شود.

#### ۱-۹-۱۹- وسایل حفاظت

وسایلی که رله های حفاظتی، ترانسفورماتورها و تجهیزات کمکی مورد استفاده در سیستم حفاظت را شامل می شود.

#### ۱-۹-۲۰- رله حفاظتی

رله ای که در صورت بروز عیب یا دیگر شرایط غیرعادی در تاسیسات ، قسمتی از تاسیسات الکتریکی را جدا یا علائم هشدار دهنده را فعال کند. رله حفاظتی ممکن است بیش از یک رله الکتریکی و لوازم فرعی را شامل شود.

#### ۱-۹-۲۱- سیستم حفاظت

ترکیبی از وسایل حفاظت که طراحی می شود تا در شرایط از پیش تعیین شده ، معمولاً در شرایط غیرعادی ، جداسازی قسمتی از یک سیستم قدرت را تضمین، یا اعلام خطر کند، و یا هر دو عمل را با هم انجام دهد.

#### ۱-۹-۲۲- جریان مانده

مجموع جبری تمام جریانهای خط در یک سیستم چند فاز

#### ۱-۹-۲۲- ولتاژ مانده

مجموع جبری تمام ولتاژهای خط به زمین در یک سیستم چند فاز

#### ۱-۹-۲۳- تنظیم

مقدار حدی از یک کمیت مشخصه یا تحریک کننده که در آن رله طراحی می شود تا تحت شرایط معینی عمل کند. چنین مقادیری معمولاً بر روی رله قید می شود و ممکن است به صورت مقادیر مستقیم ، درصدی از مقادیر نامی ، یا ترکیبی از هر دو بیان شود.

### ۱-۱۰- فهرست شماره رله ها و کلیدها

۲	رله راه اندازی با تأخیر زمانی یا رله ای که با تأخیر زمانی مدار را می بندد
۳	رله بررسی کننده
۲۱	رله دیستانس
۲۵	رله سنکرون کننده
۲۷	under voltage
۳۰	رله اعلام کننده
۳۲	رله توان جهتدار
۴۶	رله فاز معکوس
۴۹	رله حرارتی
۵۰	رله اضافه جریان آنی
۵۵	رله ضریب توان
۷۴	رله اعلام خطر
۸۱	رله فرکانس
۵۹	رله اضافه ولتاژ
۵۶	رله مورد استفاده در فیلد ژنراتور یا موتور dc
۶۷	رله اضافه جریان جهتدار جریان متناوب
۸۷	رله حفاظت دیفرانسیل
۷۶	رله اضافه جریان، جریان مستقیم
۷۸	رله اندازه گیری زاویه
۵۱	رله اضافه جریان زمانی جریان متناوب
۵۲	دیژنکتور جریان متناوب
۵۲a	کلید کمکی دیژنکتور ، معمولاً باز
۵۲b	کلید کمکی دیژنکتور ، معمولاً بسته
۶۰	رله تعادل ولتاژ یا جریان
۶۴	رله حفاظتی اتصال زمین

## ۱-۱- گروه بندی رله ها

رله حفاظتی ، ابزاری است که هر نوع تغییری در سیگنال ورودی خود را که از طریق منابع جریان و یا ولتاژ تامین می شود، احساس میکند. اگر اندازه سیگنال ورودی بیرون از بازه مشخصی باشد که از پیش تنظیم می شود، رله معمولاً برای باز کردن یا بستن اتصالات الکتریکی که نهایتاً به عملکرد دیگری مانند قطع یک کلید می انجامد ، وارد عمل می شود.

### گروه بندی رله ها

رله های حفاظتی را می توان بر اساس وظیفه ای که برعهده دارند، ساختمان، سیگنال ورودی و نوع عملکرد حفاظتی گروه بندی کرد.

#### ۱-۱-۱- بر حسب وظایف عمومی

الف- رله های کمکی      ب- حفاظت      ج- بازنگری      د- کنترل

#### ۱-۱-۲- بر حسب ساختار

الف- الکترومغناطیسی      ب- الکتریکی      ج- میکروپروسسوری      د- کامپیوتری  
و- غیر الکتریکی ( حرارتی ، فشار ، ... )

#### ۱-۱-۳- بر حسب سیگنال ورودی

الف- جریان      ب- ولتاژ      پ- سرعت      ج- توان      د- فرکانس      و- دما      ی- فشار  
ه- انواع دیگر.

#### ۱-۱-۴- بر حسب نوع حفاظت

الف- جریان زیاد      ب- جریان زیاد جهت دار      ج- دیستانس      د- ولتاژ زیاد  
و- دیفرانسیل      ه- توان معکوس

## پرسش های فصل اول

- ۱- وسایل حفاظت را تعریف نمایید؟
- ۲- حفاظت پشتیبان و اولیه را شرح دهید؟
- ۳- محدوده های حفاظت را توضیح دهید؟
- ۴- منظور از سیستم حفاظت چیست؟

## فصل دوم : ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان

## اهداف آموزشی فصل دوم

- علت استفاده از ترانسفورماتورهای اندازه گیری
- آشنایی با ترانسفورماتورهای اندازه گیری (جریان و ولتاژ)
- آشنایی با مفاهیم دقت و حد دقت و خطا در ترانسفورماتورهای اندازه گیری

### ۱-۲ - مقدمه

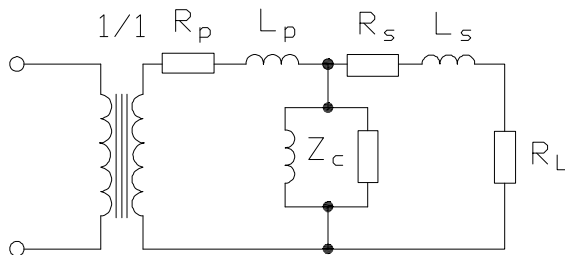
هرگاه مقادیر ولتاژ و جریان در یک مدار قدرت به قدری زیاد باشد که اتصال مستقیم وسایل اندازه گیری یا رله ها مجاز نباشد، اتصال از طریق ترانسفورماتور انجام می شود. ترانسفورماتورهای اندازه گیری کمیت ورودی را با مقیاسی که دقت آن را برای اندازه گیری مورد نظر قابل قبول باشد، کاهش میدهند. عملکرد ترانسفورماتورهای اندازه گیری در مدت و پس از تغییرات لحظه ای شدید کمیت ورودی، حایز اهمیت است، زیرا در چنین موقعیتی امکان دارد کمیت مزبور از شکل سینوسی خود خارج شود. لازم است که بسیاری از سیستمهای حفاظت در زمانی کوتاهتر از دوره اعوجاج گذرا در خروجی ترانسفورماتورهای اندازه گیری، عمل کنند.

### ۲-۲- ترانسفورماتورهای اندازه گیری

ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان با مقادیر نامی کم ولتاژ یا جریان اولیه به آسانی از ترانسفورماتورهای با مقادیر نامی بالا قابل تشخیص نیستند و عدم تشابه ساختار در آنها امری عادی است. با وجود این، تفاوتی موجود بین این وسایل اساساً از روش اتصالشان به مدار قدرت معلوم می شود. ترانسفورماتورهای ولتاژ به نقاطی متصل می شوند که ولتاژ در آن نقاط باید اندازه گیری شود و بنابراین بسیار شبیه به ترانسفورماتورهای قدرت کوچک اند، تنها با این اختلاف که جزئیات طراحی آنها که دقت نسبت تبدیل را در گستره معینی از خروجی کنترل می کند، با هم تفاوت دارند. سیم پیچی اولیه ترانسفورماتورهای جریان به صورت متوالی با مدار قدرت و همچنین با امپدانس سیستم متصل می شود. همانند یک آمپرسنج، امپدانس سیم پیچی اولیه اندک است و جریان آن تقریباً تماماً توسط امپدانس سیستم اولیه کنترل می شود.

## ۲-۳- ترانسفورماتورهای جریان

سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور جریان به طور متوالی با مدار قدرت متصل می شود و حتی اگر مدار ثانویه به سمت اولیه انتقال یابد، امپدانس سیم پیچی اولیه در مقایسه با امپدانس مدار قدرت ناچیز است، به طوری که عبور جریان تماماً توسط امپدانس مدار قدرت کنترل می شود. این وضعیت را می توان با قراردادن امپدانس باری که از طریق نسبت تبدیل به طرف اولیه در شکل ۱-۲ انتقال داده شده است، نمایش داد.



شکل ۱-۲

## ۲-۳-۱- خطای مرکب

این خطا بر طبق استاندارد BS۳۹۳۸ : ۱۹۷۳ به صورت مقدار مؤثر تفاوت بین جریان ثانویه ایدئال و جریان ثانویه واقعی تعریف می شود که در برگیرنده خطای جریان و خطای فاز و آثار هارمونیکها در جریان تحریک است. در ترانسفورماتور جریان با شار نشتی ناچیز و بدون تصحیح دور، خطای مرکب متناسب با مقدار مؤثر جریان تحریک است که معمولاً برحسب درصدی از جریان اولیه بیان می شود. در عمل امپدانس تحریک غیر خطی است و در نتیجه جریان تحریک مقداری هارمونیک به همراه خود دارد که مقدار مؤثر این جریان را افزایش می دهد و سبب افزایش خطای مرکب می گردد. این پدیده بیشتر در ناحیه نزدیک به اشباع هسته قابل توجه است. رده دقت ترانسفورماتورهای جریان اندازه گیری بر طبق روش کار رایج در بریتانیا و برحسب استاندارد BS۳۹۳۸ : ۱۹۷۳ در جدولهای ۱-۲ و ۲-۲ مشاهده می شود.

جدول ۱-۲ حدود خطا بر رده های دقت ۰/۱ تا ۱

رده	$\pm$ درصد خطای (نسبت) جریان در مقدار درصد جریان نامی نشان داده شده		جابه جایی فاز در مقدار درصد جریان نامی نشان داده شده برحسب دقیقه		
	۲۰ تا ۱۰۰	۱۰۰ تا ۲۰	۱۰ تا ۲۰	۱۰۰ تا ۱۲۰	۱۰۰ تا ۱۲۰
۰/۱	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱	۱۰	۸
۰/۲	۰/۵	۰/۳۵	۰/۲	۲۰	۱۵
۰/۵	۱	۰/۷۵	۰/۵	۶۰	۴۵
۱	۲	۱/۵	۱	۱۲۰	۹۰

جدول ۲-۲ حدود خطا برای رده دقت ۳ و رده ۵

رده	$\pm$ درصد خطای (نسبت) جریان در مقدار درصد جریان نامی نشان داده شده	
	۵۰	۱۲۰
۳	۳	۳
۵	۵	۵

توجه: حدود جابه جایی فاز برای رده ۳ و رده ۵ تعیین نشده اند.

برای رده های ۰/۱ تا ۱ هنگامی که بار ثانویه مقداری بین ۲۵٪ تا ۱۰۰٪ بار نامی است ، خطای جریان و جابه جایی فاز در فرکانس نامی از مقادیر داده شده در جدول ۱-۲ تجاوز نخواهد کرد. در مورد رده های ۳ و ۵ هنگامی که بار ثانویه بین ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ بار نامی است ، خطای جریان در فرکانس نامی از مقادیر داده شده در جدول ۲-۲ تجاوز نخواهد کرد. باری که به منظور آزمایش ترانسفورماتور جریان در ثانویه آن وصل می شود باید ضریب توان ۰/۸ پس فاز داشته باشد ، بجز در مواردی که مقدار بار کمتر از ۵ ولت آمپر است ، باید ضریب توان ۱/۰ به کار رود. در هیچ حالتی بار آزمایشی نباید کمتر از یک ولت آمپر باشد.

### ۲-۳-۲- جریان حد دقت ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی

هدف تجهیزات حفاظتی پاسخ به شرایط اتصالی است و به این دلیل باید در مقادیر جریان بالاتر از بار کشی عادی خود عمل کنند. ترانسفورماتورهای جریانی که برای این منظور به کار می روند باید تا بیشترین مقدار جریان مربوطه دقت قابل قبولی داشته باشند. این مقدار به جریان حد وقت معروف است. نسبت جریان حد دقت به جریان نامی ضریب حد دقت نام دارد.

رده دقت ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی که بر طبق روش کار رایج در بریتانیا به کار می رود برحسب ۱۹۷۳ : BS۳۹۳۸ در جدول ۲-۳ نشان داده شده است.

برای رده ۵P و رده ۱۰P هنگامی که بار ثانویه ۱۰۰٪ مقدار نامی است ، خطای جریان ، جا به جایی فاز و خطای مرکب (در فرکانس نامی) نباید از مقادیر داده شده در جدول ۲-۳ تجاوز کند.

جدول ۲-۳ حدود خطا برای رده دقت ۵p و ۱۰p

رده	خطای جریان در جریان اولیه نامی (درصد)	جابه جایی فاز در جریان نامی (دقیقه)	خطای مرکب در جریان حد دقت نامی اولیه (درصد)
۵P	±۱	±۶۰	۵
۱۰P	±۳		۱۰

در موارد آزمایشی که باید خطای جریان و جابه جایی فاز تعیین شوند ، بار باید ضریب توان ۰/۸ پس فاز داشته باشد بجز در مواردی که این بار کمتر از ۵ ولت آمپر باشد که در این صورت ضریب توان ۱/۰ نیز مجاز است.

اگر چه بار یک ترانسفورماتور جریان حفاظتی در مقدار نامی فقط چند ولت آمپر است ، اما اگر ضریب حد دقت آن بالا باشد ممکن است خروجی مورد نیاز ترانسفورماتور جریان قابل ملاحظه باشد. برای مثال با ضریب ۳۰ و با ۱۰ ولت آمپر ، ترانسفورماتور جریان شاید بتواند بار ۹۰۰۰ ولت آمپر را در مدار ثانویه اش تغذیه کند.

ترانسفورماتورهای جریان غالباً به طور همزمان برای مقاصد اندازه گیری و حفاظت به کار می روند. بنابراین ضروری است که مطابق با رده انتخاب شده از هر دو جدول ۲-۱ و ۲-۲ طراحی شوند. بار اعمال شده بایستی برابر با کل بار وسایل اندازه گیری و بار رله باشد. ممکن است تصحیح دور به طور جدی مورد نیاز باشد تا عمل اندازه گیری به درستی انجام شود. مقادیر نامی اندازه گیری برحسب بار و رده نامی بیان می شود، مثلاً ۱۵ ولت آمپر ، رده ۵/۰. مقادیر نامی حفاظتی برحسب بار و رده و ضریب حد دقت نامی بیان می شود، مثلاً ۱۰ ولت آمپر رده ۱۰P.

### ۲-۳-۳- ترانسفورماتورهای جریان رده X

رده بندی جدول ۲-۳ در واقع فقط برای حفاظت اضافه جریان مفید است. در استاندارد BS۳۹۳۸ برای کاربرد ترانسفورماتورهای جریان در حفاظت اتصالی زمین راهنمایی لازم شده است اما برای این منظور و بیشتر کاربردهای حفاظتی دیگر ، بهتر است که مستقیماً به بیشینه نیروی محرک الکتریکی مفیدی که می توان از ترانسفورماتور به دست آورد مراجعه شود. در این رابطه نقطه زانویی منحنی تحریک چنین تعریف می شود: نقطه ای که در آن برای افزایش ۱۰٪ نیروی محرک الکتریکی ثانویه ، باید جریان تحریک را ۵۰٪ افزایش داد.

نیازهای طراحی ترانسفورماتورهای جریان برای کاربردهای حفاظتی عمومی غالباً برحسب نقطه زانویی نیروی محرک الکتریکی و جریان تحریک در نقطه زانویی ( یا در نقطه تعیین شده دیگر ) و مقاومت سیم پیچی ثانویه ترتیب می یابد. چنین ترانسفورماتورهای جریانی را از نوع رده X گویند.

### ۲-۴- ترانسفورماتورهای ولتاژ

ولتاژ سیستم به پایانه های ورودی مدار معادل شکل ۲-۱ اعمال می شود. ولتاژ خروجی ثانویه  $V_s$  در گستره معینی از ورودی باید با مقیاس دقیقی مشابه ورودی  $V_p$  باشد. بدین منظور افت ولتاژ سیم پیچها را کوچک و چگالی عادی شار را در هسته به اندازه کافی کمتر از چگالی اشباع آن ، طراحی می کنند تا جریان تحریک پایین باشد و امپدانس تحریک با تغییرات ولتاژ اعمال شده در گستره کار مطلوب ( که شامل درجه ای از اضافه ولتاژ است ) ، ثابت باقی بماند . این محدودیتها در طراحی باعث می شود که ترانسفورماتور ولتاژ برای بارگذاری معین، به مراتب بزرگتر از ترانسفورماتور قدرت با همان میزان بار باشد. در نتیجه برای این ترانسفورماتور، جریان تحریک مربوط به بارگذاری نامی به قدری که برای ترانسفورماتور قدرت کم است ، کوچک نخواهد بود.

### ۲-۴-۱ - خطاها

طراح یک ترانسفورماتور ولتاژ، خطای ولتاژ و خطای فاز ترانسفورماتور ولتاژ را با استفاده از ثابتهای مشخص هسته و سیم پیچها محاسبه می کند.

خطای نسبت تبدیل چنین تعریف می شود:

$$\frac{(K_n V_s - V_p)}{V_p} \times 100\%$$

که در آن  $K_n$  نسبت تبدیل نامی و  $V_p$  و  $V_s$  ولتاژهای واقعی اولیه و ثانویه اند. اگر این خطا مثبت باشد، ولتاژ ثانویه از مقدار نامی بیشتر است. لازم نیست که نسبت تبدیل دورهای ترانسفورماتور برابر با نسبت تبدیل نامی آن باشد، معمولاً اندکی دور به عنوان جبران ساز به کار می رود تا برای بارگذاریهای کم، خطای نسبت تبدیل مثبت و برای بارگذاریهای زیاد این خطا منفی شود. خطای فاز برابر با اختلاف فاز بین بردار ولتاژ معکوس ثانویه و بردار ولتاژ اولیه است. زمانی که ولتاژ معکوس ثانویه از بردار اولیه پیش بیفتد، این خطا مثبت است. موارد مورد نیاز در این خصوص در BS۳۹۴۱:۱۹۶۵ تشریح شده است. همه ترانسفورماتورهای ولتاژ باید با یکی از رده های جدول ۲-۴ مطابقت داشته باشد.

جدول ۲-۴ حدود خطا برای ترانسفورماتورهای ولتاژ اندازه گیری.

رده	۰/۹ تا ۱/۱ برابر ولتاژ نامی	
	۰/۲۵ تا ۱/۰ برابر بار نامی در ضریب توان واحد	خطای ولتاژ (درصد)
A B C	خطای فاز (دقیقه)	خطای ولتاژ (درصد)
	± ۲۰	± ۰/۵
	± ۳۰	± ۱/۰
	± ۶۰	± ۲/۰

در کاربردهای حفاظتی، ممکن است دقت اندازه گیری ولتاژ در طول شرایط اتصال مهم باشد، زیرا ولتاژ در اثر اتصالی احتمالاً تا مقدار کوچکی کاهش می یابد. بنابراین در چنین مواردی باید ترانسفورماتورهای ولتاژ با گستره وسیعی از مشخصات ارائه شده در جدول ۲-۵ مطابقت داشته باشد.

جدول ۲-۵ حدود اضافی برای ترانسفورماتورهای ولتاژ حفاظتی

رده	۰/۲۵ تا ۱/۰ برابر بار نامی در ضریب توان واحد			
	۰/۵ تا ۰/۹ برابر ولتاژ نامی اولیه		۱/۱ تا $V_f$ برابر ولتاژ نامی اولیه	
E F	خطای ولتاژ (درصد)	خطای فاز (دقیقه)	خطای ولتاژ (درصد)	خطای فاز (دقیقه)
	± ۳	± ۱۲۰	± ۳	± ۱۲۰
	± ۵	± ۲۵۰	± ۱۰	± ۳۰۰

## ۲-۴-۲- ضرایب ولتاژ

کمیت  $V_f$  در جدول ۲-۵ که بر حسب پریونیت ولتاژ نامی بیان می شود حد بالای ولتاژ کار است و ممکن است برای عملکرد درست رله و همچنین در مواقعی که توانایی ترانسفورماتورهای ولتاژ برای تحمل وضعیتی خاص مورد نظر است مهم باشد. اتصالیهای زمین سبب جا به جایی نقطه خنثی سیستم می شود به ویژه در حالتی که این نقطه زمین نشده باشد و به افزایش ولتاژ در فازهای سالم منجر می شود. ضرایب ولتاژ با مدت مجاز بیشینه ولتاژ، در جدول ۲-۶ ارائه شده است.

جدول ۲-۶ بیشینه مدت مجاز ولتاژ

ضریب ولتاژ $V_f$	مدت	شرایط زمین کردن	
		سیم پیچهای اولیه VT	سیستم
۱.۱	نامحدود	بدون زمین	دارای زمین مؤثر یا غیر مؤثر
۱.۵	۳۰ s	زمین شده	دارای زمین مؤثر
۱.۹	۳۰ ثانیه تا ۸ ساعت	زمین شده	دارای زمین غیر مؤثر

## ۲-۴-۳- سیم های رابط اتصال ثانویه

ترانسفورماتورهای ولتاژ چنان طراحی می شوند که دقت مورد نظر را در ولتاژ خروجی پایانه های ثانویه خود حفظ کنند. مشاهده شده است که این حالت مطلوب با طراحی امپدانس سیم پیچها حاصل می شود. واضح است که استفاده از سیمهای بلند جهت اتصال ثانویه به بار موجب افت ولتاژ بیشتری شده و باعث از بین رفتن دقت ولتاژ خروجی شود.

## ۲-۴-۴- حفاظت ترانسفورماتورهای ولتاژ

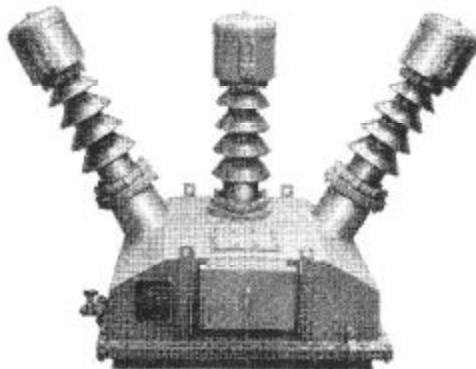
ترانسفورماتور ولتاژ را می توان توسط فیوزهایی با ظرفیت قطع زیاد در طرف اولیه آنها تا ولتاژ ۶۶ کیلوولت حفاظت کرد. معمولاً فیوزها برای استفاده در ولتاژهای بالاتر، ظرفیت قطع کافی ندارند. ترانسفورماتور ولتاژ را باید همواره توسط فیوزهای ثانویه یا به وسیله کلیدهای مینیاتوری که باید تا حد امکان در نزدیکی آن نصب شوند، حفاظت کرد. یک اتصال کوتاه در اتصالات مدار ثانویه، جریانی چند برابر مقدار نامی خروجی ایجاد می کند. اگر چه ترانسفورماتور ولتاژ معمولاً بدون اینکه بیش از اندازه گرم شود قادر به عبور جریانی به مراتب بیشتر از مقدار نامی خود است اما جریان اتصال کوتاه بدون تردید سبب داغ شدن بیش از اندازه آن می شود.

حتی در جایی که بتوان فیوزهای اولیه را قرارداد ، به علت مقدار کم جریان اولیه و کمینه بودن مقدار نامی فیوز در عمل ، معمولاً اتصال کوتاه در طرف ثانویه آشکار نمی شود.

#### ۲-۴-۵- ساختمان ترانسفورماتور ولتاژ

ساختمان ترانسفورماتور ولتاژ از نظر خنک کنندگی، عایق بندی و طرح مکانیکی آن با ساختمان ترانسفورماتور قدرت تفاوت دارد. خروجی نامی ترانسفورماتور ولتاژ به ندرت از چند صد ولت آمپر تجاوز می کند و بنابراین معمولاً حرارت ایجاد شده مشکلی به وجود نمی آورد. اندازه ترانسفورماتور ولتاژ عمدتاً توسط سیستم تعیین می شود و حجم عایق بندی سیم پیچی اولیه غالباً از حجم خود سیم پیچی بیشتر است. ترانسفورماتور ولتاژ باید چنان عایق بندی شود که اضافه ولتاژهای ضربه ای را تحمل کند. برای رسیدن به این هدف ، در طرح فشرده ، ولتاژ باید به طور یکنواخت در طول سیم پیچی پخش شود که این خود نیاز به توزیع یکنواخت ظرفیت خازنی سیم پیچی یا استفاده از حفاظهای الکتروستاتیک دارد. ترانسفورماتورهای ولتاژ را غالباً در کنار کلید به کار می برند ، بنابراین طرح فیزیکی آن باید فشرده و برای نصب در محل مورد نظر مناسب باشد. تا ولتاژ ۳۳ کیلو ولت ، واحدهای سه فاز معمول است اما در ولتاژهای بالاتر واحدهای تکفاز مناسبتر است. ترانسفورماتورهای ولتاژ برای مدارهایی با ولتاژ متوسط، عایق نوع خشک دارد اما در سیستمهای ولتاژ بالا و ولتاژ خیلی قوی واحدهای غوطه ور در روغن معمول است. در یستمهایی تا ولتاژ ۳۳ کیلوولت ترانسفورماتورهای ولتاژی که در رزین قرار گرفته اند ، به کار می رود.

شکلهای ۲-۲ تا ۳-۲ نمونه هایی از ترانسفورماتورهای ولتاژ مربوط به سیستمهای فشار قوی را نشان می دهند.



شکل ۲-۲



شکل ۲-۳

## پرسش های فصل دوم

- ۱- علت استفاده از ترانسفورماتورهای اندازه گیری را بیان نمایید؟
- ۲- خطای مرکب در ترانسفورماتورهای مرکب به چه معناست؟
- ۳- نحوه حفاظت ترانسفورماتور ولتاژ را شرح دهید؟

## فصل سوم: رله های الکترومغناطیسی

- آشنایی با مفهوم رله و رله های حفاظتی
- آشنایی با مفاهیم و روشهای اندازه گیری
- آشنایی با انواع اساسی رله های الکترومغناطیسی

### ۳-۱ - مقدمه

برای اجرای حفاظت، کمیتهای اصلی سیستم قدرت یعنی جریان و ولتاژ، از طریق ترانسفورماتورهای اندازه گیری، به جایی که لازم باشد منتقل می شود و توسط رله ها، به طور جداگانه یا به صورت ترکیبی اندازه گیری و تفسیر می شوند. رله های الکتریکی انواع متعدد و مختلفی دارد، اگر چه همه آنها وجوه مشترکی دارند، ارائه تعریف دقیقی از رله که همه انواع آن را پوشاند و تعداد بسیاری از تجهیزات دیگر را نیز در بر نگیرد، مشکل است. رله وسیله ای است که کمیتی را اندازه می گیرد، یا با دریافت سیگنال کنترل، تغییرات ناگهانی از پیش تعیین شده ای را در یک یا چند مدار الکتریکی خروجی به وجود می آورد. رله حفاظتی رله ای است که به شرایط غیرعادی در سیستم قدرت الکتریکی پاسخ می دهد، و با کنترل دیژنکتور، قسمت معیوب سیستم را، با حداقل وقفه در عملکرد، جدا می کند.

### ۳-۲ - انواع اساسی رله

رله را می توان چنان طراحی کرد که به هر اثر قابل مشاهده ای پاسخ دهد، بنابراین شکلهای متعددی از آن ساخته شده است که تشریح جزء به جزء هر کدام غیرممکن خواهد بود.

رله ها را می توان به صورت کلی زیر رده بندی کرد:

الف- رله با آرمیچر متحرک

ب- رله با پیچک متحرک

ج- رله القایی

د- رله حرارتی

و- رله مکانیکی

ز- رله با تقویت کننده مغناطیسی

ط- رله نیمرسانا

ی- رله فتوالکتریک

که از این گروههای اصلی، نوع (ز) تا (ی) مشترکاً به رله های استاتیک معروف اند که در فصل ۴ بررسی می شوند. نوع (الف) تا (و) در این فصل تشریح می شود.

### ۳-۳- انواع اندازه گیری

حفاظت در برگیرنده تحلیل کمیت‌های سیستم قدرت (ولتاژ و جریان) موجود در نقاط رله گذاری و تعبیر آنها برحسب توابع مرکبی همچون امیدانس و قدرت است. این تحلیل توسط رله های حفاظتی انجام می شود، که عمل آنها برحسب نوع اندازه گیری که انجام می دهند رده بندی می شود.

### ۳-۳-۱- اندازه گیری مقدار

رله هایی که به مقدار جریان یا ولتاژ پاسخ می دهند و تنظیماتشان برحسب این کمیت‌هاست در این رده قرار می گیرند. رله های دیگر، که توسط ولتاژ تحریک می شوند، اما برحسب کمیت‌های اساسی دیگری مثل فرکانس درجه بندی می شوند نیز می توانند در همین گروه باشند. رله ها میتوانند دارای چند سیم پیچی باشند، به طوریکه اگر این سیم پیچها به طور همزمان تحریک شوند، رله مزبور برحسب مجموع (یا تفاضل) کمیت‌های ورودی پاسخ خواهد داد.

### ۳-۳-۲- اندازه گیری حاصلضرب

رله القایی به وسیله عکس العمل دو شار متناوب که به طور مجزا تولید می شوند و هر کدام خصوصیات خود را دارند به کار می افتد. نیرو یا گشتاور راه اندازی که بدین ترتیب به وجود می آید متناسب با هر یک از شارها و در نتیجه متناسب با حاصلضرب آنهاست.

گشتاور مؤثر با معادله زیر داده می شود:

$$T = K \Phi_1 \Phi_2 \sin \alpha$$

که در آن،  $T$  = گشتاور،  $\Phi_1$ ،  $\Phi_2$  = شارهایی که بر هم دیگر اثر میگذارند

$\alpha$  = زاویه فاز بین  $\Phi_1$  و  $\Phi_2$

رله ها می توانند طوری باشند که به هر کمیتی که برابر با حاصلضرب دو مؤلفه متناوب است پاسخ دهند. چنین پاسخی به صورت نوعی اندازه گیری قدرت است. اگر کمیت‌هایی با فرکانس مختلف به این نوع رله ها اعمال شود مقدار متوسط گشتاور صفر خواهد بود.

### ۳-۳-۳- اندازه گیری نسبت

ساخت رله ای که گشتاوری برابر با خارج قسمت دو کمیت ac را ایجاد کند ، عملی نیست. اما این مسئله اهمیت چندانی ندارد ، زیرا تنها شرط مهم برای رله تنظیم آن است ، و این تنظیم می تواند طوری انجام شود که بدون توجه به مقادیر مؤلفه در یک گستره وسیع ، با یک نسبت متناسب باشد.

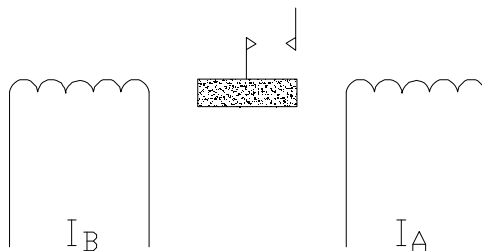
شکل ۱-۳ به طور نمادی سیستم حرکتی رله ای را نشان می دهد که دارای دو سیم پیچی است و هرکدام نیروی مخالفی بر روی آرمیچر منفردی اعمال می کند. اگر هر یک از این نیروها با جریان تحریکی متناسب باشد ، آنگاه:

$$\begin{aligned} F_A &= K_1 I_A \\ F_B &= K_2 I_B \end{aligned}$$

و هنگامی که حالت تعادل به وجود می آید:

$$\begin{aligned} K_1 I_A &= K_2 I_B \\ \frac{I_A}{I_B} &= \frac{K_2}{K_1} = C \end{aligned}$$

اگر وسیله مورد نظر حساس باشد، انحراف بسیار کوچکی از حالت تعادل به عملکرد آن می انجامد، بنابراین تنظیم و تعادل تقریباً مترادف هم هستند. به این علت رله مزبور هنگامی عمل می کند که بدون توجه به مقادیر مجزای  $I_A$  و  $I_B$  نسبت آن از حد معینی تجاوز کند. طبیعتاً، این مسئله برای گستره نامحدودی از  $I_A$  و  $I_B$  صادق نیست.



شکل ۱-۳

این اصل در طراحی رله های امپدانس و رله های دیگری که ماهیت نسبتی دارند ، زیاد به کار رفته است. رله های مربوط به اندازه گیری نسبت به صورت آرمیچر جاذبه ای ، پیچک متحرک ، و اجزای القایی ، و مدارهای یکسوساز پل دار ساخته شده اند.

### ۳-۴- مقایسه کننده ها

قبلاً مشاهده شد که رله ها می توانند توابع مختلفی از کمیت های اعمال شده را اندازه گیری کنند ، و رله های خاصی نیز دو یا چند ورودی متفاوت را با هم مقایسه می کنند. مقایسه کننده انواع مختلفی دارد که در زیر به انواع آنها اشاره میشود:

### ۳-۴-۱- مقایسه کننده دامنه

چنین مقایسه کننده ای وقتی عمل می کند که یکی از سیگنال های اعمال شده آن از دیگری بیشتر شود ، و وقتی برگشت می کند که حالت عکس آن اتفاق بیفتد.

### ۳-۴-۲- مقایسه کننده های حاصلضربی

رله القایی مثالی از مقایسه کننده های حاصلضربی است. یکی از موفقترین پیشرفتهای مقایسه کننده ها ، که به ویژه با تکامل طراحی های نیم رسانا بر اهمیتش افزوده می شود ، به مقایسه کننده هایی تعلق دارد که بر اساس شبکه های یکسوساز پل کار می کنند.

### ۳-۴-۳- مقایسه کننده دامنه از نوع پل دار یکسو ساز

این مقایسه کننده از دو پل یکسو ساز تمام موج تشکیل شده است که در سرهای خروجی dc آنها با پلاریته عکس (مثبت به منفی) به یکدیگر متصل شده اند و یک رله آشکار ساز قطبی شده حساس به دو سر این مدار وصل می شود.

با چنین آرایشی زمانی که سیگنال ورودی ac هر یک از این پلها با هم مساوی است ، جریانهای خروجی حاصل ، بدون آنکه رله آشکار ساز را فعال کند ، در سرهای متصل به هم دور می زند. اما اگر یکی از ورودیها نسبت به دیگری افزایش یابد ، اختلاف جریان از رله خواهد گذشت. اگر سیگنال دوم آنقدر زیاد شود که از اختلاف جریان عبوری از رله بیشتر شود، جهت اختلاف جریان معکوس می شود که به این طریق رله قطبی شده مزبور قادر به مقایسه بسیار حساس دامنه دو سیگنال خواهد بود.

## ۳-۵- انواع اصلی رله

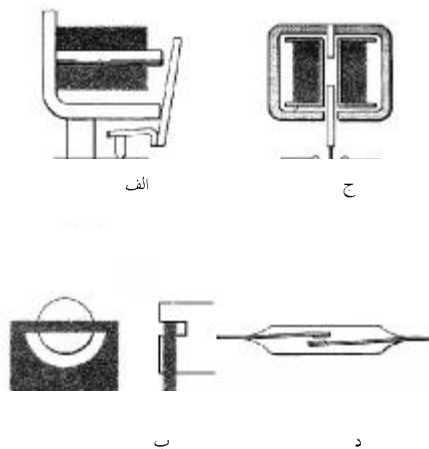
### ۳-۵-۱- رله های آرمیچری

رله های آرمیچری ساده ترین و در عین حال رایجترین انواع رله ها هستند. این رله ها دارای شکلهای گوناگون بوده و کاربردهایشان در وسایل اندازه گیری دقیق و یا رله هایی که عملی منطقی انجام می دهند، می باشند.

### ۳-۵-۱-۱- رله های آرمیچری جاذبه ای

این نوع رله ها اغلب شامل آهنربای الکتریکی با هسته آهنی هستند ، که باعث جذب یک آرمیچر متحرک لولا دار ، یا شکل دیگری که در میدان مغناطیسی می تواند بچرخد ، می شود. حرکت قسمت متحرک توسط نیروی مخالف که معمولاً از یک فنر و یا نیروی جاذبه زمین ناشی می شود کنترل می شود . نمونه ای از این رله ها در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

در حالت کلی آهنربای الکتریکی ، شکلی کمابیش شبیه U دارد ، که قسمتی از آن شامل پیچک تحریک است. آرمیچر متحرک معمولاً یک قطعه آهن سبک با شکل ساده است که بر روی یاتاقان و یا بر روی لولای لبه کاردی قرار دارد ، و در فاصله کوچکی حرکت آن آزاد است به طوری که در صورت تحریک پیچک ، مدار مغناطیسی را می بندد. هر آرمیچر با خود کنتاکتی متحرک دارد که در صورت عمل کردن آرمیچر با کنتاکت ثابتی درگیر می شود یا ، اینکه دو کنتاکت توسط میله ای که به آرمیچر وصل است به هم فشرده می شوند. در موارد زیادی ، کنتاکتهای چندگانه به صورت یک ردیف یا ستون قرار می گیرند که عملکرد ساده فوق در مورد همه آنها صورت می گیرد.



الف- رله DC

ب- تصحیح و تغییر قطب رله(الف) برای

کارکرد AC توسط حلقه اتصال کوتاه

ج- رله سلونیدی

د- رله تند کار مغناطیسی

شکل ۳-۲

نیروی که از دید نظری بر روی آرمیچر اعمال می شود ، چنین بیان می شود:

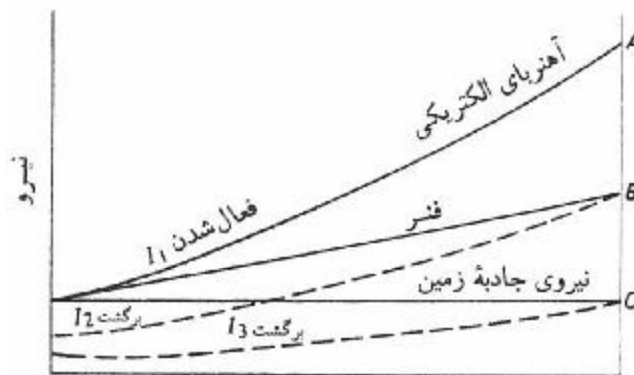
$$F = \frac{B^2 A}{8\pi}$$

که در آن  $F$  = نیرو  $B$  = چگالی شار  $A$  = سطح مؤثر قطب مغناطیسی

به محض اینکه فاصله هوایی آرمیچر بسته می شود ، چگالی شار افزایش می یابد. این موضوع به ناچار صورت می گیرد ، زیرا فقط حرکت به سمت میدان قویتر ، آرمیچر را قادر می سازد تا کار انجام دهد. می توان مشاهده کرد که به محض افزایش چگالی شار ، نیروی کشش مغناطیسی به سرعت افزایش می یابد، به نحوی که برای برگشت کردن رله بعد از هر عملکرد ، باید جریان آن را به میزان مناسب کاهش داد. نسبت جریان برگشت کننده به جریان عمل کننده به نسبت بازگشتی معروف است.

اثر نسبت بازگشتی کمتر از واحد، در این است که به کار افتادن رله، با حرکت سریع صورت می گیرد که این امر در حالت کلی مفید است زیرا باعث اتصال خوب کنتاکتها میگردد. اما به هر حال ، مقدار کم برگشت نیز همواره قابل قبول نیست. با ممانعت از بسته شدن کامل مدار مغناطیسی توسط آرمیچر ، می توان این اثر را کاهش داد. آفست بیشتر را می توان با کنترل فنر به دست آورد. این امر در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. تغییر نیروی کشش مغناطیسی بر روی آرمیچر بر حسب موقعیت آن توسط منحنی  $A$  نشان داده شده است. زمانی که آرمیچر عمل می کند ، فنر بازدارنده فشرده می شود ، و همان طوری که خط راست  $B$  نشان می دهد ، نیروی مقاوم افزایش می یابد ، بنابراین نیروی عمل کننده نامتعادل در وضعیت بسته ، مقدار  $AB$  است ، در صورتیکه نیروی بازدارنده مقدار  $AC$  باشد.

اگر شیب منحنی  $B$  افزوده شود ، یا به عبارتی، اگر ضریب سختی فنر افزایش یابد ، مشاهده می شود که میزان برگشت رله نیز اضافه می شود ، اما این به معنی کاهش نیروی خروجی  $AB$  است و فشار کنتاکت نیز کاهش می یابد. در حقیقت ، با استفاده از فنری به اندازه کافی قوی می توان حرکت رله را به جای حرکت سریع به صورت حرکت تناسبی در آورد ، اما در این حالت ظرفیت وصل کنتاکت نسبتاً پایین خواهد داشت.



شکل ۳-۳

### ۳-۵-۱-۲-رله های ac

رله هایی که توسط جریان متناوب تحریک می شوند، صرف نظر از بزرگی کمیت عمل کننده، به ارتعاش در می آیند، زیرا شار مغناطیسی در هر نیم سیکل باید از صفر عبور کند و در این لحظات آرمیچر اندکی از قطب مغناطیسی رها می شود. برای از بین بردن این پدیده معمولاً قطب مغناطیسی را دو نیمه می کنند و در اطراف یک نیمه از آن نواری از مس با مقاومت کم می پیچند. جریانهای گردابی که در این حلقه القا می شود سبب می شود شار مغناطیسی گذرنده از حلقه نسبت به شار نیمه دیگر قطب تأخیر فاز پیدا کند. بدین ترتیب در هیچ زمانی شار مغناطیسی در مجموعه قطب صفر نمی شود، و همواره نیروی نگهدارنده وجود دارد. در جایی که حلقه اتصال فراهم نشده باشد، می توان ارتعاش شدید رله را با یکسو کردن منبع تغذیه از بین برد. در این حالت اندوکتانس پیچک، جریان را در نقاط صفر سیکل ac نیز حفظ می کند.

### ۳-۵-۱-۳-رله های تندکار

با کاهش وزن آرمیچر و کوتاهتر کردن کل مسیر حرکت کنتاکت، می توان رله ای ساخت که به مراتب سریعتر از رله اشاره شده در بخش قبل کار کند.

### ۳-۵-۲-رله های پیچک - متحرک

این دسته از رله ها دارای حرکت گردان یا محوری و سیستم میدان آهنربای دایمی و انواع دینامومتر با سیستم میدان تحریک است.

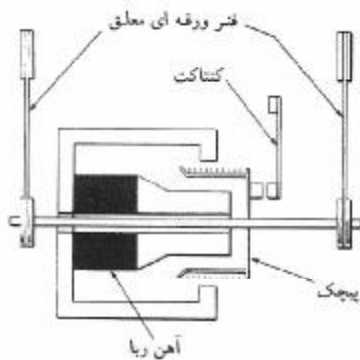
### ۳-۵-۲-۱- رله های آهنربای دایمی با پیچک متحرک از نوع گردان

مطابق شکل ۳-۴، در این طراحی یک پیچک سبک لولادار در میدان شعاعی حاصل از یک آهنربای دایمی معلق می شود، و این پیچک آزاد است تا در زاویه کار معینی بچرخد. این حرکت متعادل است، و نیروی مقاوم آن توسط فنری حلزونی تأمین می شود. در حقیقت، برای ایجاد اتصالات پیچک کنتاکت، حداقل به سه پیوند حلزونی احتیاج است که می توانند به طور ترکیبی کنترل فنر را تشکیل دهند.

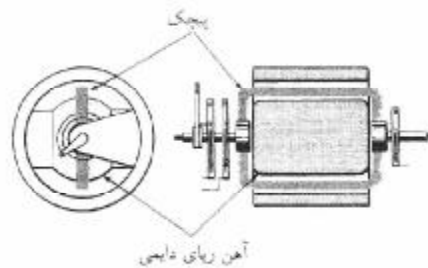
میدان مغناطیسی معمولاً چنان ترتیب می یابد که در طول قوس کار یکنواخت باشد، به طوری که با جریان معینی، گشتاور عمل کننده ثابت و مستقل از محل و موقعیت پیچک باشد. بنابراین در رله ای با مسیر حرکت طولانی می توان مقیاس مدرج شده ای پیش بینی کرد که گستره تنظیم را به دست می دهد. از طرف دیگر، ممکن است که حرکت پیچک رله به قوس کوچکی محدود شود، اما می توان تنظیم را در مقدار پیچش اولیه فنر اعمال کرد به طوری که در همان گستره مقدار تنظیم به دست آید. این پیچک را میتوان بدون قالب یا بر روی قالب عایق بندی شده ای پیچید. غالباً این پیچک را بر روی قالبهای آلومینیمی یا مسی می پیچند که به عنوان یک سیم پیچی اتصال کوتاه عمل کند و بنابراین به علت جریانهای القایی ناشی از حرکت پیچک کشش دینامیکی در خلاف جهت حرکت پیچک ایجاد می شود. این نیروی کششی به صورت یک سیستم میراکننده مؤثر عمل می کند که به نحو مؤثری، از نوسانات زیادی سیستم جلوگیری می کند و اگر به اندازه کافی قوی ساخته شود، می تواند تأخیر زمان مفیدی را باعث شود. به عنوان یک راه حل یا تکمیل عمل فوق با قرار دادن یک شنت کم مقاومت به طور موازی با پیچک متحرک می توان میراکنندگی بیشتری به دست آورد، زیرا که نیروی ضد محرک الکتریکی در حالت اخیر، سبب چرخش جریان در مدار محلی پیچک و شنت می شود، و در نتیجه نیروی میراکننده ای به وجود می آورد. این نوع رله می تواند بسیار حساس باشد، و در کاربردهای خاص می توان با تنظیم قدرت آن، به مقدار ۰/۰۲ میکرووات، حساسیتی از رده گالوانومتر به دست آورد.

### ۳-۵-۲-۲- رله های آهنربای دایمی با حرکت محوری

در این طرح، مطابق شکل ۳-۵، پیچک استوانه ای توسط فنرهای ورقه ای در میدان آهنربای دایمی متحدالمرکز به حالت معلق قرار می گیرد. این پیچک می تواند به فاصله کمی به طور محوری به حرکت در آید. پیچک مزبور معمولاً بر روی قالبی فلزی پیچیده می شود که به وسیله آن نیروی میرا کننده به دست می آید.



شکل ۳-۵



شکل ۳-۴

### ۳-۵-۳- رله های القایی

اصول اساسی کار رله های القایی و موتورهای القایی یکسان است. در این نوع رله، با قرار دادن یک هادی متحرک در دو میدان متناوب که به طور متقابل در فضا و برحسب زمان جا به جا می شوند، گشتاور محرک به وجود می آید. هادی مزبور می تواند یک صفحه یا یک استوانه فلزی باشد. دو میدان مزبور را می توان با اعمال کمیت مشترکی به آهنربای الکتریکی با اختلاف فاز متناسب بین آنها به وجود آورد. در عین حال، دو آهنربا را می توان با کمیت های جداگانه ای نیز تحریک کرد، در هر حالت، گشتاور حاصل چنین به دست می آید:

$$T = K\phi_1\phi_2 \sin \alpha$$

که در آن  $T$  = گشتاور

$\phi_1$  و  $\phi_2$  شارهای ایجاد شده در دو آهنربای الکتریکی است

$\alpha$  زاویه فاز  $\phi_1$  و  $\phi_2$  است

### ۳-۵-۴- رله های حرارتی

این رله ها بر اساس آثار حرارتی متعددی پایه گذاری شده اند، که معروفترین آنها انبساط حرارتی فلزات بر اثر گرماست. در این مورد عنصر حساس معمولاً از دو فلز مختلف تشکیل می شود که به هم جوش داده شده اند. نواری از این ماده دو فلزی زمانی که گرم شود خم می شود زیرا ضریب انبساط دو فلز با هم متفاوت است. در کاربردهای عملی، نوار دو فلزی ممکن است در ابتدا به صورت مستقیم یا به صورت مارپیچی شکل داده شده باشد. گرمای لازم را می توان با عبور جریان از عنصر دو فلزی، یا به وسیله سیمی گرم کننده که به دور دو لایه فلزی پیچیده شده و یا تشعشع یک عنصر گرم کننده مجاور تامین کرد. این نوع رله غالباً در حفاظت

اضافه بار به کار می رود، که مدت تأخیر زمانی عملکرد آنها بر حسب کیفیت طراحی سنسور حرارتی و گرم کننده، جرم حرارتی، و عایق بندی، متفاوت خواهد بود.

شکل دیگری از رله های حرارتی را می توان با استفاده از خاصیت تغییر مقدار مقاومت در اثر تغییر دما به دست آورد. با آنکه از هر تغییر مقاومتی می توان استفاده کرد، ولی در عمل مقاومت های مخصوص حساس به گرما (ترمیستور) مورد استفاده قرار می گیرند. این مقاومت ها را می توان با مقاومت های غیر متغیر ترکیب کرد و یک پل وتسون را تشکیل داد که تغییر دما موجب نامتعادل شدن آن می گردد. عنصر حساس می تواند حساسیت زیادی داشته باشد و پاسخ آن در دمای تنظیم بسیار دقیق باشد.

### ۳-۵-۵- رله های مکانیکی

این نوع رله ها نسبت به فشار و دبی سیال سطح سیال و غیره، عکس العمل نشان می دهند. متداولترین این رله ها، رله بوخهولتز است که برای حفاظت ترانسفورماتورهای روغنی به کار می رود. این رله از یک یا دو شناور در یک محفظه بسته تشکیل شده است. که این محفظه در مسیر لوله رابط بین مخزن ترانسفورماتور و مخزن ذخیره قرار دارد. وجود هر اتصالی در ترانسفورماتور سبب تجزیه روغن و تولید گاز می شود که از لوله به سمت مخزن بالا می رود و در محفظه رله جمع می شود. در حالت اتصالی های شدید به جای تولید گاز جابه جایی شدید روغن اتفاق می افتد. در رله های دو شناوره، شناور بالا نسبت به جمع شدن تدریجی گاز حاصل از اتصالی های کوچک و ابتدایی عکس العمل نشان می دهد. در حالی که شناور پایینی با جا به جایی روغن حاصل از اتصالی های شدید منحرف می شود. هر یک از این شناورها کنتاکتهای را کنترل می کنند که در حالت اول اعلام خطر کرده، در حالت دوم ترانسفورماتور را جدا می کند.

### پرسش های فصل سوم

- ۱- رله حفاظتی را تعریف نمایید؟
- ۲- انواع اساسی رله ها را نام ببرید؟
- ۳- رله حرارتی را شرح دهید؟

## فصل چهارم: رله های استاتیکی

- آشنایی با رله استاتیکی و انواع آن
- آشنایی با اصول عملکرد رله های استاتیکی
- کاربرد مدارهای مجتمع در رله های استاتیکی
- کاربرد ترانزیستورهای اثر میدان در رله های استاتیکی

### ۴-۱- مقدمه

پیچیدگی و رشد سیستمهای مدرن قدرت ، نیاز به رله های حفاظتی با عملکرد بهتر و مشخصه هایی فراگیر را ایجاد میکند. با توسعه و گسترش نیمه هادیها و اجزای دیگر آن، دستیابی به این خواسته امکانپذیر شده و انواع گوناگونی از رله های استاتیکی ساخته شده است. تمام اعمالی که توسط رله های الکترومکانیکی انجام میگردد، می تواند با رله های استاتیکی صورت گیرد، که در موارد بسیاری با کیفیت عملکرد بهتر، و با مزایای اقتصادی بیشتری همراه است.

البته کنار گذاشتن رله های الکترومکانیکی ساده ای از قبیل رله اضافه جریان ، و رله نوع چند کنتاکتی و جایگزین کردن آنها با نوع استاتیکی، احتیاج به گذشت زمان دارد ، اما در مورد حفاظتهای پیچیده ای چون حفاظت دیستانس رله استاتیکی ، به علت کیفیت عملکرد برترش کم کم جای خود را باز می کند.

ظهور رله های استاتیکی مسائل جدیدتری را در طراحی رله ها به وجود آورده است. نیاز به منبع تغذیه dc برای مقاصد اندازه گیری و لزوم حفاظت لوازم استاتیکی از موجهای ضربه ای ولتاژ زیاد ، دو نمونه از این مواردند که در مسیر توسعه این تجهیزات قرار گرفته اند.

پیشرفت رله های استاتیکی در طول ۱۵ سال صورت گرفته است ، که در این مدت خود نیمرساناها نیز به نحو شگفت آوری پیشرفت کرده اند. در حال حاضر استفاده از مدارهای مجتمع ( عمدتاً تقویت کننده های عملیاتی ) در رله ها ، از نظر تجاری نیز امکانپذیر شده است ، که به کمک آن می توان گستره ای وسیعتر برای مشخصه ها و عملکرد رله به دست آورد.

## ۴-۲- عناصر اصلی رله های استاتیکی

همراه با پیشرفت و گسترش رله های استاتیکی ، مدارهای اساسی خاصی ایجاد شده اند، که مشخصه رله گذاری مورد نظر را به وجود می آورند. استفاده از نیمرساناها ، انعطاف پذیری بیشتری را در مراحل طراحی رله ها به وجود می آورد و فرصتی به دست می دهد که پارامترهای هر عنصر خاصی بهینه شود.

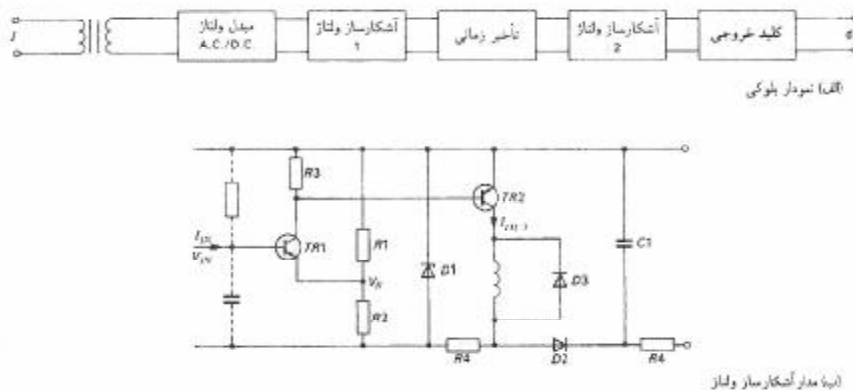
### ۴-۲-۱- رله اضافه جریان با زمان معین

به عنوان مثال ، شکل ۴-۱ (الف) عناصر به کار رفته در یک رله اضافه جریان تکفاز با زمان معین را نشان می دهد. جریان متناوب به یک ولتاژ مستقیم متناسب ، تبدیل و با یک ولتاژ dc ثابت مقایسه می شود. زمانی که این ولتاژ از مقدار ولتاژ مبنا زیادتر می شود ، یک تایمر را به کار می اندازد. پس از گذشت زمان تأخیر تنظیم شده ، آشکار ساز ولتاژ دوم عمل می کند و عنصر خروجی را فعال می کند.

مدار ورودی شامل ترانسفورماتور جریانی است که جریان ثانویه آن ، پس از یکسو شدن ، با یک شنت مقاومتی تغذیه می شود . تنظیم جریان رله را می توان با تغییر انشعابهای اولیه CT و یا با تغییر مقدار شنت ثانویه تغییر داد. تنظیم تأخیر زمانی را می توان با تغییر مقدار مقاومت مدار تأخیر RC ، به کمک یک پتانسیومتر مدرج انجام داد. با بای پاس عنصر تأخیر زمان نسبت به آشکار ساز ولتاژ می توان عملکرد سریعتری برای رله به دست آورد.

شکل ۴-۱ (ب) مدار ساده شده یک آشکار ساز ولتاژ را نشان می دهد که در برگیرنده طبقه ای از خروجی است که پیچک یک رله آرمیچر جاذبه ای را به راه می اندازد. در این مدار ، قبل از رسیدن ولتاژ ورودی به مقدار ولتاژ امیتر  $TR_1$  ، که توسط پتانسیومتر  $R_1$  و  $R_2$  تنظیم می شود همه ترانزیستورها در حالت قطع باقی می مانند. زمانی که ولتاژ ورودی از مقدار ولتاژ امیتر زیادتر می شود ، هر دو ترانزیستور این مدار روشن شده و رله خروجی تحریک می شود. این مدار دارای این مزیت است که در حالت غیر فعال جریانی از آن عبور نمی کند و سطح ولتاژ در حالت غیر فعال تقریباً ۰.۱٪ مقدار در حالت فعال است.

چنانکه به صورت نقطه چین در شکل ۴-۱ (ب) نشان داده شده است ، با اتصال یک شبکه تأخیر زمانی RC ، در ورودی آشکار ساز دوم ولتاژ که ولتاژ دو سر خازن را کنترل می کند ، می توان در این مدار عمل زمانبندی را انجام داد.



شکل ۱-۴

### ۳-۴ - کاربرد مدارهای مجتمع در رله های استاتیکی

مدارهای مجتمع به طور زورافزونی در رله های استاتیکی مورد استفاده قرار میگیرند. اگر چه کاربرد وسایل خطی بیش از مدارهای دیجیتال است ، استفاده از وسایل دیجیتال در کاربردهایی چون طرحهای اتوریکلوزر ، که در آنها توابع منطقی مورد نیاز است می تواند افزایش یابد.

#### ۳-۴-۱- مدارهای خطی

تقویت کننده عملیاتی معمولترین وسیله خطی است که در رله های استاتیکی به کار میرود. تهیه تقویت کننده عملیاتی به صورت میکروالکترونیک ، راه استفاده از آن را در مدارهای رله به عنوان عنصر تشکیل دهنده اصلی آن هموار ساخته است. با این مدارها می توان مشخصه های مختلفی را به وجود آورد که با اجزای نامجتمع از نظر اقتصادی ممکن نبوده است.

تقویت کننده عملیاتی ، در ابتدا در زمینه محاسبات قیاسی به کار رفته است ، تا تقویت کننده ای را توصیف کند که قادر به انجام عملیات ریاضی متعددی است. سپس مشاهده شد که کاربرد فیدبک منفی ، در تقویت کننده dc با بهره بالا می تواند مداری به وجود آورد که مشخصه بهره آن بسیار دقیق است ، و فقط به فیدبک مورد استفاده ، بستگی دارد. شکل ۲-۴ نمودار مدار معادل یک تقویت کننده عملیاتی را نشان می دهد. این مدار اختلاف ولتاژ بین دو پایانه ورودی را تقویت می کند. ولتاژ مثبت در ورودی وارونگر آن ، یک ولتاژ منفی در خروجی ایجاد می کند. تقویت کننده عملیاتی ایده آل چنین مشخص می شود:

۱- بهره ولتاژ بینهایت ( $A_{VO}$ )

۲- امپدانس ورودی بینهایت ( $R_{IN}$ )

۳- امپدانس خروجی صفر ( $R_{OUT}$ )

۴- پهنای باند بینهایت

۵- آفست - خروجی تقویت کننده به ازای سیگنال ورودی صفر، صفر خواهد بود.

از خواص فوق می توان روشی بسیار ساده برای تحلیل تقویت کننده عملیاتی به دست آورد:

الف. به هیچ یک از پایانه های ورودی تقویت کننده عملیاتی ایده آل، جریان وارد نمی شود.

ب. زمانی که در تقویت کننده ایده آل فیدبک منفی به کار می رود، ولتاژ ورودی تفاضلی به صفر میل می کند.

شکل ۴-۳ مدار تقویت کننده وارونگر با فیدبک منفی را نشان می دهد. شرایط فوق را می

توان برای تحلیل عملکرد این مدار به کار برد. به علت بینهایت بودن بهره و امپدانس ورودی،

پتانسیل ورودی پلاریته منفی به اندازه پتانسیل ورودی پلاریته مثبت است. به این دلیل جریان

ورودی  $i_1 = E_1 / R_1$  از مقاومت فیدبک  $R_o$  می گذرد. از آنجا که ورودی وارونگر در پتانسیل

مشترک با زمین قرار دارد، ولتاژ خروجی چنین به دست می آید:

$$E_0 = -iR_0$$

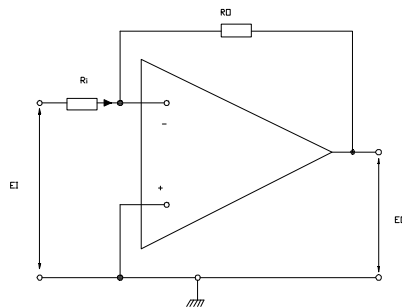
بنابراین

$$\frac{E_0}{E_1} = -\frac{i_1 R_0}{i_1 R_1} = -\frac{R_0}{R_1}$$

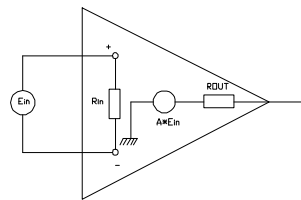
می توان مشاهده کرد که بهره مدار توسط نسبت مقاومت فیدبک، به مقاومت ورودی تعیین

می شود. این کاربرد در مواردی که بهره ولتاژ ثابتی لازم باشد مفید است. علامت منفی نشان

می دهد که پلاریته خروجی نسبت به ورودی، معکوس است.



شکل ۴-۳



شکل ۴-۲

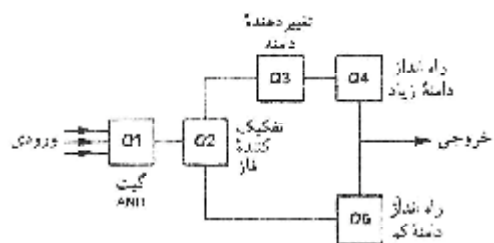
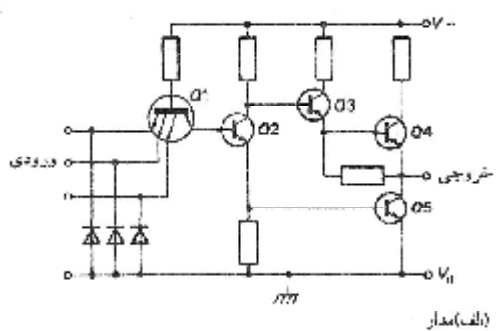
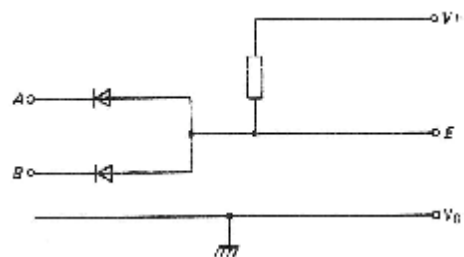
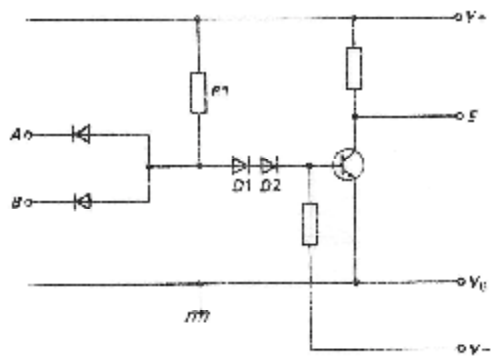
### ۴-۳-۲ - مدارهای دیجیتال

مدارهای مجتمع دیجیتال در رله های استاتیک که در آنها مسائل منطقی باید حل شوند،

مانند ترتیبهای اتوریکلوزر و کاربردهای دیگری که در آنها سابقاً از منطق کنتاکت رله های

الکترومکانیکی استفاده می شد به کار می روند. سیستمهای منطقی بسیاری ایجاد شده اند که معمولترین آنها منطق دیود - ترانزیستور (DTL)، منطق ترانزیستور - ترانزیستور (TTL) و اخیراً نوع فلز - اکسید - نیمرسانا (MOS) هستند. سیستمهای منطقی انواع متعددی دارند، اما این سه نوع، سه گروه از مدارهای منطقی را در بر می گیرند که معمولاً از آنها در تهیه توابعی منطقی همچون AND، OR و INVERT همراه با توابع پیچیده تری چون، ثبات انتقالی و سیستمهای حافظه ای استفاده می شود. سیستمهای MOS، نسبت به سیستمهای دیگر به توان بسیار کمتری احتیاج دارد، اگر چه سرعت عمل سیستمهای دیگر را ندارد، همین سرعت نیز معمولاً در کاربردهای رله ای بیش از مقدار مورد نیاز است.

شکل ۴-۴ گیت (گیت) ساده AND را نشان می دهد. زمانی که ورودیهای A یا B صفر باشند، یعنی به پتانسیل زمین نزدیک باشند، خروجی E صفر خواهد بود. وقتی که ورودیهای A و B هر دو یک باشند، یعنی هر دوی آنها به ولتاژ  $V^+$  وصل باشند خروجی E نیز یک خواهد بود. بنابراین مدار مزبور به صورت گیت منطقی AND عمل می کنند. تعداد ورودیها به ظرفیت ورودی معروف است و با اضافه کردن دیودهای دیگری به مقدار مورد نیاز، می توان آن را افزایش داد. با اتصال یک گیت AND دیودی به طبقه ترانزیستوری، گیت منطقی دیگری تشکیل می شود که آنرا منطق DTL می نامند. این گیت در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. اگر هر دو ورودی A و B یک باشند، جریان از طریق  $R_1$ ،  $D_1$  و  $D_2$  وارد بیس ترانزیستور شده، آن را به اشباع می برد. در نتیجه پایانه خروجی E ترانزیستور نزدیک پتانسیل زمین است. در صورتیکه اگر ورودیهای A و B یک باشند خروجی E صفر خواهد بود، ترانزیستور مزبور تابع AND حاصل از دیودهای ورودی را معکوس می کند. بنابراین این عمل به NOT - AND یا به طور خلاصه NAND معروف است. دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  ولتاژ آفستی ایجاد می کنند تا زمانی که ورودیها به حداقل  $1/4$  ولت نرسند، ترانزیستور هدایت نمی کند. این کار باعث می شود که تا حدی نویز بر مدار اثر نگذارند. گیت منطقی DTL که اصولاً به صورت اجزای نامجمع بوده اند، به صورت مدارهای مجتمع ساخته شده اند. با استفاده از تکنیکهای مخصوصی که با به کار بردن مدارهای مجتمع امکانپذیر شده است، منطق گروه TTL پدیدار شده است. شکل ۴-۶ مدار ابتدایی یک گیت NAND از نوع TTL را نشان می دهد. ورودیهای این گیت امپترهای یک ترانزیستور چند امپتری اند، که به صورت یک گیت AND عمل می کنند.

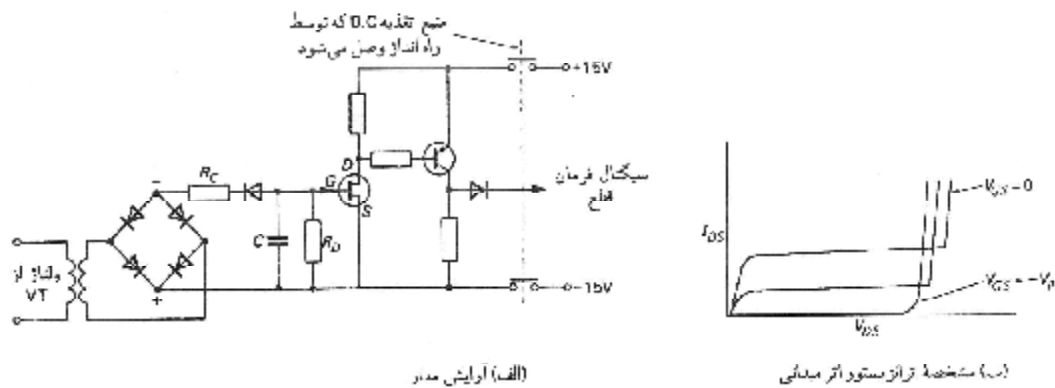


## ۴-۴ - کاربرد ترانزیستور اثر میدانی

یکی از عناصر حالت جامد که به علت بالا بودن امپدانس ورودیش در بعضی مواقع به کار می رود ترانزیستور اثر میدانی (فت) است. جریان عبوری از سورس به درین، از کانال سیلیسیم نوع n یا نوع p میگذرد که این جریان، توسط ولتاژ اعمالی بین گیت و سورس کنترل می شود. امپدانس ورودی بسیار زیاد بین گیت و سورس به علت معکوس بودن بایاس دیود گیت - سورس می باشد. شکل ۴-۷ (ب) مشخصه های نوعی فت را نشان می دهد.

زمانی که ولتاژ گیت - سورس از ولتاژ مخصوص  $V_p$  زیادتر شود، هیچ جریانی بین درین و سورس عبور نمی کند و می گویند کانال فشرده شده است.

اگر در حالی که گیره های زمین کننده یک خط انتقال در حالت زمین کردن خط باقی بمانند، و خط وصل شود، شرایط دشوار خاصی ایجاد خواهد شد. یک اتصالی سه فاز از نزدیک اتفاق می افتد، بدون آنکه در نقطه رله گذاری، ولتاژی موجود باشد، بنابراین جز به وسیله حفاظت پشتیبان، یا توسط حفاظت منطقه ای رله دیستانس، رفع اتصالی صورت نمی گیرد. با استفاده از ترانزیستورهای فت می توان مداری طرح کرد که این وضعیت را در برگرد و اتصالی را در زمان منطقه ۱ برطرف کند. شکل ۴-۷ (الف) این مدار را نشان می دهد. در این شکل ترانسفورماتور جداکننده که از طریق یک ترانسفورماتور ولتاژ تغذیه می شود، ولتاژی تولید می کند که پس از یکسو شدن از طریق مقاومت شارژکننده  $R_c$ ، خازن C را باردار می کند. گیت فت به این خازن متصل است و ولتاژ را کنترل می کند. خازن مزبور در شرایط عادی سیستم تا ۳۰- ولت باردار می شود. بررسی مشخصه فت نشان می دهد که برای یک ولتاژ گیت به سورس منفی تر از  $-V_p$ ، فت هدایت نمی کند، و برای روشن شدن ترانزیستور مزبور، این ولتاژ باید کمتر از مقدار  $-V_p$ ، منفی باشد. سیگنال فرمان قطع از طریق ترانزیستور pnp و عنصر انتگرال گیر انتقال می یابد. زمان تخلیه شدن خازن C توسط مقاومت  $R_D$  کنترل می شود، بنابراین می توان ثابت زمانی بزرگتری به دست آورد، تا زمانی که یک اتصالی در حالت عادی اتفاق می افتد، زمان کافی برای اندازه گیری از طریق منطقه ۳ و کامل کردن سیکل های اتو ریکلوزر وجود داشته باشد.



شکل ۷-۴

پاسخ مدار مزبور به شرایط مختلف را می توان چنین خلاصه کرد:

#### الف- وصل در حالت اتصالی سه فاز

راه اندازه ها فعال می شوند و ولتاژ dc را به مدارهای اندازه گیر اعمال می کنند. در این حالت چون ولتاژی در خروجی ترانسفورماتور ولتاژ وجود ندارد، سیگنال فرمان قطع صادر می شود.

#### ب- وصل ولتاژ خط در شرایط عادی

راه اندازه ها فعال نمی شوند، و بنابراین هیچ ولتاژ dc به مدارهای اندازه گیر اعمال نمی شود و سیگنال فرمان نیز صادر نمی شود.

#### ج- وصل در حالت اتصالی با وجود ولتاژ اتصالی

راه اندازه ها فعال می شوند و ولتاژ dc به مدار اندازه گیر اعمال می شود و فرمان قطع صادر می شود.

حالت های فوق ثابت می کنند که به هنگام تحریک شدن رله به وسیله بسته شدن دیژنکتور فیدر مربوطه، راه اندازه ها فرمان قطع را کنترل می کنند، تا اینکه خازن کاملاً شارژ شود.

## پرسش های فصل چهارم

- ۱- علت و مزایای استفاده از رله های استاتیکی چیست؟
- ۲- کاربرد مدارهای مجتمع را در رله های استاتیکی شرح دهید؟
- ۳- کاربرد ترانزیستورهای اثر میدان را در رله های استاتیکی دهید؟

## فصل پنجم : حفاظت جریان زياد

- فلسفه استفاده از حفاظت جریان زیاد
- آشنایی با اصول درجه بندی زمان-جریان
- آشنایی با انواع رله های اضافه جریان
- آشنایی با رله های حفاظت زمین

### ۵-۱- مقدمه

حفاظت تجهیزات الکتریکی در برابر جریانهای زیاد طبعاً اولین سیستم حفاظت بود که تکامل یافته است. حفاظت در برابر اضافه جریان نباید با حفاظت در برابر اضافه بار اشتباه شود. چون در این حالت معمولاً از رله هایی استفاده می شود که بر اساس ظرفیت حرارتی واحد مورد حفاظت، در زمانی معین عمل می کنند. از طرف دیگر، حفاظت در برابر اضافه جریان کلاً برای برطرف کردن اتصالها به کار می رود، اگر چه معمولاً نوع تنظیم آنها مقداری حفاظت در برابر اضافه بار را نیز به وجود می آورد.

### ۵-۲- روش هماهنگی

کاربرد درست رله های جریان، احتیاج به دانستن مقدار جریان اتصالی که ممکن است در هر قسمت شبکه جاری شود، دارد. از آنجا که انجام آزمایشها در مقیاس بزرگ و اصلی معمولاً غیر عملی است، باید از تحلیل سیستم استفاده کرد. در این رابطه غالباً کافی است با استفاده از اندوکتانس گذرای ماشین  $X_d'$ ، جریانهای متقارن لحظه ای سیستم به دست آید. اطلاعات مورد نیاز برای مطالعات مربوط به تنظیم رله عبارت اند از:

الف- نمودار تک خطی سیستم قدرت مورد نظر که در آن نوع و مقادیر نامی تجهیزات حفاظتی و ترانسفورماتورهای جریان مربوطه نشان داده شده است.

ب- امپدانس همه ترانسفورماتورهای قدرت، ماشینهای گردان، و فیدرها بر حسب اهم، درصد یا پریونیت.

ج- حداکثر و حداقل مقادیر جریانهای اتصال کوتاه که انتظار میرود در صورت وقوع اتصال ، از وسایل حفاظتی عبور کند.

د- جریان راه اندازی موتورها و زمان راه اندازی و توقف موتورهای القایی.

ه- مشخص بودن پیک جریان مربوط به وسایل حفاظت.

و- منحنیهایی که آهنگ میرایی جریان اتصال را که توسط مولدها تغذیه میشود، نشان میدهند.

ز- منحنیهای مشخصه ترانسفورماتورهای جریان.

در ابتدا تنظیم رله ها چنان انجام می شود که زمان کارشان در حداکثر جریان اتصال ، کوچکترین مقدار خود را داشته باشد، و سپس رضایتبخش بودن این تنظیم در مورد جریانهای اتصال حداقل، بررسی می شود. توصیه می شود که همواره منحنیهای رله ها و دیگر تجهیزات حفاظتی ، مثل فیوزها که به طور متوالی با هم کار می کنند ، با مقیاس مشترکی رسم شوند. معمولاً استفاده از مقیاسی متناسب با جریان مربوط به کمترین مبنای ولتاژ، یا به کار گرفتن مبنای ولتاژ غالب، به مراتب راحت تر است. روشهای دیگر برای این منظور، در نظر گرفتن یک مبنای مگاوات آمپر مشترک، یا مقیاس جداگانه ای از جریان برای هر سطح ولتاژ سیستم است. در حالت کلی قواعد اصلی برای ایجاد هماهنگی درست بین رله ها را می توان چنین بیان کرد:

۱- حتی الامکان باید رله هایی با مشخصه مشابه را به طور متوالی با یکدیگر به کار برد.

۲- باید اطمینان حاصل کرد که دورترین رله از منبع تغذیه ، تنظیم جریانی برابر و یا کمتر از رله پشت سر خود داشته باشد. به عبارت دیگر ، جریان اولیه مورد نیاز برای به کار انداختن رله جلویی باید همواره مساوی یا کمتر از مقدار جریان اولیه ای باشد که برای به کار انداختن رله بعدی آن لازم است.

### ۵-۳- اصول درجه بندی زمان - جریان

از روشهای مختلفی برای ایجاد هماهنگی صحیح در رله ها می توان استفاده کرد، که برخی از آنها زمان ، اضافه جریان یا ترکیبی از این دو را برای این منظور به کار می گیرند. هدف مشترک هر سه روش مزبور این است که در سیستم ، عمل تمایز به درستی انجام شود. به عبارتی باید گفت، که هر یک از این روشها باید فقط قسمت معیوب شبکه سیستم قدرت را انتخاب و جدا کند و در بقیه سیستم اختلالی به وجود نیاورد.

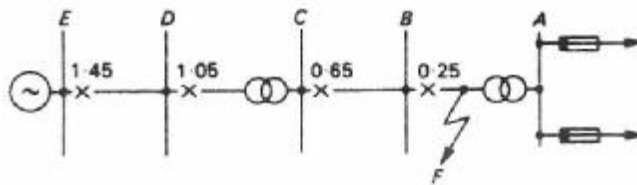
### ۵-۳-۱- تمایز به وسیله زمان

در این روش، فاصله زمانی مناسبی را بین رله های کنترل کننده کلیدهای قدرت قرار می دهند، تا اطمینان حاصل شود که ابتدا نزدیکترین دیژنکتور به محل اتصالی باز می شود. برای تشریح این روش، یک سیستم توزیع شعاعی ساده در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.

حفاظت دیژنکتورها در نقاط B، C، D و E که نقاط تغذیه ای هر بخش سیستم قدرت اند، صورت می گیرد. هر واحد حفاظتی شامل یک رله اضافه جریان با تأخیر زمانی معین است که در آن عملکرد جزء حساس به جریان، به سادگی عنصر تأخیر زمانی را به کار می اندازد. به شرط آنکه میزان تنظیم عنصر جریانی پایینتر از مقدار جریان اتصالی باشد، این عنصر هیچ گونه نقشی در تمایز نخواهد داشت. به این علت این رله را گاهی رله با تأخیر زمانی معین مستقل می نامند، زیرا برای مقاصد عملی، زمان عمل آن مستقل از سطح اضافه جریان است.

بنابراین عنصری از این رله که وسیله تمایز را فراهم می کند قسمت تأخیر زمانی آن است. رله نقطه B در کوتاهترین تأخیر زمانی تنظیم می شود، که این زمان برای سوختن یک فیوز بر اثر اتصالی در ثانویه ترانسفورماتور A کافی است. معمولاً، تأخیر زمانی ۰/۲۵ ثانیه برای این امر کافی است.

اگر در نقطه F اتصالی رخ دهد، رله نقطه B پس از ۰/۲۵ ثانیه تأخیر به کار خواهد افتاد و به دنبال آن دیژنکتور B عمل می کند، و قبل از به کار افتادن رله های نقاط D، C و E اتصالی را برطرف می کند. عیب عمده این روش تمایز در این است که در مورد اتصالیهای نزدیک به منبع قدرت که سطح اتصال کوتاه آن (MVA) بیشترین مقدار را دارد، رفع منبع عیب در طولانیترین زمان صورت می گیرد.



شکل ۵-۱

### ۵-۳-۲- تمایز به وسیله جریان

عمل تمایز به وسیله جریان، بر این امر بنا شده است که میزان جریان اتصالی، بر حسب محل وقوع آن، متغیر است. زیرا که امپدانس بین منبع و محل عیب بر حسب محل آن تغییر می کند. بنابراین، معمولاً، رله هایی که دیژنکتورهای متعددی را کنترل می کنند، چنان تنظیم می شوند که در مقادیر کاملاً مناسبی از جریان اتصالی عمل کنند، به طوری که فقط نزدیکترین رله به اتصالی دیژنکتور خود را قطع کند.

### ۵-۳-۳- تمایز به وسیله زمان و جریان

هر یک از دو روشی که تاکنون تشریح شد دارای یک عیب اساسی هستند. در حالتی که عمل تمایز تنها به وسیله زمان صورت گیرد، اشکال اصلی آن است که اتصالیهای بسیار شدید در زمانهای طولانیتری برطرف می شوند. تمایز به وسیله جریان نیز وقتی می تواند اعمال شود که امپدانس بین دو دیژنکتور زیاد باشد. به دلیل محدودیتهایی که استفاده مستقل از هماهنگی جریانی یا زمانی رله ها به وجود می آورند، مشخصه رله اضافه جریان با عکس زمان متناسب است. با چنین مشخصه ای، زمان عملکرد رله با عکس سطح جریان اتصال کوتاه متناسب است، و مشخصه واقعی تابعی از مقدار تنظیم زمان و جریان است.

### ۵-۴- خطاها

همه وسایل اندازه گیری مانند رله ها و ترانسفورماتورهای جریان معمولاً مقداری خطا دارند. مشخصه زمان عملکرد یک یا هر دو رله ای که در درجه بندی سیستم حفاظتی دخالت دارند ممکن است همانند ترانسفورماتورهای جریان که در اثر جریان تحریک لازم برای مغناطیس کردن هسته آنها، خطاهای فاز و نسبت تبدیل دارند، دارای خطای مثبت یا منفی باشند. اما این موضوع برای رله های اضافه جریان با زمان معین مستقل صادق نیست. درجه بندی و تنظیم رله ها با در نظر گرفتن دقت منحنیهای مدرج که سازنده ارائه می دهد، صورت می گیرد، اما از آنجا که وجود مقداری خطا اجتناب ناپذیر است، باید مقداری تolerانس برای آن در نظر گرفت.

### ۵-۵- زمان پیشنهادی

زمان کلی مورد نیاز برای عملکرد صحیح به سرعت عمل دیژنکتور و عملکرد رله بستگی دارد. در گذشته زمانی حدود ۵/۰ ثانیه حاشیه اطمینان عادی برای درجه بندی رله ها بوده است. با پیدایش دیژنکتورهای پیشرفته و سریعتر و رله هایی با زمان پیک آپ کمتر، زمان ۴/۰

ثانیه در این مورد منطقی به نظر می‌رسد، مع‌هذا در بهترین شرایط ممکن، زمانی حدود ۰/۳۵ ثانیه نیز معمول است. در بعضی موارد، به جای استفاده از حاشیه اطمینانی ثابت، بهتر است که زمان ثابتی برای زمان عملکرد دیژنکتور و پیک آپ رله، همراه با زمان متغیری که خطاهای رله، خطاهای ترانسفورماتور جریان و حاشیه اطمینان را در بر می‌گیرد، در نظر گرفته شود. زمان ۰/۲۵ ثانیه را مقدار ثابت انتخاب می‌کنند، که از مجموع ۰/۱ ثانیه برای زمان قطع جریان اتصال کوتاه دیژنکتور، ۰/۰۵ ثانیه زمان پیک آپ رله و ۰/۱ ثانیه زمان اطمینان حاصل شده است. پس از آن با در نظر گرفتن مقدار زمان متغیر مورد نیاز، ابتدا فرض می‌شود که هر رله اضافه جریان با زمان معکوس، با رده خطای  $E_{Y/5}$  که بر طبق روش کار رایج در بریتانیا در ۱۹۶۶: BS ۱۴۲ تعریف شده است، مطابقت دارد. محدوده خطای عادی برای رله  $E_{Y/5}$ ،  $\pm 7/5\%$  است، اما باید مقداری تلورانس برای آثار حرارتی، فرکانسی و انحراف از مقدار تنظیم مبنا، در نظر گرفت. تقریب عملی در این مورد در نظر گرفتن خطای مؤثر کلی برابر با  $Y/5$  یا  $2 \times 15\%$  برای تمام آثار جانبی فوق است، که باید به نزدیکترین رله به محل اتصالی که باید کندتر در نظر گرفته شود، اعمال گردد. به این خطای مؤثر کلی برای رله باید مقدار  $10\%$  دیگر برای خطای کلی ترانسفورماتور جریان افزود. بنابراین، برای فاصله زمانی لازم  $t'$  بین رله‌های اضافه جریان با زمان معکوس می‌توان معادله زیر را به کار گرفت:

$$t' = 0.25 t + 0.25 \text{ ثانیه}$$

که در آن  $t$  = زمان عملکرد نامی رله نزدیکتر به محل اتصالی.

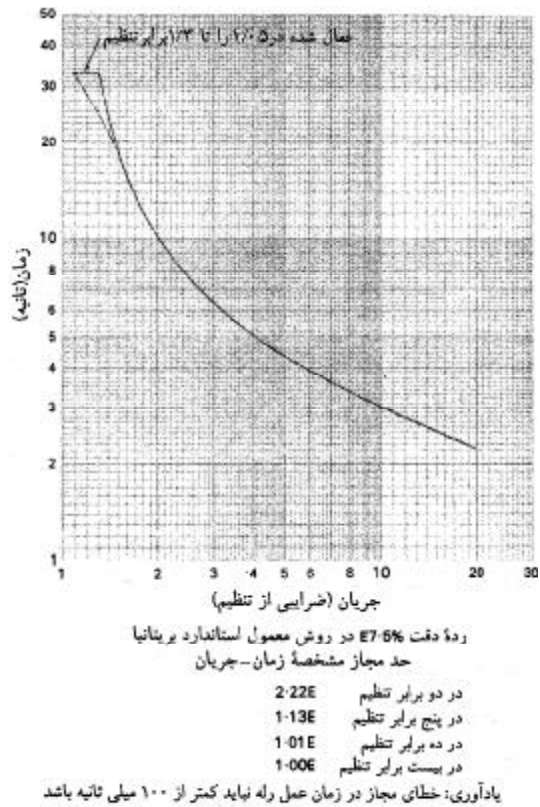
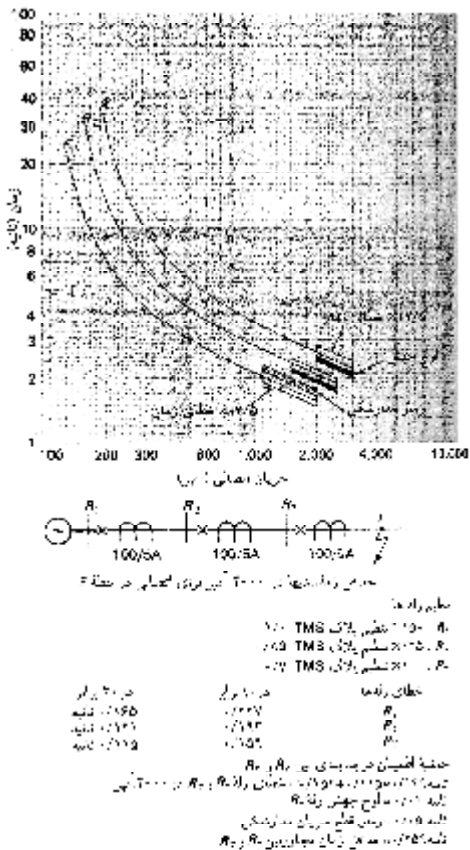
در مورد رله‌های اضافه جریان با تأخیر زمانی معین، باید فرض کرد که این رله‌ها با رده خطای  $E_{10}$  که روشی معمول در استاندارد ۱۹۶۶: BS ۱۴۲ است، مطابقت دارند. محدوده عادی خطا برای رله  $E_{10}$ ، برابر با  $\pm 10\%$  است. اما مقداری تلورانس هم برای آثار حرارتی، ولتاژی، فرکانسی و انحراف از میزان تنظیم مبنا باید در نظر گرفت. تقریب عملی برای خطای مؤثر کلی برابر با  $10 \times 2\%$  یا  $20\%$  برای آثار کلی جانبی است که باید به نزدیکترین رله به محل اتصالی که باید کندتر در نظر گرفته شود، اعمال میگردد. در این حالت، برخلاف رله با زمان معکوس، نباید خطای اضافی دیگری برای ترانسفورماتورهای جریان منظور کرد. بنابراین فاصله زمانی لازم  $t'$  بین رله‌های اضافه جریان با تأخیر زمانی معین مستقل، از معادله زیر به دست می‌آید:

$$t' = 0.25 t + 0.2 \text{ ثانیه} \quad \text{که در آن } t = \text{زمان نامی عملکرد نزدیکترین رله به محل اتصالی.}$$

### ۵-۶- رله اضافه جریان IDMT استاندارد

محدوده دقت این رله ها توسط کمیته های ملی متعددی در نظر گرفته شده است. شکل ۵-۲ مثالی نوعی از این محدوده را نشان می دهد که در استاندارد بریتانیا ۱۹۶۶: BS ۱۴۲ برای رله اضافه جریان با زمان حداقل معین معکوس ( IDMT ) بیان شده است.

منحنیهای متمایز کننده شکل ۵-۳ کاربرد چنین رله ای را در یک فیدر شعاعی منطقه بندی نشان می دهند، از این منحنیها مشاهده می شود که با تنظیم رله فرض شده و تلورانس مجازی که در استاندارد ۱۹۶۶: BS ۱۴۲ آمده است ، ضریب اطمینان مجاز درجه بندی بین رله های اضافه جریان در هر قسمت دیژنکتور تقریباً برابر با ۵/۰ - ثانیه است.



شکل ۳-۵

شکل ۵-۲

با افزایش جریان اتصال کوتاه سیستم، برای به حداقل رساندن صدمات وارده بر آن، باید زمان رفع اتصالیهای نزدیک به منبع قدرت را کوتاهتر کرد. بنابراین لازم است که خطاهای زمانی را در چنین مواردی، که به طور ناخواسته ای در مقایسه با زمان عملکرد دیژنکتورهای مدرن بزرگ اند کاهش داد، که این عمل فقط با بهبود بخشیدن به محدوده های دقت و فعال شدن و پیک آپ رله ها حاصل می شود. همه این موارد باید بدون هیچ گونه اثری در عملکرد عمومی رله ها به دست آید، به عبارت دیگر در عملکرد گشتاور رله نباید هیچ کاهش روی دهد، یا فشار کنتاکتهای آن تضعیف شود و از طرفی ساختمان رله باید با حداقل قسمتهای متحرک به طور ساده باقی بماند.

## ۵-۷- ترکیب رله اضافه جریان IDMT و رله اضافه جریان آنی

در خطوط انتقال یا فیدر ترانسفورماتورها که امپدانس منبع در مقایسه با امپدانس مدار حفاظت شده کوچک است با افزودن یک رله اضافه جریان با عملکرد آنی به رله اضافه جریان زیاد با زمان معکوس، می توان کیفیت بهتری به دست آورد. این ترکیب سبب کاهش زمان قطع در سطوح اتصال کوتاه بزرگ می شود و با پایین آوردن منحنیهای متمایز کننده پشت رله های آنی، درجه بندی کلی سیستم را بهبود می بخشد.

مطابق شکل ۵-۴، یکی از مزایای رله های آنی این است که زمان عمل حفاظت مدار را به اندازه ناحیه هاشور زده زیر منحنیهای متمایز کننده کاهش می دهد و به شرط آنکه امپدانس منبع ثابت بماند می توان در بخش وسیعی از مدار حفاظت شده، حفاظت تندکار بدست آورد.

مزیت مهم دیگری که با استفاده از رله های آنی می توان به دست آورد و بر درجه بندی سیستم اثر می گذارد نیز در شکل ۵-۴ نشان داده شده است. این شکل به روشنی این نکته مهم را تشریح می کند که عمل درجه بندی با رله ای بلافاصله بعد از رله آنی در تنظیم جریان این عناصر صورت می گیرد نه در حداکثر سطح اتصال کوتاهی که برای رله های IDMT استاندارد درجه بندی شده، لازم است. برای مثال، در شکل ۵-۴ رله  $R_2$  با رله  $R_3$  به جای ۱۱۰۰ آمپر در ۵۰۰ آمپر درجه بندی شده است، به طوری که این امر رله  $R_2$  را به جای  $0.2 \text{ TMS}$  در  $0.15 \text{ TMS}$  تنظیم می کند، ولی ضریب اطمینان درجه بندی  $0.4$  ثانیه را بین رله ها باقی می گذارد. به طور مشابه رله  $R_1$  با رله  $R_2$  به جای ۲۳۰۰ آمپر در ۱۴۰۰ آمپر درجه بندی می شود. به هنگام استفاده از رله های اضافه جریان آنی، باید در تنظیم آنها دقت کرد، تا از به کار افتادنشان برای اتصالیهایی در پشت بخش حفاظت شده ممانعت شود. زیرا مقدار مؤثر حالت دایمی جریان اتصال کوتاه در نقطه ای پشت نقطه مورد نظر ممکن است از مقدار تنظیم رله کمتر باشد، اما

جریان اولیه اتصالی به علت وجود آفست در موج جریان ممکن است از مقدار مورد نیاز جهت فعال شدن رله بزرگتر باشد و باعث عملکرد آن شود.

به هنگام استفاده از رله های اضافه جریان آنی در ترانسفورماتورهای قدرت ، تنظیم آنها را بالاتر از ماکزیمم جریان اتصال کوتاهی که ترانسفورماتور قدرت مزبور در صورت وقوع اتصالی در طرف فشار ضعیف خود قادر به ایجاد آن است، قرار می دهند تا به این طریق بتوان حالت تمایز را با رله هایی که در طرف فشار ضعیف ترانسفورماتور قرار دارند، حفظ کرد.

### ۵-۸- رله اضافه جریان خیلی معکوس

رله اضافه جریان خیلی معکوس، در مواردی مناسب است که با افزایش فاصله محل اتصالی از منبع ، جریان اتصالی به نحو قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. مشخصه این رله طوری است که زمان به کار افتادن آن تقریباً برای کاهش  $\epsilon$  تا  $\gamma$  برابر جریان تنظیم، دو برابر می شود. این امر استفاده از تنظیم ضریب زمان TMS را برای رله های متعددی که با هم متوالی اند امکان پذیر می سازد. در مثال شکل ۵-۵، برای حالتی که جریانهای اتصالی در پستهای C، B و A به ترتیب برابر با ۱۲۲۵، ۷۰۰، ۴۰۰ آمپر یا به عبارتی با نسبت  $\epsilon$  به  $\gamma$  بین دو پست مجاورند را با مشخصه رله خیلی معکوس مقایسه می کنیم. همه رله ها در  $TMS = 0.2$  تنظیم شده اند. از شکل ۵-۵ می توان مشاهده کرد که با رله های اضافه جریان خیلی معکوس، زمان اطمینانی برابر با  $0.33$  ثانیه در زمان قطع دیژنکتورهای مجاور به دست می آید، در حالی که برای رله های IDMT این اختلاف فقط  $0.24$  ثانیه است. در اینجا نشان داده خواهد شد که حاشیه اطمینان درجه بندی  $0.33$  ثانیه که با رله های اضافه جریان خیلی معکوس حاصل می شود، برای تمایز کامل کافی است در حالی که زمان  $0.24$  ثانیه ای که با رله های IDMT استاندارد به دست می آید، برای این منظور کافی نیست.

حداقل حاشیه اطمینان درجه بندی مجاز ، هنگام استفاده از TMS ۰/۲ - چنین به دست می آید:  
مجموع خطاهای رله بین نقاط رله گذاری مجاور که در سطح اتصال کوتاه معین TMS ۰/۲ -  
برآورد می شود

+ زمان کار دیژنکتور + زمان پیک آپ رله

در حالت رله اضافه جریان با زمان خیلی معکوس ، مجموعه فوق برابر خواهد بود با:

$$s \ 0.283 = 0.05 + 0.15 + (0.029 + 0.054)$$

که در آن زمان ۰/۰۵۴ ثانیه ، خطای رله در چهار برابر تنظیم و TMS ۰/۲ - است.

زمان ۰/۲۹ - ثانیه ، خطای رله در ۷ برابر تنظیم و TMS ۰/۲ - است.

زمان ۰/۱۵ - ثانیه ، زمان کار دیژنکتور است. زمان ۰/۰۵ - ثانیه ، زمان پیک آپ رله است.

حاشیه اطمینان واقعی درجه بندی در مثال مذکور که در شکل ۵-۵ نشان داده شده است ،  
با استفاده از رله خیلی معکوس برابر با ۰/۳۳ - ثانیه به دست می آید. در حالی که حداقل زمان  
مجاز برای تمایز درست ۰/۲۸۳ - ثانیه است. بنابراین رله های اضافه جریان خیلی معکوس در این  
مورد مناسب اند. با استفاده از رله های IDMT استاندارد ، حداقل زمان مجاز بین دیژنکتورهای

$$s \ 0.3137 = 0.04 + 0.15 + (0.025 + 0.0712)$$

که در آن زمان ۰/۰۷۱۲ - ثانیه خطای رله در ۴ برابر تنظیم و TMS ۰/۲ - است.

زمان ۰/۰۵۲۵ - ثانیه خطای رله ۷ برابر تنظیم و TMS ۰/۲ - است.

زمان ۰/۱۵ - ثانیه زمان کار دیژنکتور است.

زمان ۰/۰۴ - ثانیه زمان پیک آپ رله است.

بنابراین زمان مجاز حداقل برای تمایز درست بین دیژنکتورهای مجاور ، ۰/۳۱۳۷ - ثانیه  
است. در حالی که تفاوت واقعی در زمان بین نقاط رله گذاری مجاور، با به کاربردن  
رله IDMT ، فقط ۰/۲۴ - ثانیه است. در نتیجه رله IDMT استاندارد را نمی توان با TMS مورد  
نظر به کار برد. این موضوع نشان می دهد که استفاده از رله های اضافه جریان خیلی معکوس به  
جای رله های IDMT استاندارد ، در مواردی که جریان اتصالی به طور اساسی بین نقاط رله  
گذاری مجاور کاهش می یابد، مفیدتر است.

باید توجه کرد که در محاسبات فوق فرضیات زیر در نظر گرفته شده است :

الف- خطای رله های بین دیژنکتورهای مجاور در یک طرف کلید ، مثبت و در طرف دیگر آن ،  
منفی فرض شده است.

ب- کاهش زمان پیک آپ با مقادیر کوچک TMS وجه اشتراکی با کاهش TMS ندارد ، بنابراین  
برای تنظیم ضریب زمانی همه رله ها یک زمان ثابت منظور شده است.

ج- خطای رله ها برابر با  $7/5\%$  مقدار زمان واقعی در TMS به کار رفته ، منظور شده است.

#### ۵-۹- رله اضافه جریان فوق العاده معکوس

این رله دارای مشخصه فوق العاده معکوس بوده، و در آن زمان تقریباً به طور معکوس متناسب با مجذور زمان است. این مشخصه ، رله را برای حفاظت مدارهای مربوط به فیدرهای توزیع مناسب می سازد ، که در آنها فیدر در معرض جریانهای پیک ناشی از کلید زنی قرار دارد. برای مثال در مدار قدرت تغذیه کننده یخچالها ، پمپها ، آبگرمکنها و غیره ، چنین حالتی وجود دارد. مشخصه عملکرد طولانی رله فوق العاده معکوس در مقادیر پیک جریان بار عادی ، آن را مخصوصاً برای درجه بندی با فیوز مناسب می سازد.

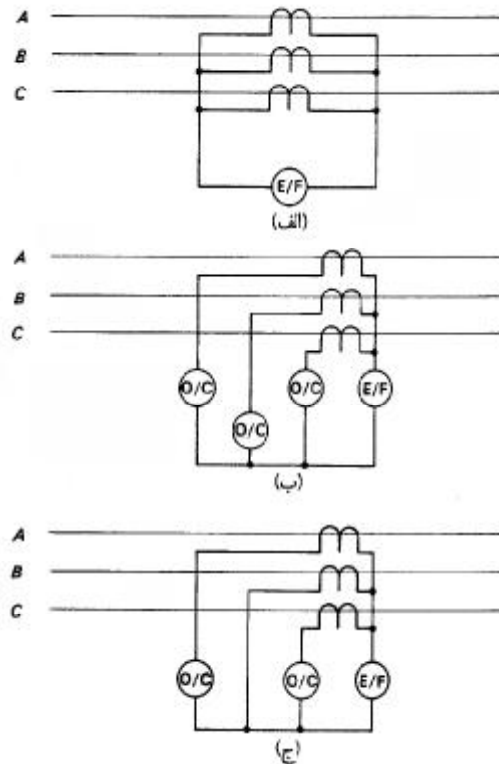
شکل ۵-۶ منحنیهای متعارفی را نشان می دهد تا کاربرد رله مذکور را در یک سیستم ۱۱ کیلوولتی ، که در آن ترانسفورماتور توزیع از طریق فیوز فشار قوی تغذیه می شود ، به تصویر در آورد و چنانکه مشاهده می شود، خود رله در طرف فشار ضعیف (۴۴۰ ولت ) ترانسفورماتور قرار گرفته است. منحنیهای متمایز کننده رله فوق العاده معکوس و فیوز فشار قوی ۷۵ آمپری (۱۱ kV) ، به روشنی تفاوت زمانی  $0/4$  ثانیه را بین زمان عملکرد رله و زمان عمل فیوز ۷۵ آمپری در حداکثر سطح اتصال کوتاه ۲۰۰۰ آمپر نشان می دهد، که این موضوع در زمان به کار افتادن دیژنکتور، تغییرات مربوط به زمان عمل فیوز و خطاهای رله را مجاز می سازد. کاربرد دیگر رله فوق العاده معکوس در رابطه با اتوریکلوزر در مدارهای توزیع فشار ضعیف است. در این نوع مدارها قسمت عمده اتصالیها طبیعتاً گذراست و اگر سیستمهای اتوریکلوزر چنان تنظیم شوند که قبل از سوختن فیوز عمل کنند ، می توان از سوختن و جایگزینی غیر ضروری فیوزها ممانعت کرد. اگر اتصالی تداوم داشته باشد ، سیستم اتوریکلوزر پس از یک بار عملکرد در وضعیت بسته تثبیت می شود تا فیوز بسوزد و اتصالی از بقیه سیستم مجزا شود.

این رله را در بسیاری از کاربردهای حفاظت اضافه جریان میتوان بکار برد اما اگر مزیت کاهش جریان اتصال کوتاه را با افزایش فاصله محل عیب از منبع قدرت در نظر بگیریم، این رله نمی تواند جانشین رله IDMT استاندارد یا رله اضافه جریان خیلی معکوس شود.

## ۵-۱۱- حفاظت اتصالی زمین

در بخشهای گذشته این فصل در اصل به حفاظت اضافه جریان پرداختیم. با استفاده از رله ای که فقط نسبت به جریان باقیمانده سیستم عکس العمل نشان می دهد می توان حفاظت حساس تری در برابر اتصالیهای زمین ایجاد کرد زیرا مؤلفه باقیمانده تنها زمانی وجود دارد که جریان اتصال کوتاه به سمت زمین برقرار شود. بنابراین رله اتصالی زمین از جریان بار، خواه متعادل باشد خواه نباشد، تأثیر نمی پذیرد و می توان آن را بدون هیچ گونه محدودیتی غیر از محدودیت مربوط به طرح دستگاه رله، تنظیم کرد. با وجود این، اگر عمل تنظیم فقط درصد کوچکی از مقدار نامی سیستم را در برگیرد، عبارت فوق باید همراه با مقداری حاشیه اطمینان باشد، زیرا نشتی نامتعادل یا جریانهای خازنی به زمین می توانند کمیت باقیمانده ای به میزان مزبور ایجاد کنند. در حالت کلی، می توان گفت تنظیمهای کوچک برای رله های اتصالی زمین بسیار مفیدند، زیرا اتصالیهای زمین نه تنها کمتر از انواع دیگر اتصالی در سیستم به وقوع می پیوندند، بلکه مقدار آنها با امپدانس نقطه خنثی به زمین یا مقاومت محل اتصال به زمین ممکن است محدود شود. مؤلفه باقیمانده را می توان با اتصال موازی ترانسفورماتورهای جریان خط مطابق شکل ۵-۸ استخراج کرد.

اتصال ساده شکل ۵-۸ (الف) را می توان با قرار دادن رله های اضافه جریان، در هر فاز جداگانه مطابق شکل ۵-۸ (ب) گسترش داد، در این صورت رله اتصالی زمین بین نقاط ستاره گروه رله ها و ترانسفورماتورهای جریان جای می گیرد. رله های اضافه جریان غالباً تنها در دو فاز سیستم پیش بینی می شوند، زیرا این آرایش، هر نوع اتصالی بین فازها را آشکار خواهد ساخت و اتصال آنها به رله اتصالی زمین هیچ گونه تأثیری بر آن نخواهد گذاشت. این آرایش را شکل ۵-۸ (ج) نشان می دهد.



شکل ۵-۸

#### ۵-۱۱-۱- تنظیم مؤثر رله های اتصال زمین

ضریب تنظیم اولیه اضافه جریان را معمولاً می توان با حاصلضرب ضریب تنظیم رله در نسبت ترانسفورماتور جریان به دست آورد با فرض اینکه ترانسفورماتور جریان نسبت دقیق خود را که به صورت درصدی از جریان نامی بیان می شود ، حفظ کند. در این صورت تنظیم اولیه ، برابر با تنظیم رله خواهد بود. در رله های اتصال زمین نیز ممکن است عناصری مشابه با عناصر رله های فازی به کار رود که در عین حال در تنظیم خود ، مصرف ولت - آمپر مشابه با رله های فازی را داشته باشد ، اما در جریان نامی یا جریان کار ، به علت تنظیم پایینتر آنها بار به مراتب بیشتری به سیستم اعمال خواهند کرد. به عنوان مثال ، رله ای با تنظیم ۲۰٪ ، امپدانسی ۲۵ برابر عنصری مشابه با تنظیم ۱۰۰٪ خواهد داشت، به ندرت این بار از بار نامی ترانسفورماتورهای جریان تجاوز می کند. اما ممکن است تصور شود که در چنین مواردی باید ترانسفورماتور جریان بزرگی به کار رود ، ولی باید گفت که این کار لزومی ندارد ، زیرا ترانسفورماتور جریانی که قادر به تامین بار رله فازها باشد می تواند رله اتصال زمین را نیز به کار اندازد و خطای افزایش یافته آن در این حالت را به آسانی می توان مجاز شمرد.

تنها جریان تحریک ترانسفورماتور جریان مربوط به رله نیست که در رابطه با بار زیاد رله اتصالی زمین خیلی افزایش می یابد، بلکه افت ولتاژ این رله بر دیگر ترانسفورماتورهای جریانی که در گروه موازی کار می کنند، چه دارای جریان اولیه باشند و چه نباشند، اثر می گذارد. بنابراین جریان تحریک کلی برابر با حاصلضرب افت یکی از ترانسفورماتورهای جریان در تعداد ترانسفورماتورهای جریان موازی با هم است. مجموع اتلاف مغناطیسی در مقایسه با جریان کار رله می تواند قابل ملاحظه باشد و در حد نهایی که جریان تنظیم رله پایین است یا اینکه ترانسفورماتورهای جریان عملکرد ضعیفی دارند، ممکن است حتی از جریان خروجی رله نیز تجاوز کند. تنظیم مؤثر، مجموع برداری جریان تنظیم رله و جریان کلی تحریک ترانسفورماتور جریان است، اما حداقل در مورد رله های الکترومغناطیسی، جمع جبری نیز به اندازه کافی گویاست، زیرا در این حالت ضرایب توان مشابه هم اند.

#### ۵-۱۱-۲- درجه بندی زمانی رله های اتصالی زمین

درجه بندی زمانی رله های اتصالی زمین را می توان به همان روش مربوط به رله های اتصالی فاز انجام داد. اما در این مورد مشخصه زمان - جریان اولیه را نمی توان با دقتی به اندازه دقت حاصل در مورد رله های اتصالی فاز، متناسب با مشخصه رله نگه داشت. همان گونه که میدانیم، خطای نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان در جریان تنظیم رله ممکن است خیلی بزرگ باشد. اثر امپدانس نسبتاً زیاد رله و مجموع اتلاف تحریک ترانسفورماتور جریان در مدار باقیمانده باز هم افزایش می یابد، زیرا در نقطه تنظیم، چگالی شار ترانسفورماتورهای جریان با خم پایینی منحنی مشخصه تحریک مطابقت دارد. در این شرایط امپدانس تحریک نسبتاً کوچک است، و این امر سبب می شود که خطای نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان بالا باشد. با افزایش جریان اولیه ترانسفورماتور جریان، عملکرد آن بهبود می یابد زیرا در این حالت امپدانس رله آنقدر کاهش می یابد تا اینکه با یک جریان ورودی به میزان چند برابر تنظیم اولیه، ضریب جریان تنظیم رله به نحو بارزی از ضریب تنظیم اولیه که به مدار اولیه آن اعمال شده بود بزرگتر شود و باعث کوتاهتر شدن زمان عمل رله از مقدار مورد انتظار شود. در جریانهای ورودی باز هم بزرگتر، مشخصه عملکردی ترانسفورماتور جریان آنقدر افت می کند که سرانجام جریان خروجی آن به نحو مشخصی از افزایش باز بماند.

در بعضی مناطق، بر اثر خشکی بیش از اندازه خاک و همچنین به علت نوع طبیعت زمین، مقاومت مسیر زمین بسیار بالاست. در چنین مواردی اتصال سیستم به زمین بدون رساناهای مخصوص ممکن است به عبور جریان بسیار کوچکی بینجامد، که برای به کار انداختن سیستم حفاظت عادی کافی نباشد. وضعیت مشابهی در مورد قطع خطوط انتقال روی می دهد که، پس از افتادن سیم رسانا بر روی زمین یا جاده ای خشک، به علت جریان نشتی کوچک همچنان برقدار باقی می ماند، و از این نظر خطراتی را برای انسان یا موجودات زنده دیگر به وجود می آورد.

برای اجتناب از چنین مواردی لازم است که سیستم حفاظت اتصالی زمین چنان تعبیه شود که نسبت به حفاظت معمولی خط به مراتب بهتر تنظیم شده باشد. برای نیل به این منظور، علاوه بر آنکه رله مورد نظر باید تنظیم جریان کوچکی داشته باشد بار تحمیل شده به آن نیز باید کم باشد (تنظیم جریان کم برای یک رله معمولی می تواند به معنی تنظیم مؤثر بدون فایده باشد) می توان انتظار داشت که جریان نشتی گذرای مربوط به ترانسفورماتورهای جریانی که برای ایجاد جریان باقیمانده به هم اتصال یافته اند در حین اتصالیهای فازی از مقدار جریان تنظیم رله های اتصالی زمین تجاوز کند، اما تأخیر زمانی نسبتاً طولانی این رله از به کار افتادن ناخواسته آنها در چنین مواردی جلوگیری می کند. کاربرد این رله ها ممکن است به وسیله جریان باقیمانده عادی که در شرایط سالم بودن سیستم نیز ممکن است وجود داشته باشد محدود شود. چنین پدیده ای می تواند از علت های اولیه چون جریان نشتی حاصل از عدم تعادل بار، یا جریان نشتی خازنی یا از جریان نشتی ثانویه ترانسفورماتورهای جریان تحت شرایط عادی بار سیستم به وجود آید. مقدار چنین جریان باقیمانده ای در حالت پایدار اندازه گیری می شود و رله در حد پایینتری مقدار آن تنظیم می شود تا از عملکرد حالت دایمی آن بر اثر چنین جریانی جلوگیری شود، و هم اینکه برگشت عنصر اندازه گیر جریان پس از عملکرد گذرا تضمین شود. تأخیر زمانی این رله ها طوری تنظیم می شود که از طولانیترین زمان عمل حفاظت اتصال کوتاه احتمالی سیستم بزرگتر باشد و تنظیم زمانی رله های متوالی در یک توالی درجه بندی شده صورت گیرد.

## ۵-۱۲- هماهنگی با فیوزها

زمان عمل فیوز تابعی از زمان جرقه و زمان پیش جرقه عنصر حرارتی آن است، که از قانون  $I^2t$  تبعیت می کند. بنابراین، برای ایجاد هماهنگی بین دو فیوز متوالی، لازم است که مقدار کلی  $I^2t$  مربوط به فیوز کوچکتر از مقدار  $I^2t$  پیش جرقه فیوز بزرگتر، بیشتر نباشد.

آزمایش نشان می دهد زمانی که نسبت جریانهای دو فیوز بیش از دو باشد ، عموماً درجه بندی مناسبی بین آنها به وجود خواهد آمد. تا آنجا که برای عمل درجه بندی رله های اضافه جریان بازمان معکوس با فیوزها باید حتی الامکان این اصل اساسی را رعایت کرد که رله پشتیبان فیوز باشد و نه بالعکس، زیرا به علت عملکرد سریع فیوز در مقادیر بالای جریان اتصال کوتاه ، حفظ تمایز درست در این موارد بسیار مشکل است.

رله ای که مشخصه آن برای هماهنگی با فیوزها به بهترین وجهی مناسب است معمولاً رله اضافه جریان فوق العاده معکوس، که تقریباً از مشخصه  $I^2t$  تبعیت می کند. باید توجه کرد که برای هماهنگی رضایتبخش بین رله و فیوز ، تنظیم جریان اولیه رله باید تقریباً سه برابر جریان کار فیوز باشد و دیگر این که ضریب اطمینان درجه بندی برای هماهنگی صحیح ، هنگامی که به صورت کمیت ثابت بیان می شود نباید کمتر از  $0.4$  - ثانیه باشد و زمانی که به صورت کمیت متغیر بیان می شود دارای مقدار حداقل زیر باشد:

$$t' = 0.4t + 0.15$$

که در آن  $t$  = زمان عملکرد نامی فیوز

### پرسش های فصل پنجم

- ۱- اصول درجه بندی زمان-جریان را شرح داده و روشهای هماهنگی بین رله ها را نام ببرید؟
- ۲- مورد استفاده از رله های جریان خیلی معکوس را توضیح دهید؟
- ۳- دلیل استفاده از رله اضافه جریان با زمان معین را شرح دهید؟
- ۴- حفاظت زمین حساس را شرح داده و موارد استفاده آنرا نام ببرید؟

## فصل ششم : حفاظت دیفرانسیل

- آشنایی با طرز کار رله دیفرانسیل
- آشنایی با انواع حفاظت دیفرانسیل

## ۶-۱- تعریف و طرز کار حفاظت دیفرانسیل

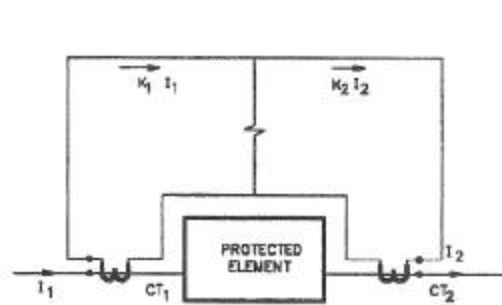
حفاظت دیفرانسیل عبارت از مقایسه جریانهای وارد و خارج شده از دستگاه فشار قوی و یا بخشی از خط و یا شینه ها و غیره با یکدیگر از نظر مقدار و اختلاف فاز می باشد. با توجه به عدم مصرف انرژی توسط دستگاه نتیجه مقایسه یا تفاضل جریانها همواره صفر خواهد بود، تنها هنگامیکه اتصالی های فاز - فاز و یا فاز - زمین روی دهد تفاوت جریانها مقدار قابل ملاحظه خواهد شد که در سیم پیچی های رله برقرار شده، موجبات کار آن را فراهم می سازد. لذا به عنوان رله دیفرانسیل یا رله تفاضلی نامیده می شود ( کلمه different به معنی تفاضل یا اختلاف می باشد). مقایسه جریانهای ورودی و خروجی با استفاده از دو ترانسفورماتور جریان با نسبتهای تبدیل برابر صورت می پذیرد. در صورت بروز عیب در حد فاصل دو ترانسفورماتور جریان، جریانهای عیب قابل ملاحظه برقرار گشته مجموع جریانهای ثانویه ترانسفورماتورهای جریان در سیم پیچی رله برقرار شده، کار مطمئن رله را سبب می شود.

شکل ۶-۱ مثال ساده ای از یک آرایش دیفرانسیل را نشان میدهد. ثانویه ترانسفورماتورهای جریان (CT ها) به یکدیگر متصل شده اند و سیم پیچ یک رله اضافه جریان نیز به آنها وصل شده است. اگر چه ممکن است جریان های  $I_1$  و  $I_2$  با یکدیگر مساوی نباشند، اما اگر CT ها دارای نسبت های تبدیل و اتصالات مناسب باشند آن گاه در شرایط عادی بار یا وقتی که خطایی در خارج از محدوده حفاظت شده رخ داده باشد، جریان های ثانویه فقط از CT ها عبور می کنند و هیچ جریانی از رله اضافه جریان گذر نخواهد کرد. اما اگر خطایی در فاصله میان دو CT رخ دهد، جریان اتصال کوتاه از هر دو سو به سمت نقطه اتصالی جاری خواهد شد و مجموع جریان های ثانویه از رله دیفرانسیل خواهد گذشت. در تمام حالات، جریان در رله دیفرانسیل باید با تفاضل برداری جریان هایی که به عنصر یا جزء حفاظت شده وارد و از آن خارج می شوند، متناسب باشد. اگر جریان عبوری از رله دیفرانسیل از حد تنظیمی بیشتر شود، آن گاه رله عمل خواهد کرد.

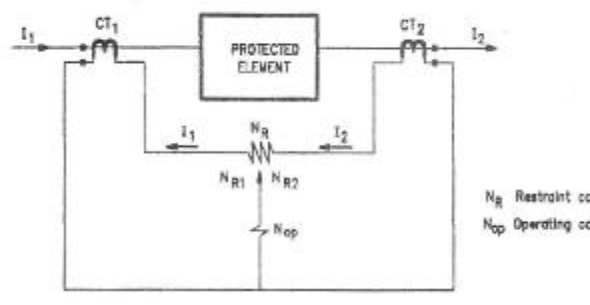
یکی دیگر از آرایش هایی که در رله های دیفرانسیل با درصد متغیر که گاهی به نام درصد قابل بایاس نیز خوانده می شود، بسیار به کار می رود، آرایشی است که اصول آن در شکل ۶-۲

نشان داده شده است. این نوع از رله دارای یک واحد اضافی است و علاوه بر سیم پیچ عمل کننده دارای سیم پیچ باز دارنده نیز هست. از آنجا که به طور معمول، در آرایش های حفاظتی دیفرانسیل از این نوع رله استفاده می شود، هر کجا در این فصل از رله دیفرانسیل نام می بریم منظور ما این نوع از رله هاست.

جریان در سیم پیچ عمل کننده با  $(I_1 - I_2)$  متناسب است. اگر  $N$  تعداد دورهای سیم پیچ بازدارنده باشد و سیم پیچ عمل کننده به نقطه میانی این سیم پیچ وصل شود، آنگاه آمپر دور کل برابر  $I_2(N/2) + I_1(N/2)$  خواهد بود. این امر معادل آن است که جریان  $(I_1 + I_2)/2$  از تمامی سیم پیچ بازدارنده بگذرد. مشخصه عملکرد رله با این نوع از بازدارندگی در شکل ۳-۶ رسم شده است. اگر چه CT ها با مشخصات یکسان تولید می شوند، اما به دلیل تفاوت های اندکی که در مشخصه مغناطیس کنندگی آن ها وجود دارد، حتی در صورت عبور جریان مشابه از سیم پیچ اولیه، دارای جریان یکسان در سیم پیچ نخواهند بود. نیروی رله بازدارنده با  $(I_1$  و  $I_2)$  افزایش می یابد و بنابراین از قطع های ناخواسته مدار در اثر هر نوع خطای ناشی از عدم تعادل CT ها جلوگیری می شود. علاوه بر این در شرایط رخ داد خطا، گشتاور بازدارنده افزایش می یابد و این نیز باعث می شود تا مشخصه عملیاتی پایداری پدید آید و از هر نوع عملکرد بیهوده و ناخواسته در رله ها اجتناب شود. در رله هایی که سیم پیچ بازدارنده آن ها دارای TAP متغیر است، می توان TAP را چنان تنظیم کرد که جریان ناشی از عدم توازن در CT ها را جبران کند. اگر رله دارای چنین TAP متغیر نباشد آن گاه برای جلوگیری از عملکرد نادرست رله باید تا حد امکان جریان ثانویه CT ها را بر یکدیگر منطبق کرد.



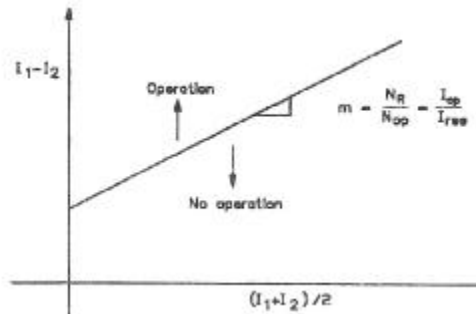
شکل ۱-۶



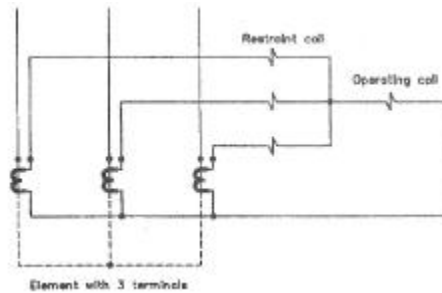
شکل ۲-۶

رله های دیفرانسیل را می توان برای عناصری از سیستم قدرت که دارای بیش از دو پایانه هستند نیز به کار برد. نمونه ای از این نوع کاربرد در شکل ۴-۶ نشان داده شده است. تعداد

دور سیم پیچ های بازدارنده سه گانه مساوی و بازدارندگی ایجاد شده توسط هر یک از سیم پیچ ها از دو سیم پیچ دیگر مستقل است. نهایتاً خروجی این سه سیم پیچ با یکدیگر جمع می شود. شیب مشخصه عملکرد رله نیز بر مبنای جریان در سه سیم پیچ بازدارنده متفاوت خواهد بود. البته انواع دیگری از رله های دیفرانسیل نیز وجود دارد که در آن ها به جای عضو جریانی از عضوهایی که ولتاژ یا جهت را نشان می دهند ، استفاده شده است. اما اصول کار تمام این انواع گوناگون همان است که پیش از این گفته ایم.



شکل ۳-۶



شکل ۴-۶

## ۶-۲- انواع حفاظت دیفرانسیل

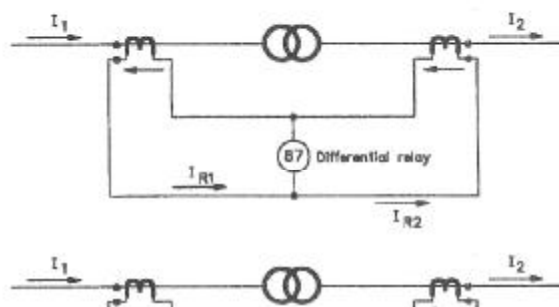
حفاظت دیفرانسیل بر اساس نوع وسیله مورد حفاظت ، دسته بندی می شود. این وسایل

عبارتند از:

- ترانسفورماتور ها
- ژنراتورها و ماشین های گردان
- خطوط و شین ها.

## ۶-۳ - حفاظت دیفرانسیل از ترانسفورماتور

یک سیستم دیفرانسیل به دلیل قابلیت اعتماد ذاتی رله ها که در عمل بسیار کارآمد بوده اند و نیز از آن جا که آمپر دور در سیم پیچ های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور با یکدیگر مساوی است ، می تواند به طور مؤثری از یک ترانسفورماتور حفاظت کند. CT ها چنان در اولیه و ثانویه ترانسفورماتور نصب می شوند که برای عبور جریان مسیری را پدید آورند که شکل ۵-۶ نشان می دهد. خطا در پایانه ها یا سیم پیچ های ترانسفورماتور در محدوده حفاظت شده قرار دارد و باید با حداکثر سرعت برطرف شود تا از تنش و فشارهای درونی و خطر آتش سوزی اجتناب گردد. بسیاری از خطاهای درونی که در سیم پیچ ها رخ می دهد اتصال کوتاه به زمین ( از طریق هسته ) و یا میان دورهاست که به چگونگی طراحی ترانسفورماتور و نوع زمین کردن آن بسیار وابسته است.



شکل ۵-۶

حفاظت دیفرانسیل می تواند خطاهای عایق بندی در سیم پیچ های ترانسفورماتور را نیز آشکار و آن ها را برطرف کند. علت اساسی چنین خطاهایی ، ایجاد قوس الکتریکی در داخل bushing و خطاهایی است که در تپ چنجر رخ می دهد. این نوع از حفاظت نه تنها پاسخگوی خطاهای فاز-فاز و فاز-زمین است بلکه تا حدودی خطاهای میان دورها را نیز پوشش می دهد، گر چه بهر حال اتصال کوتاه فاز به فاز در سیم پیچ یک ترانس سه فاز بسیار بندرت رخ می دهد. اگر یک خطای درونی که ممکن است حتی خطر آنی نداشته باشد و خطای جزئی نامیده می شود، به سرعت آشکار و برطرف نشود ، می تواند به یک خطای بزرگ منجر شود. خطای هسته که ناشی از خرابی عایق میان صفحات سازنده هسته است، از این نوع خطاها به شمار می آید.

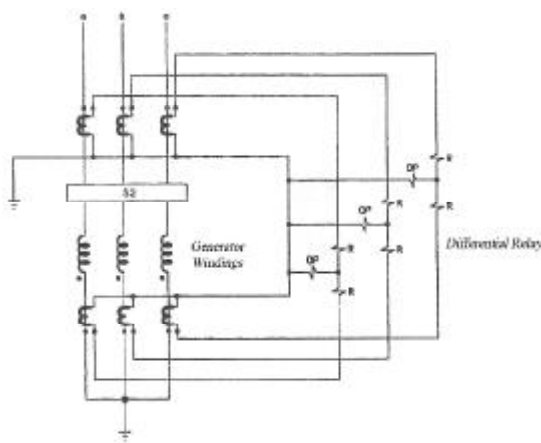
## ۶-۴- حفاظت دیفرانسیل از ژنراتورها و ماشین های دوار

حفاظت دیفرانسیل ژنراتورها و ماشین های دوار از جهاتی چند به حفاظت دیفرانسیل از ترانسفورماتور شبیه است. خطاهای درونی یک ژنراتور عبارتند از اتصال کوتاه فاز به فاز، دورهای اتصال کوتاه شده، مدار بازها و اتصال کوتاه به زمین. برای به دست آوردن مؤثرترین شکل در حفاظت دیفرانسیل ژنراتور، نقطه صفر ژنراتور باید به خوبی، یا به طور مستقیم، یا از طریق یک مقاومت و یا از طریق یک راکتور، زمین شده باشد. حفاظت دیفرانسیل باید دارای شرایط زیر باشد:

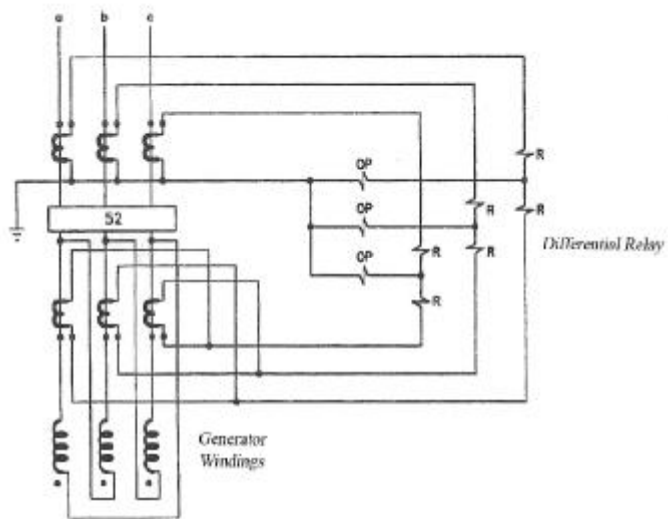
۱- این نوع از حفاظت باید به حد کافی حساس باشد تا بتواند خرابی های سیم پیچ های استاتور ژنراتور را آشکار کند و هم زمان در برابر خطاهایی که بیرون از ماشین رخ می دهد واکنش نشان ندهد.

۲- این نوع از حفاظت باید به سرعت عمل کند، چنان که پیش از رخ دادن هر نوع خرابی جدی، ژنراتور را از مدار خارج کند.

در شکل ۶-۶ آرایش CT ها و رله های دیفرانسیل برای یک ماشین ستاره و در شکل ۶-۷ برای یک ماشین مثلث رسم شده است. اگر اتصال نقطه صفر درون ژنراتور و نقطه صفر در بیرون ژنراتور باشد،



شکل ۶-۶



شکل ۶-۷

## ۵-۶- حفاظت دیفرانسیل خطوط

شکلی از حفاظت دیفرانسیل که در آن تنها از یک مجموعه رله استفاده می شود مانند آنچه شکل ۶-۲ نشان داده است برای خطوط هوایی طولانی مناسب نیست زیرا فاصله دو سر یک خط، از یکدیگر بسیار زیاد است و نمی توان ثانویه CT ها را به شکل مناسب به یکدیگر متصل کرد. بنابراین لازم است که در هر یک از دو سر خط مجموعه ای از رله ها را نصب و سپس آنها را از طریق شاخه های ارتباطی مناسبی به یکدیگر وصل کرد. حفاظت پایلوت، نمونه ای از اصول حفاظت دیفرانسیل با وضعیت چنین خطوطی است، واژه پایلوت نشانگر آن است که در این سیستم ها یک کانال ارتباطی میان دو سر خط وجود دارد که از طریق آن می توان اطلاعات را منتقل ساخت. یک سیستم از سیم های پایلوت، معمولا دو سیم از نوع خطوط تلفنی را در بردارد که می تواند از نوع هوایی یا کابل باشد. در سیستم پایلوت حامل جریان، جریان های کم شدت فرکانس بالا از طریق یک هادی قدرت فرستاده و در گیرنده طرف دیگر خط دریافت می شود. معمولا زمین یا گارد سیم به عنوان هادی برگشتی عمل می کند. امواج میکرو ویو نیز از طریق یک سیستم رادیویی با فرکانس بسیار بالا، معمولا بیش از ۹۰۰ MHz ارسال می شوند. اصول عملکرد حفاظت دیفرانسیل پایلوت به سیستم های دیفرانسیلی به کار رفته در حفاظت ژنراتورها و ترانسفورماتورها شبیه است، اما رله ها به این دلیل که کلیدهای دو سر خط از یکدیگر فاصله زیادی دارند و یک رله نمی تواند هر دو کلید را قطع کند، دارای تنظیمی متفاوت خواهند بود. این روش حفاظتی از دیدگاه نظری بسیار ایده آل خواهد بود اگر با رخداد خطایی در یکی از نقاط خط، هر دو سر خط فوراً از مدار خارج شود و علاوه بر این سیستم در برابر خطاهایی که بیرون از قسمت حفاظت شده رخ می دهد، واکنشی نشان ندهد و بنابراین ذاتا گزینشی عمل کند. بسیاری از مشکلات عملی در سیستم های معمول به دلیل جریانهای تولیدی پدید می آید که با استفاده از فیبرهای نوری که قابلیت اعتماد این نوع از حفاظت را بسیار افزایش می دهد، برطرف شده است.

## ۶-۶- حفاظت دیفرانسیل شین

اساس کار در حفاظت دیفرانسیل شین با اصول حفاظت دیفرانسیل از ترانسفورماتور و ژنراتور یکسان است. در شرایط عادی کار سیستم، توان ورودی به یک شین با توان خروجی از آن مساوی است؛ رخ داد خطا در محدوده حفاظت دیفرانسیل، سیستم را نامتعادل می کند و در نتیجه از سیم پیچ عمل کننده رله، جریانی عبور خواهد کرد و این باعث قطع شدن تمام کلیدهای مرتبط با شین خواهد شد.

ممکن است مدار های بسیاری به یک شین متصل باشند. این امر ایجاب می کند که تعداد ثابتی از ثانویه های CT ها به صورت موازی به یکدیگر متصل شوند. در روش هایی از حفاظت دیفرانسیل شین که در آنها از CT های نوع bushing استفاده می شود ، معمولاً می توان شش تا هشت ثانویه را بدون هیچ مشکلی با یکدیگر موازی کرد. بسیاری از خطاهایی که در یک شین رخ می دهد، از نوع اتصال کوتاه میان یک فاز و زمین است و در اثر عوامل بسیاری از جمله صاعقه و نقص عایقی تجهیزات کلیدزنی پدید می آید ، اما به هر حال دسته بزرگی از خطاهایی که در شین ها رخ می دهد ، بیش از آنکه ناشی از نقص در تجهیزات کلیدزنی باشد ، نتیجه اشتباهات انسانی است.

#### پرسش های فصل ششم

- ۱- طرز کار رله دیفرانسیل را شرح دهید؟
- ۲- انواع حفاظت دیفرانسیل را نام ببرید؟
- ۳- حفاظت دیفرانسیل ژنراتور و ماشینهای دوار را شرح دهید؟