بهبود حالت گذرا در شبکه های توزیع با قطع و وصل بانک های خازنی در لحظه صفر ولتاژبا استفاده از دستگاه کنترلر قطع و وصل

بابک پناهنده ایمان خاکباز،

دانشکده تحصیلات تکمیلی تهران جنوب،شرکت ABB

E-mail:Panahandeh@gmail.com

چکیده – کاربرد خازنها و راکتورها در سیستم قدرت بعنوان یکی از سیستمهای کنترلی ، در حال گسترش روز افزون می باشد . با توجه به اینکه قطع و وصل اینگونه تجهیزات بدلیل ذخیره انرژی قبل از لحظه قطع و وصل ، شبکه را از لحاظ ولتاژهای گذرا آسیب پذیر می نماید لزوم استفاده از کنترلرهای قطع و وصل ، جهت قطع و وصل اینگونه ادوات پیشنهاد می گردد . همچنانکه با قدمت ۴۰ سال ، هزاران مدل از این کنترلرها در سراسر جهان در حال استفاده می باشند . با توجه به تأثیر این تجهیزات در جلوگیری از ولتاژهای حالت گذرا در هنگام قطع و وصل بانک های خازنی و راکتورها و خصوصاً ترانسفورماتورهای قدرت و عدم استفاده از تجهیزاتی مانند مقاومت موازی در بریکرها در شرایط کنونی ، طراحی و نصب این کنترلرها در داخل کشور لازم می نماید . در مقاله حاضر روش عملکرد این رله هوشمند در کنترل عمل باز و بستن کلید متصل به بانک خازنی جهت جلوگیری از اضافه ولتاژهای گذرا و یا جریان هجومی توضیح داده می شود و سپس یک نمونه عملی ساخته شده مورد بررسی قرار می گیرد .

.

کلید واژه- بانک های خازنی ، ولتاژهای حالت گذرا ، کنترلر قطع و وصل ، قطع و وصل در لحظه صفر

۱- مقدمه

در شبکه قدرت از تجهیزات بسیار مهمی نظیر ترانسفورماتور قدرت، راکتورها، بانکهای خازنی، شبکه های EHV ، استفاده می شود که بطور سری یا موازی با شبکه انتقال قدرت قرار می گیرند . هزاران کلید قدرت موجود در شبکه وظیفه باز و بست این تجهیزات را البته بدون ملاحظات شکل ولتاژ و جریان برعهده دارند که این امر گاهاً به بروز اضافه ولتاژ یا جریان گذرا در شبکه می انجامد .

بروز اضافه ولتاژ یا جریان گذرا علاوه بر آسیب زدن به تجهیزات فشارقوی اصلی ممکن است روی تجهیزات کمکی و ثانویه و فشار ضعیف مجاور نیز صدمات جدی وارد نماید . این نوسانات گذرای ناشی از کلیدزنی بستگی به قدرت تحمل عایقی و قدرت تحمل فشارهای مکانیکی در تجهیزات فشارقوی دارد که ممکن است سبب آسیب های تدریجی یا آنی در تجهیزات شود .

از جمله تجهیزات ثانویه ای که امکان بروز صدمه ناشی از این ولتاژهای گذرا را دارد می توان به سیستمهای کنترل و حفاظت ، کامپیوترها و ارتباطات مخابراتی در پستها یا حتی در منازل اشاره نمود .

با برقدارکردن بانکهای خازنی، راکتورهای موازی، ترانسهای قدرت ممکن است نوسان های شدیدی از جمله اضافه ولتاژهای گذرا، ولتاژهای کم نوسانی و جریان های هجومی زیاد در شبکه القا شود . در زمان قطع این تجهیزات نیز ممکن است جرقه های شدید که منجر به اضافه ولتاژهای گذرای شدید می شود تولید شود .

مقدار این ولتاژهای گذرا بستگی به نقطه ای از منحنی که عمل باز و بست کنتاکت بریکر در آن نقطه انجام می شود دارد. بدون استفاده از کنترلر قطع و وصل گاهاً در بدترین فاز ممکن روی منحنی انجام می شود .

اگرچه کلیدهای پیشرفته امروزی قابلیت کلیدزنی ، بارهای خازنی و فیلترهای هارمونیکی را با حفظ اعمال کمترین اثر نوسانی در سیستم قدرت بعهده دارند ولی در صورت قطع و وصل چندین کلید در شبکه این ریسک بسیار زیاد می شود.

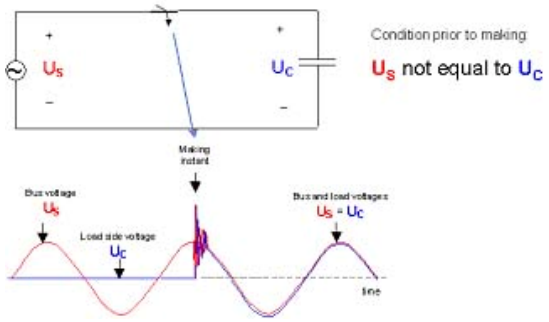
۲- کاربرد تجهیزات قدیمی محدود کننده اضافه ولتاژ

تاکنون اقداماتی از قبیل نصب مقاومتهای موازی روی کلیدهای قدرت ، راکتورهای دمپ کننده ، برقگیرها جهت محدود کردن مقدار و اثر نوسانات ولتاژ کلیدزنی ، بعد از وقوع آن در سیستم بعنوان روش مقابله با حالات گذرا و ولتاژ درنظر گرفته می شد . همچنین پستهای جدید با نصب تجهیزات با تحمل عایقی بالا تاحدی می تواند در تحمل این اضافه ولتاژها موثر باشد . به هر حال این روشها ناکارآمد ، نامطمئن یا گران هستند و مشکل شبکه در مقابله با این حالات گذرا را از ریشه رفع نمی نمایند .

۳- قاعده کار کنترلر قطع و وصل

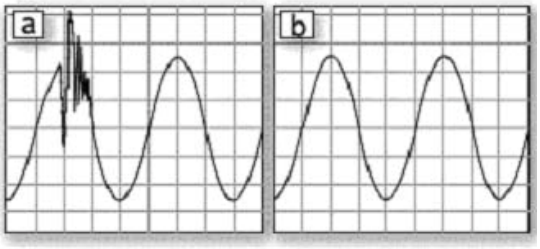
کنترلر سوئیچینگ روشی برای ممانعت از بروز نوسانات مضر است که عملکرد آن از طریق کنترل زمانی عملیات کلیدزنی انجام می گیرد . فرامین بستن یا بازکردن به کلید فشارقوی بمنظور وصل یا قطع کنتاکتهای کلید همراه با یک تأخیر انجام می شود و بدینوسیله در همان زاویه مورد نظر جهت قطع یا وصل این اعمال انجام خواهد شد .

با استفاده از کنترلر سوئیچینگ چه در زمان وصل و چه در زمان قطع با توجه به نقطه ای از منحنی که کنترلر تعیین می کند هیچگونه ولتاژ نوسانی تولید نخواهد شد .



شکل ۱ نحوه عملکرد کنترلر برای عملکرد تک فاز

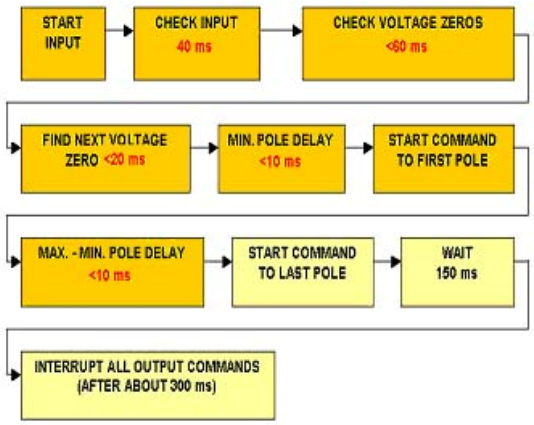
شکل ۲ نشان می دهد که چگونه استفاده از کنترلر قطع و وصل از ایجاد اضافه ولتاژ در شبکه هنگام برقدارکردن خازن جلوگیری می کند .



شکل ۲ : نوسان ولتاژ هنگام بستن کلید روی یک فاز بانک خازنی ۷۲ کیلوولت

a. در نقطه ای نامناسب از منحنی ولتاژ
b. با استفاده از کنترلر قطع و وصل

باید توجه نمود که چنانچه بهره بردار بخواهد برای بازکردن کلید نیز از این رله استفاده نماید ، می بایست تمامی فرامین قطع حفاظتی که در لحظه بروز عیب صادر می شوند ابتدا این کنترلر را بای پاس نمایند . البته اختلاف بین بای پس نمودن کنترلر و یا روش کنترل شده تنها ۱۲۰ میلی ثانیه در ۵۰Hz است .



شکل ۳:روند قطع کلید با کنترلر قطع و وصل.

زمانیکه اپراتور بخواهد بانک خازنی را وارد مدار نماید . فرمان بستن ، به کنترلر قطع و وصل ارسال می شود . بعد از دریافت سیگنال فرمان ، کنترلر زاویه فاز ولتاژ باسبار را بعنوان نقطه مرجع درنظر می گیرد . بعد از گذشت زمان انتظار ، کنترلر، فرمان بستن را به کلید قدرت ارسال می کند . تصمیم گیری برای زمان ارسال فرمان وصل با درنظر گرفتن زمان بستن (making time) کلید و زمان محاسبه شده توسط کنترلر برای بسته شدن کلید انجام می شود .

بنابراین کلید ، جریان را در لحظه مناسب روی منحنی وصل نموده و از ایجاد ولتاژ نوسانی در کلید جلوگیری می شود .

۴- هماهنگی عملکرد با انتخاب مناسب بریکر

مشخصه باز و بست کلیدهای قدرت بسیار متنوع است که این مشخصات باید در حافظه کنترلر ثبت شود . این تنوع با عواملی همچون دمای محیط و ولتاژ سیستم کنترل آن مرتبط می باشد . برایند این تأثیرات باعث تغییر در زمان باز و بست به میزان حدود ۰،۵ میلی ثانیه می باشد .

همچنین طول عمر کلید و تعداد قطع و وصل آن در ابتدای کار و بعد از طی زمان چند سال عملکرد به میزان قابل توجهی در مشخصه کارکرد کلید تاثیر گذار است . بهمین دلیل بریکرهایی با قدرت تحمل عایقی دینامیکی بالا بین دو کنتاکت که در آن از مقاومت وصل نیز استفاده نشده باشد جهت کار با این کنترلرهای قطع و وصل پیشنهاد می شود از جمله خصوصیات دیگر که در هر نوع بریکر متفاوت است زمان بین انفصال کنتاکتها تا لحظه قطع جریان (Tarc) و زمان بین انتقال جریان بین دو کنتاکت و تماس سطوح کنتاکت (Tprearc) را می توان نام برد .

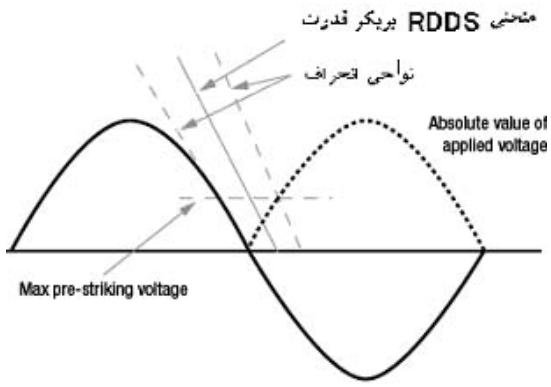
۵- عملکرد کنترل بستن کلیدهای قدرت

همانگونه که گفته شد از کنترلرهای کلیدزنی برای کنترل عملکرد بستن بانک های خازنی موازی و فیلترهای هارمونیکی استفاده می شود .

خازن بدون بار در هنگام اتصال به منبع توان مانند مدار اتصال کوتاه عمل می کند . درصورت بالابودن مقدار ولتاژ منبع نتیجه این عمل وصل بروز ولتاژ و جریان گذرایی است که ممکن است باعث مشکلات جدی در شبکه شود .

بسته به آرایش شبکه ، این اضافه ولتاژ ممکن است باعث شکست عایقی در نقطه ای از شبکه بهم پیوسته فشارقوی و یا تجهیزات فشارضعیف شود .

در حالتیکه از خازنهای متصل به هم استفاده می شود ممکن است فرکانسهایی با دامنه بالا در شبکه اتفاق بیفتد .کنترل کلید قدرت برای برقدارنمودن بارخازنی در ولتاژ صفر حین اتصال کنتاکتها از بروز حالت گذرای نوسان ولتاژ جلوگیری می کند .



شکل ۴ : برقدارکردن خازن در ولتاژ صفر . زمان قطع کلید اندکی بعد از لحظه صفر ولتاژ است تا تاثیرات ولتاژ روی کنتاکت ها به حداقل برسد .

۵-۱- استفاده از مفهوم RDDS

در جریان بستن کلید ، کنتاکتهای واقع در پل های بریکر دارای قدرت تحمل عایقی بالایی هستند که با تماس کنتاکتها بهم منحنی از یک مقدار زیاد شروع و به صفر ختم می شود .

این مشخصه اغلب تحت عنوان RDDS (سرعت کاهش قدرت تحمل عایقی) بریکر نامیده می شود .

در یک وضعیت ایده آل ، کنتاکت بریکر باید دقیقاً در لحظه صفر ولتاژ بسته شود . برای تحقق این موضوع ، RDDS بریکر بایستی بالاتر از منحنی کاهش ولتاژ دوسر کنتاکت قرار گیرد . به همین دلیل تفاوت فاز این دو منحنی (قدرت تحمل عایقی و سرعت بسته شدن کنتاکت) یک ناحیه را ایجاد می کند . برای اینکه کمی قبل از زمان وصل کلید ولتاژ دو سر کنتاکتها به حداقل رسانده شود زمان وصل کلید در کنترلر کمی بعد از صفرشدن ولتاژ تنظیم می گردد.

۵-۲- راکتور Damping

راکتورهای فوق در آرایش یک بانک خازنی و یا خازن های پشت به پشت متصل به هم استفاده می شوند . کاربرد این راکتورها محدودکردن جریان های هجومی است . در صورتی که از کنترل کلیدزنی استفاده شود وجود این راکتورها

لزومی نخواهد داشت .

مجموعه کلید و بانک خازنی بهمراه سیستم در حالت عادی قادر به تحمل فشارهای ناشی از عملکرد کلیدزنی که تحت عوامل مختلف ضرورت پیدا می کند ، می باشند . بعضی اوقات این راکتورها جهت محدودکردن نوسان و تشدید فرکانس بالا که به دلایلی از جمله بروز عیب در بیرون از فیدر و در نتیجه هم فرکانسی بانک خازنی و دیگر بخشهای شبکه بوقوع می پیوندد ، بکار می رود .

در چنین شرایطی حتی اگر از کنترلر کلیدزنی استفاده شود کاربرد این راکتورهای محدود کننده الزامی است .

۶- شرایط مکانیزم عملکرد سه فاز کلید قدرت

در شرایط عملکرد سه فاز کلید قدرت هر کدام از سه پل کلید قدرت می بایست در زمانهای مختلفی بسته شوند . این اختلاف زمان بستگی به نحوه کاربرد دارد . در بانکهای خازنی که نوترال آن زمین شده ، سه پل کلید قدرت با اختلاف زمانی $\frac{1}{6}$ سیکل (۳/۳ میلی ثانیه در فرکانس ۵۰Hz یا ۲/۸ میلی ثانیه در فرکانس ۶۰Hz) بسته می شوند. در بانکهای خازنی که نوترال آن زمین نشده است ، دو فاز می بایست بطور همزمان در ولتاژ فاز به فاز صفر بسته شوند و پل دیگر به اندازه $\frac{1}{4}$ سیکل دیرتر بسته شود (۵ میلی ثانیه در ۵۰Hz یا ۴/۲ میلی ثانیه در ۶۰Hz) .

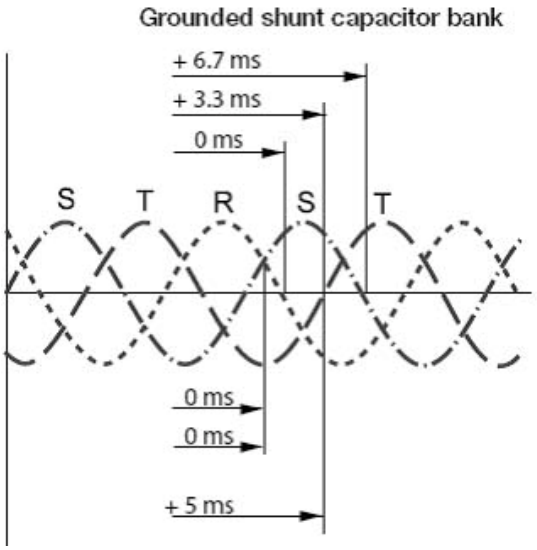
۷- ایجاد اختلاف فاز عملکرد به روش تغییر در مکانیک عملکرد

در حالت عملکرد تک فاز کلید قدرت هر کنترلر وظیفه ارسال باز و بستن را بطور منفرد بعهده دارد .

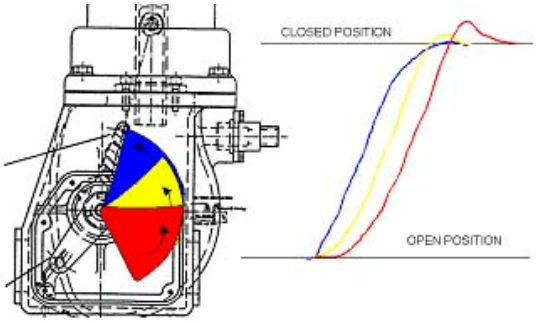
در حالت عملکرد سه فاز مکانیزم کلید (با داشتن یک مکانیزم) پلها از لحاظ مکانیکی تنظیم می شوند (Staggered) تا در لحظه صفر باز یا بسته شوند .

برای باز و بستن بانک خازنی یا فیلتر هارمونیک ، انتخاب صحیح نحوه تنظیمات مکانیکی در پلها از دو دیدگاه بایستی بررسی شود

- اتصال نوترال به زمین یا عدم اتصال آن
- فرکانس سیستم ۵۰ یا ۶۰ هرتز



شکل ۵ : مثالی از توالی عمل بستن کلید متصل به بانک خازنی در فرکانس ۵۰ . حداقل انحراف زمانی از ولتاژ صفر بین کنتاکتها که در شکل ۲ توضیح داده شد می بایست در اینجا هم مدنظر قرار گیرد .

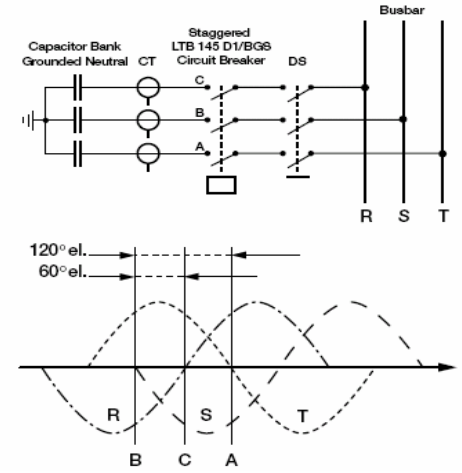


شکل ۶ : بستن کنتاکت در زمان صفر ولتاژ از طریق تغییر مکانیکی در محور کلید

ایجاد اختلاف فاز مکانیکی در پلها هم باعث تصحیح نحوه عملکرد بازکردن و هم بستن پلها خواهد شد . تنها می بایست نحوه اتصال فازها به کنتاکت های بریکر مورد توجه قرار گیرد .

اختلاف مکانی در کلید	پلهای بریکر	ولتاژ خط
$+60^0$	C	R
0^0	B	S
$+120^0$	A	T

جدول ۱



شکل ۷ : ارتباط کلید مکانیزم تغییر یافته به بانک خازنی زمین شده .

۸- کنترل عملکرد بازکردن

بازکردن کلید قدرت متصل به بانک خازنی معمولاً باعث ایجاد نوسانات کلیدزنی نمی شود . این بدین دلیل است که اصلاً کلیدهای قدرت طوری طراحی شده اند که در قطع جریان خازنی حداقل ریسک ایجاد نوسان را داشته باشند . از همان کنترلر بستن کلید می توان برای بازکردن کلید نیز استفاده نمود .

۹- ساخت آزمایشگاهی دستگاه کنترل سویچینگ

این دستگاه مبتنی بر میکروکنترلر چهل پایهٔ 89C51 از خانواده 8051 می باشد.که دارای مشخصات زیر می باشد:

ROM	4K
RAM	128
I/O PORT	32
TIMER	2
Vcc	5v

که با اسیلاتور خارجی 12 MHZ برای تایمر داخلی آن پالس خارجی ساخته می شود.

۹-۱- مشخصات سخت افزاری

ساختار سخت افزاری دستگاه به چهار قسمت مجزا تقسیم می شود که عبارتند از :

۹-۱-۱- مقایسه کننده:

این قسمت از دستگاه سیگنال ولتاژوجریان ورودی از سوی خط را با سیگنال ولتاز و جریان سمت بانک خازنی مقایسه کرده و نتایج را به میکرو کنترلر می فرستد.

۹-۱-۲-میکروکنترلر:

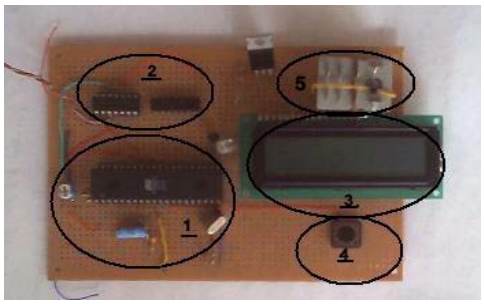
بعد از اینکه کاربر کلیدرا برای به مدار آوردن بانک خازنی یا خارج کردن بانک خازنی از مدار فشار می دهد سیگنالی به میکروکنترلر اعمال می شود سپس میکروکنترلر با توجه به سیگنال های ورودی از قسمت مقایسه کننده زمان مناسب را برای سوئیچ زنی انتخاب کرده و از طریق یک ترانزیستور،تریستوری را که به تحریک رلهٔ اصلی وصل است را آتش می کند.

۹-۱-۳-نمایشگر

مراحل مختلف عملیاتی از طریق یک LCD 2*16 برای کاربر نمایش داده میشود.زمانی که دستگاه روشن می شود از طریق همین نمایشگر توضیح مختصری در مورد عملکرد خود می دهد.و سپس آماده به کار می شود زمانی که کاربر شستی را برای وصل کردن بانک خازنی به خط فشار میدهد نمایشگر پیغام"SWITCH ON" را نمایش میدهد که به معنی فشرده شدن کلید می باشد.در زمان مناسب که رله با دستور میکروکنترلر بسته میشود پیغام "RELAY ON" توسط نمایشگر به نمایش در می آید و در سطر پایین نمایشگر زمان تأخیر مابین فشرده شدن کلید و زمان بسته شدن کلید را تا میکرو ثانیه محاسبه میکند اما به دلیل عدم نیاز به نمایش اعداد کوچکتر تا 1ms با پیغام:

"Delay Time XXXX"برای کاربرنمایش می دهد . که رقم اول ثانیه و سه رقم بعدی فاصله زمانی بین زده شدن سوئیچ توسط کاربر تا دستور قطع به کلید توسط میکروکنترلر را به میلی ثانیه نمایش میدهد. بهترین زمان برای خارج کردن بانک خازنی از مدار زمانی است که جریان آن صفر باشد پس بعد از اینکه صفر شدن جریان توسط قسمت اندازه گیری جریان به میکروکنترلر اطلاع داده شد میکروکنترلر با توجه به زمان تأخیر کلید برای قطع در زمان مناسب که مجدداً سیگنال جریان صفر می شود دستور به قطع کلید می دهد.اما با توجه به ماهیت خازن، ولتاژ وجریان آن

نسبت به هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند بنابراین زمانی که جریان خازن صفر است ولتاژ آن صفر نمی باشد و بعد از قطع کلید خازن



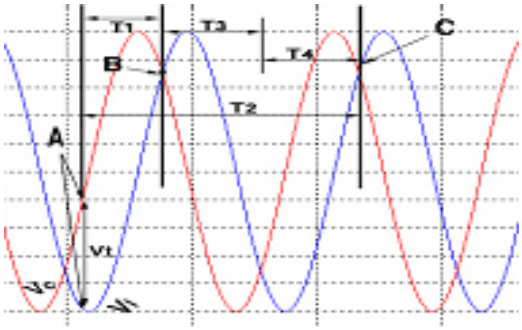
شکل ۸ :دستگاه کنترل سوچینگ آزمایشگاهی

۱-میکروکنترلر و ادوات جانبی آن ۲- مقایسه کننده ها ۳-نمایشگر ۴-سوئیچ ۵-تریستور

دارای مقداری ولتاژ اولیه می باشد بنابراین در هنگام وصل مجدد ممکن است که چندین برابر ولتاژ قابل تحمل کلید ولتاژ بر آن تحمیل شود بنابراین باید زمان مناسب توسط دستگاه انتخاب شود این زمان مناسب زمانی است که ولتاژ طرف خط با ولتاژ طرف بانک خازنی برابر باشد.اما از آنجا که ادوات واسط که دستور وصل به کلید می دهند و عملکرد خود کلید دارای تأخیر است،با فرض فرکانس شبکه f=50HZ زمان یک دوره تناوب آن برابر است با

$T=\frac{1}{f}=0.02$ s که زمان بسیار کوتاهی است پس به ناچار باید زمان تأخیر کلید نیز در محاسبات اعمال گردد. با توجه به شکل ۷ ،اگر هر دو شکل موج بانک خازنی و خط نوسانی باشند نحوه عملکرد کلید به صورت زیر است: در نقطه A کاربر کلید را برای به مدار آوردن بانک خازنی فشار میدهد در این زمان اختلاف ولتاژ بین خط و بانک خازنی همانگونه که در شکل نشان داده شده است برابر Vt می باشد.دو موج ولتاژ پس از گذشتن زمان T1 در نقطه B به هم میرسند با فرض اینکه زمان تاخیر (لختی سیستم کلید) برابر T4 باشد میکروکنترلر بعد از گذشتن زمان T3 که $T=\frac{1}{f}=T3+T4$ به کلید دستور وصل می دهد.بنابراین به فاصله زمانیT2 از دستور کاربر، در زمان C کلید بانک خازنی را به شبکه وصل می کند.و از اضافه ولتاژ های ناخواسته وگاهاً بیش از حد قابل تحمل کلید که در موارد زیادی باعث خرابی کلید های وصل کننده بانک خازنی می شود جلوگیری به عمل می آید.البته در عمل برای دقت بیشتر میکرو کنترلر ۲ بار زمان رسیدن دو موج ولتاژ به هم را چک میکند وسپس دستور وصل را می دهد.

این دستگاه تست آزمایشگاهی خود را گذرانده است و تا فرکانسهای بسیار بالا برای مواردی به غیر از وصل بانک خازنی جوابگو است.



شکل ۹:شکل موج های ولتاژ خط و بانک خازنی

Vc ولتاژ بانک خازنی،Vl ولتاژ خط،T3 زمان انتظار،T4 لختی سیستم کلید.

۱۰- نتیجه گیری

با وجود رشد چشمگیر ادوات موجود در سیستم انتقال و توزیع و با قبول واقعیاتی نظیر تاثیر ولتاژهای گذرای نوسانی درصدمه رساندن به تجهیزات فشارقوی و فشارضعیف و با درنظر گرفتن مسائل اقتصادی لازم است تمهیداتی اتخاذ شود تا توسط رله های هوشمند قطع و وصل بریکر ، از این نوسانات ممانعت بعمل آید . در این مقاله ابتدا به معرفی کنترلر قطع و وصل جدیدی که امروزه در کشورهای زیادی جزء لاینفک سیستم قدرت می باشد پرداخته شده است . سپس نحوه عملکرد و طراحی این سیستم معرفی و استفاده از آن در آرایش های مختلف بعنوان مثال تک فاز زمین شده یا زمین نشده و کاربرد دیگر آن در مکانیزمهای سه فازه توضیح داده شد . در انتها نیز یک نمونه از این دستگاه ساخته شده که از لحاظ عملکرد مشابه رله های سازندگان مشهوری همچون شرکت ABB است معرفی شده است.

مراجع

[1] ABB Review February 2006

[2] ABB Review September 2005

[3] ABB HV Buyers Guide Documents