

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ TP. HCM



NGUYỄN TRUNG LỤC

**NGHIÊN CỨU BẢO VỆ QUÁ ÁP
TRÊN ĐƯỜNG NGUỒN HẠ ÁP
KHI SÉT ĐÁNH TRỰC TIẾP
VÀO ĐƯỜNG DÂY TRUNG ÁP**

LUẬN VĂN THẠC SĨ

Chuyên ngành: Thiết bị, mạng & Nhà máy điện

Mã số ngành: 60 52 50

TP. HỒ CHÍ MINH, tháng 05 năm 2012

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ TP. HCM



NGUYỄN TRUNG LỤC

**NGHIÊN CỨU BẢO VỆ QUÁ ÁP
TRÊN ĐƯỜNG NGUỒN HẠ ÁP
KHI SÉT ĐÁNH TRỰC TIẾP
VÀO ĐƯỜNG DÂY TRUNG ÁP**

LUẬN VĂN THẠC SĨ

Chuyên ngành : Thiết bị, mạng & Nhà máy điện

Mã số ngành: 60 52 50

HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS.TS Quyên Huy Ánh

TP. HỒ CHÍ MINH, tháng 05 năm 2012

ABSTRACT OF THESIS

Thesis "Research on over voltage protection on low voltage power lines when the lightning strikes directly to the medium-voltage lines" going into research of valve lightning of Metal-oxide form on the medium and low voltage of some famous on the world. The valve lightning of Metal-oxide form is still used to protect the over voltage caused by lightning or switching impulse on the medium-and high-voltage grid. A model of its IEEE, Manfred and Willi Zapsky Holzer was selected with a small correction to build the medium and low voltage MOV models. The parameters of valve lightning model are provided in the valve manufacturer's catalogue.

Thesis also focuses on building model of standard lightning impulse source. By using the Matlab software to simulate, test, testing the operation of this model. The model results consistent with valve lightning fact of different manufacturers in different voltage levels.

Thesis also going to study the effects on the low voltage network when the lightning strikes directly to the medium-voltage lines at different distances with the different installed MOV positions, thus putting the best installed MOV position and method.

Thesis also hopes to provide a useful simulation tool with the common Matlab software for researchers, engineers, students ... in studying of behaviors and responses of the valve lightning equipment under the action of lightning impulse spreaded in conditions test can not be real.

BẢN CAM ĐOAN

Họ tên học viên: Nguyễn Trung Lục

Giới tính: Nam

Ngày sinh: 28/07/1965

Nơi sinh: Hải Dương

Trúng tuyển đầu vào năm: 2010

Là tác giả của đề tài luận văn: *Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp*

Cán bộ hướng dẫn: PGS.TS Quyền Huy Ánh

Ngành: Thiết bị, mạng và Nhà Máy điện

Mã ngành: 60 52 50

Bảo vệ luận văn ngày 22 tháng 04 năm 2012

Điểm bảo vệ luận văn: 8,2

Tôi cam đoan đã chỉnh sửa luận văn thạc sĩ với đề tài trên, theo góp ý của hội đồng chấm luận văn thạc sĩ. Các nội dung đã chỉnh sửa:

Bỏ mục 3.1.2: Cài đặt Matlab

Người cam đoan
(Ký và ghi rõ họ tên)

TP.Hồ Chí Minh, ngày 12 tháng 05 năm 2012
Chủ tịch hội đồng chấm luận văn
(Ký và ghi rõ họ tên)

Phan Thị Thanh Bình

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ TP. HCM**

Cán bộ hướng dẫn khoa học : PGS.TS: Quyền Huy Ánh

(Ghi rõ họ, tên, học hàm, học vị và chữ ký)

Luận văn thạc sĩ được bảo vệ tại Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ TP. HCM
ngày 22 tháng 04 năm 2012

Thành phần Hội đồng đánh giá luận văn thạc sĩ gồm:

(Ghi rõ họ, tên, học hàm, học vị của Hội đồng chấm bảo vệ luận văn thạc sĩ)

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1. PGS.TS. Phan Thị Thanh Bình | Chủ tịch hội đồng. |
| 2. PGS.TS. Trần Thu Hà | Ủy viên |
| 3. TS. Nguyễn Thanh Phương | Ủy viên – Thư ký hội đồng. |
| 4. TS. Ngô Cao Cường | Phản biện 1 |
| 5. TS. Huỳnh Châu Duy | Phản biện 2 |

Xác nhận của Chủ tịch Hội đồng đánh giá Luận văn sau khi luận văn đã được sửa chữa (nếu có):

.....
.....

Chủ tịch hội đồng đánh giá LV

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ TP. HCM
PHÒNG QLKH - ĐTSĐH

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

TP. HCM, ngày 15 tháng 09 năm 2012

NHIỆM VỤ LUẬN VĂN THẠC SĨ

Họ tên học viên: Nguyễn Trung Lục

Giới tính: Nam

Ngày, tháng, năm sinh: 28/07/1965

Nơi sinh: Tỉnh Hải Dương

Chuyên ngành: Thiết Bị, Mạng & Nhà Máy Điện

MSHV: 1081031048

I-TÊN ĐỀ TÀI:

Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp.

II- NHIỆM VỤ VÀ NỘI DUNG:

- Nghiên cứu cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các mô hình của chống sét van MOV.
- Xây dựng mô hình mô phỏng nguồn phát xung sét tiêu chuẩn;
- Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp.
- Xây dựng mô hình mô phỏng MOV trên lưới điện trung thế, hạ thế;
- Xây dựng mô hình mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh vào đường dây trung áp..

III- NGÀY GIAO NHIỆM VỤ: 15/09/2011

IV- NGÀY HOÀN THÀNH NHIỆM VỤ 15/04/2012

V- CÁN BỘ HƯỚNG DẪN: (Ghi rõ học hàm, học vị, họ, tên)

PGS.TS: Quyên Huy Ánh

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN
(Họ tên và chữ ký)

KHOA QUẢN LÝ CHUYÊN NGÀNH
(Họ tên và chữ ký)

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tôi xin cam đoan ằng mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện luận văn này đã được cảm ơn và các thông tin trích dẫn trong luận văn đã được chỉ rõ nguồn gốc.

Học viên thực hiện luận văn

Nguyễn Trung Lục

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành cuốn luận văn này, tôi xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất đối với PGS.TS Quyên Huy Ánh, người thầy đã hết lòng, tận tâm, nhiệt tình hướng dẫn và cung cấp cho tôi những tài liệu vô cùng quý giá trong quá trình thực hiện luận văn.

Xin chân thành cảm ơn tập thể các thầy cô giáo đã giảng dạy, truyền đạt tri thức giúp tôi học tập và nghiên cứu trong quá trình học cao học tại trường Đại Học Kỹ Thuật Công Nghệ TP.HCM.

Xin chân thành cảm ơn Ban giám hiệu, Phòng quản lý khoa học - Đào tạo sau đại học và khoa Điện – Điện tử Trường Đại Học Kỹ Thuật Công Nghệ TP.HCM đã giúp đỡ, tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình học tập và làm luận văn cao học tại trường.

Xin chân thành cảm ơn các anh, chị học viên cao học ngành “Thiết Bị, Mạng & Nhà Máy Điện” khóa 01 đã đóng góp ý kiến cho tôi trong quá trình thực hiện luận văn này.

TP.Hồ Chí Minh, tháng 03 năm 2012

NGƯỜI THỰC HIỆN

Nguyễn Trung Lục

TÓM TẮT LUẬN VĂN

Luận văn “ Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp” đi sâu vào nghiên cứu chống sét van dạng Metal-oxide trên lưới trung thế và hạ thế của một số hãng nổi tiếng trên thế giới. Chống sét van dạng Metal-oxide được dùng để bảo vệ quá điện áp do sét hoặc xung đóng cắt trên lưới trung thế và cao thế. Một mô hình của hãng IEEE, Manfred Holzer và Willi Zapsky đã được lựa chọn với một hiệu chỉnh nhỏ để xây dựng mô hình MOV trung thế và hạ thế. Các thông số của mô hình chống sét van được cung cấp trong Catalogue của nhà sản xuất.

Luận văn tập trung xây dựng mô hình nguồn phát xung sét tiêu chuẩn. Sử dụng phần mềm Matlab để mô phỏng, kiểm tra, thử nghiệm hoạt động của các mô hình này. Mô hình cho kết quả phù hợp với thiết bị chống sét van thực tế của các hãng sản xuất khác nhau ở các cấp điện áp khác nhau.

Luận văn cũng đi sâu nghiên cứu ảnh hưởng trên mạng điện hạ áp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp ở những khoảng cách khác nhau, với các vị trí lắp đặt MOV khác nhau, từ đó đưa ra phương án, vị trí lắp đặt MOV tốt nhất.

Luận văn cũng hy vọng sẽ cung cấp một công cụ mô phỏng hữu ích với phần mềm thông dụng Matlab cho các nhà nghiên cứu, các kỹ sư, sinh viên... trong việc nghiên cứu các hành vi và đáp ứng của thiết bị chống sét van dưới tác động của xung sét lan truyền trong điều kiện không thể đo thử thực tế.

ABSTRACT OF THESIS

Thesis "Research on over voltage protection on low voltage power lines when the lightning strikes directly to the medium-voltage lines" going into research of valve lightning of Metal-oxide form on the medium and low voltage of some famous on the world. The valve lightning of Metal-oxide form is still used to protect the over voltage caused by lightning or switching impulse on the medium-and high-voltage grid. A model of its IEEE, Manfred and Willi Zapsky Holzer was selected with a small correction to build the medium and low voltage MOV models. The parameters of valve lightning model are provided in the valve manufacturer's catalogue.

Thesis also focuses on building model of standard lightning impulse source. By using the Matlab software to simulate, test, testing the operation of this model. The model results consistent with valve lightning fact of different manufacturers in different voltage levels.

Thesis also going to study the effects on the low voltage network when the lightning strikes directly to the medium-voltage lines at different distances with the different installed MOV positions, thus putting the best installed MOV position and method.

Thesis also hopes to provide a useful simulation tool with the common Matlab software for researchers, engineers, students ... in studying of behaviors and responses of the valve lightning equipment under the action of lightning impulse spreaded in conditions test can not be real.

MỤC LỤC

Chương 1: Mở đầu	1
1.1. Đặt vấn đề	1
1.2. Mục tiêu và nhiệm vụ của luận văn	3
1.3. Phạm vi nghiên cứu	3
1.4. Các bước tiến hành	3
1.5. Điểm mới của luận văn	4
1.6. Giá trị thực tiễn của đề tài	4
1.7. Nội dung của luận văn	5
Chương 2: Tổng quan về sét	6
2.1. Sự hình thành sét	6
2.2. Các hiệu ứng thứ cấp do sét gây ra	10
2.3. Các thông số của sét lan truyền	13
2.4. Thiệt hại do sét lan truyền gây ra	14
Chương 3: Xây dựng mô hình nguồn phát xung sét tiêu chuẩn	16
3.1. Giới thiệu phần mềm Matlab	17
3.1.1. Định nghĩa	17
3.1.2. Các khối sử dụng trong mô hình	18
3.1.3. Giới thiệu công cụ Curve Fitting Toolbox	19
3.2. Xây dựng mô hình nguồn phát xung sét	23
3.2.1. Các dạng xung không chu kỳ chuẩn	23
3.2.2. Xây dựng mối liên hệ giữa các thông số	25
3.2.2.1. Giữa tỉ số t_2/t_1 và b/a	25
3.2.2.2. Giữa tỉ số b/a và at_1	29
3.2.2.3. Giữa tỉ số I_1/I và b/a	31
3.2.3. Xây dựng sơ đồ khối	31
3.2.4. Thực hiện mô phỏng	33
3.3. Nhận xét	38
Chương 4: Cấu tạo, nguyên lý hoạt động và mô hình MOV	39
4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của biến trở oxide kim loại (mov)	39
4.1.1. Cấu tạo cơ bản của mov	39
4.1.2. Nguyên Lý hoạt động của mov	42
4.1.2.1. Đặc tính $V - I$	46
4.1.2.2. Thời gian đáp ứng	46
4.1.2.3. Năng lượng cho phép và công suất tiêu tán trung bình	48
4.2. Đánh giá mô hình mov của Matlab	49
4.2.1. Giới thiệu mô hình	50

4.2.2.Nguyên lý làm việc của mô hình.....	51
4.2.3.Đánh giá mô hình.....	52
4.3.Xây dựng mô hình mov hạ thế.....	52
4.3.1.Cấu trúc cơ bản của mô hình mov hạ thế.....	52
4.3.2.Xây dựng mô hình điện trở phi tuyến trên Matlab.....	54
4.3.3.Xây dựng mô hình mov hạ thế hoàn chỉnh trên Matlab.....	56
4.3.4.Kiểm tra đáp ứng mov hạ thế với xung dòng chuẩn.....	59
4.4.Xây dựng mô hình mov trung thế.....	67
4.4.1.Đặt vấn đề.....	67
4.4.2.Mô hình mov trung thế đề nghị.....	69
4.4.3.Phương pháp xác định thông số.....	69
4.4.4.Xây dựng mô hình mov trung thế trong Matlab.....	70
4.4.5. Kiểm tra đáp ứng mov trung thế với xung dòng chuẩn.....	74
4.5.Nhận xét.....	84

Chương 5: Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp.....	85
5.1.Giới thiệu.....	85
5.2.Mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp do sét lan truyền trên đường dây trung áp.....	86
5.2.1.Mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp khi không có van chống sét hạ áp.....	86
5.2.2.Mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp khi có van chống sét hạ áp.....	98
5.3.Nhận xét.....	101

Chương 6: Kết luận và hướng nghiên cứu phát triển.....	103
6.1.Mô hình toán nguồn phát xung sét không chu kỳ chuẩn.....	103
6.2.Nghiên cứu sét lan truyền và cấu tạo nguyên lý hoạt động của MOV.....	104
6.3.Xây dựng mô hình MOV trung thế và hạ thế.....	104
6.4.Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp Vào đường dây trung áp.....	106
6.5.Hướng nghiên cứu phát triển.....	107

9. Danh mục các từ viết tắt

MOV:Metal Oxide Varistor: Biến trở Oxide kim loại

LV_MOV:Low-Voltage Metal Oxide Varistor: Van chống sét hạ áp

MV_MOV: Medium Voltage Oxide Varistor: Van chống sét trung áp

10.Danh mục các bảng

STT	Tên bảng	Trang
4.1	Thông số kỹ thuật MOV hạ thế của hãng AVX	60
4.2	Kết quả so sánh khi mô phỏng MOV hạ thế của hãng AVX	62
4.3	Thông số kỹ thuật MOV hạ thế của hãng Littelfuse	62

4.4	Kết quả so sánh khi mô phỏng MOV hạ thế của hãng Littelfuse	64
4.5	Thông số kỹ thuật MOV hạ thế của hãng SIEMENS	64
4.6	Kết quả mô phỏng MOV hạ thế của hãng SIEMENS	66
4.7	Quan hệ $I = f(V)$ đặc tuyến V-I của A_0 và A_1	71
4.8	Thông số kỹ thuật MV_MOV loại AZG3 của hãng COOPER	75
4.9	Kết quả mô phỏng MOV trung thế của hãng COOPER	77
4.10	Thông số kỹ thuật MV_MOV của hãng ELPRO	77
4.11	Kết quả mô phỏng MOV trung thế của hãng ELPRO	78
4.12	Thông số kỹ thuật MV_MOV của hãng GE	79
4.13	Kết quả mô phỏng MOV trung thế của hãng GE	79
4.14	Thông số kỹ thuật MV MOV của hãng COOPER	81
4.15	So sánh kết quả mô phỏng với số liệu kỹ thuật	82
5.1	Thông số mạch tương đương hệ thống bảo vệ quá áp mô phỏng	89
5.2	Quá điện áp trên tải khi khoảng cách từ vị trí sét đánh tới trạm biến áp thay đổi	97

11. Danh mục các biểu đồ, đồ thị, sơ đồ, hình ảnh

STT	Tên các biểu đồ, đồ thị, sơ đồ, hình ảnh	Trang
2.1	Sự phát triển của sét trong đám mây dông	6
2.2	Sự phát triển của sóng điện sét trong đám mây dông	7
2.3	Các giai đoạn phóng điện sét và biến thiên của dòng điện sét theo thời gian	9
2.4	Quá trình phát triển của phóng điện sét	10
2.5	Quá độ dòng điện trong đất	11
2.6	Quá điện áp khí quyển do sét đánh thẳng hoặc đánh gần đường dây	12
2.7	Dạng sóng dòng điện sét	13
3.1	Giao diện tạo Curve Fitting Toolbox	20
3.2	Cửa sổ Workspace	20
3.3	Cửa sổ Data	21
3.4	Cửa sổ Fitting	21
3.5	Đồ thị $y_1 = f_1(x)$	22
3.6	Cửa sổ Analysis	23
3.7	Dạng sóng xung không chu kỳ chuẩn	23
3.8	Dạng sóng xung gồm tổng của hai thành phần	24
3.9	Đường cong xác định tỷ số b/a	24
3.10	Đường cong xác định tỉ số at_1	25
3.11	Đường cong xác định tỉ số I_1/I	25
3.12	Nhập dữ liệu t_2/t_1 và b/a	26
3.13	Kết quả phân tích ở cửa sổ Analysis	29
3.14	Nhập dữ liệu b/a (X_{at1}) và $at1$	30
3.15	Sơ đồ khối tạo nguồn phát xung	32
STT	Tên các biểu đồ, đồ thị, sơ đồ, hình ảnh	Trang
3.16	Biểu tượng của mô hình nguồn phát xung	32
3.17	Khai báo các thông số yêu cầu	33

3.19	Sơ đồ mô phỏng nguồn xung dòng	33
3.19	Thông số của nguồn phát xung sét	34
3.20	Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 5kA	34
3.21	Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 10kA	35
3.22	Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 1,5kA	35
3.23	Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 2kA	36
3.24	Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 3kA	36
3.25	Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 20kA	37
3.26	Dạng sóng nguồn xung dòng 1/5 μ s – 10kA	37
3.27	Dạng sóng nguồn xung dòng 10/350 μ s – 10kA	38
4.1	Cấu trúc của biến trở v đặc tính V-I	39
4.2	Vì cấu trúc của ceramic	40
4.3	Vì cấu trúc của MOV	40
4.4	Sơ đồ cấu trúc của lớp biên tiếp giáp biến trở ZnO	41
4.5	Lưu đồ chế tạo biến trở ZnO	43
4.6	Hình ảnh MOV	44
4.7	Sơ đồ năng lượng tiếp giáp ZnO –biên –ZnO	45
4.8	Quan hệ điện thế rào với điện áp đặt vào	45
4.9	Đặc tính V-I của MOV	46
4.10	Đáp ứng của biến trở ZnO xung tốc độ cao	47
4.11	Đáp ứng của biến trở tính đến điện cảm đầu dây nối với xung dòng	47
4.12	Số lần xung có thể chịu được của chống sét van MOV	48
4.13	Quan hệ công suất tiêu tán và điện áp ($\alpha = 10, 30, 50$)	49
4.14	Quan hệ dòng điện – điện áp của mô hình MOV	50
4.15	Hộp thoại của mô hình MOV trong Matlab	51
4.16	Sơ đồ nguyên lý của mô hình	51
4.17	Mô hình MOV hạ thế	53
4.18	Đặc tính V – I của MOV có sai số TOL $\pm 10\%$	54
4.19	Sơ đồ mô hình điện trở phi tuyến $V = f(I)$ của MOV	54
4.20	Sơ đồ mạch tương đương của mô hình MOV đề nghị	56
4.21	Biểu tượng mô hình MOV hạ thế	56
4.22	Hộp thoại khai báo biến Parameters của mô hình MOV hạ thế	57
4.23	Hộp thoại Initialization của mô hình MOV hạ thế	58
4.24	Hộp thoại thông số mô hình MOV hạ thế	59
4.25	Sơ đồ mô phỏng đáp ứng của MOV hạ thế	59
4.26	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV VE17M02750K với xung 8/20 μ s – 2kA	60
4.27	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV VE17M02750K với xung 8/20 μ s – 3kA	61
4.28	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV VE17M02750K với xung 8/20 μ s – 2kA	61
4.29	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV V275LA 40A với xung 8/20 μ s – 3kA	63
4.30	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV V275LA 40A với xung 8/20 μ s – 5kA	63
4.31	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV B60K275 với xung 8/20 μ s – 5kA	65
4.32	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV B60K275 với xung 8/20 μ s – 10kA	65

4.33	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV B60K275 với xung $8/20\mu s - 20kA$	67
STT	Tên các biểu đồ, đồ thị, sơ đồ, hình ảnh	Trang
4.34	Sơ đồ tương đương của mô hình MOV trung thế	69
4.35	Sơ đồ nguyên lý của phân tử A_0	72
4.36	Sơ đồ nguyên lý mô hình MOV trung thế	72
4.37	Khai báo các thông số trong thanh Parameters	73
4.38	Mô hình MOV trung thế	73
4.39	Hộp thoại của MV_MOV	74
4.40	Sơ đồ mô phỏng đáp ứng của MOV trung thế đề nghị	74
4.41	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng COOPER với xung $5kA - 8/20\mu s$.	75
4.42	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng COOPER với xung $10kA - 8/20\mu s$	76
4.43	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng COOPER với xung $20kA - 8/20\mu s$	76
4.44	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng ELPRO với xung $5kA - 8/20\mu s$	78
4.45	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng ELPRO với xung $10kA - 8/20\mu s$	78
4.46	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng ELPRO với xung $20kA - 8/20\mu s$	79
4.47	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng GE với xung $3kA - 8/20\mu s$	80
4.48	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng GE với xung $5kA - 8/20\mu s$	80
4.49	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng GE với xung $10kA - 8/20\mu s$.	80
4.50	Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng GE với xung $20kA - 8/20\mu s$	81
4.51	Điện áp dư của chống sét van tại dòng $8/20\mu s-3kA$	82
4.52	Điện áp dư của chống sét van tại dòng $8/20\mu s-5kA$	82
4.53	Điện áp dư của chống sét van tại dòng $8/20\mu s-10kA$	83
4.54	Điện áp dư của chống sét van tại dòng $8/20\mu s-20kA$	83
4.55	Điện áp dư của chống sét van tại dòng $1/5\mu s-10kA$	83
5.1	Sơ đồ hệ thống bảo vệ quá áp của công trình	87
5.2	Sơ đồ mạch tương đương hệ thống bảo vệ quá áp	88
5.3	Sơ đồ mạch mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp	88
5.4	Dòng qua van chống sét trung áp gắn vào pha A	90
5.5	Dòng qua van chống sét trung áp gắn vào pha B	90
5.6	Dòng qua van chống sét trung áp gắn vào pha C	91
5.7	Điện áp trên pha A phía sơ cấp máy biến áp	91
5.8	Điện áp trên pha B phía sơ cấp máy biến áp	91
5.9	Điện áp trên pha C phía sơ cấp máy biến áp	92
5.10	Điện áp trên các pha khi không có chống sét van MV_MOV	92
5.11	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV	93
5.12	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV	93
5.13	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV	94
5.14	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV	94

5.15	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV MOV	94
5.16	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV MOV	95
5.17	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV MOV	95
5.18	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV MOV	95
5.19	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV MOV	96
5.20	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV MOV	96
5.21	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV MOV	96
5.22	Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV MOV	97
5.23	Sơ đồ hệ thống bảo vệ quá áp của công trình khi có lắp LV MOV	98
5.24	Sơ đồ mạch tương đương hệ thống khi có lắp LV MOV	99
5.25	Sơ đồ mạch mô phỏng hệ thống khi có lắp LV MOV	99
5.26	Dòng điện qua các van chống sét hạ áp LV MOV	99
5.27	Điện áp dư trên các van chống sét hạ áp LV MOV	100
5.28	Điện áp dư trên các van chống sét hạ áp LV MOV	101

12.Nội dung luận văn

Chương 1: MỞ ĐẦU

1.1. Đặt vấn đề

Theo ước tính của các nhà chuyên môn, trên khắp mặt địa cầu, cứ mỗi giây, có khoảng 100 lần sét đánh xuống mặt đất. Sét không những có thể gây thương vong cho con người mà còn có thể phá hủy những tài sản của con người như các công trình xây dựng, công trình cung cấp năng lượng, hoạt động hàng không, các thiết bị dùng điện, các Đài Truyền thanh – Truyền hình, các hệ thống thông tin liên lạc...

Việt Nam là một nước nằm trong khu vực nhiệt đới ẩm gió mùa, khí hậu Việt Nam rất thuận lợi cho việc phát sinh, phát triển của dông sét. Số ngày có dông ở Việt Nam thuộc loại khá lớn. Trong mạng điện, quá điện áp và quá trình quá độ do sét đánh là nguyên nhân chủ yếu gây ra các sự cố lưới điện và làm hư hỏng các thiết bị lắp đặt trên lưới. Nên việc đề ra các giải pháp chống sét, lựa chọn, phối hợp các thiết bị bảo vệ phù hợp và nghiên cứu chế tạo thiết bị chống sét đóng vai trò rất quan trọng trong việc hạn chế những tác hại do sét gây ra. Hiện nay chống sét trực tiếp đã được quan tâm nhiều với các giải pháp từ cổ điển đến hiện đại. Tuy nhiên, số liệu thống kê chỉ ra hơn 70% hư hỏng do sét gây ra lại do sét đánh lan truyền hay cảm ứng theo đường cáp nguồn và đường truyền tín hiệu.

Thiệt hại do sét lan truyền trong các thiết bị dùng điện trong thực tế là rất lớn. Theo thống kê, hàng năm cả nước có hàng nghìn trường hợp các thiết bị điện tử trong gia đình, doanh nghiệp bị sét tấn công, thiệt hại lên tới hàng trăm tỉ đồng. Chủ yếu là các thiết bị điện tử như: Tivi, máy tính, đầu đĩa, thiết bị thông tin viễn thông ... nên việc nghiên cứu, đề ra giải pháp chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp, khi sét đánh vào đường dây trung áp đóng vai trò rất quan trọng.

Nhìn chung, mạng hạ áp không truyền tải công suất lớn nhưng lại trải trên diện rộng và cung cấp điện năng trực tiếp cho các hộ tiêu thụ nên nó lại là nguyên nhân dẫn

sét vào công trình, gây ngừng dịch vụ, hư hỏng thiết bị. Thống kê cho thấy, hậu quả không mong muốn của quá áp do sét lan truyền trên mạng phân phối hạ áp gây ra thiệt hại rất lớn và nhiều lúc không thể đánh giá cụ thể được. Vấn đề được đề cập một cách cấp bách trong những năm gần đây là các trang thiết bị điện tử đã trở thành các thiết bị được sử dụng ngày càng nhiều và rất phổ biến trong các tòa nhà, các công trình ở mọi lĩnh vực như bưu chính viễn thông, phát thanh, truyền hình, công nghiệp... Các thiết bị này vốn rất nhạy cảm với điện áp cao và cách điện dự trữ của chúng rất mong manh vì thế cần phải tính toán lựa chọn, phối hợp và kiểm tra các thiết bị bảo vệ chống sét một cách hiệu quả, chính xác để tránh xảy ra hư hỏng cho các thiết bị này.

Do các thiết bị chống sét là thiết bị phi tuyến cho nên việc đánh giá các đáp ứng ngõ ra ứng với sóng sét lan truyền với mức chính xác cao theo phương pháp giải tích truyền thống gặp nhiều khó khăn. Bên cạnh đó, do nước ta vẫn còn bị hạn chế về trang thiết bị thí nghiệm cao áp, số lượng phòng thí nghiệm cao áp còn khiêm tốn nên rất khó khăn cho công tác thiết kế, nghiên cứu bảo vệ chống sét lan truyền tại Việt Nam. Tuy nhiên, ngày nay, với sự phát triển của kỹ thuật mô hình hóa và mô phỏng đã giúp cho chúng ta hiểu biết thêm về sự tương tác giữa các yếu tố cấu thành một hệ thống cũng như toàn bộ hệ thống, đặc biệt là rất hữu ích cho việc mô phỏng sét.

Hiện nay, các nhà nghiên cứu và một số nhà sản xuất thiết bị chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp cùng một số phần mềm mô phỏng hỗ trợ đã đề ra một số mô hình thiết bị chống sét lan truyền với mức độ chi tiết và quan điểm xây dựng mô hình khác nhau. Tuy nhiên, do đặc điểm của phương pháp mô hình hóa, mô phỏng và yêu cầu về mức độ chính xác, mức tương đồng cao giữa mô hình và nguyên mẫu, các phương pháp xây dựng mô hình và mô phỏng các thiết bị chống sét lan truyền vẫn còn nhiều tranh cãi và tiếp tục nghiên cứu phát triển.

Luận văn này đi sâu vào nghiên cứu xây dựng mô hình các thiết bị chống sét trên đường nguồn hạ áp, sau đó sử dụng phần mềm mô phỏng đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn của các công trình công nghiệp. Kết

quả nghiên cứu sẽ cung cấp thêm một công cụ mô phỏng hữu ích cho các nhà nghiên cứu, các giảng viên, sinh viên các trường đại học trong việc nghiên cứu các đáp ứng của thiết bị chống sét, dưới tác động của xung sét lan truyền và đánh giá hiệu quả của các hệ thống bảo vệ chống sét lan truyền trong các công trình.

1.2. Mục tiêu và nhiệm vụ của luận văn

-Nghiên cứu cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các mô hình của chống sét van MOV.

-Xây dựng mô hình mô phỏng nguồn phát xung sét tiêu chuẩn.

-Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp.

-Xây dựng mô hình mô phỏng MOV trên lưới điện trung thế, hạ thế.

-Xây dựng mô hình mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh vào đường dây trung áp.

1.3. Phạm vi nghiên cứu

-Nghiên cứu phần mềm Matlab, ứng dụng phần mềm Matlab mô phỏng các mô hình cần xây dựng.

-Nghiên cứu, lập mô hình mô phỏng nguồn phát xung sét tiêu chuẩn.

-Nghiên cứu và lập mô hình mô phỏng MOV trên lưới trung thế và hạ thế.

-Mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh vào đường dây trung áp.

1.4. Các bước tiến hành

-Thu thập và đọc hiểu các tài liệu liên quan từ cán bộ hướng dẫn, sách, các bài báo và internet.

-Nghiên cứu phần mềm Matlab.

-Nghiên cứu cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOV; Xây dựng mô hình nguồn phát xung sét tiêu chuẩn.

- Xây dựng mô hình mô phỏng MOV trên lưới trung thế và hạ thế;
- Xây dựng mô hình mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi có sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp.

1.5. Điểm mới của luận văn

- Xây dựng mô hình mô phỏng nguồn phát xung sét tiêu chuẩn phù hợp với xung sét trong thực tế;
- Xây dựng mô hình MOV với các trạng thái hoạt động đạt độ chính xác cao theo các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất;
- Xây dựng công cụ mô phỏng quá điện áp và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi có sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp và lan truyền qua máy biến áp.

1.6. Giá trị thực tiễn của luận văn

- Cung cấp thêm một công cụ mô phỏng xung sét tiêu chuẩn và mô hình MOV phục vụ công tác nghiên cứu đáp ứng của thiết bị chống sét dưới tác động của xung sét lan truyền và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp;
- Luận văn là tài liệu tham khảo có giá trị cho những ai quan tâm tới việc nghiên cứu lựa chọn, phối hợp và kiểm tra hiệu quả các thiết bị bảo vệ chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp một cách chính xác trong điều kiện thiếu phòng thí nghiệm hiện nay.
- Góp phần tối ưu hoá các tính năng bảo vệ của thiết bị chống sét và nâng cao độ tin cậy trong quá trình vận hành đối với việc bảo vệ chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh vào đường dây trung áp.

1.7. Nội dung của luận văn

Nội dung của luận văn gồm 6 chương:

Chương 1: Mở đầu

Chương 2: Tổng quan về sét .

Chương 3: Xây dựng mô hình nguồn phát xung sét tiêu chuẩn

Chương 4: Cấu tạo, nguyên lý hoạt động và mô hình MOV

Chương 5: Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp

Chương 6: Kết luận và hướng nghiên cứu phát triển.

1.8..Tài liệu tham khảo:

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ SÉT

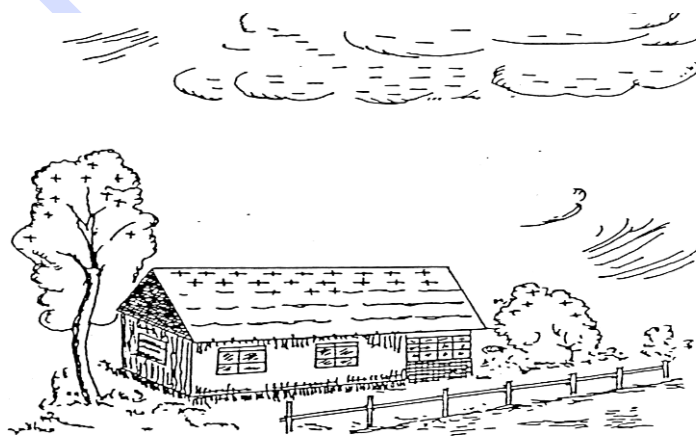
2.1. Sự hình thành sét

Trong những điều kiện khí tượng nhất định sẽ có sự phân chia điện tích trong các đám mây dông do tác dụng của luồng khí nóng thổi lên và hơi nước ngưng tụ trong các đám mây (dông nhện) hoặc do sự gặp nhau của những luồng không khí nóng ẩm với luồng không khí lạnh nặng (dông front), khi đó dông bão và sấm chớp sẽ xảy ra.

Sét là một dạng phóng điện tia lửa trong khí quyển với khoảng cách rất lớn. Quá trình phóng điện có thể xảy ra trong khí quyển giữa các đám mây mang điện trái dấu và giữa các đám mây với đất.

Sau khi đạt độ cao nhất định vùng không khí này bị lạnh đi, hơi nước ngưng tụ thành những giọt nước li ti hoặc thành những tinh thể băng và tạo thành các đám mây dông. Các đám mây mang điện là kết quả của sự phân tích các điện tích trái dấu và tập trung trong các phần khác nhau của đám mây.

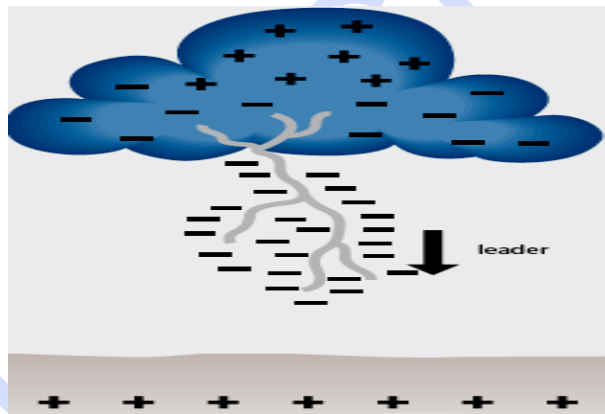
Kết quả quan trắc cho thấy rằng phần dưới của các đám mây dông chủ yếu là chứa các điện tích âm, do đó cảm ứng trên mặt đất những điện tích dương tương ứng và tạo nên một tụ điện không khí khổng lồ (Hình 2.1) sự phân bố điện tích giữa đám mây dông và mặt đất). Cường độ điện trường trung bình nơi đồng nhất thường ít khi quá 1kV/cm ,



Hình 2.1: Sự phát triển của sét trong đám mây dông.

nhưng cá biệt nơi mật độ điện tích cao, hoặc nơi có vật dẫn điện tốt nhô lên cao o trong mặt đất điện trường cục bộ có thể cao hơn nhiều và có thể đạt đến ngưỡng ion hóa không khí (ở mặt đất trị số này 25-30kV/cm và càng lên cao càng gấ, ở độ cao một vài kilômét gấ còn khoảng 10k V/cm) sẽ gây ion hóa không khí tạo thành dòng plasma, mở đầu cho quá trình phóng điện sét giữa mây dông và mặt đất.

Sét thực chất là một dạng phóng điện tia lửa trong không khí với khoảng cách phóng điện rất lớn. Chiều dài trung bình của khe sét khoảng $3 \div 5$ Km, phần lớn chiều dài đó phát triển trong các đám mây dông. Quá trình phóngđiện của sét tương tự quá trình phóng điện tia lửa trong điện trường rất không đồng nhất với khoảng cách phóng điện lớn (Hình 2.2)



Hình 2.2: Sự phát triển của sóng điện sét trong đám mây dông.

Quá trình phóng điện sét gồm có 3 giai đoạn chủ yếu:

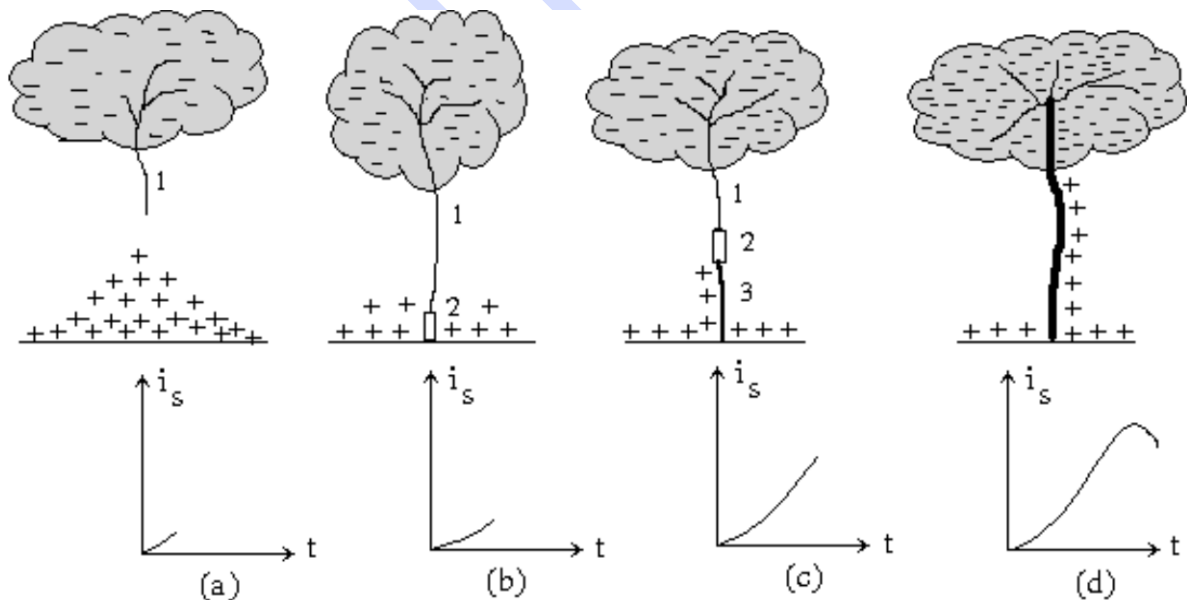
Bắt đầu bằng một tia tiên đạo sáng mờ, phát triển thành từng đợt gián đoạn về phía mặt đất với tốc độ trung bình $(10^5 - 10^6)$ m/s. Đây là giai đoạn phóng điện từng đợt. Kênh tiên đạo là một dòng plasma mật độ điện khoảng $(10^{13} - 10^{14})$ ion/m³. Một phần điện tích âm của mây dông tràn vào kênh và phân bố tương đối đều dọc theo chiều dài của nó (Hình 2.3a). Thời gian phát triển của tia tiên đạo mỗi đợt kéo dài trung bình khoảng 1μs (tương ứng với tia tiên đạo dài thêm trung bình được khoảng vài chục mét đến vài trăm mét). Thời gian tạm ngưng phát triển giữa hai đợt liên tiếp khoảng (30 –

90) μ s. Dưới tác dụng của điện trường và tạo nên bởi điện tích của mây dông, điện tích âm trong kênh tiên đạo sẽ tập trung điện tích cảm ứng trái dấu trên vùng mặt đất phía dưới đám mây dông, các điện tích chủ yếu tập trung ở vùng có điện dẫn cao như các tòa nhà cao tầng, cột điện, cây cao bị ướt trong mưa... chính các vùng điện tích tập trung sẽ định hướng phát triển của tia tiên đạo hướng xuống. Cường độ điện trường ở đầu kênh tiên đạo trong phần lớn phát triển của nó được xác định bởi điện tích bản thân của kênh và điện tích tích tụ của đám mây. Đường đi của kênh giai đoạn này không phụ thuộc vào tình trạng của mặt đất và các vật thể ở mặt đất, nó hướng thẳng về phía mặt đất. Chỉ khi kênh tiên đạo còn cách mặt đất một độ cao nào đó (độ cao định hướng) thì mới thấy rõ dần ảnh hưởng của sự tập trung điện tích ở mặt đất và ở các vật dẫn nhô cao khỏi mặt đất đối với hướng phát triển tiếp tục của kênh. Kênh sẽ phát triển theo hướng có cường độ điện trường lớn nhất. Như vậy vị trí đổ bộ của sét mang tính chọn lọc. Điều này có ý nghĩa rất quan trọng trong kỹ thuật chống sét đánh thẳng cho các công trình.

Khi tia tiên đạo xuất phát từ mây dông tiếp cận mặt đất hoặc tiếp cận kênh tiên đạo ngược chiều thì bắt đầu giai đoạn phóng điện ngược hay phóng điện chủ yếu (Hình 2.3b). Trong khoảng cách khí còn lại giữa đầu kênh tiên đạo và mặt đất (hoặc giữa hai đầu kênh tiên đạo ngược) cường độ điện trường tăng cao gây ion hóa mãnh liệt không khí, dẫn đến sự hình thành một dòng plasma mới, có mật độ điện tích cao hơn nhiều so với mật độ điện tích của kênh tiên đạo ($10^{16} - 10^{19}$) ion/m³, điện dẫn của nó cũng tăng lên hàng trăm ngàn lần, điện tích cảm ứng từ mặt đất tràn vào dòng ngược trung hòa điện tích âm của kênh tiên đạo trước đây và thực tế đầu dòng mang điện thế của đất, làm cho cường độ điện trường ở khu vực tiếp giáp của hai dòng plasma ngược chiều nhau tăng lên gây ion hóa mãnh liệt không khí ở khu vực này và như vậy đầu dòng plasma điện dẫn cao tiếp tục phát triển ngược lên trên theo kênh có sẵn bởi kênh tiên đạo. Tốc độ của kênh phóng điện ngược vào khoảng $1,5 \cdot 10^7 - 1,5 \cdot 10^8$ m/s tức là nhanh gấp trăm lần tốc độ phát triển của dòng tiên đạo (Hình 2.3c). Vì mật độ điện tích cao đột ngột mãnh liệt nên phóng điện chủ yếu sáng chói (đó chính là tia chớp), sự dẫn nổ đột ngột của không khí bao quanh kênh phóng điện chủ yếu tạo nên những đợt sóng âm mãnh liệt gây nên tiếng nổ (đó là tiếng sấm). Đặc điểm quan trọng nhất của phóng điện chủ

yếu là cường độ dòng điện lớn. Nếu V là tốc độ của phóng điện chủ yếu, σ mật độ điện tích thì dòng điện sét sẽ đạt giá trị cao nhất khi kênh phóng điện chủ yếu lên đến đám mây dông và bằng $I_s = \sigma V$ (Hình 1.3d). Giai đoạn kết thúc được đánh dấu khi kênh phóng điện chủ yếu lên tới đám mây thì điện tích cảm ứng từ mặt đất trung hòa với điện tích âm của nó, một phần nhỏ của số điện tích còn lại của đám mây sẽ theo kênh phóng điện chạy xuống đất cũng tạo nên chỗ sét đánh một dòng điện có trị số nhất định, giảm dần tương ứng phần đuôi xung dòng sét.

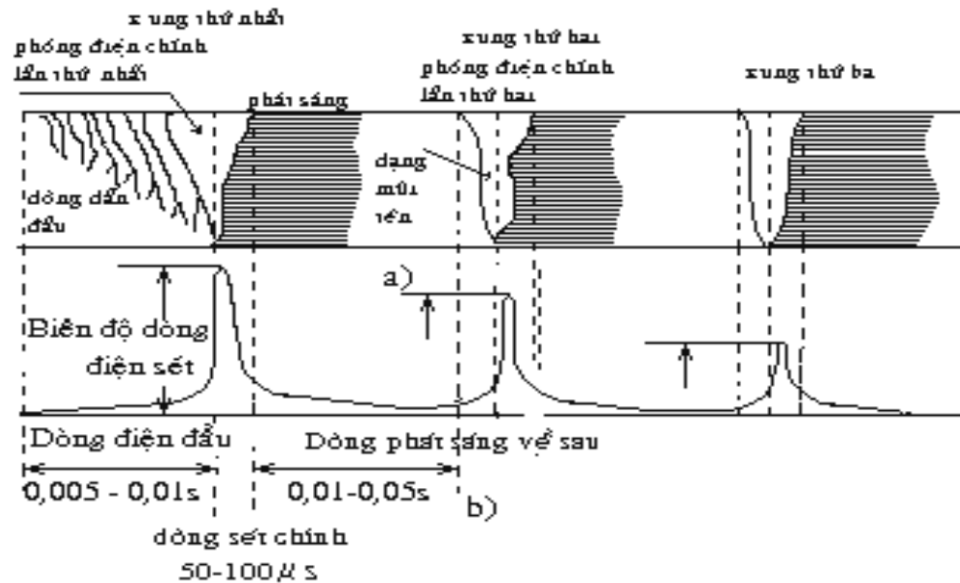
Kết quả quan trắc sét cho thấy rằng một đợt phóng điện sét thường xảy ra nhiều lần kế tiếp nhau, trung bình là 3 lần, nhiều nhất có thể vài ba chục lần. Các lần phóng điện sau có dòng tiên đạo phát triển liên tục (không phải từng đợt như lần đầu), không phân nhánh và theo quỹ đạo lần đầu nhưng với tốc độ cao hơn ($2 \cdot 10^6$ m/s). Sự phóng điện nhiều lần của sét được giải thích như sau : Đám mây dông có thể có nhiều trung tâm điện tích khác nhau hình thành do các dòng không khí xoáy trong mây. lần phóng điện đầu tiên dĩ nhiên sẽ xảy ra. giữa đất và trung tâm điện tích có cường độ điện trường cao nhất.



Hình 2.3: Các giai đoạn phóng điện sét và biến thiên của dòng điện sét theo thời gian.

- (a) Giai đoạn phóng điện tiên đạo.
- (b) Tia tiên đạo đến gần mặt đất hình thành khu vực ion hóa mãnh liệt.
- (c) Giai đoạn phóng điện ngược hay phóng điện chủ yếu.
- (d) Phóng điện chủ yếu kết thúc.

Trong giai đoạn phóng điện tiên đạo thì hiệu thế giữa các trung tâm điện tích này với trung tâm điện tích khác thực tế không thay đổi và ít có ảnh hưởng qua lại giữa chúng, nhưng khi kênh phóng điện chủ yếu đã lên đến mây thì trung tâm điện tích đầu tiên của đám mây thực tế mang điện thế của đất làm cho hiệu thế giữa trung tâm điện tích đã phóng với trung tâm điện tích lân cận tăng lên và có thể dẫn đến phóng điện giữa chúng với nhau. Trong khi đó thì kênh phóng điện cũ vẫn còn một điện dẫn nhất định do sự khử ion chưa hoàn toàn nên phóng điện tiên đạo lần sau theo đúng quỹ đạo đó, liên tục và với tốc độ cao hơn lần đầu (Hình 2.4) .



Hình 2.4 : Quá trình phát triển của phóng điện sét.

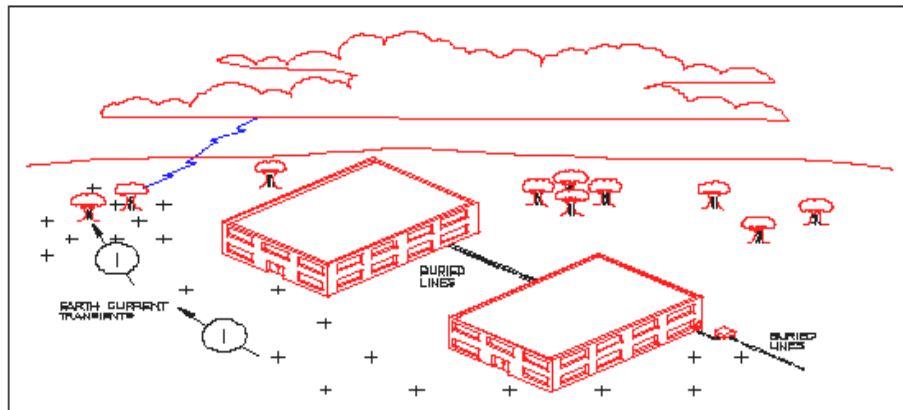
2.2. Các hiệu ứng thứ cấp do sét gây ra

- Quá độ dòng điện đột biến trong đất.
- Quá điện áp khí quyển

-Xung đột biến điện từ

Quá độ dòng điện trong đất: quá trình trung hòa ion hình thành sự di chuyển điện tích cảm ứng dọc theo hoặc gần trên bề mặt đất đến điểm sét đánh vào. Bất kỳ vật dẫn nào chôn gần trong vùng điện tích cảm ứng sẽ tạo nên một đường dẫn nữa đến điểm sét đánh gần nhất. Vì quá trình phóng điện xảy ra rất nhanh ($20\mu s$) và tốc độ gia tăng đến đỉnh cực nhanh khoảng $50ns$ nên điện áp cảm ứng sẽ rất cao (Hình 2.5). Sét lặp lại trên đất có thể kéo theo các hiệu ứng:

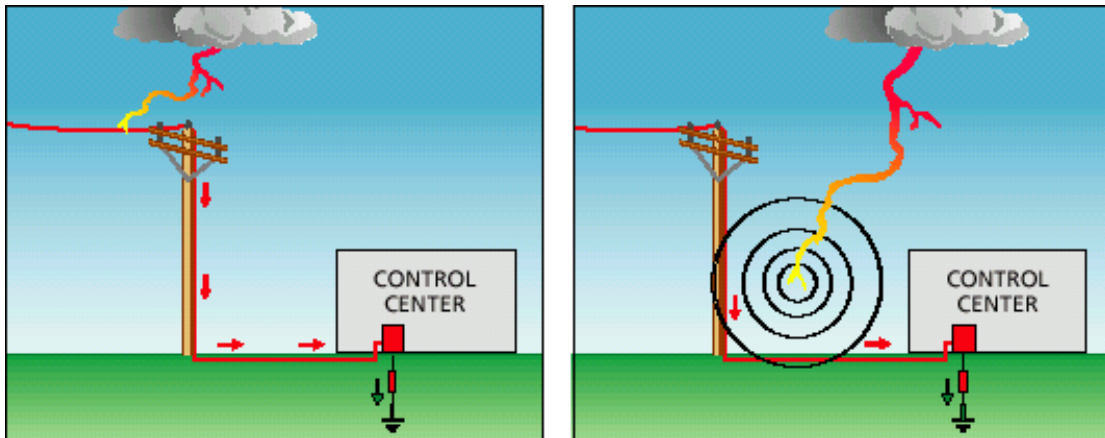
- Hồ quang có thể hình thành và xuyên qua lớp sỏi đến gần các ống dẫn khí, cáp hoặc hệ thống nối đất.
- Dòng xung đột biến có thể ghép cảm ứng qua lớp sỏi đến hệ thống nối đất hiện hành, gây nên hiện tượng gia tăng điện áp không đồng thời trên hệ thống nối đất.



Hình 2.5: Quá độ dòng điện trong đất

Quá điện áp khí quyển: Quá điện áp khí quyển xảy ra khi sét đánh thẳng hoặc đánh gần gây cảm ứng trên đường dây. Xung đột biến tĩnh điện là kết quả trực tiếp của sự biến đổi trường tĩnh điện trong các đám mây mang điện. Các đường dây treo trên không (có thể là đường dây phân phối, đường dây thoại (Hình 2.6)...) nằm trong trường tĩnh điện này sẽ được tích điện và thế có thể lên đến hàng trăm kV. Khi phóng điện sét xảy ra, điện tích đi xuống đường dây tìm đường dẫn xuống đất. Bất kỳ thiết bị

nào nối đến đường dây cũng sẽ là đường dẫn xuống đất, nếu không được bảo vệ thì thiết bị sẽ bị hư hỏng do quá trình trung hòa này. Tất cả các đối tượng mang tính kim loại, đặc biệt là hình dạng mũi nhọn đưa lên thẳng trong trường tĩnh điện này thì nó hình thành một điện thế cao so với đất. Nếu không được nối đất có thể gây đánh lửa, cháy và phá vỡ các phần tử nhạy cảm.



Hình 2.6 : Quá điện áp khí quyển do sét đánh thẳng hoặc đánh gần đường dây

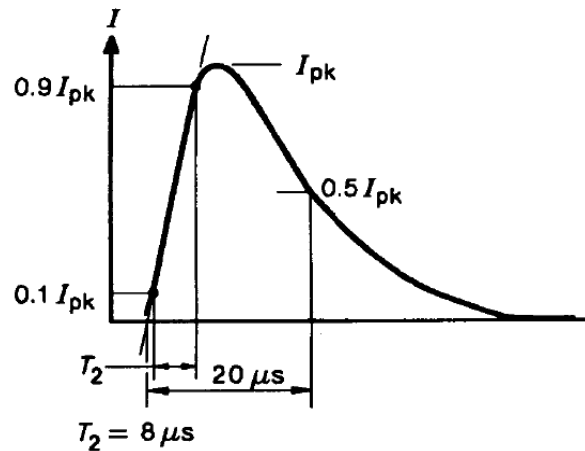
Xung đột biến điện từ: Xung đột biến điện từ là kết quả của quá độ từ trường hình thành do dòng chảy trong kênh phóng điện sét. Sau khi sét đánh kênh dẫn điện hình thành giữa mây và đất, nó trở thành một đường dẫn giống như là dây dẫn. Dòng trung hòa này chảy rất nhanh, tốc độ của nó phụ thuộc vào trở kháng kênh dẫn và điện tích đám mây. Tốc độ gia tăng của dòng xung này có thể lên đến $500\text{k A}/\mu\text{s}$ và trung bình là $100\text{kA}/\mu\text{s}$. Kết quả là điện áp ghép cảm ứng trên đường dẫn là rất đáng kể.

Khi điện tích các đám mây cực lớn, tia tiên đạo từng bậc đi xuống gần đất gặp dòng điện ngược đi lên và sét lặp lại xảy ra. Sét lặp lại phát ra xung điện từ rất mạnh và nó có thể truyền trên một khoảng cách dài, ảnh hưởng đến một vùng rộng lớn. Vì vậy, đường dây truyền tải hoặc đường dây dữ liệu trên không sẽ bị thiệt hại nếu như không được bảo vệ do sự xâm nhập của xung đột biến điện từ.

Hiệu ứng xung đột biến điện từ gây ra cũng như trong trường hợp dòng điện đi vào hệ thống đất với tốc độ biến thiên di/dt rất nhanh tạo điện trường cảm ứng đến bất kỳ hệ

thống dây dẫn nằm trong đất và năng lượng của nó có thể làm ảnh hưởng chí ít là làm nhiễu loạn các dữ liệu trên đường dây.

2.3. Các thông số của sét lan truyền :



Hình 2.7: Dạng sóng dòng điện sét

Việt Nam là một nước nằm trong khu vực nhiệt đới ẩm, có địa hình đồi núi và đồng bằng xen kẽ, khí hậu Việt Nam rất thuận lợi cho việc phát sinh, phát triển của dông sét. Số ngày dông có ở Việt Nam trên nhiều khu vực thuộc loại khá lớn. Dòng điện sét như hình 2.7, có dạng một sóng xung. Trung bình trong khoảng vài ba micro giây, dòng điện tăng nhanh đến trị số cực đại tạo nên phần đầu sóng và sau đó giảm xuống chậm chậm trong khoảng 20-100 μs , tạo nên phần đuôi sóng. Sự lan truyền sóng điện tạo nên bởi dòng điện sét gây nên quá điện áp trên đường nguồn, do đó cần phải biết những tham số chủ yếu và xác xuất xuất hiện của nó (chi tiết về thông số và dạng xung sét được trình bày ở chương IV).

- Biên độ dòng sét
- Độ dốc đầu sóng dòng điện sét
- Độ dài sóng dòng điện sét (thời gian cho đến khi dòng điện sét giảm xuống còn $\frac{1}{2}$ biên độ của nó).

Ngoài ra cần phải biết cường độ hoạt động trung bình của sét là số ngày có dông trung bình hoặc tổng số giờ có dông sét trung bình trong một năm ở mỗi khu vực lãnh

thổ và mật độ trung bình sét trong khu vực đó. Số ngày dông cực đại là 113,7 ngày (tại Đồng Phú), số giờ dông cực đại 433,18 giờ tại Mộc Hóa. Tại Việt Nam, sét có cường độ mạnh ghi nhận được bằng dao động ký tự động có biên độ $I_{max} = 90,67\text{kA}$ (Số liệu của Viện Nghiên Cứu Sét Gia Sàng Thái Nguyên).

Cường độ xung sét cảm ứng trên đường nguồn điện rất cao, có thể đạt tới 250kA. Tuy nhiên dòng sét vượt quá 130k A rất ít xảy ra, thường trung bình khoảng 30kA. Hơn 75% các tia sét lặp lại sau tia sét đầu tiên 30-20 μs . Trung bình có 3 đến 20 tia sét lặp lại được ghi nhận bằng máy đo sét (Bảng A1 NZS/AS 1768-1991). Bên cạnh năng lượng và dòng sét cao, vấn đề lớn cần quan tâm là tốc độ tăng dòng di/dt của sét có thể dẫn đến quá áp trên đường truyền. Dạng sóng của sét được đặc trưng bởi biên độ sóng, độ dốc đầu sóng và thời hằng đuôi sóng. Thời gian tăng áp và dòng của sét đến biên độ cực đại trong khoảng 1-10 μs với tia sét đầu tiên và 0,1- 1 μs với các tia sét lặp lại, thời gian suy giảm đến phân nửa biên độ cực đại trong khoảng 20-30 μs với các tia sét đầu tiên và 5-8 μs với các tia sét lặp lại. Tốc độ tăng dòng có thể đạt tới 70kA/ μs đối với tia sét đầu tiên và vượt quá 200kA/ μs đối với các tia sét tiếp theo. Tốc độ tăng áp đo được đạt tới 12kV/ μs .

2.4. Thiệt hại do sét lan truyền gây ra.

Sự cảm ứng quá điện áp, quá trình quá độ do sét đánh, các hậu quả của đóng cắt mạch điện, sự cố lưới điện... và nhiều hiện tượng khác là một trong nhiều nguyên nhân làm hư hỏng các trang thiết bị động lực, các máy vi tính, các thiết bị trong mạng lưới thông tin viễn thông... mà trong quá trình vận hành rất khó phát hiện. Qua thống kê cho thấy rằng trên 70% các sự cố về thông tin liên lạc, về máy vi tính... là do sét đánh lan truyền hay ghép cảm ứng theo đường cấp nguồn và đường truyền tín hiệu ...

Nhiều vấn đề đã được đề cập một cách cấp bách trong những năm gần đây vì các trang thiết bị điện tử đã trở thành các trang thiết bị sử dụng ngày càng nhiều và rất phổ biến, mạng lưới vi tính đã phát triển rộng khắp và nhiều ngành công nghiệp đã được đặt hệ thống điều khiển và thông tin liên lạc sử dụng các linh kiện điện tử.

Năm 2001, theo thống kê đối với ngành Bưu Chính Viễn Thông có 53 sự cố do sét, chiếm 27,13% sự cố viễn thông và tổng thời gian mất liên lạc do sét là 716 giờ gây thiệt hại 4.119 tỷ đồng. Với đặc thù trải rộng khắp cả nước, bao gồm hàng ngàn tổng đài, trạm viễn thông với hàng trăm loại thiết bị khác nhau, nguy cơ sét đánh vào mạng viễn thông là rất cao và việc phòng chống sét là hết sức khó khăn. Hiện tại toàn bộ các trạm viễn thông đã được lắp đặt hệ thống chống sét rất đa dạng về chủng loại và mục đích lắp đặt là dẫn dòng sét xuống đất, sao cho điện áp còn lại đủ thấp, an toàn cho thiết bị. Thực tế và lý thuyết cho thấy rằng hiệu quả phòng tránh sét phụ thuộc vào nhiều yếu tố, không chỉ chất lượng thiết bị mà còn chất lượng lắp đặt, chăm sóc bảo dưỡng. Nhiệm vụ chống sét còn chưa quan tâm đúng mức và ở nhiều nơi đã buông lỏng quản lý nên lựa chọn đối tượng phòng tránh chưa hết, đề xuất biện pháp chưa đạt hiệu quả cao. Hàng loạt sự cố là do điện áp cảm ứng dẫn về trạm trung tâm qua đường dây cáp treo trên các cột cao, cột anten ...

Hậu quả không mong muốn do sét lan truyền hoặc do quá điện áp thường gây thảm họa cho công ty và xí nghiệp, thiệt hại do sét lan truyền gây ra rất lớn trong các lĩnh vực trọng điểm của đất nước như Bưu Chính Viễn Thông, Phát Thanh Truyền Hình, Ngân Hàng, Hàng Không, Xăng Dầu... Điều không chỉ dẫn đến kết quả là các trang thiết bị có giá trị buộc phải được thay thế mà còn gây tổn thất kinh tế do phải nghỉ, không vận hành trong thời gian phát hiện và khắc phục sửa chữa, và mất nhiều cơ hội kinh doanh. Theo dự đoán của các nhà khí tượng thủy văn, trước mắt và trong các năm tới nữa diễn biến thời tiết sẽ rất phức tạp. Vì vậy việc khảo sát, thống kê, thử nghiệm để đánh giá hiệu quả và chất lượng các thiết bị chống sét trên đường cáp nguồn và đường tín hiệu, nhằm bảo đảm chỉ tiêu lắp đặt những thiết bị có hiệu quả thực tế là điều thiết thực và cấp bách.

CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG MÔ HÌNH NGUỒN PHÁT XUNG SÉT TIÊU CHUẨN

Ngày nay, trên mạng phân phối hạ áp, các thiết bị điện điện tử sử dụng ngày càng nhiều với các tính năng ngày càng tiến bộ hơn nhưng bên cạnh đó chúng lại cũng dễ bị hư hỏng hơn bởi các xung quá áp quá độ. Một giải pháp hiệu quả để thiết kế các mạch bảo vệ quá áp hiệu quả là sử dụng kỹ thuật mô phỏng của máy tính, lập mô hình các nguồn phát xung và mô hình các phần tử bảo vệ, sau đó chạy mô phỏng mạch để từ các kết quả thu được tiến hành phân tích đánh giá hệ thống bảo vệ.

Kỹ thuật mô phỏng rất thuận lợi cho việc thiết kế, vừa tiết kiệm công sức, thời gian và tiền bạc. Các chương trình mô phỏng này không thể hoàn toàn thay thế được các thử nghiệm thực tế nhưng nhờ vào những bước mô phỏng đầu tiên ta sẽ có thể dự báo những đáp ứng, diễn biến của một hệ thống từ đó để có được một thử nghiệm hợp lý.

Có hai cách để thực hiện các quá trình mô phỏng:

Cách 1: Mô tả mạch điện theo phương pháp toán học (càng chi tiết càng tốt)
sau đó sẽ có chương trình viết sẵn thực hiện việc tính toán cho mạch điện đó. Cách này đòi hỏi phải có các chương trình riêng cho từng trường hợp mạch điện để tránh các nhầm lẫn về số.

Cách 2: Sử dụng các chương trình phân tích hệ thống chẳng hạn như phần mềm PSPICE, phần mềm MatLab, EMTD, ATP... ưu điểm chính của cách này là tính linh hoạt của nó. Người sử dụng không cần viết bất kỳ đoạn mã chương trình nào cho nên họ có thể tập trung giải quyết các vấn đề của mạch điện. Những thay đổi trong sơ đồ mạch điện hay trong thuộc tính theo thời gian và thuộc tính theo tần số cũng được thực hiện một cách đơn giản. Sau khi thiết kế, toàn bộ mô hình mạch bảo vệ được chèn vào xem như là một mạch điện phụ trong quá trình phân tích của cả hệ thống.

Trong phạm vi của đề tài, người thực hiện sẽ sử dụng phần mềm Matlab để tiến hành lập mô hình các nguồn phát xung.

3.1. Giới thiệu phần mềm Matlab

3.1.1. Định nghĩa

Matlab là môi trường tính toán kỹ thuật bằng máy tính. Matlab tập hợp các phép phân tích số học, tính toán ma trận, xử lý tín hiệu và đồ họa trong môi trường dễ sử dụng trong đó các vấn đề và giải thuật được diễn tả bằng các biểu thức toán học mà không cần phải lập trình phức tạp như các ngôn ngữ khác. Thuật ngữ Matlab có được do ghép hai từ Maxtric và Laboratory.

Ngày nay, Matlab là phần mềm có giao diện cực mạnh, có nhiều lợi thế trong lập trình để giải quyết các vấn đề trong nghiên cứu khoa học kỹ thuật của nhiều ngành nghề khác nhau. Phần mềm hiện đang được sử dụng rộng rãi trong các ngành: Điện - điện tử, hạt nhân, điều khiển tự động, robot,...

Matlab biến các tín hiệu tương tự thành các tín hiệu số rồi tập hợp thành tập tin dữ liệu, thông qua các hàm toán học trong Matlab.

Matlab được điều khiển bởi các tập lệnh, tác động qua bàn phím. Nó cũng cho phép khả năng lập trình với cú pháp thông dịch lệnh. Các bộ lệnh trong Matlab ngày càng được mở rộng những công cụ ứng dụng trong một số lĩnh vực gọi là các hộp công cụ (Toolbox) hay thông qua các hàm do người sử dụng tự xây dựng. Matlab có hơn 25 hộp công cụ để trợ giúp cho việc khảo sát các vấn đề liên quan. Các hộp công cụ bao gồm xử lý tín hiệu, thiết kế hệ thống điều khiển, tái tạo hệ thống động lực, nhận dạng hệ thống và các lĩnh vực khác.

Hộp công cụ Simulink là phần mở rộng của phần mềm được người sử dụng dùng mô phỏng các hệ thống động học một cách nhanh chóng và tiện lợi. Matlab cho phép xử lý dữ liệu, biểu diễn đồ họa đơn giản, thuận tiện và chính xác trong không gian 2D, 3D bởi các thư viện chuẩn, hàm chuẩn có sẵn hoặc do người sử dụng tạo ra.

Matlab 4.0 trở lên hoạt động trong môi trường Windows. Trên thị trường hiện đang sử dụng phiên bản 7.4.0.287. Chương trình luôn được cập nhật các phiên bản thường xuyên. Đặc biệt, chương trình Matlab có thể liên kết chạy các chương trình ngôn ngữ cấp cao khác như: C⁺⁺, Fortran,...

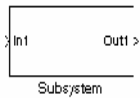
3.1.2. Các khối sử dụng trong mô hình

Khối Inport và Outport



Khối Inport và Outport là các khối đầu vào, đầu ra của một mô hình mô phỏng, khối Inport và Outport độc lập với nhau, bắt đầu từ 1. Khi bổ sung thêm khối Inport và Outport, khối mới sẽ nhận số thứ tự kế tiếp. Khi xóa một khối nào đó, các khối còn lại sẽ được tự động đánh số mới.

Khối Subsystem



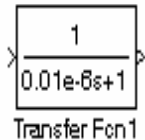
Khối Subsystem được sử dụng để tạo hệ thống con trong hình SIMULINK. Số lượng đầu vào/ra của khối subsystem phụ thuộc số lượng khối Inport và Outport. Đầu vào/ra của khối Subsystem sẽ được đặt theo tên mặc định của các khối *Inport* và *Outport*.

Khối Abs



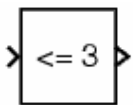
Khối này lấy giá trị tuyệt đối của tín hiệu ngõ vào, tín hiệu ngõ vào có thể là tín hiệu thực hay phức.

Khối Transfer Fcn



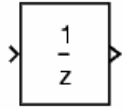
Mặc dù chức năng của Simulink có thể giải quyết được các bài toán có xuất hiện vòng lặp đại số nhưng thời gian giải các bài toán rất chậm. Nhờ khối Transfer Fcn, có thể tránh được vòng lặp bằng cách đưa tín hiệu liên tục về rời rạc với một thời gian trích mẫu phù hợp mà vẫn đảm bảo tính đúng đắn của mô hình. Ở ví dụ thời gian trích mẫu là $T = 0,01\mu s$.

Khối Compare to Constant



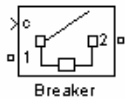
Khối này so sánh tín hiệu ngõ vào với một hằng số, tín hiệu ngõ ra là giá trị logic bằng “0” nếu so sánh sai, bằng “1” nếu so sánh đúng. Giá trị hằng số được nhập vào thông số Constant value của khối, thông số Operator cho phép người sử dụng lựa chọn các phép so sánh.

Khối Unit Delay



Khối này lấy mẫu tín hiệu ngõ vào, sau đó hoãn và giữ tín hiệu ngõ vào trong một khoảng thời gian lấy mẫu. Thời gian lấy mẫu này được nhập vào từ thông số Sample time của khối, đơn vị là s. Tín hiệu ngõ vào có thể là tín hiệu thực, tín hiệu phức hay bất kỳ dạng tín hiệu nào cung cấp bởi Simulink kể cả dạng điểm. Lưu ý là cần phải xác định tín hiệu ngõ ra trong giai đoạn đầu tiên thông qua Initial conditions vì nếu không nó có thể sinh ra một giá trị không mong muốn của ngõ ra ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng.

Khối Breaker



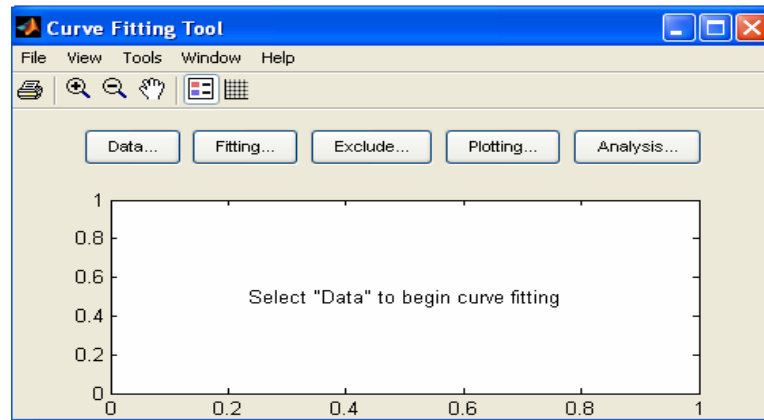
Khối Breaker là khối dùng để đóng cắt mạch điện (circuit breaker), thời gian đóng, cắt có thể điều khiển bởi một tín hiệu bên ngoài (External control mode), hay được điều khiển bởi thời gian bên trong (*Internal control mode*).

Khối Breaker chỉ cắt ra khi dòng qua nó đi qua giá trị “0” và tín hiệu điều khiển chuyển trạng thái từ “1” xuống “0”.

Khi khoá đóng nó hoạt động như một mạch điện trở, với một điện trở nội bên trong R_{on} . Giá trị điện trở này có thể cài đặt bởi người sử dụng. Ngoài ra, khoá này còn có một mạch snubber R-C mắc nối tiếp với khoá để tránh trường hợp khoá nối tiếp với nguồn dòng hay cuộn cảm. Đa số các trường hợp đều dùng bộ snubber điện trở ($R_s = 1M\Omega$, $C_s = \text{inf}$). Khi khoá được đặt ở chế độ External control mode một ngõ điều khiển ngoài sẽ xuất hiện trên icon của khoá. Tín hiệu điều khiển ngoài này phải là giá trị logic “0” hay “1”, bằng “0” khoá mở, bằng “1” khoá đóng. Khi khoá được đặt ở chế độ Internal control mode một hộp thoại thời gian đóng cắt sẽ xuất hiện để xác định thời gian đóng cắt. Trạng thái ban đầu của khoá được xác định bởi thông số Initial state, bằng “1” khoá đóng, bằng “0” khoá mở.

3.1.3. Giới thiệu công cụ Curve Fitting Toolbox

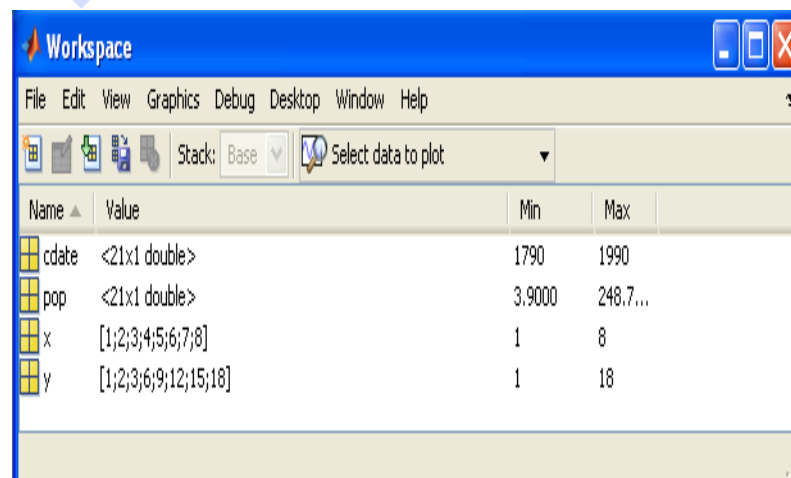
Công cụ Curve Fitting Toolbox là sự tập hợp nhiều giao diện đồ thị, giao tiếp trực tiếp với người sử dụng, và các hàm M-file, được xây dựng trong môi trường tính toán kỹ thuật của Matlab. Nó thực hiện các nhiệm vụ chính sau: khảo sát 1 hay nhiều khối dữ liệu và xử lý điều chỉnh để vẽ đồ thị, đánh giá biểu đồ linh hoạt nhất bằng cách sử dụng các số dư. Để mở công cụ Curve Fitting ta nhập câu lệnh: `cftool`



Hình 3.1: Giao diện tạo Curve Fitting Toolbox

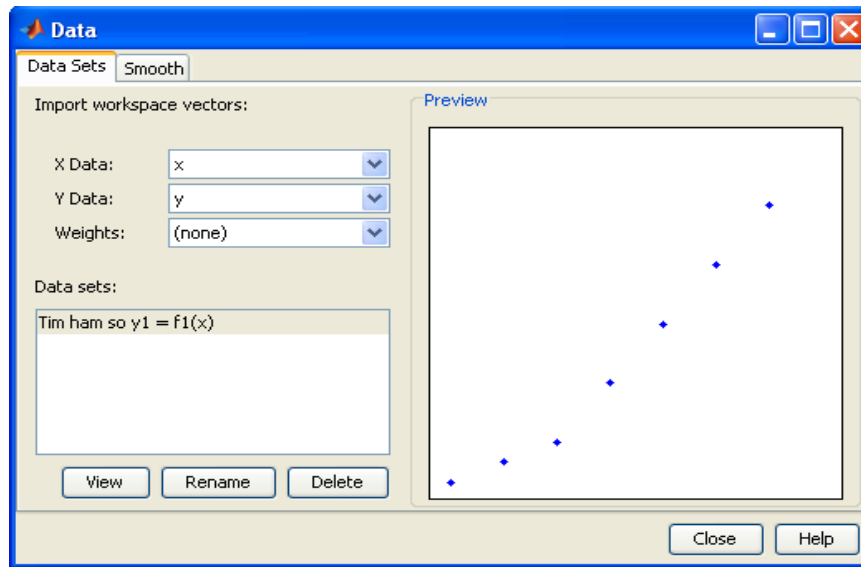
Trước khi nhập dữ liệu vào Curve Fitting phải chắc chắn rằng đã có 1 file dữ liệu mẫu tồn tại trong MATLAB Workspace, file mặc định có sẵn trong MATLAB là *census.mat*

Sử dụng câu lệnh “load census” để mở file census.mat Trong cửa sổ Workspace sẽ mở ra 2 biến giá trị là cdate và pop. Để tạo các biến mới ta chọn *New variable*, giả sử ta tạo 1 tập hợp của 2 biến x và y.



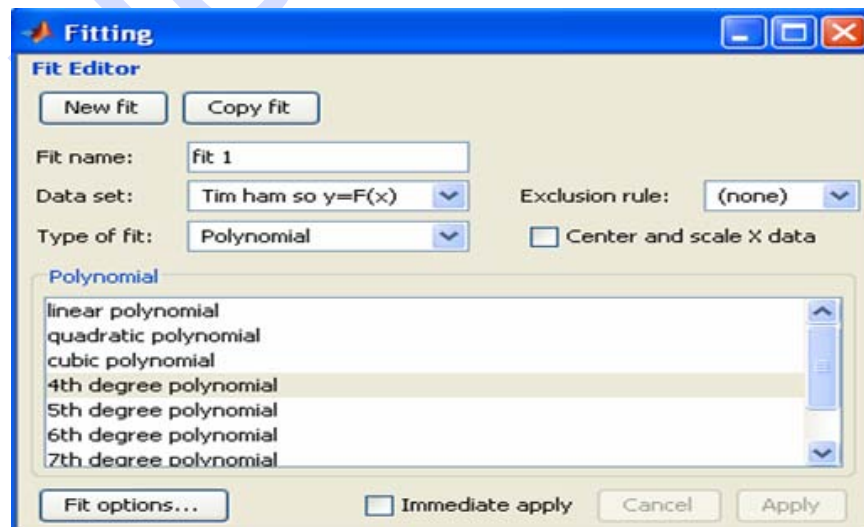
Hình 3.2: Cửa sổ Workspace

Chương trình cho phép đổi tên biến, hiệu chỉnh dữ liệu và xem dữ liệu của một biến bất kì bằng cách chọn tên biến cần quan tâm. Các dữ liệu của 2 biến x và y nhập liệu xong sẽ được cập nhật vào trong Curve Fitting. Tiếp theo, để khai báo dữ liệu chọn trang Data xuất hiện cửa sổ như Hình 3.6.



Hình 3.3: Cửa sổ Data

Chọn tên biến cho X Data và Y Data, tạo tên file: ví dụ Tim hàm số $y = f(x)$. Sau khi khai báo biến xong, click vào nút create data set và đóng cửa sổ lại. Tiếp theo chọn trang Fitting, xuất hiện cửa sổ như Hình 3.7.



Hình 3.4: Cửa sổ Fitting

Chức năng chính của Fit Editor đi tìm mối tương quan chính xác nhất giữa biến

x và y thông qua các hàm toán học cơ bản được xây dựng sẵn trong MATLAB như hàm đa thức, hàm mũ, hàm logarit..., khai triển Fourier.. và hàm toán do người thực hiện tạo ra. Việc chọn kết quả chính xác nhất phụ thuộc vào thông số R-square tiến gần đến giá trị 1.

Linear model Poly 7:

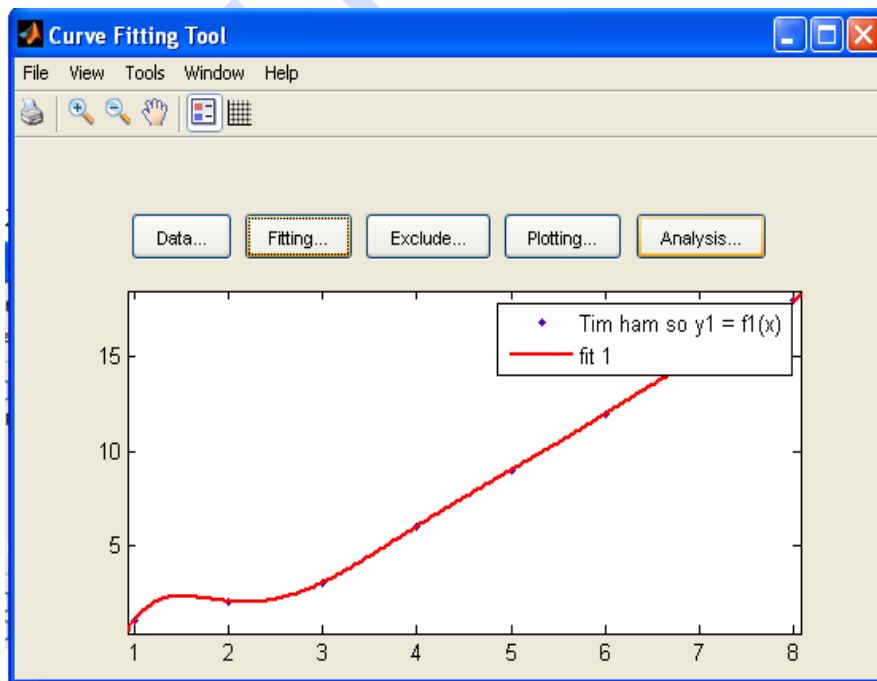
$$f(x) = p1*x^7 + p2*x^6 + p3*x^5 + p4*x^4 + p5*x^3 + p6*x^2 + p7*x + p8$$

Coefficients:

p1 =	0.001984	p5 =	27.85	Goodness of fit:
p2 =	-0.06667	p6 =	-63.18	SSE: 7.833e-023
p3 =	0.9222	p7 =	72.23	R-square: 1
p4 =	-6.75	p8 =	-30	Adjusted R-square: NaN
				RMSE: NaN

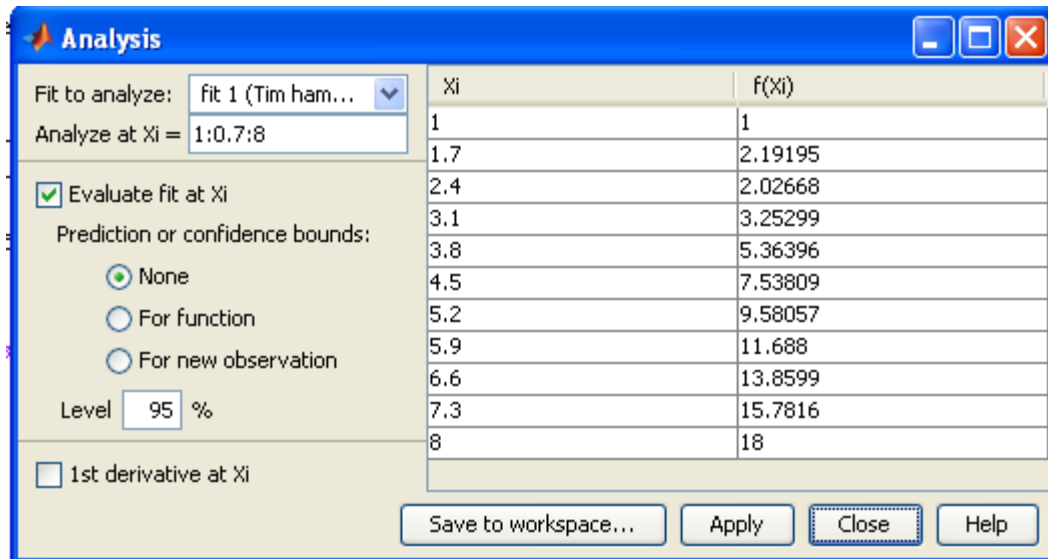
Kết quả ví dụ trên là :

$$Y = 0.001984*x^7 - 0.06667*x^6 + 0.9222*x^5 - 6.75*x^4 + 27.85*x^3 - 63.18*x^2 + 72.23*x - 30$$



Hình 3.5: Đồ thị $y_1 = f_1(x)$

Mở trang Analysis để kiểm tra độ sai số của độ thị trong quá trình tính toán của máy tính.

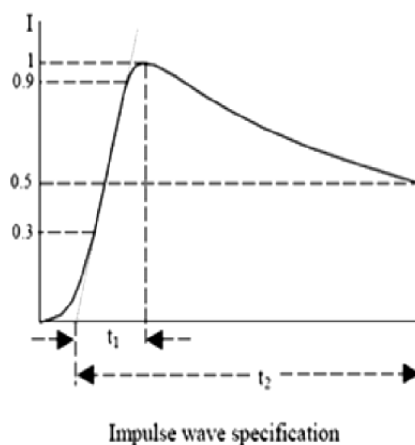


Hình 3.6: Cửa sổ Analysis

Curve Fitting Toolbox là công cụ rất hữu ích trong việc tìm mối liên hệ giữa các sự kiện thu thập được trong quá trình đo đạc thực nghiệm, để từ đó giúp cho người thực hiện có thể dự đoán diễn biến của sự kiện có thể xảy ra ở một thời điểm bất kì.

3.2. Xây dựng mô hình nguồn phát xung sét

3.2.1. Các dạng xung không chu kỳ chuẩn



Hình 3.7: Dạng sóng xung không chu kỳ chuẩn

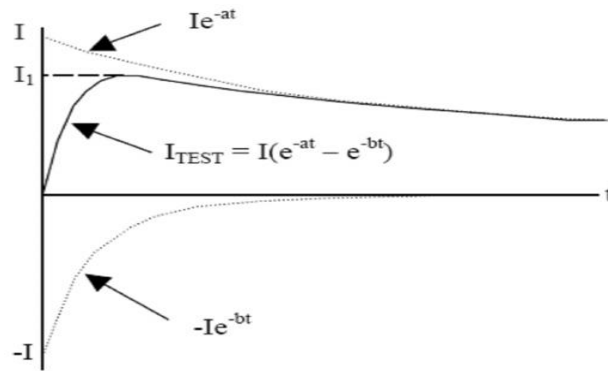
Các xung không chu kỳ chuẩn gồm xung dòng điện và xung điện áp là những dạng xung cơ bản rất cần thiết cho việc thử nghiệm các thiết bị bảo vệ quá áp cũng như thử nghiệm cách điện của các thiết bị điện. Dạng sóng của các xung này được trình bày trong Hình 3.10.

Phương trình mô tả của xung dòng điện và điện áp chuẩn có dạng:

$$i(t) = I(e^{-at} - e^{-bt}) \quad (3.1)$$

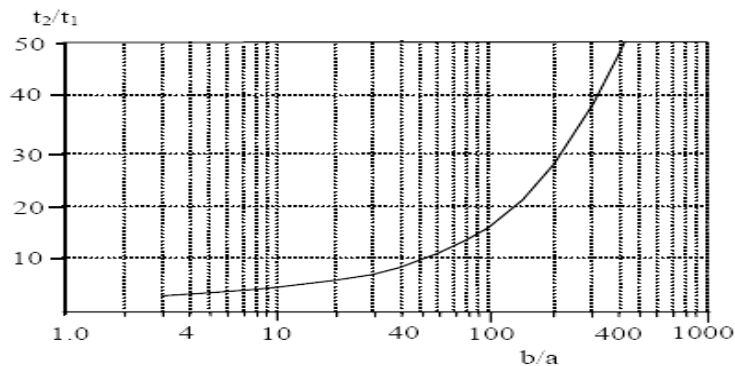
$$u(t) = U(e^{-at} - e^{-bt}) \quad (3.2)$$

Xung dòng và xung áp có dạng hoàn toàn giống nhau, dưới đây ta chỉ xét dạng xung dòng điện từ đó có thể suy ra xung áp tương tự. Dạng xung dòng gồm 2 thành phần Ie^{-at} và Ie^{-bt} như Hình 3.11.

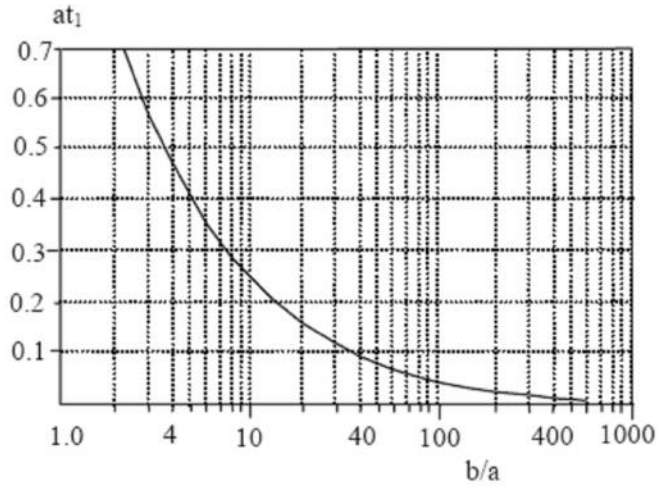


Hình 3.8: Dạng sóng xung gồm tổng của hai thành phần

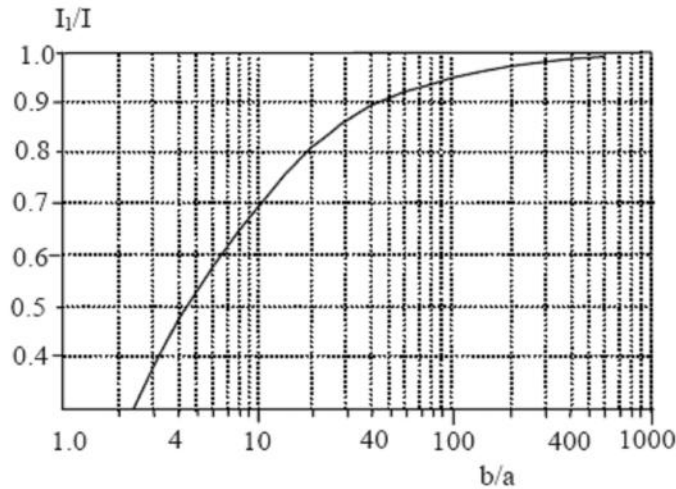
Giá trị của I , a , b từ biểu thức trên có thể xác định đối với từng dạng xung dòng chuẩn từ các giá trị: Giá trị đỉnh I_1 của xung dòng, thời gian đạt đỉnh t_1 , thời gian đạt $1/2$ giá trị đỉnh t_2 thông qua các đường cong chuẩn như Hình 3.12, 3.13, 3.14.



Hình 3.9: Đường cong xác định tỷ số b/a



Hình 3.10: Đường cong xác định tỉ số at_1



Hình 3.11: Đường cong xác định tỉ số I_1/I

3.2.2. Xây dựng mối liên hệ giữa các thông số trong mô hình.

Để thuận tiện cho việc xác định các thông số của phương trình 3.1 và 3.2, ta lần lượt tìm mối tương quan giữa các biến số thông qua các hàm toán học dựa trên tọa độ các điểm nằm trên các đường cong 3.12, 3.13 và 3.14. Phương pháp thực hiện bằng cách sử dụng tính năng Curve Fitting trong Curve Fitting Toolbox của phần mềm MATLAB (R2010a) đã được giới thiệu ở trên.

3.2.2.1. Giữa tỉ số t_2 / t_1 và b/a

Do tỉ số t_2 / t_1 là giá trị cho trước nên để đơn giản hóa việc tính toán ta xem trực tiếp

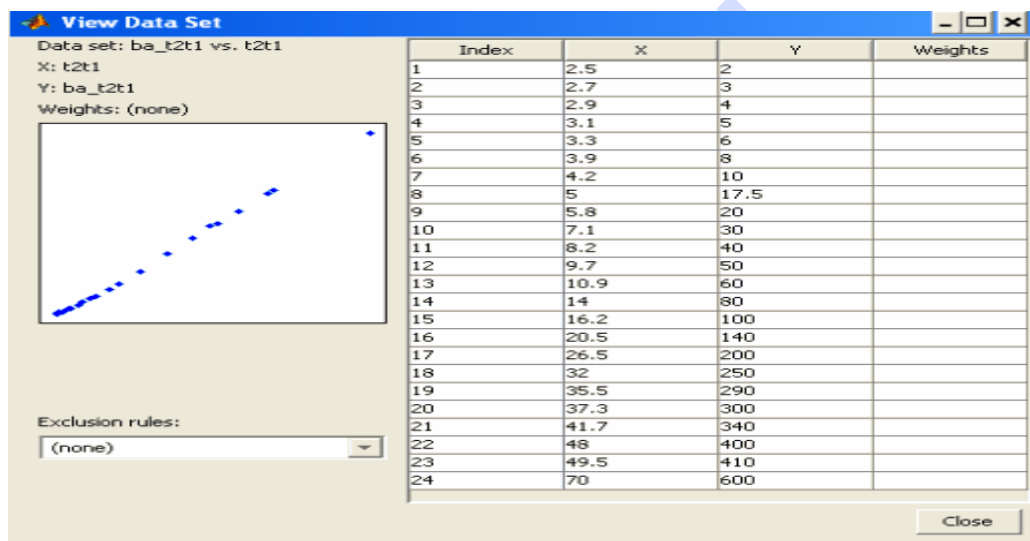
số t_2/t_1 là trục $0x$ và trục tỉ số b/a là trục $0y$.

Nhập dữ liệu t_2/t_1 và b/a từ đường cong 3.12 vào cửa sổ Workspace thu được kết quả như Hình 3.15.

t_2/t_1 (X):

[2.5;2.7;2.9;3.1;3.3;3.9;4.2;5;5.8;7.1;8.2;9.7;10.9;14;16.2;20.5;26.5;32;35.5;37.3;41.7;48;49.5;70]

b/a (Y): [2;3;4;5;6;8;10;17.5;20;30;40;50;60;80;100;140;200;250;290;300;340;400;410;600]



Hình 3.12: Nhập dữ liệu t_2/t_1 và b/a

Lần lượt chọn các dạng hàm toán học đi qua các tọa độ trên. Kết quả như sau:

Exponential: $f(x) = a * \exp(b * x)$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$a = 61.8$ (40.17, 83.42)

$b = 0.0346$ (0.0283, 0.04089)

Goodness of fit:

SSE: 8.522e+004

R-square: 0.8697

Adjusted R-square: 0.8638

RMSE: 62.24

Fourier: $f(x) = a0 + a1 * \cos(x * w) + b1 * \sin(x * w) + a2 * \cos(2 * x * w) + b2 * \sin(2 * x * w) + a3 * \cos(3 * x * w) + b3 * \sin(3 * x * w)$

Coefficients:

$$\begin{aligned}a_0 &= 262.1 \quad (194.4, 329.8) & a_1 &= -291.5 \quad (-413.3, -169.7) \\b_1 &= -29.74 \quad (-374.5, 315) & a_2 &= 0.1806 \quad (-196.9, 197.3) \\b_2 &= 75.28 \quad (60.69, 89.88) & a_3 &= 16.69 \quad (-7.129, 40.51) \\b_3 &= -7.313 \quad (-71.2, 56.57) & w &= 0.05128 \quad (0.02545, 0.0771)\end{aligned}$$

Goodness of fit: R-square: 0.9999

Goodness of fit:

$$\begin{aligned}\text{SSE: } 68.45 & \qquad \qquad \qquad \text{R-square: } 0.9999 \\ \text{Adjusted R-square: } 0.9998 & \qquad \qquad \text{RMSE: } 2.068\end{aligned}$$

$$\textbf{Gaussian: } f(x) = a_1 \cdot \exp(-((x-b_1)/c_1)^2) + a_2 \cdot \exp(-((x-b_2)/c_2)^2) + a_3 \cdot \exp(-((x-b_3)/c_3)^2)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned}a_1 &= 602.7 \quad (473, 732.3) & b_1 &= 68.08 \quad (31.25, 104.9) \\c_1 &= 25.66 \quad (-123.1, 174.4) & a_2 &= 170.9 \quad (-1503, 1845) \\b_2 &= 33.41 \quad (-9.578, 76.39) & c_2 &= 15.4 \quad (-43.35, 74.16) \\a_3 &= 44.87 \quad (-194.9, 284.6) & b_3 &= 16.18 \quad (6.91, 25.44) \\c_3 &= 8.786 \quad (-2.846, 20.42)\end{aligned}$$

Goodness of fit:

$$\begin{aligned}\text{SSE: } 371.9 & \qquad \qquad \qquad \text{R-square: } 0.9994 \\ \text{Adjusted R-square: } 0.9991 & \qquad \qquad \text{RMSE: } 4.979\end{aligned}$$

General model Power 2: $f(x) = a \cdot x^b + c$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 6.103 \quad (5.198, 7.007) ; b = 1.09 \quad (1.054, 1.126) ; c = -18.99 \quad (-23.94, -14.04)$$

Goodness of fit:

$$\begin{aligned}\text{SSE: } 488.3 & \qquad \qquad \qquad \text{R-square: } 0.9993 \\ \text{Adjusted R-square: } 0.9992 & \qquad \qquad \text{RMSE: } 4.822\end{aligned}$$

General model Sin 5: Sum of Sin Functions

$$f(x) = a1*\sin(b1*x + c1) + a2*\sin(b2*x + c2) + a3*\sin(b3*x + c3) + a4*\sin(b4*x + c4) + a5*\sin(b5*x + c5)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a1 &= 665.9 \text{ } (-2.061e+007, 2.061e+007) & b1 &= 0.02615 \text{ } (-812.5, 812.5) \\ c1 &= -0.1844 \text{ } (-9128, 9127) & a2 &= 183.5 \text{ } (-2.685e+007, 2.685e+007) \\ b2 &= 0.04778 \text{ } (-1125, 1125) & c2 &= 2.646 \text{ } (-1.878e+004, 1.879e+004) \\ a3 &= 48.9 \text{ } (-3.199e+007, 3.199e+007) & b3 &= 0.2592 \text{ } (-2843, 2843) \\ c3 &= -0.2891 \text{ } (-7.842e+004, 7.842e+004) & a4 &= 45.7 \text{ } (-3.201e+007, 3.201e+007) \\ b4 &= 0.2675 \text{ } (-2733, 2733) & c4 &= 2.626 \text{ } (-7.539e+004, 7.539e+004) \\ a5 &= 2.89 \text{ } (-114.4, 120.2) & b5 &= 0.5459 \text{ } (-2.607, 3.699) \\ c5 &= 1.465 \text{ } (-79.52, 82.45) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

$$\begin{aligned} \text{SSE: } 83.05 & & \text{R-square: } 0.9999 \\ \text{Adjusted R-square: } 0.9997 & & \text{RMSE: } 3.038 \end{aligned}$$

Linear model Poly 4: Polynomial

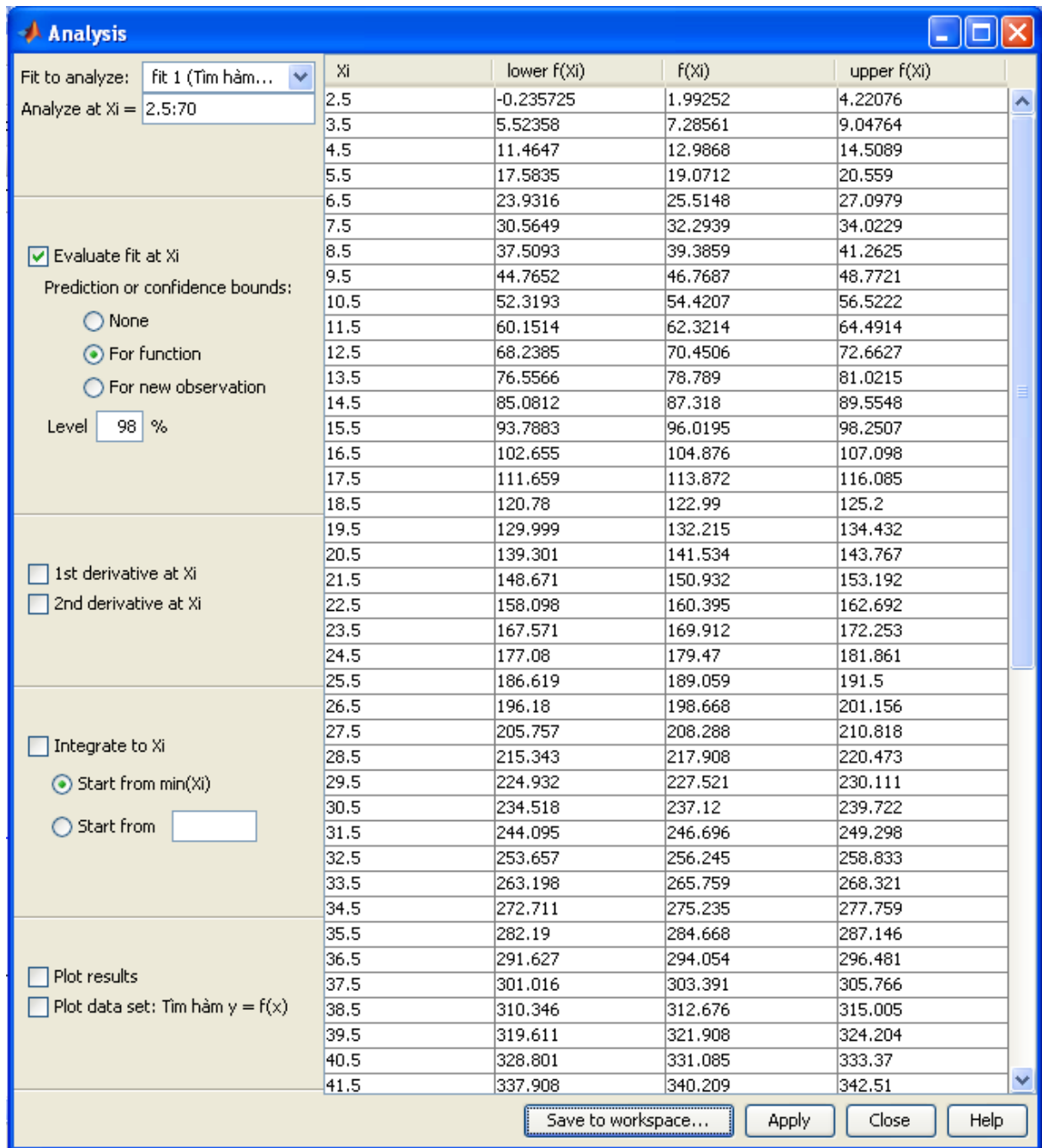
$$f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} p1 &= 2.859e-005 \text{ } (1.83e-005, 3.887e-005) & p2 &= -0.004598 \text{ } (-0.006, -0.003196) \\ p3 &= 0.2502 \text{ } (0.1898, 0.3106) & p4 &= 3.914 \text{ } (2.996, 4.832) \\ p5 &= -9.286 \text{ } (-12.78, -5.788) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

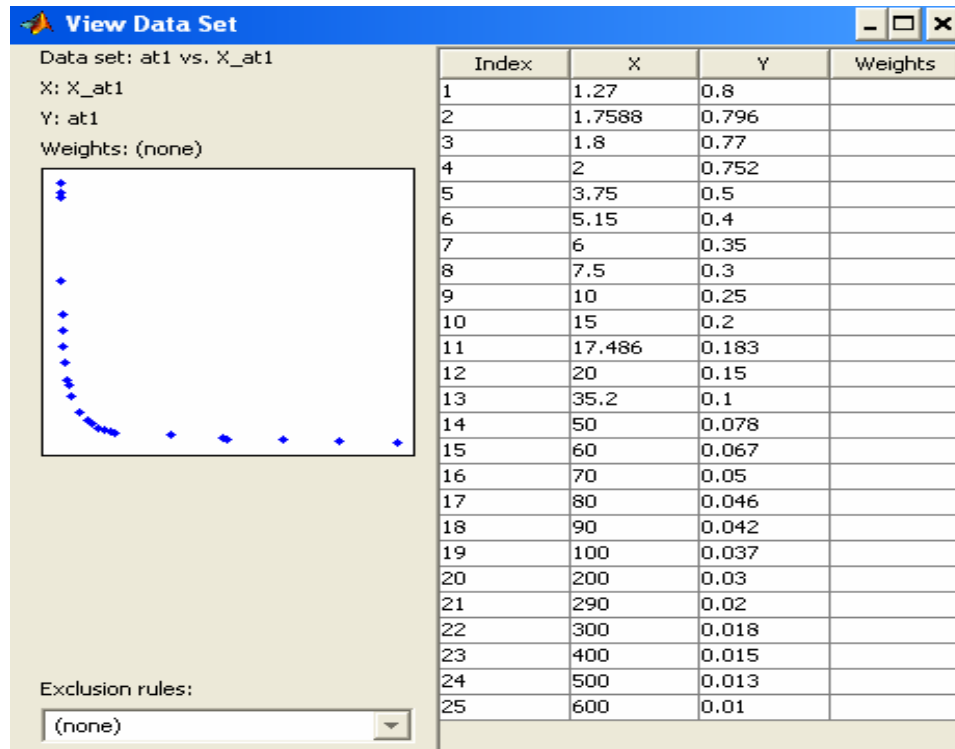
$$\begin{aligned} \text{SSE: } 84.23 & & \text{R-square: } 0.9999 \\ \text{Adjusted R-square: } 0.9998 & & \text{RMSE: } 2.106 \end{aligned}$$



Hình 3.13: Kết quả phân tích ở cửa sổ Analysis

3.2.2.2. Giữa tỉ số b/a và at1

Tương tự như trên, nhập dữ liệu b/a (X_{at1}) và at1 từ đường cong 3.13 thu được kết quả như Hình 3.17.



Hình 3.14. Nhập dữ liệu b/a (X_at1) và at1

Kết quả là:

General model Exp 2: *Exponential*

$$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.8972 \quad (0.8312, 0.9633)$$

$$b = -0.2972 \quad (-0.3508, -0.2435)$$

$$c = 0.2398 \quad (0.1869, 0.2928)$$

$$d = -0.02101 \quad (-0.0275, -0.01452)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.007644

R-square: 0.9958

Adjusted R-square: 0.9952

RMSE: 0.01908

General model Rat 23: *Rational*:

Cửa sổ *Rational* chọn *Quadratic*, cửa sổ *Denominator* chọn *Cubic polynomial*

$$f(x) = (p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3) / (x^3 + q1 \cdot x^2 + q2 \cdot x + q3)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 4.536 \quad (3.919, 5.152)$$

$$q1 = 8.711 \quad (-1.603, 19.02)$$

$$p2 = -4.493 \quad (-27.65, 18.67)$$

$$q2 = -20.34 \quad (-26.64, -14.03)$$

$$p3 = 22.14 \quad (-12.91, 57.19)$$

$$q3 = 39.4 \quad (10.24, 68.55)$$

Goodness of fit:

R-square: 0.9996

RMSE: 0.006391

SSE: 0.0007762

Adjusted R-square: 0.9995

Phương trình được lựa chọn là:

$$\Rightarrow y = (4,536. x^2 - 4,493. x + 22,14)/(1. x^3 + 8,711. x^2 - 20,34. x + 39,4)$$

3.2.2.3. Giữa tỉ số I_1/I và b/a

Kết quả là:

$$\Rightarrow y = (0,9925. x^3 - 3,255. x^2 + 1,809. x + 2,935)/(1. x^3 + 1,353. x^2 - 16,02. x + 24,51)$$

3.2.3. Xây dựng sơ đồ khối

Việc xây dựng mô hình toán nguồn phát xung trên MATLAB dựa vào các phương trình sau:

$$\diamond i(t) = I.(e^{-at} - e^{-bt}). \quad (3.3)$$

$$\diamond u(t) = U.(e^{-at} - e^{-bt}). \quad (3.4)$$

$$\diamond (b/a) = 2,859e-005(t_2/t_1)^4 - 0,004598. (t_2/t_1)^3 + 0,2502.(t_2/t_1)^2 + 3,914. (t_2/t_1) - 9,286. \quad (3.5)$$

$$\diamond (at_1) = [4,535.(b/a)^2 - 4,657.(b/a) + 22,46]/[1.(b/a)^3 + 8,655.(b/a)^2 - 20,37.(b/a) + 39,67]. \quad (3.6)$$

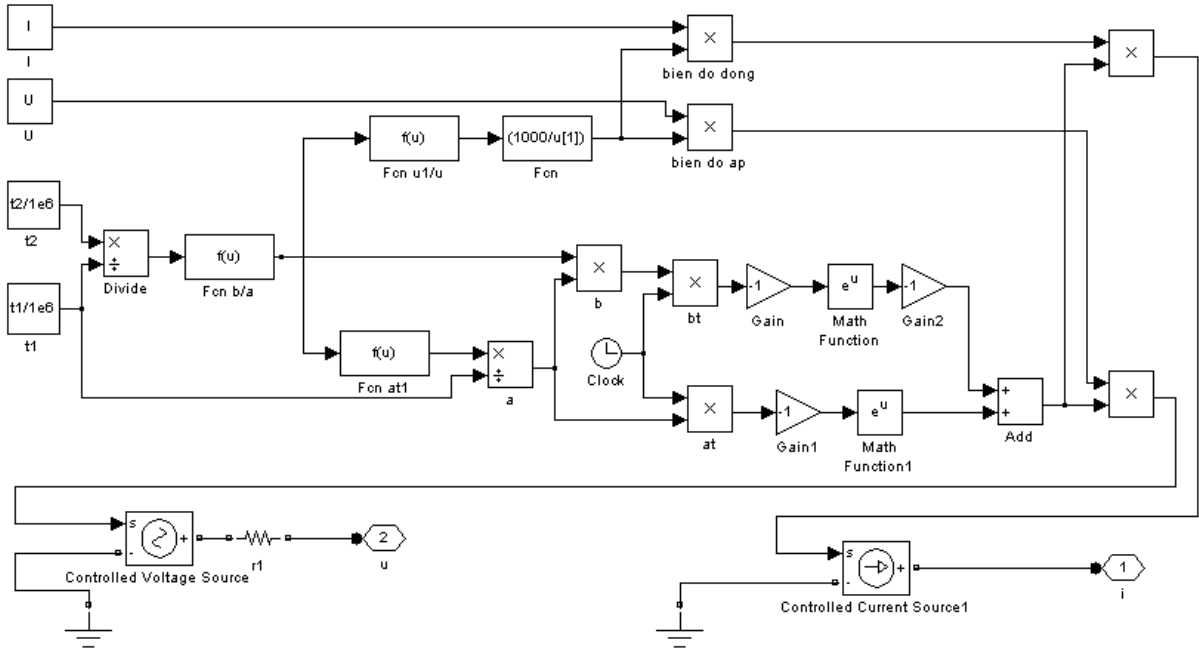
$$\diamond (I_1/I)y = [0,9925. (b/a)^3 - 3,255. (b/a)^2 + 1,809. (b/a) + 2,935]/[1. (b/a)^3 + 1,353. (b/a)^2 - 16,02. (b/a) + 24,51]. \quad (3.7)$$

Các biến đầu vào là t_1 , t_2 và I hay U (tùy theo nguồn phát xung dòng hoặc xung áp).

Các bước thực hiện: Từ thông số (t_2/t_1) và phương trình 3.5 sẽ tìm được giá

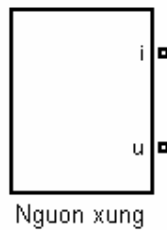
trị (b/a), tiếp tục thay giá trị này vào các phương trình 3.6 và 3.7. Sau cùng sẽ tìm được các giá trị cần tìm là a, b.

Kết quả thực hiện mô hình trên MATLAB như Hình 3.18.



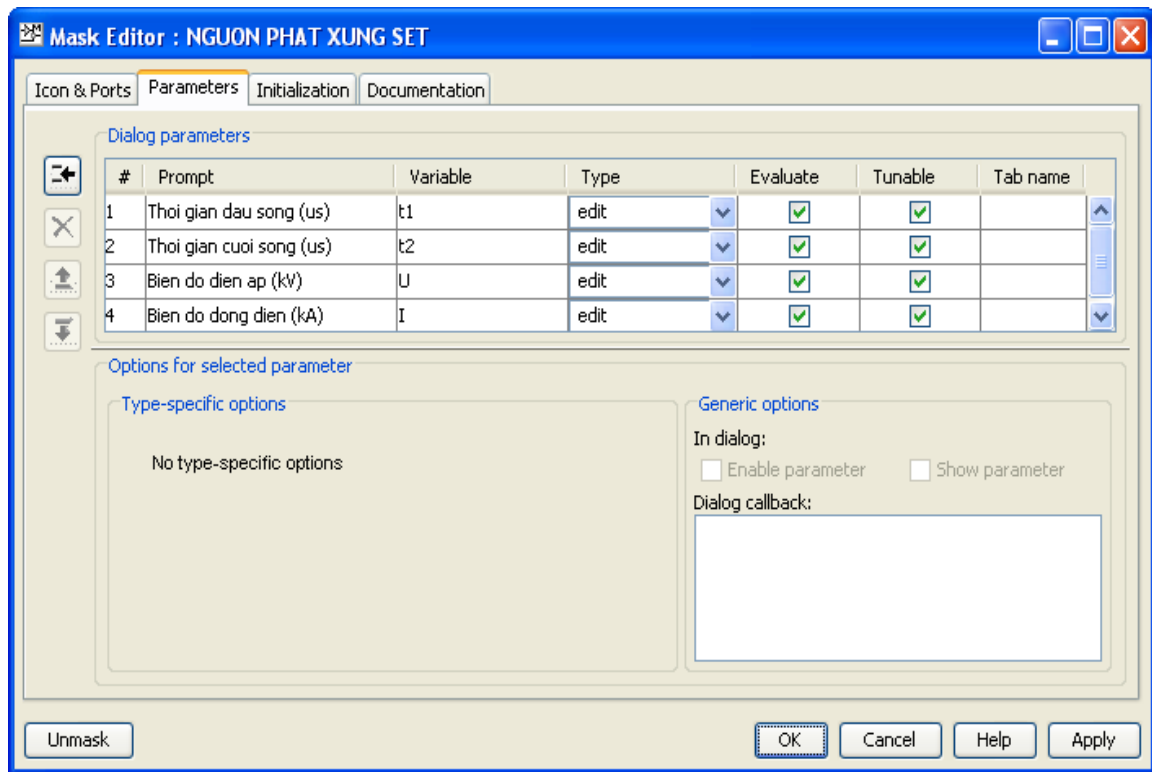
Hình 3.15: Sơ đồ khối tạo nguồn phát xung

Tiến hành nhóm các khối vào một khối con Subsystem, dùng Edit Mask xây dựng khối này thành nguồn phát xung hoàn chỉnh có biên độ và dạng sóng được nhập bởi người sử dụng như hình, sau đó chép vào thư viện My Library.



Hình 3.16. Biểu tượng của mô hình nguồn phát xung

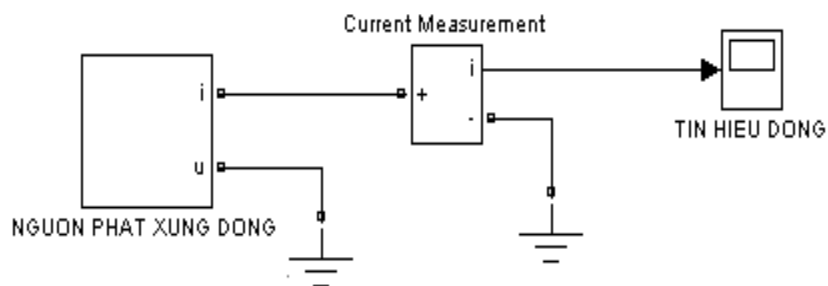
Dùng Edit Mask để tạo biến yêu cầu nhập vào cho mô hình nguồn phát xung như Hình 3.20.



Hình 3.17: Khai báo các thông số yêu cầu

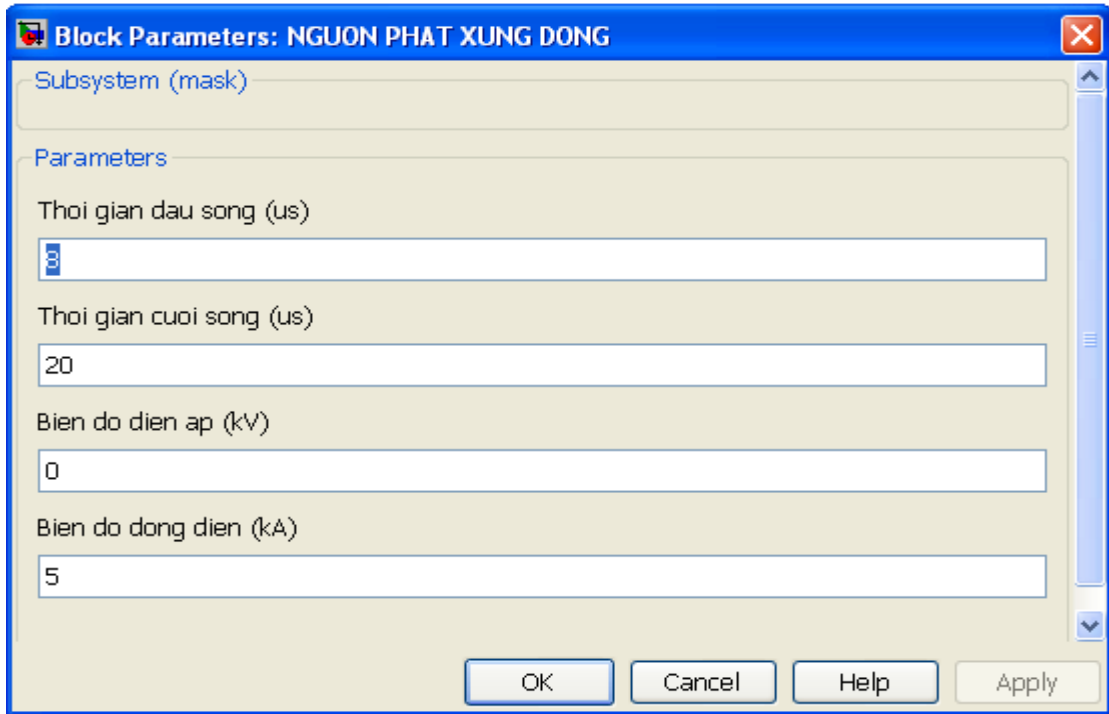
3.2.4. Thực hiện mô phỏng

Mô phỏng nguồn phát xung dòng



Hình 3.18: Sơ đồ mô phỏng nguồn xung dòng

Nhập các thông số cho nguồn phát xung dòng như Hình 3.22.



Block Parameters: NGUON PHAT XUNG DONG

Subsystem (mask)

Parameters

Thoi gian dau song (us)

8

Thoi gian cuoi song (us)

20

Bien do dien ap (kV)

0

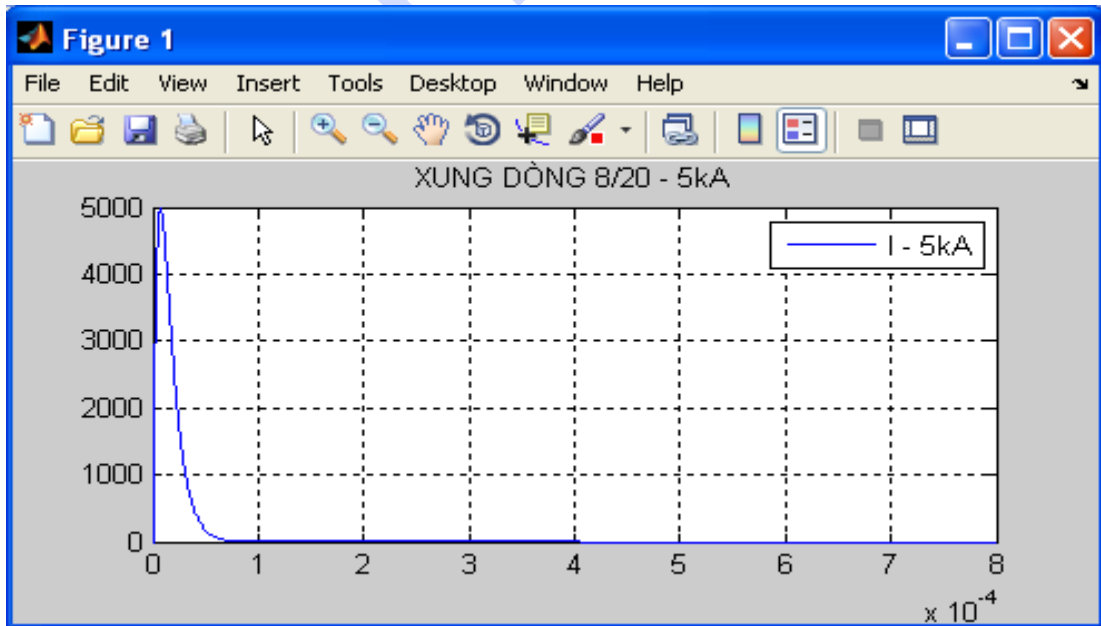
Bien do dong dien (kA)

5

OK Cancel Help Apply

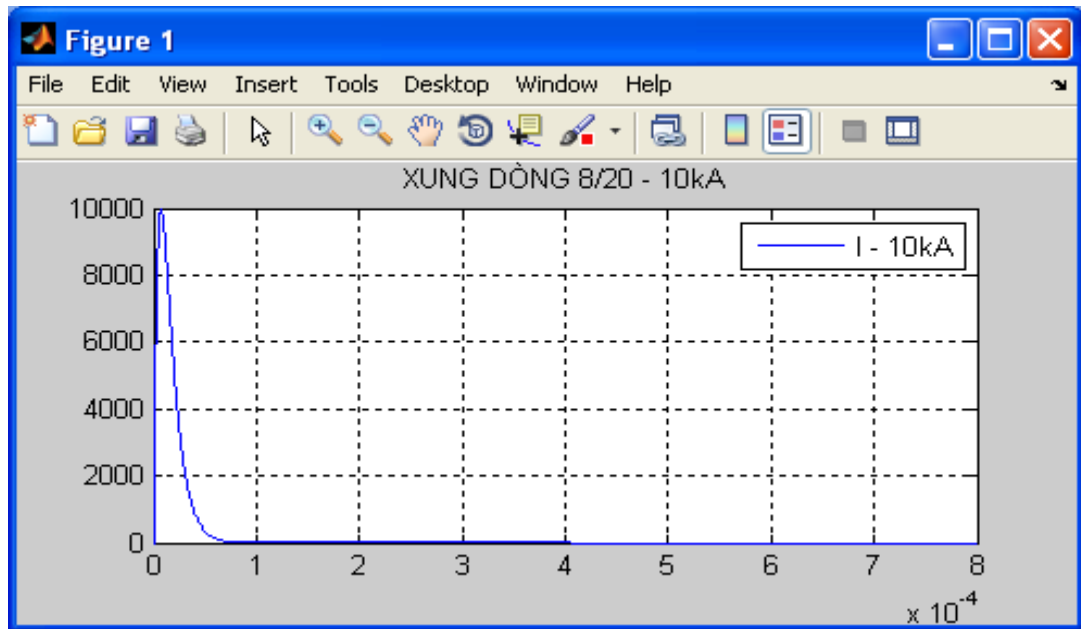
Hình 3.19: Thông số của nguồn phát xung sét

Thực hiện mô phỏng với xung dòng 8/20 μ s biên độ 5kA thu được kết quả như hình 3.23.



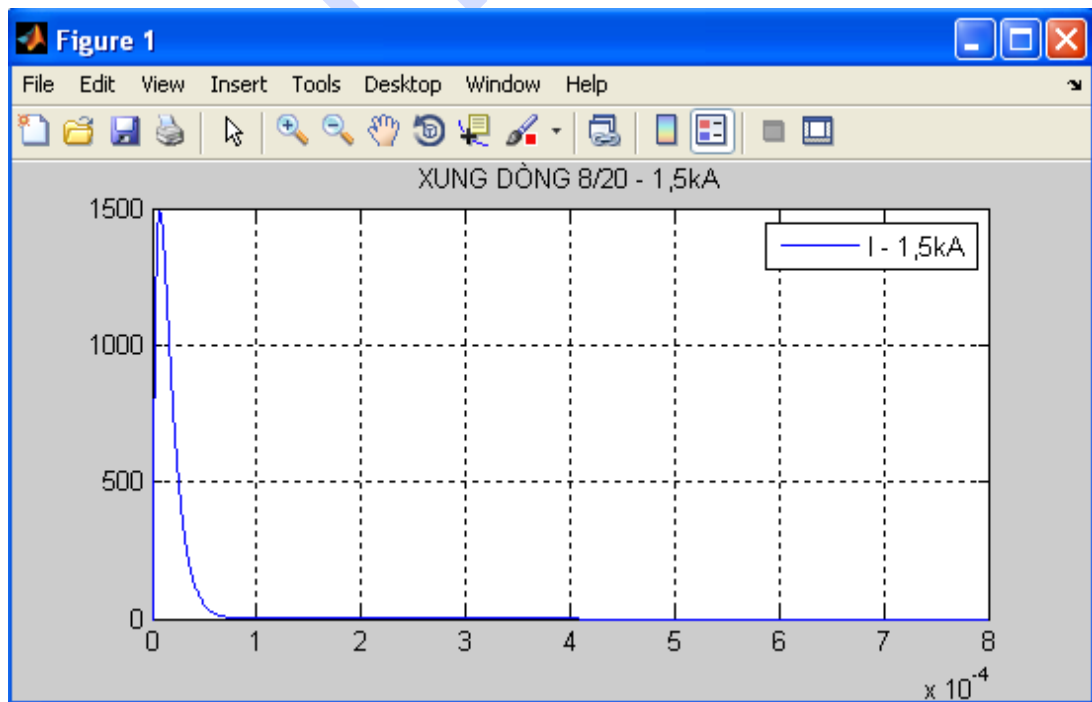
Hình 3.20: Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 5kA

Thực hiện mô phỏng với xung dòng 8/20 μ s biên độ 10kA thu được kết quả như hình 3.24.



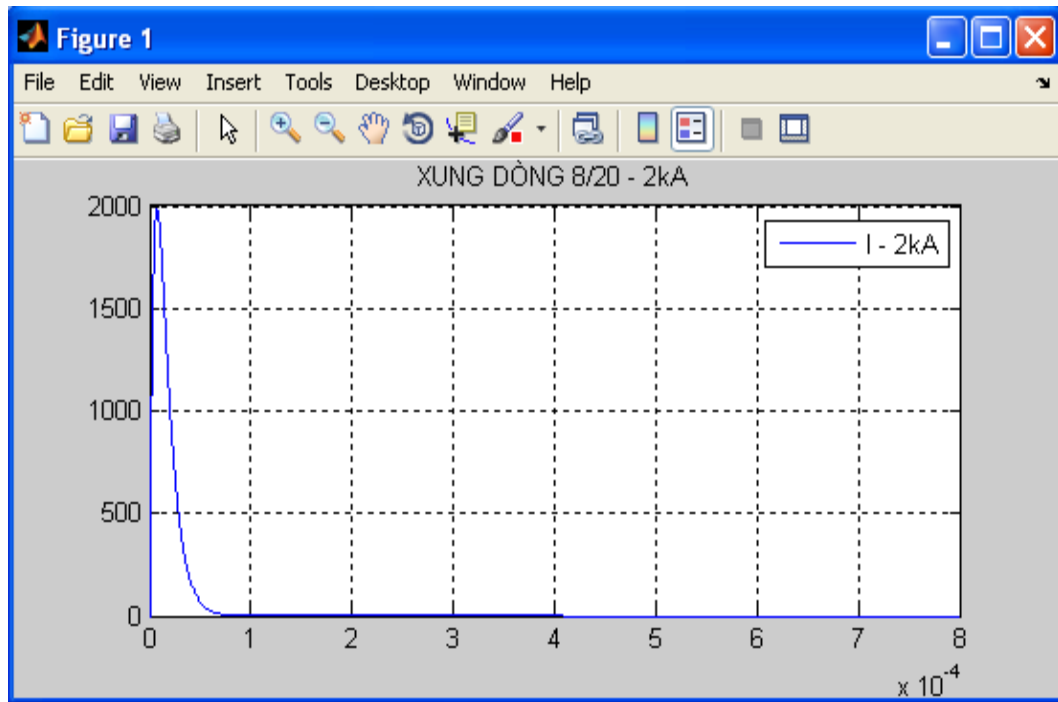
Hình 3.21: Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 10kA

Thực hiện mô phỏng với xung dòng 8/20 μ s biên độ 1,5kA thu được kết quả như hình 3.25.



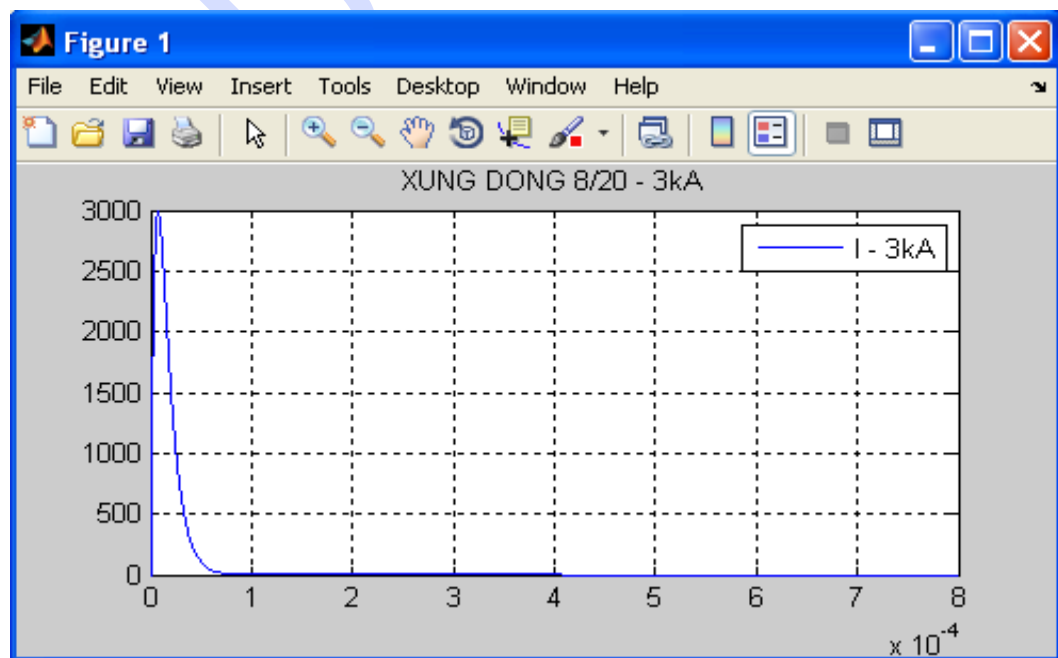
Hình 3.22: Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 1,5kA

Thực hiện mô phỏng với xung dòng 8/20 μ s biên độ 2kA thu được kết quả như hình 3.26.



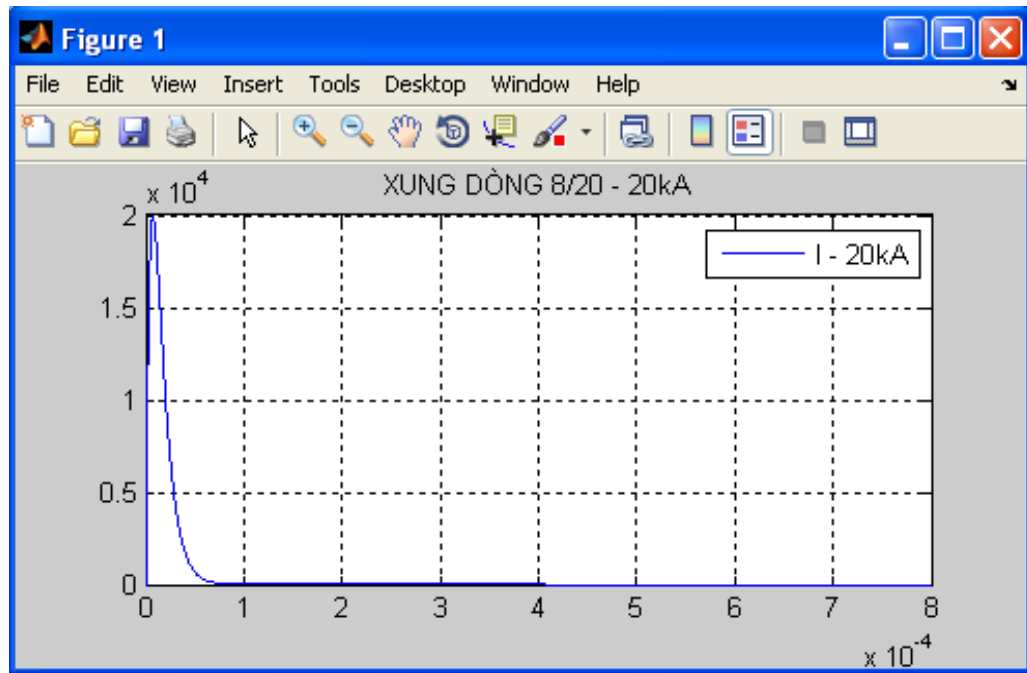
Hình 3.23: Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 2kA

Thực hiện mô phỏng với xung dòng 8/20 μ s biên độ 3kA thu được kết quả như hình 3.27.



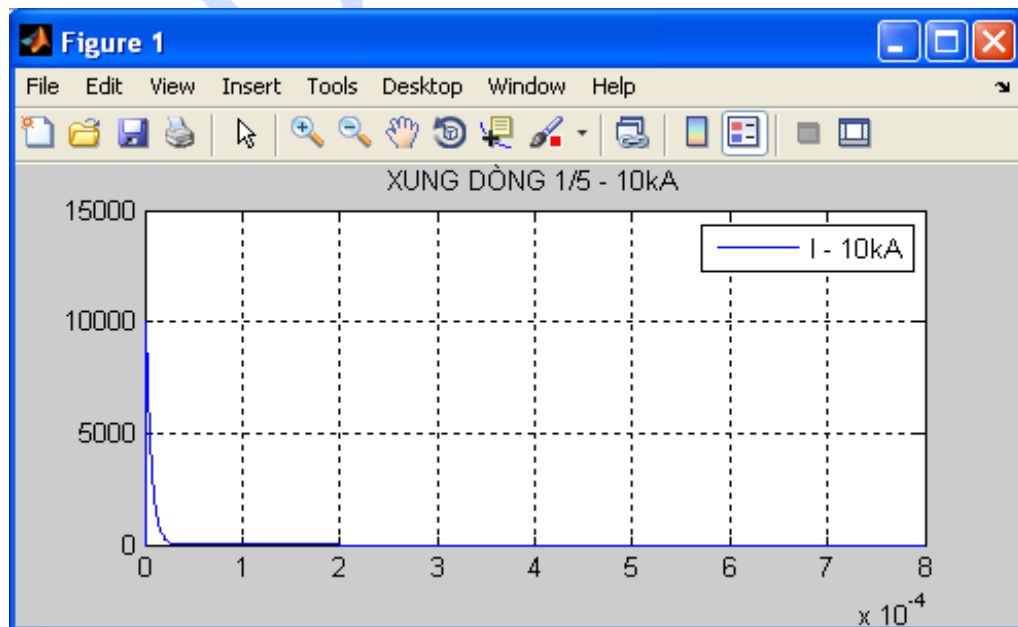
Hình 3.24: Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 3kA

Thực hiện mô phỏng với xung dòng 8/20 μ s biên độ 20kA thu được kết quả như hình 3.28.



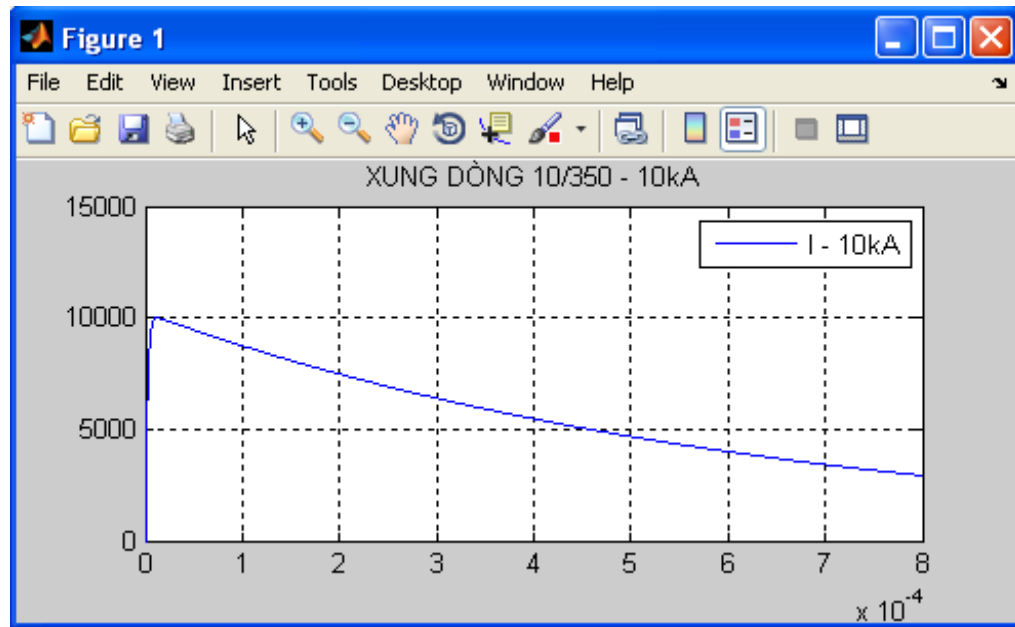
Hình 3.25: Dạng sóng nguồn xung dòng 8/20 μ s – 20kA

Thực hiện mô phỏng với xung dòng 1/5 μ s biên độ 10kA thu được kết quả như hình 3.29.



Hình 3.26: Dạng sóng nguồn xung dòng 1/5 μ s – 10kA

Thực hiện mô phỏng với xung dòng 10/350 μ s biên độ 10kA thu được kết quả như Hình 3.30.



Hình 3.27: Dạng sóng nguồn xung dòng 10/350 μ s – 10kA

3.3. Nhận xét

Mô hình nguồn phát xung sét tiêu chuẩn vừa xây dựng cho kết quả mô phỏng với các thông số của dạng sóng dòng điện không chu kỳ chuẩn đều cho sai số nhỏ hơn 5%.

Mô hình có các ưu điểm là:

Tính toán nhanh được các thông số mô phỏng, mặc dù các thông số được tính theo phương pháp gần đúng nhưng có thể chấp nhận được vì các sai số nằm trong phạm vi cho phép; Thông số của mô hình có thể nhập trực tiếp thông qua hộp thoại.

Kết quả mô phỏng của mô hình cho dạng sóng phù hợp với các xung sét chuẩn đã được qui định trong các tiêu chuẩn trong và ngoài nước.

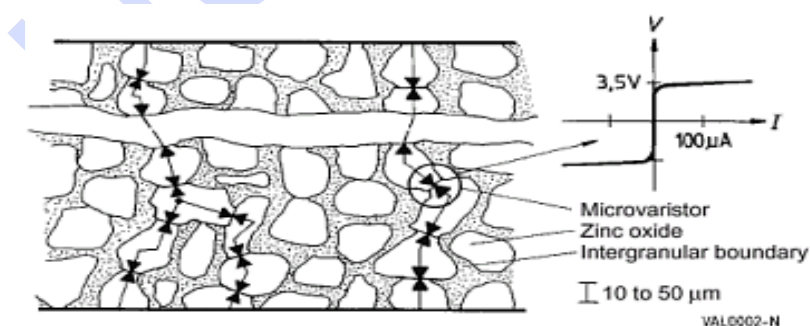
CHƯƠNG 4: CẤU TẠO NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG VÀ MÔ HÌNH MOV

4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của biến trở Ôxide kim loại (MOV)

4.1.1. Cấu tạo cơ bản của (MOV)

MOV (Metal Oxide Varistor) là thiết bị phi tuyến, phụ thuộc vào điện áp mà hành vi về điện giống như hai diode đấu ngược lại (Back –to –back). Với đặc tính đối xứng, đặc tính vùng đánh thủng (về điện) rất dốc cho phép MOV có tính năng khử xung quá độ đột biến hoàn hảo (Hình 4.1). Trong điều kiện bình thường biến trở là thành phần có trở kháng cao gần như hở mạch. Khi xuất hiện xung đột biến quá áp cao, MOV sẽ nhanh chóng trở thành đường dẫn trở kháng thấp để triệt xung đột biến. Phần lớn năng lượng xung quá độ được hấp thu bởi MOV cho nên các thành phần trong mạch được bảo vệ tránh hư hại.

Thành phần cơ bản của biến trở là ZnO với thêm một lượng nhỏ bismuth, cobalt, mangan và các ôxít kim loại khác. Cấu trúc của biến trở bao gồm một ma trận hạt dẫn ZnO nối qua biên hạt cho đặc tính tiếp giáp P-N của chất bán dẫn. Các biên này là nguyên nhân làm cho biến trở không dẫn ở điện áp thấp và là nguồn dẫn phi tuyến khi điện áp cao.



Hình 4.1: Cấu trúc của biến trở và đặc tính V-I

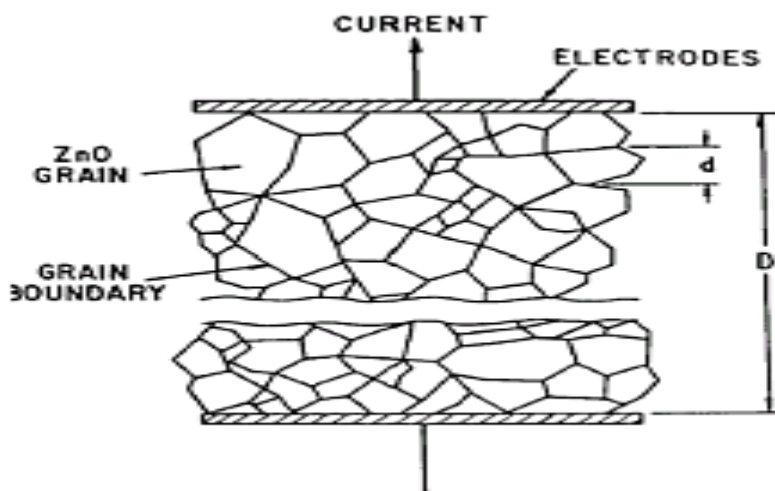
MOV được chế tạo từ ZnO. Mỗi một hạt ZnO của ceramic hoạt động như tiếp giáp bán dẫn tại vùng biên của các hạt. Các biên hạt ZnO có thể quan sát được qua hình ảnh vi cấu trúc của ceramic như Hình 4.2. Hành vi phi tuyến về điện xảy ra tại biên tiếp giáp của các hạt bán dẫn ZnO, biến trở có thể xem như 1 một thiết bị nhiều tiếp giáp tạo

ra từ nhiều liên kết nối nối tiếp và song song của biên hạt. Hành vi của thiết bị có thể phân tích chi tiết từ vi cấu trúc của ceramic, kích thước hạt và phân bố kích thước hạt đóng vai trò chính trong hành vi về điện.



Hình 4.2: Vi cấu trúc của ceramic

Hỗn hợp rắn ôxyt kẽm với ôxyt kim loại khác dưới điều kiện đặc biệt tạo nên ceramic đa tinh thể, điện trở của chất này phụ thuộc vào điện áp. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng biến trở. Bản thân hạt ôxyt kẽm dẫn điện rất tốt (đường kính hạt khoảng 15 – 100 μm), trong khi ôxyt kim loại khác bao bên ngoài có điện trở rất cao. Chỉ tại các điểm ôxyt kẽm gặp nhau tạo nên “vi biến trở”, tựa như hai diode zener đối xứng, với mức bảo vệ khoảng 3,5V. Chúng có thể nối nối tiếp hoặc song song (Hình 4.1). Việc nối nối tiếp hoặc song song các vi biến trở làm cho MOV có khả năng tải được dòng điện cao hơn so với các chất bán dẫn, hấp thụ nhiệt tốt và có khả năng chịu được dòng xung đột biến cao. MOV được chế tạo từ việc hình thành và tạo hạt ZnO dạng bột vào trong các thành phần ceramic. Các hạt ZnO có kích thước trung bình là d , bề dày biến trở là D ,



Hình 4.3: Vi cấu trúc của MOV

ở hai bề mặt khối MOV được áp chặt bằng hai phiến kim loại phẳng. Hai phiến kim loại này lại được hàn chắc chắn với hai chân nổi ra ngoài (Hình 4.3).

Điện áp của MOV được xác định bởi bề dày của MOV và kích thước của hạt ZnO. Một đặc tính cơ bản của biến trở ZnO là điện áp rơi qua biên tiếp giáp giữa các hạt ZnO gần như là hằng số, và khoảng từ (2-3,5)V. Mỗi liên hệ này được xác định như sau:

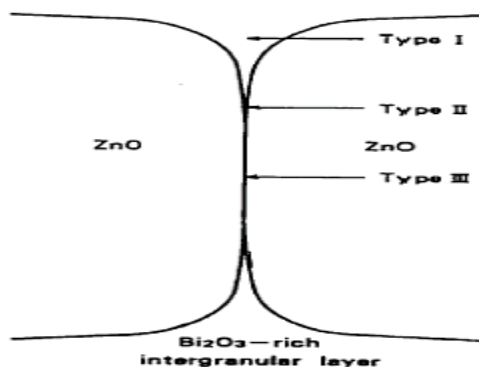
$$\text{Điện áp biên trở} : V_N = (3,5)n \quad (4.1)$$

$$\text{Và bề dày của biến trở: } D = (n + 1)d \approx (V_N d)/3,5 \quad (4.2)$$

Trong đó: n là số tiếp giáp trung bình giữa các hạt ZnO; d là kích thước trung bình của hạt; V_N là điện áp rơi trên MOV khi MOV chuyển hoàn toàn từ vùng dòng rò tuyến tính sang vùng không tuyến tính cao, tại điểm trên đường đặc tính V-I với dòng điện 1mA (Hình 4.9).

Biên tiếp giáp hạt ZnO của vi cấu trúc là rất phức tạp. Chúng gồm 3 vùng cấu trúc (Hình 4.3):

- Vùng I: Biên có độ dày khoảng (100-1000 nm) và đây là lớp giàu bột Bi_2O_3 .
- Vùng II: Biên có độ mỏng khoảng (1-100 nm) và đây là lớp giàu bột Bi_2O_3 .
- Vùng III: Biên này có đặc tính là tiếp xúc trực tiếp với các hạt ZnO. Ngoài ra Bi, Co và một lượng các ion ôxy cũng tìm thấy xen giữa biên này với độ dày vài nanomet.



Hình 4.4: Sơ đồ cấu trúc của lớp biên tiếp giáp biến trở ZnO

4.1.2. Nguyên lý hoạt động của MOV

Biến trở ZnO là rất phức tạp, nhiều thành phần, hành vi về điện các ôxít ceramic đa tinh thể tùy vào vi cấu trúc của thiết bị này và chi tiết quá trình xảy ra tại các biên tiếp giáp hạt ZnO. Thành phần chính của biến trở là ZnO chiếm 90% hoặc hơn nữa, còn lại là các ôxít kim loại khác. Một hỗn hợp tiêu biểu như sau: 97mol-%ZnO, 1mol-% Sb_2O_3 , 0,5mol-% mỗi Bi_2O_3 , CoO , MnO , và Cr_2O_3 .

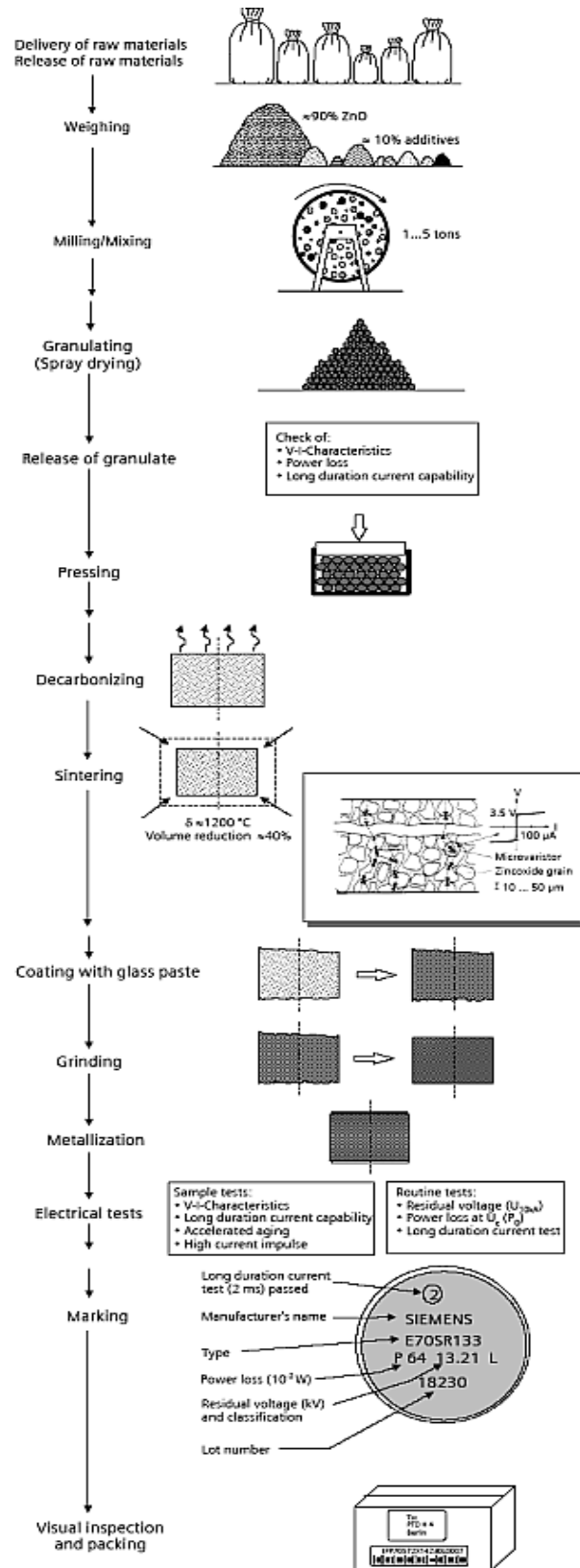
Quá trình chế tạo biến trở ZnO theo tiêu chuẩn kỹ thuật ceramic. Các thành phần được trộn thành hỗn hợp và xay thành bột. Hỗn hợp bột được làm khô và nén thành hình dạng mong muốn. Sau đó, các viên được vón cục ở nhiệt độ cao, cụ thể là từ 1000-1400°C. Hai phiến kim loại thường là bằng bạc tiếp xúc với các hạt được vón cục bên ngoài làm điện cực và được hàn chắc chắn với hai chân nối ra ngoài, thiết bị được đóng gói bằng vật liệu tổng hợp.

Sản phẩm hoàn thành sau cùng được kiểm tra đáp ứng các tính năng yêu cầu kỹ thuật. Quá trình được diễn tả theo lưu đồ Hình 4.5. Vài giá trị tiêu biểu về kích thước của biến trở ôxít kim loại được cho như sau:

Điện áp biến trở (V_{RMS})	d (μm)	n (hạt)	Điện trường V/mm tại 1mA	Bề dày của MOV (mm)
150	20	75	150	1,5
25	80	12	39	1,0

Đường kính đĩa danh định:

Đường kính đĩa danh định (mm)	3	5	7	10	14	20	32	34	40	62
-------------------------------	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----



Hình 4.5: Lưu đồ chế tạo biến trở ZnO



Hình 4.6: Hình ảnh MOV

Vì cấu trúc biến trở ôxyt kim loại đa tinh thể tự nhiên nên hoạt động vật lý của biến trở là phức tạp hơn chất bán dẫn thông thường. Giải thích nguyên lý hoạt động của biến trở ZnO dựa trên sự hiểu biết về hiện tượng điện xảy ra ở vùng biên tiếp giáp của các hạt ôxyt kẽm. Một vài lý thuyết ban đầu đã giải thích dựa trên cơ sở của hiện tượng xuyên hầm. Tuy nhiên, tốt hơn là có thể diễn tả bằng sự sắp xếp các diode bán dẫn nối nối tiếp – song song (Hình 4.1). Cấu trúc cơ bản của khối biến trở ZnO là kết quả tạo hạt ZnO. Trong suốt quá trình xử lý, sự biến đổi các thành phần hoá học làm cho vi cấu trúc vùng gần biên tiếp giáp hạt ZnO có điện trở suất rất cao ($\rho = 10^{10}-10^{12} \Omega\text{cm}$) và bên trong hạt tính dẫn điện rất cao ($\rho = 0,1-10\Omega\text{cm}$). Điện trở suất giảm mạnh từ biên đến hạt với khoảng cách khoảng 50 đến 100nm, vùng này được biết như là vùng hẹp. Vì vậy, tại một biên hạt có sự tồn tại vùng hẹp cả hai phía đến các hạt kế cận. Hoạt động của biến trở chính là do sự có mặt của vùng hẹp này. Bởi vì vùng này thiếu hụt các điện tử tự do, cho nên hình thành vùng hẹp (vùng nghèo) điện tích không gian trong hạt ôxyt kẽm tại miền gần các biên tiếp giáp của các hạt. Điều này giống như ở tiếp giáp p-n của diode bán dẫn và điện dung của lớp tiếp giáp này phụ thuộc vào điện áp đặt vào tiếp giáp theo biểu thức:

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_b + V)}{q\epsilon sN} \quad (4.3)$$

Ở đây: V_b là điện thế rào; V là điện áp đặt vào; q là điện tích điện tử; ϵ_s là hằng số điện môi của chất bán dẫn; N là mật độ hạt dẫn.

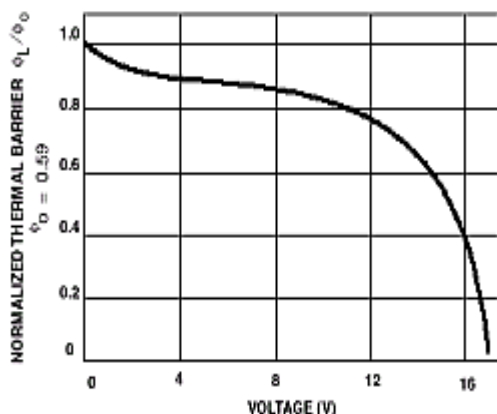
Từ mối liên hệ này, mật độ hạt dẫn N của ZnO được xác định khoảng $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$.

Ở các vùng hẹp các hạt dẫn trôi tự do và đây là nguyên nhân gây ra dòng điện rò. Dòng rò được gây ra do các hạt dẫn trôi tự do qua điện trường rào thấp và được kích hoạt bởi nhiệt độ ít nhất là trên 25°C .

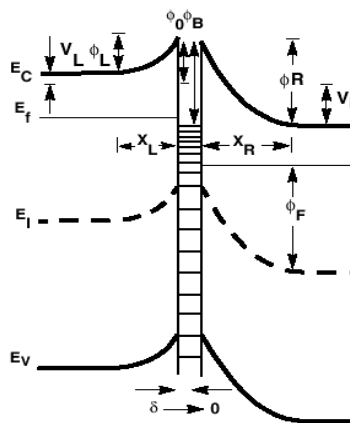
Hình 4.7 chỉ ra sơ đồ năng lượng của ZnO, biên tiếp giáp ZnO. Điện áp phân cực thuận V_L phía bên trái của hạt, điện áp phân cực ngược V_R phía bên phải của hạt. Độ rộng vùng nghèo là X_L và X_R , với độ lớn điện thế rào tương ứng là Φ_L và Φ_R . Điện thế phân cực tại gốc là Φ_0 . Khi điện áp phân cực gia tăng, Φ_L giảm và Φ_R tăng, dẫn đến điện thế rào thấp hơn và sự dẫn điện gia tăng.

Độ lớn điện thế rào Φ_L của biến trở là một hàm theo điện áp (Hình 4.8). Sự giảm nhanh của điện thế rào ở điện áp cao tương ứng với lúc bắt đầu vùng dẫn phi tuyến.

Cơ chế vận chuyển của vùng phi tuyến là rất phức tạp và vẫn còn tiếp tục nghiên cứu. Ở vùng dẫn cao, giá trị điện trở giới hạn tùy thuộc vào tính dẫn điện của các hạt bán dẫn ZnO, ở vùng dẫn này mật độ hạt dẫn khoảng từ 10^{17} - $10^{18}/\text{cm}^3$. Điện trở suất của ZnO có giá trị dưới $0,3\Omega\text{cm}$.



Hình 4.8: Quan hệ điện thế rào với điện áp đặt vào



Hình 4.7: Sơ đồ năng lượng tiếp giáp ZnO –biên –ZnO

4.1.2.1. Đặc tính V-I

Đặc tính V-I của MOV như Hình 4.9, đặc tính V-I được biểu diễn bằng phương trình dạng hàm mũ (4.4):

$$I = KV^\alpha \quad \alpha > 1 \quad (4.4)$$

Ở đây: I là dòng qua biến trở; V là điện áp đặt lên biến trở; K là hệ số phụ thuộc vào loại biến trở; α là hệ số phi tuyến.

Nguyên lý bảo vệ của biến trở thể hiện qua điện áp phụ thuộc giá trị điện trở:

$$R = V/I = V/KV^\alpha = \frac{1}{K} V^{1-\alpha} \quad (4.5)$$

Từ (4.4) và (4.5) suy ra:

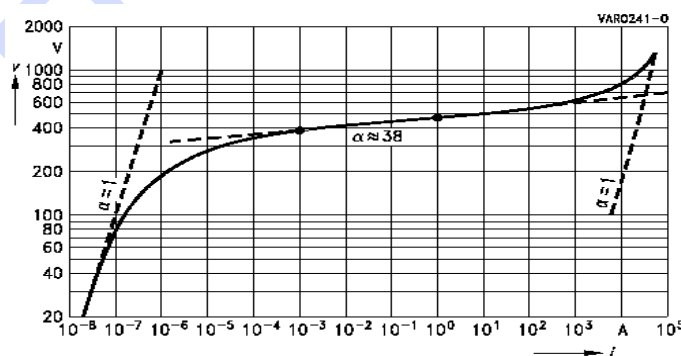
$$\text{Log} I = \text{Log} K + \alpha \text{Log} V \quad (4.6)$$

$$\text{Log} R = \text{Log} \left(\frac{1}{K} \right) + (1-\alpha) \text{Log} V \quad (4.7)$$

Theo đề nghị của Manfred Holzer và Willi Zapsky, xấp xỉ hoá đặc tính V/I của biến trở được quan hệ giữa điện áp và dòng điện theo phương trình:

$$\log V = B_1 + B_2 \log(I) + B_3 e^{-\log(I)} + B_4 e^{\log(I)} \quad \text{với } I > 0 \quad (4.8)$$

$$\text{Hay } V = 10^{B_1 + B_2 \log(I) + B_3 e^{-\log(I)} + B_4 e^{\log(I)}} \quad (4.9)$$



Hình 4.9: Đặc tính V-I của MOV

4.1.2.2. Thời gian đáp ứng

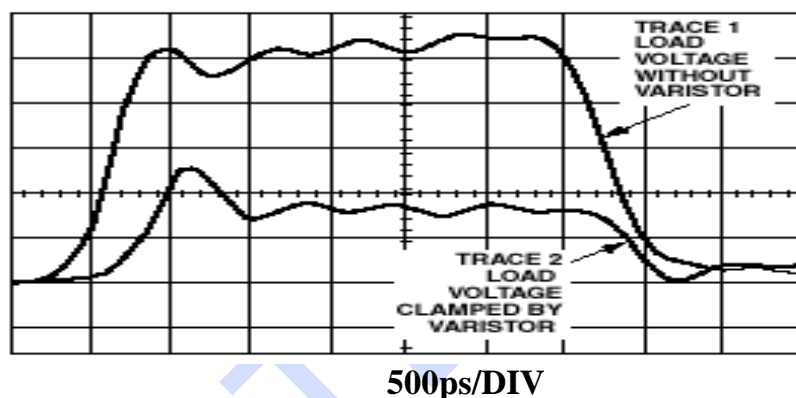
Hoạt động của biến trở tùy thuộc vào cơ chế dẫn điện giống như các thiết bị bán dẫn khác. Sự dẫn điện xảy ra rất nhanh với thời gian trễ tính bằng nano giây (ns). Hình 4.10 đường cong (1) phía trên là trường hợp không có biến trở, đường cong (2) phía

dưới là trường hợp có biến trở và không đồng bộ với đường (1) và cho thấy ảnh hưởng điện áp kẹp xảy ra rất nhanh.

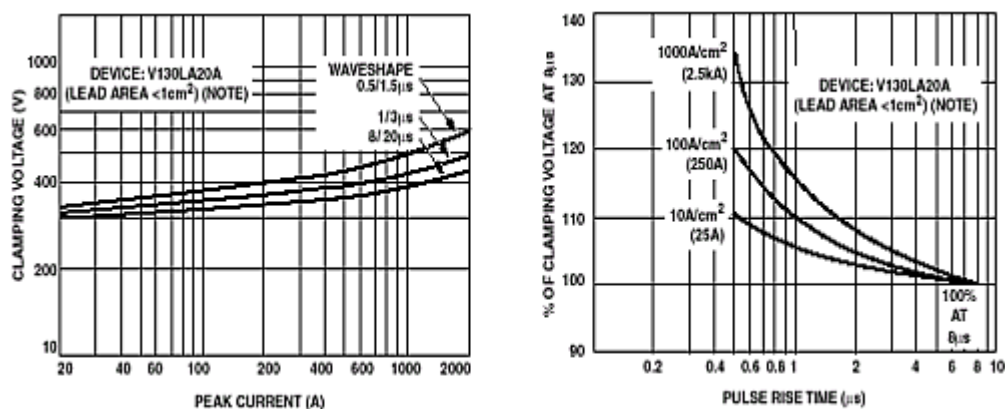
Tuy nhiên thời gian đáp ứng của MOV bị thay đổi do một số lý do:

- Điện áp cảm ứng đầu dây nối góp phần gia tăng đáng kể điện áp ngang qua đầu cực của biến trở ở xung dòng cao và độ dốc sườn trước lớn.
- Điện dung ký sinh của chính bản thân MOV.
- Trở kháng ngoài của mạch.

Đáp ứng và điện áp kẹp của biến trở bị ảnh hưởng bởi dạng sóng dòng điện và độ vọt lố điện áp cực đại xuất hiện tại đầu cực của biến trở trong suốt quá trình tăng dòng điện như Hình 4.11.



Hình 4.10: Đáp ứng của biến trở ZnO xung tốc độ cao



- a. Đặc tính V-I của biến trở ZnO khi thay đổi thời gian tăng xung dòng
b. Điện áp kẹp thay đổi tương ứng với thay đổi đỉnh dòng xung 8/20µs
- Hình 4.11: Đáp ứng của biến trở tính đến điện cảm đầu dây nối với xung dòng

4.1.2.3. Năng lượng cho phép và công suất tiêu tán trung Bình

*Năng lượng cho phép

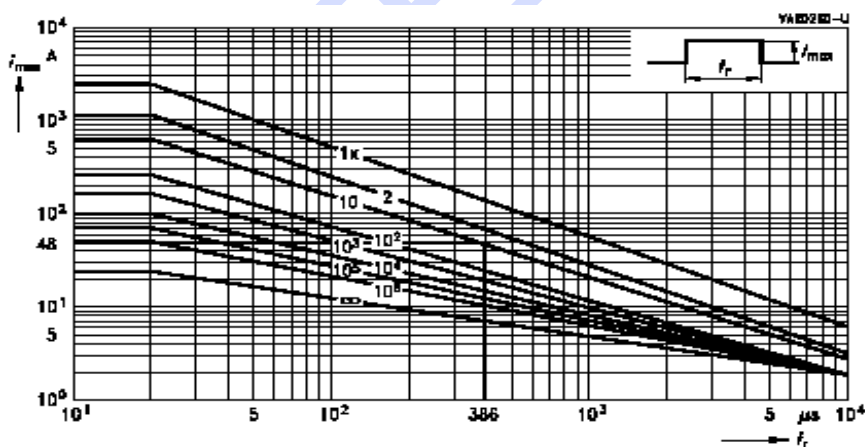
Sự già hóa của biến trở liên quan đến năng lượng quá độ, được xác định bởi giá trị điện áp dư cực đại V_P với dòng điện đỉnh I_P cũng như dạng xung. Đối với dạng xung sét chuẩn, năng lượng cho phép và được tính toán theo công thức (4.10).

$$W = V_P I_P (1,4T_2 - 0,88T_1) 10^{-6} \quad (4.10)$$

Năng lượng cho phép của MOV phụ thuộc vào đường kính của MOV và năng lượng vượt giá trị cho phép khi:

- Dòng điện rò cao.
- Điện áp tại 1mA bị suy giảm (điện áp ngưỡng).
- Hệ số phi tuyến α bị suy giảm.

Tuổi thọ của MOV còn thể hiện qua số lần xung tối đa mà MOV có thể chịu đựng được với xung vuông (Hình 4.12).



Hình 4.12: Số lần xung có thể chịu được của chống sét van MOV

*Công suất tiêu tán trung bình

Giá trị công suất tiêu tán trung bình đặc biệt quan tâm trong trường hợp điện áp thay đổi, hệ số phi tuyến cao. Từ công thức (4.4), công suất tiêu tán trung bình được xác định:

$$P = KV^{\alpha+1} \quad (4.11)$$

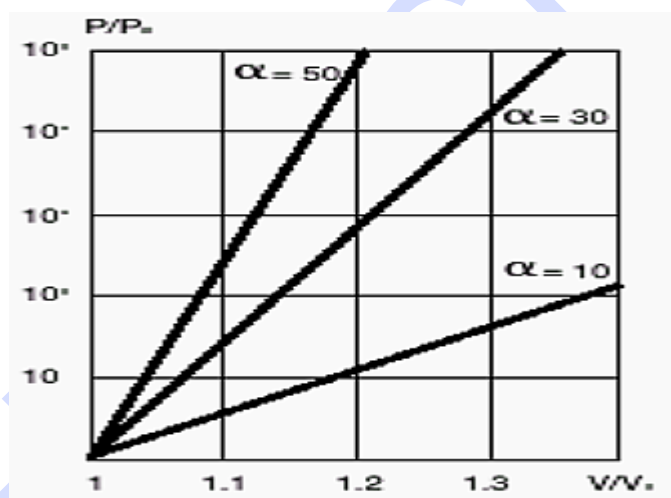
Với sự thay đổi nhỏ của điện áp vận hành có thể làm tăng công suất tiêu tán trung bình vì sự tăng cao của hệ số phi tuyến α (Hình 4.13).

Nếu như MOV làm việc ở trạng thái quá độ tần số cao thì nhiệt độ trung bình ΔT sẽ gia tăng và được cho bởi công thức:

$$\Delta T = P/\delta \quad (4.12)$$

Ở đây: P là công suất tiêu tán trung bình, tùy thuộc vào năng lượng xung và tần số xung lặp lại; δ là hệ số tiêu tán.

Nhiệt độ này phải luôn nhỏ hơn nhiệt độ cho phép của nhà sản xuất, nếu không MOV sẽ bị phá hỏng do nhiệt.



Hình 4.13: Quan hệ công suất tiêu tán và điện áp ($\alpha = 10, 30, 50$)

4.2. Đánh giá mô hình MOV của Matlab

Trong phạm vi đề tài này, sẽ đề nghị hai mô hình chống sét van bảo vệ quá áp cho đường dây trung áp và hạ áp. Sau đó tiến hành xây dựng mô hình trong phần mềm Matlab. Khi có mô hình hoàn chỉnh sẽ tiến hành mô phỏng đáp ứng của chống sét van này dưới tác dụng của các xung sét chuẩn và các xung đầu sóng tăng nhanh. Độ chính xác của mô hình sẽ được so sánh với đặc tính thực được cung cấp từ nhà sản xuất.

Mục đích cuối cùng là cung cấp một mô hình chống sét van hoàn chỉnh với các thông số được xác định dễ dàng dùng trong nghiên cứu phối hợp cách điện.

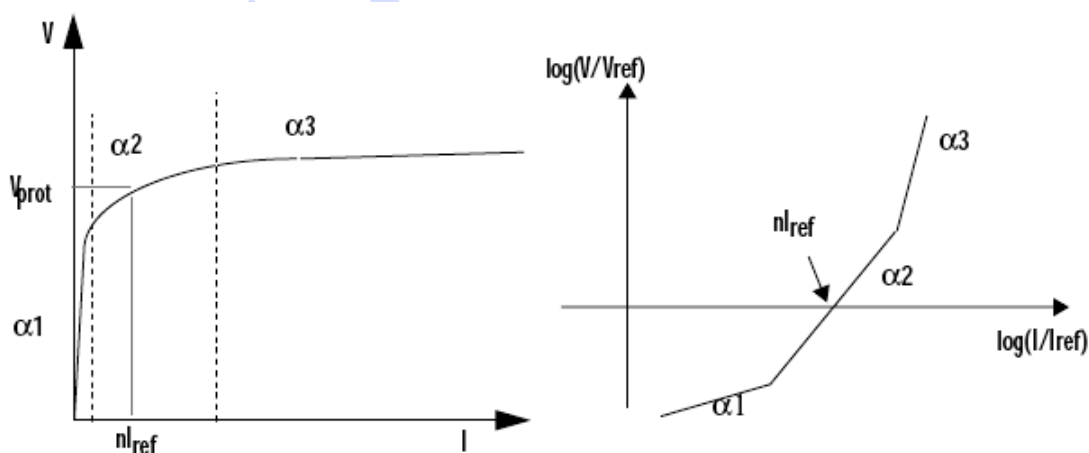
Trước hết phân tích và tìm hiểu mô hình MOV của Matlab để mô phỏng đặc tính làm việc của chúng dưới các dạng khác nhau của quá điện áp ở cấp điện áp trung thế và hạ thế. Sau đó xây dựng hai mô hình MOV trung thế và hạ thế, so sánh độ chính xác của hai mô hình vừa xây dựng và đề ra mô hình hợp lý nhất đối với mạng trung áp và hạ áp.

4.2.1. Giới thiệu mô hình

Mô hình MOV của MatLab là một điện trở phi tuyến. Đặc tuyến phi tuyến V-I của mô hình được thành lập bởi ba đoạn khác nhau của phương trình hàm mũ:

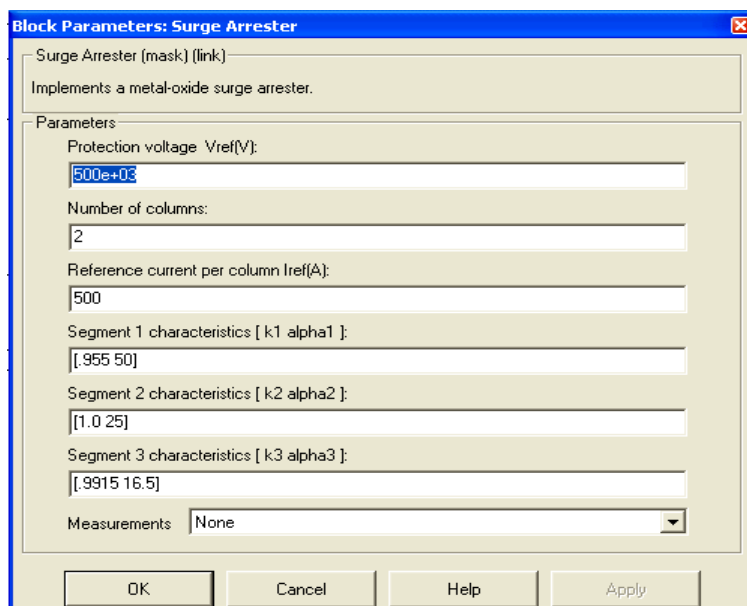
$$\frac{V}{V_{ref}} = K_i \cdot \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)^{1/\alpha_i} \quad (4.13)$$

Các giá trị K_i và α_i được khai báo trên hộp thoại. Với mỗi đoạn khác nhau của phương trình hàm mũ, giá trị K và α sẽ khác nhau và như vậy quan hệ dòng, áp của mô hình sẽ như Hình 4.14



Hình 4.14: Quan hệ dòng điện – điện áp của mô hình MOV.

Hộp thoại và các thông số cần khai báo như sau:



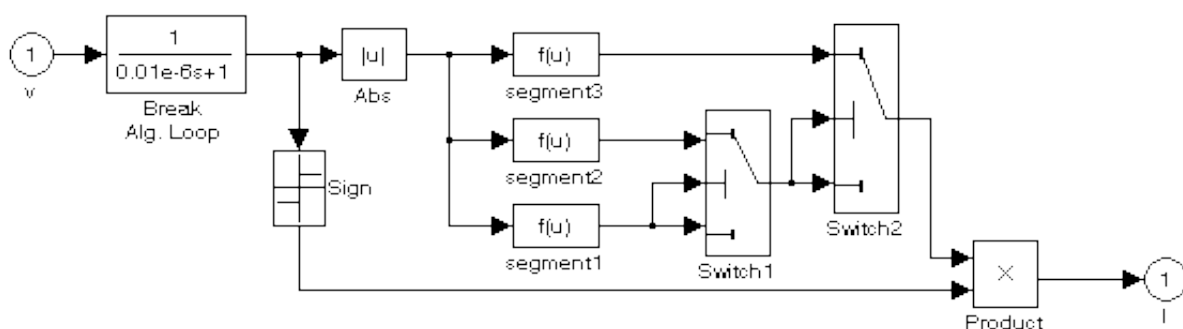
Hình 4.15: Hộp thoại của mô hình MOV trong Matlab.

Các thông số cần khai báo:

- Điện áp định mức: V_{ref} (là điện áp quy chuẩn của một đĩa MOV)
- Số đĩa trong một chống sét van: n
- Dòng điện quy chuẩn trên một đĩa MOV: I_{ref}
- Đặc tuyến V - I của đoạn thứ nhất: giá trị k_1 và α_1
- Đặc tuyến V - I của đoạn thứ hai: giá trị k_2 và α_2
- Đặc tuyến V - I của đoạn thứ ba: giá trị k_3 và α_3

4.2.2. Nguyên lý làm việc của mô hình

Mô hình là một điện trở phi tuyến nên về nguyên lý có chức năng giống như một nguồn dòng được điều khiển bởi điện áp đặt vào hai cực.



Hình 4.16: Sơ đồ nguyên lý của mô hình

Nguyên lý làm việc của mô hình như sau: Điện áp được đưa tới ngõ vào của mô hình, giá trị điện áp được lấy giá trị tuyệt đối và đưa vào ba khối Math Function được đặt tên lần lượt là segment1, segment2, segment3 có công thức:

$$P_i \cdot (V/V_{ref})^{a_i} \quad (4.14)$$

Các tín hiệu từ đầu ra của các khối Math Function sau đó được đưa vào hai khối Switch1 và Switch2. Các khối này sẽ so sánh các giá trị từ segment1, segment2, segment3 với giá trị dòng điện đặt trước nhằm lựa chọn một trong ba đoạn (ứng với giá trị k , α tương ứng), sau đó tín hiệu được đưa tới khối nhân để chọn dấu và cuối cùng đưa giá trị của tín hiệu dòng tới ngõ ra của mô hình.

4.2.3. Đánh giá mô hình

Mô hình này có chức năng giống như mô hình điện trở phi tuyến đã được đề cập. Đây chỉ là một mô hình đơn giản, gần đúng vì với các loại MOV khác nhau người sử dụng phải nhập lại các giá trị k , α tương ứng với đặc tính V-I của nó. Việc xác định 2 thông số này nói chung là khá phức tạp và dễ phát sinh sai số ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng của mô hình trong khi mô hình MOV hạ thế đòi hỏi độ chính xác khá cao. Mô hình này chỉ có thể dùng để mô phỏng với các xung đóng cắt vì bản thân nó không có đặc tính đáp ứng động dùng để mô phỏng với các xung sét hay các xung có đầu sóng tăng nhanh rất quan trọng trong nghiên cứu phối hợp cách điện. Việc này dẫn đến cần thiết phải tìm ra một mô hình khác thích hợp hơn.

4.3. Xây dựng mô hình MOV hạ thế

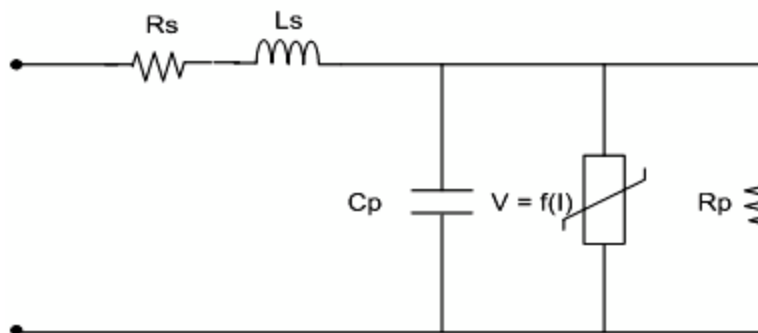
4.3.1. Cấu trúc cơ bản của mô hình MOV hạ thế

Mô hình MOV hạ thế được xây dựng dựa trên ý tưởng mô hình MOV của Manfred Holzer và Willi Zapsky với một vài hiệu chỉnh.

Ở đây, biến trở MOV được thay thế bởi một phần tử điện trở phi tuyến có đặc tính V-I, một tụ điện C_p mắc song song với nó cùng với một điện trở song song R_p . Tất cả các phần tử này được nối tiếp với một điện cảm L_s và điện trở R_s như Hình 4.17

Điện trở R_s của mô hình có giá trị cực nhỏ khoảng $100n\Omega$ được thêm vào để

ngăn ngừa việc nối tiếp một mô hình nguồn dòng lý tưởng với một điện cảm hay một nguồn dòng khác trong MatLab. Trong mô hình điện cảm của MOV không thể bỏ qua đặc biệt khi ứng dụng với xung có đầu dốc cao. Điện cảm nối tiếp L_s gồm điện cảm nội của ZnO và điện cảm dây nối của MOV. Giá trị điện cảm dây nối của MOV vào khoảng 1nH/mm, còn điện cảm nội của ZnO có giá trị rất nhỏ nên có thể được bỏ qua. Giá trị điện cảm L_s này được cho đối với các loại MOV chuẩn. Tụ điện C_p chính là điện dung của MOV, giá trị này được cho trong catalogue của nhà sản xuất. Điện trở R_p là điện trở miền tiếp giáp giữa các hạt ZnO có giá trị rất lớn (điện trở của MOV trong vùng dòng điện rò), giá trị điện trở R_p trong mô hình là 100M Ω .



Hình 4.17: Mô hình MOV hạ thế

Phần tử điện trở phi tuyến có đặc tính V-I được mô phỏng bởi một nguồn áp điều khiển V là một hàm của dòng điện I ($V = f(I)$).

$$\text{Log}V = b1 + b2.\text{log}(I) + b3.e^{-\text{log}(I)} + b4.e^{\text{log}(I)} \quad (I > 0) \quad (4.15)$$

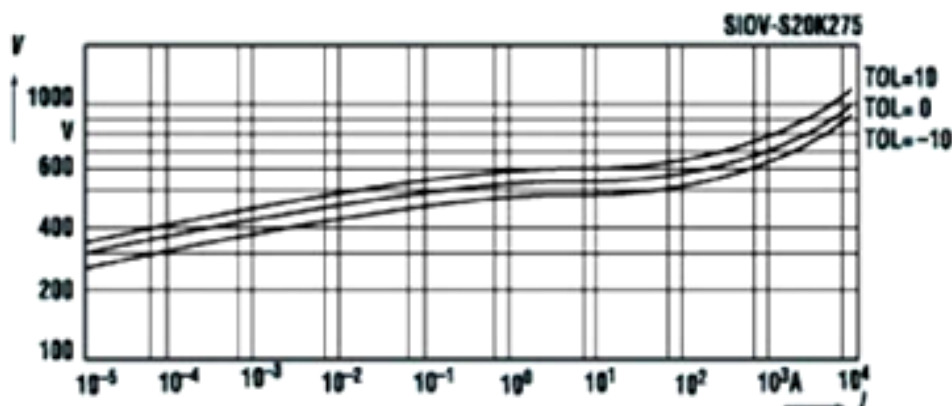
$$\text{Suy ra: } V = 10^{[b1 + b2.\text{log}(I) + b3.e^{-\text{log}(I)} + b4.e^{\text{log}(I)}]} \quad (I > 0) \quad (4.16)$$

Ứng với mỗi loại MOV hạ thế chuẩn ta có các thông số $b1, b2, b3, b4$ tương ứng được cho bởi Manfred Holzer và Willi Zapsky. Các thông số $b1, b2, b3, b4$ này được xác định dựa trên đặc tính V-I của MOV ứng với độ sai số TOL của điện áp MOV là 0%. Tùy vào từng loại MOV, độ sai số TOL chuẩn có thể thay đổi từ $\pm 10\%$ đến $\pm 20\%$ một ví dụ được cho trong Hình 4.18.

Để mô phỏng trường hợp xấu nhất khi MOV chịu xung dòng phóng điện, trường hợp điện áp dư của MOV có giá trị cực đại (đây cũng chính là giá trị V của

MOV trong đặc tính V-I được cho trong catalogue), độ sai số dương sẽ được sử dụng cho mô hình thông qua công thức 4.6.

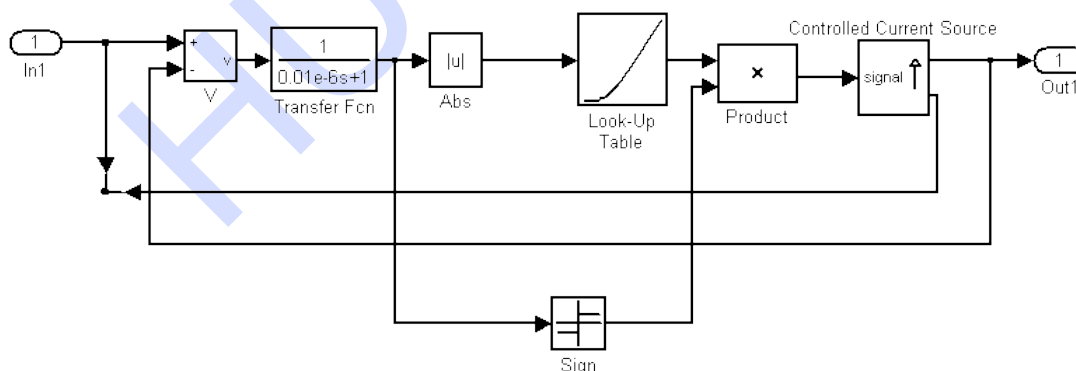
$$V = (1 + \text{TOL}/100) \cdot 10^{\left[b_1 + b_2 \cdot \log(I) + b_3 \cdot e^{-\log(I)} + b_4 \cdot e^{\log(I)}\right]} \quad (I > 0) \quad (4.17)$$



Hình 4.18: Đặc tính V – I của MOV có sai số TOL ± 10%

4.3.2. Xây dựng mô hình điện trở phi tuyến trên Matlab

Phần tử phi tuyến được xây dựng dựa trên một bảng tra, ứng với mỗi giá trị của điện áp V sẽ sinh ra dòng điện I tương ứng, hai đại lượng này có mối tương quan bởi công thức 4.6. Sơ đồ mô hình điện trở phi tuyến như Hình 4.19



Hình 4.19: Sơ đồ mô hình điện trở phi tuyến $V = f(I)$ của MOV

Mô hình điện trở phi tuyến, được xem như một khối Controlled Current Source với dòng điện i là một hàm phi tuyến được điều khiển theo điện áp u . Phần tử điện trở phi tuyến dùng khối Voltage measurement để đo điện áp ở hai cực của phần tử phi tuyến, sau đó cho qua khối Transfer Fcn để chuyển tín hiệu điện áp

liên tục sang rồi rạc với chu kỳ lấy mẫu là $0,01\mu s$.

Nhằm làm cho thuật toán trên máy tính được giải nhanh hơn để tránh vòng lặp đại số trong mạch trong khi kết quả vẫn bảo đảm tính chính xác. Tín hiệu ra được cho qua khối lấy giá trị tuyệt đối Abs sau đó qua khối Look-Up Table. Khối Look-Up Table có chức năng tra bảng, ứng với mỗi giá trị điện áp đưa vào sẽ cho ra giá trị dòng điện tương ứng bởi quan hệ trong công thức 4.6. Tín hiệu ra được nhân với ngõ ra của khối Signal (khối lấy dấu của điện áp trên 2 cực của điện trở phi tuyến) và tạo thành tín hiệu dòng có dấu. Tuy nhiên tín hiệu ra này chỉ mới là tín hiệu Simulink, tín hiệu này cần được cho qua khối Controlled Current Source để chuyển thành tín hiệu dòng điện.

Điểm mới của mô hình là sử dụng sử dụng khối Abs và khối Signal để lấy dấu tín hiệu điện áp trên 2 cực của điện trở phi tuyến từ đó tạo ra tín hiệu dòng điện có dấu tương ứng với điện áp đặt vào 2 cực. Mô hình phần tử điện trở phi tuyến được xây dựng là phần tử hai cực với đặc tính hai chiều (dòng thuận và dòng ngược đối xứng). Để thể hiện mối quan hệ V-I như công thức 4.6, khai báo trong khối Look-Up Table như sau:

- Vector of Input Values (V): V_array_input

(Một mảng các giá trị điện áp đầu vào được tính toán ứng với một mảng các giá trị dòng điện ngõ ra)

- Vector of Output Values (I): I_array_output

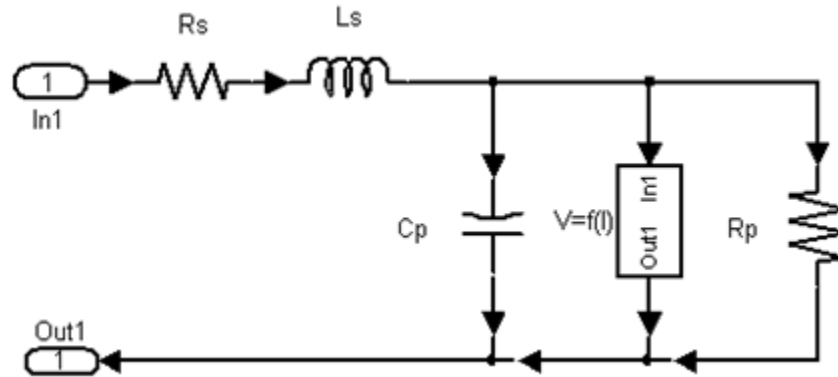
(Một mảng các giá trị dòng điện ngõ ra)

Hai mảng các giá trị điện áp và dòng điện này được khai báo và tính toán trước theo công thức 4.6 bởi một chương trình trong Initialization Commands (tạo giá trị ban đầu cho mô hình) trong chức năng Mask Editor của mô hình MOV hạ thế hoàn chỉnh.

Nhóm các khối trên lại và ta đã xây dựng xong mô hình phần tử điện trở phi tuyến có đặc tính V-I theo công thức 4.7.

4.3.3. Xây dựng mô hình MOV hạ thế hoàn chỉnh trên Matlab

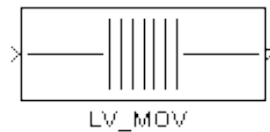
Sử dụng Simulink trong Matlab xây dựng mô hình MOV hạ thế hoàn chỉnh như Hình 4.20.



Hình 4.20: Sơ đồ mạch tương đương của mô hình MOV đề nghị

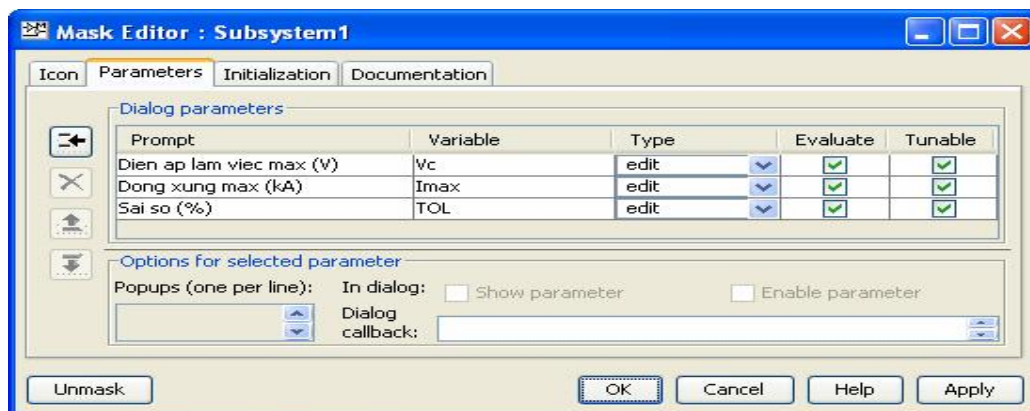
Với $R1 = 100n\Omega$, $R2 = 100M\Omega$, L và C có giá trị khác nhau ứng với từng loại MOV khác nhau.

Nhóm các phần tử của mô hình lại thành một khối, sử dụng Edit Mask đặt tên MOV, khai báo các biến cho mô hình, viết một đoạn chương trình để truy xuất các giá trị L , C , thông số $b1$, $b2$, $b3$, $b4$ và tính giá trị của mảng điện áp V_array_input theo mảng dòng điện I_array_output ứng với các loại MOV khác nhau được yêu cầu mô phỏng, xây dựng biểu tượng cho MOV và cuối cùng ta được mô hình MOV hạ thế hoàn chỉnh như Hình 4.21.



Hình 4.21: Biểu tượng mô hình MOV hạ thế

Các thông số biến của mô hình được khai báo trong mục Parameters của hộp thoại Mask Editor như Hình 4.22.



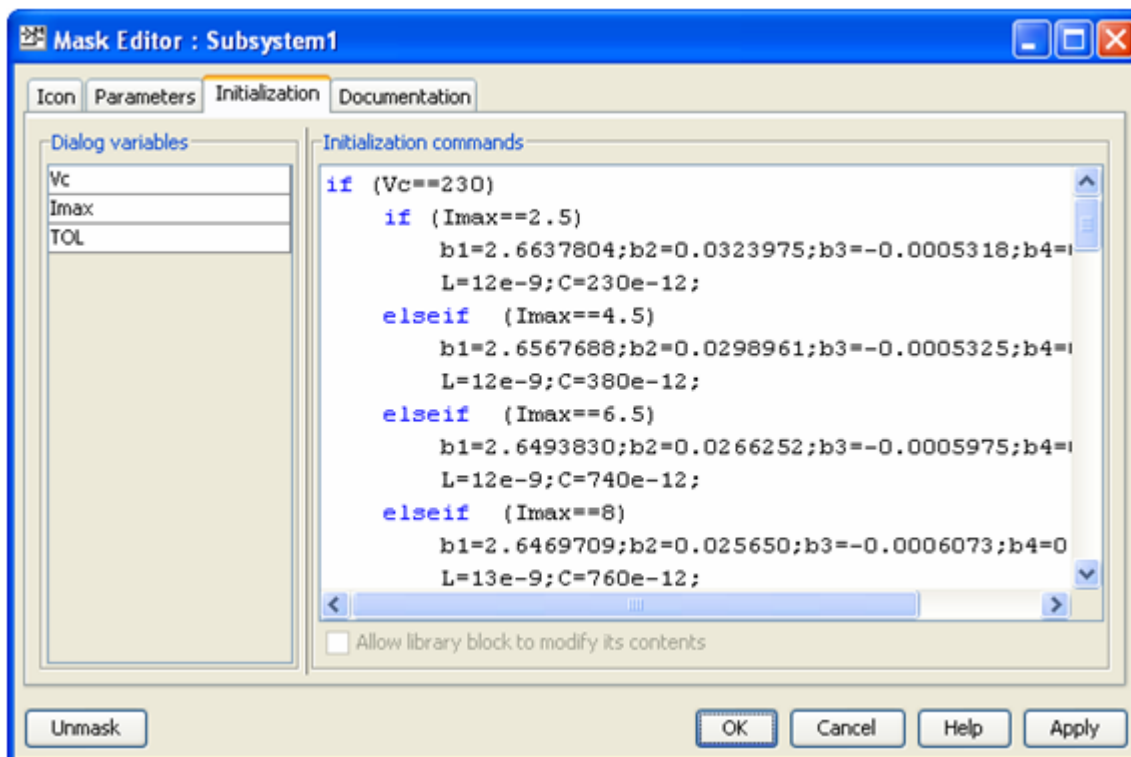
Hình 4.22: Hộp thoại khai báo biến Parameters của mô hình MOV hạ thế

Điện áp làm việc xoay chiều cực đại (V_c) của MOV (giá trị RMS): giá trị điện áp này được chuẩn hóa bởi các nhà sản xuất và là giá trị cơ bản để chọn loại MOV ứng với các mạng điện có điện áp khác nhau, có các giá trị: 230V, 275V, 440V và 750V,...

Giá trị biên độ của xung dòng $8/20\mu s$ mà MOV có thể chịu đựng (I_{max}): Giá trị biên độ này được chuẩn hóa bởi các nhà sản xuất và cũng là giá trị cơ bản để chọn loại MOV ứng với các mức độ chịu đựng xung dòng khác nhau, có các giá trị: 2.5kA, 4.5kA, 6.5kA, 8kA, 25kA, 40kA, 70kA, và 100kA.

Hai thông số V_c và I_{max} trên để phân loại MOV, ứng với các MOV khác nhau ta sẽ có các giá trị L, C, và b1, b2, b3, b4 khác nhau.

Sai số % của điện áp MOV (TOL): thường có giá trị chuẩn là $\pm 10\%$, $\pm 15\%$, $\pm 20\%$. Trong mục Initialization (nhập giá trị thông số đầu vào của mô hình), viết một đoạn chương trình để truy xuất các giá trị L, C, thông số b1, b2, b3, b4 và tính giá trị của mảng điện áp V_{array_input} theo mảng dòng điện I_{array_output} thông qua công thức 4.6 ứng với các loại MOV khác nhau được yêu cầu mô phỏng. Dữ liệu các thông số này được cung cấp từ thư viện dữ liệu MOV hạ thế của Manfred Holzer và Willi Zapsky. Hộp thoại giá trị thông số đầu vào Initialization được trình bày như Hình 4.23



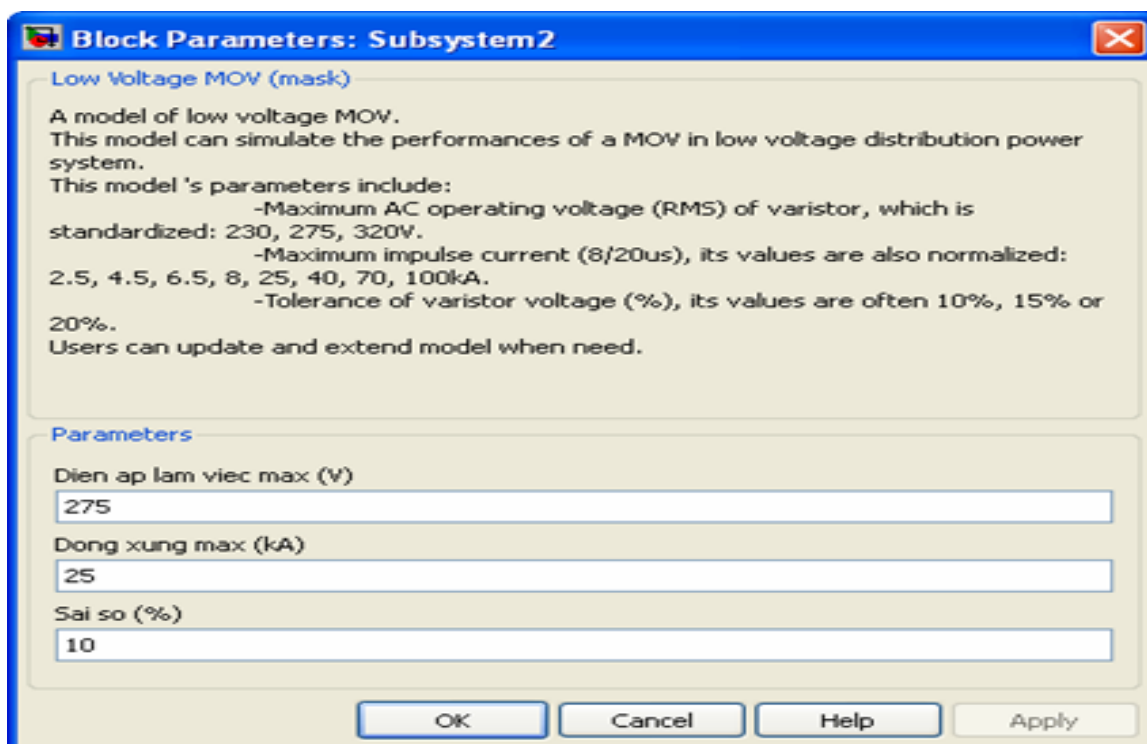
Hình 4.23: Hộp thoại Initialization của mô hình MOV hạ thế

Hai mảng V_array_input và I_array_output khai báo cho khối Look-up Table của mô hình phần tử điện trở phi tuyến, thể hiện mối quan hệ V-I theo công thức 4.5 của MOV, được tính toán trước trong chương trình bởi câu lệnh:

$$I_array_output=[0.0000001 \ 0.000001 \ 0.00001 \ 0.0001 \ 0.001 \ 0.01 \ 0.1 \ 1 \ 10 \ 100 \ 300 \ 1000 \ 2000 \ 5000 \ 10000 \ 20000 \ 40000 \ 100000 \ 1000000];$$

$$V_array_input=(1+TOL/100)*10.^{(b1+b2*\log_{10}(I_array_output/N)+b3*exp(-\log_{10}(I_array_output/N))+b4*exp(\log_{10}(I_array_output/N)))};$$

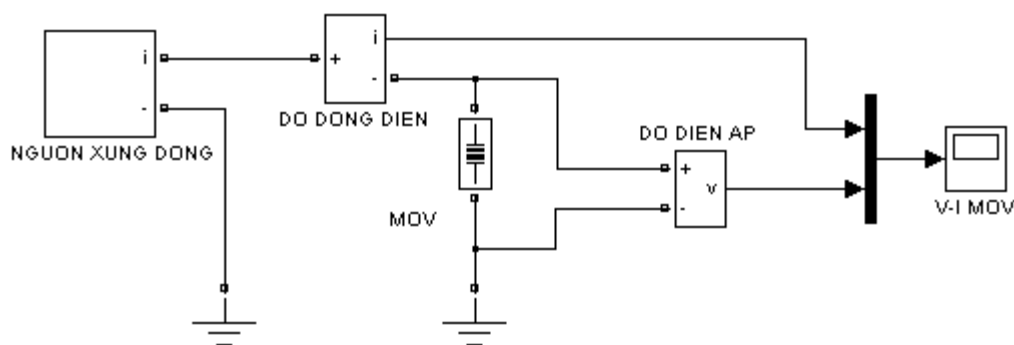
Hoàn tất các bước xây dựng mô hình trong Mask Editor, cuối cùng ta thu được mô hình hoàn chỉnh của MOV hạ thế. Hộp thoại thông số của mô hình như Hình 4.24.



Hình 4.24: Hộp thoại thông số mô hình MOV hạ thế

4.3.4. Kiểm tra đáp ứng MOV hạ thế với xung dòng chuẩn

Dùng mô hình xung dòng 8/20 μ s kiểm tra đáp ứng của mô hình MOV hạ thế vừa xây dựng như sơ đồ Hình 4.25.



Hình 4.25: Sơ đồ mô phỏng đáp ứng của MOV hạ thế

Dùng mô hình mô phỏng cho MOV hạ thế của hãng AVX loại VE13M02750K và có thông số cho trong Bảng 4.1. VE17M02750K

Bảng 4.1: Thông số kỹ thuật MOV hạ thế của hãng AVX

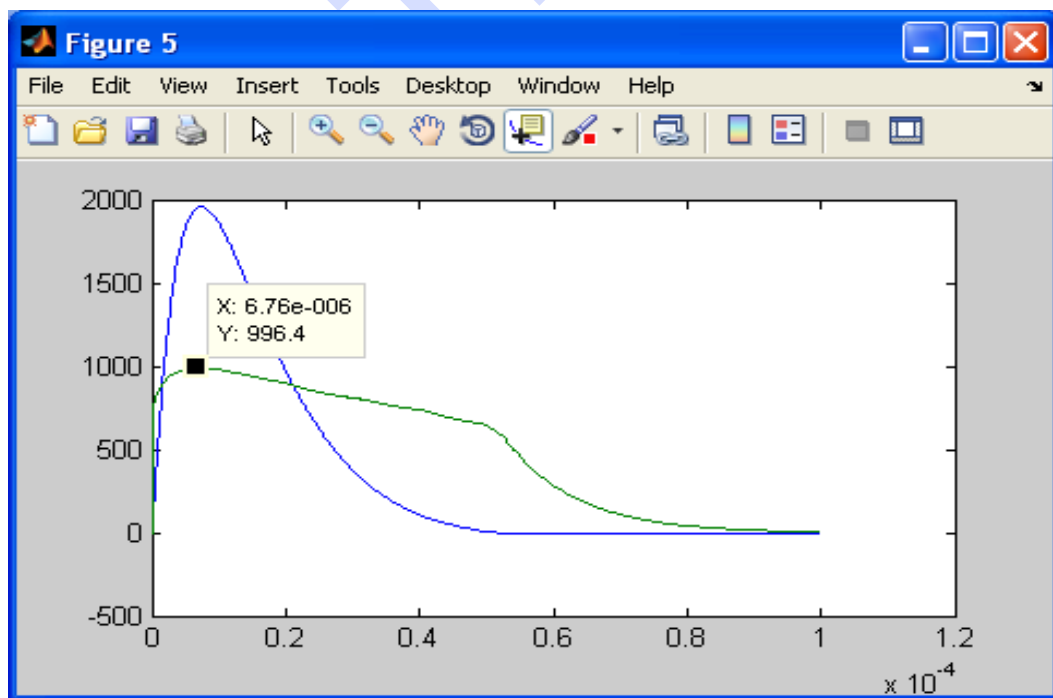
Loại	Điện áp làm việc AC max (V)	Dòng điện xung 8/20 μ s max (kA crest)	Sai số của điện áp MOV (%)	Điện áp phóng điện max với xung 8/20 μ s (V crest)	
				2kA	3kA
VE13M02750K	275	2.5	10	1150	-
VE17M02750K	275	4.5	10	1050	1100

Tiến hành thử nghiệm đáp ứng của MOV hạ thế loại VE17M02750K với các xung dòng 8/20 μ s có biên độ lần lượt 2kA, 3kA đáp ứng của mô hình MOV được trình bày trong Hình 4.26, 4.27. Thông số cần nhập vào mô hình là:

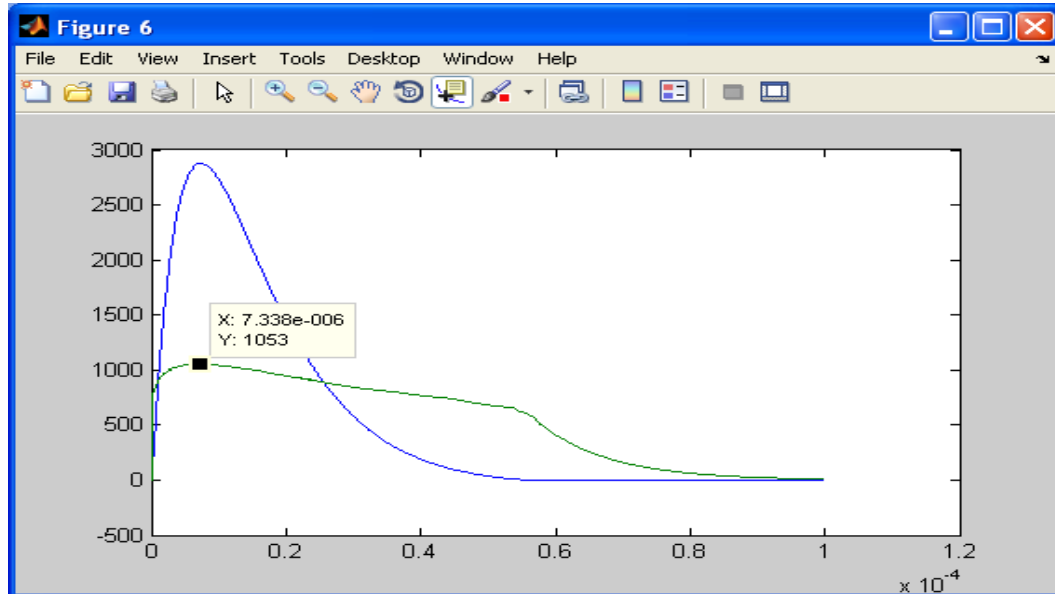
Max. AC operating Voltage (V) : 275V

Max. impulse Current (kA) : 4.5kA

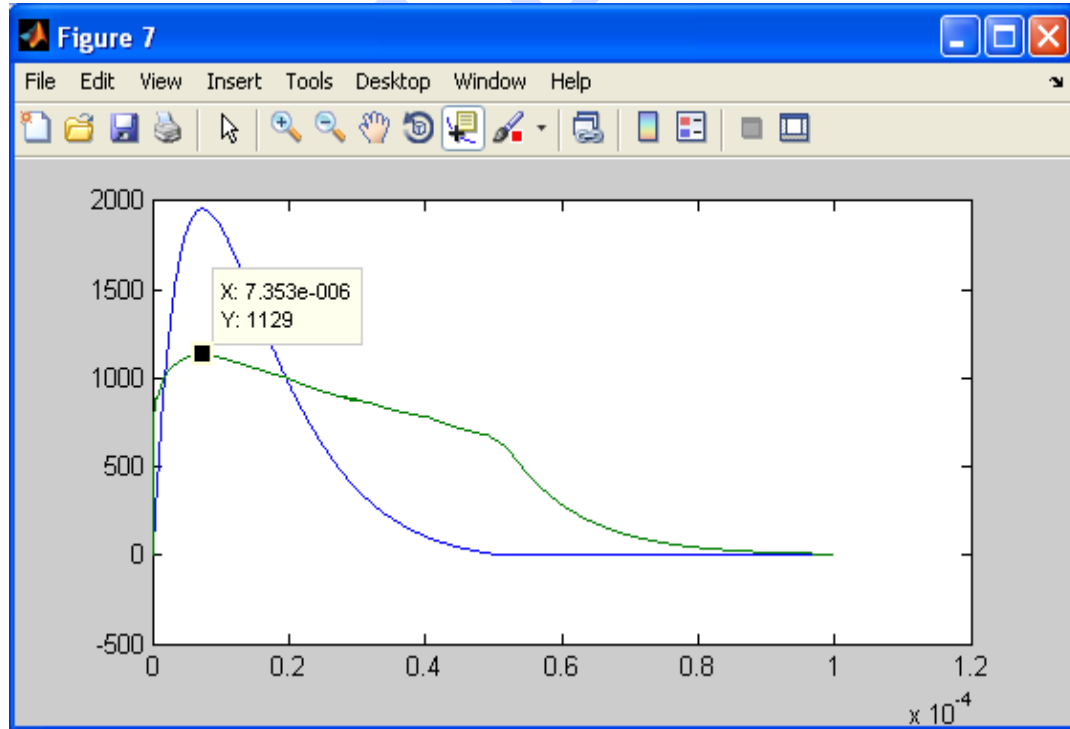
Tolerance of varistor voltage (%) : 10%



Hình 4.26: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV VE17M02750K với xung 8/20 μ s – 2kA



Hình 4.27: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV VE17M 02750K với xung 8/20 μ s – 3kA



Hình 4.28: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV VE17M 02750K với xung 8/20 μ s – 2kA

Khi thử nghiệm đáp ứng của MOV hạ thế loại VE13M02750K với các xung dòng 8/20 μ s có biên độ 2kA đáp ứng của mô hình MOV được trình bày trong Hình 4.28. Thông số cần nhập vào mô hình là:

Max. AC operating Voltage (V): 275V

Max. impulse Current (kA) : 2.5kA

Tolerance of varistor voltage (%) : 10%

So sánh kết quả mô phỏng với giá trị được cho trong catalogue, sai số mô hình được tổng hợp trong Bảng 4.2.

Bảng 4.2: Kết quả so sánh khi mô phỏng MOV hạ thế của hãng AVX

Điện áp dư trên MOV (crest)	VE13M02750K		VE17M02750K	
	2kA	3kA	2kA	3kA
Theo catalogue (V)_Vrcat	1150	-	1050	1100
Theo mô hình (V)_Vrmod	1129	-	996,8	1053
Sai số (%)_ΔV	1,8	-	5,0	4,2

Dùng mô hình mô phỏng tiếp cho MOV hạ thế của hãng Littelfuse loại V275LA40A (đường kính đĩa MOV 20mm) có thông số cho trong Bảng 4.3.

Bảng 4.3: Thông số kỹ thuật MOV hạ thế của hãng Littelfuse

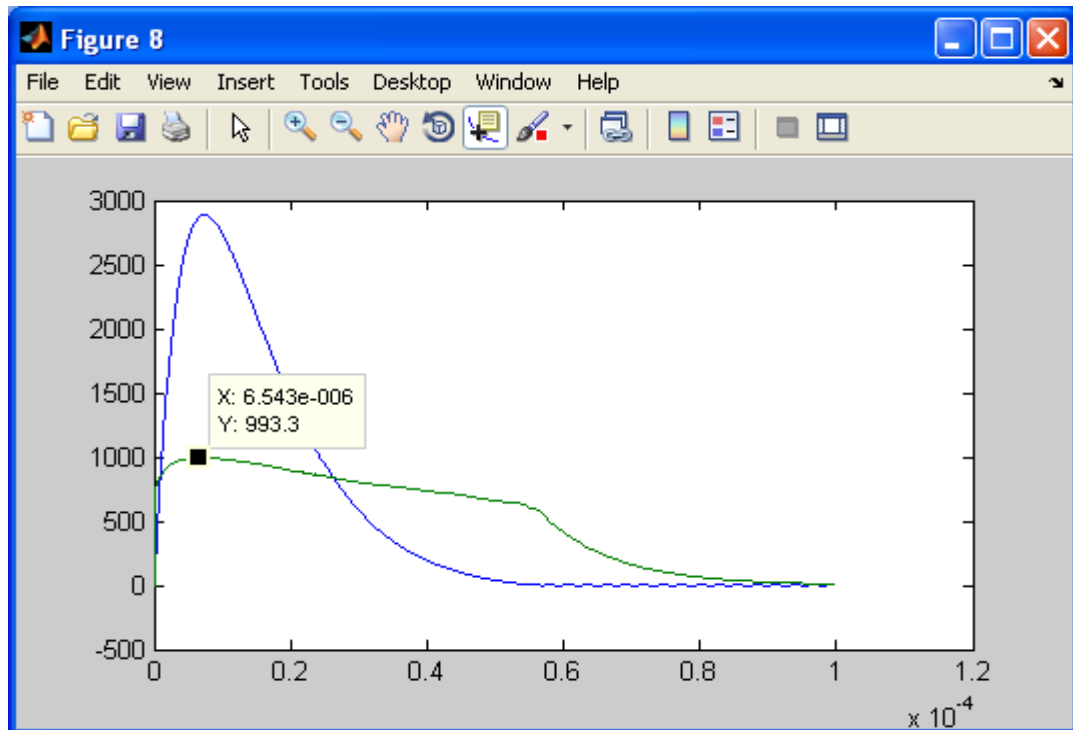
Loại	Điện áp làm việc AC max (V)	Dòng điện xung 8/20 μ s max (KA crest)	Sai số của điện áp MOV (%)	Điện áp phóng điện Max với xung 8/20 μ s (V res)	
				3 KA	5 KA
V275LA40A	275	6.5	10	1040	1150

Tiến hành thử nghiệm đáp ứng của MOV hạ thế loại V275LA40A với các xung dòng 8/20 μ s có biên độ lần lượt 3kA, 5kA. Đáp ứng của mô hình MOV được trình bày trong Hình 4.29, 4.30. Thông số cần nhập vào mô hình là:

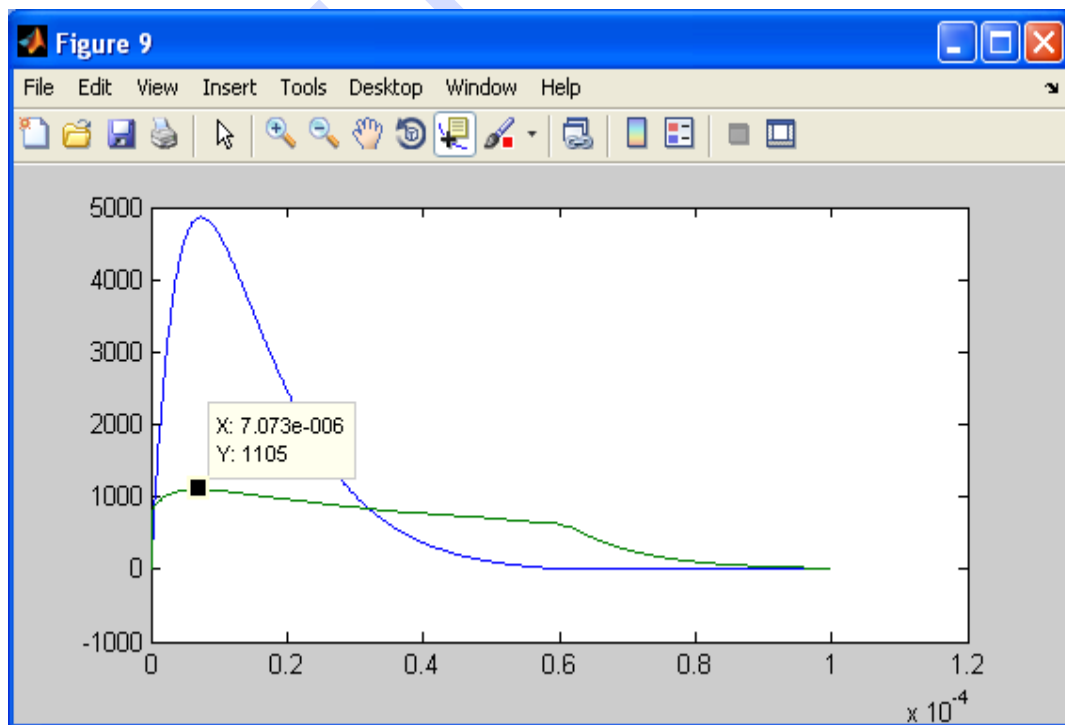
Max. AC operating Voltage (V): 275V Max.

impulse Current (kA) : 6.5kA

Tolerance of varistor voltage (%) : 10%



Hình 4.29: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV V275LA 40A với xung 8/20 μ s – 3kA



Hình 4.30: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV V275LA 40A với xung 8/20 μ s – 5kA

Tổng hợp giá trị điện áp dư cực đại của mô hình MOV hạ thế ứng với các trường hợp xung dòng 8/20 μ s có biên độ 3kA, 5kA và so sánh với giá trị được cho trong Catalogue, sai số mô hình được tổng hợp trong Bảng 4.4.

Bảng 4.4: Kết quả so sánh khi mô phỏng MOV hạ thế của hãng Littelfuse

Điện áp dư trên MOV (crest)	V275LA40A	
	3kA	5kA
Theo catalogue (V)_Vrcat	1040	1150
Theo mô hình (V)_Vrmod	993,6	1105
Sai số (%)_ΔV	4,5	3,9

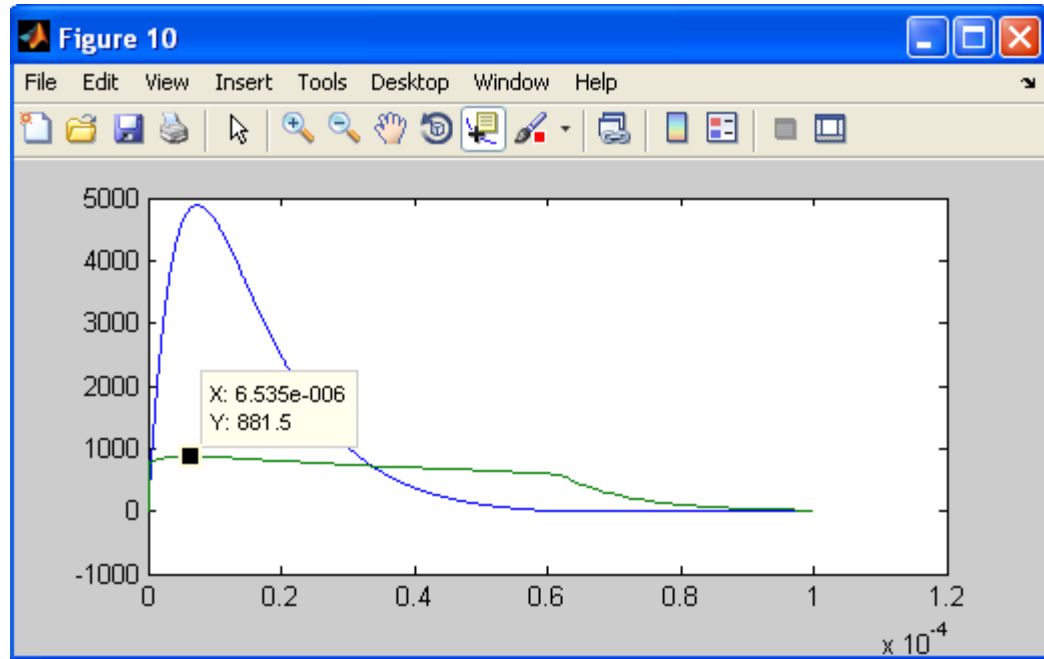
Tiếp tục dùng mô hình mô phỏng cho MOV hạ thế của hãng Siemen loại B32K275, B40K275, B60K275, B80K275 có thông số cho trong Bảng 4.5

Bảng 4.5: Thông số kỹ thuật MOV hạ thế của hãng SIEMENS

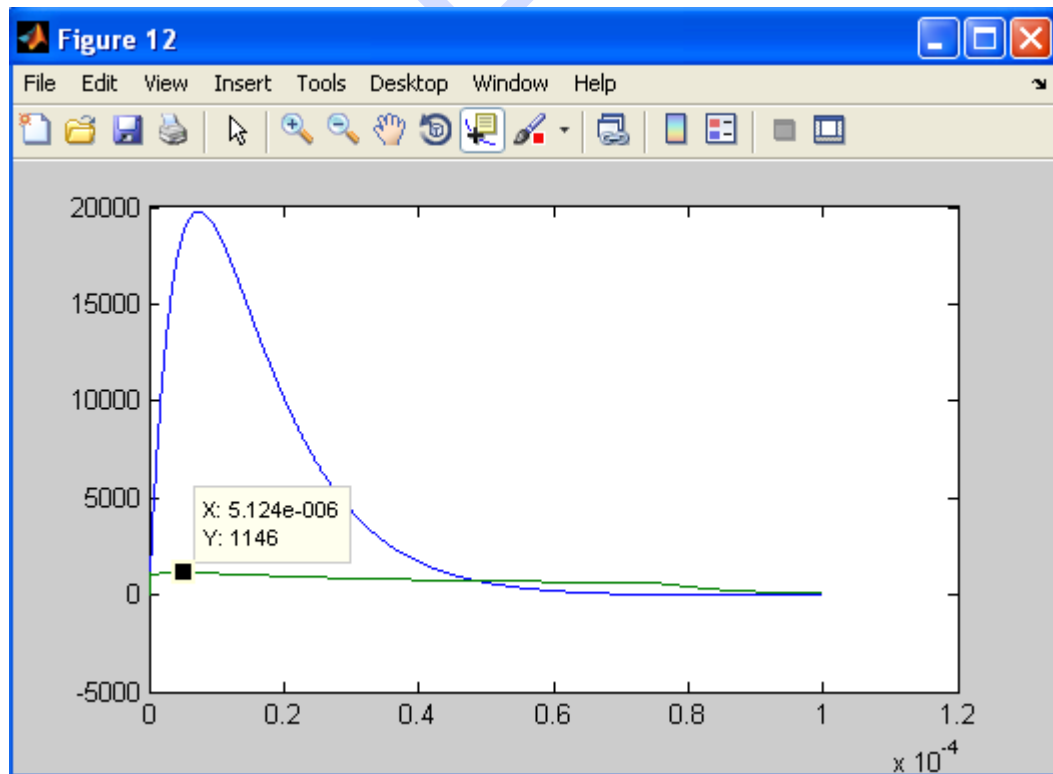
Loại	Điện áp làm việc AC max (V)	Dòng điện xung 8/20 μ s max (kA crest)	Sai số của điện áp MOV (%)	Điện áp phóng điện max với xung 8/20 μ s (V crest)		
				5kA	10kA	20kA
B32K275	275	25	10	1000	1150	1390
B40K275	275	40	10	960	1100	1310
B60K275	275	70	10	880	980	1130
B80K275	275	100	10	830	930	1070

Trước tiên, tiến hành thử nghiệm đáp ứng của MOV hạ thế loại B60K275 với các xung dòng 8/20 μ s có biên độ lần lượt 5kA, 10kA, 20kA, đáp ứng của mô hình MOV được trình bày trong Hình 4.31, 4.32, 4.33. Thông số cần nhập vào mô hình là:

- ☐ Max. AC operating Voltage (V): 275V
- ☐ Max. impulse Current (kA): 70 kA
- ☐ Tolerance of varistor voltage (%): 10%



Hình 4.31: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV B60K275 với xung 8/20 μ s – 5kA



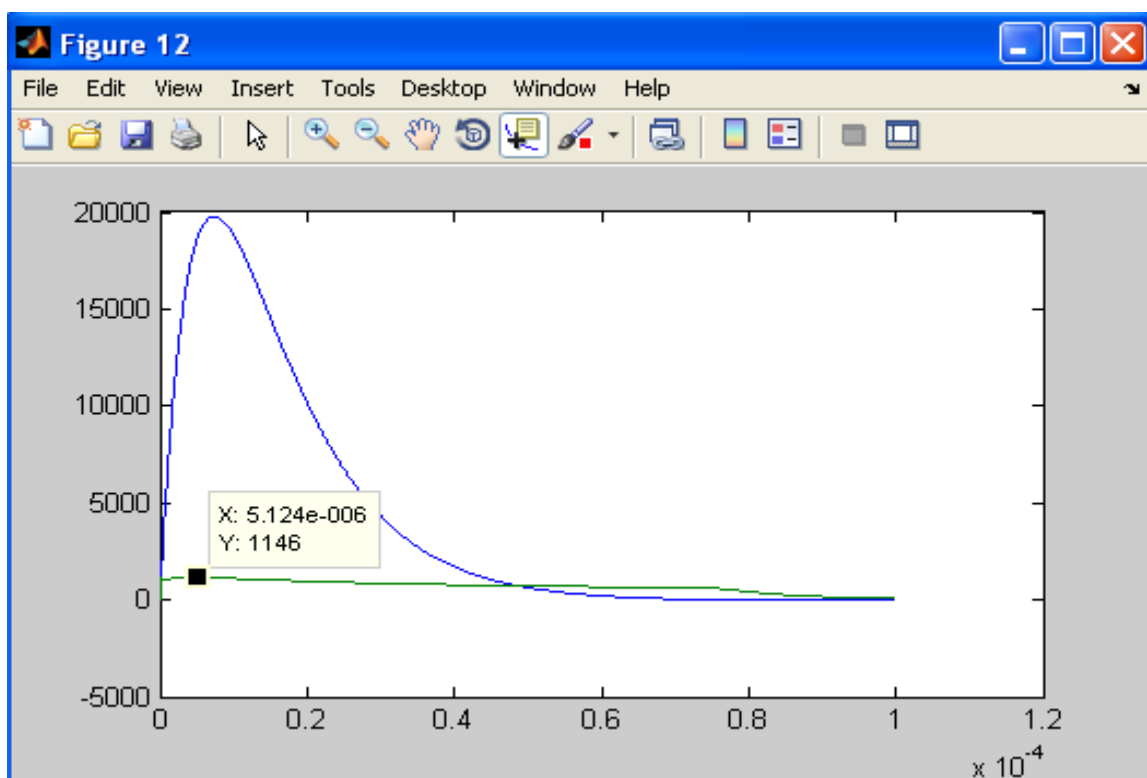
Hình 4.32: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV B60K275 với xung 8/20 μ s – 10kA

Thực hiện mô phỏng tương tự với các loại MOV hạ thế còn lại, giá trị điện áp dư cực đại của mô hình MOV hạ thế ứng với các trường hợp xung dòng $8/20 \mu s$ có biên độ khác nhau được tổng hợp và so sánh với giá trị được cho trong catalogue, sai số mô hình (tính theo công thức 4.8) được tổng hợp trong Bảng 4.6. Sai số của mô hình được tính theo công thức:

$$\varepsilon_{\text{mod}} (\%) = (V_{\text{rmod}} - V_{\text{rcat}}) * 100 / V_{\text{rcat}} \quad (4.18)$$

Bảng 4.6: Kết quả mô phỏng MOV hạ thế của hãng SIEMENS

Điện áp dư trên MOV (crest)	Loại MOV hạ thế của hãng Siemen					
	B32K275			B40K275		
	5kA	10kA	20kA	5kA	10kA	20kA
Theo catalogue (V)_Vrcat	1000	1150	1390	960	1100	1310
Theo mô hình (V)_Vrmod	999,3	1152	1390	957,4	1097	1313
Sai số (%)_ ε_{mod}	-0,07	0,17	0,00	-0,27	-0,27	0,23
Điện áp dư trên MOV (crest)	Loại MOV hạ thế của hãng Siemen					
	B60K275			B80K275		
	5kA	10kA	20kA	5kA	10kA	20kA
Theo catalogue (V)_Vrcat	880	980	1130	830	930	1070
Theo mô hình (V)_Vrmod	881,5	985,5	1146	831,6	932,3	1090
Sai số (%)_ ε_{mod}	0.17	0,56	1,42	0,19	0,25	1,87



Hình 4.33: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MOV khi mô phỏng MOV B60K275 với xung 8/20 μ s – 20kA

***Nhận xét:**

Qua các kết quả tổng hợp được từ việc mô phỏng đáp ứng của mô hình MOV hạ thế đối với các loại MOV của các nhà sản xuất khác nhau, ta thấy mô hình MOV hạ thế đề nghị đã đạt mức chính xác khá tốt (sai số điện áp dư trên mô hình MOV so với dữ liệu được cho bởi nhà sản xuất có giá trị tối đa là 4.5% , giá trị thấp nhất là 0,17%). Bên cạnh đó, thông số cần nhập vào của mô hình lại khá đơn giản, hoàn toàn được cung cấp bởi nhà sản xuất. Hơn nữa, người sử dụng còn có khả năng cập nhật thêm cho mô hình khi cần thiết.

4.4. Xây dựng mô hình MOV trung thế

4.4.1. Đặt vấn đề

Mô hình MOV được dùng để bảo vệ quá áp do sét hoặc xung đóng cắt trên

lưới trung và cao thế. Các công cụ mô phỏng là rất cần thiết nhằm thực hiện nghiên cứu phối hợp cách điện trên hệ thống. Hiện nay, vài mô hình chống sét van đã được đề nghị để mô tả hành vi của chống sét van dưới các xung điện áp/dòng điện khác nhau. Nhiệm vụ khó khăn nhất là việc xác định mô hình động đối với các xung sét hay các xung đầu sóng tăng nhanh. Đối với dạng sóng mà thời gian đạt đỉnh khoảng $8 \mu s$, hiệu ứng động sẽ đóng vai trò chính yếu.

Thật vậy, điện áp dư sẽ tăng lên khi thời gian đạt đỉnh của xung dòng điện giảm xuống và điện áp dư sẽ đạt đỉnh trước khi dòng điện đạt đỉnh. Thông thường sự gia tăng điện áp dư sẽ đạt xấp xỉ 6% khi thời gian đầu sóng của dòng điện phóng qua giảm từ $8 \mu s$ xuống $1,3 \mu s$. điện áp qua chống sét van không chỉ là hàm của dòng phóng điện mà còn phụ thuộc vào độ dốc của nó. Do đó, đòi hỏi phải có một mô hình phức tạp hơn so với mô hình điện trở phi tuyến đơn giản.

Vấn đề khó khăn gặp phải khi tiến hành xây dựng mô hình mô phỏng là xác định các thông số của mô hình từ các dữ liệu sẵn có của nhà sản xuất. Mô hình MOV của IEEE đề nghị mô tả như là hai điện trở phi tuyến được tách ra bởi bộ lọc R-L. Các phần tử của bộ lọc được xác định bằng phương pháp lặp. Các giá trị ban đầu có thể được tính từ giá trị điện áp dư và dữ liệu vật lý của chống sét van. Điều trở ngại của mô hình này là thủ tục để xấp xỉ các thông số, phương pháp lặp được thực hiện với các phần tử khác nhau cho đến khi thoả mãn yêu cầu.

Bắt đầu từ mô hình của IEEE, hàng loạt các mô hình khác của nhiều tác giả được xây dựng dựa trên mô hình chuẩn này. Các mô hình sau được cải tiến từ mô hình của IEEE và đề nghị các phương pháp xác định thông số khác nhau.

Phần lớn các tác giả đều đưa ra các thuật toán xác định thông số của mô hình với độ chính xác chấp nhận được. Trong vài trường hợp việc tính toán và hiệu chỉnh thông số cần thực hiện thủ tục lặp, thí nghiệm hay đòi hỏi những thông số khó được cung cấp từ nhà sản xuất.

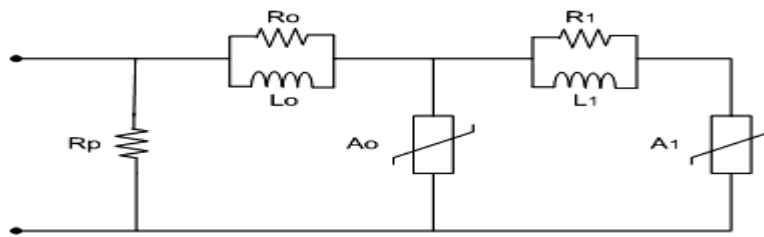
Trong luận văn này sẽ đề nghị một mô hình MOV trung thế không có khe hở. Mô hình cũng được xây dựng dựa trên mô hình MOV của IEEE với một vài

hiệu chỉnh nhỏ với thuật toán đơn giản và hiệu quả trong việc xác định thông số của mô hình.

4.4.2. Mô hình MOV trung thế đề nghị

Mô hình được xây dựng dựa trên mô hình IEEE với một hiệu chỉnh nhỏ, đó là tụ điện C được loại bỏ do ảnh hưởng của nó đến mô hình không đáng kể. Mô hình gồm hai điện trở phi tuyến A_0 và A_1 . Giữa các phần tử phi tuyến A_0 và A_1 là các bộ lọc R-L, điện trở R_p là điện trở của MOV trong vùng dòng điện rò.

Mô hình hoạt động về thực chất cũng giống như mô hình do IEEE đề nghị. Với các xung đầu dốc thấp, bộ lọc R-L có trở kháng rất nhỏ và như thế A_0 và A_1 xem như mắc song song nhau. Đối với xung đầu dốc cao, điện kháng bộ lọc lớn, nó sẽ cho dòng điện chạy qua A_0 nhiều hơn A_1 . Từ đó A_0 sẽ có điện áp rơi trên nó lớn hơn A_1 khi có dòng điện chạy qua. Kết quả là điện áp dư trên mô hình chống sét van sẽ có trị số cao hơn. Như vậy, các chống sét van MOV có điện áp dư cao hơn đối với xung đầu dốc cao, mô hình sẽ phù hợp với tất cả các tính chất của một chống sét van MOV.



Hình 4.34: Sơ đồ tương đương của mô hình MOV trung thế

4.4.3. Phương pháp xác định thông số

Việc xác định các điện trở phi tuyến (A_0 , A_1) và các đặc tính của nó dựa trên các đường cong được đề nghị bởi IEEE cho ở Hình 4.18. Điện áp được tính theo đơn vị tương đối (p.u).

Hàm của các giá trị điện cảm L_0 và L_1 dùng để thể hiện tính chất của mô hình với các xung sét. Vì vậy, điều này có tính logic khi phương trình xác định hai điện cảm phụ thuộc vào các giá trị thể hiện đặc tính của chống sét van MOV khi có dòng xung phóng qua là: điện áp định mức của chống sét van, điện áp dư đối với

xung dòng có tần số tăng nhanh và điện áp dư tại xung dòng 10kA của dạng sóng sét tiêu chuẩn 8/20 μ s.

Giá trị hai điện cảm L_0, L_1 có thể tính theo công thức kinh nghiệm sau:

$$L_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{r1/T2} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n \quad (4.19)$$

$$L_0 = \frac{1}{12} \cdot \frac{V_{r1/T2} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n \quad (4.20)$$

Trong đó:

V_n : Là điện áp định mức của chống sét van (kV);

$V_{r1/T2}$: Là điện áp dư đối với xung dòng có tần số tăng nhanh (kV);

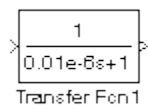
$V_{r8/20}$: Là điện áp dư tại xung dòng 10kA của dạng sóng sét tiêu chuẩn 8/20 μ s (kV). Các thông số R_0 và R_1 được thêm vào nhằm giải quyết vấn đề hạn chế của việc kết nối một phần tử phi tuyến với một cuộn cảm hay một nguồn dòng khác trong Matlab. Các giá trị R_0, R_1 và R_p khoảng 1M Ω .

4.4.4. Xây dựng mô hình MOV trung thế trong Matlab

-Các khối dùng trong mô hình

Các khối dùng để mô phỏng mô hình đã được đề cập ở chương 2, ở đây chỉ giới thiệu thêm về khối Transfer Fnc và Look-up Table dùng để xây dựng mô hình điện trở phi tuyến $I = f(V)$.

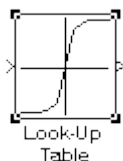
-Khối Transfer Fnc



Mặc dầu chức năng của Simulink có thể giải quyết được các bài toán có xuất hiện vòng lặp đại số nhưng thời gian giải các bài toán rất chậm. Nhờ khối Transfer Fcn, có thể tránh được vòng

lặp bằng cách đưa tín hiệu liên tục về rời rạc với một thời gian trích mẫu phù hợp mà vẫn đảm bảo tính đúng đắn của mô hình. Ở ví dụ cho khối trên, thời gian trích mẫu là $T = 0,01\mu$ s.

-Khối Look – up Table



Khối Look-up table tạo tín hiệu ra từ tín hiệu vào trên cơ sở thông tin một bảng tra (Vector of input values x Vector of output values).

Nếu giá trị hiện tại của tín hiệu vào trùng với một giá trị thuộc Vector of input values, giá trị tương đương trong bảng

thuộc Vector of output values sẽ được đưa tới đầu ra. Nếu giá trị của tín hiệu vào nằm giữa hai giá trị thuộc Vector of input values SIMULINK thực hiện nội suy hai giá trị tương ứng của Vector of output values. Nếu giá trị của tín hiệu vào bé hơn (hay lớn hơn) giá trị đầu tiên/giá trị cuối cùng của Vector of input values, SIMULINK sẽ thực hiện ngoại suy hai giá trị đầu tiên/cuối cùng của Vector of output values. Vector of input values có thể là một vector hàng hay một vector cột.

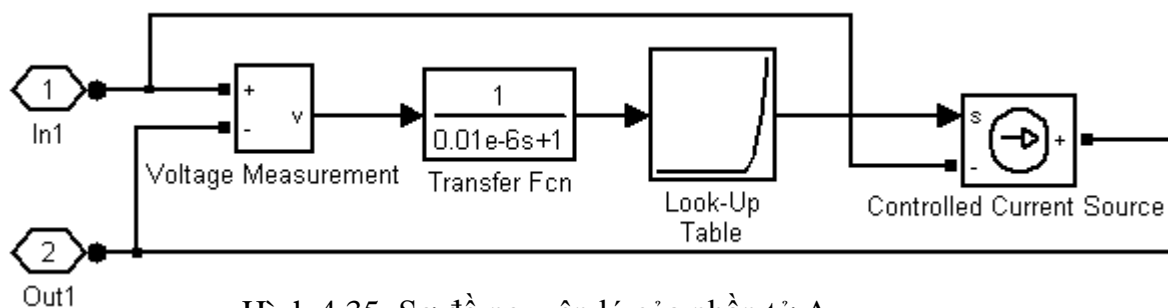
-Xây dựng mô hình điện trở phi tuyến A0, A1

Xây dựng mô hình hai điện trở phi tuyến A0 và A1 dựa vào đường cong đặc tuyến V-I được đề nghị bởi IEEE. Tính toán lựa chọn vài điểm trên đặc tuyến. Bảng 5.1 trình bày giá trị đỉnh của điện áp dư đo được trong thí nghiệm phóng xung dòng điện sét 10kA_{8/20} μ s như sau:

Bảng 4.7: Quan hệ $I = f(V)$ đặc tuyến V-I của A0 và A1

I (kA)	A0 (p.u)	A1 (p.u)
10^{-5}	0.833	0.652
0.1	0.974	0.788
1	1.052	0.866
3	1.108	0.922
10	1.195	1.009
20	1.277	1.091

Mô hình điện trở phi tuyến được xem như một khối “Controlled Current Source” có đặc tính phi tuyến với dòng điện i là một hàm phi tuyến theo điện áp u . Sơ đồ nguyên lý của phần tử phi tuyến A0, A1 tương tự nhau, sau đây sẽ trình bày sơ đồ nguyên lý của phần tử A0 như Hình 4.35.



Hình 4.35: Sơ đồ nguyên lý của phần tử A_0

Để tính dòng điện $i = f(u)$, theo Bảng 4.7, khai báo trong khối Look-Up Table với phần tử phi tuyến A_0 :

* Vector of Input Values (u):

$[0 \ 0.833 \ 0.974 \ 1.052 \ 1.108 \ 1.195 \ 1.277] \times V_I \times 1000$

Vector of Output Values (i):

$[0 \ 0.00001 \ 0.1 \ 1 \ 3 \ 10 \ 20] \times 1000$

Tương tự, dòng điện $i = f(u)$ được khai báo trong khối Look-Up Table với phần tử phi tuyến A_1 :

Vector of Input Values (u):

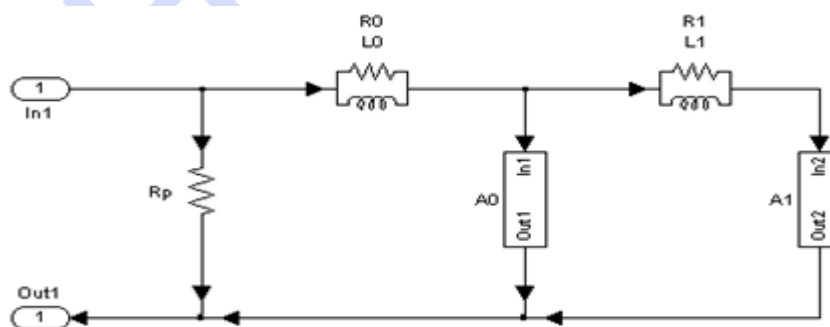
$[0 \ 0.652 \ 0.788 \ 0.866 \ 0.922 \ 1.009 \ 1.091] \times V_I \times 1000$

Vector of Output Values (i):

$[0 \ 0.00001 \ 0.1 \ 1 \ 3 \ 10 \ 20] \times 1000$

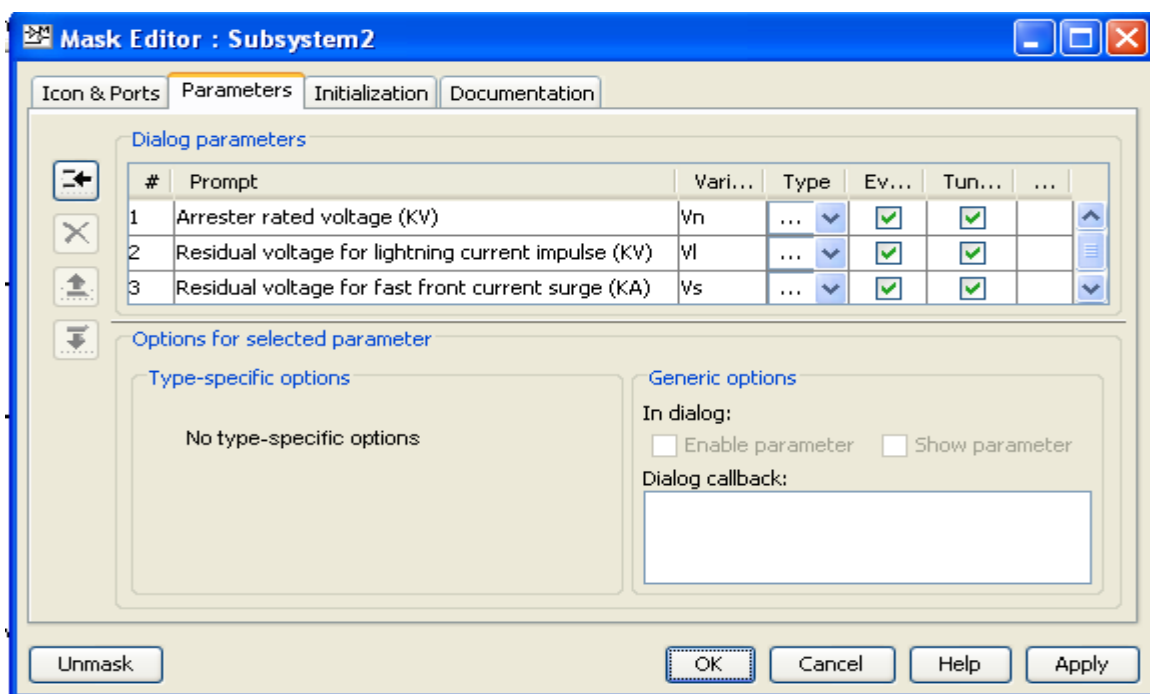
*Xây dựng mô hình MOV trung thế hoàn chỉnh

Sử dụng Simulink trong MatLab xây dựng mô hình MOV theo IEEE hoàn chỉnh như Hình 4.36.



Hình 4.36: Sơ đồ nguyên lý mô hình MOV trung thế

Sử dụng lệnh Create subsystem nhóm các phần tử trên thành một khối, đặt tên là MV_MOV, khai báo các biến cho mô hình, xây dựng biểu tượng cho MOV. Sử dụng hộp thoại Edit Mask khai báo các biến cho mô hình.



Hình 4.37: Khai báo các thông số trong thanh Parameters

Chọn thanh Initialization trong mục Initialization commands, viết dòng lệnh để xác định giá trị L, L₁:

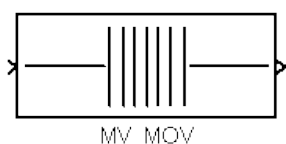
$$L1 = V_n * (V_s - V_1) / (4 * V_1 * 10^6);$$

$$L0 = V_n * (V_s - V_1) / (12 * V_1 * 10^6);$$

Chọn thanh Icon, trong phần “Drawing commands”, dùng hàm plot để vẽ các hình đặc tuyến cho mô hình:

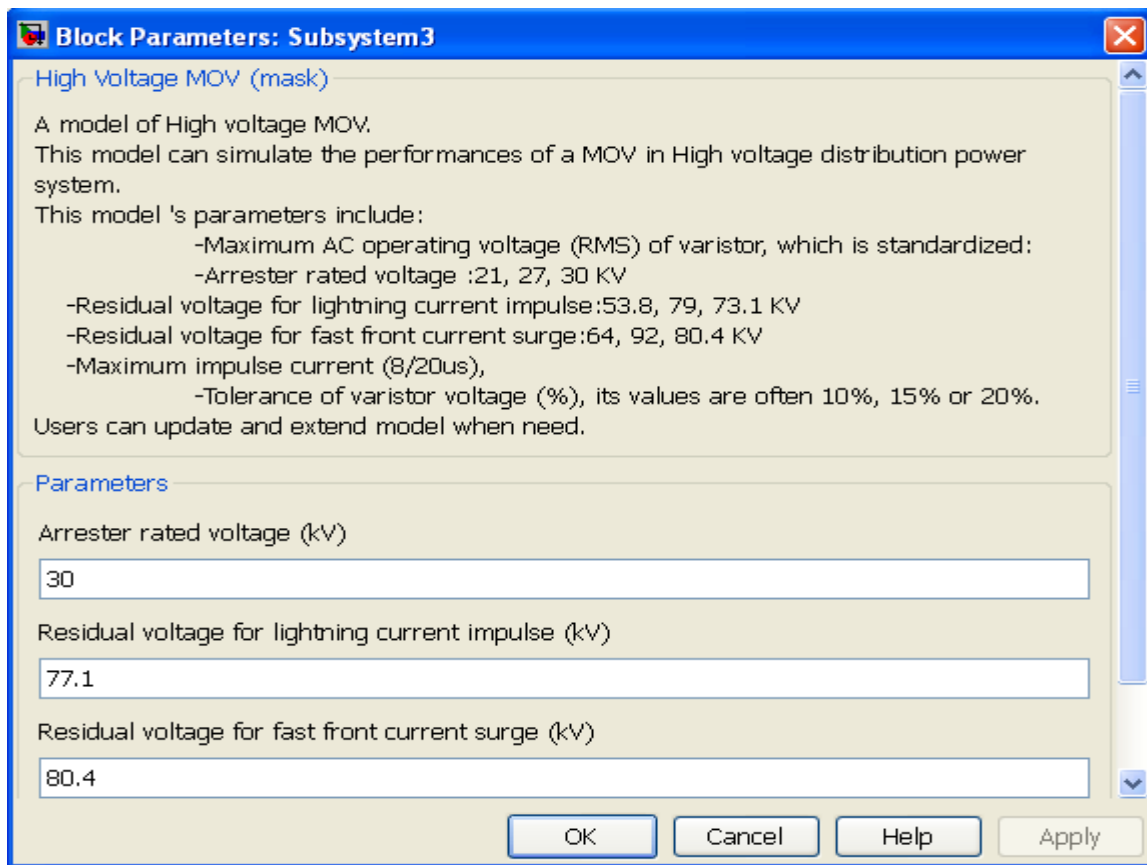
```
plot(-100,-45,100,45,[-100 -35],[0 0],[100 35],[0 0],[-30 -30],[40 -40],[-20 -20],[40 -40],[-10 -10],[40 -40],[0 0],[40 -40],[10 10],[-40 40],[20 20],[-40 40],[30 30],[-40 40])
```

Cuối cùng ta được mô hình MOV trung thế hoàn chỉnh như Hình 4.38.



Hình 4.38: Mô hình MOV trung thế

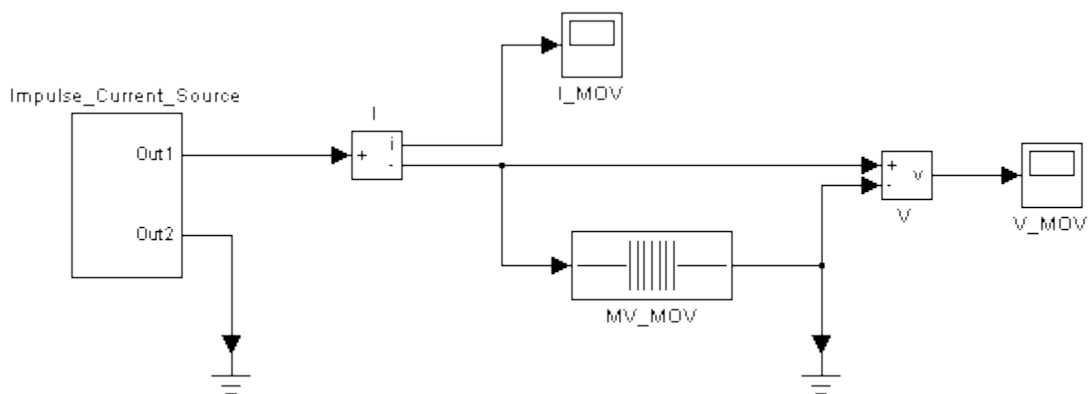
Hộp thông số của mô hình MOV theo IEEE như Hình 4.39.



Hình 4.39: Hộp thoại của MV_MOV

4.4.5. Kiểm tra đáp ứng của MOV trung thế với xung dòng chuẩn

Dùng một xung dòng chuẩn 8/20 μ s kiểm tra đáp ứng của mô hình MOV trung thế vừa xây dựng như sơ đồ Hình 4.40.



Hình 4.40: Sơ đồ mô phỏng đáp ứng của MOV trung thế đề nghị

Sau đây tiến hành mô phỏng một chống sét van loại AZG3 của hãng COOPER với các thông số kỹ thuật được cho trong catalogue như sau:

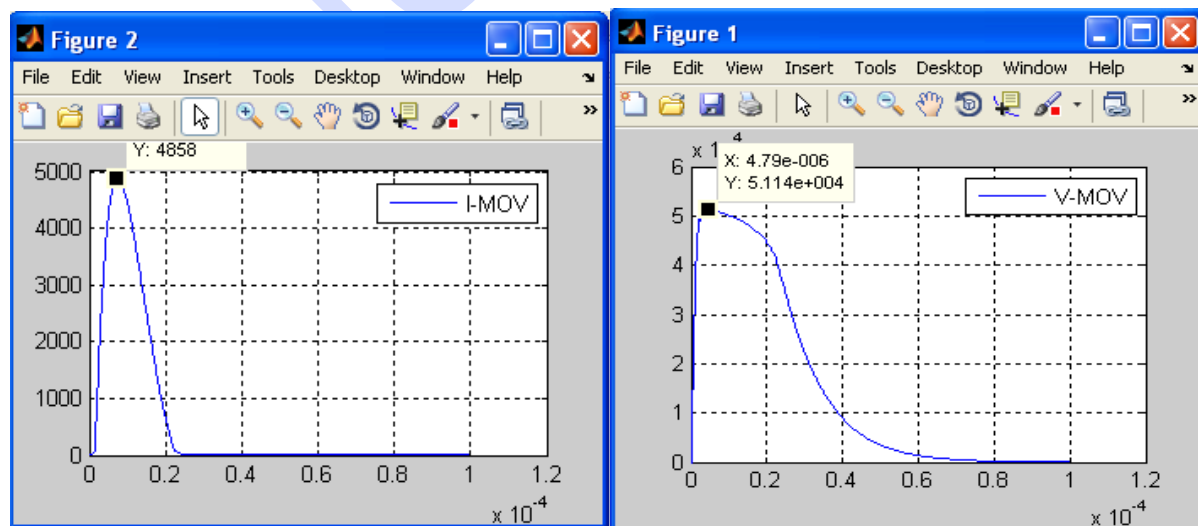
Bảng 4.8: Thông số kỹ thuật MV_MOV loại AZG3 của hãng COOPER

Arrester Rating U_r (kV, rms)	Arrester MCOV U_r (kV, rms)	Steep Current Residual Voltage (kV) Crest	Lightning Impulse Residual Voltage (kV Crest) 8/20 μ s Current wave		
		10kA	5kA	10kA	20kA
21	17	64	50.2	53.8	59.4

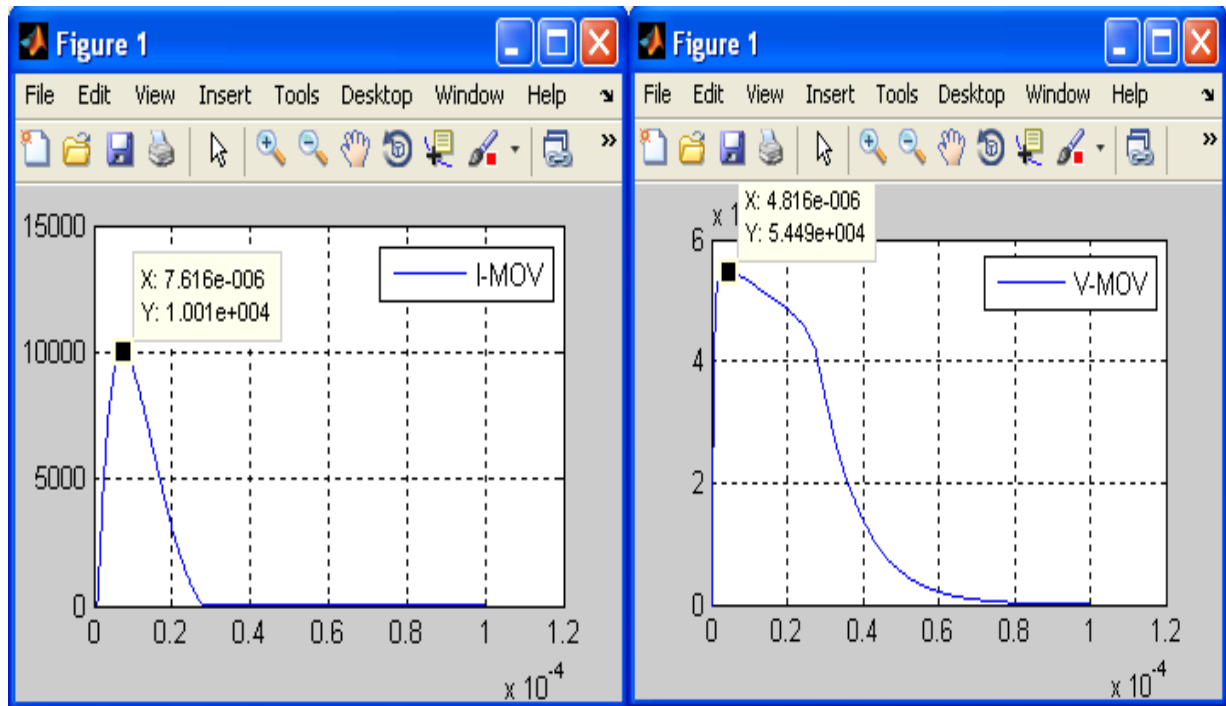
Với các thông số kỹ thuật như trên thì cần nhập vào mô hình chống sét van MV_MOV như sau:

- Arrester rated voltage (kV)(V_n): 21
- Residual voltage for lightning current impulse (kV)($V_{lightning}$): 53.8
- Residual voltage for fast front current surge (kV)(V_{steep}): 64

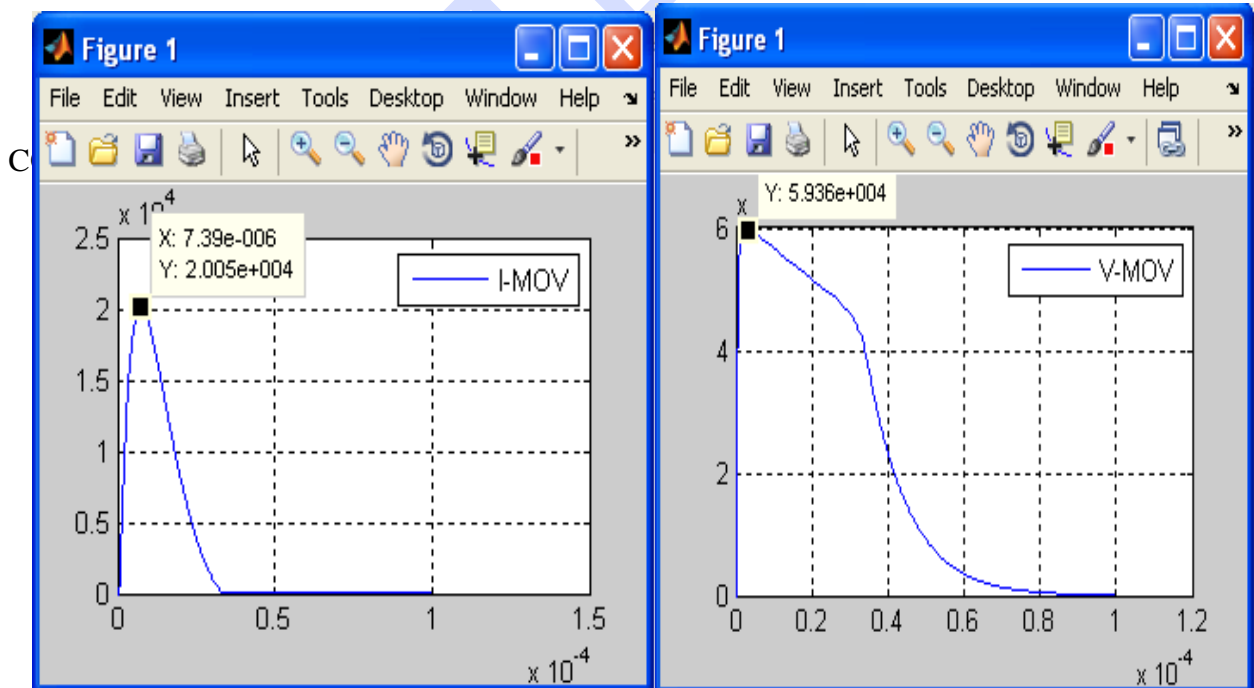
Mô hình được cho phóng điện với các dòng điện có dạng sóng 8/20 μ s có trị số 5kA, 10kA, 20kA. Kết quả mô phỏng được cho như Hình 4.41, 4.42, 4.43 Giá trị điện áp dư đạt đỉnh của mô hình được cho trong Bảng 4.8



Hình 4.41: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng COOPER với xung 5kA – 8/20 μ s.



Hình 4.42: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hằng COOPER với xung 10kA – 8/20 μ s.



Hình 4.43: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hằng COOPER với xung 20kA – 8/20 μ s.

Bảng 4.9: Kết quả mô phỏng MOV trung thế của hãng COOPER

Dạng sóng dòng phóng điện	8/20 μ s		
Biên độ dòng điện (kA)	5	10	20
Điện áp dư của nhà sản xuất (U_{rman})(kV)	50,2	53,8	59,4
Điện áp dư mô phỏng (U_{rsim})(kV)	51,14	54,42	59,36
Sai số % (ϵ_r)	1,87	1,28	0,06

Từ kết quả mô phỏng trên cho thấy mô hình đề nghị rất chính xác so với số liệu của van chống sét thực tế được cung cấp trong catalogue của nhà sản xuất.

Để kiểm tra độ chính xác của mô hình, dưới đây sẽ lần lượt mô phỏng chống sét van của các hãng sản xuất khác nhau và với các cấp điện áp khác nhau.

Mô phỏng một chống sét van cấp phân phối của hãng ELPRO

Bảng 4.10: Thông số kỹ thuật MV_MOV của hãng ELPRO

Arrester Rating U_r (kV, rms)	Arrester MCOV U_r (kV, rms)	Steep Current Residual Voltage (kV) Crest	Lightning Impulse Residual Voltage (kV Crest) 8/20 μ s Current wave		
		10kA	5kA	10kA	20kA
27	22	92	75	79	87

*Thông số nhập vào mô hình:

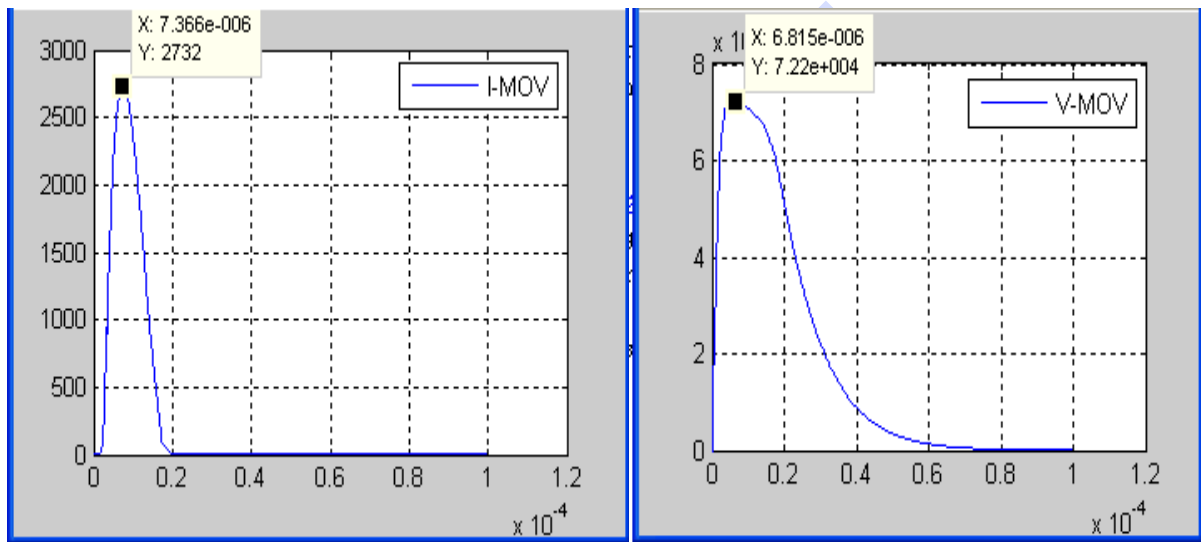
-Arrester rated voltage (kV)(V_n): 27

-Residual voltage for lightning current impulse (kV)($V_{lightning}$): 79

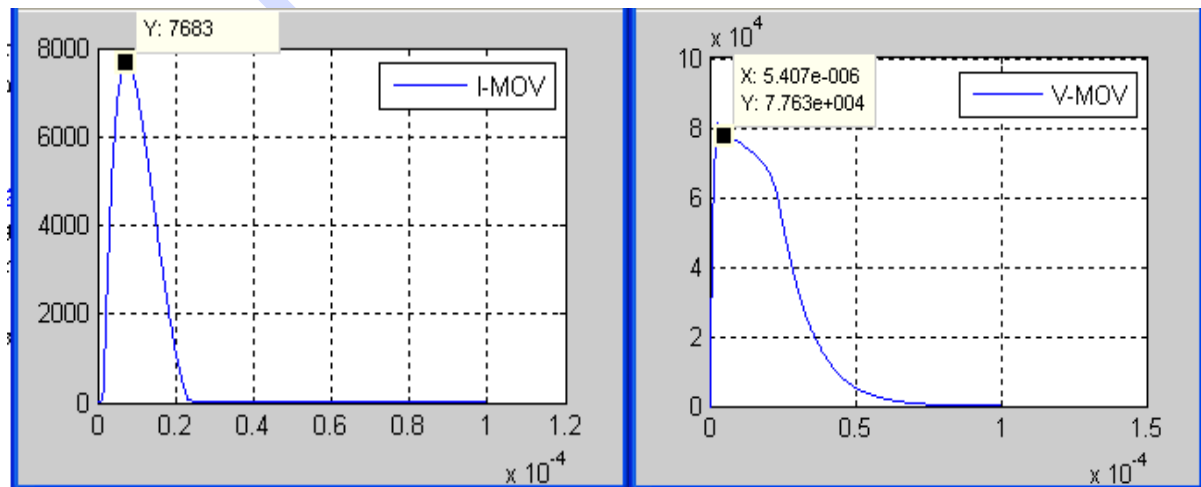
-Residual voltage for fast front current surge (kV)(V_{steep}): 92

Bảng 4.11: Kết quả mô phỏng MOV trung thể của hãng ELPRO

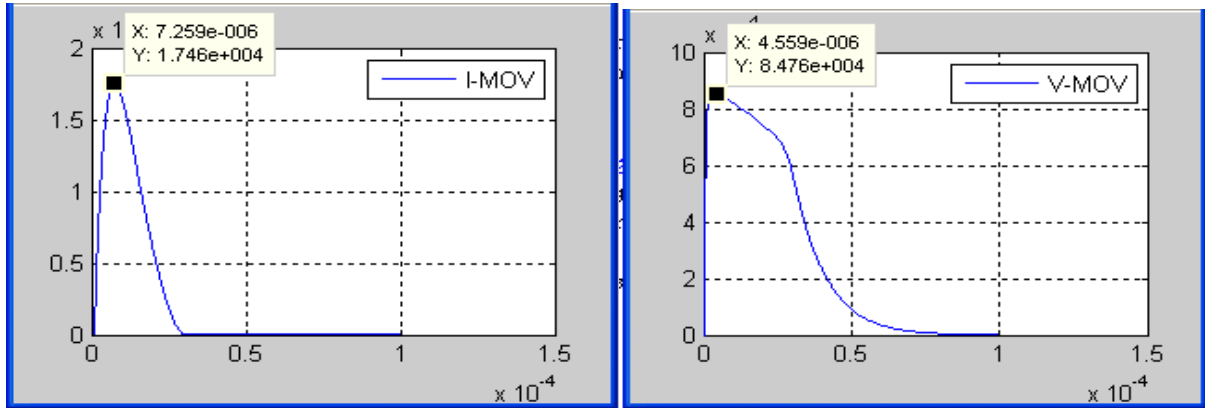
Dạng sóng dòng phóng điện	$8/20\mu s$		
Biên độ dòng điện (kA)	5	10	20
Điện áp dư của nhà sản xuất U_{rman} (kV)	75,0	79,0	87,0
Điện áp dư mô phỏng (U_{rsim})(kV)	72,2	77,63	84,76
Sai số % (ϵ_r)	3,73	1,73	2,57



Hình 4.44: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng ELPRO với xung 5kA – 8/20μs.



Hình 4.45: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng ELPRO với xung 10kA – 8/20μs.



Hình 4.46: Điện áp dư và dòng điện qua môn hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng ELPRO với xung 20kA – 8/20 μ s.

Mô phỏng một chống sét van của hãng GE:

Bảng 4.12: Thông số kỹ thuật MV_MOV của hãng GE

Arrester Rating U_R (kV, rms)	Arrester MCOV U_R (kV, rms)	Steep Current Residual Voltage (kV) Crest	Lightning Impulse Residual Voltage (kV Crest) 8/20 μ s Current wave			
		10kA	3kA	5kA	10kA	20kA
30	24.4	80.4	64,9	67,9	73,1	80,9

Thông số nhập vào mô hình:

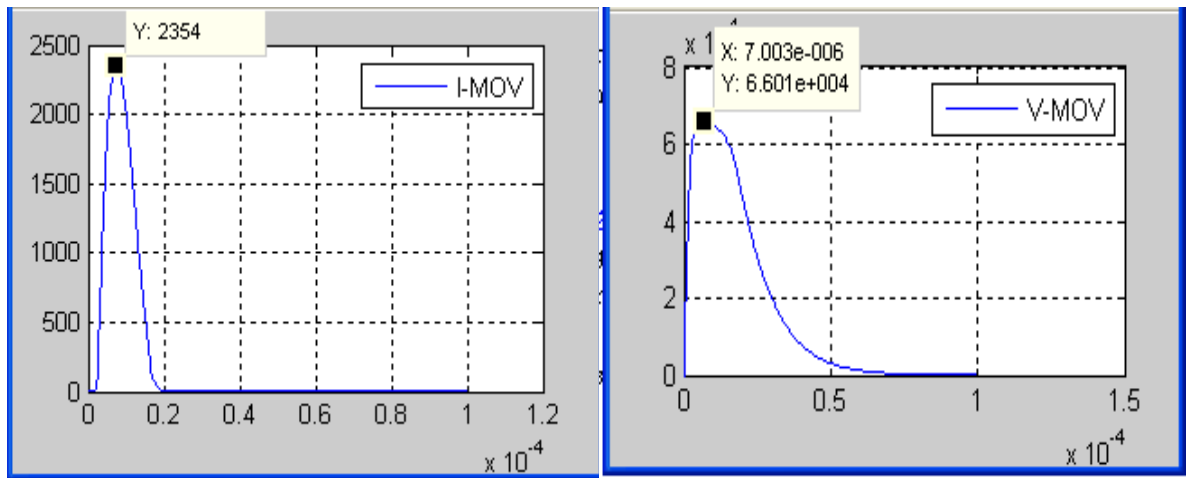
-Arrester rated voltage (kV)(V_n): 30

-Residual voltage for lightning current impulse (kV)($V_{lightning}$): 73.1

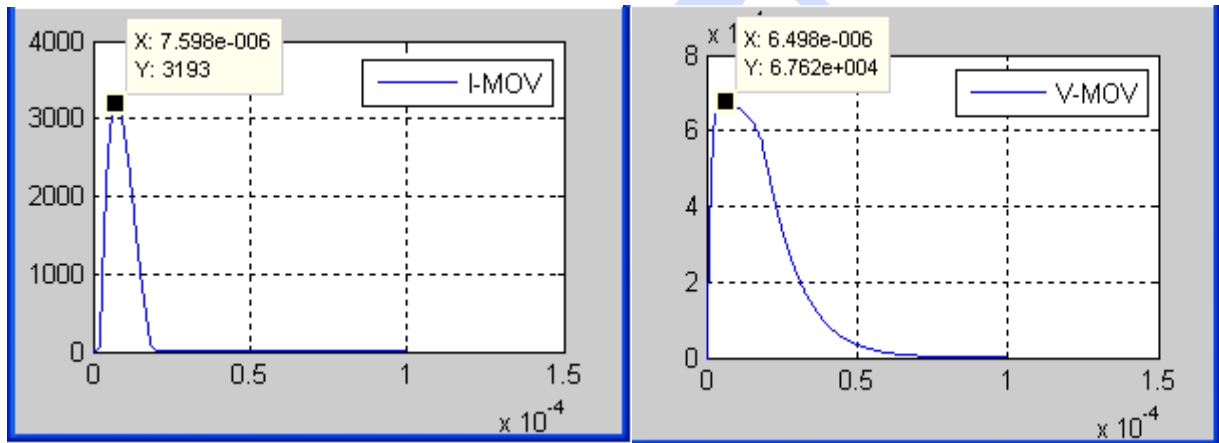
-Residual voltage for fast front current surge (kV)(V_{steep}): 80.4

Bảng 4.13: Kết quả mô phỏng MOV trung thế của hãng GE.

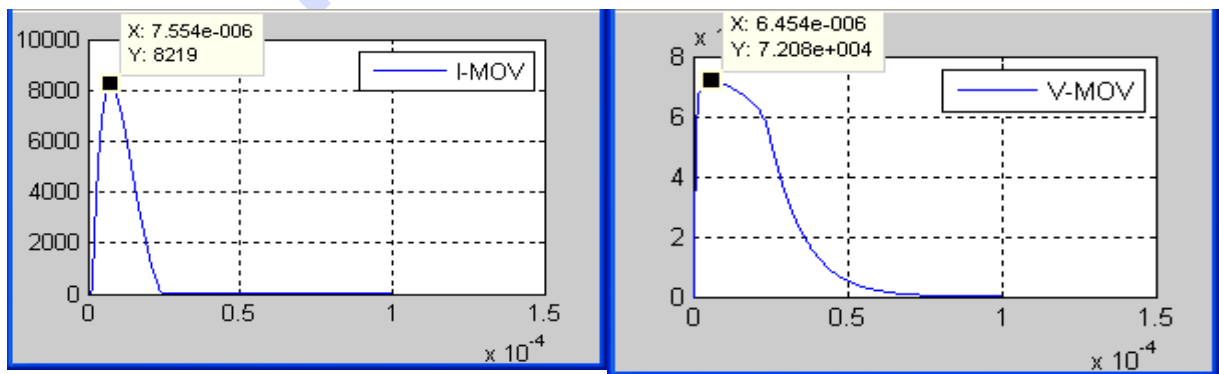
Dạng sóng dòng phóng điện	8/20 μ s			
Biên độ dòng điện (kA)	3	5	10	20
Điện áp dư của nhà sản xuất (U_{rman})(kV)	64,9	67,9	73,1	80,9
Điện áp dư mô phỏng (U_{rsim})(kV)	66,01	67,62	72,08	78,17
Sai số % (ϵ_r)	1,71	0,41	1,39	3,37



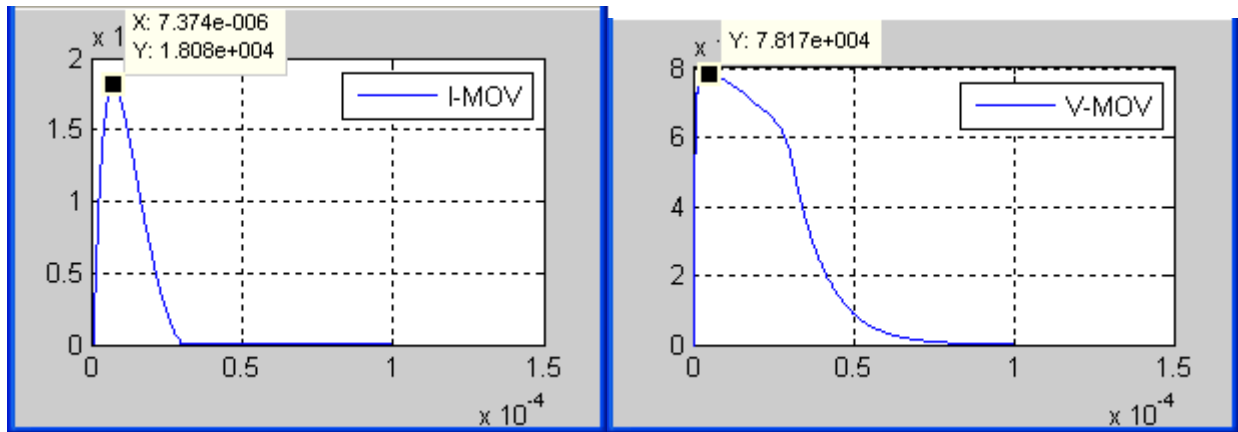
Hình 4.47: Điện áp dư và dòng điện qua môn hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng GE với xung 3kA – 8/20 μ s.



Hình 4.48: Điện áp dư và dòng điện qua môn hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng GE với xung 5kA – 8/20 μ s.



Hình 4.49: Điện áp dư và dòng điện qua môn hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng GE với xung 10kA – 8/20 μ s.



Hình 4.50: Điện áp dư và dòng điện qua mô hình MV-MOV khi mô phỏng MOV hãng GE với xung 20kA – 8/20 μ s.

*Mô phỏng chống sét van của hãng Cooper

Bảng 4.14: Thông số kỹ thuật M \bar{V} MOV của hãng COOPER

Đặc tính kỹ thuật của chống sét van MOV của COOPER									
Rated Voltage kV	MCOV kV	0,5 μ s- 10kA kV	Switching surge (kV)	8/20 μ s Maximum Discharge Voltage kV crest					
				1,5kA	3kA	5kA	10kA	20kA	40kA
30	24,4	90,1	63,7	65,9	69,4	72,0	77,1	85,0	94,9

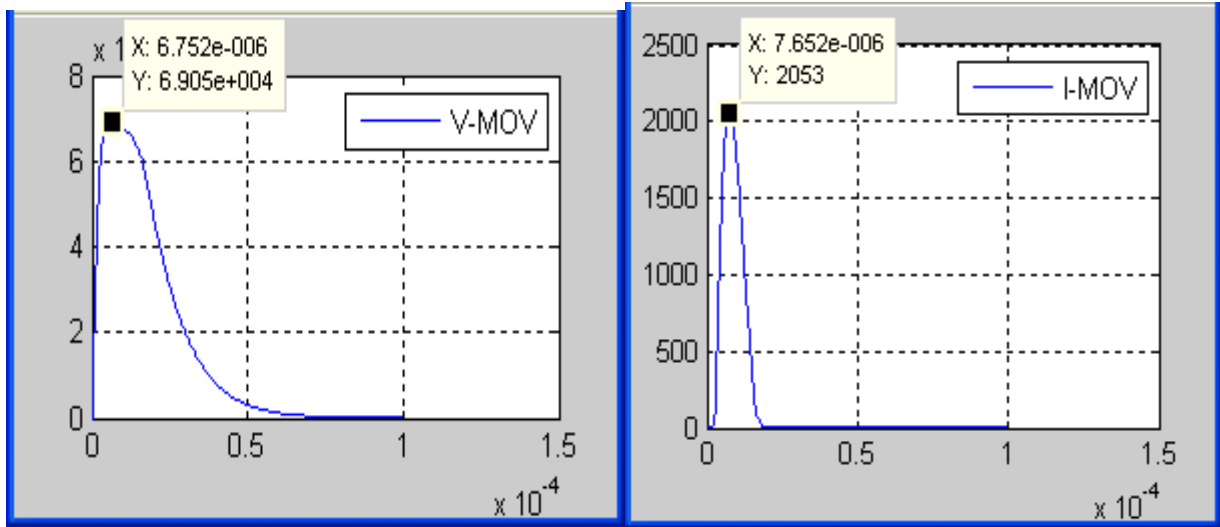
Với bảng thông số trên, các thông số cần nhập vào cho mô hình chống sét van MOV là:

- Arrester rated Voltage (V_n): 30kV.
- Residual voltage for lightning current 10kA (\bar{V} lightning): 77,1 kV.
- Residual voltage for fastfront current 10kA (\bar{V} fastfront): 90,1 kV.

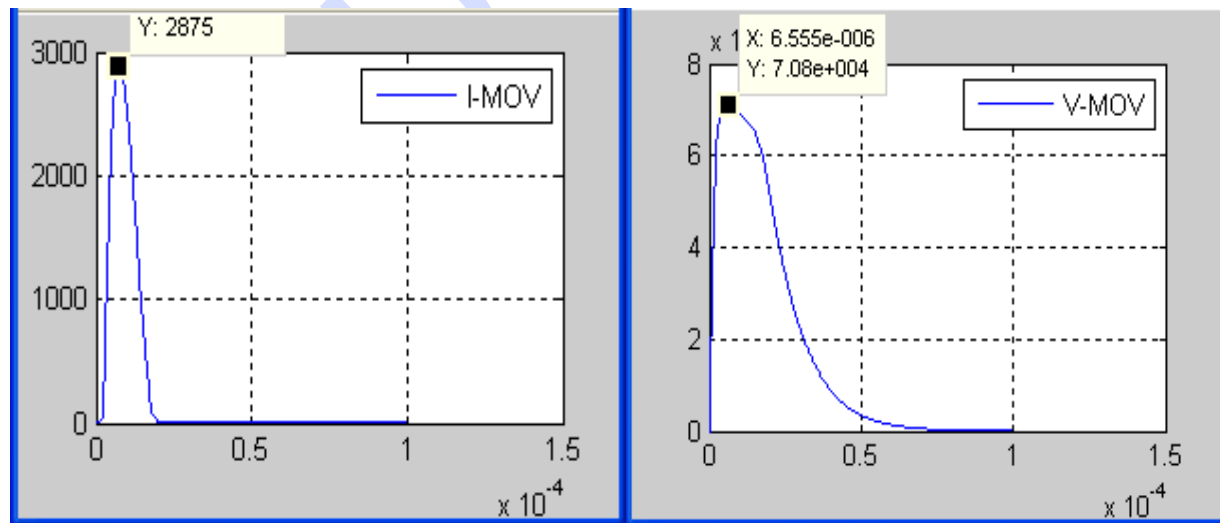
Mô hình được cho phóng điện với dòng điện có dạng sóng 8/20 μ s có trị số 3kA, 5kA, 10kA và 20kA, kết quả được cho ở hình 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25.

Bảng 4.15: So sánh kết quả mô phỏng với số liệu kỹ thuật

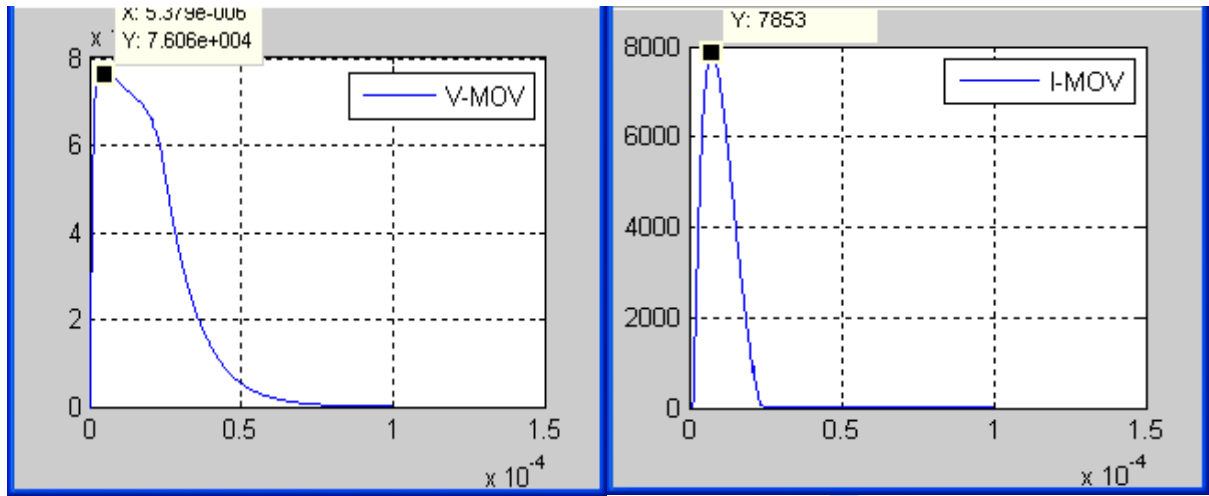
Dạng dòng phóng điện và biên độ	8/20 μ s 3kA	8/20 μ s 5kA	8/20 μ s 10kA	8/20 μ s 20kA	1/5 μ s 10kA
U _{ref} của nhà sản xuất(kV)	69,4	72,0	77,1	85,0	90,1
U _{ref} của mô hình(kV)	69,05	70,8	76,06	83,3	90,0
Sai số phần trăm	0,5	1,67	1,35	2,0	0,01



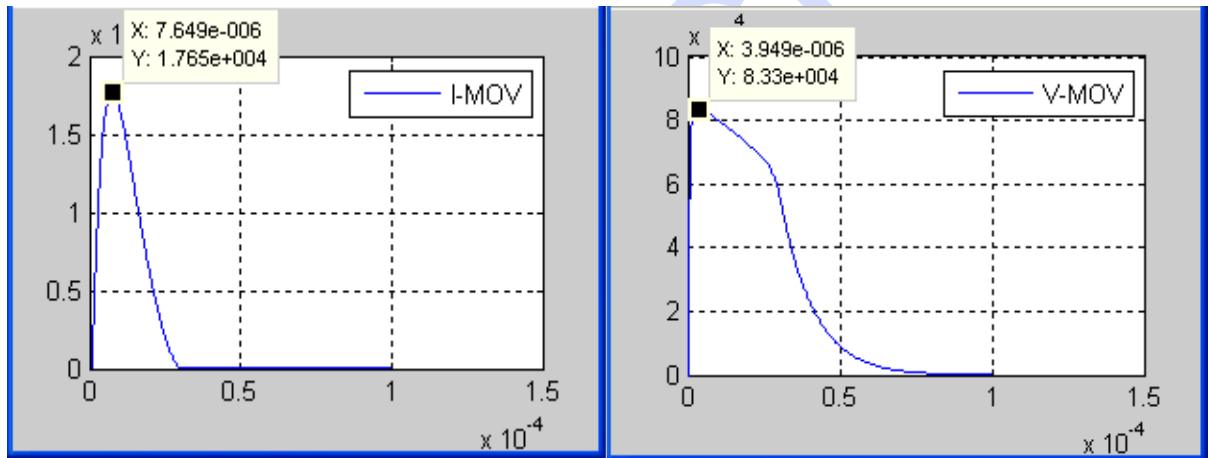
Hình 4.51: Điện áp dư của chống sét van tại dòng 8/20 μ s-3kA



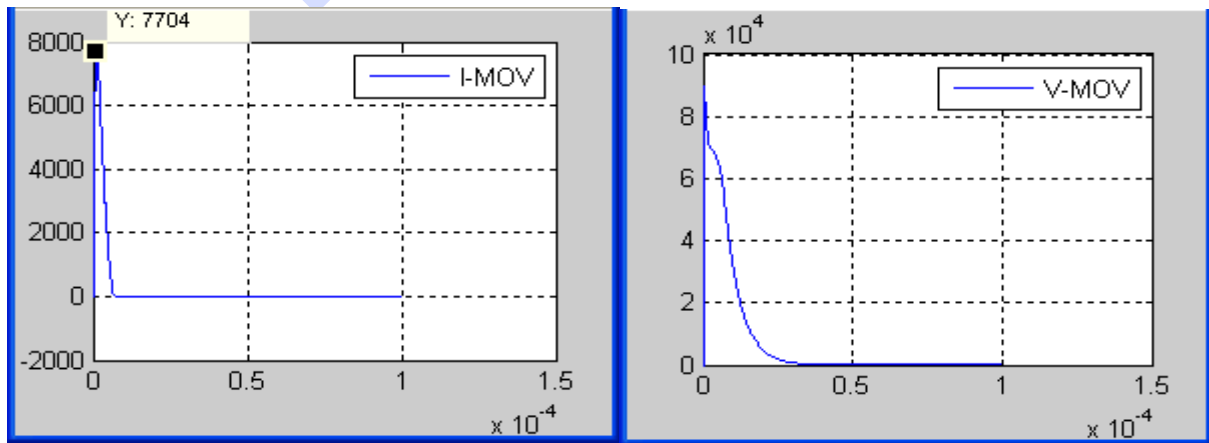
Hình 4.52: Điện áp dư của chống sét van tại dòng 8/20 μ s-5kA



Hình 4.53: Điện áp dư của chống sét van tại dòng 8/20 μ s-10kA



Hình 4.54: Điện áp dư của chống sét van tại dòng 8/20 μ s-20kA



Hình 4.55: Điện áp dư của chống sét van tại dòng 1/5 μ s-10kA

4.5. Nhận xét

Mô hình MV_MOV đơn giản đã đề nghị được dùng để mô phỏng chống sét van MOV bảo vệ cho lưới trung thế. Mô hình dựa trên mô hình của IEEE với một hiệu chỉnh nhỏ là loại bỏ tụ điện C, phương pháp tính toán thông số của mô hình dựa vào các thông số có sẵn từ catalogue của nhà sản xuất, thậm chí với dữ liệu không đầy đủ như không có giá trị điện áp dư đối với xung dòng điện tăng nhanh thử nghiệm thì mô hình vẫn thực thi.

Điện áp dư trên chống sét van, với cùng một trị số dòng điện cho phóng qua, sẽ tăng lên khi thời gian đạt đỉnh của dòng phóng điện giảm. Điện áp sẽ tăng xấp xỉ 14 % khi thời gian đạt đỉnh giảm từ $8\mu s$ xuống còn $1\mu s$.

Với những dòng điện phóng qua chống sét van có thời gian đạt đỉnh trong khoảng $8\mu s$ hay nhỏ hơn thì điện áp phóng đạt đỉnh trước khi dòng điện đạt đỉnh.

Mô hình chống sét van đơn giản có thể được xây dựng bao gồm một đặc tuyến phi tuyến V-I và một bộ lọc R-L nối tiếp với nhau thì có thể đưa ra hai hiệu ứng ở trên (điện áp dư tăng khi xung dòng phóng điện có thời gian đạt đỉnh giảm xuống và điện áp dư đạt đỉnh trước khi dòng đạt đỉnh) với thời gian đạt đỉnh hẹp.

Đối với mô hình chống sét van trong Matlab, khi thực hiện mô phỏng với xung đầu sóng tăng nhanh, các đặc tính đáp ứng động không được thể hiện. Do đó, khi dùng mô hình mô phỏng (ví dụ mô phỏng chống sét van của hãng Elpro với các thông số kỹ thuật ở trên, cho ở phụ lục 2) quá điện áp quá độ, sai số của mô hình sẽ rất lớn.

Mô hình được cho thử nghiệm với xung dòng sét tiêu chuẩn có biên độ từ 10kA đến 20kA. Chống sét van loại trung thế có cấp điện áp định mức từ 3kV đến 30kV. Kết quả mô phỏng được so sánh với kết quả thí nghiệm của nhà sản xuất đã chứng tỏ mô hình khá chính xác với sai số lớn nhất khoảng 3,73%. Vì vậy, mô hình hoàn toàn có thể dùng để nghiên cứu bảo vệ quá áp trên lưới trung thế.

CHƯƠNG 5: NGHIÊN CỨU BẢO VỆ QUÁ ÁP TRÊN ĐƯỜNG NGUỒN HẠ ÁP KHI SÉT ĐÁNH TRỰC TIẾP TỚI ĐƯỜNG DÂY TRUNG ÁP

Theo thống kê, 80% hư hỏng do sét gây ra là bởi sét đánh lan truyền theo đường cáp nguồn và đường tín hiệu. Do việc chống sét lan truyền chưa được quan tâm một cách đầy đủ, dẫn đến thiệt hại do sét lan truyền gây ra rất lớn. Vì thế việc đề ra các giải pháp và cung cấp các thiết bị chống sét lan truyền theo công nghệ mới là cấp bách và cần thiết.

Các đường dây trên không, dù có được bảo vệ chống sét hay không thì các thiết bị nối với chúng đều bị tác động của sóng sét truyền từ đường dây đến. Biên độ quá điện áp khí quyển có thể lớn hơn điện áp thí nghiệm xung kích và cách điện của thiết bị, dẫn đến chọc thủng cách điện, phá hủy thiết bị và gây ra sự cố, mạch điện bị cắt ra. Do vậy phải dùng các thiết bị chống sét. Các thiết bị chống sét này sẽ hạ thấp biên độ sóng quá điện áp đến trị số an toàn cho cách điện cần được bảo vệ.

Thiết bị chống sét là thiết bị được ghép song song với thiết bị điện để bảo vệ quá điện áp khí quyển. Khi xuất hiện quá điện áp, nó sẽ phóng điện trước làm giảm trị số quá điện áp đặt lên cách điện của thiết bị và khi hết quá điện áp sẽ tự động dập tắt hồ quang của dòng điện xoay chiều, phục hồi trạng thái làm việc bình thường.

Quá điện áp phía trung áp của máy biến áp phân phối trung/hạ áp do sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp trên không có thể gây nguy hiểm cho các thiết bị cao áp, truyền qua phía hạ áp và các thiết bị điện hạ áp gây hư hỏng các thiết bị này. Do đó cần có các thiết bị bảo vệ quá áp trên đường dây trung và hạ áp.

Áp dụng hai mô hình van chống sét (MOV) trung và hạ áp đã xây dựng, tiến hành khảo sát đánh giá hiệu quả bảo vệ của một hệ thống bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp cung cấp điện cho các tòa nhà công nghiệp khi sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp trên không dẫn vào phía sơ cấp của trạm biến áp.

5.1. Giới thiệu

Sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp là không thường xuyên trong hệ thống phân phối điện nhưng những ảnh hưởng của chúng là rất xấu. Hạn chế những

nguy hiểm đó cần có những van chống sét bảo vệ xung sét và quá điện áp trên đường dây trung và hạ áp.

Khi phân tích quá điện áp sét xuất hiện trong những thiết bị điện hạ áp lắp đặt trong tòa nhà yêu cầu phải xây dựng mô hình hệ thống điện một cách đầy đủ, đặc biệt là máy biến áp và van chống sét. Mục đích của nghiên cứu này là dùng để đánh giá:

- Khả năng áp dụng của mô hình đã xây dựng.
- Hiệu quả bảo vệ quá áp của các van chống sét.
- Quá điện áp trên hệ thống hạ áp khi có sét lan truyền từ đường dây trung áp.
- Ảnh hưởng của các yếu tố: Điện trở nối đất, khoảng cách từ vị trí sét đánh tới trạm biến áp đối với hiện tượng quá áp trên mạng cung cấp hạ áp.

5.2. Mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp do sét lan truyền trên đường dây trung áp

Thực hiện mô phỏng một hệ thống bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp cung cấp cho công trình công nghiệp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp và lan truyền qua máy biến áp sang hệ thống hạ áp dẫn vào tòa nhà.

Hệ thống mô phỏng gồm có: Đường dây trung áp (MV) trên không từ máy biến áp trung gian 110/15kV tới máy biến áp phân phối có cấp điện áp 15kV, máy biến áp phân phối trung/hạ áp (MV/LV) với cấp điện áp 15/0,4kV và đường dây hạ áp (cáp ngầm) có điện áp 400/230V nối giữa trạm biến áp phân phối và những thiết bị điện lắp đặt trong tòa nhà.

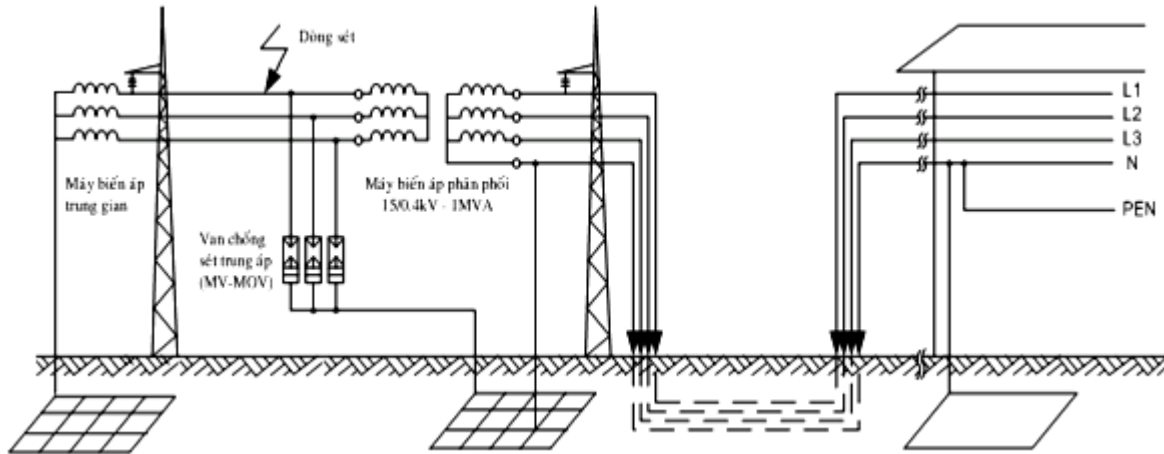
Để có thể đánh giá hiệu quả bảo vệ quá áp của các van chống sét trung áp và hạ áp. Việc lập mô hình mô phỏng được thực hiện trên hai mô hình của hệ thống: Có và không có gắn van chống sét hạ áp.

5.2.1. Mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp khi không có van chống sét hạ áp

Tham khảo tài liệu “Hướng dẫn thiết kế lắp đặt điện theo tiêu chuẩn quốc tế IEC” của nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật năm 2001, để bảo vệ quá điện áp do sét đánh trực tiếp vào đường dây trên không dẫn vào trạm biến áp, biện pháp thường dùng nhất là lắp đặt chống sét van ở phía sơ cấp của trạm biến áp. Các van chống sét được

nối song song từ các dây pha xuống đất (hệ thống nối đất của trạm) và đặt càng gần điểm vào trạm càng tốt.

Mô hình mô phỏng được thực hiện với hệ thống bảo vệ quá áp ở trên với van chống sét được lắp đặt trên đường dây trung áp dẫn vào trạm biến áp phân phối và ở vị trí cách trạm là 4m. Sơ đồ bố trí các thiết bị bảo vệ quá áp được trình bày trong Hình 5.1



Hình 5.1: Sơ đồ hệ thống bảo vệ quá áp của công trình

*Những thông số trong mô hình mô phỏng sau đây được đề xuất:

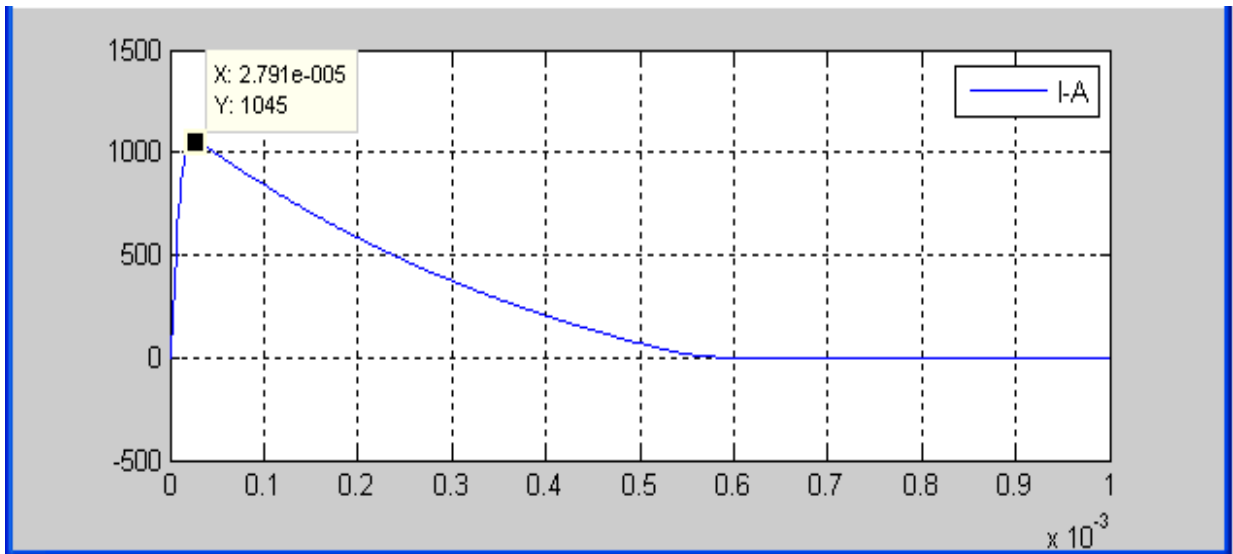
- Chiều dài đường dây trung áp trên không dẫn từ máy biến áp trung gian tới trạm biến áp phân phối trung/hạ áp là 10km.
- Điện trở hệ thống nối đất của trạm biến áp phân phối là 2Ω .
- Trong tòa nhà, dây PEN được nối với hệ thống nối đất của tòa nhà.
- Điện trở hệ thống nối đất của tòa nhà là 10Ω .
- Mô hình tần số cao của máy biến áp được sử dụng với tụ điện nối giữa cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp.
- Van chống sét trung áp (MV_MOV) được lắp đặt tại phía sơ cấp của máy biến áp phân phối có điện áp làm việc định mức là 12kV, điện áp làm việc liên tục lớn nhất là 10,2kV.
- Tải hạ áp được lắp đặt là các điện trở 5Ω được nối hình sao.
- Máy biến áp phân phối MV/LV có cấp điện áp 15/0,4kV, dung lượng 1MVA trong

Bảng 5.1: Thông số mạch tương đương hệ thống bảo vệ quá áp mô phỏng.

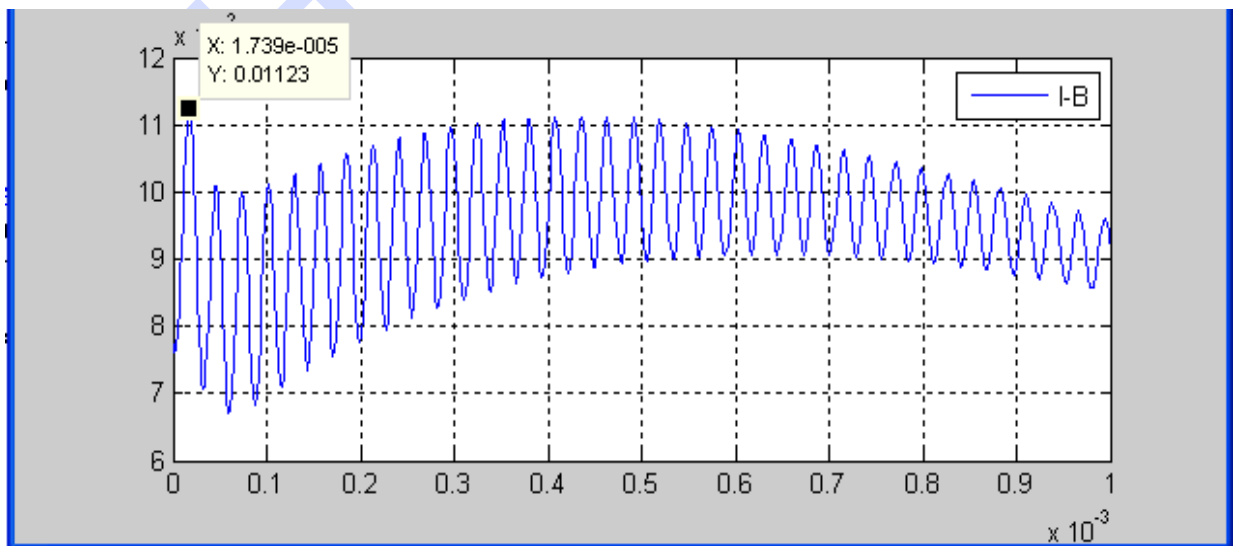
Các phần tử		Trị số	
Điện áp pha của thứ cấp máy biến áp trung gian	V1 = 8.66 kV, 50 Hz, $\varphi = 0^0$ V2 = 8.66 kV, 50 Hz, $\varphi = 120^0$ V3 = 8.66 kV, 50 Hz, $\varphi = 240^0$		
Điện trở của đường dây trung áp tính từ máy biến áp trung gian tới điểm sét đánh	R11, R12, R13	0.12mΩ/m l ₁ = 9400m	1.128Ω
Điện cảm của đường dây trung áp tính từ máy biến áp trung gian tới điểm sét đánh	L11, L12, L13	1 μ H/m l ₁ =9400m	9.4e-3 H
Điện trở của đường dây trung áp tính từ điểm sét đánh tới vị trí lắp đặt MV _MOV	R21, R22, R23	0.12 mΩ/m l ₂ = 600m	0.072Ω
Điện cảm của đường dây trung áp tính từ điểm sét đánh tới vị trí lắp đặt MV _MOV	L21, L22, L23	1 μ H/m l ₂ = 600m	6e-4H
Điện trở của đường dây trung áp tính từ vị trí lắp đặt MV _MOV tới máy biến áp phân phối	R31, R32, R33	0.12 mΩ/m l ₃ = 4m	0.48e-3 Ω
Điện cảm của đường dây trung áp tính từ vị trí lắp đặt MV _MOV tới MBA phân phối	L31, L32, L33	1 μ H/m l ₃ =4m	4e-6 H
Điện dung giữa sơ cấp, thứ cấp máy biến áp	C1, C2, C3	1nF	
Điện dung giữa sơ cấp máy biến áp và đất	C4, C5, C6	1nF	
Điện trở của đường dây hạ áp	R41, R42 R43, R44	0.03 mΩ/m l ₄ = 60m	1.8e-3 Ω
Điện cảm của đường dây hạ áp	L41, L42 L43, L44	0.08 μ H/m l ₄ = 60m	4.8e-6
Điện trở tải 3 pha nối hình sao	R51, R52, R53	5Ω	
Điện trở nối đất thứ cấp MBA phân phối	R1	2Ω	
Điện trở của hệ thống nối đất tòa nhà	R2	10Ω	

*Đánh giá hiệu quả bảo vệ của van chống sét trung áp

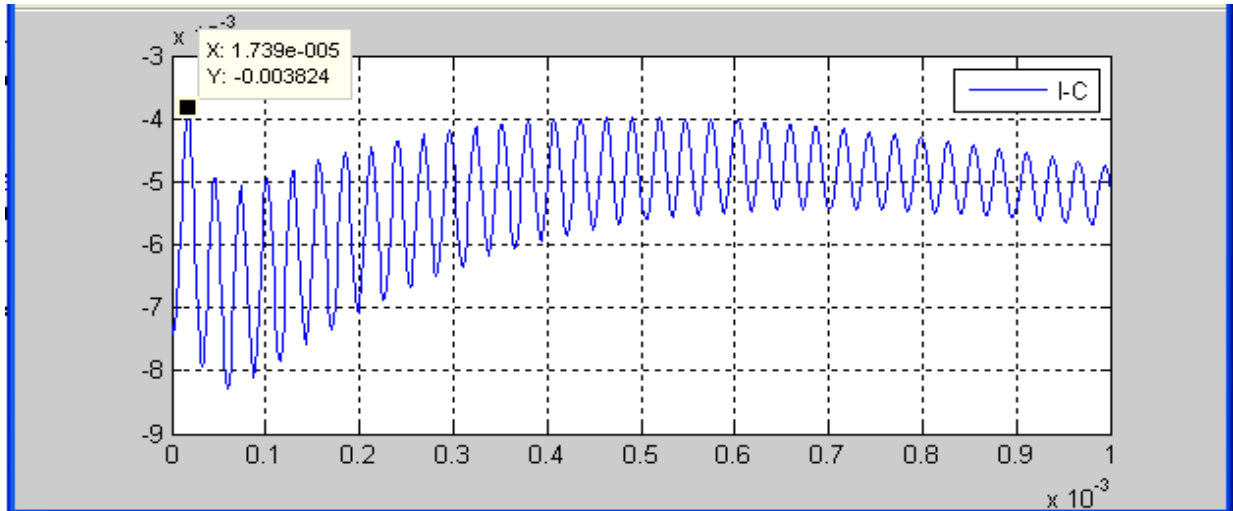
Khi mô phỏng với van chống sét trung thế có điện áp làm việc định mức 12kV, điện áp phóng điện 21,1kV, được gắn tại sơ cấp của máy biến áp phân phối. Dòng xung sét 10/350 μ s có biên độ 10 kA đánh trực tiếp vào pha A trên đường dây trung áp dẫn vào trạm biến áp, khoảng cách từ vị trí sét đánh tới trạm biến áp là 600m. Dạng sóng dòng điện qua chống sét van và điện áp tại đầu cực phía sơ cấp máy biến áp sau khi chạy mô phỏng được trình bày như Hình 5.4, 5.5 và 5.6.



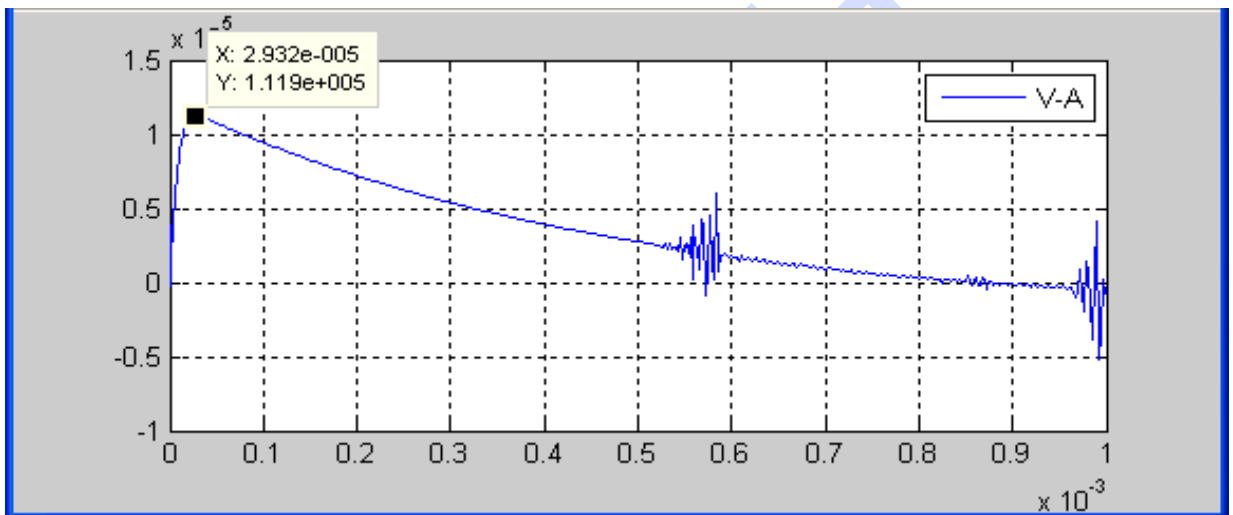
Hình 5.4: Dòng qua van chống sét trung áp gắn vào pha A



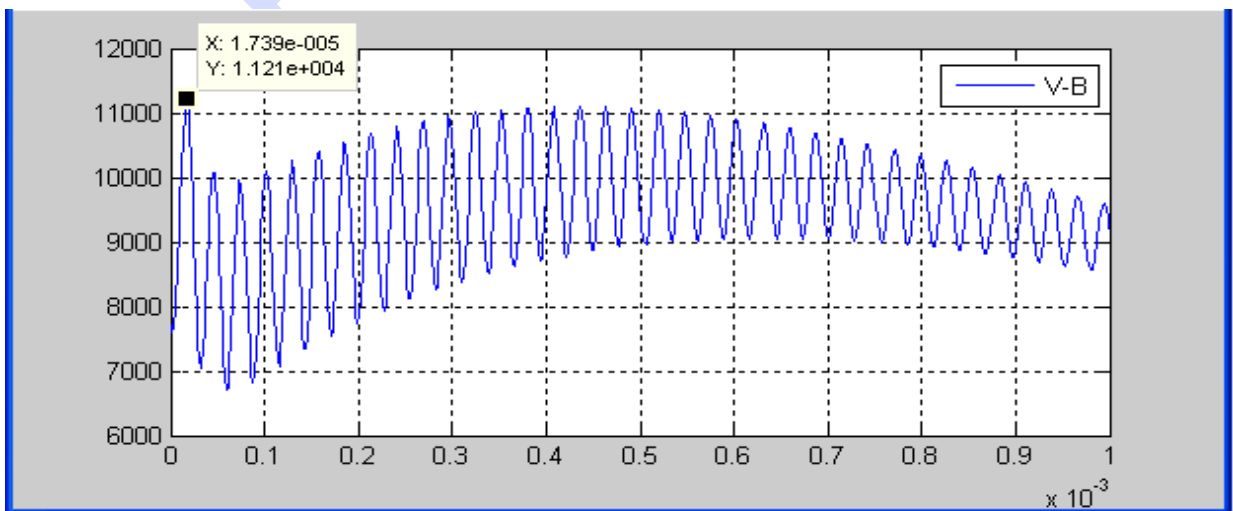
Hình 5.5: Dòng qua van chống sét trung áp gắn vào pha B



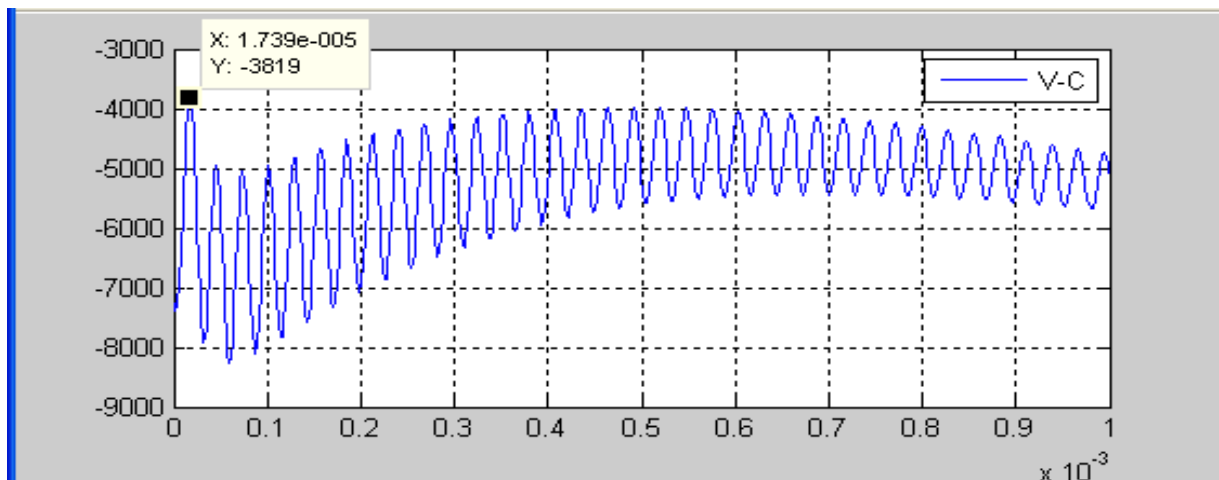
Hình 5.6: Dòng qua van chống sét trung áp gắn vào pha C



Hình 5.7: Điện áp trên pha A phía sơ cấp máy biến áp



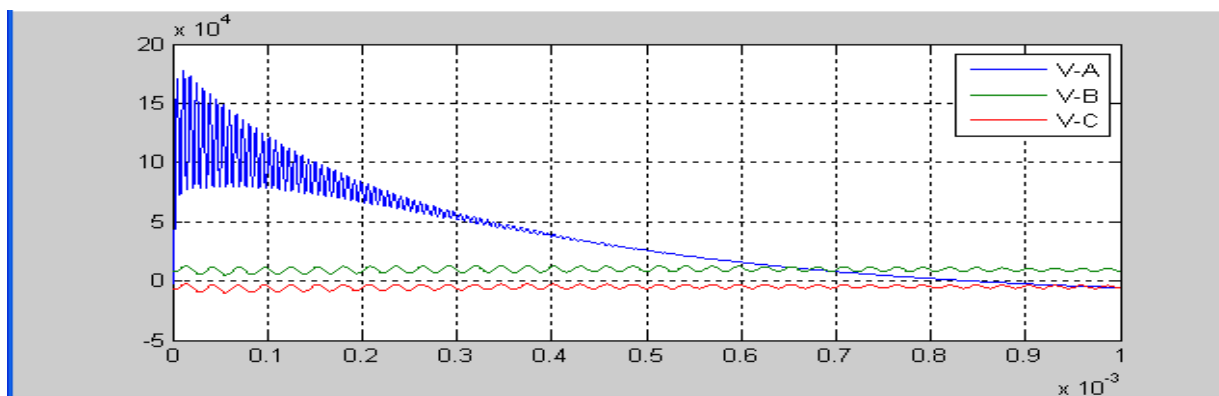
Hình 5.8: Điện áp trên pha B phía sơ cấp máy biến áp



Hình 5.9: Điện áp trên pha C phía sơ cấp máy biến áp

Khi có sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp, dòng điện sét lan truyền dọc theo đường dây và dẫn vào cuộn sơ cấp của máy biến áp MV/LV, lúc này van chống sét trung áp hoạt động dẫn dòng sét theo hệ thống nối đất phía hạ áp xuống đất. Van chống sét trung áp (MV-MOV) đã kẹp điện áp quá độ do xung sét đánh trực tiếp xuống dưới 130kV nhỏ hơn mức cách điện cơ bản của thiết bị (máy biến áp) được bảo vệ (178kV). Như vậy khi gắn van chống sét phía sơ cấp dẫn vào trạm biến áp có thể bảo vệ đảm bảo an toàn cho máy biến áp khi có sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp dẫn vào trạm.

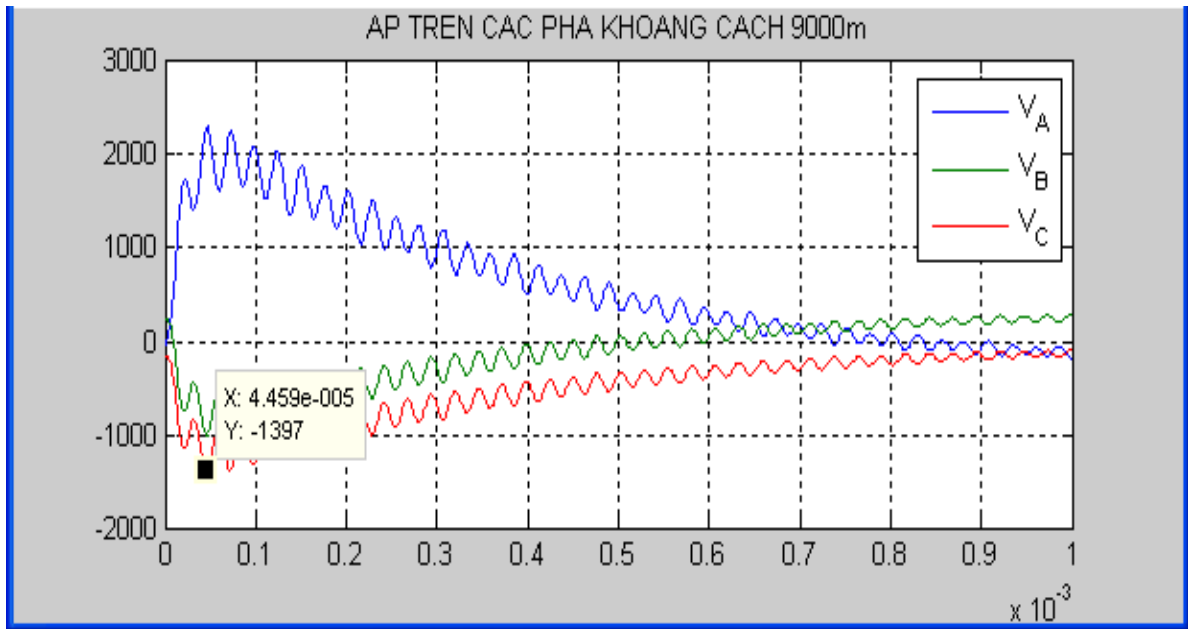
Hiệu quả bảo vệ của van chống sét được thấy rõ qua trường hợp không lắp đặt van chống sét. Kết quả mô phỏng cho thấy điện áp tại các pha phía sơ cấp của máy biến áp lớn hơn mức cách điện cơ bản và có thể phá hỏng cách điện của máy biến áp (Hình 5.10).



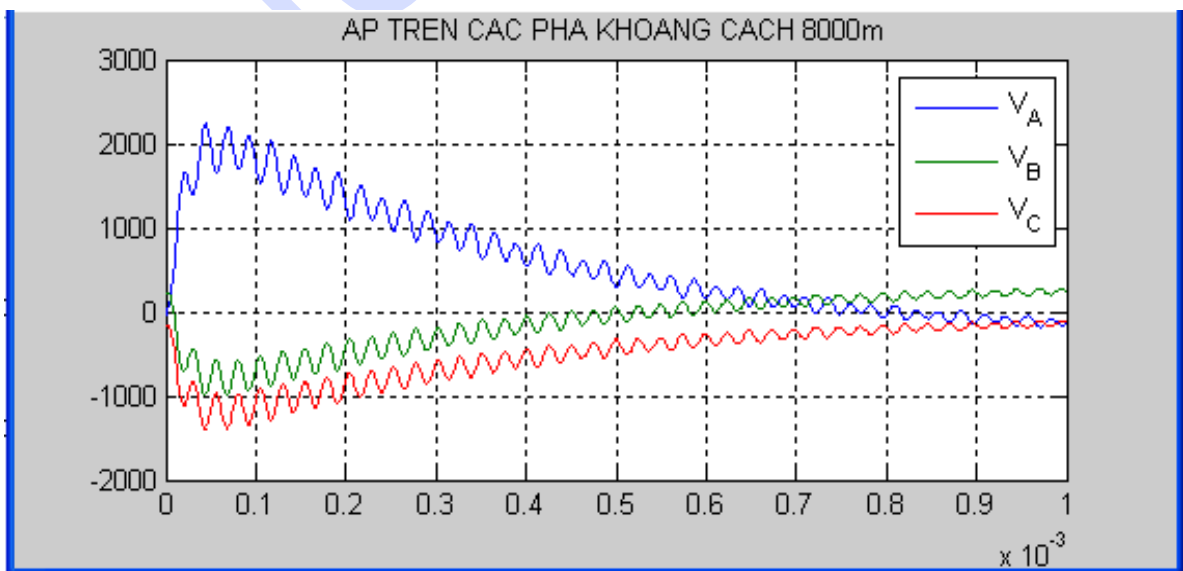
Hình 5.10: Điện áp trên các pha khi không có chống sét van MV_MOV

*Quá điện áp do sét lan truyền qua mạng hạ áp

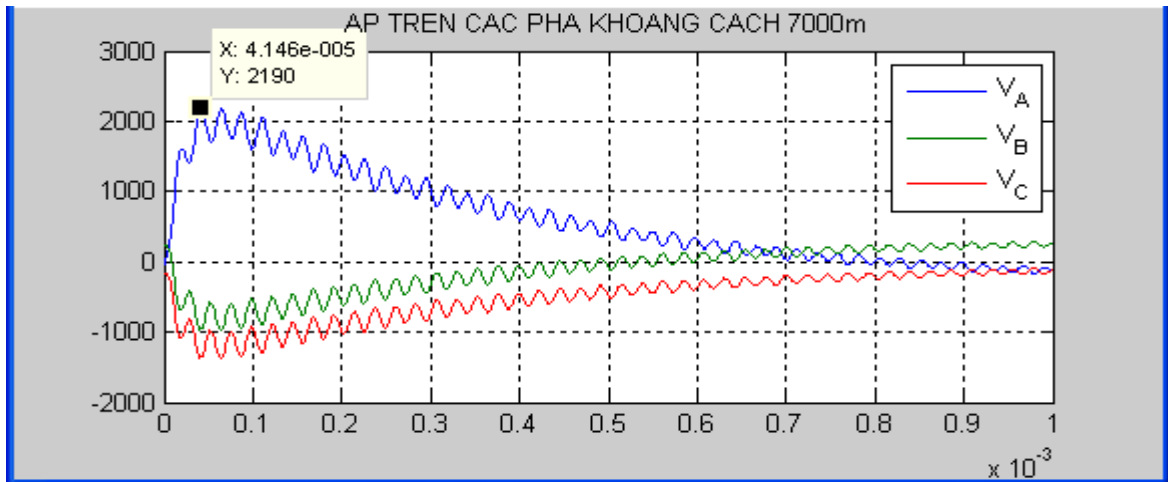
Tiến hành mô phỏng khi lần lượt thay đổi với các vị trí khác nhau mà tại đó sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp dẫn vào trạm biến áp phân phối. Điện áp tại tủ phân phối hạ áp thu được khi mô phỏng được trình bày trong Hình 5.11 đến Hình 5.22.



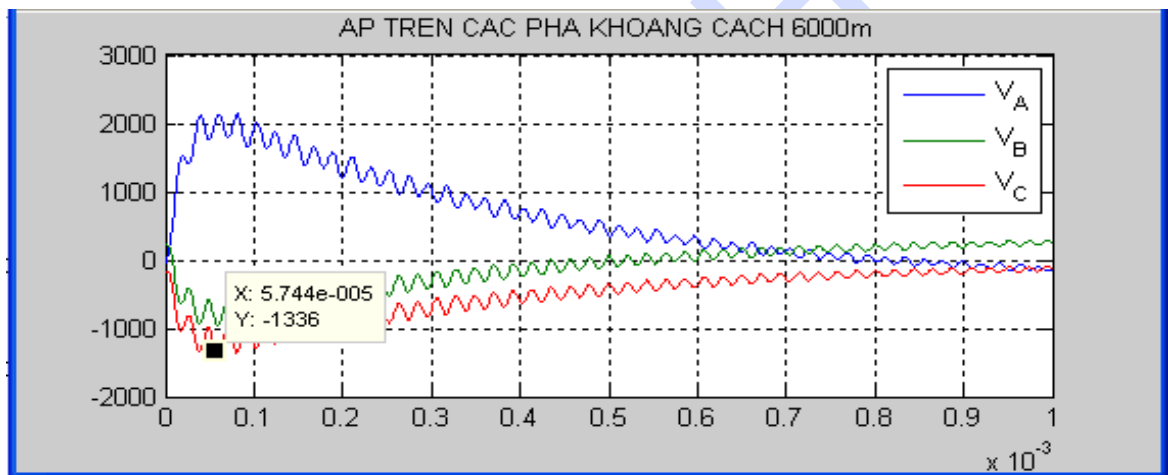
Hình 5.11: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 9000m)



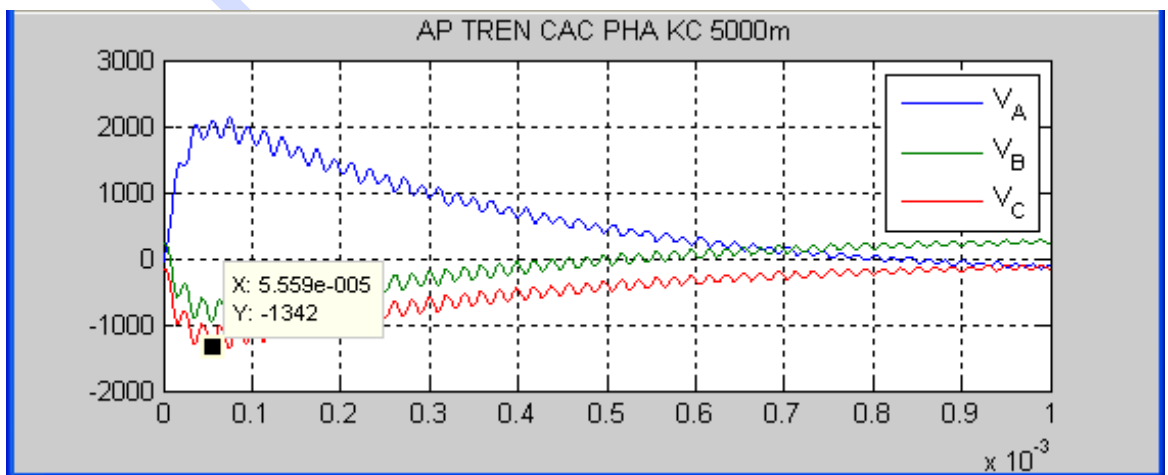
Hình 5.12: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 8000m)



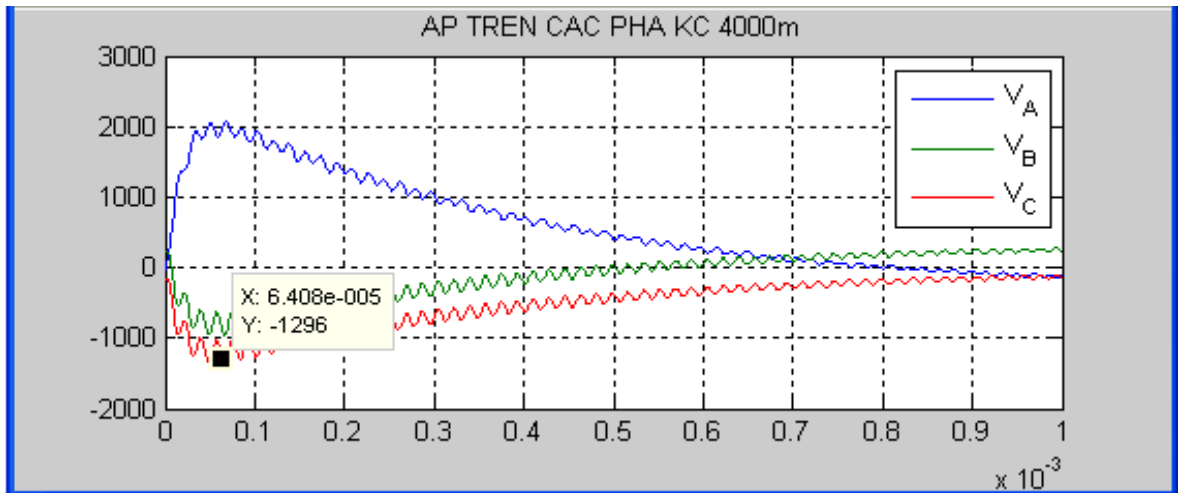
Hình 5.13: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 7000m)



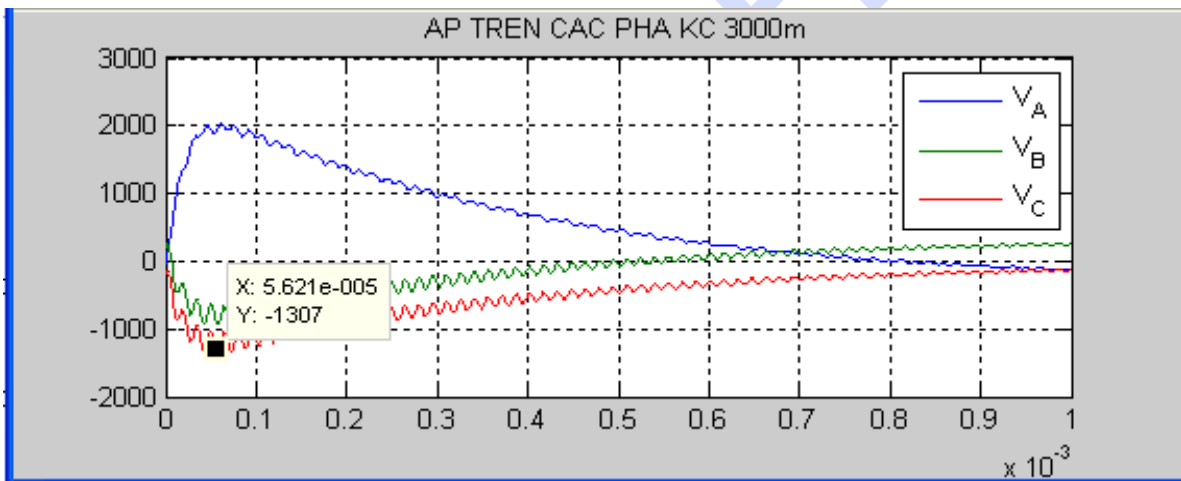
Hình 5.14: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 6000m)



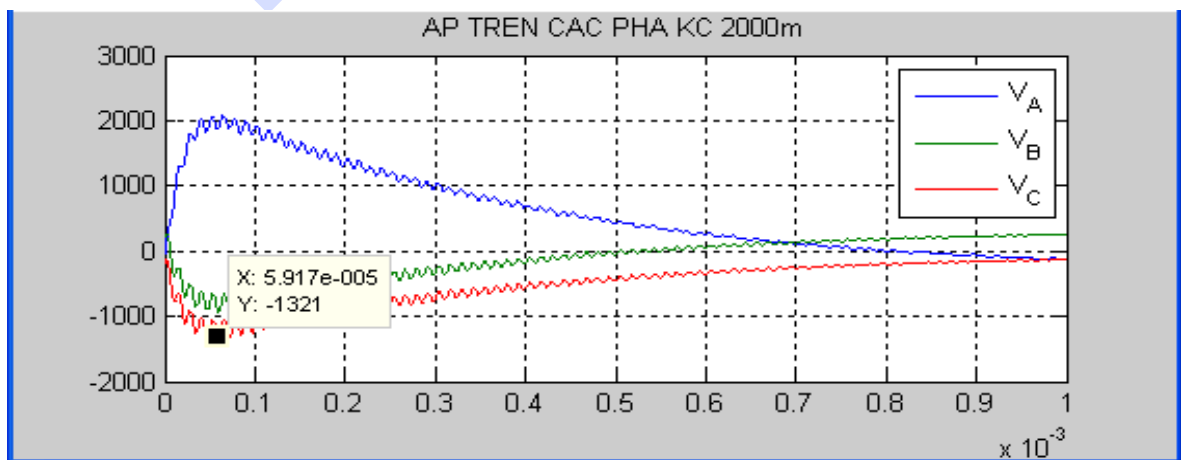
Hình 5.15: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 5000m)



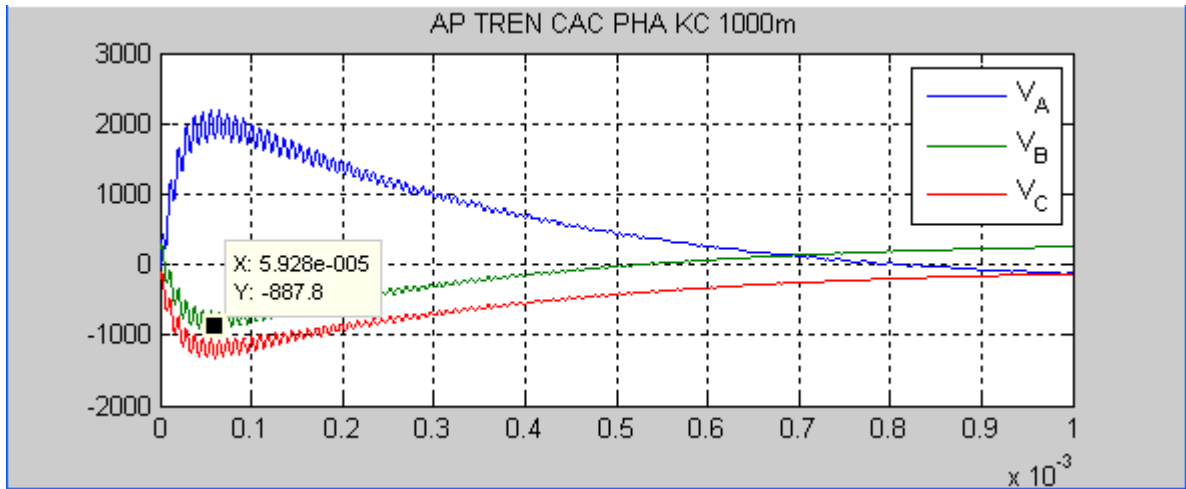
Hình 5.16: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 4000m)



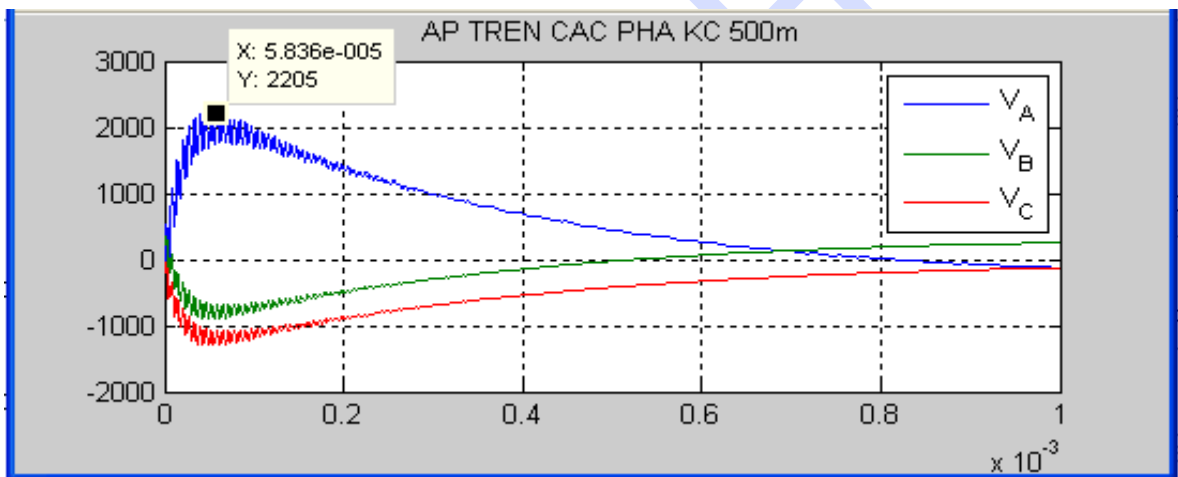
Hình 5.17: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 3000m)



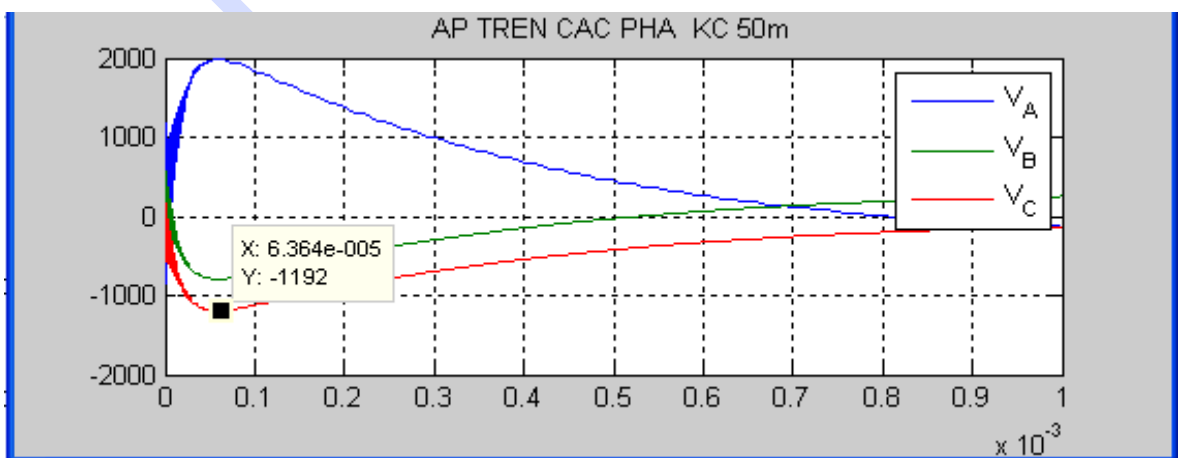
Hình 5.18: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 2000m)



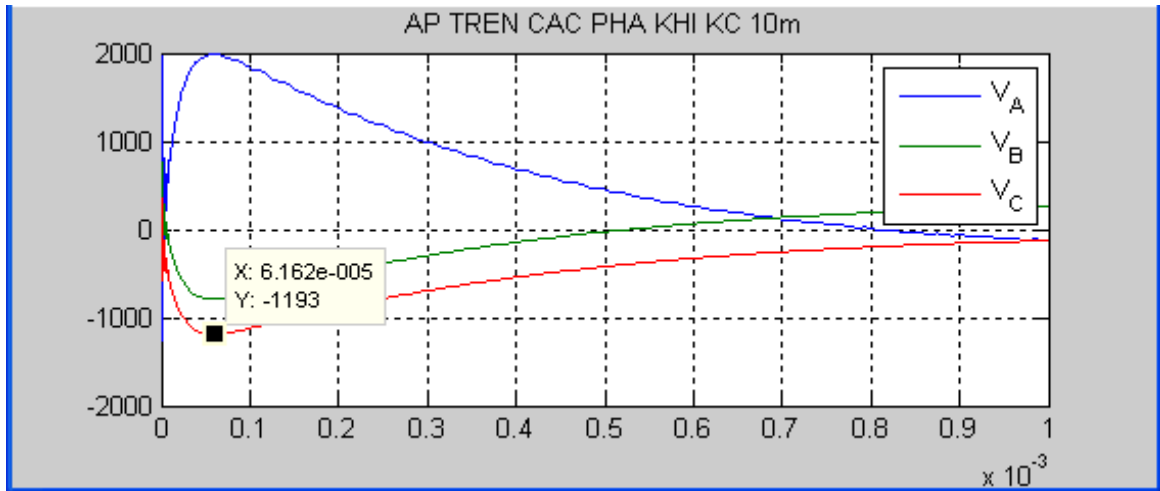
Hình 5.19: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 1000m)



Hình 5.20: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 500m)



Hình 5.21: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 50m)



Hình 5.22: Điện áp tại tủ phân phối khi không lắp đặt LV_MOV
(Khoảng cách từ điểm sét đánh tới máy biến áp là 10m)

Từ kết quả mô phỏng trên cho thấy rằng mặc dù đã lắp đặt van chống sét tại phía sơ cấp dẫn vào trạm biến áp nhưng vẫn xảy ra quá điện áp ở phía hạ áp. Khi sét đánh tới đường dây trung áp trên không tại các vị trí khác nhau đều có thể gây ra quá điện áp bên phía hạ áp, các xung điện áp với biên độ lớn và tốc độ tăng nhanh có thể gây ra đánh thủng cách điện của các thiết bị điện, nhất là các thiết bị điện tử nhạy cảm. Biên độ điện áp cực đại của các pha phía hạ áp tương ứng với khoảng cách từ vị trí sét đánh tới trạm được trình bày trong Bảng 5.2.

Bảng 5.2: Quá điện áp trên tải khi khoảng cách từ vị trí sét đánh tới trạm biến áp thay đổi

Khoảng cách từ điểm sét đánh tới trạm biến áp (m)	Điện áp cực đại của các pha tại tủ phân phối hạ áp		
	Pha A (V)	Pha B (V)	Pha C (V)
9000	2305	969	1397
8000	2225	1000	1377
7000	2190	949	1351
6000	2114	942,8	1336
5000	2126	922	1342
4000	2077	922,3	1296
3000	2027	906	1307
2000	2095	888,7	1321
1000	2188	887,8	1303
500	2205	882	1292

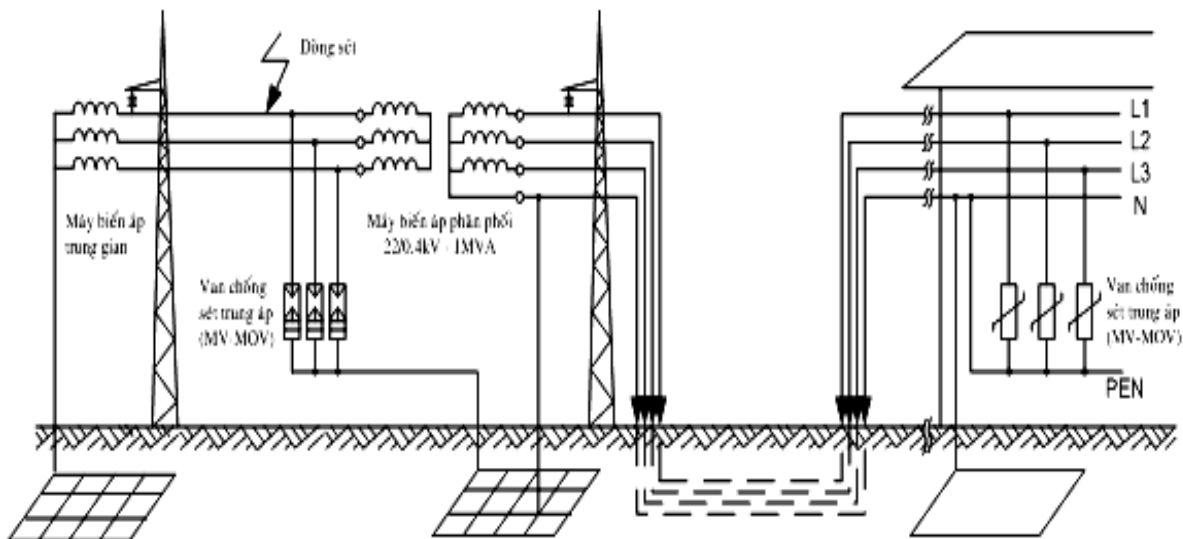
50	2000	793	1192
10	2000	787	1193

Việc lắp đặt các van chống sét trung áp phía sơ cấp máy biến áp có thể bảo vệ an toàn cho trạm biến áp không bị hư hỏng khi có sét đánh trực tiếp tới đường dây dẫn vào trạm. Tuy nhiên, để bảo vệ quá áp cho các thiết bị hạ áp cần phải có các thiết bị bảo vệ quá áp trên mạng hạ áp. Dưới đây trình bày một mô hình mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp khi có lắp đặt van chống sét hạ áp.

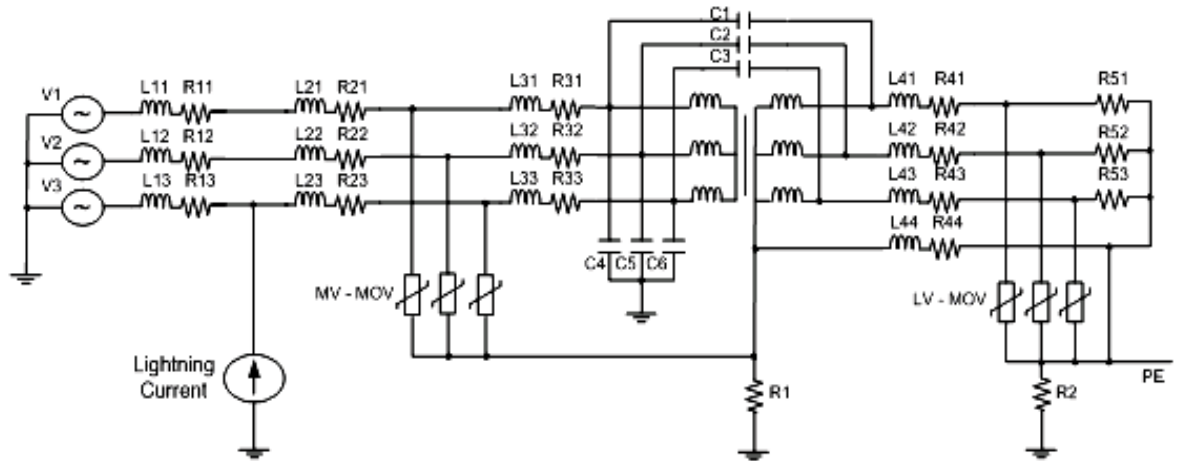
5.2.2. Mô hình hệ thống bảo vệ quá áp khi có van chống sét hạ áp

Thực hiện mô phỏng một hệ thống bảo vệ quá áp như đã trình bày trong mục 6.2.1 ở trên, nhưng ở đây có lắp đặt các van chống sét hạ áp (LV-MOV) tại tủ phân phối hạ áp.

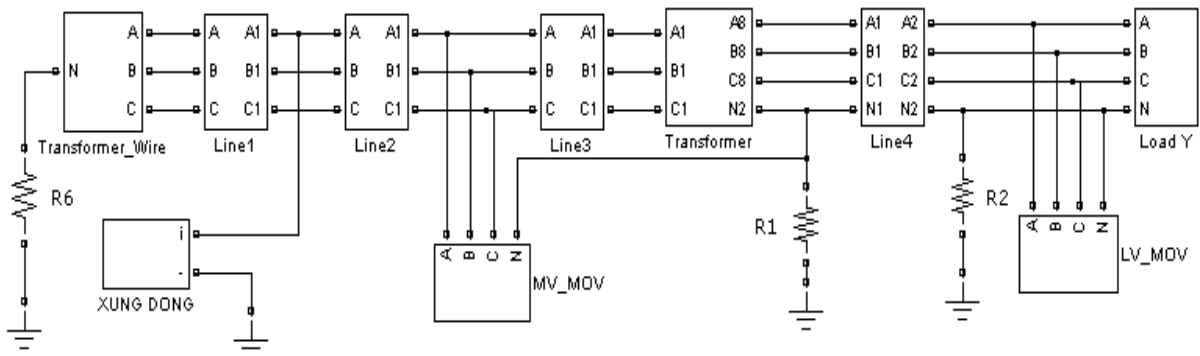
Sơ đồ bố trí các thiết bị bảo vệ quá áp được trình bày trong Hình 5.23. Sơ đồ mạch tương đương của hệ thống bảo vệ quá áp của công trình như trên Hình 5.24. Các thông số của mạch điện mô phỏng được cho như trong Bảng 5.1. Van chống sét hạ áp (LV_MOV) có điện áp làm việc cực đại là 275V, dòng điện chịu đựng cực đại đối với xung dòng 8/20 μ s là 40 kA, mức bảo vệ quá áp < 1500V.



Hình 5.23: Sơ đồ hệ thống bảo vệ quá áp của công trình khi có lắp LV_MOV



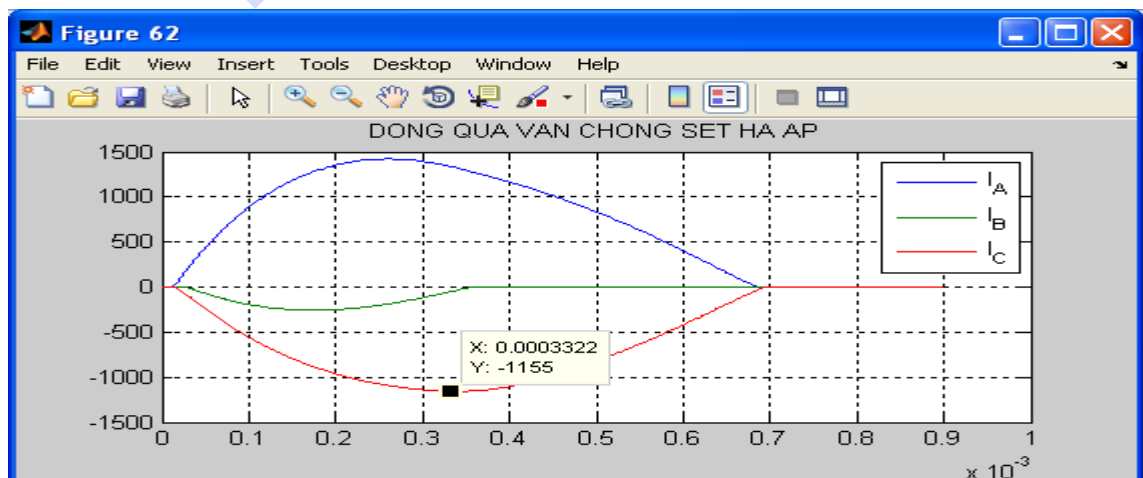
Hình 5.24: Sơ đồ mạch tương đương hệ thống khi có lắp LV_MOV



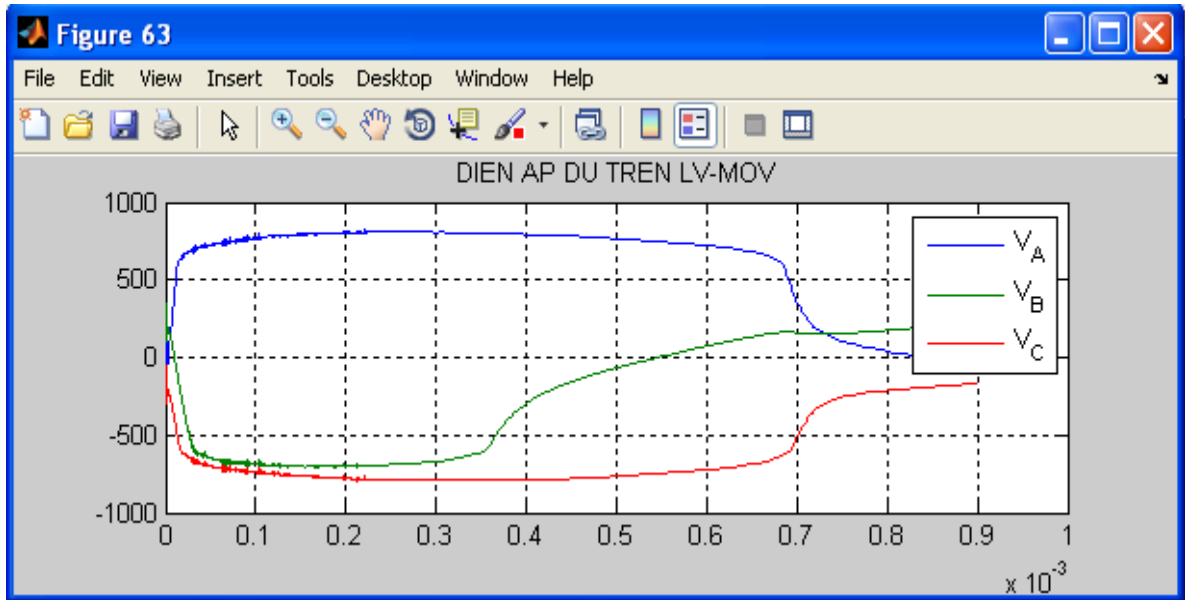
Hình 5.25: Sơ đồ mạch mô phỏng hệ thống khi có lắp LV_MOV

*Đánh giá hiệu quả bảo vệ chống quá áp của LV-MOV

Chạy mô phỏng mô hình với các thông số như trên, với khoảng cách từ vị trí sét đánh tới trạm biến áp là 600m. Dòng điện đi qua van chống sét hạ áp (LV_MOV) và điện áp trên tải được trình bày như Hình 5.26 và 5.27



Hình 5.26: Dòng điện qua các van chống sét hạ áp LV_MOV



Hình 5.27: Điện áp dư trên các van chống sét hạ áp LV_MOV

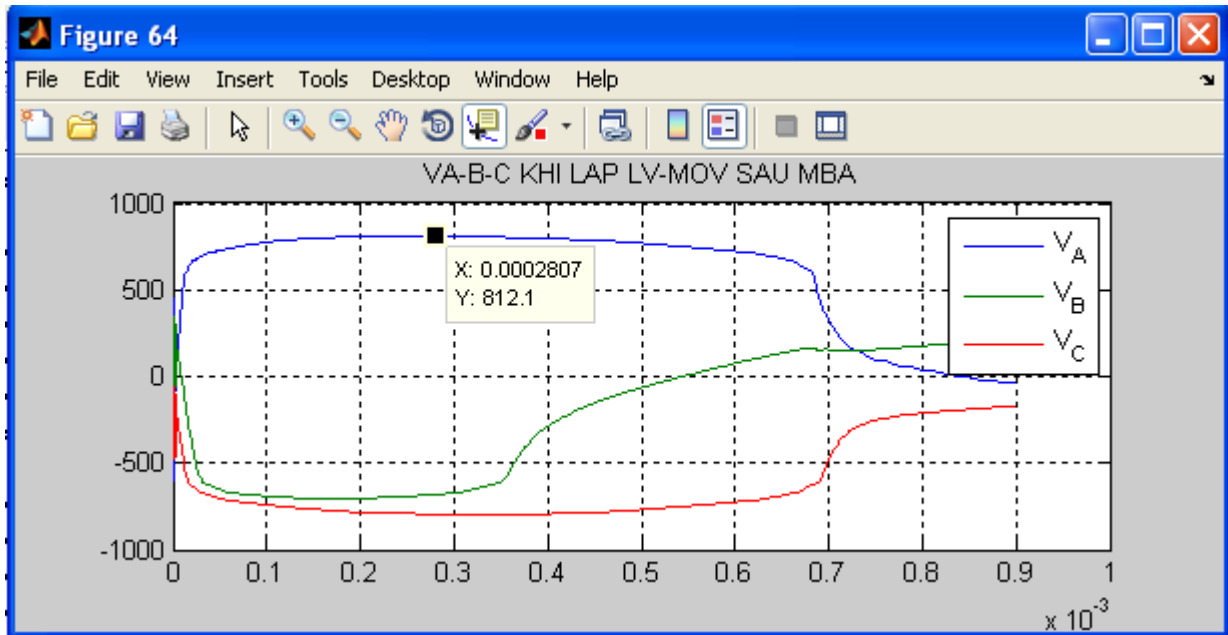
Khi có dòng xung sét lan truyền sang phía hạ áp của máy biến áp gây ra quá điện áp trong hệ thống hạ áp, van chống sét hạ áp (LV_MOV) hoạt động dẫn xung dòng điện trong các pha vào hệ thống nối đất hạ áp. Trên hình 5.27, van chống sét hạ áp đã kẹp điện áp do xung sét lan truyền xuống dưới 1200V nhỏ hơn mức điện áp cách điện cơ bản của thiết bị cung cấp phía sau hệ thống bảo vệ đảm bảo an toàn cho các thiết bị điện – điện tử trong hệ thống hạ áp.

***Điều chỉnh vị trí lắp đặt LV-MOV**

Việc lắp đặt van chống sét hạ áp có thể bảo vệ quá áp cho các thiết bị điện. Tuy nhiên vẫn xuất hiện các dao động điện do các thành phần cảm kháng và dung kháng trên hệ thống điện, những dao động này vẫn có thể gây nguy hiểm cho các thiết bị điện tử nhạy cảm. Để giải quyết vấn đề này một giải pháp được đưa ra là giảm quá điện áp ngay tại cuộn dây thứ cấp (hạ áp) của máy biến áp bằng cách lắp đặt van chống sét hạ áp ngay tại đầu hạ áp của máy biến áp. Kết quả mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp ở trên với van chống sét hạ áp được lắp đặt tại đầu hạ áp của máy biến áp phân phối được trình bày trong Hình 5.28.

Từ kết quả mô phỏng cho thấy, lắp đặt van chống sét hạ áp ngay tại đầu hạ áp của máy biến áp có thể giảm được các dao động do dòng sét lan truyền qua máy biến

áp nhằm đảm bảo an toàn cho các thiết bị điện – điện tử.



Hình 5.28: Điện áp dư trên các van chống sét hạ áp LV_MOV

5.3. Nhận xét

Mô hình van chống sét trung áp (MV_MOV) và hạ áp (LV_MOV) đã xây dựng được áp dụng vào mô phỏng bảo vệ quá điện áp trên đường nguồn hạ áp cung cấp cho các công trình công nghiệp khi có sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp trên không và lan truyền qua máy biến áp sang phía hạ áp. Nghiên cứu mô phỏng quá độ điện áp ngang qua hệ thống điện được thực hiện với:

- ☐ Trường hợp sét đánh trực tiếp tới một pha của đường dây trung áp;
- ☐ Mô hình hệ thống bảo vệ quá áp không có van chống sét hạ áp;
- ☐ Mô hình hệ thống bảo vệ quá áp có van chống sét hạ áp.

***Từ những kết quả mô phỏng cho thấy**

1. Khi có quá điện áp sét truyền theo đường dây vào trạm biến áp, van chống sét trung áp sẽ làm việc tháo dòng điện sét xuống đất và chỉ duy trì một điện áp dư trên điện trở không đường thẳng của nó. Như vậy, chống sét van đã hạn chế trị số của quá điện áp sét xuống dưới một trị số cho phép bảo đảm an toàn cho các thiết bị trong trạm.

2. Mặc dù đã có gắn van chống sét trung áp phía sơ cấp máy biến áp, quá độ điện áp vẫn xảy ra bên phía hạ áp do sự lan truyền dòng điện sét qua máy biến áp và ảnh hưởng của các thành phần cảm kháng và dung kháng của hệ thống đã gây ra những dao động điện áp trên hệ thống hạ áp, các dao động điện áp này sẽ gây hư hỏng cho các thiết bị điện – điện tử trong hệ thống.

3. Để bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp do sét lan truyền, việc lắp đặt van chống sét hạ áp là cần thiết.

4. Vị trí quan trọng nhất cho lắp đặt van chống sét là trạm biến áp, phía sơ cấp và thứ cấp. Một vài vị trí khác trên đường dây hạ áp là quan trọng nhưng không bằng trạm biến áp.

CHƯƠNG 6: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN

Với sự phát triển của kỹ thuật mô hình hoá và mô phỏng hiện nay, luận văn đã đi sâu nghiên cứu áp dụng phần mềm MatLab để xây dựng mô hình nguồn phát xung sét chuẩn. Nghiên cứu cấu tạo và nguyên lý hoạt động của chống sét van và từ đó xây dựng hai mô hình chống sét van dạng biến trở oxide kim loại (MOV) trên lưới trung thế và hạ thế làm tiền đề cho việc khảo sát, nghiên cứu hiệu quả bảo vệ của các hệ thống bảo vệ quá áp do sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp. Từ nội dung đã nghiên cứu và kết quả đạt được có thể rút ra các kết luận sau:

6.1. Mô hình toán nguồn phát xung sét không chu kỳ chuẩn

Các xung không chu kỳ chuẩn gồm xung dòng điện và xung điện áp là những dạng xung cơ bản rất cần thiết cho việc thử nghiệm các thiết bị bảo vệ quá áp cũng như thử nghiệm cách điện của các thiết bị điện. Trong phần mềm Matlab không có nguồn phát xung sét chuẩn. Để làm tiền đề cho việc nghiên cứu luận văn đã tập trung xây dựng mô hình nguồn phát xung sét không chu kỳ chuẩn (xung dòng 8/20 μ s, 1/5 μ s và 10/350 μ s)

Từ các phương trình hàm mũ (3.1), (3.2) và các đường cong Hình 3.12, 3.13, 3.14, sử dụng tính năng Curve Fiting Toolbox của phần mềm Matlab để tìm ra các thông số của mô hình toán nguồn phát xung sét chuẩn với độ chính xác tốt nhất. Sau đó sử dụng Matlab để mô phỏng nguồn phát xung sét không chu kỳ chuẩn.

Kết quả mô phỏng với các dạng xung dòng 8/20 μ s, 1/5 μ s và 10/350 μ s với các giá trị biên độ 1,5kA, 2kA, 3kA, 5kA, 10kA, 20kA đối chiếu với xung tiêu chuẩn đều cho sai số nhỏ hơn 5%. Mô hình có cấu trúc đi kèm là:

- Tính toán nhanh được các thông số mô phỏng, mặc dù các thông số được tính theo phương pháp gần đúng nhưng có thể chấp nhận được vì các thông số nằm trong phạm vi cho phép.

- Giao diện thân thiện dễ sử dụng, thông số của mô hình có thể nhập

trực tiếp qua hộp thoại.

-Kết quả mô phỏng của mô hình cho dạng sóng phù hợp với các xung sét chuẩn đã được quy định trong các tiêu chuẩn trong và ngoài nước.

6.2. Nghiên cứu sét lan truyền và cấu tạo, nguyên lý hoạt động của MOV

Luận văn cũng đi sâu nghiên cứu đặc điểm, các thông số của sét lan truyền, cấu tạo, nguyên lý hoạt động của biến trở oxide kim loại (MOV) để làm tiền đề cho việc xây dựng mô hình MOV trung thế, hạ thế cũng như nghiên cứu ảnh hưởng của sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh vào đường dây trung áp.

Qua nghiên cứu thấy rằng đối với dạng sóng mà thời gian đạt đỉnh khoảng $8\mu s$, hiệu ứng động sẽ đóng vai trò chính yếu. Điện áp dư sẽ tăng lên khi thời gian đạt đỉnh của xung dòng điện giảm xuống và điện áp dư sẽ đạt đỉnh trước khi dòng điện đạt đỉnh. Điện áp qua chống sét van không chỉ là hàm của dòng phóng điện mà còn phụ thuộc vào độ dốc của nó. Do đó mô hình đơn giản trong Matlab không đáp ứng được, đòi hỏi phải có một mô hình phức tạp hơn.

6.3. Xây dựng mô hình MOV trung thế và hạ thế

Mô hình MOV trong Matlab chỉ là một mô hình đơn giản, gần đúng vì với các loại MOV khác nhau người sử dụng phải nhập lại các giá trị k , α tương ứng với đặc tính V-I của nó. Việc xác định 2 thông số này nói chung là khá phức tạp và dễ phát sinh sai số ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng của mô hình trong khi mô hình MOV hạ thế đòi hỏi độ chính xác khá cao. Mô hình này chỉ có thể dùng để mô phỏng với các xung đóng cắt vì bản thân nó không có đặc tính đáp ứng động dùng để mô phỏng với các xung sét hay các xung có đầu sóng tăng nhanh rất quan trọng trong nghiên cứu phối hợp cách điện. Việc này dẫn đến cần thiết phải tìm ra một mô hình khác thích hợp hơn.

Hiện nay trên thế giới, nhiều hãng sản xuất, nhiều tác giả đưa ra hàng loạt các mô hình MOV khác nhau và đề nghị nhiều phương pháp xác định thông số khác nhau. Phần lớn các tác giả đều đưa ra các thuật toán xác định thông số của mô hình với độ

chính xác chấp nhận được. Trong vài trường hợp việc tính toán và hiệu chỉnh thông số cần thực hiện thủ tục lặp, thí nghiệm hay đòi hỏi những thông số khó được cung cấp từ nhà sản xuất. Trong luận văn này đã đề nghị hai mô hình chống sét van hạ thế LV_MOV và chống sét van trung thế MV_MOV. Mô hình được xây dựng dựa trên mô hình của IEEE, Manfred Holzer và Willi Zapsky với một vài hiệu chỉnh nhỏ, với thuật toán đơn giản và hiệu quả trong việc xác định thông số của mô hình.

Mô hình MOV hạ thế được xây dựng dựa trên ý tưởng mô hình MOV của Manfred Holzer và Willi Zapsky với một vài hiệu chỉnh: Biến trở MOV được thay thế bởi một phần tử điện trở phi tuyến có đặc tính $V - I$, một tụ điện C_P mắc song song với nó cùng với một điện trở song song R_P . Tất cả các phần tử này được nối tiếp với một điện cảm L_s và điện trở R_s như Hình 4.20.

Mô hình MOV trung thế được xây dựng dựa trên mô hình IEEE với một hiệu chỉnh nhỏ, đó là tụ điện C được loại bỏ do ảnh hưởng của nó đến mô hình không đáng kể. Mô hình gồm hai điện trở phi tuyến A_0 và A_1 . Giữa các phần tử phi tuyến A_0 và A_1 là các bộ lọc R-L, điện trở R_P là điện trở của MOV trong vùng dòng điện rò.

Mô hình hoạt động về thực chất cũng giống như mô hình do IEEE đề nghị. Với các xung đầu dốc thấp, bộ lọc R-L có trở kháng rất nhỏ và như thế A_0 và A_1 xem như mắc song song nhau. Đối với xung đầu dốc cao, điện kháng bộ lọc lớn, nó sẽ cho dòng điện chạy qua A_0 nhiều hơn A_1 . Từ đó A_0 sẽ có điện áp rơi trên nó lớn hơn A_1 khi có dòng điện chạy qua. Kết quả là điện áp dư trên mô hình chống sét van sẽ có trị số cao hơn. Như vậy, các chống sét van MOV có điện áp dư cao hơn đối với xung đầu dốc cao, mô hình sẽ phù hợp với tất cả các tính chất của một chống sét van MOV (Hình 4.34).

Sử dụng mô hình nguồn phát xung sét chuẩn, mô hình MOV trung thế và hạ thế để thực hiện mô phỏng với các xung dòng 8/20 μs , 1/5 μs , 10/350 μs với các biên độ dòng sét từ 1,5kA đến 40kA. Kết quả mô phỏng được so sánh, đối chiếu với kết quả thí nghiệm của nhiều nhà sản xuất khác nhau đã chứng tỏ mô hình khá chính xác, với sai

số lớn nhất khoảng 4,5%.

6.4. Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp

Sử dụng các mô hình nguồn phát xung sét chuẩn, MOV trung thế và hạ thế đã xây dựng khảo sát một hệ thống bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp cung cấp cho các công trình công nghiệp khi xung sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp trên không và lan truyền qua máy biến áp. Từ kết quả mô phỏng rút ra một số kết luận:

-Các đường dây trên không, dù có được bảo vệ chống sét hay không thì các thiết bị nối với chúng đều bị tác động của sóng sét truyền từ đường dây đến. Biên độ quá điện áp khí quyển có thể lớn hơn điện áp thí nghiệm xung kích và cách điện của thiết bị, dẫn đến chọc thủng cách điện, phá hủy thiết bị và gây ra sự cố, mạch điện bị cắt ra. Các thiết bị chống sét sẽ hạ thấp biên độ sóng quá điện áp đến trị số an toàn cho cách điện cần được bảo vệ.

-Quá điện áp phía trung áp của máy biến áp phân phối trung/hạ áp, do sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp trên không có thể gây nguy hiểm cho các thiết bị cao áp, truyền qua phía hạ áp và các thiết bị điện hạ áp gây hư hỏng các thiết bị này. Do đó cần có các thiết bị bảo vệ quá áp trên đường dây trung và hạ áp.

-Khi có quá điện áp sét truyền theo đường dây vào trạm biến áp, van chống sét trung áp sẽ làm việc tháo dòng điện sét xuống đất và chỉ duy trì một điện áp dư trên điện trở không đường thẳng của nó. Như vậy, chống sét van đã hạn chế trị số của quá điện áp sét xuống dưới một trị số cho phép bảo đảm an toàn cho các thiết bị trong trạm.

-Mặc dù đã có gắn van chống sét trung áp phía sơ cấp máy biến áp, quá độ điện áp vẫn xảy ra bên phía hạ áp do sự lan truyền dòng điện sét qua máy biến áp và ảnh hưởng của các thành phần cảm kháng và dung kháng của hệ thống đã gây ra những dao động điện áp trên hệ thống hạ áp, các dao động điện áp này sẽ gây hư hỏng cho các thiết bị điện – điện tử trong hệ thống.

-Để bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp do sét lan truyền, việc lắp đặt van

chống sét hạ áp là cần thiết.

-Vị trí quan trọng nhất cho lắp đặt van chống sét là trạm biến áp, phía sơ cấp và thứ cấp. Một vài vị trí khác trên đường dây hạ áp là quan trọng nhưng không bằng trạm biến áp.

Trong khoảng thời gian thực hiện đề tài, tác giả đã hoàn thành một khối lượng công việc khá lớn: Vừa nghiên cứu phần mềm mô phỏng MatLab, vừa nghiên cứu cấu tạo, nguyên lý hoạt động của các thiết bị bảo vệ quá áp (vốn rất ít tài liệu của nước ta trình bày trước đây), cộng với việc nghiên cứu các mô hình đã có từ trước. Thực hiện xây dựng mô hình van chống sét, kiểm tra đáp ứng, sau đó áp dụng các mô hình khảo sát một hệ thống bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp... trong điều kiện tài liệu tham khảo chưa thật đầy đủ nên không tránh khỏi những hạn chế, thiếu sót.

Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp thêm một công cụ mô phỏng hữu ích cho các nhà nghiên cứu, các giảng viên, sinh viên các trường đại học trong việc nghiên cứu các đáp ứng của thiết bị chống sét, dưới tác động của xung sét lan truyền và đánh giá hiệu quả của các hệ thống bảo vệ chống sét lan truyền trong các công trình.

6.5. Hướng nghiên cứu phát triển

Trong thời gian tới, hướng phát triển của đề tài có thể được tiếp tục phát triển theo các hướng sau:

1)Nghiên cứu lập mô hình chống sét van cấp trạm và cấp trung gian với các đặc tính kỹ thuật phức tạp hơn.

2)Thực hiện các mô hình mô phỏng các đáp ứng của chống sét van trên lưới phân phối khi có quá điện áp xảy ra ở các vị trí khác nhau trên hệ thống điện.

3)Thực hiện nghiên cứu sự phối hợp đồng bộ của các thiết bị bảo vệ quá áp trong hệ thống bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi xung sét lan truyền từ phía cao (trung thế) sang phía hạ (hạ thế) của máy biến áp phân phối.

12. Tài liệu tham khảo

- [1]. Thiết bị chống sét lan truyền trên đường cấp nguồn – Tạp Chí Bưu chính Viễn Thông - Quyền Huy Ánh
- [2]. TS Hoàng Việt, “*Kỹ thuật điện cao áp*” phần 2, TP.HCM 2001.
- [3]. Matlab & Simulink – Nguyễn Phùng Quang – NXBKHKHT Hà Nội 2008
- [4]. Andrzej Sowa, jaroslaw Wiater, “*Overvoltage in low-voltage power distribution systems caused by direct lightning strokes to medium voltage lines*”, Bialystok Technical University.
- [5]. Application Guide - TRANQUELL Station Surge Arrester, GET-6460.
- [6]. Bassi W., janiszewski J.M., “*Eveluation of Currents and Charges in low-voltage Surge Arresters Due to nightning Strikes*” IEEE trans. On Power Delivery, vol.18, No1, 2003.
- [7]. Birgitte Bak-Jensen, “*Modelling of ZnO-varistors with frequency independent circuit element model*”, 25th International Conference on Lightning Protection, ICLP 2000, pp. 742-747.
- [8]. David R. Clarke, “*Varistor Ceramics*”, University of California, USA.
- [9]. Daniel W. Durbak, “*Surge Arrester Modeling*”, Power Technologies, Schenectady, New York.
- [10]. Elpro International Ltd, “*ELPRO Surge Arrester*”.
- [11]. F. Heidler, J.M.Cvetic, B.V.Stanic, “*Calculation of Lightning Current Parameters*”, IEEE Transactions on Power Delivery Vol.14, No.2, April 1999, pp. 399 - 404.
- [12]. F. Fernandez, R. Diaz, “*Metal-oxide surge arrester model for fast transient simulations*”, National University of Tucuman, Argentina.
- [13]. Hubbell Power System, “*How does a metal Oxide Distribution Arrester work?*”.
- [14]. Hubbell Power System, “*Zinc-Oxide Arrester Design and Characteristics*”
- [15]. Catalogue và hướng dẫn sử dụng chống sét van của các hãng: GE, ABB, COOPER, SIEMENS, ELPRO, OHIO-BRASS.

ĐỀ CƯƠNG LUẬN VĂN THẠC SĨ
ĐỀ TÀI
NGHIÊN CỨU BẢO VỆ QUÁ ÁP TRÊN ĐƯỜNG NGUỒN HẠ ÁP KHI SÉT
ĐÁNH TRỰC TIẾP VÀO ĐƯỜNG DÂY TRUNG ÁP

I. Đặt vấn đề

Theo ước tính của các nhà chuyên môn, trên khắp mặt địa cầu, cứ mỗi giây, có khoảng 100 lần sét đánh xuống mặt đất. Sét không những có thể gây thương vong cho con người mà còn có thể phá hủy những tài sản của con người như các công trình xây dựng, công trình cung cấp năng lượng, hoạt động hàng không, các thiết bị dùng điện, các Đài Truyền thanh – Truyền hình, các hệ thống thông tin liên lạc...

Việt Nam là một nước nằm trong khu vực nhiệt đới ẩm gió mùa, khí hậu Việt Nam rất thuận lợi cho việc phát sinh, phát triển của dông sét. Số ngày dông có ở Việt Nam thuộc loại khá lớn. Trong mạng điện, quá điện áp và quá trình quá độ do sét đánh là nguyên nhân chủ yếu gây ra các sự cố lưới điện và làm hư hỏng các thiết bị lắp đặt trên lưới. Nên việc đề ra các giải pháp chống sét, lựa chọn, phối hợp các thiết bị bảo vệ phù hợp và nghiên cứu chế tạo thiết bị chống sét đóng vai trò rất quan trọng trong việc hạn chế những tác hại do sét gây ra. Hiện nay chống sét trực tiếp đã được quan tâm với các giải pháp từ cổ điển đến hiện đại. Tuy nhiên, số liệu thống kê chỉ ra hơn 70% hư hỏng do sét gây ra lại do sét đánh lan truyền hay cảm ứng theo đường cấp nguồn và đường truyền tín hiệu.

Thiệt hại do sét lan truyền trong các thiết bị dùng điện trong thực tế là rất lớn. Theo thống kê, hàng năm cả nước có hàng nghìn trường hợp các thiết bị điện tử trong gia đình, doanh nghiệp bị sét tấn công, thiệt hại lên tới hàng trăm tỉ đồng. Chủ yếu là các thiết bị điện tử như: tivi, máy tính, đầu đĩa, thiết bị thông tin viễn thông ... nên việc đề ra giải pháp chống sét lan truyền trên đường nguồn, đường cáp tín hiệu đóng vai trò rất quan trọng.

Nhìn chung, mạng hạ áp không truyền tải công suất lớn nhưng lại trải trên diện rộng và cung cấp điện năng trực tiếp cho các hộ tiêu thụ nên nó lại là nguyên nhân dẫn sét vào công trình, gây nên dịch vụ, hư hỏng thiết bị. Thống kê cho thấy, hậu quả không mong muốn của quá áp do sét lan truyền trên mạng phân phối hạ áp gây ra thiệt hại rất lớn và nhiều lúc không thể đánh giá cụ thể được. Vấn đề được đề cập một cách cấp bách trong những năm gần đây là các trang thiết bị điện tử đã trở thành các thiết bị được sử dụng ngày càng nhiều và rất phổ biến trong các tòa nhà, các công trình ở mọi lãnh vực như bưu chính viễn thông, phát thanh, truyền hình, công nghiệp.... Các thiết bị này vốn rất nhạy cảm với điện áp và cách điện dự trữ của chúng rất mong manh vì thế cần phải tính toán lựa chọn, phối hợp và kiểm tra các thiết bị bảo vệ chống sét một cách hiệu quả, chính xác để tránh xảy ra hư hỏng cho các thiết bị này.

Do các thiết bị chống sét là thiết bị phi tuyến cho nên việc đánh giá các đáp ứng ngõ ra ứng với sóng sét lan truyền với mức chính xác cao theo phương pháp giải tích truyền thông gặp nhiều khó khăn. Bên cạnh đó, do nước ta vẫn còn bị hạn chế về trang thiết bị thí nghiệm cao áp, số lượng phòng thí nghiệm cao áp còn khiêm tốn nên rất khó khăn cho công tác thiết kế, nghiên cứu bảo vệ chống sét lan truyền tại Việt Nam. Tuy nhiên, ngày nay, với sự phát triển của kỹ thuật mô hình hóa và mô phỏng đã giúp cho chúng ta hiểu biết thêm về sự tương tác giữa các yếu tố cấu thành một hệ thống cũng

như toàn bộ hệ thống, đặc biệt là rất hữu ích cho việc mô phỏng sét.

Hiện nay, các nhà nghiên cứu và một số nhà sản xuất thiết bị chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp cùng một số phần mềm mô phỏng hỗ trợ đã đề ra mô hình thiết bị chống sét lan truyền với mức độ chi tiết và quan điểm xây dựng mô hình khác nhau. Tuy nhiên, do đặc điểm của phương pháp mô hình hóa mô phỏng và yêu cầu về mức độ chính xác, mức tương đồng cao giữa mô hình và nguyên mẫu, các phương pháp xây dựng mô hình và mô phỏng các thiết bị chống sét lan truyền vẫn còn nhiều tranh cãi và tiếp tục nghiên cứu phát triển.

Luận văn này đi sâu vào nghiên cứu xây dựng mô hình các thiết bị chống sét trên đường nguồn hạ áp, sau đó sử dụng phần mềm mô phỏng đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn của các công trình công nghiệp. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp thêm một công cụ mô phỏng hữu ích cho các nhà nghiên cứu, các giảng viên, sinh viên các trường đại học trong việc nghiên cứu các đáp ứng của thiết bị chống sét dưới tác động của xung sét lan truyền và đánh giá hiệu quả của các hệ thống bảo vệ chống sét lan truyền trong các công trình.

II. Nhiệm vụ của luận văn

- Nghiên cứu cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các mô hình của chống sét van MOV.
- Xây dựng mô hình mô phỏng nguồn phát xung sét tiêu chuẩn;
- Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp.
- Xây dựng mô hình mô phỏng MOV trên lưới điện trung thế, hạ thế;
- Xây dựng mô hình mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh vào đường dây trung áp..

III. Phạm vi nghiên cứu

- Nghiên cứu phần mềm Matlab, ứng dụng phần mềm Matlab mô phỏng các mô hình cần xây dựng;
- Nghiên cứu, lập mô hình mô phỏng nguồn phát xung sét tiêu chuẩn;
- Nghiên cứu và lập mô hình mô phỏng MOV trên lưới trung thế và hạ thế.
- Mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh vào đường dây trung áp.

IV. Các bước tiến hành

- Thu thập và đọc hiểu các tài liệu liên quan từ cán bộ hướng dẫn, sách, các bài báo và internet;
- Nghiên cứu phần mềm Matlab;
- Nghiên cứu cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOV; Xây dựng mô hình nguồn phát xung sét tiêu chuẩn
- Xây dựng mô hình mô phỏng MOV trên lưới trung thế và hạ thế;
- Xây dựng mô hình mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi có sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp.

V. Điểm mới của luận văn

Xây dựng mô hình mô phỏng nguồn phát xung sét tiêu chuẩn phù hợp với xung sét trong thực tế;

Đề ra mô hình MOV với các trạng thái hoạt động đạt độ chính xác cao theo các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất;

Xây dựng công cụ mô phỏng quá điện áp trên đường nguồn hạ áp khi có sét đánh

trực tiếp tới đường dây trung áp và lan truyền qua máy biến áp, đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp khi có sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp và lan truyền qua máy biến áp.

VI. Giá trị thực tiễn của luận văn

Cung cấp thêm một công cụ mô phỏng xung sét tiêu chuẩn và mô hình MOV phục vụ công tác nghiên cứu đáp ứng của thiết bị chống sét dưới tác động của xung sét lan truyền và đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp;

Luận văn là tài liệu tham khảo có giá trị cho những ai quan tâm tới việc nghiên cứu lựa chọn, phối hợp và kiểm tra hiệu quả các thiết bị bảo vệ chống sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp một cách chính xác trong điều kiện thiếu phòng thí nghiệm hiện nay.

Với mức độ phát triển về công nghệ thông tin như hiện nay, hoàn toàn cho phép thực hiện những mô phỏng chi tiết hơn, gần với thực tế hơn. Làm tiền đề cho công tác nghiên cứu chống quá áp do sét lan truyền trên đường nguồn hạ áp phù hợp với điều kiện môi trường, phân bố sét và sự phát triển của mạng điện Việt Nam.

VII. Nội dung của luận văn

Nội dung của luận văn gồm 6 chương:

Chương 1: Mở đầu

- 1.1. Đặt vấn đề.
- 1.2. Mục tiêu và nhiệm vụ của luận văn.
- 1.3. Phạm vi nghiên cứu.
- 1.4. Các bước tiến hành.
- 1.5. Điểm mới của luận văn.
- 1.6. Giá trị thực tiễn của đề tài.
- 1.7. Nội dung của luận văn

Chương 2: Tổng quan về sét .

- 2.1. Sự hình thành sét.
- 2.2. Các hiệu ứng thứ cấp do sét gây ra.
- 2.3. Các thông số của sét lan truyền.
- 2.4. Thiệt hại do sét lan truyền gây ra.

Chương 3: Xây dựng mô hình nguồn phát xung sét tiêu chuẩn

- 3.1. Giới thiệu phần mềm Matlab.
 - 3.1.1. Định nghĩa.
 - 3.1.2. Cài đặt Matlab.
 - 3.1.2.1. Yêu cầu của phần mềm .
 - 3.1.2.2. Các bước cài đặt .
 - 3.1.2.3. Khởi động chương trình Matlab.
 - 3.1.3. Các khối sử dụng trong mô hình.
 - 3.1.4. Giới thiệu công cụ Curve Fitting Toolbox .
- 3.2. Xây dựng mô hình nguồn phát xung hạ thế.
 - 3.2.1. Các dạng xung không chu kỳ chuẩn.
 - 3.2.2. Xây dựng mối liên hệ giữa các thông số .
 - 3.2.2.1. Giữa tỉ số t_2/t_1 và b/a .

- 3.2.2.2. Giữa tỉ số b/a và $at1$
- 3.2.2.3. Thực hiện mô phỏng

3.3. Nhận xét..

Chương 4: Cấu tạo, nguyên lý hoạt động và mô hình MOV

4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của biến trở oxide kim loại (mov)

- 4.1.1. Cấu tạo cơ bản của mov.
- 4.1.2. Nguyên Lý hoạt động của mov.

4.2. Đánh giá mô hình mov của Matlab.

- 4.2.1. Giới thiệu mô hình.
- 4.2.2. Nguyên lý làm việc của mô hình.
- 4.2.3. Đánh giá mô hình.

4.3. Xây dựng mô hình mov hạ thế.

- 4.3.1. Cấu trúc cơ bản của mô hình mov hạ thế.
- 4.3.2. Xây dựng mô hình điện trở phi tuyến trên Matlab.
- 4.3.3. Xây dựng mô hình mov hạ thế hoàn chỉnh trên Matlab
- 4.3.4. Kiểm tra đáp ứng mov hạ thế với xung dòng chuẩn.

4.4. Xây dựng mô hình mov trung thế.

- 4.4.1. Đặt vấn đề.
- 4.4.2. Mô hình mov trung thế đề nghị.
- 4.4.3. Phương pháp xác định thông số.
- 4.4.4. Xây dựng mô hình mov trung thế trong Matlab.
- 4.4.5. Kiểm tra đáp ứng mov trung thế với xung dòng chuẩn.

4.5. Nhận xét.

Chương 5: Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp tới đường dây trung áp.

5.1. Giới thiệu.

5.2. Mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp do sét lan truyền trên đường dây trung áp.

- 5.2.1. Mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp khi không có van chống sét hạ áp.
- 5.2.2. Mô phỏng hệ thống bảo vệ quá áp khi có van chống sét hạ áp.

Chương 6: Kết luận và hướng nghiên cứu phát triển.

VIII. Tài liệu tham khảo:

- [1]. Thiết bị chống sét lan truyền trên đường cấp nguồn – Tạp Chí Bưu chính Viễn Thông - Quyền Huy Ánh
- [2]. Andrzej Sowa, jaroslaw Wiater, “*Overvoltage in low-voltage power distribution systems caused by direct lightning strokes to medium voltage lines*”, Bialystok Technical University.
- [3]. Application Guide - TRANQUELL Station Surge Arrester, GET-6460.
- [4]. Bassi W., janiszewski J.M., “*Eveluation of Currents and Charges in low-voltage Surge Arresters Due to nightning Strikes*” IEEE trans. On Power Delivery, vol.18, No1, 2003.
- [5]. Birgitte Bak-Jensen, “*Modelling of ZnO-varistors with frequency independent circuit element model*”, 25th International Conference on Lightning

Protection, ICLP 2000, pp. 742-747.

[6].David R. Clarke, “*Varistor Ceramics*”, University of California, USA.

[7].Daniel W. Durbak, “*Surge Arrester Modeling*”, Power Technologies, Schenectady, New York.

[8].Elpro International Ltd, “*ELPRO Surge Arrester*”.

[9]. F. Heidler, J.M.Cvetic, B.V.Stanic, ”*Calculation of Lightning Current Parameters*”, IEEE Transactions on Power Delivery Vol.14,No.2, April 1999, pp. 399 - 404.

[10]. F. Fernandez, R. Diaz, “*Metal-oxide surge arrester model for fast transient simulations*”, National University of Tucuman, Argentina.

[11]. Hubbell Power System, “*How does a metal Oxide Distribution Arrester work?*”.

[12].Hubbell Power System, “*Zinc-Oxide Arrester Design and Characteristics*”.

**Ý KIẾN
CỦA CÁN BỘ HƯỚNG DẪN**

**Ngày 15 tháng 08 năm 2011
Học viên
(Ký, ghi rõ họ tên)**

HUTECH

LÝ LỊCH KHOA HỌC

(Dùng cho nghiên cứu sinh & học viên cao học)

I. LÝ LỊCH SƠ LƯỢC:

Họ & tên: Nguyễn Trung Lục

Giới tính: Nam

Ngày, tháng, năm sinh: 28/07/1965

Nơi sinh: Hải Dương

Quê quán: Phạm Kha, Thanh Miện, Hải Dương

Dân tộc: Kinh

Chức vụ, đơn vị công tác trước khi học tập, nghiên cứu:

Q.Trưởng khoa GD Thể chất – Quốc phòng – trường CĐ Công Thương TP.HCM

Chỗ ở riêng hoặc địa chỉ liên lạc: 96 – Đường 6 – KP 3 – phường Tăng Nhơn Phú

B – Quận 9 – TP.HCM.

Điện thoại cơ quan: 37313631

Điện thoại nhà riêng: 36401030

Fax: 38978501

E-mail: nguyentrungluc2807@yahoo.com.vn

II. QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO:

1. Cao đẳng:

Hệ đào tạo: Chính quy

Thời gian đào tạo từ 09/1982 đến 09/ 1985

Nơi học (trường, thành phố): Trường Sĩ Quan Thông Tin – Nha Trang

Ngành học: Vô Tuyến Điện

2. Đại học:

Hệ đào tạo: Tại Chức

Thời gian đào tạo từ 09/1996 đến 09/ 2001

Nơi học (trường, thành phố): Đại Học Bách Khoa TP.HCM

Ngành học: Điện Công Nghiệp

Tên đồ án, luận án hoặc môn thi tốt nghiệp: Thiết kế phần điện nhà máy nhiệt điện và tính toán chống sét.

Ngày & nơi bảo vệ đồ án, luận án hoặc thi tốt nghiệp: 06/2001 – Trường Đại Học Bách Khoa TP.HCM

Người hướng dẫn: TS: Dương Vũ Văn

3. Thạc sĩ:

Hệ đào tạo: Chính quy

Thời gian đào tạo từ 09/2010 đến 05/ 2012

Nơi học (trường, thành phố): Đại Học Kỹ Thuật Công Nghệ TP.HCM

Ngành học: Thiết bị, mạng & Nhà máy điện

Tên đồ án, luận án hoặc môn thi tốt nghiệp: Nghiên cứu bảo vệ quá áp trên đường nguồn hạ áp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây trung áp.

Ngày & nơi bảo vệ đồ án, luận án hoặc thi tốt nghiệp: 22/05/2012 – Trường Đại Học Kỹ Thuật Công Nghệ TP.HCM

Người hướng dẫn: PGS.TS: Quyền Huy Ánh

3. Trình độ ngoại ngữ (biết ngoại ngữ gì, mức độ):

4. Học vị, học hàm, chức vụ kỹ thuật được chính thức cấp; số bằng, ngày & nơi cấp: Kỹ sư – Kỹ thuật Điện Công Nghiệp, Số bằng: BB.03648/71KH2

Ngày cấp: 15/05/2002

Nơi cấp: Đại Học Bách Khoa TP.HCM

III. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC CHUYÊN MÔN KỂ TỪ KHI TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC:

Thời gian	Nơi công tác	Công việc đảm nhiệm
09/1982 – 08/1985	Trường Sĩ Quan Thông Tin	Học Viên
09/1985 – 11/1988	C5/E136/Bộ Tư Lệnh TTLL	Phó Đại Đội Trưởng
09/1990 – 08/2001	Trường CĐ Công Thương TP.HCM	Giáo viên GDQP
09/2001 – 09/2008	Trường CĐ Công Thương TP.HCM	Giáo viên khoa Điện – Điện Tử
10/2008 – 10/2011	Trường CĐ Công Thương TP.HCM	Phó phòng công tác HSSV
11/2008 - Nay	Trường CĐ Công Thương TP.HCM	Q.Trưởng Khoa GD TC - QP

IV. CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ:

.....
.....

XÁC NHẬN CỦA CƠ QUAN CỬ ĐI HỌC

Ngày 08 tháng 05 năm 2012

HOẶC ĐỊA PHƯƠNG

Người khai ký tên

(Ký tên, đóng dấu)

HUTECH

PHỤ LỤC . CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA CHỐNG SÉT VAN CHO TRÊN CATALOGUE CỦA MỘT SỐ NHÀ SẢN XUẤT.

1. Hãng GE



GE Surge Arresters

Heavy Duty Distribution Arresters

PROTECTIVE CHARACTERISTICS

Rated Voltage kV	MCOV kVrms	0.5 μ sec 10 kA Max IR- kVcrest	Switching Surge Maximum IR- kV	8/20 Maximum Discharge Voltage (kV Crest)					
				1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.6	12.5	8.0	9.5	10.0	10.5	11.0	13.0	15.3
6	5.1	25.0	16.0	19.0	20.0	21.0	22.0	26.0	30.5
9	7.7	34.0	22.5	24.5	26.0	27.5	30.0	35.0	41.0
10	8.4	36.5	23.5	26.0	28.0	29.5	32.0	37.5	43.5
12	10.2	43.5	28.8	30.7	32.9	34.8	38.5	43.8	51.5
15	12.7	54.2	35.0	38.4	41.0	43.4	48.0	54.6	64.2
18	15.3	65.0	42.1	46.0	49.1	52.0	57.5	65.4	76.9
21	17.0	69.5	44.9	49.5	52.5	55.7	61.5	69.9	82.2
24	19.5	87.0	56.4	61.6	65.8	69.6	77.0	87.6	103.0
27	22.0	97.7	63.2	69.2	73.9	78.2	86.5	98.4	115.7
30	24.4	108.4	71.0	76.8	82.0	86.8	96.0	109.2	128.4
36	29.0	130.0	84.2	92.0	98.2	104.0	115.0	130.8	153.8

Normal Duty Distribution Arresters

PROTECTIVE CHARACTERISTICS

Rated Voltage kV	MCOV kVrms	0.5 μ sec 10 kA Max IR- kVcrest	500A Switching Surge Maximum IR- kVcrest	8/20 Maximum Discharge Voltage (kV Crest)					
				1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.6	12.5	8.5	9.8	10.3	11.0	12.3	14.3	18.5
6	5.1	25.0	17.0	19.5	20.5	22.0	24.5	28.5	37.0
9	7.7	33.5	23.0	26.0	28.0	30.0	33.0	39.0	50.5
10	8.4	36.0	24.0	27.0	29.5	31.5	36.0	41.5	53.0
12	10.2	50.0	34.0	39.0	41.0	44.0	49.0	57.0	74.0
15	12.7	58.5	40.0	45.5	48.5	52.0	57.5	67.5	87.5
18	15.3	67.0	46.0	52.0	56.0	60.0	66.0	78.0	101.0
21	17.0	73.0	49.0	55.0	60.0	64.0	73.0	84.0	107.0
24	19.5	92.0	63.0	71.5	76.5	82.0	90.5	106.5	138.0
27	22.0	100.5	69.0	78.0	84.0	90.0	99.0	117.0	151.5
30	24.4	102.8	72.0	81.0	88.5	94.5	108.0	124.5	159.0
36	29.0	134.0	92.0	104.0	112.0	120.0	132.0	156.0	202.0

Table 2(a) & (b): TRANQUELL Polymer and Porcelain Arrester Characteristics

Table 2a Polymer Station Arrester Characteristics									
Rated Voltage kVrms	MCOV kVrms	0.5 μ sec 10 kA Max IR-kVcrest	Switching Surge Maximum IR-kVcrest ¹	8/20 μ s Maximum Discharge Voltage - kVcrest					
				1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	8.4	6.0	6.4	6.7	7.1	7.6	8.4	9.6
6	5.10	16.7	11.9	12.8	13.5	14.1	15.2	16.8	19.1
9	7.65	25.0	17.8	19.2	20.2	21.1	22.7	25.1	28.3
10	8.40	27.8	19.8	21.4	22.5	23.5	25.3	28.0	31.8
12	10.2	33.3	23.7	25.6	26.9	28.1	30.3	33.5	38.1
15	12.7	41.7	29.7	32.0	33.7	35.2	37.9	42.0	47.6
18	15.3	50.1	35.6	38.4	40.4	42.3	45.5	50.0	57.2
21	17.0	56.3	40.1	43.2	45.5	47.6	51.2	56.7	64.4
24	19.5	63.9	45.5	49.1	51.6	54.0	58.1	64.3	73.0
27	22.0	72.9	51.9	56.0	58.9	61.6	66.3	73.4	83.3
30	24.4	80.4	57.2	61.7	64.9	67.9	73.1	80.9	91.9
36	29.0	95.9	68.3	73.6	77.4	81.0	87.2	96.5	109.6
39	31.5	104.2	74.2	80.0	84.1	88.0	94.7	104.8	119.0
45	36.5	120.9	86.1	92.8	97.6	102.1	109.9	121.7	138.1
48	39.0	128.7	91.6	98.8	103.9	108.7	117.0	129.5	147.1
54	42.0	144.4	102.8	110.9	116.6	122.0	131.3	145.3	165.0
60	48.0	163.5	116.4	125.5	132.0	138.0	148.6	164.5	186.8
66	53.0	179.9	128.0	138.1	145.2	151.8	163.5	181.0	205.5
72	57.0	191.8	136.6	147.3	154.9	162.0	174.4	193.1	219.2
90	70.0	241.8	172.1	185.6	195.2	204.2	219.8	243.3	276.3
96	76.0	257.4	183.2	197.6	207.8	217.4	234.0	259.0	294.1
108	84.0	288.9	205.6	221.8	233.2	244.0	262.6	290.7	330.1
120	98.0	326.9	241.3	251.0	263.9	276.1	297.2	329.0	373.6
132	106.0	362.7	267.7	278.5	292.8	306.3	329.7	365.0	414.4
144	115.0	386.1	285.0	296.5	311.7	326.1	351.0	388.6	441.2

Note 1: Based on 500A surge of 45 μ s time to crest through 84 kV MCOV, and 1kA surge of 45 μ s time to crest for MCOV \leq 98kV.

Note 2: For more detailed information on Polymer Station Arresters, refer to page 17.

Polymer Intermediate Arrester

PROTECTIVE CHARACTERISTICS

Rated Voltage kVrms	MCOV kVrms	0.5 μ sec 10 kA Max IR- kVcrest	500A Switching Surge Maximum IR-kVcrest	8/20 Maximum Discharge Voltage (kV Crest)					
				1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.6	8.7	6.0	6.5	7.0	7.4	8.1	9.0	10.6
6	5.1	17.4	12.0	13.0	14.0	14.7	16.2	18.1	21.1
9	7.7	25.7	18.0	19.3	21.0	21.9	24.0	27.0	31.6
10	8.4	28.5	19.0	21.2	23.0	24.0	26.5	29.8	34.8
12	10.2	34.8	23.0	25.9	28.0	29.4	32.3	36.2	42.2
15	12.7	43.1	29.0	32.3	35.0	36.6	40.2	45.1	52.7
18	15.3	51.4	35.0	38.6	41.9	43.8	48.0	54.0	63.2
21	17.0	57.6	39.0	42.8	46.4	48.6	53.6	60.2	70.5
24	19.5	68.8	47.0	51.6	55.9	58.5	64.2	72.1	84.3
27	22.0	77.1	52.0	57.9	62.9	65.7	72.0	81.0	94.8
30	24.4	85.5	58.0	63.5	69.0	72.0	79.5	89.4	104.4
36	29.0	102.8	70.0	77.2	83.8	87.6	96.0	108.0	126.6
39	31.5	114.0	76.0	84.8	92.0	96.0	106.0	119.2	139.2
45	36.5	128.5	90.0	96.5	105.0	109.5	120.0	135.0	158.0
48	39.0	142.5	96.0	106.0	115.0	120.0	132.5	149.0	174.0
54	42.0	154.2	105.0	115.8	126.0	131.4	144.0	162.0	189.6
60	48.0	171.0	115.2	127.2	138.0	144.0	159.0	178.8	208.8
72	57.0	199.5	134.4	148.4	161.0	168.0	185.5	208.6	243.6
90	70.0	253.0	175.0	192.0	209.0	217.0	240.0	268.0	312.0
96	76.0	270.0	187.0	205.0	223.0	232.0	256.0	286.0	333.0
108	88.0	314.0	217.0	238.0	259.0	270.0	302.0	332.0	386.0
120	98.0	341.0	236.0	258.0	282.0	293.0	322.0	360.0	420.0
132	106.0	381.0	263.0	288.0	312.0	327.0	360.0	402.0	468.0
144	115.0	405.0	280.2	306.0	333.0	348.0	384.0	429.0	498.0

2. Hãng SIEMENS

SIEMENS

3EK7 Surge Arrester up to 52 kV



Technical Data

3EK7	
Applications	Distribution systems and switchgear
Max. continuous operating voltage U_c	36 kV
Max. rated voltage U_r	45 kV
Nominal discharge current I_n	10 kA
Max. high current impulse 4/10 μ s	100 kA
Long duration current impulse 2 ms	300 A
Max. energy absorption capacity	4.5 kJ/kV _r
Line discharge class	1
Short-circuit current strength 0.2 s	20 kA
Enclosure material	HTV silicone

Electrical data

Supply system with isolated or resonant earthed neutral	Supply system with solidly earthed neutral	Supply system with impedance earthed neutral	Surge arrester type	Enclosure size*	Rated voltage	Continuous operating voltage	Maximum residual voltage with wave			
U_m kV	U_m kV	U_m kV			U_r kV	U_c kV	30/60 μ s 500 A kV	8/20 μ s 5.0 kA kV	10.0 kA kV	20.0 kA kV
7.2	7.2	7.2	3EK7 060-4C	S	6	4.8	13.7	16.6	18.0	20.6
	12		3EK7 090-4C	S	9	7.2	23.0	27.8	30.2	34.5
	12	12	3EK7 105-4C	S	10.5	8.4	25.2	30.5	33.1	37.8
12	12	12	3EK7 120-4C	S	12	9.6	29.8	36.1	39.2	44.7
12	17.5	12	3EK7 150-4C	S	15	12	34.5	41.7	45.3	51.7
			3EK7 150-4V	S	15	12	30.4	36.8	39.9	45.5
	17.5	17.5	3EK7 180-4C	M	18	14.4	41.3	50.0	54.3	62.0
	24	17.5	3EK7 210-4C	M	21	16.8	46.0	55.6	60.4	68.9
	30	24	3EK7 240-4C	L	24	19.2	52.8	63.9	69.4	79.2
	36	24	3EK7 270-4C	L	27	21.6	64.3	77.8	84.5	96.4
24	36		3EK7 300-4C	L	30	24	68.9	83.4	90.6	103.3
24	36		3EK7 300-4V	L	30	24	60.7	73.5	79.8	91.0
		36	3EK7 360-4C	X	36	28.8	80.4	97.3	105.7	120.5
		36	3EK7 390-4C	X	39	31.2	87.2	105.6	114.7	130.8
36	52		3EK7 420-4C	X	42	33.6	91.9	111.2	120.8	137.8
36	52		3EK7 450-4C	X	45	36	98.7	119.5	129.8	148.0
36			3EK7 450-4V	X	45	36	87.8	106.2	115.4	131.6

*Other sizes of enclosure available to order.

3EL2 Surge Arrester

Arrester type	Rated Voltage	COV (IEC)	MCOV (ANSI)	Maximum values of the residual voltages at discharge currents of the following impulses					Unit housing size	Number of units
	U_r kV	U_c kV	U_c kV	30/60 0.5 kA kV	30/60 1 kA kV	8/20 5 kA kV	8/20 10 kA kV	8/20 20 kA kV		
3EL2 030-2xF31-xxxx	30	24.0	24.4	58.8	61.0	69.1	73.5	82.3	F	1
3EL2 036-2xF31-xxxx	36	28.8	29.0	70.6	73.2	82.9	88.2	98.8	F	1
3EL2 039-2xF31-xxxx	39	31.2	31.5	76.5	79.3	89.9	95.6	107	F	1
3EL2 042-2xF31-xxxx	42	33.6		82.4	85.5	96.8	103	115	F	1
3EL2 045-2xF31-xxxx	45	36	36.5	88.0	91.3	103	110	123	F	1
3EL2 048-2xF31-xxxx	48	38	39	94.4	97.9	111	118	132	F	1
3EL2 051-2xF31-xxxx	51	41		100	104	118	125	140	F	1
3EL2 054-2xF31-xxxx	54	43	42	106	110	124	132	148	F	1
3EL2 055-2xF31-xxxx	55	44		108	112	127	135	151	F	1
3EL2 060-2xF31-xxxx	60	48	48	118	122	138	147	165	F	1
3EL2 066-2xJ31-xxxx	66	52	52	130	134	152	162	181	J	1
3EL2 072-2xJ31-xxxx	72	57	57	141	146	165	176	197	J	1
3EL2 078-2xJ31-xxxx	78	62		153	159	180	191	214	J	1
3EL2 084-2xJ31-xxxx	84	67		165	171	194	206	231	J	1
3EL2 090-2xJ31-xxxx	90	72	70	177	183	208	221	248	J	1
3EL2 096-2xJ31-xxxx	96	77	76	188	195	221	235	263	J	1
3EL2 102-2xJ31-xxxx	102	81		200	208	235	250	280	J	1
3EL2 108-2xMB1-xxxx	108	86	84	212	220	249	265	297	M	1
3EL2 111-2xMB1-xxxx	111		88	218	226	256	272	305	M	1
3EL2 114-2xMB1-xxxx	114	91		223	232	262	279	312	M	1
3EL2 120-2xMB1-xxxx	120	96	98	235	244	276	294	329	M	1
3EL2 126-2xMB1-xxxx	126	100		247	256	290	309	346	M	1

3. Hãng ELPRO



Electrical data

- Nominal discharge current: 10kAP
- Reference current : 1.5 mAP.
- High current impulse withstand (4/10 μ sec): 100 kAP.
- Long duration current impulse withstand : as per IEC 99-4.
- Energy dissipation capability :1.0 kJ/kV of rated voltage.
- Watt loss 0.10 W/kV rating

Max. system voltage	Rated Voltage	MCOV	Ref. Voltage	Discharge Voltage Characteristics (kVP)				Temporary Overvoltage Characteristics (kVrms)		
				Lightning Impulse 8/20 μ sec wave			Steep Current 1/2 μ sec at NDC	0.1 sec	1.0 sec	10.0 sec
(kVrms)	(kVrms)	(kVrms)	(kVrms)	5 kA	10 kA	20 kA				
4.16	3	2.55	3	10.5	11	12	12.5	3.7	3.5	3.4
6.9	6	5.1	6	21	22	24	24.5	7.4	7.1	6.8
12.47	9	7.65	9	29	30	33.5	35	11	10.6	10.1
13.2, 13.8	12	10.2	12	37	40	45	47	14.7	14.1	13.5
	15	12.7	15	45	48	53	58	18.4	17.7	16.9
23,24.94	18	15.3	18	53	56	62	70.5	22.1	21.2	20.3
	21	17	21	60	63	69	73	25.8	24.7	23.7
	24	19.5	24	67	71	78	85	29.4	28.2	27
34.5	27	22	27	75	79	87	92	33.2	31.8	30.4
	30	24.4	30	84.5	90	99.5	97	36.8	35.3	33.8
36	36	29	36	98	104	115	128	43.5	41.8	40

NOTE: 1. The above specifications conform to IEC 99-4 standard.
2. Special voltage ratings available on request.

4. Hãng COOPER



PROTECTIVE CHARACTERISTICS

The protective characteristics of the VariSTAR Type AZL arresters are shown in Table 2.

VariSTAR® Type AZL Heavy Duty Distribution Class MOV Arrester

TABLE 2
Protective Characteristics

Arrester Rating (kV rms)	MCOV (kV rms)	Front-of-wave Protective Level* (kV crest)	Maximum Discharge Voltage (kV crest) 8/20 μ s Current Wave					
			1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	10.7	8.2	8.7	9.2	10.0	11.3	13.6
6	5.10	21.4	16.4	17.4	18.4	20.0	22.5	27.1
9	7.65	32.1	24.5	26.1	27.5	30.0	33.8	40.7
10	8.40	35.3	27.0	28.7	30.3	33.0	37.2	44.7
12	10.20	42.8	32.7	34.7	36.7	40.0	45.0	54.2
15	12.70	53.5	40.9	43.4	45.9	50.0	56.3	67.8
18	15.30	64.2	49.1	52.1	55.1	60.0	67.6	81.4
21	17.00	74.9	57.3	60.8	64.3	70.0	78.8	94.9
24	19.50	84.3	64.4	68.4	72.3	78.8	88.7	106.8
27	22.00	95.2	72.8	77.3	81.7	89.0	100.2	120.7
30	24.40	105.9	81.0	86.0	90.9	99.0	111.5	134.2
36	29.00	124.8	95.4	101.3	107.0	116.6	131.3	158.1

*Based on 10 kA current impulse that results in a discharge voltage cresting in 0.5 μ s.

PROTECTIVE CHARACTERISTICS

The protective characteristics of the VariSTAR Type AZS arresters are shown in Table 2.

VariSTAR® Type AZS Normal Duty Distribution Class MOV Arrester

TABLE 2
Protective Characteristics

Arrester Rating (kV rms)	MCOV (kV rms)	Front-of-wave Protective Level* (kV crest)	Maximum Discharge Voltage (kV crest) 8/20 μ s Current Wave					
			1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	10.2	8.6	9.2	9.8	10.8	12.8	15.9
6	5.10	20.4	17.2	18.4	19.6	21.7	25.5	31.9
9	7.65	30.6	25.8	27.6	29.4	32.5	38.3	47.8
10	8.40	33.7	28.4	30.5	32.4	35.9	42.2	52.7
12	10.20	40.8	34.4	36.8	39.2	43.4	51.0	63.8
15	12.70	51.0	43.0	46.1	49.0	54.2	63.8	79.7
18	15.30	61.2	51.6	55.3	58.8	65.1	76.6	95.7
21	17.00	71.3	60.2	64.5	68.6	75.9	89.3	111.6
24	19.50	80.4	67.8	72.7	77.4	85.6	100.7	125.8
27	22.00	91.9	77.5	83.1	88.4	97.9	115.1	143.8
30	24.40	101.1	85.2	91.4	97.2	107.6	126.6	158.1
36	29.00	119.5	100.8	108.1	115.0	127.2	149.7	187.0

*Based on 5 kA current impulse that results in a discharge voltage cresting in 0.5 μ s.

TABLE 4
Residual Voltages – Maximum Guaranteed Protective Characteristics for Type AZG2 Surge Arresters

Arrester Rating U_r (kV, rms)	Arrester MCOV U_c (kV, rms)	Steep Current Residual Voltage (kV Crest)	Lightning Impulse Residual Voltage (kV Crest) 8/20 μ s Current Wave						Switching Impulse Residual Voltage (kV Crest) 30/60 Current Wave		
			10 kA	1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA	125 A	500 A
3	2.55	12.5	7.1	7.5	7.9	8.6	9.8	11.8	6.2	6.6	
6	5.10	22.0	14.2	15.0	15.7	17.0	19.1	22.3	12.4	13.2	
9	7.65	31.4	21.2	22.4	23.5	25.5	28.4	32.8	18.6	19.8	
10	8.4	34.2	23.3	24.6	25.8	27.9	31.1	35.9	20.4	21.8	
12	10.2	40.8	28.3	29.8	31.3	33.9	37.7	43.4	24.8	26.5	
15	12.7	50.1	35.2	37.2	39.0	42.1	46.8	53.7	30.9	32.9	
18	15.3	59.7	42.5	44.7	46.9	50.7	56.3	64.4	37.2	39.7	
21	17.0	66.0	47.2	49.7	52.1	56.3	62.5	71.4	41.3	44.1	
24	19.5	75.3	54.1	57.0	59.8	64.6	71.6	81.7	47.4	50.5	
27	22.0	84.5	61.0	64.3	67.4	72.8	80.7	92.0	53.5	57.0	
30	24.4	93.4	67.7	71.3	74.8	80.7	89.5	102	59.3	63.2	
33	27.5	105	76.3	80.4	84.2	91.0	101	115	66.9	71.3	
36	29.0	111	80.4	84.8	88.8	95.9	106	121	70.5	75.2	
39	31.5	120	87.4	92.1	96.5	104	115	131	76.6	81.6	
42	34.0	129	94.3	99.4	104	112	125	142	82.7	88.1	
45	36.5	138	101	107	112	121	134	152	88.8	94.6	
48	39	148	108	114	119	129	143	162	94.9	101	
54	42	159	117	123	129	139	154	175	102	109	
60	48	181	133	140	147	159	176	199	117	124	
66	53	199	147	155	162	175	194	220	129	137	
72	57	214	158	167	175	188	209	236	139	148	
78	62	233	172	181	190	205	227	257	151	161	
84	68	255	189	199	208	225	249	282	165	176	
90	70	262	194	205	214	231	256	290	170	181	
96	76	285	211	222	233	251	278	315	185	197	
108	84	314	233	245	257	277	307	348	204	218	
120	98	366	272	286	300	324	358	406	238	254	
132	106	399	294	310	325	350	386	440	256	275	
138	111	417	308	324	340	367	406	461	270	288	
144	115	432	319	336	352	380	421	477	280	298	
162	130	488	360	380	398	429	475	539	316	337	
168	131	491	363	383	401	433	479	543	319	339	
172	140	525	388	409	429	462	512	580	341	363	
180	144	539	399	421	441	476	526	597	350	373	
192	152	569	421	444	465	502	556	630	370	394	
198	160	599	444	467	490	528	585	663	389	415	
204	165	617	457	482	505	545	603	683	401	428	
216	174	650	482	508	533	575	636	720	423	451	
228	182	680	505	532	557	601	665	753	443	472	
240	190	710	527	555	581	627	694	786	462	492	

TABLE 4
Residual Voltages – Maximum Guaranteed Protective Characteristics for Type AZG3 Surge Arresters

Arrester Rating U_r (kV, rms)	Arrester MCOV U_c (kV, rms)	Steep Current Residual Voltage (kV) Crest	Lightning Impulse Residual Voltage (kV Crest) 8/20 μ s Current Wave						Switching Impulse Residual Voltage (kV Crest) 30/60 Current Wave	
			10 kA	1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA	500 A 1000 A
3	2.55	13.1	7.0	7.4	7.7	8.3	9.4	10.7	6.5	6.7
6	5.10	22.0	13.8	14.6	15.2	16.3	18.2	20.5	12.9	13.4
9	7.65	31.0	20.7	21.8	22.7	24.3	27.0	30.3	19.3	20.0
10	8.40	33.7	22.7	24.0	24.9	26.7	29.6	33.2	21.2	22.0
12	10.2	40.0	27.6	29.1	30.2	32.4	35.9	40.2	25.7	26.7
15	12.7	48.8	34.3	36.1	37.5	40.2	44.5	49.7	32.0	33.2
18	15.3	57.9	41.3	43.5	45.2	48.4	53.5	59.8	38.5	39.9
21	17.0	64.0	46.0	48.4	50.2	53.8	59.4	66.4	42.8	44.4
24	19.5	72.8	52.7	55.5	57.6	61.7	68.1	76.1	49.1	51.0
27	22.0	81.5	59.4	62.5	64.9	69.5	76.7	85.6	55.4	57.4
30	24.4	90.1	65.9	69.4	72.0	77.1	85.0	94.9	61.5	63.7
33	27.5	101	74.3	78.2	81.2	86.9	95.8	107	69.3	71.8
36	29.0	106	78.4	82.4	85.6	91.6	101	113	73.0	75.7
39	31.5	115	85.1	89.5	93.0	99.5	110	122	79.4	82.3
42	34.0	120	89.2	93.8	97.4	104	115	128	83.1	86.2
45	36.5	128	95.2	100	104	111	123	137	88.7	91.9
48	39	137	102	107	111	119	131	146	95.1	98.6
54	42	147	110	115	120	128	141	158	102	106
60	48	167	125	132	137	146	161	180	117	121
66	53	184	138	145	151	161	177	198	129	133
72	57	199	149	157	163	174	192	214	139	144
78	62	216	162	170	177	189	208	232	151	157
84	68	236	177	187	194	207	228	254	165	171
90	70	242	183	192	199	213	235	262	170	176
96	76	263	198	208	216	231	254	284	185	191
108	84	291	219	231	240	256	282	314	205	212
120	98	338	255	269	279	298	328	366	238	247
132	106	368	276	290	301	322	355	396	257	267
138	111	386	290	305	316	338	372	415	270	280
144	115	401	301	317	328	351	387	431	280	291
162	130	450	339	356	370	395	435	485	316	327
168	131	455	342	360	373	399	440	490	319	331
172	140	485	365	384	399	426	469	523	340	353
180	144	498	375	395	410	438	482	538	350	363
192	152	526	397	417	433	463	510	568	370	384
198	160	553	417	439	456	487	536	598	389	403
204	165	570	430	452	470	502	553	616	401	416
216	174	601	454	478	496	530	583	650	424	439
228	182	628	475	499	518	554	610	680	443	459
240	190	655	495	521	541	578	636	709	462	479
258	209	725	546	574	596	638	702	782	509	526
264	212	735	554	582	604	647	711	793	516	535
276	220	761	573	603	626	670	737	821	535	554
288	230	796	601	632	656	702	772	860	560	581
294	235	813	614	645	670	717	788	879	572	593
300	239	827	624	656	681	729	802	893	582	603
312	245	847	639	672	698	747	821	915	595	616

5. Hãng OHIO-BRASS



DynaVar®

Distribution Class (PDV) and
Riser Pole (PVR) Surge Arresters

Heavy Duty

PDV-100 Electrical Characteristics

Rated Voltage kV	MCOV kV	Unit Catalog Number	0.5 μ sec 10kA Maximum IR-kV	500 A Switching Surge Maximum IR-kV	8/20 Maximum Discharge Voltage - kV					
					1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	217602	12.5	8.0	9.5	10.0	10.5	11.0	13.0	15.3
6	5.1	217605	25.0	16.0	19.0	20.0	21.0	22.0	26.0	30.5
9	7.65	217608	34.0	22.5	24.5	26.0	27.5	30.0	35.0	41.0
10	8.4	217609	36.5	23.5	26.0	28.0	29.5	32.0	37.5	43.5
12	10.2	213510	43.5	28.2	38.0	32.9	34.8	38.5	43.8	51.5
15	12.7	213613	54.2	35.0	38.4	41.0	43.4	48.0	54.6	64.2
18	15.3	213615	65.0	42.1	46.0	49.1	52.0	57.5	65.4	76.9
21	17.0	213617	69.5	44.9	49.2	52.5	55.7	61.5	69.9	82.2
24	19.5	213520	87.0	56.4	61.6	65.8	69.6	77.0	87.6	103.0
27	22.0	213622	97.7	63.2	69.2	73.9	78.2	86.5	98.4	115.7
30	24.4	213624	108.4	70.0	76.8	82.0	86.8	96.0	109.2	128.4
36	29.0	213629	130.0	84.2	92.0	98.2	104.0	115.0	130.8	153.8

Normal Duty

PDV-65 Electrical Characteristics

Rated Voltage kV	MCOV kV	Unit Catalog Number	0.5 μ sec 5kA Maximum IR-kV	500 A Switching Surge Maximum IR-kV	8/20 Maximum Discharge Voltage - kV					
					1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	217253	12.5	8.5	9.8	10.3	11.0	12.3	14.3	18.5
6	5.1	217255	25.0	17.0	19.5	20.5	22.0	24.5	28.5	37.0
9	7.65	217258	33.5	23.0	26.0	28.0	30.0	33.0	39.0	50.5
10	8.4	217259	36.0	24.0	27.0	29.5	31.5	36.0	41.5	53.0
12	10.2	217560	42.4	31.3	33.8	36.3	38.5	42.8	49.0	59.7
15	12.7	213263	54.0	39.9	43.1	46.3	49.0	54.4	62.4	76.0
18	15.3	213265	62.8	46.4	50.1	53.8	57.0	63.3	72.6	88.4
21	17.0	213267	68.3	50.5	54.5	58.5	62.0	68.9	79.0	96.1
24	19.5	217570	84.9	62.7	67.7	72.7	77.0	85.5	98.1	119.4
27	22.0	213272	96.4	71.2	76.9	82.6	87.5	97.2	111.5	135.6
30	24.4	213274	105.2	77.7	83.9	90.2	95.5	106.1	121.7	148.0
36	29.0	213279	125.6	92.8	100.2	107.6	114.0	126.7	145.2	176.7

Riser-Pole

PVR Electrical Characteristics

Duty Cycle Voltage Rating kV	MCOV kV	Catalog Number	0.5 μ sec 10kA Maximum IR-kV	500 A Switching Surge Maximum IR-kV	8/20 Maximum Discharge Voltage - kV					
					1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	218603	8.7	5.8	6.5	7.0	7.4	8.1	9.0	10.6
6	5.1	218605	17.4	11.7	13.0	14.0	14.7	16.2	18.1	21.1
9	7.65	218608	25.7	17.5	19.3	21.0	21.9	24.0	27.0	31.6
10	8.4	218609	28.5	19.2	21.2	23.0	24.0	26.5	29.8	34.8
12	10.2	218610	34.8	23.3	25.9	28.0	29.4	32.3	36.2	42.2
15	12.7	218613	43.1	29.1	32.3	35.0	36.6	40.2	45.1	52.7
18	15.3	218615	51.4	34.9	38.6	41.9	43.8	48.0	54.0	63.2
21	17	218617	57.6	38.7	42.8	46.4	48.6	53.6	60.2	70.5
24	19.5	218620	68.8	46.6	51.6	55.9	58.5	64.2	72.1	84.3
27	22	218622	77.1	52.4	57.9	62.9	65.7	72.0	81.0	94.8
30	24.4	218624	85.5	57.6	63.5	69.0	72.0	79.5	89.4	104.4
36	29	218629	102.8	69.8	77.2	83.8	87.6	96.0	108.0	126.6

TABLE IV
Protective Characteristics
DynaVar Metal-Oxide Surge Arresters

Type	Standard Arrester Catalog Number	Duty Cycle Rating kV rms	Arrester MCOV- kV rms	Maximum 0.5µs Discharge Voltage kV (1)	Maximum Switching Surge Protective Level At Classifying Current Levels kV (2)		Maximum Discharge Voltage Using an 8/20 Current Wave-kV						
					500A	1000A	1.5kA	3kA	5kA	10kA	15kA	20kA	40kA
VLA	217003	3	2.55	9.1	6.3		6.9	7.2	7.5	8	8.6	9	10.3
VLA	217005	6	5.1	17.9	12.4		13.6	14.2	14.8	15.8	16.9	17.7	20.3
VLA	217008	9	7.65	26.6	18.4		20.2	21.1	22	23.5	25.1	26.4	30.2
VLA	217009	10	8.4	29.3	20.3		22.2	23.3	24.2	25.9	27.7	29.1	33.3
VLA	218510*	12	10.2	35.5	24.6		26.9	28.2	29.4	31.4	33.5	35.2	40.4
VLA	217013	15	12.7	44.2	30.6		33.5	35.1	36.6	39.1	41.8	43.9	50.3
VLA	217015	18	15.3	53.3	36.8		40.4	42.3	44.1	47.1	50.3	52.8	60.6
VLA	218517*	21	17	59.1	40.9		44.8	46.9	48.9	52.3	55.8	58.7	67.2
VLA	218519*	24	19.5	67.8	46.9		51.4	53.8	56.1	60	64.1	67.3	77.1
VLA	217022	27	22	76.5	52.9		58	60.8	63.3	67.7	72.3	75.9	87
VL	216003	3	2.55	9.1	6.3		6.9	7.2	7.5	8	8.6	9	10.3
VL	216005	6	5.1	17.9	12.4		13.6	14.2	14.8	15.8	16.9	17.7	20.3
VL	219508*	9	7.65	26.6	18.4		20.2	21.1	22	23.5	25.1	26.4	30.2
VL	219509*	10	8.4	29.3	20.3		22.2	23.3	24.2	25.9	27.7	29.1	33.3
VL	219510*	12	10.2	35.5	24.6		26.9	28.2	29.4	31.4	33.5	35.2	40.4
VL	219513*	15	12.7	44.2	30.6		33.5	35.1	36.6	39.1	41.8	43.9	50.3
VL	216015	18	15.3	53.3	36.8		40.4	42.3	44.1	47.1	50.3	52.8	60.6
VL	219517*	21	17	59.1	40.9		44.8	46.9	48.9	52.3	55.8	58.7	67.2
VL	219519*	24	19.5	67.8	46.9		51.4	53.8	56.1	60	64.1	67.3	77.1
VL	216022	27	22	76.5	52.9		58	60.8	63.3	67.7	72.3	75.9	87
VL	216024	30	24.4	84.9	58.7		64.3	67.4	70.3	75.1	80.2	84.2	96.5
VL	219529*	36	29	101	69.7		76.4	80	83.4	89.2	95.2	100	115
VL	216031	39	31.5	110	75.8		83	86.9	90.6	96.9	104	109	125
VL	219536*	45	36.5	128	88.3		96.8	102	106	113	121	127	146
VL	219539*	48	39	136	93.8		103	108	113	120	128	135	155
VN	219542	54	42	135	98		105	112	115	122	130	136	151
VN	219548	60	48	154	110		120	127	131	139	149	155	173
VN	219557	72	57	183	131		142	151	156	165	177	184	205
VN	219570	90	70	223	161		174	184	190	202	216	226	251
VN	219574	90	74	236	169		185	195	202	214	229	237	266
VN	219576	96	76	242	175		190	201	208	220	235	245	274
VN	219584	108	84	267	193		209	221	229	243	260	271	301
VN	219588	108	88	279	202		219	232	239	254	272	284	316
VN	217598*	120	98	311		231	244	257	266	283	303	315	351
VN	219606	132	106	340		249	264	280	289	306	327	342	381
VN	219615	144	115	368		271	287	303	314	332	355	369	413
VN	219631	168	131	418		308	326	345	357	379	406	421	470
VN	217740*	172	140	446		330	348	368	381	404	432	448	502
VN	217744*	180	144	458		339	359	380	392	417	446	463	517
VN	217752*	192	152	483		360	379	401	414	440	471	488	546
VN	217780*	228	180	571		424	447	474	489	520	556	578	645
VN	217909*	258	209	665		† 516	522	552	571	604	646	670	752
VN	217912*	264	212	675		† 523	527	558	576	613	656	680	760
VN	217920*	276	220	700		† 545	547	578	597	635	679	705	788
VN	217945*	312	245	778		† 605	609	644	666	708	758	788	878

* Denotes change from previous catalog issue.

6. Hãng ABB



POLIM-D Gapless Metal Oxide Surge Arresters

Indoor/Outdoor
For maximum system voltages up to 36 kV

Guaranteed Data for POLIM-D

kV Rating	MCOV	Residual voltage (U _{res}) in kV pk at a specified impulse current									
		Wave 1/μs		Wave 8/20μs					Wave 30/60μs		
		kV rms	5 kA pk	10 kA pk	1 kA pk	2.5kA pk	5 kA pk	10 kA pk	20 kA pk	125 A pk	250 A pk
3	2.55	14.5	16.0	11.7	12.4	13.1	14	15.9	10.4	10.8	11.1
6	5.10	21.7	24.0	17.5	18.5	19.6	21	23.9	15.6	16.1	16.6
9	7.65	28.9	32.0	23.3	24.7	26.1	28	31.8	20.8	21.5	22.2
10	8.40	31.3	34.6	25.2	26.7	28.2	30	34.4	22.5	23.2	24.0
12	10.20	36.1	39.9	29.1	30.8	32.6	35	39.8	25.9	26.8	27.7
15	12.70	50.5	55.9	40.7	43.2	45.6	49	55.7	36.3	37.5	38.8
18	15.30	57.7	63.9	46.5	49.3	52.1	56	63.6	41.5	42.9	44.3
21	17.00	64.9	71.9	52.3	55.5	58.6	63	71.6	46.7	48.2	49.8
27	22.00	79.4	87.8	64.0	67.8	71.7	77	87.4	57.0	59.0	60.9
30	24.40	86.6	95.8	69.8	74.0	78.2	84	95.4	62.2	64.3	66.0

Temporary Overvoltage (TOV) - Power Frequency Versus Time Characteristic

- 1 second (a: $1.390 \times U_c$ or b: $1.316 \times \text{MCOV}$)
- 10 seconds (a: $1.337 \times U_c$ or b: $1.262 \times \text{MCOV}$)
- 1 second (b: $1.350 \times \text{MCOV}$)
- 10 seconds (b: $1.310 \times \text{MCOV}$)
- a: Value tested with a sample that has not been prestressed by any energy input.
- b: Value tested with a sample that has been prestressed with a prior energy input according to the operating duty test.
- The values have been predetermined with a test sample preheated at 60°C according to IEC 60099-4 and refer to an ambient temperature up to 45°C.

Suggested Metal Oxide Arrester MCOV Ratings for Various System Voltages

SYSTEM VOLTAGE kV (L-L)		MINIMUM ARRESTER MCOV (kV)			
NOMINAL	MAXIMUM	GROUNDED NEUTRAL CIRCUITS	TEMPORARILY UNGROUNDED, IMPEDANCE GROUND OR UNGROUNDED CIRCUITS		
			(1)	(2)	(3)
2.40	2.52	2.30	2.30	2.30	2.55
4.16	4.37	2.55	3.80	3.80	5.10
4.80	5.04	3.80	3.80	3.80	5.10
6.90	7.25	4.30	5.10	5.10	7.70
8.32	8.74	5.10	6.40	6.40	10.20
12.00	12.60	7.65	8.40	10.20	12.70
12.47	13.10	7.65	10.20	10.20	15.30
13.20	13.90	8.40	10.20	10.20	15.30
13.80	14.50	8.40	10.20	10.20	15.30
20.78	21.80	12.70	15.30	15.30	22.00
22.86	24.00	15.30	17.00	17.00	24.20
23.00	24.20	15.30	17.00	17.00	24.20
24.94	26.10	15.30	19.50	24.20	29.00
34.50	36.20	22.00	24.40	—	36.50
46.00	48.30	29.00	31.50	—	57.00
69.00	72.00	42.00	48.00	—	—

(1) Line-to-line overvoltage for 4 seconds (maximum recloser duty): Maximum system voltage (L-L) divided by 1.43 (assuming no recent prior energy surge).

(2) For resistance grounded systems; line-to-line voltage divided by 1.41 permit arrester to withstand line-to-line voltage for 10 seconds (again assuming no recent prior surge).

(3) Maximum system line-to-line voltage continuously.

Zinc oxide surge arrester PEXLIM R

Design/test standards as IEC 60099-4; ANSI/IEEE C62.11

Max. system voltage, U_m kV _{rms}	Rated voltage, U_r kV _{rms}	Max. continuous operating voltage ¹⁾		TOV capability ²⁾		Max. residual voltage (U_{res}) with current wave						
		as per IEC, U_C kV _{rms}	as per ANSI/IEEE, MCOV kV _{rms}			30/80 μ s			8/20 μ s			
				1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	0.5 kA kV _{crest}	1 kA kV _{crest}	2 kA kV _{crest}	5 kA kV _{crest}	10 kA kV _{crest}	20 kA kV _{crest}	40 kA kV _{crest}
52	24 ³⁾	19.2	19.5	27.6	28.4	49.1	50.8	52.6	57.0	60.0	66.0	73.8
	30 ³⁾	24.0	24.4	34.5	33.0	61.3	63.3	65.7	71.3	75.0	82.5	92
	36 ³⁾	28.8	29.0	41.4	39.6	73.6	75.9	78.9	85.5	90.0	99	111
	42 ³⁾	34	34.0	48.3	46.2	85.8	88.6	92.0	100	105	116	130
	48 ³⁾	38	39.0	55.2	52.8	98.1	102	106	114	120	132	148
	42	34	34.0	48.3	46.2	85.8	88.6	92.0	100	105	116	130
	48	38	39.0	55.2	52.8	98.1	102	106	114	120	132	148
	54	43	43.0	62.1	59.4	111	114	119	129	135	149	167
	60	48	48.0	69.0	66.0	123	127	132	143	150	165	185
	66	53	53.4	75.9	72.6	135	140	145	157	165	182	203
	72	54	43.0	62.1	59.4	111	114	119	129	135	149	167
	60	48	48.0	69.0	66.0	123	127	132	143	150	165	185
	66	53	53.4	75.9	72.6	135	140	145	157	165	182	203
72	72	58	58.0	82.8	79.2	148	152	158	171	180	198	222
	84	67	68.0	96.6	92.4	172	178	184	200	210	231	259
	90	72	72.0	103	99.0	184	190	198	214	225	248	277
	96	77	77.0	110	105	197	203	211	228	240	264	296
	84	65	68.0	96.6	92.4	172	178	184	200	210	231	259
	90	69	72.0	103	99.0	184	190	198	214	225	248	277
	96	74	77.0	110	105	197	203	211	228	240	264	296
	108	78	84.0	124	118	221	228	237	257	270	297	333
	120	78	98.0	138	132	246	253	263	285	300	330	369
	132	78	106	151	145	270	279	290	314	330	363	406
	138	78	111	158	151	282	291	303	328	345	380	425
	144	78	115	165	158	295	304	316	342	360	396	443
100	150	78	121	172	165	307	317	329	357	375	413	462
	108	86	86.0	124	118	221	228	237	257	270	297	333
	120	92	98.0	138	132	246	253	263	285	300	330	369
	132	92	106	151	145	270	279	290	314	330	363	406
	138	92	111	158	151	282	291	303	328	345	380	425
	144	92	115	165	158	295	304	316	342	360	396	443
	150	92	121	172	165	307	317	329	357	375	413	462
	170	108	106	151	145	270	279	290	314	330	363	406
	138	108	111	158	151	282	291	303	328	345	380	425
	144	108	115	165	158	295	304	316	342	360	396	443
	150	108	121	172	165	307	317	329	357	375	413	462
	162	108	131	186	178	331	342	355	385	405	446	499
123	168	108	131	193	184	344	355	368	399	420	462	517
	192	108	152	220	211	393	405	421	456	480	528	591

More detailed information on the TOV capability and the protective characteristics are given in Publ. SESWG/A 2238en.

¹⁾ The continuous operating voltages U_C (as per IEC and MCOV (as per ANSI) differ only due to deviations in type test procedures. U_C has to be considered only when the actual system voltage is higher than the tabulated. Any arrester with U_C higher than or equal to the actual system voltage divided by $\sqrt{3}$ can be selected.

²⁾ With prior duty equal to the maximum single impulse energy stress.

³⁾ Applicable only for neutral-ground arresters.