

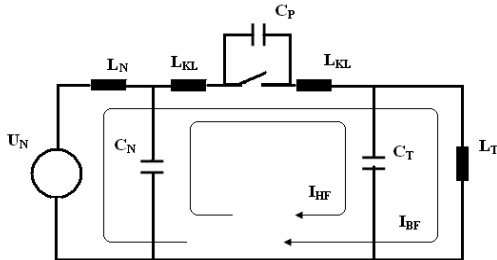
*

دانشجوی دکترای مهندسی برق - قدرت - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
 استادیار دانشکده مهندسی برق - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
 استاد دانشکده مهندسی برق - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
 (/ / / / / /)

کلیدهای خلاء به خاطر قدرت قطع بسیار خوب می‌توانند جریان‌های فرکانس بالا را نیز قطع کنند که این خاصیت در هنگام قطع جریان فرکانس قدرت می‌تواند عواملی را در پی داشته باشد. هنگامی که اتصال‌ها قبل از صفر طبیعی جریان باز می‌شوند خلاء، نمی‌تواند ولتاژ بازیابی گذرا را تحمل کند و شکست رخ می‌دهد. جریان‌های فرکانس بالا در مدار برقرار شده، قطع و وصل‌های پی‌درپی به وجود می‌آید که سبب جرقه زنی‌های مجدد و اضافه ولتاژهای کلیدزنی می‌شود. از این رو مطالعه مکانیزم‌های احتمالی بعد از قطع جریان‌های فرکانس بالا ضروری می‌باشد. در این جا کلید خلاء از نقطه نظر قطع جریان‌های فرکانس بالا با استفاده از زبان MODELS ابزار جدید نرم افزار ATP مدل شده است. مدل کلید بر اساس تئوری‌های گذشته صورت می‌گیرد و رفتار جرقه زنی‌های چند باره در کلید خلاء بر روی سایر عناصر شبکه از جمله موتور القائی و ترانسفورماتور تست می‌شود.

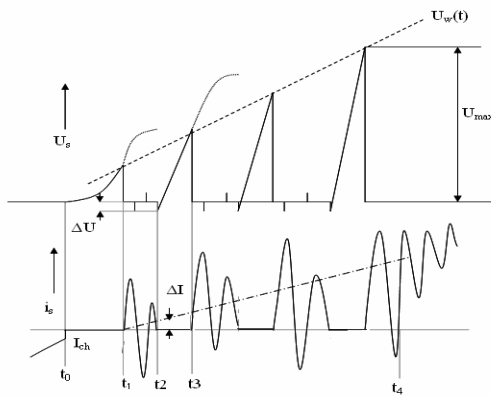
:

در واقع اثر برش جریان عادی و ازدیاد ولتاژ در یک فاز می‌تواند باعث اضافه ولتاژ در دو فاز دیگر شود.



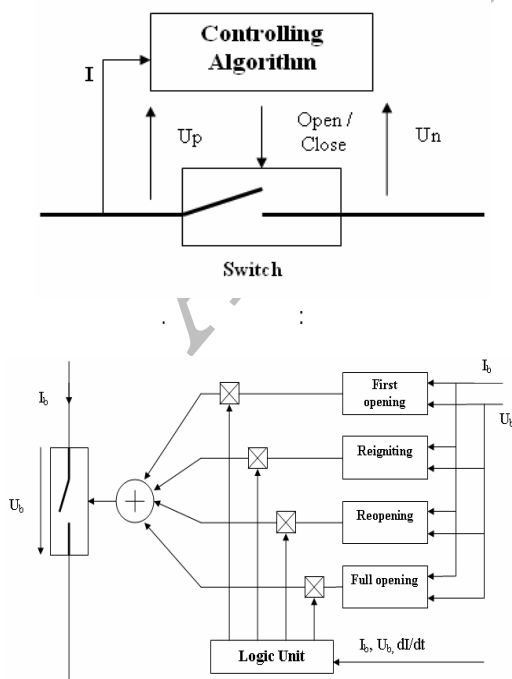
در تولید اضافه ولتاژهای ناشی از کلیدزنی کلید خلاء در بارهای اندوکتیو کوچک از قبیل ترانسفورماتورهای بی‌بار و موتورهای ساکن عوامل زیادی تأثیر گذار می‌باشند. ساختار شبکه پیرامون (ویژگی‌های کابل، ترانسفورماتورها، برق‌گیرها، باس‌ها)، اندوکتانس و خازن پراکندگی خود قطعه کلید زنی در ایجاد جرقه زنی‌های مجدد مؤثرند [۴]. شکل (۱) ساده‌ترین مدار برای مطالعه این پدیده است، که در آن یک بار L_T به همراه خازن‌های طبیعی سیستم از قبیل کابل‌های دو

کلیدهای خلاء که از آنها بیشتر در شبکه‌های فشار متوسط استفاده می‌شود، نسبت به دیگر انواع کلیدها مزیت‌های فراوانی دارند و دارای قابلیت قطع بسیار خوبی می‌باشند. مشخصه بازیابی دی‌الکتریک خلاء در این کلیدهای خلاء سبب برش جریان و جرقه زنی‌های مجدد چند باره می‌شود [۱-۲]. قابلیت قطع جریان‌های فرکانس بالا در کلیدهای خلاء سبب ایجاد جرقه زنی‌های پی‌درپی و در نتیجه اضافه ولتاژهای با دامنه و نرخ تغییرات زیاد می‌شود [۳-۴]. پدیده جرقه زنی در کلید خلاء پدیده‌های برش جریان^۱، جرقه زنی‌های مجدد چند باره^۲، ازدیاد ولتاژ^۳، برش جریان مجازی^۴ و پیش شکست‌ها^۵ را شامل می‌گردد که به طور خلاصه پدیده برش جریان، صفر شدن جریان قبل از صفر طبیعی جریان است که سبب اضافه ولتاژ می‌شود. جریان فرکانس بالا ایجاد شده در یک فاز سیستم سه فاز در فازهای دیگر بر اثر القاء جریان‌های فرکانس بالا را به وجود می‌آورد، که قطع شدن این جریان فرکانس بالا قبل از صفر طبیعی جریان در آن فاز، برش جریان مجازی نامیده می‌شود [۵]. برش جریان مجازی پدیده‌ای است که در مدارهای سه فاز رخ می‌دهد



در این مقاله مدل کلید خلاء از نقطه نظر قطع جریان‌های فرکانس بالا تشریح می‌شود و سپس با استفاده از مدل به دست آمده به مطالعه اثر گذراهای ناشی از قطع جریان کلیدهای خلاء بر موتور القائی و ترانسفورماتور بی بار پرداخته می‌شود.

با استفاده از بخش اجرائی MODELS و با بهره‌گیری از یک مجموعه قواعد منطقی کارکرد کلید شبیه‌سازی گردید که شماتیک کلی آن در شکل (۳) مشاهده می‌شود.



طرف کلید C_T و منبع تغذیه با اندوکتانس داخلی L_N و ظرفیت C_N وجود دارد. C_P ، C_{KN} ، L_{KN} نیز عوامل پراکندگی کلیدهای خلاء هستند. فرض می‌گردد که قطعه کلید زنی در مرحله جدا کردن بار از منبع است. هم چنین فرض می‌شود که کنتاکت‌های آن در صفر جریان کاملاً باز می‌گردند. هنگامی که کلید می‌خواهد جریان را قطع کند، فاصله کنتاکت‌ها خیلی کوچک است، هم زمان با رشد ولتاژ بازیابی گذرا بر دو سر کنتاکت‌های کلید این امکان وجود دارد که استقامت دی‌الکتریک خلاء نتواند ولتاژ را تحمل نماید و شکست رخ داده و به بیان بهتر جرقه‌زنی روی دهد در این وضعیت جریان خازن‌های منبع و سیستم به داخل فاصله خلاء جاری می‌شود که این جریان‌ها، فرکانس بالا خواهند بود و کلید می‌تواند مجدداً آنها را قطع نماید، همانند مورد قبل ممکن است خلاء بشکند و جریان برقرار گردد که این فرآیند سبب جرقه‌زنی‌های پی‌درپی می‌شود. انرژی اندوکتیو که در صفرهای فرکانس بالا در L_N و L_T ذخیره است چون هیچ مسیری برای جریان عبوری کلید وجود ندارد این انرژی در لحظه پس از گذر صفر جریان مجبور است به داخل C_P برود و اضافه ولتاژهای خیلی بزرگ می‌توانند به وجود آیند که ممکن است عایق بندی سیستم را در معرض خطر قرار دهد.

شکل (۲) جریان عبوری از کلید و ولتاژ دو سر ترمینال‌های آن را نشان می‌دهد. بعد از این که جریان در t_0 صفر شد، فاصله خلاء بایستی ولتاژ بازیابی گذرا را تحمل کند که شکل آن به مقدار واقعی جریان برش، خازن، اندوکتانس و مقاومت بار بستگی دارد. اگر فاصله خلاء هنوز کوچک باشد یک جرقه زنی در t_1 رخ می‌دهد. بنابراین یک جریان فرکانس بالا در حد چند صد کیلوهرتز جاری می‌شود [۶]، به خاطر قابلیت خوب خفه‌شدن قوس در کلیدهای خلاء، در یکی از صفرهای بعدی جریان (در t_2)، جریان دوباره قطع می‌شود. اگر این خاموش شدن با یک جرقه زنی مجدد همراه گردد این فرآیند تکرار می‌شود (جرقه زنی‌های مجدد چند باره در t_3)، هم زمان با افزایش فاصله اتصال‌های خلاء استقامت دی‌الکتریک بهتر می‌شود و اگر جرقه‌های بعدی رخ دهند یک سطح بالاتر از ولتاژ را پدید می‌آورند که این پدیده به «ازدیاد ولتاژ» ناشی از کلیدهای خلاء معروف می‌باشد.

کلید خلاء در این جا با یک کلید ایده آل بازو بست شونده که دارای یک بخش کنترلی قطع و وصل است، مدل شده است. علاوه بر این می توان آن را با یک مقاومت متغیر قوس نیز مدل نمود [۸-۶].

فرآیند برش جریان، صفر شدن اجباری جریان فرکانس قدرت قبل از صفر طبیعی جریان است که ناشی از ناپایداری قوس الکتریکی در کلید های خلاء در جریان کم می باشد [۶-۵]. زمانی که برش جریان رخ می دهد، انرژی ذخیره شده در اندوکتانس بار به خازن موجود در بار منتقل شده و سبب اضافه ولتاژ می گردد. کابل طویل یا خازن و یا هر دو سبب کاهش امپدانس موجی برای محدود کردن اضافه ولتاژ ناشی از برش می شوند [۴]. خازن علاوه بر کاهش فرکانس بازیابی، تعداد جرقه زنی های بعد از برش را کاهش می دهد. با توجه به مدار معادل داده شده در شکل (۱) هنگام برش جریان ولتاژ به وجود آمده بر دو سر بار از رابطه (۱) به دست می آید.

$$U_c = I_{ch} \cdot \sqrt{\frac{L_T}{C_T}} \sin \omega_{nt} + U_N \cos \omega_{nt} \quad (1)$$

در نظر گرفتن برش جریان مسئله مهمی است برای مثال هنگام کلیدزنی ترانسفورماتورهای نوع- خشک، اندوکتانس مؤثر، اندوکتانس بزرگ مغناطیس کنندگی ترانسفورماتور است که با توجه به رابطه فوق اضافه ولتاژ بزرگی را به وجود می آورد که ممکن است به عایق آن آسیب برساند.

برش جریان واقعی کاملاً مشخص نبوده با این وجود تحقیقات جدید سطح برش جریان را برای انواع بارها و جنس مواد تعیین کرده اند [۶ و ۳]. در این مقاله سطح برش جریان با توجه به [۶] تخمین زده می شود که در آن سطح برش به صورت زیر تعیین می شود.

$$I_{CH} = (\omega \cdot \hat{i} \cdot \alpha \cdot \beta)^q \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi \times 50 \text{ Hz}$$

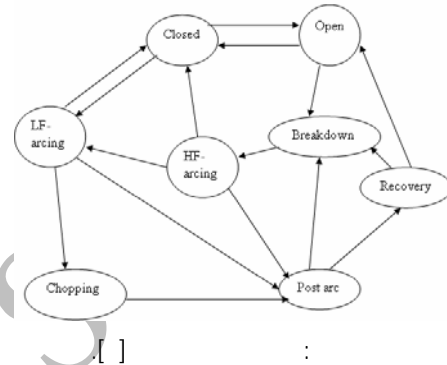
$$\alpha = 6.2 \times 10^{-16}$$

$$\beta = 14.3$$

$$q = (1 - \beta)^{-1}$$

\hat{i} دامنه جریان فرکانس قدرت می باشد.

شکل (۴) نمودار کلی مدل را که شامل چهار حالت می باشد نشان می دهد که در آن یک بخش کنترلی وجود دارد که با نمونه گیری از جریان عبوری از کلید و هم چنین ولتاژ دو سر آن، فرمان قطع و وصل را صادر می کند. واحد منطقی که حالات مختلف را برای کلید ایجاد می کند، به مانند شکل (۵) نشان داده می شود که جرقه زنی های پی در پی را به صورت گذر بین حالات مختلف نمایش می دهد [۷].



حالت های مختلف کلید به صورت زیر در مدل لحاظ شده اند:

- ابتدا که کلید بسته است هنگامی که زمان بیشتر از Topen شود جریان در سطح برش طبیعی صفر می گردد یعنی اتصال های کلید باز می شوند.

- بعد از این که جریان صفر گردید ولتاژ بازیابی گذرا اندازه گیری شده دو سر کلید ممکن است بیش از مشخصه استقامت ولتاژی تعریف شده شود و کلید دوباره وصل گردید.

- برای باز شدن دوباره کلید علاوه بر این که باید شیب جریان از شیب جریان بحرانی در زیر سطح برش فرکانس بالا کمتر باشد، بایستی مدت زمان که برای باز شدن واقعی کلید در نظر گرفته شده نیز سپری گردید.

- بعد از گذشت زمان ممکن است کلید بتواند ولتاژ بازیابی گذرا را تحمل نماید یعنی جریان کلید در یکی از صفر های فرکانس بالا و یا در یک صفر فرکانس طبیعی قطع می شود و به حالت کاملاً باز می رود.

زمان قطع و وصل جریان در کلید را به خاطر طبیعت تصادفی آن نمی توان به طور دقیق تعیین نمود [۸-۹]. بدین منظور در شبیه سازی های صورت گرفته، طبیعت تصادفی کلید به صورت یک متغیر تصادفی در مدل سازی قرار داده شده است.

بازیابی گذرا بین دو ترمینال آن به وجود می‌آید. این ولتاژ بازیابی گذرا، دارای دو فرکانس ناشی از عوامل LC سیستم و منبع می باشد. که فرکانس طرف منبع را C_N, L_N خازن و اندوکتانس زیرگذرای ژنراتور تعیین می‌کنند و تعیین کننده فرکانس در طرف سیستم خازن شنت و اندوکتانس C_T, L_T هستند که در شکل (۱) مشخص گردیده است [۳-۴]. این فرکانس ها از مرتبه ۲۵-۲۰ kHz برای ژنراتور و از مرتبه ۵۰-۸۰ kHz در سمت بار هستند، که با قراردادن خازن محافظ در ترمینال های بار ممکن است با هم برابر شوند [۱۱].

$$\frac{DI}{DT}(T) = CC(T - T_{open}) + DD \quad (4)$$

زمانی که ولتاژ بازیابی گذرا بزرگتر یا مساوی ولتاژ شکست $U_w(T)$ کلید شود، جرقه زنی رخ می‌دهد و مطابق شکل (۲) مؤلفه های فرکانس بالای جریان از کلید عبور می نماید که ناشی از تخلیه خازن های شنت ژنراتور و ترانسفورماتور، تخلیه خازن محافظ موجود، تخلیه خازن های باس بار و تخلیه خازن های پراکندگی دو سر اتصال کلید می باشد. اندکی بعد از صفر جریان قدرت در فرکانس ۵۰ Hz به دلیل توانائی قطع کلید خلاء، جریان های فرکانس بالا اگر دارای یک شیب کمتر از حد بحرانی باشند در صفرهای فرکانس بالا قطع می‌شوند، اما ممکن است هنوز فاصله خلاء تحمل U_w را نداشته، دوباره شکست رخ دهد و مجدداً کلید وصل شود. که جرقه زنی های پی‌درپی را نتیجه می‌دهد و امکان دارد که کلید جریان را تا صفر فرکانس قدرت بعدی نتواند قطع کند. این جریان های جرقه زنی مجدد زیرگذرا معمولاً فرکانسی بالغ بر ۷۰۰-۱۰۰ kHz دارند [۴ و ۱].

DI/DT :	
$CC(A/s^2)$	$DD(A/s)$
-0.34E11	255E6
0.31E12	155E6
1E12	190E6
0	600E6

مقدار DI/DT مقدار شیب بحرانی است که در صفر فرکانس بالا بایستی شیب جریان کمتر از آن باشد تا کلید بتواند موفق عمل کند و باز شود در واقع مشخصه DI/DT بیانگر قابلیت قطع جریان های فرکانس بالا است که به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود که مقادیر ثابت آن در این مقاله برای شبیه سازی به صورت جدول (۲) در نظر

ویژگی دوم که در مدل کلید خلاء لحاظ شده مربوط به استقامت دی الکتریک هنگام باز شدن اتصال می باشد. این مفهوم را می توان به صورت یک تابع زمانی در نظر گرفت، البته برای زمانی که اتصال ها خیلی به هم نزدیک می‌باشند این رابطه را می‌توان به صورت رابطه خطی با زمان (۳) نوشت [۸ و ۱۰].

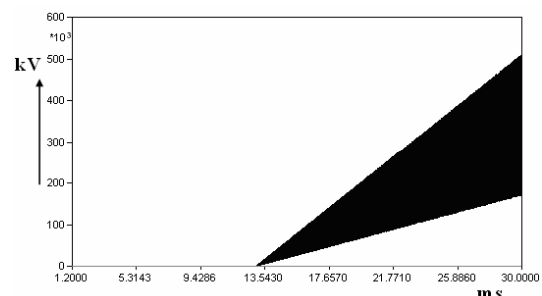
$$U_w(T) = AA(T - T_{open}) + BB \quad (3)$$

که در آن Topen لحظه جدا شدن اتصال ها، AA و BB ثابت های مربوط به استقامت دی الکتریک کلید می باشند [۷ و ۱۱]، این ثابت ها معمولاً با استفاده از اندازه گیری، تعیین گردیده و در مدل قابلیت تغییر آنها لحاظ شده تا هر کلید با هر مشخصه استقامت دی الکتریک را بتوان شبیه سازی نمود.

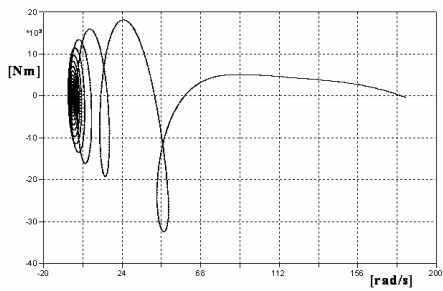
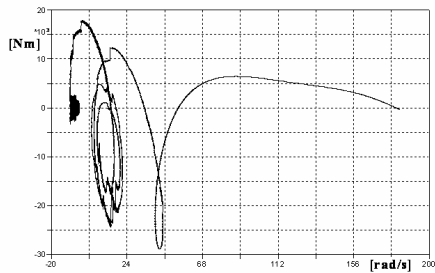
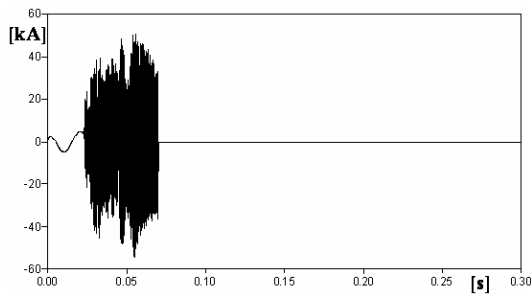
مقادیر عادی مربوط به ثابت های استقامت دی الکتریک که در این مقاله از آنها استفاده شده در جدول (۱) آمده است.

VCB :	
$AA(kv/s)$	$BB(volt)$
17	3400
13	690
4.7	690
30	1000
50	0

برای نزدیک شدن مدل کلید به واقعیت در شبیه سازی های انجام گرفته، مشخصات دی الکتریک خلاء با در نظر گرفتن طبیعت تصادفی کلید خلاء در مدل استفاده شد. شکل (۶) مشخصه استقامت دی الکتریک کلید خلاء را نشان می‌دهد.

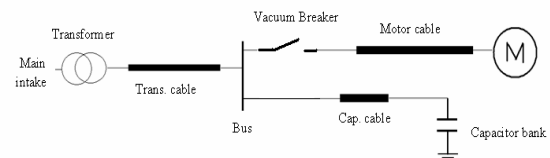


زمانی که یک کلید جریان را قطع می‌کند، ولتاژ



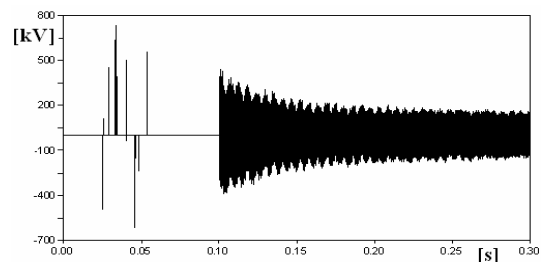
گرفته شده‌اند [۸-۶]. همانند استقامت دی‌الکتریک در این جا نیز مشخصه شیب بحرانی جریان DI/DT کلید با در نظر گرفتن طبیعت تصادفی در مدل وارد شده است.

شبکه مورد مطالعه برای شبیه سازی اثرات کلید خلاء بر موتور القائی در این جا به صورت شکل (۷) می باشد. که در آن یک موتور القائی از طریق یک ترانسفورماتور و یک کلید خلاء تغذیه می شود. دو کابل نیز برای اتصال کلید به ترانسفورماتور و ترانسفورماتور به موتور القائی استفاده شده است. کابل کوتاهی بانک خازن را به باس متصل می نماید.



جدول (۳) ویژگی ها و عامل های شبکه و موتور را تشریح می کند. مقادیر این شبکه براساس مقادیر واقعی پستی در شرکت فولاد خوزستان هستند، که بر اثر جرقه زنی کلید خلاء موتور دچار آسیب شدیدی شده است.

Main intake	frequency 50Hz
Transformer	Delta, Way grounded 33/6.6 KV $U_K=9\%$ $I_{sc}=50KA$
Vacuum Breaker	VCS 7 SCO
Motor cable	70m $3 \times 15 \times 1 \text{ mm}^2$
Trans. Cable	200m $3 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2$
Cap. cable	5m $3 \times 15 \times 1 \text{ mm}^2$
Capacitor bank	Delta 160KVAR
Motor	1.3MW 6.6Kv 134.9A

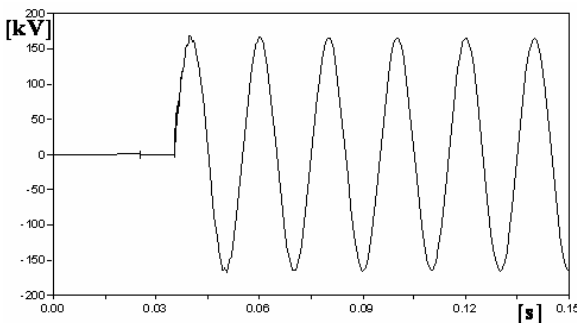
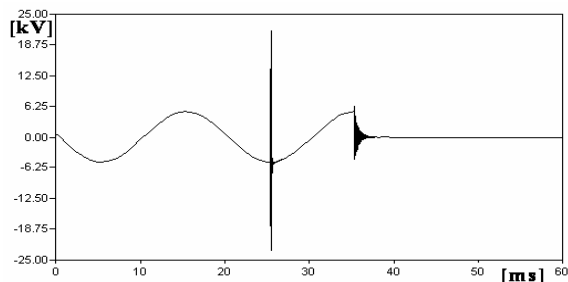


در شبیه سازی های انجام گرفته مدل موتور القائی از نرم افزار EMTP استفاده و سعی شده است تا عملکرد کلید خلاء با عوامل مختلف به عبارت بهتر با قابلیت قطع های متفاوت مورد بررسی قرار گیرد. شبیه سازی ها نشان می دهد که نوع عوامل انتخاب شده و زمان صدور فرمان قطع کلید یعنی زمان قوس (arc time) در ایجاد جرقه زنی ها مؤثر می باشد. در حالت اول از کلید خلاء با عواملی استفاده شد که رفتار آن در شکل های (۸) و (۹) دیده می شود. شکل (۸) ولتاژ بازیابی دو سر کلید را هنگام کلیدزنی موتور فوق نشان می دهد که در آن جرقه زنی های مجدد پی در پی و ازدیاد ولتاژ بر دو سر اتصال های کلید مشاهده می شوند.

شکل (۹) جریان های فرکانس بالا گذرنده از کلید را نشان می دهد که کلید خلاء بعد از مدتی آنها را قطع می -

شکل (۱۳) جریان گذرنده از کلید را نشان می‌دهد که در آن کلید نتوانسته در سیکل اول جریان فرکانس بالا را قطع کند و در صفر بعدی، فرکانس قدرت این جریان را قطع کرده است.

شکل (۱۴) ولتاژ دو سر ترمینال‌های موتور القائی را در هنگام باز شدن کلید خلاء نشان می‌دهد که در فرکانس بالا ولتاژهای فوق العاده زیادی بر دو سر موتور ایجاد می‌شود. شکل (۱۵) ولتاژ بازپایی گذرا دو سر اتصال‌های کلید خلاء را نشان می‌دهد.

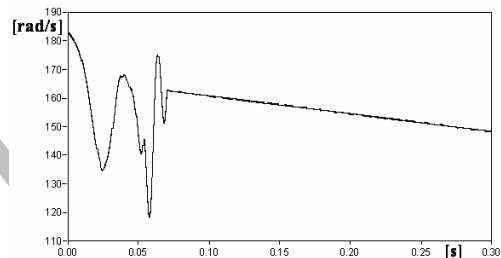


برای شبیه سازی ترانسفورماتور بی‌بار از یک مدار LC استفاده می‌شود که برای نشان دادن پدیده جرقه زنی‌های چند باره کافی است و پدیده جریان‌های فرکانس بالا در واقع پدیده فرو رزنانس را به خوبی می‌تواند توصیف کند [۸]. مقدار پیک ولتاژ ترانسفورماتور با رابطه (۵) طبق شکل (۱) داده می‌شود:

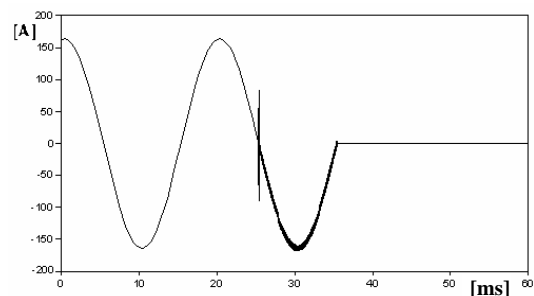
$$E_c = \left(I^2 \frac{L_T}{C_T} + U_0^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

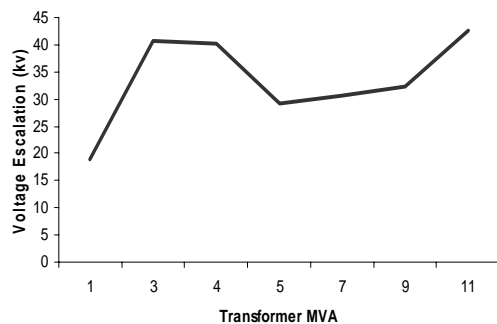
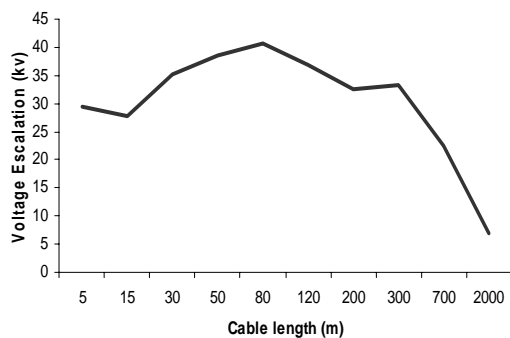
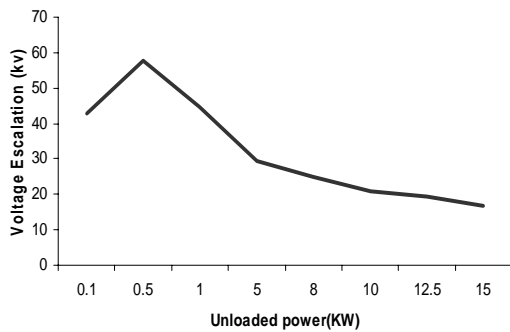
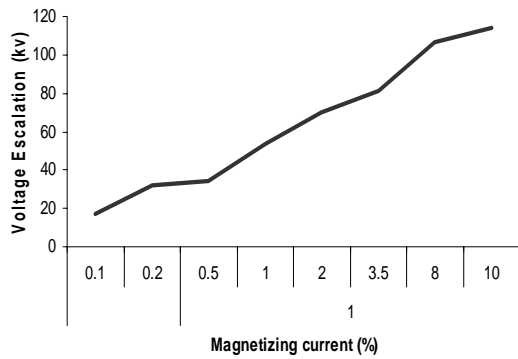
این دامنه ولتاژ از لحاظ تئوری بیشترین اضافه ولتاژ دو سر بار-زمین ناشی از برش جریان است.

کند در این جا دامنه جریان‌های فرکانس بالا بسیار زیاد است. رفتارهای دینامیکی موتور را می‌توان در شکل‌های بعدی به وضوح مشاهده کرد. شکل (۱۰) منحنی گشتاور سرعت موتور القائی بعد از جرقه زنی‌های پی در پی بدون خازن محافظ نشان می‌دهد. شکل (۱۱) منحنی گشتاور سرعت همان ماشین القائی در هنگام قطع نشان می‌دهد که در این حالت خازن محافظ بر دو سر اتصال‌های کلید قرار داشته است. و مشاهده می‌شود که رفتار دینامیکی ماشین تحت تأثیر رفتار کلید خلاء قرار دارد و بایستی از این لحاظ ماشین القائی توانائی تحمل تغییرات شدید و فرکانس بالای کلید خلاء را داشته باشد. شکل (۱۲) تغییرات شدید سرعت موتور را در هنگام جرقه زنی‌های چندباره نشان می‌دهد.

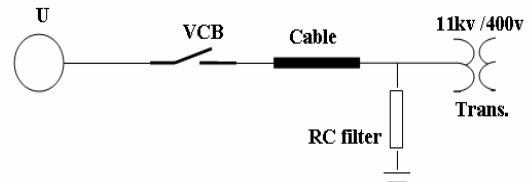


اکثر تحقیقات قبلی برای مشاهده اثرات جرقه زنی‌های مجدد کلید از مدل فرکانس بالای موتور القائی [۱۵] استفاده کرده اند که در اینجا نتایج منعکس شده در شکل‌های (۱۳-۱۵) با تغییر مدل موتور از حالت مدل EMTP به مدل فرکانس بالا به دست آمده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که مدل EMTP موتور القایی برای تحلیل پدیده جرقه زنی چند باره به خوبی جوابگو می‌باشد.



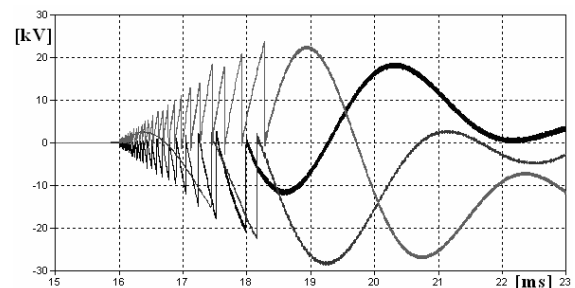
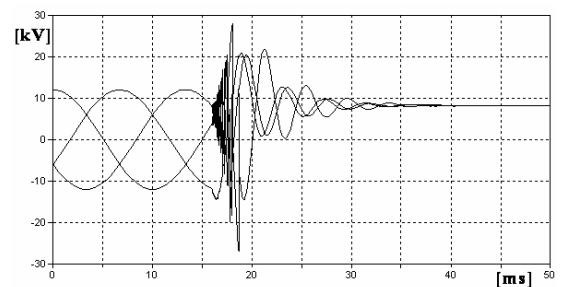


شکل (۱۶) مدار تست ترانسفورماتور در محیط نرم افزار نشان می‌دهد. یک ترانسفورماتور با قدرت ۳۰۰۰ kVA دارای گروه برداری Dyn5 و با نسبت تبدیل ۴۰۰V / ۱۱kV که تحت شرایط بی باری با یک کلید خلاء، کلیدزنی می‌شود، منبع تغذیه نیز ۱۲kV است. جریان بی باری همانند یک جریان هجومی گذرا قطع می‌شود.



ATP

شکل (۱۷) ولتاژ دو سر ترانسفورماتور بی‌بار را نشان می‌دهد در این شکل ازدیاد ولتاژ و شکست ولتاژ بر اثر مشخصه کلید خلاء مشاهده می‌شود، فرکانس‌های بالای جرقه زنی‌ها بر دو سر هر سیم پیچی می‌تواند با اتصال کوتاه کردن سیم‌پیچ اول و افت ولتاژ بسیار زیاد بر آن بسیار مخرب باشد لذا توجه به این موضوع اهمیت خاصی دارد. شکل (۱۸) ولتاژ بازیابی گذرا کلید را هنگامی که کلید توانائی تحمل اضافه ولتاژ را دارد نشان می‌دهد، که در آن قابلیت قطع جریان‌های فرکانس بالای آن سبب شده است که جریان صفر شود.

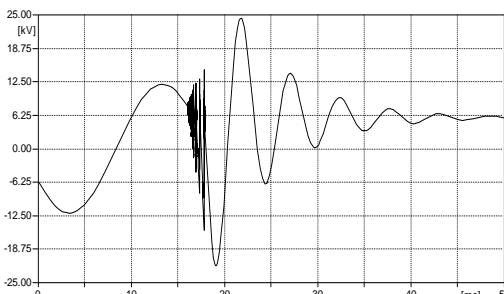
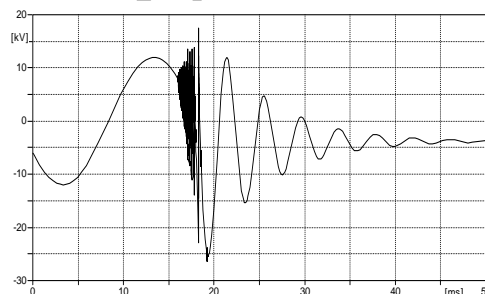
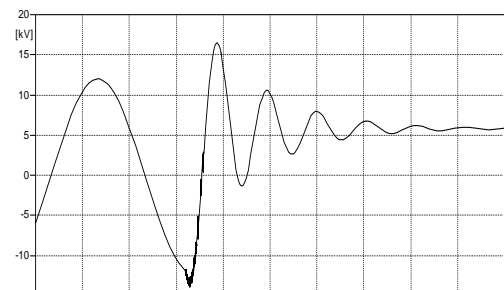
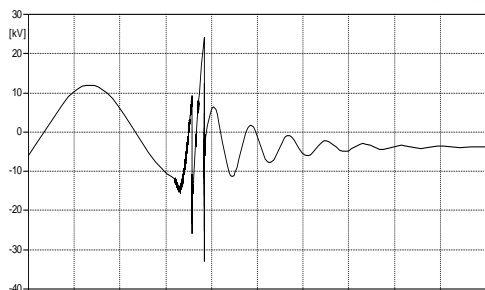
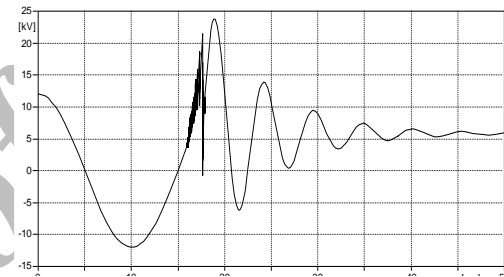
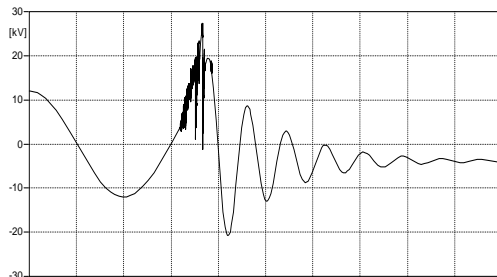


قطع جریان رآکتور یا ترانسفورماتور بی‌بار از آن جهت که مرتبه جریان بی باری با سطح برش جریان کلید خلاء تقریباً برابر است موضوع مهمی است. چون که باید فاصله اتصال‌ها به حداقل مقدار قابل قبول برسد سپس

شکل (۱۹) منحنی‌هایی هستند که مورد بحث قرار گرفتند و اثر عوامل مختلف ترانسفورماتور (قدرت- تلفات- جریان بی باری) و طول کابل در ایجاد اضافه ولتاژ را نشان می‌دهد.

همان طور که قبلا نیز اشاره شد پدیده جرقه‌زنی های مجدد چند باره ناشی از کلید خلاء به عوامل شبکه و عوامل کلید وابسته است. در این منحنی ها همان گونه که مشاهده می شود پستی و بلندی هایی وجود دارد که به خاطر طبیعت تصادفی که برای مدل کلید در مدل مد نظر قرار گرفته می باشد و باعث می شود تا با اطمینان نتوان گفت که بر اثر یک عامل چه اتفاقی صورت می پذیرد.

جریان برش شود. در بررسی مسئله ترانسفورماتور شبیه سازی های مختلف انجام گرفت. شبیه سازی ها نشان داد که با افزایش قدرت ترانسفورماتور جرقه زنی ها و اضافه ولتاژ بیشتری تولید می شود، و اگر طول کابل بین کلید خلاء و ترانسفورماتور افزایش داده شود جرقه زنی ها و اضافه ولتاژ کمتری ایجاد می گردد و اگر تلفات ترانسفورماتور مورد مطالعه زیاد باشد نسبت به ترانسفورماتور که دارای تلفات کمتری است جرقه زنی ها و اضافه ولتاژ کمتری در جدا شدن آن از شبکه تولید می شود. و در نهایت در بررسی اثر جریان بی باری ترانسفورماتور این نتیجه به دست آمد که با افزایش آن تعداد جرقه زنی های بیشتر و اضافه ولتاژ زیاد می گردد.



MVA

MVA

برش از راه دقیق تر به جای استفاده از یک مقدار خاص برای کلید و همین طور مسئله تصادفی بودن مشخصات کلید (استقامت دی الکتریک کلید خلاء و قابلیت قطع جریان های فرکانس بالا) در مدل در نظر گرفته شدند. سپس شبیه سازی ها بر روی عناصر شبکه ارائه داده گردیدند. اولین المان مورد بررسی موتور القائی بود که تاثیر جرعه زنی های پی در پی کلید خلاء بر رفتارهای دینامیکی آن مطالعه شد بحث های در مورد به کارگیری کلید خلاء با آن انجام گردید. در اثر جرعه زنی های چندباره کلید خلاء به هنگام کلیدزنی یک موتور القائی با استفاده از کلید خلاء نوسانات سرعت قابل ملاحظه ای می تواند به وجود آید.

شبیه سازی برای ترانسفورماتور بی بار از آن جهت که می تواند اضافه ولتاژهای بزرگی را تولید نماید صورت پذیرفت و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. اثر عوامل ترانسفورماتور (قدرت - تلفات - جریان بی باری) و طول کابل در ایجاد اضافه ولتاژ نشان داده شد. شبیه سازی های انجام شده نشان می دهند که به هنگام کلید زنی ترانسفورماتورهای بی بار با کلیدهای خلاء اضافه ولتاژهای با دامنه تا ۱۰ p.u. در اثر جرعه زنی های مجدد کلید خلاء می تواند به وجود آید.

شکل (۲۰) ولتاژ دو سر ترانسفورماتور را برای قدرت ۳ MVA در هر سه فاز نشان می دهد در این حالت طول کابل ۸۰ متر، تلفات بی باری ترانسفورماتور ۱kw و جریان بی باری ۵٪/۰ جریانی بار کامل است. در این شکل برای فاز B مشاهده می شود که جرعه زنی ها در آن رخ نمی دهند.

شکل (۲۱) ولتاژهای دو سر ترانسفورماتور بی بار را برای قدرت ۵ MVA نمایش می دهد که بقیه پارامترها مشابه قبل بدون تغییر می باشد. از مقایسه دو شکل (۲۰) و (۲۱) دیده می شود که وقتی قدرت ترانسفورماتور بیشتر شده است تعداد جرعه زنی ها زیاد می شود و اضافه ولتاژی که به وجود می آید نیز افزایش می یابد. برای مثال در فاز B که هیچ جرعه زنی در قدرت ۳ MVA وجود ندارد و اضافه ولتاژی در حدود 27kV دارد. در قدرت ۵ MVA، جرعه زنی به تعداد ۳ مرتبه و اضافه ولتاژ در حدود ۳۴ kV خواهد بود.

در این مقاله مفاهیم اولیه برای تشریح مدل کلید خلاء ارائه گردید سپس روش ها و تکنیک های هر قسمت برای ارائه مدل دقیقی برای کلید خلاء از نقطه نظر قابلیت قطع جریان های فرکانس بالا توضیح داده شد آخرین مسائل مطالعه شده از قبیل به دست آمدن جریان

- 1 - Lafferty, J. M. (1980). *Vacuum Arcs: Theory and Application*, John Wiley & Sons.
- 2 - Greenwood, A. (1994). *Vacuum Switchgear*, London: *The Institution of Electrical Engineering*.
- 3 - Garzon, R. D. (1996). "High Voltage Circuit Breakers." *Design and Applications*, America: Marcel Dekker.
- 4 - Browne, T. E. (1984). Jr. , *Circuit Interruption: Theory and Techniques*, America: Marcel Dekker.
- 5 - Smeets, R. P. P. et al. (1993). "Essential parameters of vacuum interrupter and circuit related to occurrence of virtual current chopping in motor circuits." *IEE of Japan Power & Energy*, PP. 311-316.
- 6 - Weinert, H. (1999). "Reignition phenomena after high-frequency current interruption with short vacuum gaps." *Plasma Science, IEEE Transactions on* Vol. 27, No. 4, PP. 944 - 948 .
- 7 - Niayesh, K. and Berth, M. (2002). "Resonance like phenomena in motor drive circuits caused by multiple re-ignitions of vacuum circuit breakers." *IEEE/PES T&D Conference and Exhibition*, Vol. 2, PP. 914 - 918.
- 8 - Helmer, J. and Lindmayer, M. (1996). "Mathematical modeling of the high frequency behavior of vacuum interrupters and comparison with measured transients in power systems." *Discharges & Electrical Insulation in Vacuum*, Proceedings. ISDEIV., XVIIIth International Symposium on Vol. 1, PP. 323 - 331, 21-26 July.

-
- 9 - Chaly, A. M. and Chalaya, A. T. (1998). "The influence of vacuum circuit breaker and circuit parameters of switching overvoltages generated during interruption of starting motors." *Tavrida Electric Ltd*, Moscow, Russia.
 - 10 - Banchi Lastra, R. and Barbieri, M. (2001). *Fast Transients in the Operation of an Induction Motor with Vacuum Switches*, <http://www.ipst.org/TechPapers/2001/>
 - 11 - Gliikowslti, M. T. and Gutierrez Dieter Brauii, H. R. (1997). "Voltage escalation and reignition behavior of vacuum generator circuit breakers during load shedding." *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 12, No. 1, PP. 219 – 226.
 - 12 - Berth, M., Kung, L. and Limbeek, E. F. D. E. (2001). "Switching Overvoltages in Motor Circuits." *IEEE Trans. on industry applications*, No. 6, Vol. 37, PP. 1582-1586.
 - 13 - Van Lanen, E. P. A., Popov, M., Van der Sluis, L. and Smeets, R. P. P. (2005). "Vacuum Circuit Breaker Current-Zero Phenomena." *IEEE Trans. on Plasma Science*. Vol. 33, No. 5, PP. 1589- 1593.
 - 14 - Dube, L. (1996). *MODELS in ATP*, Language manual.
 - 15 - Moreira, A. F., Lipo, T. A., Venkataramanan, G. and Bernet, S. (2002). "High-Frequency Modeling for Cable and Induction Motor Overvoltage Studies in Long Cable Drives." *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 38, No. 5, PP. 1297 – 1306.

- 1 - Current Chopping
- 2 - Multiple Re- Ignition
- 3 - Voltage Escalation
- 4 - Virtual Current Chopping
- 5 - Prestrike
- 6 - Transient Recovery Voltage