

CÁC MÔ HÌNH MÁY PHÁT XUNG SÉT CẢI TIẾN

ADVANCED LIGHTNING CURRENT GENERATORS

PGS. TS Quyền Huy Ánh
 Nguyễn Mạnh Hùng
 ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TPHCM
 Tạ Văn Minh
 Cao Đăng Nghè Lilama

TÓM TẮT

Những nghiên cứu về máy phát xung dòng sét trước đây sử dụng các cấu hình mạch riêng biệt để tạo ra các dạng xung dòng sét khác nhau, điều này gây khó khăn cho việc nghiên cứu chế tạo các máy phát xung sét với giá thành hợp lý. Bên cạnh đó, một số mô hình toán học mô phỏng dòng xung sét còn chưa đạt được độ sai số theo tiêu chuẩn. Bài báo này trình bày phương án thiết kế máy phát xung sét chỉ dùng một cấu hình mạch và mô hình toán học máy phát xung sét xây dựng trong môi trường Matlab có độ chính xác cao.

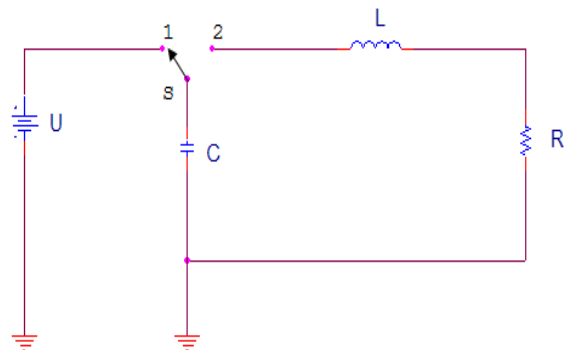
ABSTRACT

Researches in lightning current impulse circuit have used various schematics for diverse impulses, which makes several problems for lightning current impulse generator fabrication at a suitable cost. In addition, errors of several lightning current impulse math models have not met the standards. This article presents some solutions to the determination of parameters for a significant lightning current impulse circuit and a lightning current impulse math model which is in Matlab environment with high accuracy.

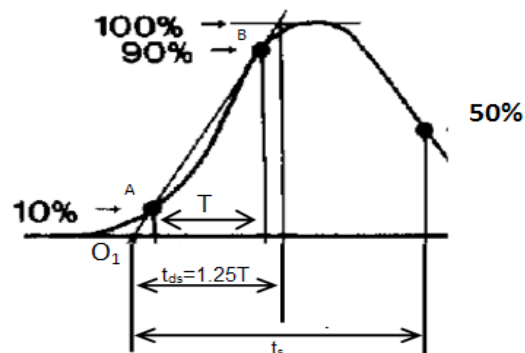
I. GIỚI THIỆU

Ảnh hưởng của dòng xung sét là rất quan trọng trong việc tính toán và lựa chọn thiết bị bảo vệ chống sét lan truyền và tính toán quá điện áp trên lưới điện. Các nghiên cứu về máy phát dòng xung sét hiện nay sử dụng nhiều cấu hình khác nhau cho các xung sét riêng biệt gây khó khăn trong việc chế tạo máy phát xung với giá thành thấp. Ngoài ra, một số mô hình vật lý máy phát xung sét được đề nghị có dạng sóng chưa đạt yêu cầu về độ chính xác theo các tiêu chuẩn hiện hành. Vì vậy, việc nghiên cứu và đề xuất mô hình máy phát xung sét tạo ra nhiều dạng xung dòng khác nhau với độ chính xác cao nhằm giảm chi phí chế tạo máy phát xung là cần thiết.

Bài báo này trình bày phương pháp xấp xỉ gần đúng để tính toán nhanh các thông số cơ bản của máy phát xung sét và phương pháp đánh giá sai số để hiệu chỉnh sai số đầu sóng và đuôi sóng theo yêu cầu của tiêu chuẩn. Ngoài ra mô hình toán học máy phát xung dòng 8/20 μ s và 4/10 μ s được xây dựng trong môi trường Matlab có độ chính xác cao.



Hình 2. Cấu hình mạch phát xung sét tổng quát



Hình 1. Xung dòng sét tiêu chuẩn

II. CÁC DẠNG XUNG SÉT TIÊU CHUẨN

Dạng xung dòng sét tiêu chuẩn được thể hiện như trong Hình 1. Sai số cho thời gian đầu sóng và đuôi sóng được yêu cầu thấp hơn 10%.

Bảng 1 trình bày các dạng xung dòng sét thông dụng với t_{ds} là thời gian đầu sóng và t_s là thời gian đuôi sóng.

Bảng 1. Các dạng sóng tiêu chuẩn

Dạng sóng(μs)	$t_{ds}(\mu s)$	$t_s(\mu s)$	Dạng sóng(μs)	$t_{ds}(\mu s)$	$t_s(\mu s)$
10/700	10 \pm 10%	700 \pm 10%	1/200	1 \pm 10%	200 \pm 10%
1.2/50	1.2 \pm 10%	50 \pm 10%	10/350	10 \pm 10%	350 \pm 10%
2/25	2 \pm 10%	25 \pm 10%	1/5	1 \pm 10%	5 \pm 10%
2/50	2 \pm 10%	50 \pm 10%	4/10	4 \pm 10%	10 \pm 10%
0.25/100	0.25 \pm 10%	100 \pm 10%	8/20	8 \pm 10%	20 \pm 10%

III. MÔ HÌNH MẠCH PHÁT XUNG SÉT

3.1. Cấu hình mạch phát xung sét

Bằng cách giải phương trình vi tích phân và biến đổi Laplace, tìm được:

$$i(t) = \frac{U}{RA} \left(e^{-\frac{t}{t_2}} - e^{-\frac{t}{t_1}} \right) \quad (1)$$

Trong đó: $A = \sqrt{1 - 4Q^2}$, $Q = \omega_{ch}/2\alpha = R/2L, \omega_{ch} = 1/\sqrt{LC}$

$$\frac{1}{t_1} = \frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

$$\frac{1}{t_2} = \frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

Nếu đặt $p = t_2/t_1$; $I_m = U/RA$ thì phương trình (1) được viết lại:

$$i(t) = I_m \cdot e^{-\frac{t}{t_2}} \left(1 - e^{(p-1)\frac{-t}{t_2}} \right) \quad (2)$$

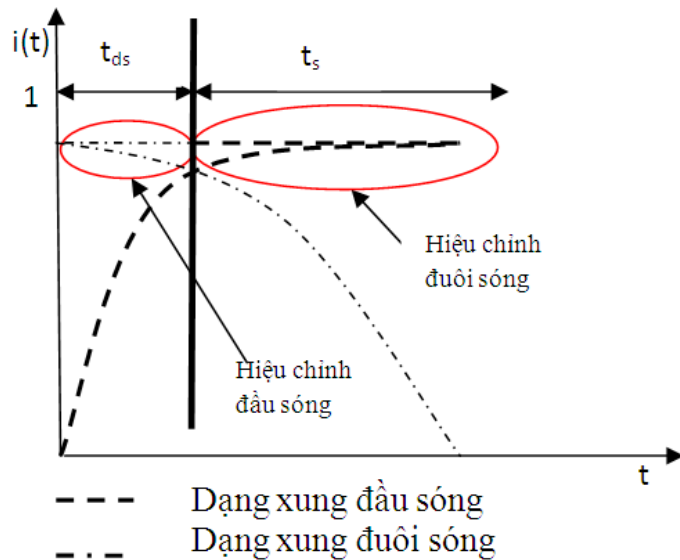
Để dạng sóng xung sét thỏa tiêu chuẩn, các thông số p và t_2 phải được lựa chọn phù hợp. Khi đã xác định được p và t_2 , các giá trị của mạch R, L, C được tính theo công thức (3) và (4).

$$L = \frac{t_2^2}{pC} \quad (3)$$

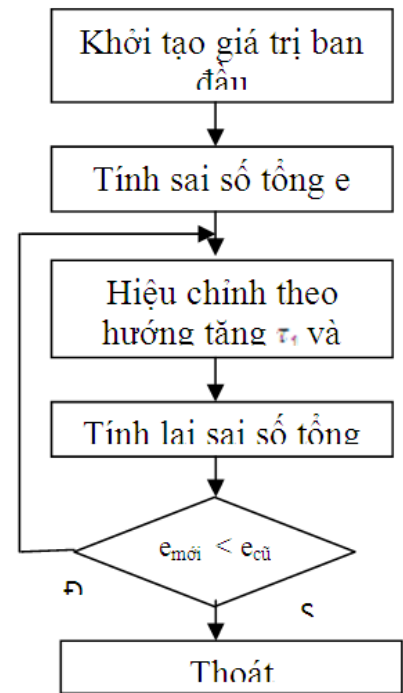
$$R = \frac{(p+1)L}{t_2} = \frac{(p+1)t_2}{p^2C} \quad (4)$$

3.2 Phương pháp xác định thông số cho máy xung sét

a. Phương pháp xấp xỉ gần đúng



Hình 3. Dạng xung đầu sóng và đuôi sóng



Từ phương trình (2), nhận thấy hàm số $e^{-\frac{t}{t_2}}$ có tác dụng tạo ra đuôi sóng và hàm số $\left[1 - e^{-(p-1)\frac{t}{t_2}}\right]$ tạo ra đầu sóng.

Các dạng đầu sóng, đuôi sóng khi áp dụng phương pháp xấp xỉ gần đúng được thể hiện trong Hình 3. Trong thời gian đuôi sóng có thể xem hàm số $\left[1 - e^{-(p-1)\frac{t}{t_2}}\right] = 1$.

Phương trình xung dòng gần đúng như sau:

$$i(t) = I_m e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

Khi $t = t_s - t_{ds}$ thì $i(t) = 0,5 \cdot I_m$. Do đó:

$$i(t) = I_m e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)}$$

Khi $t = t_s - t_{ds}$ thì $i(t) = 0,5 \cdot I_m$. Do đó:

$$I_m e^{\frac{-(t_s - t_{ds})}{t_2}} = 0,5 I_m$$

$$\text{Suy ra: } t_2 = \frac{t_s - t_{ds}}{\ln(2)} \quad (5)$$

Tương tự, trong thời gian đầu sóng hàm số $e^{-\frac{t}{t_2}} = 1$, phương trình xung dòng có dạng:

$$i(t) = I_m \left[1 - e^{-\frac{(p-1)t}{t_2}} \right]$$

Tại $t_{10\%}$ dòng điện đạt $0,1 I_m$, tại $t_{90\%}$ dòng điện đạt $0,9 I_m$. Theo đó có được:

Bảng 2. Giá trị R,L,C tính bằng phương pháp xấp xỉ gần đúng

Tiêu chuẩn(μs)		t _s /t _{ds}	t ₂	p	R	L	C	Tính toán(μs)		Sai số(%)	
t _{ds}	t _s							t _{ds}	t _s	Đầu sóng	Đuôi sóng
10	700	70	0.000995	274.406	9.9909	3.61E-05	0.0001	9.38E-06	0.00071	6.25	2.11
1.2	50	41.67	7.04E-05	162.1379	0.7084	3.06E-07	0.0001	1.13E-06	5.17E-05	6.25	3.44
2	25	12.5	3.32E-05	46.56767	0.3389	2.36E-07	0.0001	1.63E-06	2.67E-05	18.75	6.8
2	50	25	6.92E-05	96.09775	0.6997	4.99E-07	0.0001	1.75E-06	5.22E-05	12.5	4.4
0.3	100	400	0.000144	1582	1.44	1.31E-07	0.0001	2.50E-07	0.0001	0	0.63
1	200	200	0.000287	789.5188	2.8746	1.04E-06	0.0001	1.00E-06	0.0002	0	0.01
10	350	35	0.000491	135.7218	4.9413	1.77E-05	0.0001	9.00E-06	0.00036	10	3.49
1	5	5	5.77E-06	16.84963	0.0611	1.98E-08	0.0001	7.50E-07	5.60E-06	25	12
4	10	2.5	8.66E-06	6.943609	0.099	1.08E-07	0.0001	1.88E-06	1.06E-05	53.13	6
8	20	2.5	1.73E-05	6.943609	0.1981	4.32E-07	0.0001	3.75E-06	2.10E-05	53.13	5

$$\begin{cases} 1 - e^{-(p-1)\frac{t_{10\%}}{t_2}} = 0.1 \\ 1 - e^{-(p-1)\frac{t_{90\%}}{t_2}} = 0.9 \end{cases}$$

$$\text{Suy ra : } p = \frac{\ln(0.9) - \ln(0.1)}{0.8t_{ds}} (t_2) + 1 \quad (6)$$

Từ công thức (5) và (6) thu được kết quả tính toán trình bày trong Bảng 2. Kết quả cho thấy sai số đầu sóng hoặc đuôi sóng của các dạng sóng có tỷ số t_s/t_{ds} lớn (10/700; 1.2/50; 0.3/100; 1/200; 10/350μs) thỏa sai số đầu sóng và đuôi sóng, còn các dạng sóng có tỷ số t_s/t_{ds} nhỏ (1/5; 4/10; 8/20; 10/350; 2/25; 2/50μs) không thỏa tiêu chuẩn.

b. Phương pháp đánh giá sai số

Đối với những dạng sóng có tỷ số t_s/t_{ds} thấp, phương pháp đánh giá sai số có thể được sử dụng để giảm sai số đầu sóng và đuôi sóng. Phương pháp này dựa trên việc đánh giá độ lệch sai số và sai số tương đối của dạng sóng xung dòng.

Gọi d₁, d₂, d lần lượt là độ lệch sai số đầu sóng, độ lệch sai số đuôi sóng và độ lệch tổng.

Độ lệch sai số tổng được xác định như sau:

$$d = d_1 + d_2$$

$$\begin{cases} d_1 = 0 & \text{nếu } 0.9t_{ds} < t_a < 1.1t_{ds} \\ d_1 = 0.9t_{ds} - t_a & \text{nếu } t_a < 0.9t_{ds} \\ d_1 = t_a - 1.1t_{ds} & \text{nếu } t_a > 1.1t_{ds} \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_2 = 0 & \text{nếu } 0.9t_s < t_b < 1.1t_s \\ d_2 = t_b - 1.1t_s & \text{nếu } t_b > 1.1t_s \\ d_2 = 0.9t_s - t_b & \text{nếu } t_b < 0.9t_s \end{cases}$$

Trong đó: t_a là thời gian đầu sóng tính toán, t_a = 1.25*(t_{90%} - t_{10%}); t_b là thời gian đuôi sóng tính

toán, $t_b = t_{50\%} - t_{10\%} + 0.1t_a$.

Gọi e_1 là sai số đầu sóng, e_2 là sai số đuôi sóng và e là sai số tổng thì:

$$e = e_1 + e_2.$$

$$\text{Ở đây: } e_1 = |t_a - t_{ds}| / t_{ds}; e_2 = |t_b - t_s| / t_s.$$

Giá trị p và t , cần tìm thoả điều kiện (7) và (8):

$$1 < p < \frac{\ln(0.9) - \ln(0.1)}{0.8t_{ds}} \frac{t_s - t_{ds}}{\ln(2)} \quad (7)$$

Và giá trị t_2 thoả

$$\frac{0.8.t_{ds}.(p-1)}{\ln(p)} < t_2 < \frac{1.1t_s - 0.9t_s}{\ln(2)} \quad (8)$$

Với các giá trị (p, t_2) thoả (7) và (8) cần lựa chọn cặp giá trị làm cho $d=0$ (tức là sai số thoả mãn theo tiêu chuẩn) và e nhỏ nhất (tức là có sai số bé nhất). Trong điều kiện không tìm được cặp giá trị (p, t_2) làm cho $d=0$, thì sẽ lựa chọn cặp giá trị làm cho độ lệch tổng nhỏ nhất (tức là gần với yêu cầu về sai số của tiêu chuẩn kỹ thuật).

Kết quả tính toán bằng phương pháp này sau khi làm tròn giá trị R, L, C được trình bày ở Bảng 3. Theo đó, chỉ còn dạng sóng 8/20 μ s và 4/10 μ s là có đầu sóng không thỏa tiêu chuẩn nhưng sai số đầu sóng đã được cải thiện so với các mô hình đã được đề nghị.

IV. MÔ HÌNH HÀM TOÁN CỦA HEIDLER

4.1 Phương trình Heidler

Phương trình Heidler là một trong số các phương trình được sử dụng để mô tả xung dòng sét:

$$i(t) = \frac{I_m}{\mu} \frac{(t/\tau_1)^{10}}{(t/\tau_1)^{10} + 1} e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (9)$$

Trong đó: I_m là giá trị dòng điện đỉnh (kA); τ_1 là hằng số thời gian tăng của dòng điện và điện áp (μ s); τ_2 là hằng số thời gian suy giảm của dòng điện và điện áp (μ s); μ là hệ số hiệu chỉnh giá trị đỉnh của dòng điện.

Áp dụng phương pháp xấp xỉ, trong giai đoạn đầu sóng có thể xem $e^{-\frac{t}{\tau_2}} = 1$. Lúc đó phương trình (9) có dạng:

$$i(t) = \frac{I_m}{\mu} \frac{(t/\tau_1)^{10}}{(t/\tau_1)^{10} + 1}$$

Tại $t = t_{10\%}$ giá trị dòng điện $i(t) = 0,1.I_m$ và tại $t = t_{90\%}$ giá trị dòng điện $i(t) = 0,9.I_m$.

Suy ra:

$$\begin{cases} \frac{(t_{10\%}/\tau_1)^{10}}{(t_{10\%}/\tau_1)^{10} + 1} = 0.1 \\ \frac{(t_{90\%}/\tau_1)^{10}}{(t_{90\%}/\tau_1)^{10} + 1} = 0.9. \end{cases} \quad (10)$$

Giải hệ phương trình (10) tìm được:

$$\tau_1 = \frac{0.8t_{ds}}{10\sqrt[10]{9} - 10\sqrt[10]{1/9}} \quad (11)$$

Tương tự trong giai đoạn đuôi sóng, có thể xem $\frac{(t/\tau_1)^{10}}{(t/\tau_1)^{10} + 1} = 1$. Do đó, phương trình dòng điện có dạng:

$$i(t) = \frac{m}{\mu} e^{-t/\tau_2}$$

Tại $t = t_s - t_{ds}$ giá trị dòng điện $i(t) = 0.5I_m$. Suy ra

$$e^{-\frac{t_s - t_{ds}}{\tau_2}} = 0.5$$

$$\tau_2 = \frac{t_s - t_{ds}}{\ln(2)}$$

Kết quả sai số của xung dòng sét khi sử dụng phương trình Heidler với các công thức (11) và (12) được thể hiện trong Bảng 4. Từ kết quả ở Bảng 4, nhận thấy phương pháp tính gần đúng khi sử dụng cho phương trình Heidler vẫn chưa đạt được sai số cần thiết đối với các dạng sóng 4/10, 8/20 μ s; nhưng so với việc sử dụng phương trình dòng điện (1) thì sai số được cải thiện đáng kể.

4.2 Hiệu chỉnh thông số

Để có kết quả chính xác hơn, cần thực hiện việc hiệu chỉnh nhằm bù lại sai số sinh ra do áp

dụng giải thiết các hàm $x(t) = \frac{t^{10}}{\tau_1^{10} + 1} = 1$ và $y(t) = e^{-t/\tau_2} = 1$ khi tính toán. Vì các hàm $x(t)$ và $y(t)$ đều nhỏ hơn 1 nên việc hiệu chỉnh phải thực hiện sao cho các giá trị τ_1 và τ_2 làm cho giá trị hàm $x(t)$ và $y(t)$ giảm.

Đối với hàm $x(t) = \frac{(t/\tau_1)^{10}}{(t/\tau_1)^{10} + 1}$, $x(t)$ giảm khi $(t/\tau_1)^{10}$ giảm, tức là τ_1 tăng. Ngược lại, $y(t) = e^{-t/\tau_2}$ giảm khi τ_2 giảm.

Giải thuật hiệu chỉnh được thể hiện trong Hình 4.

Sau khi hiệu chỉnh theo lưu đồ Hình 4 kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 5. Theo đó tất cả các dạng sóng đều thỏa tiêu chuẩn kỹ thuật và sai số rất nhỏ.

Bảng 4. Sai số của phương pháp tính toán gần đúng cho phương trình Heidler.

tds (μ s)	ts (μ s)	τ_1	τ_2	$e_1(\%)$	$e_2(\%)$
4	10	7.52E-6	8.6562E-6	21.875	11
8	20	1.504E-5	1.7312E-5	21.875	10

Bảng 5. Sai số cho xung dòng sét sử dụng phương trình Heidler sau khi hiệu chỉnh

tds (μ s)	ts (μ s)	τ_1	τ_2	$e_1(\%)$	$e_2(\%)$
4	10	1.0446E-6	5.885E-6	0	3
8	20	1.9898E-5	1.239E-05	1.5	2.5

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã xác định giá trị R,L,C của máy phát xung sét với một cấu hình duy nhất cho phép tạo ra nhiều dạng sóng(10/700, 1.2/50, 2/25, 2/50, 0.25/100, 1/200, 10/350, 1/5 μ s) có sai số thoả tiêu chuẩn kỹ thuật.

Đối với dạng sóng 8/20 μ s, các giá trị R,L,C được đề nghị cho sai số đầu sóng giảm từ 39.06 % xuống 29.7 % so với các phương pháp trước.

Mô hình toán trong Matlab cho dạng sóng 8/20 μ s và 4/10 μ s có sai số thấp hơn so với các nghiên cứu trước đây(6% xuống 4%).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- C. Politano, *Protection Standards Applicable to Terminals*, Italia, 1995.
- F. Heilder, J.M. Cvetic, B.V. Stanic, "Calculation of Lighting Parameters," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol 14, No.2, April 1999, pp. 399-410.
- Trần Tùng Giang, "Xây dựng mô hình máy phát xung hỗn hợp và điện trở phi tuyến," Luận văn Thạc sĩ, Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Thành phố Hồ Chí Minh- 2007.
- Vernon Cooray, *Lightning Protection*, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, IET 2010.