PSC2009
International Power System Conference
-PTL-0118

بیست و چهارمین
کنفرانس بین‌المللی برق

مدلسازی جریان جرقه مجدد خطای تکفاز به زمین در خطوط جبران شده موازی

مهدی صمدی
دانشجوی دکتری برق- قدرت
mahdi.samadi@stu-mail.um.ac.ir

جواد ساده
استادیار گروه برق
sadeh@um.ac.ir

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

واژه‌های کلیدی: جریان جرقه مجدد، مدل جرقه، وصل مجدد تکفاز، خطوط جبران شده موازی، EMTP

چکیده

بخش عمده خطاها در خطوط انتقال، خطاهای تکفاز به زمین می باشند که درصد بالایی از آنها موقت و گذرا هستند. معمولاً برای افزایش پایداری سیستم، پس از عملکرد بریکر از وصل مجدد خودکار تکفاز استفاده می شود. به‌علت نیاز به اتمام دی‌یونیزاسیون هوا، وصل مجدد بریکر با تأخیری انجام می‌شود که این تأخیر با حاشیه پایداری تناقض دارد.

از روشهای متداول برای وصل مجدد تکفاز سریع و موفق در خطوط انتقال جبران شده، استفاده از راکتور نوترال در مرکز ستاره راکتورهای شنت خط جبران شده موازی می باشد. با انتخاب مقدار مناسب برای این راکتور، جریان جرقه مجدد محدود شده و سریعتر خاموش می شود. معمولاً تأثیر راکتور نوترال با استفاده از تحلیلهای حالت ماندگار و بدون مدلسازی دقیق جرقه و سیستم تعیین میشود، در حالی‌که برای تعیین دقیق اثرات آن لازم است تحلیل گذرا نیز انجام شود.

این مقاله با مدلسازی دقیق جرقه در نرم افزارEMTP، به بررسی زمان خاموشی جرقه مجدد، در یک خط جبران شده موازی دارای راکتور نوترال پرداخته است. نتایج شبیه سازی کارایی مدل بکار رفته را نشان می دهد.

PSC2009
24rd International Power System Conference
09-F-PTL-0118
بیست و چهارمین
کنفرانس بین‌المللی برق

مدلسازی جریان جرقه مجدد خطای تکفاز به زمین در خطوط جبران شده موازی

مهدی صمدی
دانشجوی دکتری برق- قدرت
mahdi.samadi@stu-mail.um.ac.ir
جواد ساده
استادیار گروه برق
sadeh@um.ac.ir
دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

واژه‌های کلیدی: جریان جرقه مجدد، مدل جرقه، وصل مجدد تکفاز، خطوط جبران شده موازی،**EMTP**.

چکیده

بخش عمده خطاها در خطوط انتقال، خطاهای تکفاز به زمین می باشند که درصد بالایی از آنها موقت و گذرا هستند. معمولاً برای افزایش پایداری سیستم، پس از عملکرد بریکر از وصل مجدد خودکار تکفاز استفاده می شود. به‌علت نیاز به اتمام دی‌یونیزاسیون هوا، وصل مجدد بریکر با تأخیری انجام می‌شود که این تأخیر با حاشیه پایداری تناقض دارد.

از روشهای متداول برای وصل مجدد تکفاز سریع و موفق در خطوط انتقال جبران شده، استفاده از راکتور نوترال در مرکز ستاره راکتورهای شنت خط جبران شده موازی می باشد.

با انتخاب مقدار مناسب برای این راکتور، جریان جرقه مجدد محدود شده و سریعتر خاموش می شود. معمولاً تأثیر راکتور نوترال با استفاده از تحلیلهای حالت ماندگار و بدون مدلسازی دقیق جرقه و سیستم تعیین میشود، در حالی‌که برای تعیین دقیق اثرات آن لازم است تحلیل گذرا نیز انجام شود.

این مقاله با مدلسازی دقیق جرقه در نرم افزارEMTP، به بررسی زمان خاموشی جرقه مجدد، در یک خط جبران شده موازی دارای راکتور نوترال پرداخته است. نتایج شبیه سازی کارایی مدل بکار رفته را نشان می دهد.

مقدمه

خطاهای تکفاز به زمین حدود ۸۰٪ خطاهای خطوط انتقال ولتاژ بالا را تشکیل می دهند. درصد بسیار زیادی از این خطاها طبیعتی گذرا دارند[۱].

وقتی یک خطای اتصال کوتاه تکفاز به زمین رخ می دهد، با عملکرد رله‌های حفاظتی مربوطه فاز آسیب دیده، بوسیله بریکرهای تک پل از دو انتهای خط مجزا می شود. پس از باز

شدن بریکر جرقه[۱] ای ایجاد می‌شود که معمولاً خود بخود خاموش می شود. در این شرایط بخاطر اثرات سلفی و خازنی متقابل، ولتاژی از سوی فازهای سالم روی فاز ایزوله شده القا می شود[۲].

علیرغم باز شدن بریکر در دو طرف فاز آسیب دیده، ولتاژ القایی در نقطه خطا با ادامه دادن جریان جرقه آن را تغذیه می کند. به این جریان، جریان جرقه مجدد[۲] گفته می شود؛ که ممکن است به اندازه کافی بزرگ باشد تا خاموشی جرقه بعد از باز شدن بریکر را متوقف کند[۳].

با افزایش طول خط انتقال، اثرات سلفی و خازنی متقابل افزایش می یابند که باعث افزایش زمان خاموشی جرقه در خطای تکفاز به زمین خواهد شد. (بخش عمده جریان جرقه مجدد خازنی است)[۳].

برای بهبود پایداری سیستم می توان از وصل مجدد[۳] سریع بریکر بهره گرفت. با بالا رفتن سطح ولتاژ، زمان بازسازی عایق درون بریکر افزایش یافته و پایداری سیستم در معرض خطر قرار می گیرد. همچنین در این حالت قدرت اتصال کوتاه و در نتیجه جریان اتصال کوتاه افزایش می یابد؛ لذا زمان لازم برای دی یونیزاسیون و خاموشی جرقه نیز افزایش می یابد. قبل از وصل مجدد دی یونیزاسیون هوا باید تمام شود. بنابراین وصل مجدد با یک تأخیر انجام خواهد شد که این تأخیر با حاشیه پایداری تناقض دارد[۱].

یکی از راه‌حلهای ممکن برای افزایش پایداری سیستم ولتاژ بالا، وصل مجدد خودکار تکفاز(SPAR[۴]) است. با این کار می توان بهره برداری از خطوط انتقال را به حالت نرمال باز گرداند. اثرات پیچشی کمتر وارد بر شفت ژنراتور-توربین، مزیت دیگر سوئیچینگ تکفاز نسبت به وصل مجدد سه فاز است[۴].

اگر قبل از شروع وصل مجدد جرقه کاملاً خاموش شود، این عمل موفقیت آمیز خواهد بود. یکی از روشهای متداول برای داشتن وصل مجدد تکفاز سریع و موفق، استفاده از راکتور نوترال در مرکز ستاره راکتورهای شنت خط جبران شده موازی می باشد[۲].

راکتور نوترال با حذف اثرات متقابل خازنی بین فازهای سالم و فاز آسیب دیده، دامنه جریان جرقه مجدد و ولتاژ بازگشتی را کاهش می دهد. لذا موجب خاموشی سریعتر جرقه و اطمینان از SPAR موفق می شود[۵].

در مرجع [۲] فاکتورهای مهم مؤثر بر خاموشی سریعتر جرقه برای سطوح مختلف جبران سازی خط انتقال، مورد بررسی قرار گرفته است.

مرجع [۳] به بررسی تأثیر مقدار راکتانس راکتور نوترال بر جریان جرقه مجدد خطای تکفاز به زمین خط دو مداره پرداخته است.

تأثیر تغییرات تصادفی جرقه بر زمان خاموشی آن در مرجع [۴] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مقاله اهمیت در نظر گرفتن طبیعت گسترده خط انتقال و همچنین رفتار غیر خطی مقاومت جرقه را نشان می دهد. پارامترهای جرقه در این مقاله با اندازه گیری توسط آزمایشاتی واقعی تعیین شده اند.

در مرجع [۵] اهمیت بهینه سازی پارامترهای قابل تنظیم سیستم انتقال برای داشتن عملکرد بهتر از نظر تلفات، قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری جهت بارگذاری مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در مورد تأثیر محل وقوع خطا در خط، بر مقدار مؤثر هارمونیک اول جریان جرقه مجدد بحث شده است.

مرجع [۶] به مطالعه تحلیلی مشخصه ولتاژ-جریان جرقه یک خطای جریان بالا و مقایسه آن با اندازه گیری‌های بدست آمده از آزمایشات عملی انجام شده پرداخته است.

در بسیاری از مقالات تأثیرات راکتور نوترال بدون مدلسازی دقیق جرقه و سیستم و با استفاده از تحلیلهای حالت ماندگار تعیین می شود. در حالی‌که برای تعیین دقیق اثرات، آنالیز گذرا هم باید انجام شود.

۱Arc

۲ secondary arc current

۳ reclosing

4 Single-phase auto-reclosing

در این مقاله با مدلسازی دقیق رفتار غیر خطی مقاومت جرقه در نرم افزارEMTP، جریان جرقه مجدد و زمان خاموشی آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. برای تعیین تأثیر راکتانس راکتور نوترال، خطای تکفاز به زمین یک خط جبران شده موازی شبیه سازی و مطالعه شده است.

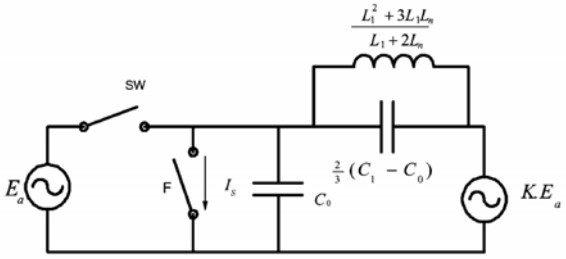
انتخاب راکتانس راکتور نوترال

مقدار مناسب راکتور نوترال مقداری است که به جریان جرقه مجدد و ولتاژ جرقه کمتری منجر شود. وقتی راکتور نوترال وجود ندارد جریان جرقه مجدد در بدترین حالت (یعنی مقاومت جرقه صفر) از رابطه زیر بدست می‌آید[۱]:

$$I_s = \frac{E_a \omega (C_1 - C_0)}{3} \qquad (۱)$$

در این رابطه C_1، خازن توالی مثبت خط، C_0 خازن توالی صفر خط و E_a دامنه ولتاژ فازهای سالم نسبت به زمین می باشد.

در خط جبران شده موازی که در مرکز ستاره راکتورهای شنت آن، راکتور نوترال($X_n = L_n.\omega$) قرار گرفته است، یک شاخه سلفی موازی شاخه خازنی می شود. در شکل۱ مدار معادل ساده شده فاز آسیب دیده در حالت وجود راکتور نوترال نمایش داده شده است.



شکل۱: مدار معادل ساده شده فاز آسیب دیده [۱]

به‌منظور حذف جریان خازنی، شاخه های سلفی و خازنی باید اثر هم را خنثی کنند، لذا مقدار مناسب راکتور نوترال از رابطه (۲) بدست می آید[۷]:

$$X_n = \frac{X_r^2 (B_1 - B_0)}{3 * [1 - X_r (B_1 - B_0)]} \qquad (۲)$$

در این رابطه B_1 و B_0 سوسپتانس توالی مثبت و صفر خط، X_r راکتانس معادل راکتور شنت و X_n راکتور نوترال است.

مدلسازی جرقه

پیاده سازی رفتار واقعی جرقه بوسیله شبیه سازی کامپیوتر، بخاطر ویژگیهای تصادفی آن مشکل است. هر مدلی از جرقه نیاز به چند پارامتر ورودی دارد که فقط از راه اندازه گیری تعیین می شوند. مدل بدست آمده در یک مورد ممکن است برای موارد دیگر نتایج نادرست بدهد.

برای مثال طول جرقه به پارامترهای محیطی نظیر باد، دما و... وابسته است که در نظر گرفتن دقیق این تأثیرات تصادفی در مدل مشکل است[۲].

با این حال مدلهای جریان جرقه فعلی که بر پایه معادله دیفرانسیل هدایت جرقه اند، می توانند بصورت موفق برای تخمین حداکثر دوام جرقه (بعنوان بدترین حالت) بکار روند. روابط (۳) تا (۵) معادلات مدل هدایت جرقه را نشان می دهند[۱] و [۴].

$$\frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau}(G - g) \qquad (۳)$$

$$G = \frac{|i_{arc}|}{(u_0 + r_0 |i_{arc}|).l_{arc}(t)} \qquad (۴)$$

$$\tau(l) = \tau_0 (\frac{l_{arc}}{l_0})^{\alpha} \qquad (۵)$$

پارامترهای این روابط بصورت زیر تعریف می شوند:

g: هدایت لحظه ای جرقه

τ: ثابت زمانی جرقه

G: هدایت جرقه ایستا

$l_{arc}(t)$: طول لحظه ای جرقه

u_0: ولتاژ مشخصه بر طول جرقه

r_0: مقاومت مشخصه بر طول جرقه

l_0: طول اولیه جرقه

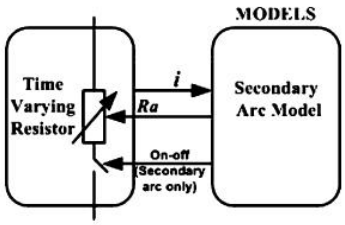
α: ضریبی بین 0.1- و0.6- (ثابت زمانی با طول نسبت عکس دارد.)

پارامترهای u_0، l_0 و τ_0 از اندازه گیری بدست می آیند. تابعیت طول جرقه نسبت به زمان، مهمترین فاکتور مؤثر بر مدت دوام جرقه و خاموشی آن است.

در شبیه سازیهای انجام شده، برای طول جرقه تابعیتی مطابق رابطه (۶) در نظر گرفته شده است[۸].

$$l(t)=\begin{cases} l_0 & t_s<0.1 \\ 10*l_0 & t_s>0.1 \end{cases} \qquad (۶)$$

در این رابطه t_s مدت زمان برقراری جریان جرقه مجدد است. برای مدلسازی جرقه خطای تکفاز به زمین در نرم افزار EMTP، از یک مقاومت متغیر با زمان بین فازA و زمین مطابق شکل۲ استفاده شده است. مقدار این مقاومت از حل همزمان معادلات هدایت جرقه تعیین می شود. برای پیاده‌سازی روابط، از بلوکهای مناسب بخش MODEL/TACS استفاده شده است.



شکل۲: مدلسازی رفتار جرقه بصورت یک مقاومت متغیر با زمان

با توجه به طبیعت تصادفی جرقه، برای آن سه مدل Arc1،Arc2 و Arc3 مطابق جدول۱ در نظر گرفته شده و شبیه سازیها بر اساس این موارد انجام گردیده است.

جدول۱ : پارامترهای جرقه در سه حالت مفروض [۶]

	$u_0(v/cm)$	$l_0(m)$	$\tau_0(ms)$
Arc1	12	3.5	0.714
Arc2	8	3.15	0.555
Arc3	11	3.5	0.833

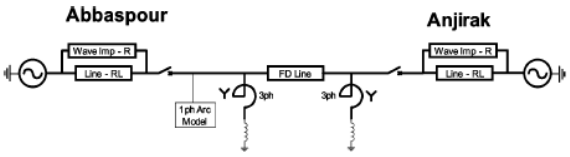
برای بررسی تأثیر مقدار راکتور نوترال بر زمان خاموشی جرقه شبیه سازیهای متعددی انجام شده است. در تمام این شبیه سازیها فرض شده که خطای تکفاز به زمین در لحظه t=0 رخ داده و در t=0.1s فاز آسیب دیده بوسیله بریکرها از دو انتهایش ایزوله می شود. خاموشی جرقه با دو معیار سنجیده شده است:

- وقتی اندازه دامنه جریان جرقه کمتر از 1A شود (مطابق مرجع[۱]).
- وقتی هدایت جرقه از $50\mu S.m$ کمتر شود (مطابق مرجع[۴]).

مدت دوام جرقه برابر زمان خاموش شدن جرقه منهای 0.1s (بعد از عملکرد بریکرها) است. منظور از زمان خاموشی جرقه۱ در اینجا، مدت دوام۲ آن است.

سیستم مورد مطالعه

خط جبران شده مورد مطالعه یکی از خطوط انتقال شبکه ملی ایران (خط 400kV عباسپور–انجیرک) است که در هر انتهایش دارای یک راکتور شنت 50MVAR می باشد(شکل۳).



شکل۳: خط انتقال مورد مطالعه [۱]

برای مدلسازی خط از مدل وابسته به فرکانس خط در نرم افزارEMTP (مدلJMARTI) استفاده شده است. طول این خط 264km بوده و بصورت متقارن ترانسپوز شده است. مشخصات منابع از مطالعات اتصال کوتاه در باسهای عباسپور و انجیرک بدست آمده است. برای واقعی‌تر شدن مدل، امپدانس موجی ۲۰۰ اهم بصورت موازی با امپدانس منبع در نظر گرفته شده است. مشخصات دقیقتر در مرجع [۱] ارائه شده است.

راکتور شنت بکار رفته برای جبران موازی خط بوسیله یک سلف $X=3200\Omega$ سری با یک مقاومت ۱۰ اهمی مدل شده است. راکتور نوترال یک راکتور تکفاز می باشد.

مدلسازی سیستم

چون اتصال کوتاه در باس عباسپور سطح بالاتری از باس انجیرک دارد، پریود خاموشی در آن طولانی‌تر است. لذا در تمام شبیه سازیها (برای در نظر گرفتن بدترین حالت) اتصال کوتاه در انتهای باس عباسپور فرض شده است که بیشترین جریان جرقه مجدد را نتیجه می دهد.

در شکل۴ دیاگرام شبکه و مدل پیاده سازی شده برای جرقه در نرم افزار EMTP بصورت کامل دیده می شود.

[1] arc extinction time
[2] arc existence period

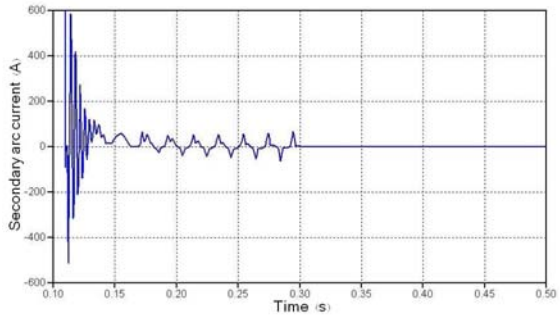
نتایج شبیه‌سازی

شبیه سازیها در دو وضعیت کلی برای نوترال انجام شده است:

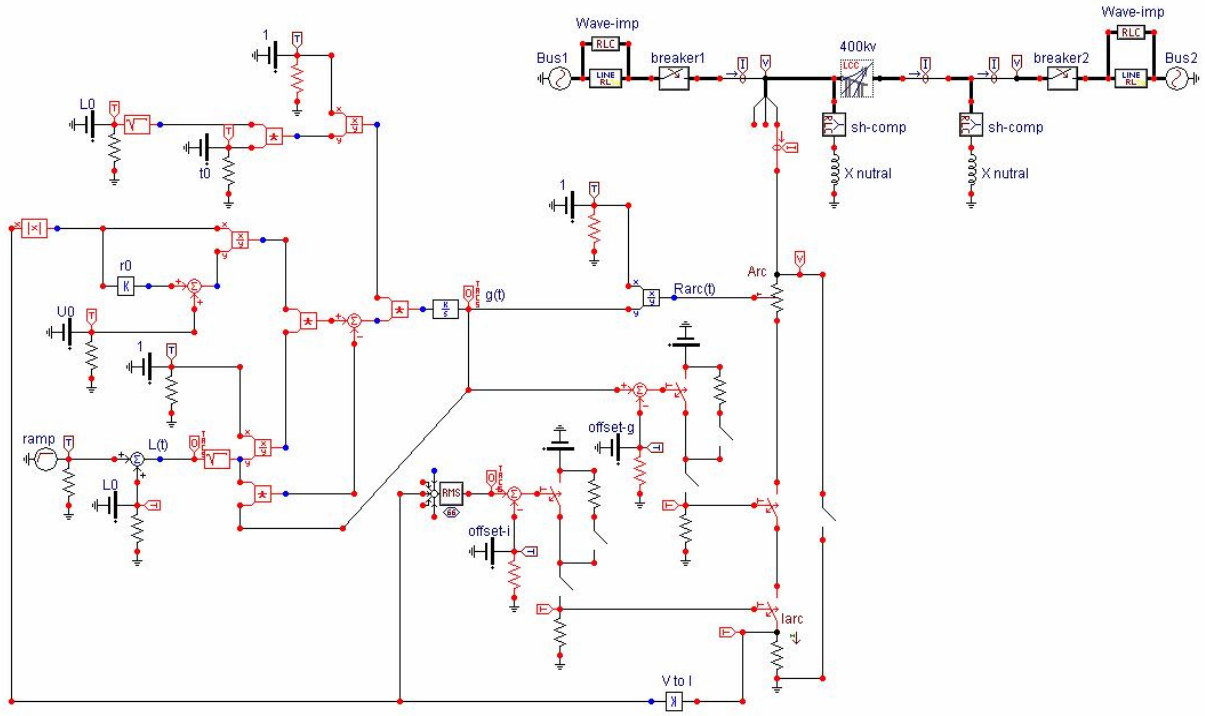
۱- راکتور خالص در نوترال

۲- راکتور در نوترال با در نظر گرفتن مقاومت اهمی

برای خط ترانسپوز شده متقارن، جرقه از نوع ARC3 و راکتور نوترال ۴۰۰ اهمی، جریان جرقه مجدد مطابق شکل۵ می‌باشد. زمان خاموشی جرقه در این حالت برابر ۰.۲ ثانیه است(۰.۲=۰.۱-۰.۳).

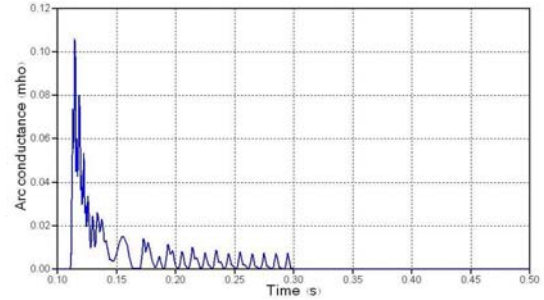


شکل۵: جریان جرقه مجدد ($X_n = 400\,\Omega$)



شکل۴: شماتیک مدل سیستم در EMTP

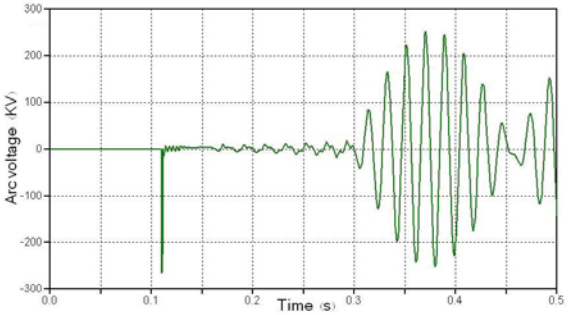
در شکل۶ تغییرات هدایت لحظه ای جرقه بر حسب زمان برای حالت قبل رسم شده است. نمودار نشان می دهد هدایت جرقه حالتی نوسانی دارد ولی به مرور زمان کاهش می یابد. غیر خطی بودن معادلات دیفرانسیل مربوط به هدایت جرقه و وابستگی آن به جریان، مطالعه تحلیلی آن را پیچیده می سازد.



شکل۶: هدایت جرقه ($X_n = 400\,\Omega$)

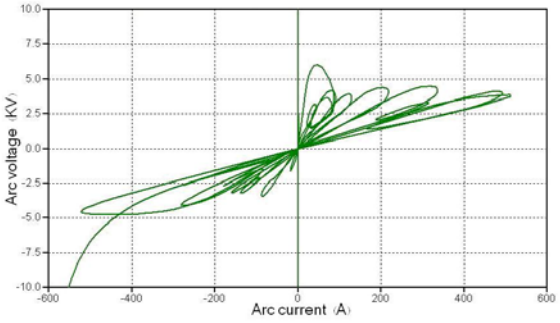
در شکل۷ ولتاژ دو سر جرقه بر حسب زمان رسم شده است. لحظاتی پس از باز شدن بریکر، فرکانس اصلی نوسانات برابر فرکانس منبع(۵۰ هرتز) است. با کاهش دامنه جریان، ولتاژ ابتدای خط(ولتاژ جرقه) کم کم افزایش می یابد.

در لحظه خاموش شدن جرقه (۰.۳ ثانیه) دامنه ولتاژ حدود ۲۰کیلو ولت می باشد. پس از رفع خطا وضعیت نوسانی مطابق شکل ادامه پیدا می کند تا زمانی‌که بریکر مجدداً وصل شود. (البته وصل مجدد بریکر در اینجا بررسی نشده است.)



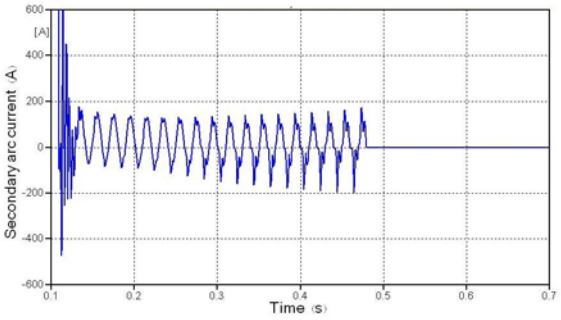
شکل۷: ولتاژ جرقه ($X_n = 400\,\Omega$)

در شکل۸ مشخصه ولتاژ–جریان جرقه در مدت برقراری آن رسم شده است. در این نمودار رفتار غیر خطی Arc و دامنه تغییرات ولتاژ و جریان آن در طول زمان برقراری، به سادگی دیده می شود.



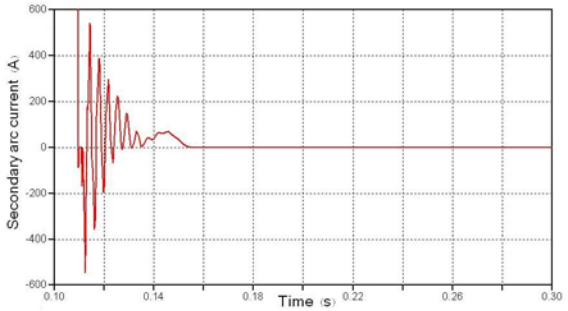
شکل۸: مشخصه ولتاژ–جریان جرقه ($X_n = 400\,\Omega$)

شکل۹ تغییرات جریان جرقه مجدد برای حالتی که نوترال راکتورهای جبران موازی ایزوله است، را نشان می دهد. ملاحظه می شود که در این حالت زمان خاموشی جرقه به حدود ۰.۳۸۱ ثانیه افزایش می یابد.



شکل۹: جریان جرقه مجدد (نوترال ایزوله)

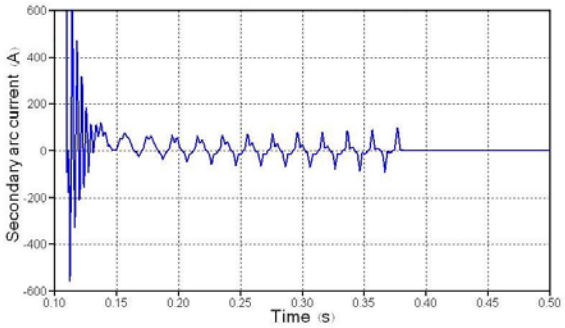
در شکل۱۰ جریان جرقه مجدد در حالت نوترال زمین شده رسم شده است. زمان خاموشی جرقه در این حالت برابر ۰.۰۵۷ ثانیه است.



شکل۱۰:جریان جرقه مجدد (نوترال زمین شده)

در شکل۱۱ خروجی برنامه برای خط ترانسپوز نشده ارائه شده است. ملاحظه می شود که زمان خاموشی جرقه از ۰.۲ ثانیه (در شکل۴) به ۰.۲۸۳ ثانیه افزایش یافته است.

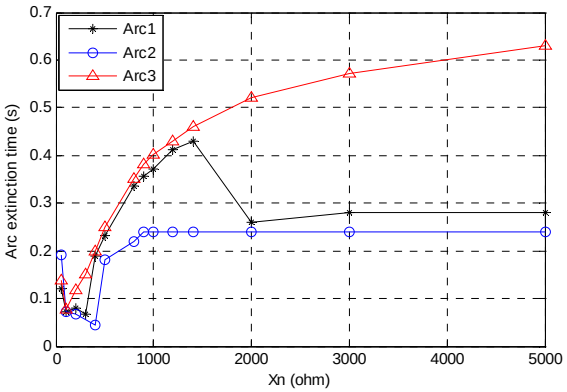
شبیه سازی در حالتهای دیگر جرقه و مقادیر مختلف راکتور نوترال نیز این مطلب را تأیید می کند که وقتی خط ترانسپوز نشده است، جرقه دیرتر خاموش می شود.



شکل۱۱: جریان جرقه مجدد برای خط ترانسپوز نشده

($X_n = 400\,\Omega$)

با شبیه‌سازی سیستم مورد مطالعه برای مقادیر مختلف راکتانس راکتور نوترال و در سه حالت جرقه مطابق جدول۱، مقادیر زمان خاموشی جرقه مشاهده و جمع آوری شده است. شکل۱۲ تغییرات زمان خاموشی جرقه نسبت به تغییرات راکتانس راکتور نوترال را نشان می دهد.



شکل۱۲: تغییرات زمان خاموشی جرقه نسبت به تغییرات X_n برای هر سه نوع Arc

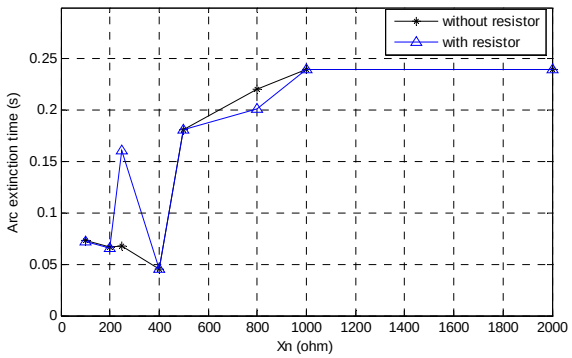
ملاحظه می شود اگر X_n در بازه ۱۰۰ تا ۴۰۰ اهم انتخاب شود، زمان خاموشی جرقه (در هر سه حالت جرقه) کمترین مقدار خواهد بود.

همچنین نمودار نشان می دهد که در رنجی از مقادیر راکتور نوترال، زمان خاموشی جرقه تغییرات چندانی ندارد. در تمام مقادیر X_n، زمان جرقه متناظر Arc3 (جرقه قویتر) از دو حالت دیگر بیشتر است.

در نظر گرفتن مقاومت اهمی X_n در شبیه سازی

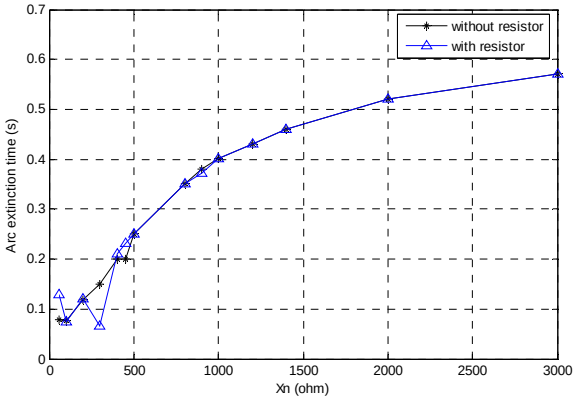
برای بررسی اثر مقاومت راکتور، مقاومت اهمی سری به اندازه ۸٪ راکتانس آن، برای راکتور در نظر گرفته شده است. برنامه برای چند حالت مختلف اجرا شده که نتایج آن در شکل۱۳ دیده می شود.

ملاحظه می شود بجز دو مورد، در بقیه حالتها زمان خاموشی جرقه تغییری نمی کند.



شکل۱۳: اثر در نظر گرفتن مقاومت راکتور و عدم آن (Arc2)

در شکل۱۴ شبیه سازی در مقادیر مختلف راکتانس راکتور نوترال برای جرقه از نوع Arc3 تکرار شده است. با دقت در این شکل صحت نتیجه گیری قبل تأیید می شود.



شکل۱۴: اثر در نظر گرفتن مقاومت راکتور و عدم آن (Arc3)

بنابراین با توجه به نتایج شکلهای۱۳ و۱۴ می توان گفت؛ در نظر نگرفتن مقاومت اهمی راکتور نوترال تأثیر قابل توجهی بر زمان خاموشی جرقه نداشته و لطمه ای به نتایج برگرفته شده از شبیه سازیها وارد نمی کند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله زمان خاموشی جرقه مجدد ناشی از خطای تکفاز به زمین، در یک خط جبران شده موازی مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه سازیها برای مقادیر مختلف راکتانس راکتور انجام شده و نتایج بدست آمده ارائه شده اند.

با مدلسازی دقیق جرقه در نرم افزار EMTP بصورت یک مقاومت متغیر با زمان و با در نظر گرفتن معادلات غیر خطی توصیف کننده رفتار جرقه، نتایج قابل قبولی در شبیه سازیها بدست آمده است. استفاده از مدل فوق امکان بسیاری از مطالعات اتصال کوتاه را فراهم می سازد.

مهمترین نتایج بدست آمده از این شبیه سازیها عبارتند از:

- ✓ با آنالیز گذرا می توان زمان خاموشی جرقه را به درستی تعیین کرد.
- ✓ زمان خاموشی جرقه برای خط ترانسپوز نشده بیشتر از خط ترانسپوز شده می باشد.
- ✓ در نظر نگرفتن مقاومت اهمی راکتور بکار رفته در نوترال راکتورهای شنت خط جبران شده موازی، امری منطقی است.
- ✓ تغییر راکتانس راکتور نوترال در یک رنج مشخص تأثیر قابل توجهی بر زمان خاموشی جرقه ندارد و X_n در بازه فوق می تواند بر مبنای سادگی در طراحی، در دسترس بودن، هزینه و ... انتخاب شود.

مراجع

[1] Mohammad Reza Dadash Zadeh, Majid Sanaye-Pasand, and Ali Kadivar, **Investigation of Neutral Reactor Performance in Reducing Secondary Arc Current**", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 23, no. 4, October 2008.

[2] M.I Khoroshev, V. Faybisovich, **"Analysis of adaptive single phase autoreclosing for high voltage transmission lines with various compensation levels",** Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES 10-13 Oct. 2004 Page(s):598 - 602 vol.1

[3] R. N. Nayak, Y. K. Sehgal, S. Sen, and M. Gupta, "**Optimization of neutral grounding reactor parameters-an analysis for a double circuit EHV line**," in Proc. IEEE Power India Conf., Apr. 10–12, 2006, pp1–5.

[4] L. Prikler,M. Kizilcay, G. Ban, and P. Handl, "**Improved secondary arc model based on identification of arc parameters from staged fault test records**", in Proc. 14th PSCC, Sevilla, Spain, Jun. 24–28, 2002.

[5] M. C. Tavares and C. M. Portela, **"Transmission system parameters optimization sensitivity analysis of secondary arc current and recovery voltage,"** IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 19, no. 3, pp. 1464–1471, Jul.2004.

[6] Yutaka Goda, Senior Member, IEEE, Mikimasa Iwata, Koichi Ikeda, and Shin-ichi Tanaka, "**Arc Voltage Characteristics of High Current Fault Arcs in Long Gaps**" ,IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 15, no. 2, April 2000.

[7] Committee Report, **"Single phase tripping and auto re-closing of transmission lines,"** IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 7, no. 1, pp. 182–192, Jan. 1992.

[8] Ivan M. Dudurych, T. J. Gallagher, and E.Rosolowski, "**Arc Effect on Single-Phase Reclosing Time of a UHV Power Transmission Line**", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 19, no. 2, April 2004.

[9] Allan Greenwood, "**Electrical Transients in Power System, Second Edition**", John Wiley & sons, Inc, 1991.