

مدلسازی رفتار دینامیکی برقگیرهای اکسید فلزی در مطالعات شامل گذراهای سریع

رضا دولت آبادی
دانشجوی کارشناسی ارشد برق - قدرت
Reza.Dowlatabadi@Gmail.com

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

دانشکده مهندسی ، دانشگاه فردوسی مشهد
ایران

واژه‌های کلیدی: مدلسازی برقگیرهای اکسید فلزی، امواج سریع

چکیده

یکی از عناصر مهم سیستم‌های حفاظتی برقگیرها می‌باشند. کاربرد گسترده برقگیرهای اکسید فلزی و اهمیت رفتار دینامیکی اینگونه برقگیرها در تعیین محل برقگیر و هماهنگی عایقی، لزوم استفاده از مدلی دقیق برای شبیه سازی این رفتار دینامیکی (وابسته به فرکانس) را مشخص می‌کند. تاکنون مدل‌های گوناگونی برای شبیه سازی رفتار برقگیر در برابر امواج سریع ارائه شده، ولی مشکل اصلی در تعیین پارامترهای مدل می‌باشد. معایبی که برای مدل‌های مختلف برشمرده می‌شوند عبارتند از:

- ۱- نیاز به اطلاعاتی به غیر از اطلاعات ارائه شده توسط سازنده برای تعیین پارامترهای مدل
- ۲- کاهش دقت مدل با تغییر زمان پیش موج و یا دامنه موج جریان اعمالی (دقت قابل قبول در محدوده معین برای زمان پیش موج و دامنه موج جریان اعمالی)
- ۳- دقیق نبودن مدل برای برقگیرهای با ولتاژ نامی مختلف

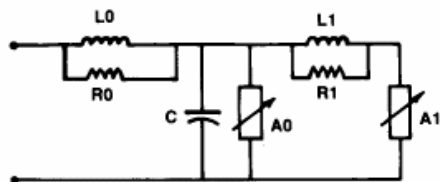
در این مقاله مدلی با دقت مناسب و در عین حال ساده برای شبیه سازی برقگیرهای اکسید فلزی در مطالعات شامل امواج سریع ارائه شده است. تنها اطلاعات لازم برای تعیین پارامترهای این مدل اطلاعات ارائه شده توسط کارخانه سازنده می‌باشد. کارایی مدل پیشنهادی در مورد برقگیرهای با ولتاژ نامی بین ۱۲ تا ۳۴۵ کیلوولت با شبیه سازی مدل بوسیله نرم افزار EMTP بررسی شده و نتایج به خوبی با اطلاعات ارائه شده توسط سازنده مطابقت دارد.

۱- مقدمه:

در مرجع [۱] گروه کاری IEEE با بررسی داده‌های آزمایشگاهی در مورد ولتاژ تخلیه برقگیرهای اکسید فلزی رفتار دینامیکی (وابسته به فرکانس) این نوع برقگیرها را بصورت زیر تشریح نموده است. «با کاهش زمان پیش موج در مورد موج جریان از $8\mu\text{sec}$ به $1.3\mu\text{sec}$ ولتاژ تخلیه روی برقگیر به میزان ۶ درصد افزایش می‌یابد، در ضمن پیک

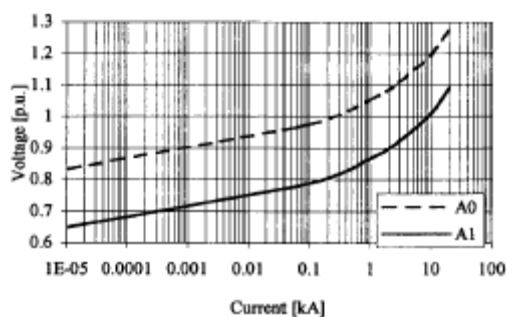
بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق

کند) امپدانس معادل این فیلتر ناچیز بوده و A_0 و A_1 موازی خواهند بود.



شکل (۱) مدل پیشنهادی گروه کاری IEEE برای برقگیر

اما در مورد امواج سریع، امپدانس فیلتر $R_1 L_1$ قابل توجه بوده و بیشتر جریان از مقاومت غیرخطی A_0 عبور خواهد کرد. و با توجه به مشخصه ولتاژ-جریان مقاومتهای غیرخطی A_0 و A_1 که در شکل ۲ رسم شده است، در این حالت ولتاژ بیشتری در پایه‌های مدل دیده می‌شود. در این شکل ولتاژ در مبنای پیک ولتاژ ناشی از جریان ۱۰ کیلوآمپری با شکل موج $8/20 \mu\text{sec}$ روی برقگیر، پیرونیت شده است. در مدل IEEE، L_0 اندوکتانس میدان مغناطیسی سطحی برقگیر را نشان می‌دهد و R_0 برای جلوگیری از بروز نوسانات عددی استفاده شده است. همچنین C ظرفیت خازنی برقگیر را که به ارتفاع آن وابسته است، نشان می‌دهد. [۱]



شکل (۲) مشخصه مقاومتهای غیرخطی A_1 و A_0

برای تعیین مقادیر L_1, L_0, R_1, R_0 و C_0 در مرجع [۱] روابطی ارائه شده است. در این روابط از ابعاد فیزیکی برقگیر

ولتاژ تخلیه روی برقگیر قبل از پیک جریان اعمالی روی می‌دهد. [۱]

به عقیده گروه کاری IEEE رفتار دینامیکی برقگیر در تعیین محل برقگیر و هماهنگی عایقی دارای اهمیت قابل توجهی است. [۱]

تاکنون مدل‌های متنوعی که تقریباً تمامی آنها از مدل IEEE الهام گرفته‌اند، ارائه شده است. تفاوت اصلی این مدل‌ها در روش تعیین پارامترهای مدل می‌باشد. برخی از این مدل‌ها تنها برای موجهای جریان با محدوده معینی از زمان پیش‌موج کاربرد دارند. برخی دیگر نیز با تغییر دامنه جریان اعمالی دقت خود را از دست می‌دهند. در تعیین پارامترها در مدل‌های مختلف سعی شده تا حد امکان تنها از اطلاعات ارائه شده توسط سازنده استفاده شود، هر چند که برخی از مدل‌ها به اطلاعات دیگری نیز نیاز دارند.

در این مقاله جهت دستیابی به دقت بالا در تمامی شرایط مختلف شکل موج ورودی، مدلی ساده ولی کارآمد برای شبیه‌سازی برقگیرها پیشنهاد شده است. در تعیین پارامترهای مدل پیشنهادی در این مقاله، تنها از اطلاعات ارائه شده توسط سازنده استفاده می‌شود. در ضمن مدل پیشنهادی علاوه بر این مزیت، در شبیه‌سازی رفتار دینامیکی برقگیرهای اکسید فلزی موفق بوده و قادر به شبیه‌سازی رفتار دینامیکی اینگونه برقگیرها در برابر امواج جریان با دامنه متفاوت و زمان پیش‌موج مختلف، با دقت مناسب می‌باشد. در ادامه ابتدا چند مدل پیشنهاد شده مورد بررسی قرار گرفته، سپس با مقایسه مدل‌ها ایده جدیدی برای مدلسازی دقیقتر و ساده‌تر برقگیر ارائه می‌شود.

۲- چند مدل پیشنهادی:

۲-۱- مدل IEEE [۱]:

مدل پیشنهادی گروه کاری IEEE برای برقگیرهای اکسید فلزی در شکل ۱ آورده شده است. در این مدل دو مقاومت غیرخطی A_0 و A_1 بوسیله فیلتر $R_1 L_1$ از یکدیگر جدا شده‌اند. برای موج جریان با زمان پیش‌موج طولانی (امواج

بیستیمین کنفرانس بین‌المللی برق

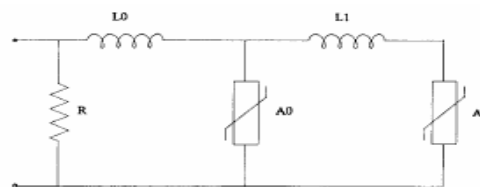
برای تعیین پارامترها استفاده می‌شود. البته مقادیر محاسبه شده از روابط برای L_1 تنها بعنوان مقدار اولیه در نظر گرفته می‌شود و تنظیم L_1 بعد از چند تکرار در محاسبات انجام می‌شود.

برای تعیین پارامترها استفاده می‌شود. البته مقادیر محاسبه شده از روابط برای L_1 تنها بعنوان مقدار اولیه در نظر گرفته می‌شود و تنظیم L_1 بعد از چند تکرار در محاسبات انجام می‌شود.

برای تعیین پارامترها استفاده می‌شود. البته مقادیر محاسبه شده از روابط برای L_1 تنها بعنوان مقدار اولیه در نظر گرفته می‌شود و تنظیم L_1 بعد از چند تکرار در محاسبات انجام می‌شود.

۲-۲- مدل ارائه شده توسط Pinceti [۲]:

مدل پیشنهادی آقای Pinceti در شکل ۳ آورده شده است. در این مدل تعیین مشخصه ولتاژ-جریان مقاومتهای غیرخطی A_0 و A_1 مشابه مدل IEEE انجام می‌گیرد.



شکل (۳) مدل ارائه شده توسط Pinceti

۳-۲- مدل ارائه شده توسط Fernandez [۳]:

مدل پیشنهادی توسط Fernandez در شکل ۴ نشان داده شده است. در این مدل برای تعیین مشخصه ولتاژ-جریان A_0 و A_1 از اطلاعات ارائه شده توسط سازنده در مورد ولتاژ روی برقگیر به ازای جریان با شکل موج $8/20\mu\text{sec}$ با دامنه‌های متفاوت استفاده شده است.

$$I_{A0} = 0.02 I, \quad V_{A0} = V \quad (۳)$$

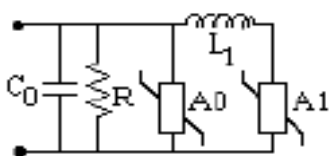
$$I_{A1} = 0.98 I, \quad V_{A1} = V \quad (۴)$$

با استفاده از روابط ۳ و ۴ به ازای هر جریان و ولتاژ ارائه شده توسط سازنده یک نقطه از مشخصه ولتاژ-جریان A_0 (V_{A0} و I_{A0}) و یک نقطه از مشخصه ولتاژ-جریان A_1 (V_{A1} و I_{A1}) تعیین می‌شود.

در این مدل مقدار L_1 با توجه به منحنی‌هایی که در مرجع [۳] آورده شده تعیین می‌شود. و C_0 نیز بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_0 = \frac{100}{d} \quad (۵)$$

در این رابطه d ارتفاع برقگیر برحسب متر بوده و مقدار خازن بر حسب پیکوفاراد محاسبه می‌شود. در این مدل نیز R جهت جلوگیری از نوسانات عددی و برابر $1M\Omega$ در نظر گرفته شده است.



شکل (۴) مدل ارائه شده توسط Fernandez

در این مدل L_0 و L_1 (بر حسب μH) با توجه به روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$L_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{r1/T2} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n \quad (۱)$$

$$L_0 = \frac{1}{12} \cdot \frac{V_{r1/T2} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n \quad (۲)$$

V_n : ولتاژ نامی برقگیر برحسب کیلوولت

$V_{r1/T2}$: ولتاژ روی برقگیر به ازای اعمال جریان ۱۰ کیلوآمپری با شکل موج $1/T_2\mu\text{sec}$ برحسب کیلو ولت (T_2 دارای اهمیت زیادی نبوده و دلخواه انتخاب می‌شود)

$V_{r8/20}$: ولتاژ روی برقگیر به ازای اعمال جریان ۱۰ کیلوآمپری با شکل موج $8/20\mu\text{sec}$ برحسب کیلوولت.

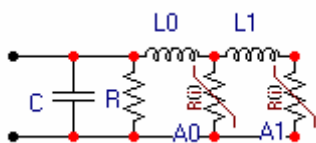
در این مدل $R = 1M\Omega$ و برای جلوگیری از نوسانات عددی در نظر گرفته شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود در روابطی که برای محاسبه L_0 و L_1 ارائه شده است، از ولتاژ نامی برقگیر و مقادیر $V_{r8/20}$ و $V_{r1/T2}$ استفاده گردیده است.

بیستیمین کنفرانس بین‌المللی برق

۴-مدل پیشنهادی:

مدل پیشنهادی در این مقاله بصورت شکل ۵ می‌باشد.



شکل (۵) مدل پیشنهادی

در این مدل A_0 و A_1 دو مقاومت غیرخطی می‌باشند و L_1 بعنوان فیلتر جداکننده A_0 و A_1 برای امواج سریع عمل می‌کند.

L_0 نیز مشابه مدل IEEE اندوکتانس میدان مغناطیسی سطحی برقگیر می‌باشد.

C خازن معادل برقگیر می‌باشد و R نیز برای جلوگیری از نوسانات عددی استفاده شده است.

۴-۱- روش تعیین پارامترها:

۴-۱-۱- تعیین مشخصه ولتاژ-جریان مقاومت‌های غیر خطی A_0 و A_1 :

با توجه به اطلاعات ارائه شده توسط سازنده که معمولاً بصورت جدولی مشابه جدول ۲ است می‌توان مشخصه A_0 و A_1 را بصورت زیر تعیین کرد.

$$I_{A0} = 0.02I, \quad V_{A0} = V \quad (۶)$$

$$I_{A1} = 0.98I, \quad V_{A1} = V \quad (۷)$$

جدول (۲) مشخصات برقگیرها

(اطلاعات ارائه شده توسط SIEMENS)

Vn (kV)	ماکزیمم اضافه ولتاژ به ازای جریانهای زیربرحسب kV					
	30/60 0.5kA	8/20 1kA	8/20 5kA	8/20 10kA	8/20 20kA	1/2 10kA
12	23	24	27	29	32	31
75	144	153	169	180	202	191
153	294	312	345	367	411	389

با استفاده از روابط ۶ و ۷ برای جریانهای کلیدزنی (بعنوان مثال $30/60 \mu\text{sec}$) و جریان صاعقه با شکل موج

۳-بررسی و مقایسه نتایج دو مدل Fernandez و Pinceti [۴]:

در مرجع [۴] مقایسه‌ای بین مدل‌های ارائه شده در مراجع [۲] و [۳] انجام شده است. در جدول ۱ نتایج شبیه‌سازی یک برقگیر بوسیله این دو مدل آورده شده است.

جدول (۱): (خطا در مدل Pinceti و مدل Fernandez)

Type of surge	Fast surge	Lightning surge						
Current (kA)	10	1.5	3	5	10	20	40	
Manufacture	9.1	6.9	7.2	7.5	8	9	10.3	
Pinceti	Vr	9.17	7.09	7.38	7.67	8.11	8.74	9.53
	Error	0.77	2.75	2.5	2.27	1.38	-2.89	7.48
Fernandez	Vr	8.87	6.9	7.2	7.52	8.01	9.08	10.37
	Error	-2.53	0.0	0.0	0.27	0.13	0.89	0.68

همانطور که مشاهده می‌شود مدل ارائه شده توسط Pinceti در مورد امواج سریع به خوبی پاسخ می‌دهد ولی با تغییر دامنه جریان در مورد موج صاعقه از ۱۰ کیلوآمپر به ۲۰ و یا ۴۰ کیلوآمپر خطای مدل افزایش می‌یابد. مدل ارائه شده توسط Fernandez در مورد دامنه‌های متفاوت موج جریان صاعقه خطای کمی دارد ولی در مورد امواج سریع دارای خطای قابل توجهی می‌باشد.

با توجه به اینکه پاسخ دقیق به امواج سریع مستلزم تعیین دقیق پارامتر L_1 می‌باشد [۱] و پاسخ دقیق در مورد امواج جریان با دامنه متفاوت مستلزم تعیین دقیق مشخصه‌های ولتاژ-جریان مقاومت‌های غیرخطی A_0 و A_1 می‌باشد، می‌توان از ترکیب دو روش پیشنهادی به مدل دقیق‌تری برای امواج سریع و دامنه‌های متفاوت جریان اعمالی دست یافت. به این منظور برای تعیین پارامتر L_1 از روش پیشنهادی Pinceti که نسبت به روش پیشنهادی Fernandez آسانتر و دقیقتر است استفاده می‌کنیم و برای تعیین مشخصه مقاومت‌های غیرخطی A_0 و A_1 نیز از روش پیشنهادی Fernandez که نسبت به روش پیشنهادی Pinceti آسانتر و دقیق‌تر است استفاده می‌کنیم. بر این اساس در بخش بعد مدل پیشنهادی مطرح می‌گردد.

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

تعیین مشخصه ولتاژ-جریان A_1 و A_0 استفاده نمود. و با توجه به اینکه معمولا دامنه جریان موج کلیدزنی بسیار پایین‌تر از ۱۰ کیلوآمپر است این اطلاعات به تعیین مشخصه A_1 و A_0 در جریانهای کم کمک می‌کند و دقت مدل را در این محدوده افزایش می‌دهد. روابط ۶ و ۷ تقریبا مشخصه‌ای مشابه آنچه که توسط IEEE ارائه شده (شکل ۲) ایجاد می‌کنند.

$8/20\mu\text{sec}$ می‌توان چند نقطه از مشخصه A_1 و A_0 را تعیین کرد. تفاوت تعیین مشخصه A_1 و A_0 در مدل پیشنهادی در این مقاله و مدل پیشنهادی Fernandez تنها در استفاده از اطلاعات مربوط به موج جریان کلیدزنی می‌باشد. از آنجا که تفاوت ولتاژ تخلیه روی برقگیر برای موج جریان کلیدزنی و موج جریان صاعقه $8/20\mu\text{sec}$ با دامنه جریان برابر، ناچیز است می‌توان از اطلاعات مربوط به موج کلیدزنی نیز در

جدول (۳) نتایج شبیه‌سازی با استفاده از روابط ۸ و ۹ (Model 1) و روابط ۱۰ و ۱۱ (Model 2) برای ۳ برقگیر مختلف

مشخصه زمانی موج جریان	ارتفاع							ماکزیمم درصد خطا
	h(m)							
دامنه موج جریان	Vn(kV)	COV(kV)	Vr(kV)	Vr(kV)	Vr(kV)	Vr(kV)	Vr(kV)	
Manuf	12	9	29	35	38	43	40	1.05
Model 1			28.998	35.003	38.012	43.029	39.276	-1.81
Model 2			28.998	35.004	38.015	43.037	39.625	-0.93
Manuf	60	48	147	176	189	214	200	1.05
Model 1			146.96	176.01	189.06	214.13	195.69	-2.15
Model 2			146.96	176.02	189.09	214.19	198.18	-0.91
Manuf	126	100	310	369	397	448	421	1.05
Model 1			309.81	369.03	397.12	448.28	410.63	-2.46
Model 2			309.81	369.04	397.2	448.46	418.6	-0.57

ب) در این قسمت سعی می‌کنیم وابستگی روابط L_1 و L_0 به ولتاژ نامی برقگیر را به طریقی از بین ببریم. برای رسیدن به این هدف به بررسی رفتار خطای شبیه‌سازی بر حسب تغییرات نسبت $V_{r8/20}$ به V_n می‌پردازیم. برای ۳۹ برقگیر مورد بررسی مشاهده می‌شود این نسبت تقریبا ثابت بوده و بین ۰,۳۱ تا ۰,۴۴ تغییر می‌کند. با متوسط‌گیری از این نسبت در محدوده خطای کمتر از ۰,۹ عدد ۰,۳۶۹ بدست می‌آید و به این ترتیب می‌توان روابط ۸ و ۹ را بصورت زیر تغییر داد.

$$L_1 = 0.092(V_{r1/T2} - V_{r8/20}) \quad (10)$$

$$L_0 = 0.03(V_{r1/T2} - V_{r8/20}) \quad (11)$$

در ادامه دیده می‌شود که چنین تغییری دقت قابل توجهی را ایجاد می‌کند.

۴-۱-۲- تعیین پارامترهای L_1 و L_0 :

الف) دو رابطه ساده که توسط آقای Pinceti پیشنهاد شده برای تعیین پارامترهای L_1 و L_0 استفاده می‌شود.

$$L_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{r1/T2} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n \quad (8)$$

$$L_0 = \frac{1}{12} \cdot \frac{V_{r1/T2} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n \quad (9)$$

V_n : ولتاژ نامی برقگیر برحسب کیلوولت

$V_{r1/T2}$: ولتاژ روی برقگیر به ازای اعمال جریان ۱۰

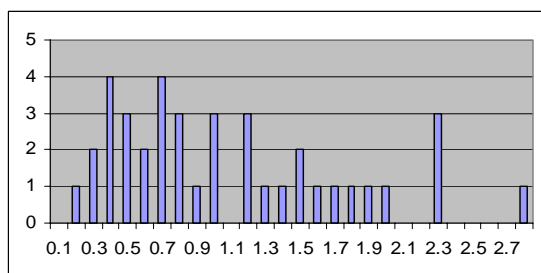
کیلوآمپری با شکل موج $1/T_2 \mu\text{sec}$ برحسب کیلوولت

$V_{r8/20}$: ولتاژ روی برقگیر به ازای اعمال جریان ۱۰

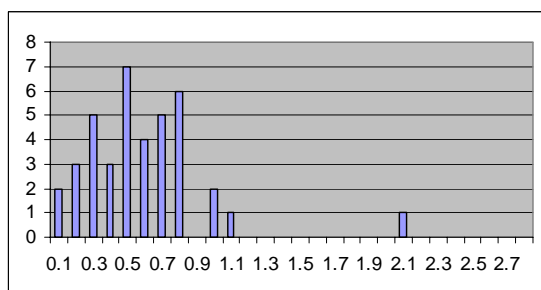
کیلوآمپری با شکل موج $8/20 \mu\text{sec}$ برحسب کیلوولت

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

درصد افزایش می‌یابد، که با فرض اولیه IEEE مطابقت ندارد.



شکل (۶) نتایج پیاده سازی الگوریتم بر روی ۳۹ برقگیر ساخت شرکت SIEMENS (محور افقی: درصد خطا و محور عمودی: تعداد برقگیرها)



شکل (۷) نتایج پیاده سازی الگوریتم بر روی ۳۹ برقگیر ساخت شرکت SIEMENS (محور افقی: درصد خطا و محور عمودی: تعداد برقگیرها)

۳-۴- پیاده سازی مدل پیشنهادی:

با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول ۳ در مورد برقگیر ۱۲ کیلوولتی و با استفاده از روابط ۶ و ۷ برای تعیین مشخصه ولتاژ-جریان A_0 و A_1 ، چند نقطه این مشخصه بصورت جدول ۴ می‌باشد.

جدول (۴) مشخصه ولتاژ-جریان A_0 و A_1

VA0(kv)	IA0(kA)	VA1(kv)	IA1(kA)
29	0.01	29	0.49
31	0.02	31	0.98
35	0.1	35	4.9
38	0.2	38	9.8
43	0.4	43	19.6

مقادیر پارامترهای L_0 و L_1 نیز با توجه به روابط ۱۰ و ۱۱ بصورت زیر محاسبه می‌شوند.

۳-۱-۴- محاسبه مقادیر R و C :

برای تعیین ظرفیت خازنی معادل برقگیر نیز از رابطه ارائه شده توسط IEEE استفاده می‌کنیم.

$$C = \frac{100}{d} \text{ (pF)}$$

که در این رابطه d ارتفاع برقگیر بر حسب متر می‌باشد. در این مدل نیز R جهت جلوگیری از نوسانات عددی و برابر $1M\Omega$ در نظر گرفته شده است.

۲-۴- بررسی کارایی مدل پیشنهادی:

مدل پیشنهادی در مورد برقگیرهایی با ولتاژ نامی بین ۱۲ تا ۳۴۵ کیلوولت توسط نرم‌افزار EMTP شبیه‌سازی شده و نتایج با اطلاعات ارائه شده توسط سازنده مقایسه شده است.

الف) نتایج شبیه سازی با استفاده از روابط ۸ و ۹:

نتایج این شبیه‌سازی و درصد خطا در جدول ۳ برای ۳ نمونه برقگیر درج شده است. در این جدول نتایج حاصل از شبیه سازی با اطلاعات ارائه شده توسط سازنده (Manufacture) مقایسه شده و ماکزیمم خطای شبیه سازی در مورد هر برقگیر ذکر شده است.

نمودار نشان داده شده در شکل ۶ نیز مقدار خطا را در مورد برقگیرهای مورد آزمایش نشان می‌دهد. محور افقی درصد خطا و محور عمودی تعداد برقگیرهایی را نشان می‌دهد که خطای آنها در محدوده مشخص شده می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود تنها در مورد یکی از برقگیرهای مورد آزمایش خطا از ۲،۳ درصد تجاوز نموده است.

ب) نتایج شبیه سازی با استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱:

نتایج این شبیه‌سازی نیز در جدول ۳ برای ۳ نمونه برقگیر ذکر شده است. نمودار نشان داده شده در شکل ۷ نیز مقدار خطا را در مورد برقگیرهای مورد آزمایش نشان می‌دهد. محور افقی درصد خطا و محور عمودی تعداد برقگیرها را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود تنها در مورد یکی از برقگیرهای مورد آزمایش خطا از ۱،۱ درصد تجاوز نموده است. البته در مورد این نمونه (با خطای ۲،۱ درصدی) با کاهش زمان پیش‌موج در مورد موج جریان از $8\mu\text{sec}$ به $1.3\mu\text{sec}$ ولتاژ تخلیه روی برقگیر به میزان ۳

بیستین کنفرانس بین‌المللی برق

۵- نتیجه گیری:

یکی از نکات اساسی در تعیین محل برقگیرها و هماهنگی عایقی در اختیار داشتن مدل دقیقی از برقگیر است. در این مقاله مدلی ساده ولی کارآمد و دقیق ارائه گردید که از مزایای روشهای پیشنهادی موجود سود جسته و مشکلات برخی از آنها را بر طرف نموده است. از مهمترین مزایای روش پیشنهادی عدم نیاز به اطلاعات اضافی در مورد برقگیر بوده و تنها اطلاعات ارائه شده از طرف کارخانه سازنده برای یافتن پارامترهای مدل پیشنهادی کفایت می‌کند. در مطالعات شامل گذراهای سریع هنگامی که نیاز به مدلسازی دقیق برقگیرهای اکسید فلزی باشد، می‌توان از مدل ارائه شده در این مقاله استفاده نمود. تنها موضوعی که برای اطمینان از دقت مدل باید در نظر گرفت فرض اولیه در نظر گرفته شده توسط IEEE می‌باشد که عبارت است از « با کاهش زمان پیش‌موج در مورد موج جریان از $8\mu\text{sec}$ به $1.3\mu\text{sec}$ ولتاژ تخلیه روی برقگیر به میزان ۶ درصد افزایش می‌یابد». این فرض اولیه در مدل‌های ارائه شده توسط Pinceti و Fernandez نیز در نظر گرفته شده است. در صورتی که این پیش‌فرض در نظر گرفته نشود امکان افزایش درصد خطای شبیه‌سازی، مشابه آنچه در قسمت ۴-۲ ذکر شد، وجود دارد.

مراجع:

- [۱] IEEE Working Group 3.4.11, "Modeling of metal oxide surge arresters", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.7, No.1, Jan. 1992, pp.302-309.
- [۲] P.Pinceti, M.Giannettoni, "A simplified model for zinc oxide surge arrester", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.14, No.2, April 1999, pp.393-398.
- [۳] F.Fernandez, R.Diaz., "Metal oxid surge arrester model for fast transient simulations" Paper 144, International Conference on Power System Transients, IPST'01, paper 144, pp.20-24, 2001.
- [۴] A.Bayadi, N.Harid, K.Zehar, S.Belkhiat, "Simulation of metal oxide surge arrester dynamic behavior under fast transient", International Conference on Power System Transients, IPST'03, 2003.

$$L_1 = 0.092 * (V_{r1/T2} - V_{r8/20})$$

$$L_1 = 0.092 * (40 - 38) = 0.184(\mu H)$$

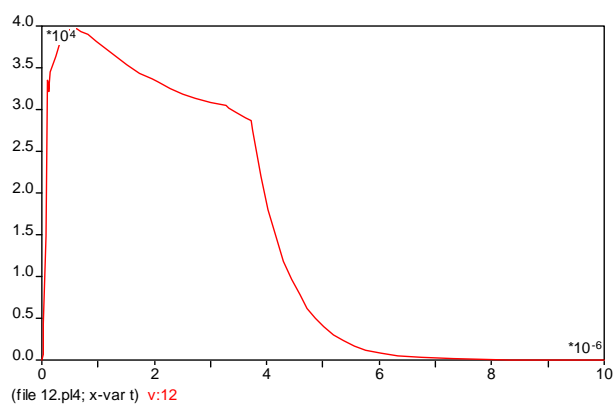
$$L_0 = 0.03 * (V_{r1/T2} - V_{r8/20})$$

$$L_0 = 0.03 * (40 - 38) = 0.06(\mu H)$$

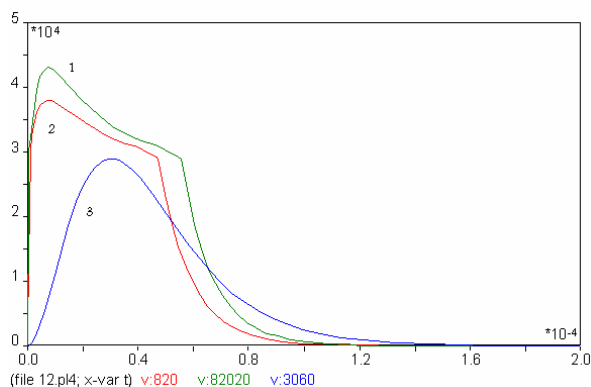
مقدار خازن C نیز بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{100}{d} = 100 / 1.05 = 95 \quad (\text{pF})$$

و مقدار R نیز $1M\Omega$ در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از EMTP در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است.



شکل (۸) ولتاژ ناشی از اعمال موج جریان با پیش‌موج $1/2\mu\text{sec}$ و دامنه ۱۰ کیلو آمپر



شکل (۹)

- منحنی ۱: ولتاژ ناشی از اعمال موج جریان $8/20\mu\text{sec}$ با دامنه ۲۰ کیلو آمپر
- منحنی ۲: ولتاژ ناشی از اعمال موج جریان $8/20\mu\text{sec}$ با دامنه ۱۰ کیلو آمپر
- منحنی ۳: ولتاژ ناشی از اعمال موج جریان $30/60\mu\text{sec}$ با دامنه ۵۰۰ آمپر