

به نام خدا

## حفاظت سیستمهای الکتریکی

نویسنده:

فرشاد اکرم قرطاول

### کلمات کلیدی:

حفاظت ، سیستمهای الکتریکی ، خطا ، سیستمهای حفاظتی

### چکیده:

سیستمهای حفاظتی نقش اساسی در ایمنی، پایداری ، قابلیت اطمینان سیستم برق رسانی را عهده دار بوده و از شروع یا گسترش دامنه خسارات ناشی از خطاهای مختلف جلوگیری می نماید. همچنین عملکرد بجا و سلکتیو آن باعث کاهش سطح خاموشی شده ، زیرا حداقل ناحیه ای را که برای رفع عیب کافی می باشد از شبکه جدا نموده و باعث تداوم برقرسانی در قسمتهای دیگر شبکه می شوند . در این مقاله سعی گشته است تا به صورت کلی حفاظت سیستمهای الکتریکی مورد بحث قرار گیرد.



## ۱-۱ مقدمه:

با توسعه سریع صنعت و پیشرفت تکنولوژی امروزه تامین انرژی الکتریکی از اهمیت زیادی برخوردار گردیده است، سهولت تبدیل انرژی الکتریکی به سایر انرژیها با راندمان بالا، با توجه به قابلیت انتقال سریع و آسان باعث کاربرد آن در همه سطوح و صنایع و مصارف خانگی و عمومی شده است. از این رو رشد اقتصادی، تغییر استانداردهای مصرف و رشد جمعیت منجر به احداث و توسعه نیروگاهها و شبکه های بهم پیوسته انتقال و توزیع انرژی گردیده است. توسعه شبکه های الکتریکی و بهم پیوستگی آن باعث افزایش اتصال کوتاه شده که نتیجه آن افزایش خطرات و خسارات ناشی از آن در نقطه اتصالی و امکان ناپایداری سیستم می باشد و از آنجائیکه وقوع خطا اجتناب ناپذیر بوده، بنابراین نیاز به تشخیص خطا و رفع به موقع آن و یا دریافت هشدارهای (Alarms) مناسب توسط سیستمهای حفاظتی ضرورت دارد. بنابراین اندازه سرمایه گذاری بر روی سیستم حفاظتی با توجه به کل سرمایه گذاری در ایجاد شبکه و اهمیت آن و خسارت ناشی از خطاهای الکتریکی قابل توجیه می باشد.

سیستمهای حفاظتی نقش اساسی در ایمنی، پایداری، قابلیت اطمینان سیستم برق رسانی را عهده دار بوده و از شروع یا گسترش دامنه خسارات ناشی از خطاهای مختلف جلوگیری می نماید. همچنین عملکرد بجا و سلکتیو آن باعث کاهش سطح خاموشی شده، زیرا حداقل ناحیه ای را که برای رفع عیب کافی می باشد از شبکه جدا نموده و باعث تداوم برقرسانی در قسمتهای دیگر شبکه می شوند

## ۱-۲ خطاها و شرایط غیر عادی (Faults & Abnormal Condition)

از آنجایی که حفاظت الکتریکی جهت شناسایی عیب (Fault) و شرایط غیر عادی بهره برداری (Abnormal) می باشد، لذا انتخاب دقیق سیستم حفاظتی نیاز به مطالعه و شناخت خطاها و شرایط غیر عادی دارد.

### ۱-۲-۱ شرایط غیر عادی

در این حالت ولتاژ و فرکانس مصرف کنندگان خارج از حد مجاز بوده و یا اینکه دما، جریان و یا ولتاژ اعمالی و غیره روی تجهیزات و خطوط بالاتر از حد مجاز می باشد. شرایط غیر عادی در صورت عدم تشخیص می تواند به سمت شرایط خطا برود و منجر به ناپایداری شبکه و معیوب شدن تجهیزات شود.

اگر شرایط غیرعادی ناشی از بهره برداری طبیعی از شبکه بصورت گذرا باشد، عملکرد رله ها می بایستی سد شوند، ولی در صورتیکه پایدار بوده و دوام آن منجر به آسیب دیدن به مصرف کنندگان و تجهیزات شبکه شود، پس از اعلام هشدار (Annunciator) میبایستی برطرف و پاک شود.

## ۲-۲-۱ خطاها

خطاها به دو دسته تقسیم می شوند:

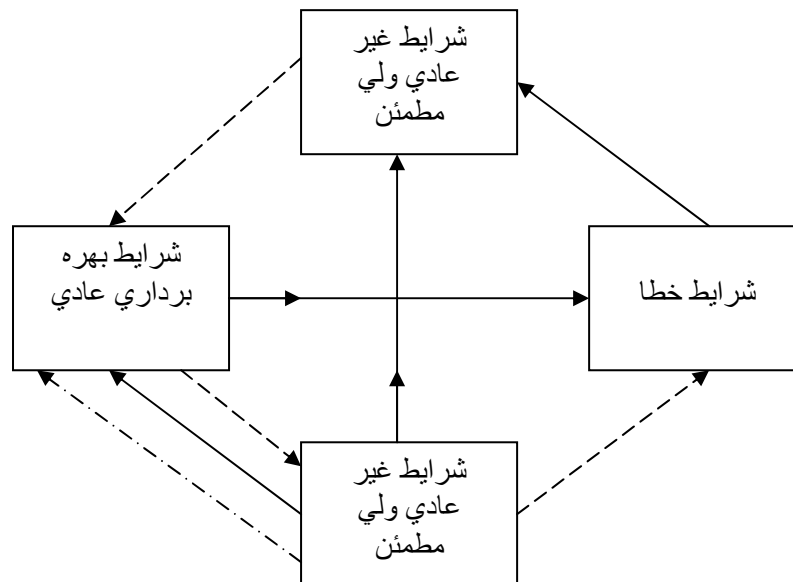
### الف) خطاها یا اتصالی های موازی (Shunt Faults)

به علت از بین رفتن خاصیت عایقی مابین فازها با یکدیگر و یا با زمین بوجود می آید که به صورت اتصالی های سه فازه، دوفازه، تکفاز و یا چند فاز با زمین نمود پیدا می نماید. منشاء ایجاد آن می تواند رعد و برق، ضربات مکانیکی، حوادث طبیعی، آلودگی پیری و فساد عایقی و غیره باشد.

### ب) خطاهای سری و یا پارگی ها (Series Faults)

اینگونه خطاها بصورت قطع مسیر جریان در یک یا دو فاز به وجود می آید. مانند باز شدن و شل شدن اتصالات هادیها، عملکرد نامتقارن دژنکتور (Polediscrepancy) و یا پارگی هادی به علت ضربات مکانیکی و محیطی باشد.

دیاگرام زیر شرایط مختلف سیستم و شبکه را در حالات مختلف عیب و صحت نشان می دهد.



- > مسیری که تحت کنترل نمی باشد
- > تغییر حالت توسط سیستم حفاظت
- .-.-.-> عملکرد دستی یا اتوماتیک

بر طبق آماری که توسط یکی از سازندگان معتبر ارائه شده، خطاها در شبکه به صورت زیر تقسیم بندی گردیده است:

ردیف موضوع	سطح ولتاژی (KV)	تعداد خطاها %	واحد سنجش خطا
۱- خطوط انتقال و توضیع	۴۰۰	۱-۲	۱۰۰۰ کیلومتر × سال
	۲۲۰	۷-۳.۵	۱۰۰۰ کیلومتر × سال
	۱۳۰	۳-۱۵	۱۰۰۰ کیلومتر × سال
	۷۰	۲-۱۰	۱۰۰۰ کیلومتر × سال
	۴۰	۶-۳۰	۱۰۰۰ کیلومتر × سال
	۲۰	۱۸-۹۰	۱۰۰۰ کیلومتر × سال
۲- باس بار	۴۰۰ - ۲۰	۳	۱۰۰ دژنکتور × سال
۳- ترانسفرماتور	۴۰۰ - ۲۰	۲	۱۰۰ ترانس × سال
۴- ژنراتور	۴۰۰ - ۲۰	<۱	۱۰۰ ژنراتور × سال

لازم به ذکر است که این آمار بستگی به عمر ایستگاه و شبکه، روش بهره برداری، سرمایه گذاری اولیه، شرایط محیطی و غیره خواهد داشت. ولی با این وجود یک دیدگاه عمومی خوبی از انواع خطاها ارائه میدهد.

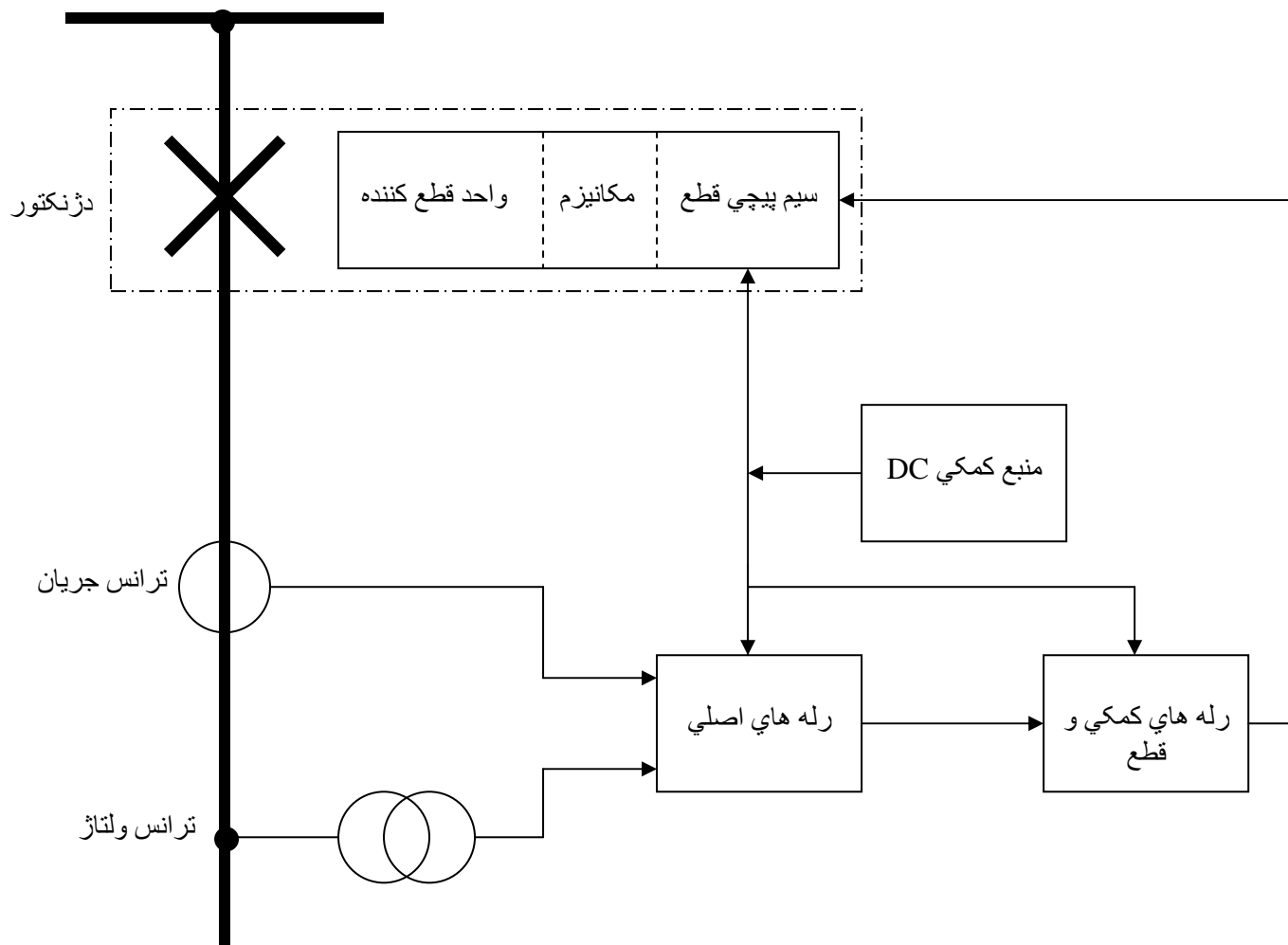
### ۳- ۱ اجزاء و ملزومات ( Requirement ) سیستمهای حفاظتی

اجزاء و ملزومات سیستمهای حفاظتی در بر گیرنده کلیه تجهیزات و امکاناتی است که برای شناسایی عیب و رفع آن در سیستم برق رسانی به کار برده می شود . اگر چه رله ها شناسایی عیب را انجام می دهند ولی برای امکان تحقق این موضوع نیاز به تغذیه کمکی و ورودی های مناسب جریان و ولتاژ به رله ها می باشد ، که با استفاده از ترانس جریان و ولتاژ و تابلو های تغذیه کمکی توسط کابل با سیستم های حفاظتی مرتبط می شود .

همچنین برای رفع عیب و شرایط غیر عادی ، سیستم های اعلام هشدار ( Annunciator ) و همچنین کلیدهای قطع کننده ( Circuit Breaker ) که قابلیت قطع اتصال کوتاه را برابر باشند ، مورد نیاز است که با رله های حفاظتی مرتبط می باشند .

بنابراین اجزاء و ملزومات حفاظتی شامل رله ها ، ترانسهای جریان و ولتاژ ، کابل های حفاظتی و کنترل ، سیستم هشدار یا آلام ، تغذیه کمکی و کلیدهای قطع کننده اتصال کوتاه (دژنکتور) می باشند که اختلال یا عدم کارکرد صحیح هر کدام از عوامل نامبرده باعث عدم عملکرد و یا عملکرد نایجای سیستم حفاظتی خواهد شد .

دیاگرام زیر ادوات و ملرومات سیستم حفاظتی را نشان می دهد:



۴ - ۱ خصوصیات کیفی و معیارهای ارزیابی سیستمهای حفاظتی

برای سنجش خصوصیات کیفی و ارزیابی سیستمهای حفاظتی کمیات زیر مورد ارزیابی قرار می گیرد:

- سرعت مناسب ( Speed )
- حساسیت کافی ( Sensivity )
- پایداری ( Stability )
- انتخاب بجای ناحیه معیوب ( Selectivity )

## - قابلیت اطمینان ( Reliability )

### ۱-۴-۱ سرعت ( Speed )

سرعت سیستمهای حفاظتی حتی المقدور می بایستی بالا بوده تا قبل از آنکه خطا آسیب بیشتری به تاسیسات الکتریکی وارد نموده و یا گسترش پیدا کرده و یا به پایداری شبکه انتقال و توزیع لطمه ای وارد آمده باشد، تشخیص داده شود و بر طرف گردد. عملکرد سریع سیستمهای حفاظتی باعث کاهش آسیب به تجهیزات در محل عیب شده و مخارج تعمیرات را به حد اقل می رساند.

در سیستمهایی که از حفاظت واحدی مانند رله دیفرانسیل و دیستانس استفاده می نمایند، سرعت عملکرد می تواند بالا باشد، زیرا سرعت عملکرد مستقل از تنظیمات رله های اطراف مسیر خطا می باشد. ولی در سیستمهایی که از حفاظت جریانی استفاده می نمایند، بخاطر حفظ سلکتیویته یعنی تقدم و تاخر قطع کلیدها، سرعت عملکرد تابع تنظیمات رله های همجوار خواهد بود.

### ۱-۴-۲ حساسیت و پایداری ( Sensitivity & Stability )

رله های سیستم حفاظتی باید تا حد کافی در شرایط خطا یا غیر عادی حساس باشند تا بتوانند شرایط مزبور را به خوبی تشخیص دهند. زیرا دامنه بسیاری از خطاها در ترانس و همچنین خطاهای زمین با امپدانس بالا در خطوط آن چنان پایین است که ممکن است رله های با حساسیت پایین به سادگی قادر به تشخیص نباشند.

از طرفی چنانچه رله زیاد حساس تنظیم شود، ممکن است باعث اختلال در روند بهره برداری عادی گردند و یا در شرایط راه اندازی و گذرا عمل نمایند.

حساسیت سیستمهای حفاظتی علاوه بر نوع آن، بستگی زیادی به خصوصیات خروجی های ترانس های جریان و ولتاژ نیز دارد که این موضوع می بایستی در انتخاب ترانسهای اندازه گیری مورد نظر قرار گیرد.

بنابراین یک سیستم حفاظتی مناسب ضمن پایداری در حالت عادی بهره برداری و یا خطاهای خارج از محدوده مورد نظر، دارای حساسیت بالا برای تشخیص خطاهای منطقه حفاظت شده می باشد.



### ۳- ۴- ۱ انتخاب مناسب ناحیه معیوب ( Selectivity )

سیستمهای حفاظتی و فرمانهای قطع صادره از آن باید به نحوی عمل نمایند که حتی المقدور کمترین قسمت از شبکه به همراه نقطه معیوب از مدار خارج شوند ، یعنی نزدیکترین کلید فشار قوی به محل خطا در صورت بروز آن باید باز شود . این موضوع ضمن آنکه در ارتباط با نحوه کلید گذاری و استقرار تجهیزات در ایستگاهها و انتخاب سیستمهای حفاظتی بوده ، در رابطه با تنظیمات رله ها نیز می باشد بنحوی که برای رفع هر عیب در هر ناحیه از شبکه می بایستی رله های حفاظتی مربوط به حفاظت آن ناحیه سریعتر از رله های سایر نواحی عمل نمایند . هنگام بروز عیب آنچه از سیستم حفاظتی انتظار می رود این است که نزدیکترین کلیدهای قدرت مجاور ناحیه حفاظتی که خطا در آن روی داده باشد ، جهت جداسازی ناحیه معیوب عمل نماید . این خاصیت قطع سلکتیو که خاصیت تمکایز نیز گفته می شود ، باعث می شود که حد اقل قسمتی از شبکه که برای برطرف کردن عیب لازم می باشد بی برق شود و برای نیل به این مقصود از دو روش زیر استفاده می شود:

### الف ) سیستمهای زمان بندی شده ( Timew graded system )

در این روش سیستمهای حفاظت کننده در مناطق متوالی چنان تنظیم می شوند که زمان عملکردهایشان بنحوی باشد که نزدیکترین رله به ناحیه معیوب عمل نماید . گرچه سایر رله های مسیر هم شروع به عمل می نمایند ولی زمان عملکردشان طوری است که برای نزدیکترین راه فرصت جداسازی ناحیه معیوب را فراهم سازند. که در این صورت آنها هم خاموش و یا Reset خواهند شد و فقط در صورتی عمل می نمایند که نزدیکترین رله و کلید مربوطه برای رفع خطا ناموفق باشد.

### ب ) سیستمهای حفاظت واحدی ( Unit system )

سیستمهای حفاظت واحدی فقط به عیب ایجاد شده در داخل یک منطقه معینی از خود عکس العمل نشان می دهند مانند رله دیفرانسیل که برای حفاظت ناحیه محدودی مابین ترانسهای جریان تغذیه کننده راه ، عمل نموده و با حفاظت دیستانس در زون اول خط به شرط آنکه با دیستانس طرف دیگر از طریق سیستم مخابراتی مرتبط باشد . از آنجائیکه سیستمهای حفاظت واحدی تنظیماتشان تابع تنظیمات سایر رله های اطراف نمی باشد ، بسیار سربتر از سیستمهای حفاظت زمان بندی شده می باشند ، بطوریکه سرعت عملکرد رله های اصلی مابین ۲۰ الی ۳۵ میلی ثانیه می باشد .

#### ۴-۴-۱ قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی ( Reliability )

قابلیت اطمینان بیانگر کارائی سیستم حفاظتی در طول عمر عادی خود می باشد هر قدر تعداد دفعاتیکه سیستم حفاظتی عمل قطع صحیح و بجا را در هنگام خطا انجام داده ، بالاتر باشد ، دارای قابلیت اطمینان بیشتری خواهد بود .

سیستمهای حفاظتی به سه طریق زیر می تواند خارج از محدوده صحیح خود کار نمایند :

- عملکرد نابجا یا عملکرد بی مورد رله :  
سیستم حفاظتی به علت شرایط بهره برداری و یا خطاهای خارج از منطقه مورد حفاظت بدون آنکه خطائی در محدوده رخ داده باشد ، عمل می نماید .
  - عدم عملکرد :  
با وجودیکه رد شبکه خطا رخ داده ، رله عکس العمل نشان نداده و قادر به شناسایی عیب نمی باشد .
  - عملکرد نادرست :  
با وجود خطا، عکس العمل رله حفاظتی کامل و مناسب نباشد . بعنوان مثال در زمان نامناسب اقدام به قطع مدار نماید .
- عدم عملکرد سیستم حفاظتی بر طبق آماری که در گزارش CIGRE 1970 موجود است ناشی از عوامل زیر بوده است :

٪۲۵.۰۷	اشکالات ناشی از رله های اصلی
٪۸.۸	اشکالات ناشی از ترانس ولتاژ یا جریان
٪۴.۹	اشکالات ناشی از مدارات ترانسهای جریان و ولتاژ
٪۱۰.۲	اشکالات ناشی از تغذیه کمکی DC
٪۵	اشکالات ناشی از رله های قطع
٪۴	اشکالات ناشی از سیم کشی مسیر قطع از رله تا دژنکتور
٪۵	اشکالات ناشی از سیم پیچی قطع کننده دژنکتور
٪۸.۴	اشکالات ناشی از مکانیزم دژنکتورها
٪۱۱	اشکالات ناشی از محفظه عایقی دژنکتورها
٪۱۹.۶	متفرقه

عملکرد نادرست به علت طراحی غلط ، نصب نادرست و خرابی و استهلاک سیستم حفاظتی می باشد و از آنجائیکه سیستمهای حفاظتی فقط به هنگام بروز عیب از خود عکس العمل نشان میدهند. چه بالا بردن قابلیت اطمینان بایستی امکانات آزمایشات دوره ای برای کنترل درستی سیستم حفاظتی مهیا باشد و این آزمایشات باید به نحوی صورت پذیرند که در کار دائمی رله ایجاد اختلال نکند . همچنین مدارات با اهمیت و مسیر تریپ ، با مراقبتهای ویژه ( Supervision ) همراه باشد .

قابلیت اطمینان به دو بخش عمده زیر تقسیم می گردد :

الف ) قابلیت اتکا ( Dependability )

عبارت است از حصول اطمینان به عملکرد صحیح سیستم حفاظتی در هنگام بروز خطا در شبکه.

ب ) ایمنی ( Security )

عبارت است از حصول اطمینان از عدم عملکرد غلط رله بدون آنکه خطائی رخ داده باشد.

همانگونه که مشاهده می شود افزایش قابلیت اتکا و اضافه نمودن رله های حفاظتی منجر به افزایش ایمنی خواهد شد.

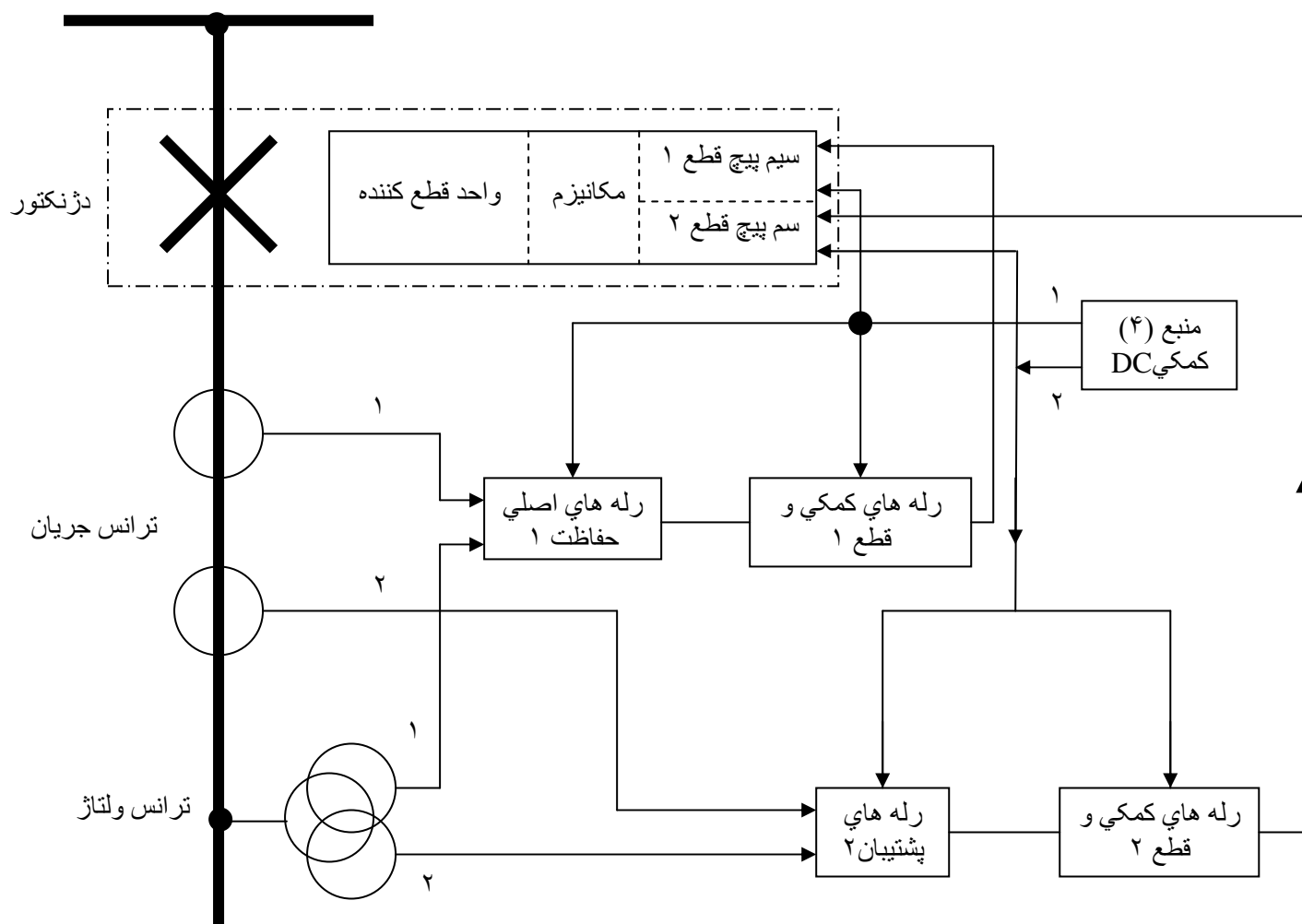
جهت افزایش قابلیت اتکا می توان از دو سیستم حفاظت اصلی (Main) و پشتیبان (Back

up) استفاده نمود. حفاظت‌های پشتیبان به دو صورت زیر می تواند مهیا گردند:

- حفاظت پشتیبان محلی
- حفاظت پشتیبان از راه دور

در صورت استفاده از حفاظت پشتیبان محلی می بایستی علاوه بر حفاظت اصلی، یک سری حفاظت دیگر به صورت مجزا در نظر گرفته شود که هر کدام از آنها بطور مجزا از دو هسته ترانس جریان و دو سیم پیچ ترانس ولتاژ تغذیه می شوند و انشعاب تغذیه کمکی هر کدام از آنها جدا می باشد. هر یک از فرمانهای قطع حفاظت اصلی و پشتیبان به یکی از دو سیم پیچ قطع کلید فشار قوی (دژنکتور) ارسال می شود.

شکل زیر شمای حفاظتی را در این حالت مشخص می کند:



استفاده از حفاظت پشتیبان راه دور ارزانتر و ساده تر می باشد . کاربرد آن عموماً در سطح (۲۰) ۳۳ کیلو ولت به پایین می باشد . در این حالت در صورتی که حفاظت اصلی به هر دلیلی نتواند در رفع عیب موفق باشد ، حفاظت پشتیبان که عموماً زون های دوم و سوم دیستانس یا رله های اضافه جریان نواحی حفاظتی ما قبل می باشند ، عمل می نماید. بنابراین با وجودیکه طرح استفاده از حفاظت پشتیبان راه دور ارزانتر می باشد ف در صورت عملکرد چون رله های پشتیبان در ناحیه حفاظتی ما قبل مستقر میباشند منطقه بیشتری را از مدار خارج می نماید.