بررسی احتمالی میزان ولتاژ گذرای بازگشتی در کلیدهای قدرت در خطوط انتقال جبران شده با خازن سری با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو

سید محسن صدر
دانشجوی کارشناسی ارشد قدرت
Sadr_mohsen@yahoo.com

جواد ساده
استادیار
sadeh@um.ac.ir

گروه برق، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
با همکاری دفتر تحقیقات و استاندارد, برق منطقه ای خراسان

واژه‌های کلیدی: ولتاژ گذرای بازگشتی، کلیدهای قدرت، خطوط جبران شده با خازن سری، شبیه سازی مونت کارلو

چکیده

در این مقاله دیدگاهی احتمالی[1] جهت بررسی تاثیر جبرانسازی خازن سری بر روی ولتاژ گذرای بازگشتی(TRV[2]) معرفی گردیده است. عموماً خازن سری به منظور افزایش ظرفیت انتقال توان خطوط مورد استفاده قرار می گیرد. در اغلب موارد وجود خازن سری سبب افزایش قابل توجه میزان TRV می‌گردد, لذا به هنگام جبرانسازی سری خطوط انتقال ضروری است تا مطالعات گذرا برای طراحی کلیدها انجام پذیرد. تا کنون تحلیل TRV عموماً با دیدگاه قطعی صورت گرفته است، اینگونه تحلیل ها به دلیل در نظر گرفتن بدترین شرایط ممکن به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. عوامل غیر قطعیِ نوع خطا, مکان خطا,لحظهٔ وقوع خطا و زمان برطرف شدن خطا تاکنون در تحلیل های با دیدگاه احتمالی مورد توجه قرار گرفته اند, لیکن مقاومت خطا در این تحلیل ها در نظر گرفته نشده است. یکی از نکات قابل توجه در این مقاله در نظر گرفتن عامل تاثیرگذار و غیر قطعی مقاومت خطا می باشد. حذف مدلسازی مقاومت خطا سبب افزایش TRV می گردد, لذا به جوابهای محافظه کارانه ای منجر می شود که افزایش هزینه را دربر خواهد داشت. در این مقاله از شبیه سازی مونت کارلو برای سنجش ماکزیمم TRV استفاده گردیده است. بهره گیری از این روش علاوه بر میسرساختن محاسبه مقدار ماکزیمم TRV مورد انتظار, امکان تعیین توزیع احتمال این ولتاژ را نیز فراهم می نماید. شبیه سازی برای دو حالتی که خازن در طرفین خط و یا در وسط خط نصب گردد، انجام گردیده است.

1. Probabilistic Apprroach
2. Transient Recovery Voltage

۱ـ مقدمه

با وقوع تجدید ساختار در صنعت برق و ایجاد بازارهای رقابتی, خطوط انتقال در وضعیتی نزدیک به حدود پایداریشان مورد بهره برداری قرار می گیرند. این موضوع موجب استفاده روزافزون از ادوات جبرانساز به منظور بهبود پایداری ، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش ظرفیت انتقال توان خطوط گشته است. رایج ترین شیوه برای افزایش ظرفیت انتقالی خط, استفاده از خازن سری می باشد. پدیده افزایش TRV در دو سر کلید های قدرت خطوط انتقال جبران شده با خازن سری در زمان برطرف نمودن جریان خطا از سال ها قبل شناخته شده و مورد توجه قرار داشته است. افزایش میزان TRV به سبب بارهای بدام افتاده در خازن سری در لحظه قطع جریان می باشد. به عبارت دیگر ولتاژ متناظر با بارهای بدام افتاده به میزان TRV در حالت عدم وجود خازن سری افزوده می گردد . تحلیلهای جامعی در مورد این پدیده در مراجع [۴ـ۱] ارائه گردیده است.

علیرغم اینکه عوامل غیر قطعی متعددی در تحلیل TRV موثر می باشند ولی تاکنون تحلیل TRV عموماً در یک چهارچوب قطعی صورت گرفته است. اگر چه مطالعات صورت پذیرفته با دیدگاه قطعی در عمل بطور گسترده و موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است ، اما اینگونه تحلیلها به دلیل در نظر گرفتن بدترین شرایط ممکن, مستلزم صرف هزینه زیادی بوده و به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود.

در مراجع [۶ و۵] یک شیوه احتمالی برای بررسی پدیده افزایش TRV در خطوط جبران شده با خازن سری ارائه گردیده است و تکنیک شبیه سازی مونت کارلو برای ارزیابی ماکزیمم TRV در چنین خطوطی مورد استفاده قرار گرفته است. لیکن فاکتور تاثیر گذار و غیر قطعی مقاومت خطا در نظر گرفته نشده است و همچنین شبیه سازی تنها برای حالتی که خازن سری در طرفین خط انتقال وجود دارد انجام گرفته است.

در این مقاله فاکتور غیر قطعی مقاومت خطا معرفی گشته ومدلی احتمالی برای آن ارائه شده است. در ادامه شبیه سازی برای دو حالت:

۱- وجود خازن سری در وسط خط

۲- وجود خازن سری در طرفین خط

با بهره گیری از نرم افزار MATLAB انجام گرفته است. نتایج حاصل از این شبیه سازی ها تفاوت میزان ولتاژ بازگشتی برای این دو حالت را بخوبی نمایان می سازد.

یکی از مهمترین مزایای بهره گیری از تکنیک شبیه سازی مونت کارلو برای بدست آوردن ماکزیمم TRV در دو سر کلیدهای قدرت, امکان محاسبه ریسک تجاوز ولتاژ دو سر کلید قدرت از مقدار طراحی شده و در نتیجه عدم موفقیت در قطع جریان می باشد.

۲ـ معرفی عدم قطعیتهای موجود در میزان TRV

اصلی ترین فاکتورهای عدم قطعیت شناخته شده و تاثیر گذار در ارزیابی ولتاژ بازگشتی گذرا عبارتند از :

۲-۱- نوع خطا :

یک خط انتقال در معرض وقوع انواع مختلف خطا می باشد. در این مطالعه برای نوع خطا پنج حالت خطای سه فاز، سه فاز به زمین، فاز به فاز ، دو فاز به زمین وتکفاز به زمین, در نظر گرفته می شود.

احتمال مربوط به وقوع هر کدام از این خطاها به عواملی نظیر ولتاژ کار سیستم، شرایط جوی, موقعیت جغرافیایی خط انتقال و... بستگی داشته و لذا می تواند از یک خط انتقال به خط انتقال دیگر تغییر نماید. احتمال رخداد هر یک از این خطاها از داده های واقعی و آماری مربوط به وقوع خطا در خط (شبکه) مورد نظر حاصل می گردد.

۲-۲- مکان خطا :

هر چه فاصله محل وقوع خطا و باسهای تولید بیشتر باشد شدت جریان خطای حاصله کمتر خواهد بود. از طرفی نوع شکل موج ولتاژ بازگشتی گذرا و شدت آن تابعی از فاصله محل خطا تا کلید قدرت می باشد. با توجه به اینکه امکان وقوع خطا در هر نقطه ای از طول خط انتقال وجود دارد لذا محل خطا یک پارامتر تصادفی و تاثیر گذار می باشد که در مطالعات بایستی به آن توجه نمود.

۲-۳- لحظه وقوع خطا :

لحظه وقوع خطا تعیین کننده مقدار مولفه dc میرا شونده در جریان خطا می باشد که این مولفه dc جریان خطا ، لحظه عبور جریان خطا از صفر را معین می نماید. لذا میزان بار بدام افتاده در خازنهای سری خط یا به عبارت دیگر شرایط اولیه مدار در حالت قطع جریان وابسته به لحظه وقوع خطا می باشد.

۲-۴- زمان برطرف شدن خطا:

زمان برطرف شدن خطا از خط تابعی از زمان های عملکرد تجهیزات مرتبط با تشخیص خطا و برطرف نمودن آن می باشد. توزیع احتمال زمان برطرف شدن خطا وابسته به سیستم حفاظتی می باشد، در نتیجه بدست آوردن چنین توزیع احتمالی مستلزم اطلاع دقیق از وضعیت سیستم حفاظتی(رله ها و کلید های قدرت) موجود در شبکه می باشد. این عدم قطعیت در شرایط وجود رله هایی با زمان عملکرد غیر ثابت از اهمیت بالاتری برخوردار می باشد.

۲-۵- امپدانس خطا :

امپدانس خطا عاملی است که تاکنون در مطالعات مربوط به تحلیل ولتاژ بازگشتی گذرا با دیدگاه احتمالی و قطعی مورد توجه قرار نگرفته است. خطاهای زمین عموماً در اثر شکست عایقی (Flashover) عایقهای (مقره های) خطوط در اثر القاء ناشی از صاعقه و یا خرابی عایقها رخ می دهد. مسیر جریان برای خطاهای زمین شامل, جرقه (آرک), امپدانس دکل و امپدانس بین پایه دکل و زمین (مقاومت پای دکل) می باشد. دکل دارای امپدانس مختلطی بوده در حالیکه امپدانس پای دکل اساساً مقاومتی می باشد.

یک مقدار معمول برای مقاومت جرقه Ω ۱یا Ω ۲ می باشد. مقاومت پای دکل برای خطوط مختلف و حتی برای دکلهای مختلف یک خط متفاوت می باشد و می تواند از کمتر از Ω ۱ تا چند صد اهم تغییر نماید. با در نظر گرفتن عوامل فوق بسیار دشوار است تا مقدار مقاومت خطا را به عنوان پارامتری قطعی در نظر بگیریم. مقاومتی بودن این امپدانس یک فرض متداول بوده و عدم قطعیت مقدار این مقاومت توسط یک تابع توزیع احتمال مدل می گردد.

۳ـ مدلهای ریاضی عوامل عدم قطعیت:

در این بخش مدلهای ریاضی عوامل غیر قطعی که در بخش قبل معرفی شدند ارائه می گردند. در این تحلیل فرض می شود که تمامی عوامل موثر در میزان ولتاژ بازگشتی گذرا از یکدیگر مستقل می باشند.

۳-۱- نوع خطا :

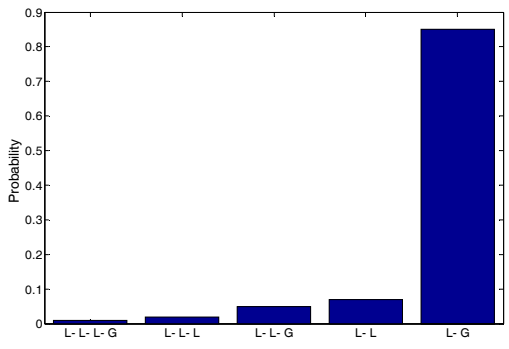
عدم قطعیت در نوع خطا را می توان توسط تابع توزیع یکنواخت مدلسازی نمود. فرض کنیم FT نشان دهنده نوع خطا باشد. عدد تصادفی R_1 که بطور یکنواختی در بازه [0] 1تولید می گردد, برای تعیین نوع خطا بر اساس رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

$$FT=\begin{cases} 3LG & if \quad R_1 < P_{3LG} \\ 3L & if \quad P_{3LG} \le R_1 < (P_{3LG}+P_{3L}) \\ 2LG & if \quad (P_{3LG}+P_{3L}) \le R_1 < (P_{2LG}+P_{3L}+P_{3LG}) \\ 2L & if \quad (P_{2LG}+P_{3L}+P_{3LG}) \le R_1 < (P_{2LG}+P_{2L}+P_{3L}+P_{3LG}) \\ LG & if \quad R_1 \ge (P_{2L}+P_{2LG}+P_{3L}+P_{3LG}) \end{cases} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ (۱)، $P_{LG}, P_{2L}, P_{2LG}, P_{3L}, P_{3LG}$ به ترتیب عبارتند از : احتمال رخ داد خطای سه فاز به زمین، خطای سه فاز ، خطای دو فاز به زمین، خطای دو فاز و خطای تکفاز به زمین. تابع چگالی احتمال مورد استفاده در شبیه سازی این مقاله بصورت زیر بوده

P_{3LG}=%1, P_{3L}=%2, P_{2LG}=%5, P_{2L}=%7, P_{LG}=%85.

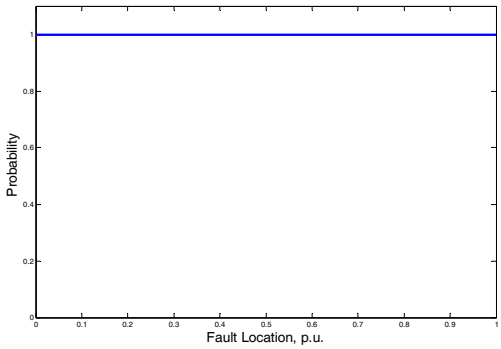
و در شکل(۱) ترسیم شده است.



شکل(۱) مدل احتمالی برای نوع خطا

۳-۲- مکان خطا:

عدم قطعیت در مکان خطا توسط تابع توزیع احتمال یکنواخت مدلسازی شده است. عددی تصادفی که بطور یکنواختی در بازه[1 0] تولید می گردد, مکان خطا را به صورت در واحد (پریونیت) مشخص می کند. مدل احتمالی مکان خطا در شکل (۲) نشان داده شده است.



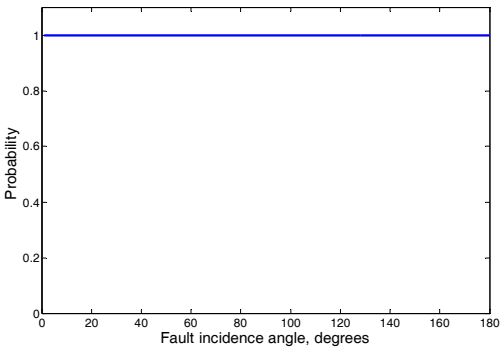
شکل(۲) مدل احتمالی برای مکان خطا

۳-۳- لحظه وقوع خطا :

لحظه وقوع خطا عموماً بر اساس زاویه θ که مقدار لحظه ای ولتاژ فاز A ژنراتور سنکرون را بصورت زیر معین می کند، بیان میگردد:

$$V_A = V_{\max} Sin(\theta) \qquad (۲)$$

θ در بازه $[0,180]$ می باشد. لذا این عدم قطعیت را می توان توسط عددی تصادفی که بطور یکنواختی در بازه $[0,180]$ تولید شده است مدلسازی نمود. لذا مدل احتمالی لحظهٔ وقوع خطا بصورت شکل (۳) خواهد بود.

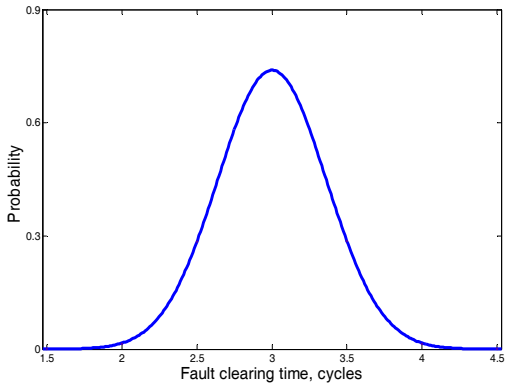


شکل(۳) مدل احتمالی برای لحظه وقوع خطا

۳-۴- زمان برطرف شدن خطا :

زمان عملکرد سیستم حفاظتی و کلید های قدرت می تواند توسط یک توزیع نرمال مدلسازی گردد. لازم به ذکر است که در نرم افزار MATLAB تابعی برای تولید اعداد تصادفی با توزیع نرمال وجود دارد که در این مطالعه از این تابع استفاده شده است.

مقدار میانگین و واریانس این توزیع با توجه به مشخصات سیستم حفاظتی خاص معین می گردد. برای شبکهٔ مورد مطالعه در این مقاله مقدار میانگین ۳ سیکل و انحراف استاندارد آن ۰/۵ سیکل در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه زمان عملکرد رله های حفاظتی در مقایسه با زمان عملکرد کلید قدرت ناچیز بوده, با دقت خوبی می توان از آن صرفنظر کرد. بنابراین با فرض کلیدهای سه سیکل می توان مدل شکل (۴) را برای زمان برطرف شدن خطا در نظرگرفت.



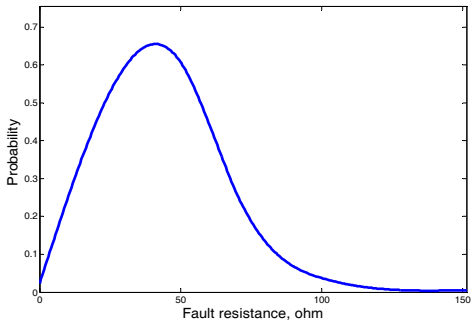
شکل(۴) مدل احتمالی برای زمان بر طرف شدن خطا

۳-۵- مقاومت خطا :

عدم قطعیت موجود در مقدار مقاومت خطا توسط توزیع نرمال لگاریتمی مدلسازی شده است. این انتخاب از این حقیقت که مقاومت خطا کمیتی همواره مثبت است ناشی می گردد. که برای این توزیع مقدار میانگین مقاومت خطا و انحراف معیار آن از مشخصات مربوط به دکلها ، نحوه زمین شدن آنها و ... تعیین می گردد.

برای تولید اعداد تصادفی با چنین توزیعی از تابع مربوطهٔ موجود در نرم افزار MATLAB استفاده شده است. برای

شبکهٔ مورد مطالعه در این تحقیق مقدار میانگین و انحراف استاندارد متناظرا ۵۰ و ۳۰ در نظر گرفته شده است . شکل(۵) توزیع عامل غیر قطعی مقاومت خطا را نشان می دهد.



شکل(۵) مدل احتمالی برای مقاومت خطا

۴-تکنیک شبیه سازی مونت کارلو

شبیه سازی مونت کارلو در زمره مهمترین و پرکاربردترین روشهای عددی برای شبیه سازی های کامپیوتری سیستم های غیر قطعی می باشد. شبیه سازی مونت کارلو را می توان به صورت یک شیوه تولید نمونه های داده تصادفی بر پایه برخی توزیعهای معلوم برای ارزیابی عددی فرآیندهایی با عدم قطعیت تعریف نمود.

با توجه به ماهیت تصادفی شبیه سازی مونت کارلو برای دستیابی به نتیجه نهایی و قابل اعتماد لازم است تعداد تکرارهای زیادی انجام شود و نتایج حاصل از در نظر گرفتن تعداد محدودی از نمونه ها معمولاً قابل استناد نمی باشد. زیرا شبیه سازی مونت کارلو بر پایه قانون اعداد بزرگ [1] عمل می نماید. این قانون بیان می نماید که اگر تعداد زیادی نمونه عددی تولید گردد نهایتا تقریبی از توزیع مورد نظر حاصل می گردد.

در تکنیک شبیه سازی مونت کارلو یک بخش اصلی تعیین عوامل غیر قطعی موجود در مسئله و مدلهای احتمالی این عوامل می باشد. در بخشهای قبلی پارامتر های غیر قطعی موثر در ولتاژ بازگشتی گذرا و مدلهای احتمالی آنها معرفی گردید. در نتیجه یک مجموعه شرایط پدیدهٔ ولتاژ بازگشتی گذرا در یک سیستم قدرت بصورت برداری می باشد که در برگیرندهٔ مقداری عددی برای هر یک از عوامل غیر قطعی موجود در مسئله است. این بردار را به شکل نمادین می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$S_K = (F_T, F_L, F_{II}, F_{CT}, F_{IMP}) \qquad (۳)$$

که در این بردار F_T ,F_L ,F_{II} ,F_{CT} و F_{IMP} متناظراً معین کنندهٔ نوع خطا, مکان خطا, لحظهٔ وقوع خطا, زمان بر طرف شدن خطا و مقاومت خطا بوده و K شمارهٔ این حالت می باشد. بدین ترتیب برای هر مجموعهٔ شرایط تولید شده توسط مونت کارلو, سیستم شبیه سازی شده و ماکزیمم ولتاژ بازگشتی گذرا محاسبه می گردد(T_K). نهایتاً پس از تعداد معینی تکرار ماکزیمم TRV مورد انتظار دو سر کلید قدرت $(\overline{T})$ یا امید ریاضی ماکزیمم TRV های محاسبه شده توسط رابطهٔ زیر بدست می آید:

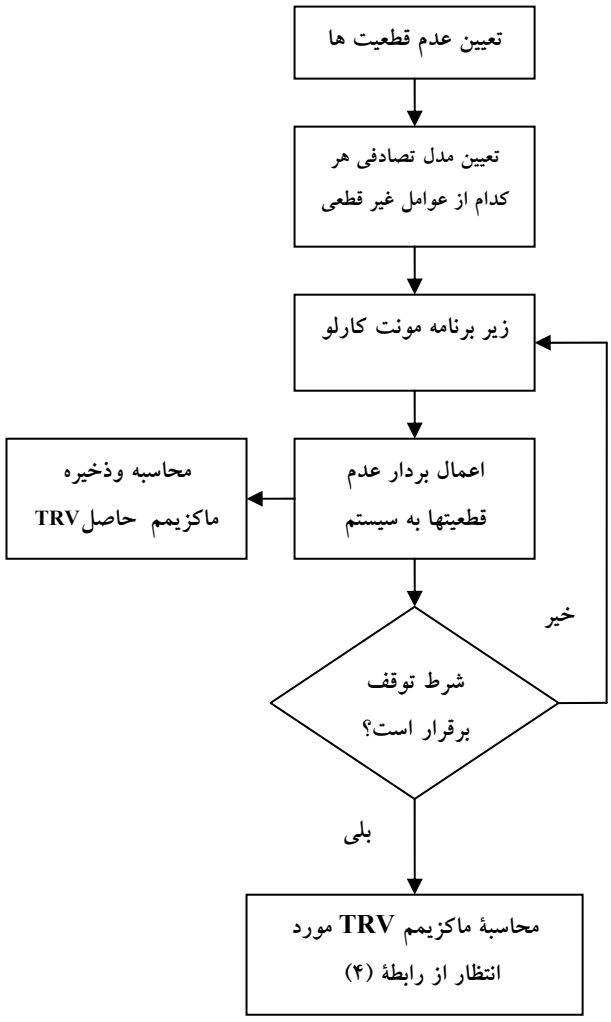
$$\overline{T} = \frac{1}{N}\sum_{K=1}^{N} T_K \qquad (۴)$$

که N تعداد حالتهای در نظر گرفته شده می باشد.

فلوچارت مراحل محاسبهٔ ولتاژ بازگشتی گذرا با استفاده از این تکنیک بصورت شکل (۶) خواهد بود. شرط توقف این الگوریتم رسیدن به حداکثر تعداد تکرار در نظر گرفته شده می باشد.

مزیت این روش نسبت به تحلیل با دیدگاه قطعی این است که علاوه بر ماکزیمم TRV مورد انتظار می توان توزیع احتمال ماکزیمم TRV در دو سر کلید قدرت را نیز بدست آورد. بدین منظور با در اختیار داشتن مقادیر ماکزیمم TRV در تکرارهای مختلف با بهره گیری از تکنیکهای آماری توزیع احتمال مورد نظر بدست می آید. با توجه به این تابع توزیع احتمال می توان احتمال اینکه ولتاژ دو سر کلید قدرت از مقدار طراحی شده آن فراتر رود را به عنوان شاخص ریسک بدست آورد.

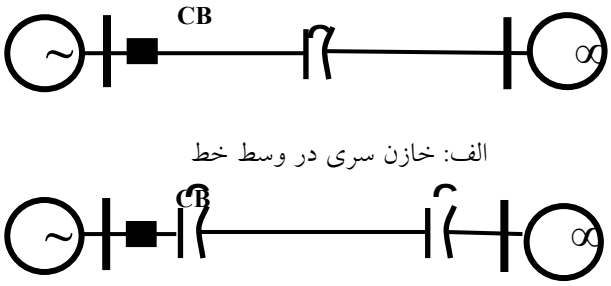
1. Law Of Large Numbers



شکل(۶) فلوچارت مراحل محاسبهٔ ولتاژ بازگشتی گذرا با استفاده از تکنیک مونت کارلو

۵- نتایج شبیه سازی

سیستم استفاده شده جهت شبیه سازی در این مقاله در شکل(۷) نشان داده شده است. این سیستم دارای سطح ولتاژ ۵۰۰kV بوده و از یک ژنراتور که از طریق یک خط انتقال به باس بینهایت متصل شده، تشکیل شده است. هر دو حالت خازن در وسط خط و در طرفین خط بررسی شده است. همچنین اثر حذف مقاومت خطا در مطالعات ولتاژ بازگشتی گذرا مورد بررسی قرار گرفته است.



الف: خازن سری در وسط خط

ب :خازن سری در طرفین خط

شکل(۷) دیاگرام تک خطی سیستم مورد مطالعه

داده های مربوط به سیستم درجدول (۱) آورده شده است. جهت مدلسازی خط انتقال از مدل گسترده آن استفاده شده است.میزان جبرانسازی ۷۰ درصد در نظر گرفته شده که درحالتی که بانکهای خازنی در طرفین خط نصب شده است, در هر طرف ۳۵ در صد جبرانسازی وجود دارد. در زیر بخشهای آتی نتایج شبیه سازی برای **دو حالت** نصب خازن سری **(در یک طرف و یا در طرفین) آورده شده است.**

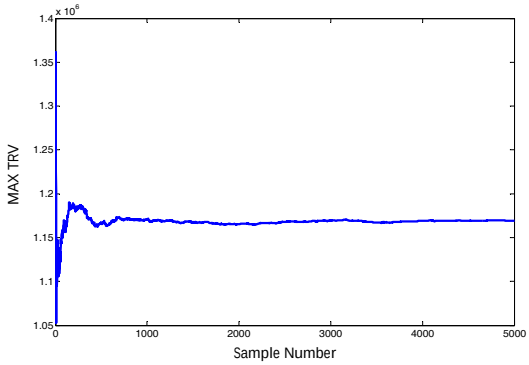
جدول(۱) مشخصات سیستم

قسمتهای سیستم	مشخصات
منبع تولیدی	R_g=۰/۰۵Ω L_g=۰/۱۳۲H C_1=۵۰۰۰pF
خط انتقال (۳۰۰کیلومتر)	R_1=۰/۰۱۸۶۴Ω/km R_0=۰/۴۱۵۲Ω/km L_1=۰/۹۸۸ mH/km L_0=۲/۸۴ mH/km C_1=۱۱/۸۶nF/km C_0=۷/۷۵۱nF/km
باس بینهایت	P_0=۱۵۰۰MW Q_0=۹۰۰MVAR
سطح جبرانسازی	۷۰ درصد

۵-۱- تاثیر محل نصب خازن

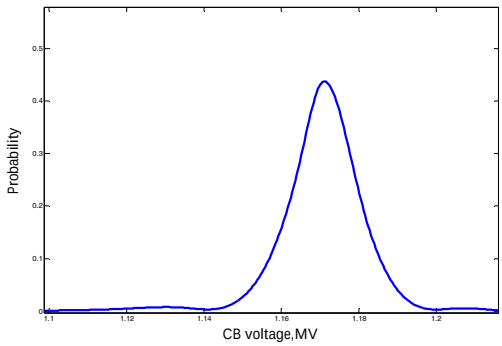
۵-۱-۱- خازن در وسط خط:

در حالت اول با قراردادن خازن سری مورد نیاز برای جبرانسازی ۷۰ درصدی در وسط خط, پس از هر بار اجرای زیر برنامهٔ مونت کارلو و بدست آمدن مقادیر عددی برای عدم قطعیتهای موجود در مسئله, شبیه سازی با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام شده ونتیجهٔ متناظر با این نمونه ذخیره گردیده است. در شکل (۸) نحوه همگرایی ماکزیمم TRV به ازای ۵۰۰۰ نمونه مشاهده می گردد.



شکل(۸) ماکزیمم TRV به ازای ۵۰۰۰ نمونه
خازن سری در وسط خط

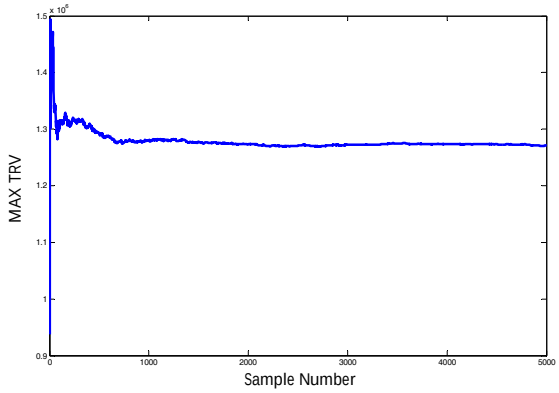
امید ریاضی ماکزیمم TRV های محاسبه شده برابر ۱/۱۶۸ مگا ولت بدست می آید. همانگونه که در بخش ۴ بیان شد یکی از *مزایای* بکار گیری تکنیک مونت کارلو بدست آوردن توزیع احتمال ماکزیمم TRV می باشد, که توزیع حاصل از این ۵۰۰۰ نمونه در شکل (۹) آورده **شده است**.



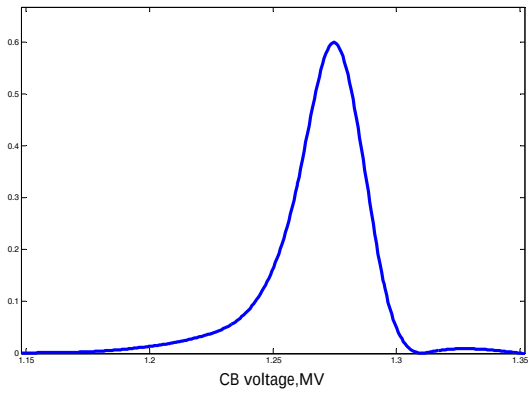
شکل(۹) توزیع احتمال ماکزیمم TRV
خازن سری در وسط خط

۵-۱-۲- خازن در طرفین خط:

در حالت دوم خازنهایی با ظرفیت دو برابر خازن سری مورد استفاده در حالت قبلی در طرفین خط مورد استفاده قرار می گیرند. شبیه سازی برای ۵۰۰۰ نمونهٔ تصادفی تکرار می گردد. امی**د ریاضی ماکزیمم** TRV های محاسبه شده برابر ۱/۲۷۴ مگا ولت بدست می آید. در شکل (۱۰) نحوه همگرایی ماکزیمم TRV به ازای ۵۰۰۰ نمونه مشاهده می گردد. توزیع احتمال حاصل از این ۵۰۰۰ نمونه بصورت نشان داده شده در شکل (۱۱) بدست می آید.



شکل(۱۰) ماکزیمم TRV به ازای ۵۰۰۰ نمونه
خازن سری در طرفین خط

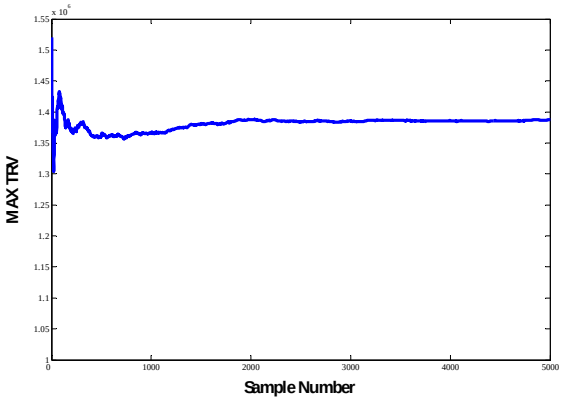


شکل(۱۱) توزیع احتمال ماکزیمم TRV
خازن سری در طرفین خط

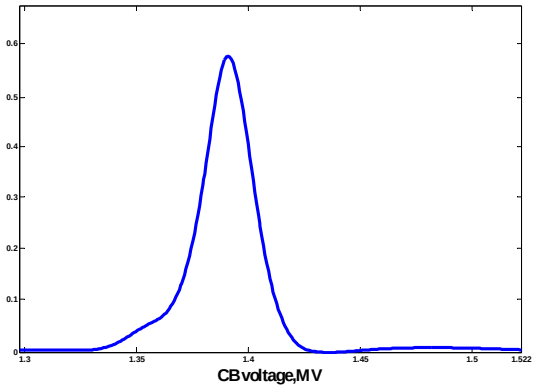
۵-۲- تاثیر حذف مقاومت خطا در محاسبهٔ TRV

در این بخش به منظور آشکار شدن اثر حذف مقاومت خطا شبیه سازی برای حالتی که بانکهای خازنی در طرفین خط

نصب شده است و بدون در نظر گرفتن مقاومت خطا مجددا صورت گرفته است. امید ریاضی ماکزیمم TRV های محاسبه شده برابر ۱/۳۸۱ مگا ولت بدست می آید. در شکل (۱۲) نحوه همگرایی ماکزیمم TRV به ازای ۵۰۰۰ نمونه مشاهده می گردد. توزیع احتمال حاصل از این ۵۰۰۰ نمونه بصورت نشان داده شده در شکل (۱۳) بدست می آید.



شکل(۱۲) ماکزیمم TRV به ازای ۵۰۰۰ نمونه
خازن سری در طرفین خط با حذف مقاومت

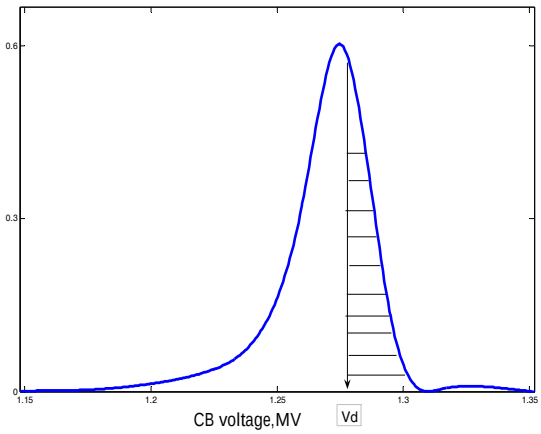


شکل(۱۳) توزیع احتمال ماکزیمم TRV
خازن سری در طرفین خط با حذف مقاومت

عدم در نظر گرفتن مقاومت خطا با فلسفه تحلیل با دیدگاه احتمالی مغایرت دارد, زیرا در این روش کلیه عوامل موثر در پدیده می بایست در نظرگرفته شده و مدلسازی گردد. علاوه بر این مشاهده می گردد که در نظر نگرفتن مقاومت خطا در حدود ۱۰ در صد میزان ماکزیمم TRV مورد انتظار را افزایش می دهد. لذا نتیجهٔ این تحلیل جوابهای محافظه کارانه ای بوده که افزایش هزینه را دربر خواهد داشت.

همانطوریکه مشاهده شد در این روش می توان توزیع احتمال ماکزیمم ولتاژ گذرای بازگشتی در دو سر کلید قدرت را محاسبه نمود. لذا احتمال اینکه ولتاژ حاصل در دو سر کلید قدرت از مقدار طراحی شده آن فراتر رود را می توان به عنوان شاخص ریسک در نظر گرفت.

برای آشکار شدن این مطلب اگر توزیع احتمال ماکزیمم TRV در دو سر کلیدهای قدرت سیستم مطابق با شکل (۱۱) باشد و ولتاژ Vd سطح ولتاژ گذرای طراحی کلید باشد در اینصورت سطح سایه دار شکل(۱۴) نشان دهنده ریسک تجاوز مقدار TRV از میزان طراحی شده می باشد.



شکل(۱۴) سطح سایه دار معرف شاخص ریسک می باشد

در مطالعات گذرای صورت پذیرفته با دیدگاه قطعی به دلیل در نظر گرفتن بدترین شرایط ممکن (حداکثر ولتاژ بازگشتی گذرای ممکن) مستلزم صرف هزینه زیادی بوده و به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. در مقابل مهمترین مزیت ارزیابی احتمالی ماکزیمم TRV این می باشد که با در اختیار داشتن توزیع احتمال ماکزیمم TRV با قبول در صد معینی ریسک می توان به یک طراحی بهینه به لحاظ اقتصادی دست یافت.

برای آشکار شدن این مطلب فرض کنیم که شرایط طراحی برای دو حالت مختلف در نظر گرفته شده است، در حالت اول کلید قدرت طوری طراحی شده است که بتواند ماکزیمم

TRV مورد انتظار, بدست آمده از شبیه سازی را تحمل کند و در حالت دوم سطح طراحی کمتر از سه درصد افزایش یافته است. شاخص ریسک برای این طراحی ها و با در نظر گرفتن محل نصب خازن سری مطابق جداول (۲) و (۳) خواهد بود.

جدول(۲) شاخص ریسک در دو حالت متفاوت طراحی (خازن سری در وسط خط)

Rated TRV*	حالت دوم	حالت اول	
۲/۱۵۵	۲/۹۴۷	۲/۸۶۱	ولتاژ طراحی(پریونیت بر حسب پیک فاز)
	۰/۹۳	۴۵/۸۸	شاخص ریسک(٪)

*: مرجع[۷]

جدول(۳) شاخص ریسک در دو حالت متفاوت طراحی (خازن سری در طرفین خط)

Rated TRV	حالت دوم	حالت اول	
۲/۱۵۵	۳/۲۱	۳/۱۲	ولتاژ طراحی(پریونیت بر حسب پیک فاز)
	۲/۰۱	۴۱/۲۹	شاخص ریسک(٪)

با توجه به تعریف شاخص ریسک و منحنیهای توزیع احتمال ماکزیمم TRV (شکلهای (۹),(۱۱)و(۱۴)) هر چه ولتاژ طراحی کلید بیشتر باشد شاخص ریسک کاهش می یابد که جداول (۲) و (۳) بیانگر این واقعیت می باشد. لذا با در اختیار داشتن چنین جداولی و بهره گیری از قضاوتهای مهندسی می توان سطح ولتاژ گذرای طراحی کلید های قدرت را بصورت بهینه از دیدگاه اقتصادی تعیین نمود.

۶- نتیجه‌گیری

وجود خازن سری می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش TRV در کلید های قدرت خطوط انتقال داشته باشد و هرچه میزان جبرانسازی بیشتر باشد مقدار TRV افزایش بیشتری خواهد داشت.

این پدیده را می توان در یک چهارچوب قطعی یا احتمالی تحلیل نمود. اگر طراحی کلید قدرت با استفاده از دیدگاه قطعی صورت گیرد، طراحی باید به ازای بدترین شرایط ممکن (خطای سه فاز به زمین نزدیک به کلید قدرت) انجام شود که این امر مستلزم صرف هزینه های زیادی است. لیکن یک دیدگاه احتمالی می‌تواند برای بدست آوردن یک ارزیابی واقعی از عملکرد سیستم در حضور عدم قطعیتهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله یکی از مهمترین عواملی که تاکنون کمتر مورد توجه بوده, یعنی مقاومت خطا در چنین تحلیلی در نظر گرفته شده و مدلی احتمالی برای آن معرفی شده است. یکی از بهترین تکنیکها برای بررسی پدیده های احتمالی استفاده از شبیه سازی مونت کارلو می‌باشد. با استفاده از این تکنیک علاوه بر محاسبهٔ مقدار ماکزیمم TRV می توان توزیع آن را نیز محاسبه نمود. با در اختیار داشتن این توزیع می توان از یک شاخص ریسک برای سنجش احتمال افزایش TRV از مقدار طراحی شده استفاده نمود.

مراجع:

[1] D. D. Wilson, “Series Compensated Lines – Voltage Across Circuit Breakers and Terminals Caused by Switching”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-73, pp. 1050-56, May – June, 1973.

[2] F. Iliceto, E. Cinieri, M. Cazzani and G. Santagostino, “Transient Voltages and Currents in Series-compensated EHV Lines”, Proceedings IEE, Vol.123, No. 8, pp. 811 – 817, August 1976.

[3] F. Iliceto, G. Cinieri and G. Asan, “TRVs Across Circuit Breakers of Series Compensated Lines Status With Present Technology and Analysis for The Turkish 420-KV Grid”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.7, No.2, pp.757-766, 1991.

[۴] محسن قاینی و جواد ساده " بررسی تحلیلی و شبیه سازی ولتاژ گذرای بازگشتی در کلیدهای قدرت در خطوط انتقال جبران شده با خازن سری" بیستمین کنفرانس بین المللی برق, ایران, توانیر, آبان ماه ۱۳۸۴.

[5] S.O. Faried and S. Aboreshaid, “A Probabilistic Technique for the Evaluation of Transient Recovery Voltages across Circuit Breakers of Series Capacitor Compensated Transmission Lines”, IEEE International Conference on Power System Technology, Vol.2, pp. 861-865, Dec. 2000.

[6] S.O. Faried and S. Aboreshaid “ Stochastic Evaluation of Transient Recovery Voltages across Circuit Breakers of Series Capacitor Compensated Transmission Lines”, IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 16, pp. 33-37, 2001.

[7] American National Standard, ANSI C37.06.1-2000.