

XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÁY PHÁT XUNG HỖN HỢP VÀ BIẾN TRỞ PHI TUYẾN ĐA LỚP HẠ ÁP

MODELS OF VOLTAGE AND CURRENT IMPULSE GENERATOR AND LOW VOLTAGE MULTILAYER VARISTOR

PGS.TS. Quyền Huy Ánh

ThS. Trần Tùng Giang

ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM.

KS. Lê Quang Trung

Trường Cao đẳng nghề LILAMA 2

TÓM TẮT

Bài báo xây dựng mô hình mạch máy phát xung hỗn hợp tiêu chuẩn áp dòng $1.2/50\mu\text{s}$, $8/20\mu\text{s}$ và mô hình biến trở phi tuyến đa lớp (MLV) hạ áp có độ phức tạp cần thiết và độ chính xác cao. Mô hình máy phát xung được sử dụng để mô phỏng đánh giá, kiểm tra đáp ứng của mô hình biến trở phi tuyến đa lớp hạ áp với các xung sét tiêu chuẩn. Mô hình MLV hạ áp có các thông số đầu vào cần thiết như: dòng xung sét định mức, điện áp thông qua và số lượng phần tử MLV mắc song song. Phương pháp xác định số xung sét lặp lại dạng $8/20\mu\text{s}$ mà MLV có thể chịu được cũng đã được đề cập.

ABSTRACT

This paper presents the model of voltage and current impulse generator $6\text{kV } 1.2/50\mu\text{s}$, $3\text{kA } 8/20\mu\text{s}$, according to the international standard IEEE C62.41 and the model of low voltage multilayer varistor (MLV) that have the necessary complexity and high accuracy. The model of impulse generator is used for simulation, evaluation, inspection of the response of low voltage MLV model with lightning standard impulses. The model of low voltage MLV has the parameters such as nominal surge current, let-through voltage and the quantity of shunt connected MLV. The method to determine the number of lightning impulses that the MLV can respond is also presented.

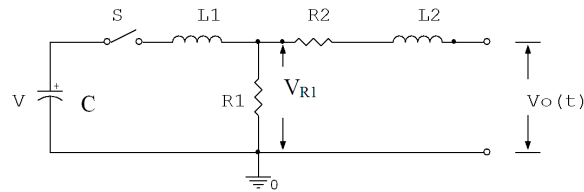
GIỚI THIỆU

Hiện nay, việc xây dựng mô hình các máy phát xung dòng $8/20\mu\text{s}$ và xung áp $1.2/50\mu\text{s}$, cũng như việc xây dựng các mô hình biến trở phi tuyến hạ áp (MOV) và cao áp (LA) đã được đạt được mức độ chi tiết và độ chính xác theo yêu cầu. Tuy nhiên, việc xây dựng mô hình máy phát xung hỗn hợp với mức độ tương thích cao so với các dạng sóng quy định trong các tiêu chuẩn quốc tế và việc xây dựng mô hình MLV có độ phức tạp cần thiết và độ chính xác cao chưa được đề cập và phân tích một cách đầy đủ. Bài báo này đi sâu nghiên cứu và xây mô hình máy phát xung hỗn hợp áp dòng, dạng sóng được chọn mô phỏng theo IEEE C62-41 cấp C: $6\text{kV } 1.2/50\mu\text{s } 3\text{kA } 8/20\mu\text{s}$ làm minh họa, mô hình biến trở đa

lớp MLV trong môi trường Matlab. Độ chính xác của mô hình được kiểm chứng thông qua các yêu cầu của tiêu chuẩn và kết quả mô phỏng điện áp thông qua được đối chứng với catalogue của các nhà sản xuất MLV. Kết quả nghiên cứu tạo điều kiện cho các viện nghiên cứu, các cơ sở đào tạo quan tâm đến vấn đề quá điện áp do sét trên mạng viễn thông và các biện pháp bảo vệ.

I. XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ CÁC PHẦN TỬ MÁY PHÁT XUNG HỖN HỢP 6 KV 1.2/50 μS - 3 KA 8/20 μS

Hình 1 giới thiệu sơ đồ nguyên lý máy phát xung hỗn hợp:



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý máy phát xung hỗn hợp

Bằng cách viết phương trình vi tích phân mô tả mạch và sử dụng phép biến đổi Laplace tìm được:

$$V_o(t) = (I R_1 C) \left(\frac{1}{\beta - \alpha} \right) (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1)$$

Với: $\alpha = \frac{1}{C R_1}$ và $\beta = \frac{R_2}{L_2}$ (2)

Theo tiêu chuẩn: $\beta \gg \alpha$ nên $V_{0Max}(t) = (I R_1 C) \frac{1}{\beta}$ (3)

$$\frac{\beta}{\alpha} = e^{\beta t} \quad (4)$$

Sau đó giá trị lớn nhất sẽ giảm theo hàm mũ xuống 50%:

$$I_{0Max}(t) = (I R_1 C) \frac{1}{\beta} = e^{-\alpha t_{decay}} \quad (5)$$

Tính được α : $e^{-\alpha t_{decay}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \alpha = \frac{-1}{t_{decay}} \ln\left(\frac{1}{2}\right)$ (6)

Ở đây: Decay là thời gian cuối sóng, rise là thời gian đầu sóng.

Tại $t_{decay} = 50\mu s$ thì $\alpha = 13.86 \cdot 10^3$

Từ (4) tại $t_{rise} = 1\mu s$ thì $\beta = 6.1 \cdot 10^6$

Theo tiêu chuẩn IEEE, dòng ngắn mạch $I(t)$ và điện áp hở mạch $V_o(t)$ được xác định bởi biểu thức: $I(t) = A I_p t^3 e^{-\frac{t}{\tau}}$; $V_o(t) = A I_p (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) (e^{-\frac{t}{\tau}})$ (7)

Từ mạch tương đương Thevenin: $I_{sc} = V_{oc} / R_{th} = V_{oc} / 2$ (8)

Điện tích trong mạch: $Q = \int i dt = \int \frac{V_o(t)}{2} dt = 0.7$ Coulomb (9)

Do $Q = CV$, với điện áp $V = 6000V$, giá trị điện dung tính được là: $C = 11.7\mu F$.

Với $\alpha = 13.86 \cdot 10^3$ và $\beta = 6.1 \cdot 10^6$ từ (2) tính được $R_1 = 6.17$ và $L_1 = 1.01\mu H$.

Từ mạch tương đương Thevenin (V_{oc} , I_{sc}) theo IEEE tổng trở Thevenin gần bằng $2\Omega (\pm 10\%)$.

Do đó, với mạch thiết kế $Z_{th} = (Z_1 // R_1) + Z_2$

Ở đây:

$$Z_1 = \frac{1}{sC} + sL_1; Z_2 = sL_2 + R_2 \quad (10)$$

$$Z_{TH} = \frac{(L_1 C s^2 + 1) R_1}{L_1 C s^2 + s R_1 C + 1} + R_2 + sL_2 \quad (11)$$

Với dạng sóng 8/20ms, và thời gian cuối sóng $t_{decay} = 20ms$, gần bằng nửa chu kỳ của sóng tính được $t_{decay} = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega}$ nên $\omega = \pi / t_{decay} = 3.14 / 20 = 157.1$ krads/s.

Thay $s = j\omega$, $R_1 = 6.17$, $L_1 = 1.01\mu H$ và $C = 11.7\mu F$ vào (11) tìm được:

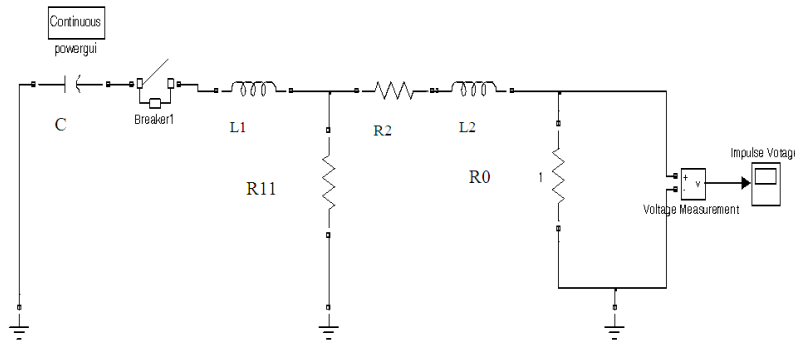
$$|Z_{TH}| = 2 \Rightarrow |Z_{TH}|^2 = 4 \quad (12)$$

Hằng số thời gian đầu sóng cho dòng ngắn mạch sẽ gần bằng L_2 / R_2 nên $L_2 = 3.911 \cdot 10^6 \cdot R_2$, thế giá trị L_2 vào (12).

Giải phương trình này tìm được: $R_2 = 1.83$ và $L_2 = 7.17\mu H$.

II. MÔ HÌNH HOÁ VÀ MÔ PHÒNG MÁY XUNG HỖN HỢP

Với các giá trị được tính toán nêu trên, mô hình máy phát xung hỗn hợp trong môi trường Matlab được trình bày ở (Hình 2).



Hình 2. Mô hình máy phát xung hỗn hợp 6kV 1.2/50μs 3kA 8/20μs

Kết quả mô phỏng điện áp hở mạch và dòng điện ngắn mạch được trình bày ở (Bảng 1).

Bảng 1. Kết quả mô phỏng

A. Điện áp hở mạch (Xung áp)					
Thông số	V_{peak} (V)	$90\%V_{peak}$	$t_{90\%}$ (μs)	$30\%V_{peak}$	$t_{30\%}$ (μs)
Giá trị	5931	5338	0.35	1779V	0.05
B. Dòng điện ngắn mạch (Xung dòng)					
Thông số	I_{peak} (kA)	$90\%I_{peak}$	$t_{90\%}$ (μs)	$10\%V_{peak}$	$T_{10\%}$ (μs)
Giá trị	2.3	2.07	5.42	0.23	0.46

Từ kết quả mô phỏng trong Bảng 1, nhận thấy:

1. Đối với xung áp

Biên độ điện áp: $V_{peak} = 5,931kV < 6kV$, thời gian đầu sóng $\tau_1 = 1.67(t_{90\%} - t_{30\%}) = 0.5\mu s$, không thỏa điều kiện sai số theo tiêu chuẩn: $0.84\mu s < t < 1.56\mu s$.

Thời gian cuối sóng $\tau_2 = 49.44\mu s$, thỏa điều kiện sai số theo tiêu chuẩn: $40\mu s < t < 60\mu s$.

2. Đối với xung dòng

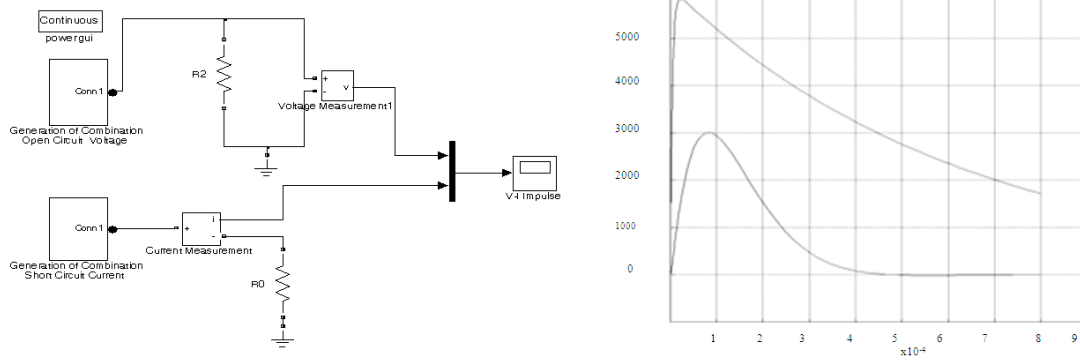
Biên độ $I_{peak} = 2.3kA < 3kA$, thời gian đầu sóng $\tau_1 = 1.25(t_{90\%} - t_{10\%}) = 6.2\mu s$, thỏa điều kiện sai số theo tiêu chuẩn: $5.5\mu s < t < 9\mu s$.

Thời gian cuối sóng $\tau_2 = 22\mu s$, thỏa điều kiện sai số theo tiêu chuẩn: $16\mu s < t < 28\mu s$,

không thỏa điều kiện sai số theo tiêu chuẩn: $2.7kA < I_{peak} < 3.3kA$

3. Hiệu chỉnh

Do một số chỉ tiêu về biên độ áp, dòng và một số sai số không thỏa yêu cầu theo tiêu chuẩn nên phải có các hiệu chỉnh bổ xung như: tăng điện dung của tụ điện C và giảm giá trị R_1, R_2 và L_2 . Các thông số được chọn lại là $C = 11.9\mu F; L_1 = 2.45\mu H, R_1 = 5.35, L_2 = 3.45\mu H, R_2 = 1.365$ và mô hình máy phát xung hỗn hợp hoàn chỉnh 6kV 1.2/50μs-3kA, 8/20μs có dạng sóng chuẩn đạt các yêu cầu về biên độ và sai số thời gian đầu và đuôi sóng theo yêu cầu của tiêu chuẩn trình bày ở (hình 3).



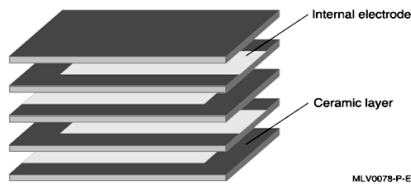
Hình 3. Mô hình máy phát xung hỗn hợp và dạng sóng 6kV 1.2/50μs 3kA 8/20μs

III. MÔ HÌNH BIẾN TRỞ PHI TUYẾN ĐA LỚP (MLV) HẠ THỂ

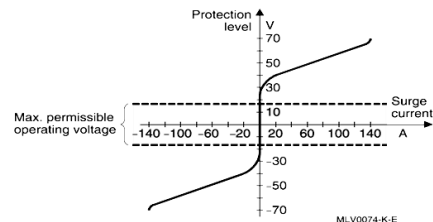
1. Xây dựng mô hình MLV

MLV là điện trở phi tuyến đa lớp (Hình 4), có đặc tuyến V-I đối xứng (Hình 5). Trong chế độ làm việc bình thường MLV coi như hở mạch với dòng điện rò cực thấp và điện trở MLV giảm khi điện áp vượt quá điện áp

ngưỡng. Nhờ đặc tính này, khi xuất hiện xung đột biến quá áp cao, MLV sẽ nhanh chóng trở thành đường dẫn trở kháng thấp để triệt xung đột biến.



Hình 4. Cấu tạo MLV



Hình 5. Đặc tuyến V-I của MLV

Đặc tính V-I của MLV có dạng:

$$I = Kv^\alpha, \alpha > 1 \quad (13)$$

Ở đây: I, V lần lượt là dòng điện và điện áp qua MLV, K là hằng số của Ceramic, α là hằng số.

Từ biểu thức (13) có thể trình bày dưới dạng:

$$\log V = B_1 + B_2 \log(I) + B_3 e^{-\log(I)} + B_4 e^{\log(I)} \text{ với } I > 0 \quad (14)$$

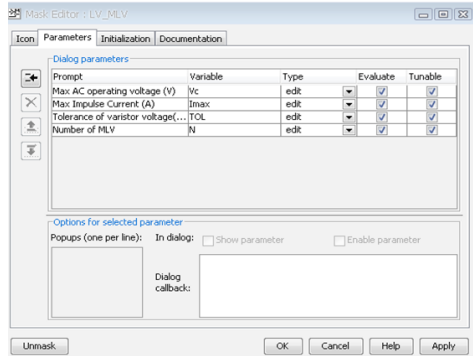
$$\text{Hay } V = 10^{B_1 + B_2 \log(I) + B_3 e^{-\log(I)} + B_4 e^{\log(I)}} \quad (15)$$

Khi xét đến sai số của điện áp trên biến trở TOL%:

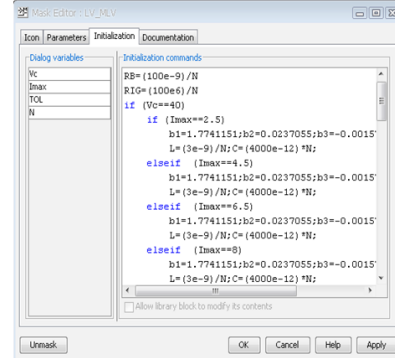
$$V = (1 + TOL / 100) 10^{B_1 + B_2 \log(I) + B_3 e^{-\log(I)} + B_4 e^{\log(I)}} \quad (16)$$

Sử dụng mô hình hồi quy phi tuyến để xác định các giá trị Bi từ các cặp thông số của đường đặc tính V-I của MLV bất kỳ. Dựa vào biểu thức (16) và các giá trị Bi, xây dựng mô hình MLV trong môi trường Matlab. Các thông số đầu vào của mô hình MLV được

khải báo trong mục Parameters của hộp thoại Mask Editor (Hình 6) bao gồm: điện áp làm việc xoay chiều cực đại (V_c), giá trị đỉnh của xung dòng (I_{max}), sai số của điện áp % (TOL), số lượng MLV mắc song song.



Hình 6. Thông số đầu vào



Hình 7. Hộp thoại Initialization

Các thông số đầu vào của mô hình MLV được khai báo trong mục Initialization: L_B , C , B_1 , B_2 , B_3 , B_4 và chương trình được viết để truy xuất các giá trị và tính giá trị của mảng điện áp V_{array_input} theo mảng dòng điện I_{array_output} ứng với các loại MLV. Các thông số này được cung cấp từ thư viện dữ liệu MLV hạ thế (Hình 7)

2. Mô phỏng đáp ứng MLV

Nhập số liệu MLV hạ thế của hãng Epcos loại CN1812K30G, CN2220K14G, CN2220K30G có các thông số trong catalogue (Bảng 2) và mô hình MLV đã xây dựng trong Matlab và tiến hành mô phỏng điện áp dư của các MLV này ứng với xung dòng 0.8kA và 1.2kA 8/20 μ s. Kết quả trình bày ở Bảng 3.

Bảng 2. Bảng thông số MLV hạ thế của Epcos

Loại	Điện áp làm việc AC max. (V)	Dòng điện xung 8/20 μ s max (kA crest)	Sai số của điện áp MLV (%)	Điện áp phóng điện max. với xung 8/20 μ s (V crest)	
				0.8kA	1.2kA
CN1812K20G	20	0.8	10	100	
CN1812K30G	30	0.8	10	149	
CN2220K14G	14	1.2	10		100
CN2220K30G	30	1.2	10		175

Bảng 3. Kết quả mô phỏng

Điện áp dư trên MLV (V)	Loại MLV hãng Epcos			
	CN 1812K20G	CN 1812K30G	CN 2220K14G	CN 2220K30G
	0.8kA	0.8kA	1.2kA	1.2kA
Theo Cataloge	100	149	100	175
Kết quả mô phỏng	104	151	95	170
Sai số (%)	4	1	5	3

Từ kết quả mô phỏng (Bảng 3), nhận thấy mô hình MLV hạ thế xây dựng có độ chính xác cao. Sai số điện áp dư lớn nhất của mô hình lớn nhất là 5% trong khi đó sai số cho phép bởi nhà chế tạo là 10%.

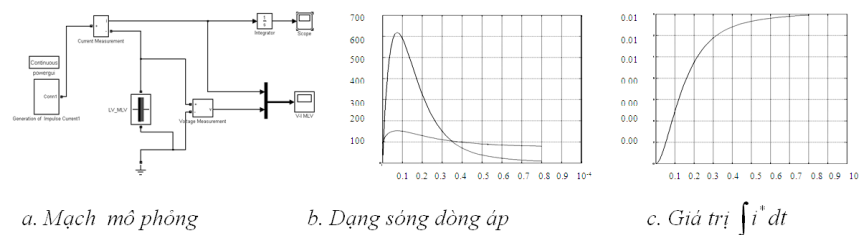
3. Xác định xung sét lặp lại với xung dòng 8/20 μ s

Khi xác định số lần xung sét lặp lại của MLV, thường nhà sản xuất MLV cho dưới dạng xung vuông 2ms. Trong khi đó các tiêu chuẩn chống sét lại quy định dạng xung chuẩn 8/20 μ s. Điều này dẫn đến khó khăn cho người

sử dụng. Dưới đây trình bày phương pháp qui xung chuẩn 8/20 μ s ra xung vuông 2ms tương đương trên cơ sở cùng năng lượng tản sét. Từ đó, dễ dàng xác định số xung sét lặp lại cho phép của MLV khi có thông số xung dạng sóng 8/20 μ s.

Mạch mô phỏng bao gồm: máy phát xung sét 0.8kA 8/20 μ s, mô hình MLV CN1812K30G; mô hình khối thuật toán tích phân, các scope.

Kết quả dạng sóng dòng xung và giá trị $\int i^* dt$ trình bày ở Hình 8.



Hình 8. Mạch và kết quả mô phỏng

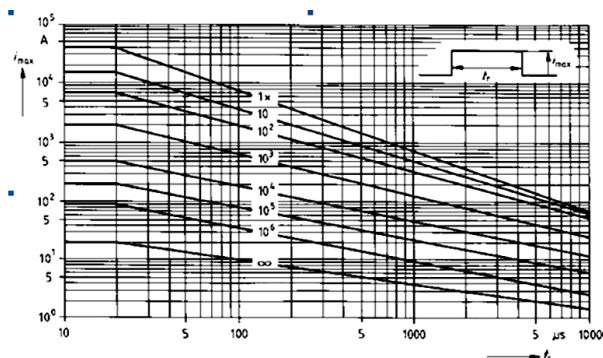
Từ kết quả mô phỏng, giá trị biên độ dòng điện cực đại \hat{i}^* và $\int i^* dt$ như sau:

$$\hat{i}^* = 0.618 \text{ kA}, \int i^* dt = 14 \text{ mAs}. \quad (21)$$

Từ biểu thức (21), tính được giá trị t_r^* :

$$t_r^* = \frac{\int i^* dt}{\hat{i}^*} = \frac{14}{0.618} = 23 \mu\text{s} \quad (22)$$

Từ giá trị $t_r^* = 23 \mu\text{s}$ và $\hat{i}^* = 0.618 \text{ kA}$, tra đồ thị (Hình 9), xác định được số xung sét lặp lại mà CN1812K30G có thể chịu được là $n = 1000$



Hình 9: Quan hệ số lần xung lặp lại và độ rộng xung của MLV CN1812K30G

IV. KẾT LUẬN

1. Bài báo giới thiệu mô hình và mô phỏng máy phát xung hỗn hợp dạng xung áp 1.2/50 μ s, dòng 8/20 μ s tương thích với

các tiêu chuẩn quốc tế trong môi trường Matlab.

2. Mô hình MLV có độ chính xác cao, được xây dựng trong môi trường Matlab với đầy đủ thông số đầu vào rất cần thiết để nghiên cứu quá trình quá độ do sét trong mạng truyền tín hiệu của hệ thống thông tin.
3. Trình bày phương pháp xác định số xung sét lặp lại cho phép của MLV khi có thông số xung dạng sóng $8/20\mu\text{s}$ từ dạng xung vuông 2ms cho bởi nhà chế tạo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Ceramic transient voltage suppressors, Epcos August 2008.

Grain Growth Behavior of Bi_2O_3 -Doped ZnO Grains in a Multilayer Varistor - National Taiwan University, Taipei, Taiwan 106.

Lightning Principles, Instruments and Applications. Hans Dieter Betz; Springer 2009.

Mô hình xung sét cải tiến và quá áp do sét đánh trực tiếp vào đường dây phân phối trung áp; Quyền Huy Ánh, Lê Hữu Chí-ĐH Sư phạm Kỹ thuật Tp HCM; Tạp chí Phát Triển Khoa Học & Công Nghệ, Đại Học Quốc Gia Tp Hồ Chí Minh, tập 10, số 3, năm 2007.

Nghiên cứu mô hình chống sét van dạng oxít kim loại; Quyền Huy Ánh-ĐH Sư phạm Kỹ thuật, Lê Vũ Minh Quang-Trường TH Điện II; Tạp chí Phát Triển Khoa Học & Công Nghệ, Đại Học Quốc Gia Tp Hồ Chí Minh, tập 8, số 9, năm 2005.

Overvoltage Protection of Low Voltage Systems. Peter Hasse; IET 2008.