

## قوس مجدد و اضافه ولتاژ های ناشی از آن در کلیدهای فشار قوی نوع هوای فشرده و طرق مقابله با آن

**چکیده:** در این مقاله در مورد کلیدهای فشار قوی نوع هوای فشرده که برای قطع و وصل جریانها در شبکه استفاده شده است بحث خواهد شد. البته در این نوع کلیدها چون کلید به ازای قطع جریانهای عیب در یک محدوده فرضی ساخته شده است در قطع جریانهای بار و کمتر از جریانهای عیب، مشکلی به نام پدیده برش جریان و در نتیجه قوس های مجدد و اضافه ولتاژهای ناشی از آن بوجود می آید که برای حل این نوع مسایل از کلیدهای خاص بصورت کلیدهای با مقاومتهای مرزی و محفظه های قطع کمکی استفاده می شود که در زیر به بحث آنها می پردازیم.

**واژگان کلیدی:** قوس مجدد، برش جریان ، جریان عیب، ولتاژ استقرار

**مقدمه:** با توجه به پیش بینی کلیدهای فشار قوی به منظور قطع اتوماتیک جریانهای عیب، قطع و وصل جریانهای بار توسط کلیدها، قطع و وصل خطوط انتقال، به مدار آوردن و از مدار خارج کردن نیروگاهها، با پدیده ها و عوارض نا مناسبی همراه می گردد، برخی از این پدیده ها تنها در کلیدهای نوع هوای فشرده، با توجه به خصوصیات ساختمانی آنان و نحوه خفه گشتن قوس مشاهده می گردند. در این مقاله با خصوصیات قطع جریانهای بار توسط کلیدهای نوع هوای فشرده و آثار و عوارض ناشی از این پدیده ها و طرق مقابله با آنان بررسی می شود.

## شرح پدیده قوس مجدد در کلیدها

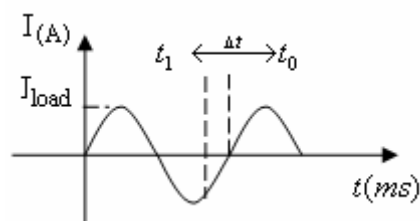
یکی از مهمترین پدیده ها در هنگام قطع و وصل جریانهای بار توسط کلیدهای بار توسط کلیدهای فشار قوی، بروز قوس مجدد RESTRIK در محفظه قطع آنان می باشد. قوس، در هنگام قطع جریانهای بار توسط کلید، توانایی قابل ملاحظه کلید، پیش بینی شده جهت قطع جریانهای عیب، ناشی می گردد. پیش بینی و ساختمان کلید به منظور قطع جریان عیب تا حدود 1000 برابر جریان بار طراحی می شود. به عنوان مثال کلید با توانایی متناسب با جریان عیب 40 کیلو آمپر در هنگام قطع جریان بار معادل 200 - 100 آمپر با بروز قوس مجدد در محفظه قطع می تواند همراه گردد. همچنانکه خواهیم دید این پدیده در کلیدهای نوع هوای فشرده مشاهده شده، می توان گفت یکی از معایب و پدیده های مختص به کلیدهای نوع هوای فشرده محسوب می گردد. ذیلا شرایط بروز این پدیده را مورد مطالعه قرار می دهیم.

در کلیه کلیدهای فشار قوی پیش بینی های به عمل آمده در ساختمان و محفظه قطع کلید به منظور ارایه ولتاژ دی الکتریک استاندارد صورت گرفته است، آنچنانکه از بروز قوس مکرر و یا REIGNITION در لحظه صفر سوم یا چهارم تغییرات سینوسی جریان جلوگیری شده، امکان قطع موفقیت آمیز جریان عیب فراهم گردد. پیش بینی فوق شامل سرعت مناسب جابجایی ماده ایزوله انحراف قوس به خارج از فاصله کنتاکتها جلب حرارت قابل ملاحظه توسط ماده ایزوله

می باشد. هنگامی که جریان مورد قطع وانرژی حرارتی حاصل از آن تا حدود 1000 برابر معادل جریان بار کاهش می یابد در حالی که توانایی کلید شامل سرعت جابجایی ماده ایزوله و قابلیت جذب انرژی حرارتی آن متناسب با جریان عیب پیش بینی گردیده باشد. قطع جریان بار با دو تفاوت عمده نسبت به جریان عیب صورت می پذیرد.

1- قطع جریان در اولین لحظه صفر روی داده حداکثر فاصله زمانی برقراری قوس به کمتر از 10 میلی ثانیه بالغ می گردد.

2- جریان قبل از لحظه صفر طبیعی خود خفه گشته لحظه قطع جریان منطبق با لحظه  $t_0$  در شکل (1) خواهد بود. فاصله زمانی لحظه خفه گشتن تا لحظه صفر طبیعی آن با  $\Delta t$  مشخص گردیده است. لحظه  $t_1$  عنوان لحظه صفر کاذب قطع جریان مرسوم می باشد. هر قدر توانایی کلید یا نسبت جریان قطع به جریان بار بالاتر باشد خفه گشتن قوس در فاصله زمانی طولانی تر قبل از لحظه صفر روی داده فاصله زمانی  $\Delta t$  فزونی می یابد. با توجه به اینکه این پدیده در اولین لحظه صفر جریان پس از جدا گشتن کنتاکتها روی می دهد مدت برقراری قوس به کمتر از 10 میلی ثانیه حداکثر به حدود 7-8 میلی ثانیه بالغ می گردد.



شکل (1)

در فاصله زمانی فوق مسیر طی شده توسط کنتاکت متحرک نا چیز بوده ولتاژ دی الکتریک عرضه شده کنتاکتها همزمان با خفه گشتن قوس در اولین لحظه صفر محدود خواهد بود. به علت فاصله ناچیز کنتاکتها و ولتاژ دی الکتریک محدود خفه گشتن قوس با بروز قوس مجدد و یا RESTRIK همراه می گردد. با توجه به توانایی کلید و جابجایی سریع ماده ایزوله بروز قوس مجدد و خفه گشتن آن متوالیا تکرار گشته بروز قوسها در فاصله زمانی  $\Delta t$  به ترتیب فوق ادامه می یابد. به علت نوسانات ناشی از بروز این قوسها در ولتاژ استقرار و افزایش ولتاژ استقرار در طی تغییرات گذرا فاصله زمانی بروز قوسها محدود به  $\Delta t$  نبوده تا چند سیکل همچنان ادامه می یابد تا هنگامی که کنتاکتها فاصله ایزولاسیون مطمئن و لازم را دارا گردند. چون فاصله هوایی کنتاکتها کلید یا فاصله بروز قوس بطور سری در شبکه واقع می باشد بروز متوالی قوسها و ولتاژهای موجی ناشی از آنان به ولتاژ اسمی شبکه افزوده گشته، بصورت اضافه ولتاژهای موجی قطع و وصل در طول هادیهای متصل به کلید منتشر می گردند.

بروز متوالی قوسها در طول چند سیکل ادامه یافته اصطلاحاً به RESTRIK موسوم می باشد.

بطور کلی بروز پدیده RESTRIK در فاصله کنتاکتها با عوارض زیر همراه می باشد.

1- ظهور اضافه ولتاژهای قطع و وصل با دامنه قابل ملاحظه به طور متوالی و پی در پی شین های خروجی کلید.

2- انتشار ولتاژهای موجی قطع و وصل حاصل از رژیم گذرای قطع کلید در طول هادیهای متصل به هر طرف کلید.

3- خوردگی کنتاکتها و ایجاد فشار الکتریکی و مکانیکی قابل ملاحظه بر محفظه قطع کلید و ماده ایزوله آن.

4- بروز اختلالات و نوسانات گذرا با فرکانس بسیار بالا در کمیات شبکه.

5- بروز قوس در ایزولاسیون خارجی و تحریک رله های محافظتی کلید.

6- افزایش مدت برقراری قوس تا بیش از مدت مورد نظر.

7- انفجار محفظه کلید در صورت ادامه مدت برقراری قوسهای RESTRIK تا بیش از فاصله زمانی  $\Delta t$ .

بر طبق آنچه که در قبل شرح داده شد، در کلیدهای نوع هوای فشرده توانایی کلید شامل سرعت جابجایی هوای فشرده، لحظه برقراری جریان هوا و مسیر آن مشخص و ثابت بوده، تابع فشار مخزن هوای فشرده می باشد آنچنانکه به ازای کلیه مقادیر جریانهای مورد نظر از چند آمپر تا چند صد کیلو آمپر، هوا تحت فشار ثابت مخزن، همزمان با جدا گشتن کنتاکتها، در فاصله کنتاکتها وارد گردیده، انرژی حرارتی حاصل از آن را جذب نموده ولتاژ دی الکتریک ثابت و مشخص را عرضه می سازد حداکثر توانایی جذب حرارت توسط هوای فشرده متناسب با جریان قطع اسمی کلید معادل چند صد کیلو آمپر محاسبه و طرح گردیده است. به همین علت در هنگام قطع جریانهای بار تا حدود 1000 برابر کمتر از جریان قطع اسمی کلید سرعت قابل ملاحظه جابجایی هوای فشرده، موجبات خفه گشتن قوس را قبل از لحظه صفر و در فاصله زمانی  $\Delta t$  فراهم می سازد. بدین ترتیب این پدیده در کلیدهای نوع هوای فشرده بطور مشخص و قطعی مشاهده می گردد.

### پدیده برش جریان در کلیدهای نوع هوای فشرده

قطع جریانهای مغناطیس کننده به مقدار کم در شبکه های انتقال انرژی در رده ولتاژهای اسمی  $U_n > 63KV$  در هنگام قطع و وصل ترانسفورماتورهای بی بار و راکتورهای شنت مطرح می گردد. جریان مورد قطع و وصل را جریان بی باری یا جریان مغناطیس کننده ترانسفورماتور یا راکتور شنت تشکیل داده بر حسب قدرت آن به حدود 200-50 آمپر بالغ می گردد. جریان فوق اختلاف فاز 90 درجه را با ولتاژ تغذیه دارا بوده، قطع جریان در لحظه صفر با حداکثر ولتاژ سینوسی همزمان می باشد. با جدا شدن کنتاکتها، قوس قبل از لحظه صفر جریان خفه می گردد. خفه شدن قوس در این لحظه با ولتاژ قابل ملاحظه سینوسی همزمان بوده و بلافاصله پس از قطع جریان ولتاژ نوسانی در کنتاکت طرف راکتور ظاهر خواهد شد. بدین ترتیب احتمال بروز قوسهای مجدد در هنگام قطع جریانهای بار از نوع القایی، نسبت به جریانهای بار اهمی به دلایل زیر فزونی یافته و اضافه ولتاژهای قطع و وصل با دامنه بالاتر را سبب می گردد.

1- اختلاف فاز کامل 90 درجه بین ولتاژ تغذیه و جریان مورد قطع.

2- فاصله زمانی بسیار کوتاه برقراری قوس از لحظه جدا گشتن کنتاکتها تا لحظه بروز پدیده.

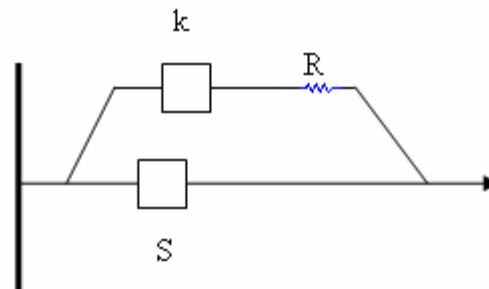
همچنانکه می دانیم یکی از طرق ابداع شده به منظور جلوگیری از بروز قوس مجدد و کاهش دامنه اضافه ولتاژها، برقراری قوس تا جدا گشتن کامل کنتاکتها و واقع گشتن کنتاکت متحرک در انتهای مسیر خود می باشد آنچنانکه لحظه خفه گشتن قوس با حداکثر فاصله کنتاکتها و ولتاژ دی الکتریک کلید همزمان گردد. قطع جریان قبل از لحظه صفر به عنوان پدیده برش جریان یا CURRENT CHOPPING موسوم بوده، تعداد دفعات بروز قوس مجدد به لحظه برش جریان و فاصله زمانی آن از لحظه صفر بستگی خواهد داشت. لحظه برش جریان و مقدار لحظه ای جریان مربوط به آن با توجه به خصوصیات شبکه و نوع کلید تعیین می گردد.

### نصب مقاومتهای موازی در کلیدهای فشار قوی نوع هوای فشرده

به منظور کاهش دامنه اضافه ولتاژهای ناشی از بروز پدیده RESTRIK در کلیدهای نوع هوای فشرده، قطع و یا وصل جریان توسط کلید در دو مرحله بر طبق شکل 2 صورت می پذیرد. کلید مجهز به دو محفظه قطع بوده، محفظه S به عنوان محفظه اصلی و محفظه K موازی با آن به عنوان محفظه کمکی محسوب می گردد. محفظه K بطور سری با مقاومت R وصل شده

است و به منظور قطع جریان ابتدا کنتاکتها در محفظه S، سپس در محفظه K از یکدیگر جدا می گردد. بدین ترتیب قطع جریان از طریق دو محفظه قطع صورت می پذیرد که جابجایی کنتاکتها در آنان به فواصل زمانی بسیار کوتاه از یکدیگر انجام می شود.

با جدا گشتن کنتاکتها در محفظه S جریان مصرف و تغذیه بار از طریق مقاومت R برقرار می گردد. جدا گشتن کنتاکتها در محفظه S در حالی صورت می پذیرد که مقاومت R موازی با آن بوده، نوسانات ولتاژ استقرار و ظهور ولتاژهای گذرا با دامنه بالا، همزمان با لحظه صفر جریان توسط مقاومت موازی جذب گردیده، از دامنه آنان کاسته می گردد. بدین ترتیب مقاومت فوق به عنوان مستهلک کننده یا جذب کننده نوسانات مرسوم بوده، اصطلاحاً مقاومت DAMPER نامیده می شود.



شکل ۲

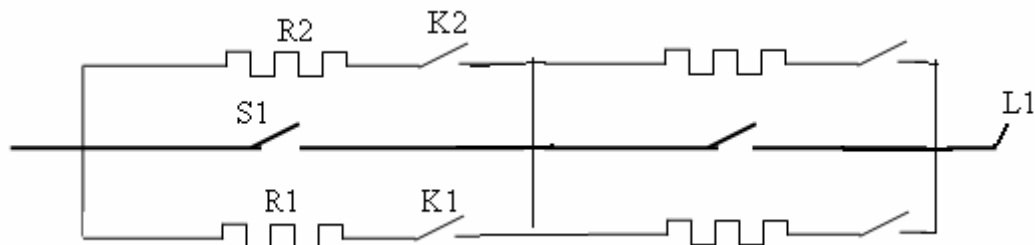
پس از جذب ولتاژهای ناشی از بروز قوس مجدد جریان برقرار شده در مقاومت توسط محفظه کمکی K قطع می گردد. مراحل قطع جریان بر طبق آنچه که شرح داده شد به طور اتوماتیک صورت می پذیرد.

در این کلید بخش عمده جریان همراه با ظهور ولتاژ استقرار و بروز پدیده قوس مجدد توسط محفظه قطع کلید اصلی S و بخش محدود آن توسط محفظه قطع کمکی K قطع می گردد. به همین علت حجم محفظه قطع اصلی کلید نسبت به محفظه قطع کمکی قابل ملاحظه بوده با پیش بینی های بیشتر به منظور خفه نمودن قوس همراه می باشد. هر دو محفظه مجهز به کنتاکتهای متحرک و ثابت بوده، جابجایی کنتاکتهای متحرک در محفظه قطع کمکی با فاصله زمانی بسیار کوتاه نسبت به محفظه قطع اصلی صورت می پذیرد.

تاخیر زمانی جابجایی کنتاکتها در محفظه قطع کمکی نسبت به محفظه قطع اصلی قابل تنظیم بوده، بطور معمول در حدود 4-10 میلی ثانیه متغیر می باشد. در برخی از کلیدها محفظه های قطع کمکی و اصلی در مجاور یکدیگر در محفظه قطع مشترک پیش بینی گردیده اند.

نمونه های دیگر از این کلید، کلید نوع جدید کارخانه BBC موسوم به DLF و کلید ساخت کارخانه آلستوم فرانسه مشاهده می شود. در شکل 3 کلید ساخت کارخانه آلستوم فرانسه با دو مرحله مقاومت موازی R1 و R2 برای هر محفظه نشان داده شده است. کنتاکتهای اصلی با S و کنتاکتهای کمکی با K1 و K2 مشخص گردیده اند.

به منظور قطع جریان ابتدا کنتاکتهای متحرک در محفظه قطع اصلی S جدا گشته و مقاومت های R1 و R2 موازی با یکدیگر در مسیر جریان بار واقع می گردند، در مرحله سوم یا مرحله آخر، کنتاکتهای کمکی در محفظه قطع کمکی K2 باز شده، بدین ترتیب قطع جریان کامل گشته هر سه کنتاکت باز و جریان قطع می گردد.



شکل 3

## استفاده از تجهیزات قطع و وصل جریانهای بار در مدارهای خاص

روشی دیگر به منظور جلوگیری از بروز قوس مجدد و ظهور اضافه ولتاژهای موقی در هنگام قطع و وصل جریانهای بار توسط کلیدهای فشار قوی، استفاده از تجهیزات قطع و وصل جریان بار یا اصطلاحاً Load Break می باشد. پیش بینی سکسیونرهای Load Break در مدارها با جریان بار مشخص و ثابت مناسبتر می باشد. به عنوان مثال قطع و وصل جریانهای مغناطیس کننده و راکتورهای شنت واقع در سیم پیچی سوم ترانسفورماتورها و یا راکتورهای شنت با اتصال مستقیم به خطوط می تواند توسط سکسیونرهای قابل قطع زیر بار صورت گیرد. جریان مغناطیس کننده این نوع تجهیزات به حدود 50 الی 200 آمپر بالغ گردیده، قطع و وصل آنان توسط کلیدهای نوع هوای فشرده با بروز پدیده برش جریان، قوسهای RESTRIK و ظهور اضافه ولتاژهای موقی در ناحیه مشخصه دی الکتریک کلید همراه می گردد. همچنانکه اشاره گردید کلیدهای فشار قوی با توانایی کافی جهت قطع جریانهای عیب بالغ بر چندین کیلو آمپر پیش بینی گردیده، استفاده از آنان به منظور وارد و خارج نمودن دستی راکتورها و قطع و وصل جریانهای القایی معادل 50 الی 200 آمپر را تشکیل می دهد. در این حالت قطع و وصل دستی کلیدها بدون استثنا با پدیده برش جریان و قوسهای RESTRIK همراه می باشد. بر طبق بررسی های صورت گرفته موارد متعدد از انفجار و آسیب دیدگی سریع کلیدها در این نوع مدارها گزارش گردیده است. بنابراین در قطع و وصل اینگونه بارها، کلیدها به همراه سکسیونرهای قابل قطع زیر بار در مدار سری قرار گرفته و قطع و وصل دستی راکتورها با سکسیونر انجام می گیرد و فقط قطع و وصل اتوماتیک در صورت عیبهای بوجود آمده در این تجهیزات، کلیدهای نوع هوای فشرده جریان عیب را قطع می کنند.

### نتیجه گیری

با توجه به اینکه دامنه اضافه ولتاژها به نوع کلید و مدت برقراری قوس بستگی خواهد داشت در شبکه ها و خطوط با مدت طولانی قوس، کلید نوع هوای فشرده مناسب خواهد بود. مدت برقراری قوس با توجه به انرژی مغناطیسی و یا خازنی مدار تعیین می شود. به عنوان مثال برای خطوط طویل کلید مخصوص و مناسب را کلید نوع هوای فشرده با مقاومت موازی قطع تشکیل می دهد.

### مراجع

[1] مهندس طهماسبقی شاهرخی، بهمن ماه 1368، "قوس مجدد و اضافه ولتاژهای ناشی از آن در کلیدهای فشار قوی"، وزارت نیرو، مجتمع سازندگی و آموزش آذربایجان (۱-۲-۴-۵-۱۱-۱۵-۲۰-۲۱-۲۴-۲۶-۳۳)