

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN
CHUYÊN NGÀNH: HỆ THỐNG ĐIỆN

ĐỀ TÀI:

GIẢI PHÁP BẢO VỆ CHỐNG SÉT CHO
ĐƯỜNG DÂY TRUNG THỂ

Người hướng dẫn	:	TS LƯU NGỌC AN		
Người phản biện	:	PGS. TS PHAN ĐÌNH CHUNG		
Sinh viên thực hiện	:	LÊ ĐỨC NGỌC	105200272	20DCLC4
		NGUYỄN QUANG THẮNG	105200246	20DCLC3

Đà Nẵng, 06/2025

TÓM TẮT

Tên đề tài: Giải pháp bảo vệ chống sét cho đường dây trung thế

Họ tên sinh viên: Lê Đức Ngọc

Số thẻ sinh viên: 105200272 Lớp: 20DCLC4

Nguyễn Quang Thắng

Số thẻ sinh viên: 105200246 Lớp: 20DCLC3

Đề tài “GIẢI PHÁP BẢO VỆ CHỐNG SÉT CHO ĐƯỜNG DÂY TRUNG THỂ”

sẽ tập trung nghiên cứu về việc đánh giá thiết bị chống sét ở cấp 22kV. Đồ án sẽ gồm 4 chương:

- Chương 1: Cơ sở lý thuyết và phương pháp đánh giá chống sét cho đường dây 22kV.
Chương này giới thiệu tổng quan về hệ thống điện 22kV, thực trạng lắp đặt DCS ở Việt Nam làm rõ phạm vi và giới hạn của nghiên cứu nhằm định hình khung nghiên cứu cụ thể. Tìm hiểu hiện tượng sét, tác động của sét lên lưới điện, ảnh hưởng của sét lên đường dây và các phương pháp chống sét cho lưới điện 22 kV. Phân tích nhu cầu lắp đặt dây chống sét, tiêu chuẩn và quy định kỹ thuật về lắp đặt dây chống sét và chọn phương án lắp đặt dây chống sét.
- Chương 2: Tính suất cắt trên đường dây và đánh giá việc lắp đặt thiết bị DCS cho đường dây 22kV.
Trong chương này, cần thực hiện việc tính toán suất cắt, số lần đường dây bị ngắt do ảnh hưởng của sét đánh dựa trên các tham số kỹ thuật như chiều dài đường dây, cấu hình kết cấu, mật độ sét, mức độ chịu sét và các điều kiện vận hành thực tế.
- Chương 3: Ứng dụng phần mềm mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ.
Chương này sẽ giới thiệu phần mềm mô phỏng Matlab Simulink, xây dựng mô hình mô phỏng có dây chống sét, không dây chống sét và chống sét van phân tích kết quả mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ.
- Chương 4: Kết luận
Chương này tổng kết và đánh giá hiệu quả của các thiết bị chống sét đối với lưới điện 22KV.

Qua quá trình nghiên cứu và đánh giá việc lắp đặt dây chống sét cho đường dây 22kV đã làm rõ cơ chế hình thành sét, tác động của sét lên lưới điện 22kV và các phương pháp chống sét như dây chống sét, chống sét van và hệ thống tiếp địa. Tính toán và mô phỏng trên phần mềm Matlab Simulink cho thấy dây chống sét giảm đáng kể nguy cơ quá điện áp, bảo vệ thiết bị và đảm bảo vận hành ổn định. Từ đó tìm ra được giải pháp chống sét tối ưu về việc triển khai hệ thống chống sét tối ưu cho đường dây 22kV.

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TT	Họ và tên sinh viên	Số thẻ SV	Lớp	Ngành
1	Lê Đức Ngọc	105200272	20DCLC4	Kỹ thuật điện
2	Nguyễn Quang Thắng	105200246	20DCLC3	Kỹ thuật điện

- Tên đề tài đồ án: Giải pháp bảo vệ chống sét cho đường dây trung thế.*
- Đề tài thuộc diện: ☐ Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện*
- Các số liệu và dữ liệu ban đầu:*
- Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:*
 - Chương 1: Cơ sở lý thuyết và phương pháp đánh giá chống sét cho đường dây 22kV.
 - Chương 2: Tính suất cắt trên đường dây và đánh giá việc lắp đặt thiết bị DCS cho đường dây 22kV.
 - Chương 3: Ứng dụng phần mềm mô phỏng và đánh giá hiệu quả bảo vệ.
 - Chương 4: Kết luận.
- Các bản vẽ, đồ thị (ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ):*
- Họ tên người hướng dẫn:*

TT	Họ và tên người hướng dẫn	Đơn vị
1	TS.Lưu Ngọc An	Khoa điện – Trường Đại học Bách Khoa Đại học Đà Nẵng

- Ngày giao nhiệm vụ đồ án: / / 2025*
- Ngày hoàn thành đồ án: / / 2025*

Đà Nẵng, ngày ... tháng 06 năm 2025

Trưởng bộ môn
Hệ thống điện

Người hướng dẫn

TS. Trịnh Trung Hiếu

TS. Lưu Ngọc An

LỜI NÓI ĐẦU

Trong quá trình học tập tại khoa Điện – Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng, nhờ sự quan tâm và giúp đỡ của quý Thầy Cô, chúng em đã tích lũy được thêm nhiều kiến thức và kinh nghiệm trong ngành nghề của mình.

Thời gian làm đề tài tốt nghiệp vừa qua thực sự là khoảng thời gian giúp chúng em ôn tập và củng cố lại các kiến thức đã được các thầy cô truyền đạt bao năm qua, bên cạnh đó chúng em có thể tích lũy thêm nhiều kiến thức mới.

Sau thời gian tìm hiểu và nghiên cứu đề tài: “GIẢI PHÁP BẢO VỆ CHỐNG SÉT CHO ĐƯỜNG DÂY TRUNG THỂ” đã hoàn thành.

Chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến:

- Thầy TS. Lưu Ngọc An - Giáo viên hướng dẫn đã nhiệt tình giúp đỡ chúng em nghiên cứu và hoàn thành đề tài đúng thời gian quy định.
- Tập thể quý Thầy Cô KHOA ĐIỆN cùng toàn thể quý Thầy Cô Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng đã giúp đỡ chúng em có được những kiến thức chuyên môn cần thiết để thực hiện đồ án tốt nghiệp cũng như hoàn thành tốt chương trình học Đại Học.

Mặc dù đã cố gắng và nỗ lực hết mình khi thực hiện đề tài, nhưng do kiến thức và thời gian còn hạn chế nên không tránh khỏi những thiếu sót. Chúng em rất mong nhận được những sự góp ý của quý Thầy Cô để chúng em có được đề tài hoàn thiện nhất.

Cuối cùng chúng em kính chúc toàn thể quý Thầy Cô Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng, lời chúc sức khỏe và công tác tốt.

Đà Nẵng, ngày tháng 06 năm 2025

Nhóm sinh viên thực hiện

Nguyễn Quang Thắng

Lê Đức Ngọc

CAM ĐOAN

Chúng em xin cam đoan rằng:

- Số liệu và kết quả nghiên cứu trong báo cáo đề án tốt nghiệp này là hoàn toàn trung thực và đề tài không trùng lặp với bất kỳ đề tài tốt nghiệp nào trước đây.
- Mọi sự giúp đỡ trong việc thực hiện đề án này đã được cảm ơn và các thông tin trích dẫn trong đề án tốt nghiệp đã được chỉ rõ nguồn gốc rõ ràng và được phép công bố.

Đà Nẵng, ngày tháng 06 năm 2025

Nhóm sinh viên thực hiện

Nguyễn Quang Thắng

Lê Đức Ngọc

MỤC LỤC

TÓM TẮT

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

LỜI NÓI ĐẦU.....	i
CAM ĐOAN.....	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC HÌNH ẢNH	vi
DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT	viii
MỞ ĐẦU.....	1
Chương 1: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ CHỐNG SÉT CHO ĐƯỜNG DÂY 22KV	3
1.1. Cơ sở lý thuyết hiện tượng sét và biện pháp chống sét	3
1.1.1. Giới thiệu về hệ thống điện trung áp	3
1.1.2. Tác động của sét đối với hệ thống điện	4
1.1.3. Hiện tượng sét.....	4
1.1.4. Biện pháp chống sét.....	8
1.2. Phương pháp tính suất cắt trên lưới điện	10
1.2.1. Tổng quan:	10
1.2.2. Các chỉ tiêu chống sét cho đường dây :	11
1.2.3. Công thức tính suất cắt trên đường dây.....	16
1.2.4. Tính toán suất cắt đường dây 22kV khi có treo DCS.....	22
Chương 2: TÍNH SUẤT CẮT TRÊN ĐƯỜNG DÂY VÀ ĐÁNH GIÁ VIỆC LẮP ĐẶT THIẾT BỊ DÂY CHỐNG SÉT CHO ĐƯỜNG DÂY 22KV	30
2.1. Tính suất cắt trên đường dây 22kV	30
2.2. Số lần phóng điện của cách điện đường dây	30
2.3. Các thông số của đường dây trung thế 22kV	30
2.4. Thông số tính toán	31
2.5. Tính suất cắt trên đường dây khi chưa treo DCS:	34

2.5.1. Tính suất cắt đường dây khi sét đánh trực tiếp.....	34
2.5.2. Tính suất cắt đường dây khi sét đánh cảm ứng	34
2.6. Tính suất cắt trên đường dây 22kV khi có treo DCS.....	35
2.6.1. Khi sét đánh vào đỉnh cột hoặc DCS gần đỉnh cột.....	35
2.6.2. Khi sét đánh vào DCS ở giữa khoảng vượt.....	40
2.7. Khi sét đánh vòng qua DCS vào dây dẫn	46
2.8. Phạm vi bảo vệ DCS	46
Chương 3: ỨNG DỤNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ BẢO VỆ	48
3.1. Giới thiệu phần mềm MATLAB/Simulink	48
3.2. Vai trò của MATLAB	48
3.3. Thiết lập mô hình đường dây 22kV	50
3.3.1. Mô hình đường dây khi chưa có thiết bị chống sét	50
3.3.2. Mô hình đường dây khi lắp đặt DCS.....	52
Chương 4: KẾT LUẬN	59
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	61

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1: Các giá trị xác suất hình thành hồ quang theo giá trị gradient điện áp làm việc	12
Bảng 2.1: Đặc tính V-s của sứ cách điện cấp điện áp 22kV	38
Bảng 2.2: Đặc tính V-s của sứ cách điện cấp điện áp 22kV	43
Bảng 3.1: Kết quả mô phỏng số lần suất cắt của đường dây 22kV theo các góc α (góc đánh sét) khi chưa và có lắp dây chống sét (DCS).....	53
Bảng 3.2: Kết quả mô phỏng số lần suất cắt của đường dây 22kV theo các góc α (góc đánh sét) khi chưa và có lắp thêm dây chống sét (DCS).....	55
Bảng 3.3: Kết quả mô phỏng số lần suất cắt của đường dây 22kV theo các góc α (góc đánh sét) khi chưa lắp DCS và lắp CSV	57

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1: Hệ thống điện trung áp	3
Hình 1.2: Ảnh minh họa sét đánh vào hệ thống điện	4
Hình 1.3: Hiện tượng sét	5
Hình 1.4: Hình ảnh phóng điện do sét đánh trên đường dây	11
Hình 1.5: Xác suất sét đánh phụ thuộc vào khoảng cách B.....	11
Hình 1.6: Sự xuất hiện quá điện áp cảm ứng do sét đánh gần đường dây	14
Hình 1.7: Phạm vi sét đánh gây quá điện áp cảm ứng trên đường dây	16
Hình 1.8: Mô hình bố trí chiều cao các pha trên lưới điện trung thế 22kV	17
Hình 1.9: Mô hình bố trí chiều cao các pha và DCS trên lưới điện trung thế 22kV	21
Hình 1.10: Các trường hợp sét đánh vào đường dây có treo DCS	22
Hình 1.11: Sơ đồ mạch điện khi chưa có sóng phản xạ	25
Hình 1.12: Sơ đồ mạch điện khi có sóng phản xạ	26
Hình 2.1: Mô hình lắp đặt DCS trên lưới điện trung thế 22kV	31
Hình 2.2: Sơ đồ phân bố dòng sét khi sét đánh vào đỉnh cột	35
Hình 2.3: Sơ đồ phân bố dòng sét khi chưa có sóng phản xạ từ các cột lân cận trở về	37
Hình 2.4: Đường cong xác suất	39
Hình 2.5: Sơ đồ phân bố dòng sét khi sét đánh vào giữa khoảng vượt.....	40
Hình 2.6: Đặc tuyến phóng điện trên sứ cách điện cấp điện áp 22kV	44
Hình 2.7: Đường cong xác suất phóng điện	45
Hình 3.1: Giao diện khối three-phase source	48
Hình 3.2: Giao diện khối Pulse Generator.....	49
Hình 3.3: Giao diện khối Three-Phase Transformer	49
Hình 3.4: Giao diện khối Three-Phase PI.....	50
Hình 3.5: Giao diện khối series RLC	50
Hình 3.6: Sơ đồ mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi chưa lắp thiết bị chống sét	51

Hình 3.7: Kết quả mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi chưa lắp thiết bị chống sét.....	51
Hình 3.8: Kết quả mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi lắp 1 DCS	52
Hình 3.9: Biểu đồ đường ảnh hưởng của góc anpha với $R = 5\Omega$	53
Hình 3.10: Kết quả mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi lắp 2 DCS	54
Hình 3.11: Biểu đồ đường ảnh hưởng của góc anpha khi chưa và lắp đặt DCS.....	56
Hình 3.12: Kết quả mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi lắp nối tiếp 3 chống sét van vào 3 phase khi sét đánh	57
Hình 3.13: Biểu đồ đường ảnh hưởng của góc anpha khi chưa và lắp đặt CSV	58

DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

- DCS: Dây chống sét
- CSV: Chống sét van

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Trong hệ thống điện quốc gia, lưới điện phân phối trung áp (điển hình là cấp điện áp 22kV) đóng vai trò quan trọng trong việc truyền tải điện năng đến phụ tải dân dụng và công nghiệp. Tuy nhiên, các đường dây 22kV đi trên không thường xuyên chịu ảnh hưởng của các yếu tố môi trường, đặc biệt là hiện tượng sét đánh. Sét là nguyên nhân gây ra nhiều sự cố nghiêm trọng như phóng điện cách điện, hư hỏng thiết bị và gây mất điện diện rộng.

Việc nghiên cứu, đánh giá hiệu quả của các thiết bị chống sét như dây chống sét và chống sét van nhằm giảm thiểu sự cố và nâng cao độ tin cậy cung cấp điện là yêu cầu cấp thiết. Đó là lý do đề tài “Giải pháp bảo vệ chống sét cho đường dây trung thế” được lựa chọn và thực hiện.

2. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá việc lắp đặt các thiết bị chống sét cho đường dây 22kV trong hệ thống điện trung áp. Các mục tiêu chính của nghiên cứu bao gồm:

- Phân tích các tác động của sét đối với hệ thống điện 22kV.
- Đánh giá các biện pháp bảo vệ chống sét hiện có, đặc biệt là việc lắp đặt dây chống sét.
- Xem xét các yếu tố kỹ thuật, tiêu chuẩn và quy định liên quan đến lắp đặt thiết bị chống sét cho đường dây 22kV.
- Sử dụng phần mềm mô phỏng MATLAB SIMULINK để đánh giá hiệu quả của việc lắp đặt thiết bị chống sét trong việc giảm thiểu tác động của sét đối với hệ thống.

3. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Hệ thống đường dây trung áp 22 kV, các thiết bị chống sét như dây chống sét, chống sét van.

Phương pháp nghiên cứu:

- Thu thập tài liệu, tiêu chuẩn kỹ thuật và các nghiên cứu liên quan.
- Phân tích và tính toán suất cắt theo lý thuyết.
- Mô phỏng đánh giá hiệu quả bảo vệ bằng phần mềm Matlab Simulink.
- So sánh các phương án về mặt kỹ thuật.

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Góp phần hệ thống hóa lý thuyết về chống sét cho lưới điện trung áp; xây dựng mô hình tính toán và đánh giá hiệu quả bảo vệ.

Ý nghĩa thực tiễn: Đưa ra các phương án chống sét hiệu quả, giúp giảm sự cố mất điện, kéo dài tuổi thọ thiết bị, nâng cao độ tin cậy cung cấp điện và hiệu quả đầu tư cho ngành điện.

5. Tổng quan hệ thống điện 22kV và đặc điểm lưới điện phân phối

Hệ thống điện phân phối 22kV là cấp điện áp phổ biến trong hệ thống phân phối điện của Việt Nam, có nhiệm vụ cung cấp điện cho các phụ tải dân sinh, công nghiệp và sản xuất. Hệ thống này chủ yếu sử dụng đường dây trên không, chiều dài trải rộng, đi qua nhiều khu vực đồi núi, rừng, ven biển – những nơi có xác suất sét đánh cao.

6. Cấu trúc đường dây trên không và nguy cơ bị sét đánh

Đường dây trên không 22kV gồm dây dẫn, cách điện, cột đỡ, tiếp địa... thường đặt cao trên cột, dễ bị phóng điện khi có sét đánh trực tiếp hoặc cảm ứng gần. Sét đánh có thể làm hỏng cách điện, gây dòng xung truyền xuống thiết bị trạm, dẫn đến sự cố gián đoạn cấp điện hoặc hư hỏng thiết bị.

7. Tình hình lắp đặt thiết bị chống sét tại Việt Nam và thế giới

Ở nhiều nước phát triển, dây chống sét và chống sét van đã được triển khai đồng bộ nhằm giảm thiểu thiệt hại do sét gây ra. Tuy nhiên, ở Việt Nam, nhiều đoạn đường dây 22kV chưa được lắp đặt thiết bị bảo vệ hoặc chỉ áp dụng ở khu vực quan trọng. Điều này làm tăng nguy cơ mất điện khi sét xảy ra, đặc biệt vào mùa mưa bão.

Chương 1: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ CHỐNG SÉT CHO ĐƯỜNG DÂY 22KV

1.1. Cơ sở lý thuyết hiện tượng sét và biện pháp chống sét

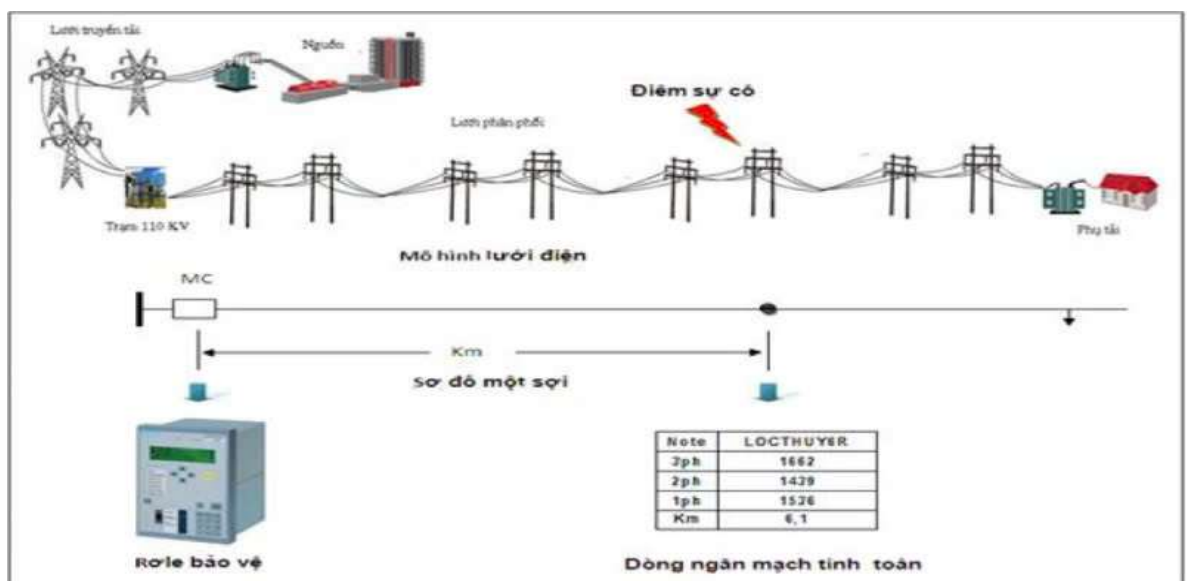
1.1.1. Giới thiệu về hệ thống điện trung áp

Hệ thống điện trung áp (hay còn gọi là điện trung thế) là một phần quan trọng trong mạng lưới điện, có nhiệm vụ truyền tải điện năng từ các trạm biến áp cao áp đến các trạm biến áp hạ áp, trước khi phân phối đến người tiêu dùng cuối cùng. Tại Việt Nam, theo quy định tại Khoản 1 Điều 3 Thông tư 42/2015/TT-BCT, điện trung áp được xác định với mức điện áp trên 1 kV đến 35 kV, trong đó đường dây 22 kV là phổ biến ở nhiều quốc gia.

Trong hệ thống điện 22 kV, các trạm biến áp, cột điện, các thiết bị bảo vệ và các đoạn đường dây đều có vai trò quan trọng trong việc duy trì cung cấp điện ổn định. Tuy nhiên, một trong những yếu tố gây nguy hiểm cho sự ổn định của hệ thống điện này là hiện tượng sét, có thể gây hư hỏng nặng đối với thiết bị, làm gián đoạn cung cấp điện và thậm chí gây nguy hiểm cho tính mạng con người.

Các yếu tố cấu thành hệ thống điện 22 kV:

- Trạm biến áp: Nơi chuyển đổi điện áp từ cao xuống thấp, giúp phân phối điện năng cho các khu vực tiêu thụ.
- Đường dây 22 kV: Được sử dụng để truyền tải điện năng giữa các trạm biến áp và các phụ tải.
- Thiết bị bảo vệ: Bao gồm cầu chì, máy cắt, thiết bị chống sét, v.v., giúp bảo vệ hệ thống khỏi các sự cố như quá tải, ngắn mạch và các tác động khác.



Hình 1.1: Hệ thống điện trung áp

1.1.2. Tác động của sét đối với hệ thống điện

Sét là một hiện tượng tự nhiên có thể gây ra những ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ thống điện, đặc biệt là đối với lưới điện trung áp và cao áp. Khi xảy ra sét đánh, hệ thống điện có thể bị ảnh hưởng theo nhiều cách khác nhau, dẫn đến hư hỏng thiết bị, gián đoạn cung cấp điện và gây ra các sự cố trong quá trình vận hành.

Các ảnh hưởng của sét đến hệ thống điện :



Hình 1.2: Ảnh minh họa sét đánh vào hệ thống điện

Tác động của sét đối với hệ thống điện có thể được chia thành hai loại chính:

Sét đánh trực tiếp: Xảy ra khi tia sét đánh thẳng vào đường dây, cột điện hoặc thiết bị điện gây ra dòng điện và nhiệt độ cực cao, có thể làm hỏng cách điện, đứt dây dẫn hoặc gây cháy nổ thiết bị.

Sét đánh gián tiếp: Xảy ra khi sét đánh xuống đất hoặc một vật thể gần đường dây điện, tạo ra sóng điện từ cảm ứng hoặc lan truyền quá điện áp lên hệ thống điện gây ra hư hỏng các thiết bị điện tử và hệ thống điều khiển.

1.1.3. Hiện tượng sét

Sét hay tia sét là hiện tượng phóng điện trong khí quyển giữa các đám mây và đất hay giữa các đám mây mang các điện tích khác dấu, nó có thể gây hư hỏng cho các thiết bị điện và gây nguy hiểm cho con người.



Hình 1.3: Hiện tượng sét

1.1.3.1 Nguyên nhân hình thành sét

Để hình thành sét, luồng không khí ẩm bốc lên cao (vài kilômét trở lên, nơi có nhiệt độ âm) sẽ bị lạnh đi, khiến hơi nước ngưng tụ thành các giọt nước hoặc tinh thể băng, tạo thành các đám mây giông. Sự phân chia và tích tụ điện tích mạnh mẽ trong các đám mây là tiền đề cho hiện tượng sét. Các luồng không khí nóng bốc lên và quá trình ngưng tụ trong mây đóng vai trò quan trọng trong việc này. Kết quả là các đám mây mang điện tích trái dấu tập trung ở các phần khác nhau: phần dưới thường tích điện âm, còn phần trên tích điện dương. Đám mây tích điện âm cùng với mặt đất tạo thành một hệ thống tương tự như tụ điện mây – đất.

Thông thường, điện tích âm tập trung trong một khu vực nhỏ với mật độ cao, trong khi điện tích dương phân bố rộng hơn ở xung quanh, chủ yếu ở phía trên vùng điện tích âm. Khi điện tích tập trung đủ lớn, cường độ điện trường giữa đám mây và đất tăng dần. Nếu tại một điểm nào đó, cường độ điện trường đạt đến ngưỡng tới hạn (khoảng 25-30 kV/cm), không khí sẽ bị ion hóa và trở nên dẫn điện, mở đường cho sự phóng điện của sét.

Quá trình phóng điện của sét diễn ra qua ba giai đoạn chính:

- Phóng điện tiên đạo từng bậc: Bắt đầu bằng sự xuất hiện của một dòng tiên đạo từ đám mây giông phát triển xuống đất theo từng đợt với tốc độ 100-1000 km/s. Dòng này mang phần lớn điện tích âm của đám mây, tạo ra một điện thế rất cao ở đầu mũi, có thể lên đến hàng triệu vôn.
- Phóng điện chủ yếu: Khi dòng tiên đạo chạm tới mặt đất hoặc các vật dẫn điện nổi bật, giai đoạn phóng điện chính thức bắt đầu. Các điện tích dương từ đất di chuyển ngược lên theo kênh ion hóa do dòng tiên đạo tạo ra với tốc độ rất lớn ($6 \cdot 10^4 - 10^5$ km/s) để trung hòa điện tích âm. Giai đoạn này đặc trưng bởi dòng điện sét lớn chạy qua điểm sét đánh và sự lóe sáng mạnh mẽ. Không khí trong vùng phóng điện bị

đốt nóng cực nhanh lên đến khoảng 10.000°C và giãn nở đột ngột, tạo ra sóng âm thanh, tức là tiếng sấm.

- Kết thúc phóng điện: Giai đoạn này đánh dấu sự kết thúc của quá trình di chuyển điện tích từ đám mây và sự lóe sáng dần biến mất.

Thông thường, một tia sét không chỉ là một lần phóng điện duy nhất mà là một chuỗi các lần phóng điện liên tiếp do sự dịch chuyển điện tích từ các vùng khác nhau trong đám mây. Các tiên đạo của những lần phóng điện sau thường đi theo kênh ion hóa đã được tạo ra từ trước, do đó chúng phát triển liên tục và được gọi là tiên đạo dạng mũi tên.

Cường độ dòng điện sét thường không vượt quá 200-300 kA, và rất hiếm khi đạt hoặc vượt quá 100 kA. Do đó, trong tính toán bảo vệ, người ta thường lấy giá trị dòng điện sét từ 50-100 kA tùy thuộc vào tầm quan trọng của đối tượng cần bảo vệ. Độ dốc cực đại của đầu sóng dòng điện sét thường không quá $50 \text{ kA}/\mu\text{s}$. Dòng điện sét càng lớn thì độ dốc đầu sóng cũng càng lớn. Với dòng điện tính toán từ 100 kA trở lên, độ dốc đầu sóng trung bình thường được lấy là $30 \text{ kA}/\mu\text{s}$, còn với dòng điện nhỏ hơn 100 kA, giá trị này thường là $10 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

Hiện tượng quá điện áp khí quyển xảy ra khi sét đánh trực tiếp vào các thiết bị ngoài trời (như đường dây tải điện, trạm phân phối) hoặc khi sét đánh gần các công trình điện. Quá điện áp do sét đánh trực tiếp là nguy hiểm nhất, có đặc điểm là thời gian tồn tại ngắn (vài chục μs) và điện áp tăng cao đột ngột dưới dạng xung.

Mỗi cấp điện áp có một mức cách điện nhất định. Việc lựa chọn mức cách điện quá cao sẽ làm tăng chi phí thiết bị, trong khi mức cách điện quá thấp có thể dẫn đến sự cố nghiêm trọng. Do đó, mức cách điện cần được xác định dựa trên đặc tính và giá trị của quá điện áp có thể xảy ra, cũng như các thông số của thiết bị dùng để hạn chế điện áp. Khả năng chịu đựng quá điện áp khí quyển của cách điện được kiểm tra bằng điện áp thí nghiệm xung kích.

Để bảo vệ các thiết bị điện khỏi quá điện áp khí quyển, người ta sử dụng hệ thống cột và dây chống sét để ngăn sét đánh trực tiếp vào đối tượng được bảo vệ. Các thiết bị chống sét khác có tác dụng giảm quá điện áp phát sinh trong thiết bị xuống mức an toàn, thấp hơn điện áp thí nghiệm.

Nguyên tắc bảo vệ bằng cột thu sét (còn gọi là cột thu lôi) vẫn dựa trên ý tưởng của Benjamin Franklin từ những năm 1750: sử dụng một cột kim loại cao, đỉnh nhọn, nối với hệ thống nối đất. Khi một đám mây mang điện tích đi qua trên đỉnh cột thu lôi, hiện tượng cảm ứng tĩnh điện sẽ làm cho đỉnh cột tích điện dương (nếu mây mang điện âm). Do đầu cột nhọn, cường độ điện trường tại đó rất lớn, dễ dàng tạo ra một kênh phóng điện từ đỉnh cột lên đám mây, dẫn dòng điện sét xuống đất một cách an toàn.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng sét đánh theo quy luật xác suất và chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố, do đó việc xác định chính xác hướng sét đánh là rất khó khăn và không thể đảm bảo 100%. Các nghiên cứu về chống sét đã chỉ ra rằng chiều cao của cột thu lôi và hệ thống nối đất đảm bảo là những yếu tố quan trọng nhất trong việc bảo vệ.

1.1.3.2 Tác động của sét lên lưới điện

a. Sét đánh vào đường dây truyền tải

Đường dây truyền tải điện cao thế đi xa dễ bị sét đánh hơn do độ cao và độ hở của chúng. Khi tia sét đánh trực tiếp vào đường dây truyền tải, các sự kiện sau có thể xảy ra:

- + Quá điện áp đường dây: Sét đánh có thể gây ra quá điện áp tạm thời trên đường dây truyền tải. Các quá điện áp này có thể vượt quá khả năng cách điện của thiết bị, dẫn đến hỏng cách điện, phóng điện và hư hỏng cách điện. Nó gây áp lực lên các thiết bị bảo vệ và có thể dẫn đến hỏng thiết bị.

- + Các xung sét đánh tạo ra các dòng điện xung nhanh lan truyền qua các đường dây truyền tải. Các xung này có thể đưa sóng hài tần số cao và các xung điện áp vào hệ thống điện. Chúng có thể phá vỡ các thiết bị nhạy cảm, dẫn đến trục trặc, lỗi hoặc thậm chí là ngắt các thiết bị bảo vệ.

- + Hư hỏng máy biến áp và trạm biến áp: Sét đánh vào đường dây truyền tải có thể gây ra dòng điện và điện áp cao trong các máy biến áp và trạm biến áp gần đó. Những dòng điện cảm ứng này có thể gây ra hỏng cách điện, làm hỏng cách điện cuộn dây và dẫn đến lỗi máy biến áp hoặc hỏng hoàn toàn. Các thiết bị trong trạm biến áp như máy cắt mạch, sứ cách điện và tụ điện cũng dễ bị hư hỏng.

- + Sự gián đoạn lưới điện: Sự phóng điện đột ngột của năng lượng sét có thể gây ra sự gián đoạn tạm thời trong lưới điện do đường dây bị ngắt, đóng lại tự động hoặc hoạt động của hệ thống bảo vệ. Những sự gián đoạn này có thể gây mất điện, ảnh hưởng đến các ngành công nghiệp, doanh nghiệp và hộ gia đình.

- + Hệ thống truyền thông: Sét đánh có thể tạo ra trường điện từ cao có thể ảnh hưởng đến các hệ thống truyền thông hoạt động gần đường dây truyền tải. Các nhiễu điện từ này có thể làm gián đoạn mạng lưới viễn thông, tín hiệu điều khiển và truyền dữ liệu, ảnh hưởng đến hoạt động giám sát và điều khiển lưới điện.

- + Nguy cơ an toàn: Sét đánh gây ra rủi ro an toàn cho nhân viên bảo trì làm việc trên hoặc gần đường dây truyền tải. Việc thực hiện các giao thức an toàn là rất quan trọng để bảo vệ người lao động trong các sự kiện giông bão.

b. Sét đánh vào đường dây phân phối

Sét đánh vào đường dây phân phối có thể gây ra nhiều tác động đến hệ thống điện và các thành phần khác nhau của nó.

- + Hư hỏng thiết bị: Sét đánh có thể gây hư hỏng trực tiếp cho các thành phần đường dây phân phối như cột, dây dẫn, sứ cách điện và máy biến áp. Nhiệt độ cao và ứng suất cơ học

do sét tạo ra có thể dẫn đến nóng chảy dây dẫn, gãy cột, sứ cách điện và hỏng máy biến áp. Hư hỏng này có thể dẫn đến mất điện và cần phải sửa chữa hoặc thay thế thiết bị bị ảnh hưởng.

+ Quá áp và đột biến sét: Đánh gây ra quá áp tạm thời và tăng đột biến trong đường dây phân phối. Các điện áp quá mức này có thể vượt quá khả năng cách điện của thiết bị, dẫn đến hỏng cách điện và làm hỏng các thiết bị được kết nối. Điện áp quá mức cũng có thể dẫn đến việc ngắt các thiết bị bảo vệ và gián đoạn nguồn cung cấp điện cho người tiêu dùng.

+ Các vấn đề về chất lượng điện: Sét đánh có thể gây ra nhấp nháy, điện áp giảm, và sự gián đoạn tạm thời trong nguồn điện cung cấp cho người tiêu dùng. Những biến động này có thể gây gián đoạn cho các thiết bị nhạy cảm và có thể dẫn đến mất dữ liệu, trục trặc thiết bị hoặc gián đoạn các quy trình quan trọng.

+ Các vấn đề về tiếp địa: Sét đánh có thể ảnh hưởng đến hệ thống tiếp địa của đường dây phân phối. Dòng điện cao được tạo ra trong quá trình sét đánh có thể gây ra sự gia tăng điện thế tiếp địa bất ngờ và chênh lệch điện áp giữa các bộ phận khác nhau của hệ thống phân phối. Tiếp địa không đúng cách có thể gây nguy hiểm cho sự an toàn của con người và dẫn đến nguy cơ điện hoặc hư hỏng thiết bị.

+ Nguy cơ cháy nổ: Trong những trường hợp nghiêm trọng, sét đánh vào đường dây phân phối có thể gây ra hỏa hoạn. Nhiệt độ cao do sét đánh, cùng với vật liệu dễ cháy gần đó, có thể gây ra hỏa hoạn thực vật hoặc gây hư hỏng kết cấu cho các tòa nhà, gây nguy cơ cho an toàn cộng đồng và làm gián đoạn thêm nguồn cung cấp điện.

1.1.4. Biện pháp chống sét

Khi sự kiện sét đánh xảy ra, các công ty điện lực sẽ bắt đầu các quy trình phục hồi và khôi phục. Bao gồm:

+ Đánh giá thiệt hại: Sau khi bị sét đánh, bước đầu tiên là đánh giá mức độ thiệt hại gây ra cho các đường dây phân phối, bao gồm cột, dây dẫn, máy biến áp và các thiết bị khác. Đánh giá này giúp ưu tiên các nỗ lực sửa chữa và phục hồi.

+ Biện pháp cô lập và an toàn: Phần bị hư hỏng của đường dây phân phối cần được cô lập để ngăn ngừa hư hỏng thêm và đảm bảo an toàn cho nhân viên. Điều này có thể bao gồm mở công tắc, phân đoạn khu vực bị ảnh hưởng và đảm bảo nối đất đúng cách.

+ Sửa chữa hoặc thay thế thiết bị: Các thành phần đường dây phân phối bị hỏng, chẳng hạn như dây dẫn, sứ cách điện, máy biến áp và thiết bị bảo vệ, được sửa chữa hoặc thay thế khi cần thiết. Điều này bao gồm thay thế các cực bị gãy, sửa chữa hoặc nối các dây dẫn bị hỏng, thay thế sứ cách điện bị hỏng và sửa chữa hoặc thay thế máy biến áp bị hỏng.

+ Khôi phục nguồn điện: Sau khi các thành phần bị hỏng được sửa chữa hoặc thay thế, chúng tôi sẽ nỗ lực khôi phục nguồn điện cho các khu vực bị ảnh hưởng. Việc này bao gồm

việc cấp điện lại cho đường dây phân phối, đóng công tắc và cầu dao, và đảm bảo nguồn điện ổn định.

+ Kiểm tra và thử nghiệm chất lượng: Sau khi khôi phục điện, các cuộc kiểm tra và thử nghiệm chất lượng kỹ lưỡng được thực hiện để đảm bảo hệ thống phân phối hoạt động chính xác. Điều này bao gồm kiểm tra mức điện áp, đánh giá chất lượng điện và xác minh rằng tất cả các thiết bị bảo vệ đều hoạt động bình thường.

Biện pháp bảo vệ: Để bảo vệ lưới điện khỏi tác động của sét đánh vào đường dây điện, có thể thực hiện một số biện pháp bảo vệ. Sau đây là một số phương pháp thường được sử dụng:

+ Thiết bị chống sét: Việc lắp đặt thiết bị chống sét (còn gọi là thiết bị chống sét lan truyền) theo các khoảng cách đều đặn dọc theo đường dây điện có thể chuyển hướng các đợt sét lan truyền và ngăn chúng làm hỏng đường dây hoặc thiết bị liên quan. Các thiết bị này cung cấp đường dẫn có điện trở thấp để dòng sét đi theo, hướng dòng sét xuống đất một cách an toàn.

+ Tiếp địa và liên kết: Việc tiếp địa đúng cách cho đường dây điện và thiết bị giúp phân tán năng lượng điện do sét đánh gây ra. Tiếp địa cung cấp một đường dẫn an toàn cho dòng điện sét đi theo, giảm thiểu nguy cơ hư hỏng. Ngoài ra, việc liên kết đúng cách giữa các thành phần khác nhau của hệ thống đảm bảo cân bằng điện thế, giảm nguy cơ hư hỏng thiết bị.

+ Che chắn và cách điện: Sử dụng các kỹ thuật che chắn và cách điện cho đường dây điện và thiết bị liên quan có thể giảm thiểu tác động của sét đánh. Che chắn bao gồm việc bọc các dây dẫn trong các tấm chắn kim loại nổi đất hoặc sử dụng cáp dẫn điện có thể chuyển hướng năng lượng sét ra khỏi các thành phần quan trọng. Cách điện cung cấp một lớp bảo vệ bổ sung bằng cách ngăn chặn tiếp xúc trực tiếp của sét với các bộ phận dẫn điện của thiết bị.

+ Quản lý thảm thực vật: Quản lý thảm thực vật gần đường dây phân phối là rất quan trọng để đảm bảo nguồn cung cấp điện đáng tin cậy và không bị gián đoạn. Cây cối, cây bụi và thảm thực vật mọc um tùm gần đường dây phân phối gây ra nguy cơ tiếp xúc đáng kể với các dây dẫn, làm tăng khả năng mất điện, hư hỏng thiết bị và nguy cơ hỏa hoạn tiềm ẩn. Việc cắt tỉa và dọn sạch thảm thực vật thường xuyên gần đường dây giúp duy trì khoảng cách an toàn, giảm khả năng xảy ra sự cố do thảm thực vật gây ra.

+ Hệ thống phát hiện và giám sát sét: Việc triển khai hệ thống phát hiện và giám sát sét có thể giúp dự đoán và theo dõi hoạt động của sét. Thông tin này có thể được sử dụng để chủ động đóng hoặc cô lập các phần dễ bị tổn thương của lưới điện trước khi sét đánh xảy ra, giúp giảm nguy cơ thiệt hại.

+ Bảo trì và kiểm tra thường xuyên: Việc bảo trì và kiểm tra thường xuyên các đường dây điện, tháp và thiết bị là rất quan trọng để xác định bất kỳ điểm yếu hoặc lỗi hỏng tiềm ẩn nào. Việc sửa chữa hoặc thay thế kịp thời các thành phần bị hỏng hoặc lỗi thời có thể củng

cổ tính toàn vẹn của lưới điện và tăng cường khả năng phục hồi của lưới điện trước sét đánh.

1.2. Phương pháp tính suất cắt trên lưới điện

1.2.1. Tổng quan:

Suất cắt là một chỉ tiêu quan trọng dùng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của sét đến độ tin cậy vận hành của lưới điện phân phối, đặc biệt là lưới điện trung áp như 22kV. Việc tính toán suất cắt giúp xác định số lần sự cố do sét gây ra trên một đoạn đường dây trong một năm, từ đó làm cơ sở kỹ thuật cho việc lựa chọn, bố trí thiết bị bảo vệ chống sét như dây chống sét (DCS), các giải pháp giảm điện áp xung khác.

Tính toán suất cắt trên lưới điện 22kV không chỉ phụ thuộc vào các thông số kỹ thuật của đường dây như chiều dài, chiều cao pha, khoảng cách cách điện... mà còn phụ thuộc vào các yếu tố khí tượng như mật độ sét đánh (Ng), dạng địa hình và hiệu quả của các thiết bị bảo vệ được lắp đặt.

Trong chương này, sẽ trình bày các phương pháp phổ biến để xác định suất cắt đường dây, từ phương pháp thống kê thực nghiệm đến phương pháp tính toán lý thuyết theo tiêu chuẩn TCVN và IEC. Đồng thời, nội dung chương còn hướng đến việc ứng dụng mô hình mô phỏng và tính toán để đánh giá hiệu quả của việc lắp đặt thiết bị chống sét trên đường dây 22kV.

a. Cường độ hoạt động của sét:

- Theo từng vùng hay từng địa phương thì người ta biểu hiện cường độ hoạt động của sét bằng số ngày, số giờ có sét hằng năm
- Ngày có sét: là ngày có sét xuất hiện ít nhất 1 lần từ 0h đến 24h
- Vùng xích đạo: 100-150 ngày/năm
- Vùng nhiệt đới: 75-100 ngày/năm
- Vùng ôn đới: 30-50 ngày/năm
- Vùng cực: 2-3 ngày/năm

b. Mật độ ngày sét:

Là số lần sét đánh trung bình trên một đơn vị diện tích mặt đất trong 1 ngày có dông sét:
 m_s (lần/km² . ngày sét)

$$m_s = (0,1 \div 0,15) \text{ lần/km}^2 \cdot \text{ngày sét} \quad (1.1)$$

Mật độ sét trung bình trong năm:

$$m_s \cdot n \text{ (lần/km}^2 \text{ / năm)} \quad (1.2)$$

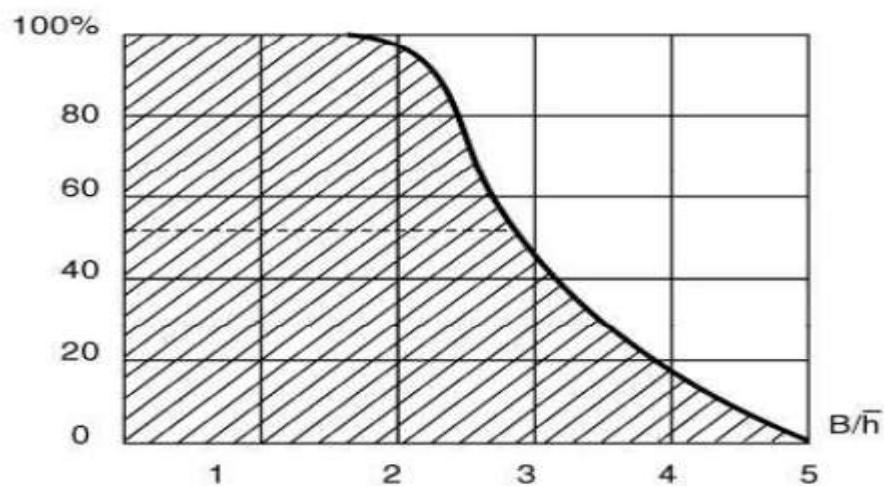


Hình 1.4: Hình ảnh phóng điện do sét đánh trên đường dây

1.2.2. Các chỉ tiêu chống sét cho đường dây :

a. Số lần sét đánh vào đường dây trên không:

Khi xác định phạm vi bảo vệ của dây chống sét đã nhận thấy xác suất sét đánh vào đường dây phụ thuộc vào độ treo cao của dây dẫn trên cùng (dây dẫn hoặc dây chống sét). Nếu $\bar{h}$ là độ treo cao trung bình của dây dẫn trên cùng thì trong phạm vi bề rộng $B = 2\bar{h}$ về mỗi phía của đường dây, toàn bộ số lần sét đánh sẽ đánh vào dây dẫn. Khi $B > 2\bar{h}$ thì xác suất sét đánh vào dây dẫn giảm dần và khi $B \geq 5\bar{h}$ thì toàn bộ số lần sét đánh đều xuống đất. Như vậy trung bình có thể tính, khi $h \leq 3\bar{h}$ về mỗi phía của dây dẫn thì toàn bộ sét đánh vào dây dẫn. Hay nói một cách khác, dây dẫn có khả năng thu toàn bộ số lần sét đánh về phía mình trong phạm vi $2B \leq 6\bar{h}$ ở cả về hai phía.



Hình 1.5: Xác suất sét đánh phụ thuộc vào khoảng cách B

Gọi m là mật độ sét trung bình trong mỗi ngày (hoặc mỗi giờ) có giông sét và n là số ngày (hoặc số giờ) có giông sét trung bình mỗi năm trong khu vực có đường dây đi qua, thì số lần sét đánh trung bình vào đường dây trong một năm:

$$N = 6\bar{h} .L .m .n .10^{-3} \quad (1.3)$$

Với h tính bằng m và L tính bằng km (có dây chống sét hoặc dây pha cao nhất đối với đường dây không có dây chống sét)

b. Số lần phóng điện của cách điện đường dây

Phóng điện trên cách điện chỉ xảy ra khi quá điện áp khí quyển có trị số cao hơn hoặc bằng mức cách điện xung ($u_{0,5}$), của đường dây. Dòng sét có biên độ và độ dốc tương ứng với quá điện áp bằng mức cách điện xung của đường dây được gọi mức chịu sét hay mức bảo vệ chống sét của đường dây: i_{bv} , a_{bv} . Xác suất xuất hiện dòng sét bằng hoặc lớn hơn mức chịu sét đó của đường dây cũng chính là xác suất phóng điện ν_p trên cách điện đường dây

$$\nu_p = P\{is \geq ibv\} = P\{uqa \geq u_{0,5}\} \quad (1.4)$$

Như vậy, số lần phóng điện trên cách điện đường dây trong một năm:

$$N_p = N\nu_p = 6\bar{h} .L .m .n . \nu_p .10^{-3} \text{ (lần/năm)} \quad (1.5)$$

c. Số lần cắt điện đường dây do sét

Không phải bất cứ lần phóng điện nào trên cách điện đường dây đều đưa đến cắt điện, mà cắt điện đường dây chỉ xảy ra khi phóng tia lửa điện xung chuyển thành phóng điện hồ quang ổn định, duy trì bởi điện áp làm việc của đường dây tức là ngắn mạch chạm đất bằng hồ quang ổn định. Thời gian cần thiết để phóng điện tia lửa phát triển thành hồ quang ổn định bằng hoặc lớn hơn thời gian tác động của rơle bảo vệ, tức không bé hơn một nửa chu kỳ tần số công nghiệp (0.01s), trong khi đó thời gian tồn tại của quá điện áp khí quyển thường ít khi vượt quá $100\mu s$ ($10^{-4}s$).

Xác suất chuyển từ phóng điện tia lửa thành phóng điện hồ quang ổn định phụ thuộc vào nhiều yếu tố (như công suất nguồn, điều kiện khí tượng ...) trong đó quan trọng nhất là gradient điện áp dọc theo chiều dài cách điện (tức là điện áp trên một đơn vị chiều dài của cách điện đường dây). Gradient điện áp làm việc càng cao thì điện dẫn trong khe phóng điện càng duy trì lâu, do đó việc chuyển thành hồ quang càng thuận lợi.

Xác suất chuyển thành hồ quang ổn định η được xác định bằng thực nghiệm

Bảng 1.1: Các giá trị xác suất hình thành hồ quang theo giá trị gradient điện áp làm việc

$\bar{E}_{lv} = \frac{u_{dm}}{\sqrt{3}l_{cd}} \left(\frac{kv}{m} \right)$	50	30	20	10
H(Chuỗi sứ)	0.6	0.45	0.25	0.1

Số lần cắt điện đường dây do sét hằng năm bằng:

$$N_c = N\nu_p = 6\bar{h} .L .m .n . \nu_p . \eta . 10^{-3} \text{ (lần/năm)} \quad (1.6)$$

Để so sánh khả năng chịu sét của các đường dây có thông số khác nhau, đi qua những vùng có hoạt động của sét khác nhau: thường dùng suất cắt điện đường dây n_c , tức là số lần trung bình cắt điện hằng năm do sét trên 100km đường dây.

$$n_c = 0.6 \bar{h}.m .n. \text{ vp. } \eta \text{ (lần/năm)} \quad (1.7)$$

Suy ra, muốn giảm suất cắt điện đường dây phải giảm xác suất phóng điện vp và xác suất hình thành hồ quang ổn định η .

Như đã biết: $vp = P\{ucd \geq u_{0,5}\}$ do đó để giảm xác suất phóng điện vp tùy trường hợp cụ thể, có thể bằng cách tăng cường cách điện đường dây (ví dụ sơn cách điện cho đà sắt hoặc thay đà sắt bằng đà composite) để tăng mức cách điện xung để tang mức cách điện xung $U_{0.5}$ của đường dây, bằng cách treo dây chống sét để giảm số lần sét đánh thẳng vào dây dẫn và giảm điện áp tác dụng lên cách điện, bằng cách giảm điện trở nối đất cột điện.

Để giảm xác suất hình thành hồ quang ổn định η , phải giảm gradient điện áp làm việc trung bình, bằng cách tăng chiều dài phóng điện như sơn cách điện cho đà sắt hoặc thay bằng đà composite (những biện pháp này vừa có tác dụng tăng chiều dài phóng điện vừa có tác dụng tăng mức cách điện xung của đường dây)

Ngoài ra, một số biện pháp nhằm mục tiêu chủ yếu khác, nhưng cũng có tác dụng giảm suất cắt điện đường dây như dùng máy cắt có thiết bị tự động đóng lại (TĐL) (vì sự cố do sét chỉ có tính chất thoáng qua), như nối đất điểm trung tính qua cuộn dập hồ quang (có tác dụng giảm η).

Xuất phát từ điều kiện an toàn cung cấp điện, số lần cắt điện cho phép trong một năm có thể tính sơ bộ theo.

$$N_{c,cp} = N_{cp} (1 - \beta_{TĐL}) \quad (1.8)$$

Với: N_{cp} – số lần ngừng cung cấp điện cho phép trong năm

$\beta_{TĐL}$ – hệ số tự đóng lại thành công, lấy bằng $0.8 \div 0.9$

Một giới hạn nữa cần tính đến là điều kiện làm việc của máy cắt: số lần cắt ngắn mạch cho phép giữa hai lần đại tu hoặc số lần làm việc của máy cắt trong chu kỳ TĐL, giữa hai lần kiểm tra. Trên cơ sở những điều kiện trên, tùy loại máy cắt, số lần cắt điện cho phép $N_{c,cp} = 1 \div 4$.

d. Quá điện áp cảm ứng

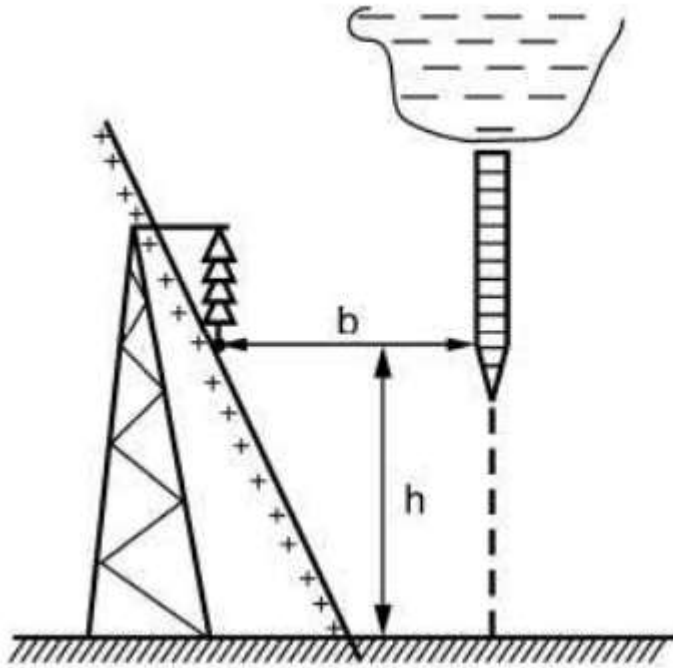
Khi sét đánh gần đường dây, điện từ trường của dòng sét tạo nên gần mặt đất, tác dụng trên dây dẫn của đường dây, sẽ gây nên quá điện áp cảm ứng.

Tương ứng với hai thành phần của điện và từ trường:

$$E_d = - \text{grad}\phi \text{ và } E_d = - dA/dt$$

Với: ϕ – thế vô hướng; A – thế vector tại điểm khảo sát

Điện áp cảm ứng gồm hai thành phần: Điện áp cảm ứng điện U_d^{cu} và điện áp cảm ứng từ U_t^{cu} mà bản chất vật lý của chúng như sau:



Hình 1.6: Sự xuất hiện quá điện áp cảm ứng do sét đánh gần đường dây

Thành phần điện áp cảm ứng điện U_d^{cu}

Khi điện tích của mây dông (phần lớn là điện tích âm) theo dòng tiên đạo phát triển về hướng mặt đất thì trên dây dẫn của đường dây tải điện xuất hiện những điện tích dương ràng buộc, còn điện tích âm tự do trên dây dẫn, do tốc độ phát triển chậm của dòng tiên đạo, sẽ rời khỏi khu vực ảnh hưởng của dòng tiên đạo. Trường của điện tích dương ràng buộc cân bằng với trường của điện tích âm trong dòng tiên đạo, nên thế của dây dẫn trong giai đoạn phóng điện tiên đạo bằng không (nếu không kể đến điện áp làm việc tần số công nghiệp của dây dẫn).

Ngay khi bắt đầu giai đoạn phóng điện chủ yếu, điện tích trái dấu từ mặt đất tràn vào khe tiên đạo và trung hoà với điện tích âm của khe tiên đạo: Trường dao nó tạo nên bị khử. Kết quả là điện tích dương ràng buộc trên dây dẫn được giải phóng chạy về hai phía của dây dẫn tạo nên sóng quá điện áp trên dây dẫn. Đó là thành phần điện của quá điện áp cảm ứng. Nếu sự trung hoà điện tích trong khe tiên đạo xảy ra tức thời thì trị số cực đại của điện áp cảm ứng điện trên dây dẫn ở gần nơi sét đổ bộ nhất sẽ bằng:

$$U_d^{cu} = k \cdot \frac{\bar{h}}{b} \sigma \quad (1.9)$$

với: σ - mật độ đường của điện tích trong khe tiên đạo

k - hệ số tỉ lệ

$\bar{h}$ - độ treo cao trung bình của dây dẫn

b – khoảng cách ngắn nhất từ nơi sét đổ bộ đến dây dẫn của đường dây.

Trong thực tế, sự trung hoà điện tích trong khe tiên đạo xảy ra với tốc độ v của phóng điện chủ yếu ($v = (0.1 \div 0.3).C$) nên điện tích rãng buộc được giải phóng dần dần. Tốc độ phóng điện chủ yếu càng bé thì sự giải phóng điện tích rãng buộc càng chậm và thành phần điện của điện áp cảm ứng càng bé. Nếu chú ý đến đặc điểm này thì trong công thức trên đưa thêm vào hệ số $f(v)$ và đồng thời chú ý đến quan hệ $\sigma = is/v$ thì:

$$U_d^{cr} = k.f(v) \frac{\bar{h}}{b} \cdot \frac{i_s}{v} = k_d(v) \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s \quad (1.10)$$

Trong đó: $k_d = k.f(v)/v$ giảm khi v tăng

a. Thành phần điện áp cảm ứng từ U_t^{cr}

Dưới tác dụng của từ trường của dòng sét trong giai đoạn phóng điện chủ yếu, trong mạch vòng kín dây dẫn – đất xuất hiện thành phần điện áp cảm ứng từ. Trị số cực đại của dòng sét và tốc độ phát triển của phóng điện chủ yếu:

$$U_t^{cr} = k_t(v) \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s \quad (1.11)$$

Trong đó: $k_t(v)$ là hệ số tăng theo tốc độ phóng điện chủ yếu v

Điện áp cảm ứng lớn nhất

Trị số cực đại của quá điện áp cảm ứng bằng:

$$U_{max}^{cr} = U_d^{cr} + U_t^{cr} = [k_t(v) + k_d(v)] \cdot \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s = k_{cr} \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s \quad (1.12)$$

Hệ số $k_{cr} = [k_t(v) + k_d(v)]$ ít phụ thuộc vào tốc độ phóng điện chủ yếu vì hai thành phần điện và từ phát triển ngược nhau theo tốc độ. Tính toán lý thuyết cho thấy: $k_{c0} = 30$ Ω , do đó:

$$U_{max}^{cr} = 30 \cdot \frac{\bar{h}}{b} \cdot i_s \quad (1.13)$$

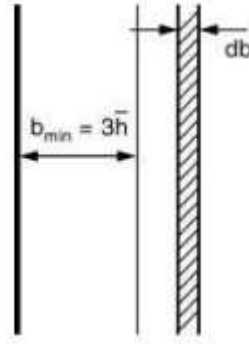
Từ đó suy ra dòng sét nguy hiểm cho cách điện đường dây, tức là mức chịu sét (hay mức bảo vệ) của cách điện đường dây:

$$i_{bv} = U_{0.5} \frac{b}{30h} \quad (1.14)$$

Mọi dòng sét lớn hơn hay bằng mức chịu sét của đường dây $i_s \geq i_{bv}$ đều dẫn đến phóng điện trên cách điện đường dây. Xác suất xuất hiện dòng sét nguy hiểm đó cũng chính là xác suất phóng điện của cách điện đường dây:

$$v_p = v_{ibv} = e^{\frac{-i_{bv}}{26}} = e^{\frac{-U_{0.5}b}{780h}} \quad (1.15)$$

b. Xác định số lần phóng điện trên cách điện đường dây do quá điện áp cảm ứng



Hình 1.7: Phạm vi sét đánh gây quá điện áp cảm ứng trên đường dây

Số lần sét đánh trên dải đất rộng db ngoài phạm vi sét đánh trực tiếp $b_{min} = 3\bar{h}$ dọc theo chiều dài L của đường dây gây nên phóng điện trên cách điện đường dây bằng:

$$dN_p = m. n. L. dp. 10^{-3}. e^{\frac{-U_{0.5}b}{780h}} \quad (1.16)$$

Như vậy, toàn bộ số lần sét đánh xuống đất về cả hai bên đường dây gây nên phóng điện trên cách điện đường dây bằng:

$$N_p = 2 \int_{b_{min}}^{\infty} dN_{pd} = 2 \int_{3h}^{\infty} dN_{pd} = 2.m.n.L.10^{-3}. \int_{3h}^{\infty} e^{\frac{-U_{0.5}b}{780h}} dp \quad (1.17)$$

$$N_p = 2.m.n.L.10^{-3}. \frac{780\bar{h}}{U_{0.5}}. e^{\frac{-U_{0.5}}{260}} = 1.56.m.n.L. \frac{\bar{h}}{U_{0.5}}. e^{\frac{-U_{0.5}}{260}} \quad (1.18)$$

Suất phóng điện trên cách điện đường dây là số lần phóng điện ứng với 100km chiều dài đường dây bằng:

$$n_p = 1.56.m.n. \frac{\bar{h}}{U_{0.5}}. e^{\frac{-U_{0.5}}{260}} \quad (1.19)$$

Đối với đường dây từ 35kV trở xuống, do $U_{0.5}$ bé nên suất phóng điện do quá điện áp cảm ứng. Biện pháp thông dụng đối với đường dây các cấp điện áp thấp này là sơn cách điện cho đà sắt hoặc thay bằng đà composite để tăng mức cách điện xung của đường dây và giảm xác suất chuyển thành hồ quang ổn định. Ngoài ra, nếu lưới 25kV có trung tính nối đất qua cuộn dập hồ quang thì xác suất hình thành hồ quang ổn định $\eta \approx 0$, nhờ đó suất cắt điện đường dây do sét hầu như không đáng kể.

1.2.3. Công thức tính suất cắt trên đường dây

1.2.3.1. Đặc điểm bảo vệ chống sét đường dây 22kV

Các đường dây trung thế thường không treo DCS do mức cách điện đường dây thấp.

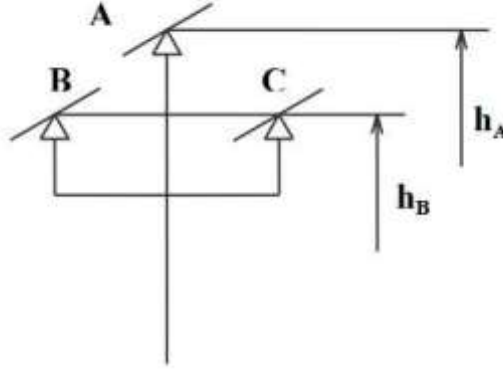
Ngoài loại sự cố do sét đánh trực tiếp ta còn phải xét đến sự cố do sét đánh cảm ứng.

Chế độ nối đất trung tính của hệ thống trung áp ảnh hưởng nhiều đến phẩm chất chống sét của đường dây.

Do tính chất cột điện trung áp thấp nên có thể bỏ qua điện trở thân cột và như vậy trong mạch tính toán chỉ gồm tổng trở Z và điện trở R nên không quan tâm đến độ dốc dòng sét mà quan tâm đến biên độ dòng sét.

Do điện áp làm việc của hệ thống trung tính thấp nên có thể bỏ qua thành phần này.

1.3.3.2. Tính toán điện áp cảm ứng:



Hình 1.8: Mô hình bố trí chiều cao các pha trên lưới điện trung thế 22kV

- Quá điện áp cảm ứng lớn nhất là pha A và trị số:

$$U_{cu}^{max} = \frac{30 \cdot I_s \cdot h_A}{b} \quad (1.20)$$

Trong đó:

+ I_s : biên độ dòng sét

+ b : khoảng cách từ điểm sét đánh đến đường dây

- Điều kiện để xảy ra phóng điện trên pha A sẽ là:

$$\frac{30 \cdot I_s \cdot h_A}{b} \geq U_{50\%} \quad (1.21)$$

- Từ đó xác định được xác suất phóng điện:

$$v_{pd} = p \left\{ I_s \geq \frac{U_{50\%} \cdot b}{30 \cdot h_A} \right\} = e^{-\frac{b \cdot U_{50\%}}{780 \cdot h_A}} \quad (1.22)$$

- Số lần phóng điện trên cách điện pha A tính cho 100km sẽ là:

$$N_{pd} = 2 \cdot \int_{3 \cdot h_A}^{\infty} d \cdot N_{pd} = \frac{(15.5 \div 23.4) \cdot n_{ngs} \cdot h_A}{U_{50\%}} \cdot e^{-\frac{U_{50\%}}{260}} \quad (1.23)$$

- Khi pha A đã phóng điện thì pha A sẽ trở thành dây nối đất và làm cho quá điện áp trên pha B, C giảm tới mức:

$$U_{cu}^{max} = \frac{30 \cdot I_s \cdot h_A}{b} \cdot \left(1 - K_{vq} \frac{h_A}{h_B} \right) \quad (1.24)$$

- Phóng điện trên pha B, C xảy ra khi:

$$U_{cu}^{max} \geq U_{50\%} \Rightarrow I_s \geq \frac{U_{50\%} \cdot b}{30 \cdot h_B \left(1 - K_{vq} \frac{h_A}{h_B}\right)} \quad (1.25)$$

- Xác suất phóng điện là:

$$v_{pd} = e^{-\frac{b \cdot U_{50\%}}{780 \cdot h_B \cdot m}} \text{ với } m = \left(1 - K_{vq} \frac{h_A}{h_B}\right) \quad (1.26)$$

- Từ đó xác định được số lần phóng điện trên cách điện của các pha B, C tính cho 100km đường dây:

$$dN_{pd}^{(2)} = (0.1 \div 0.15) \cdot n_{ngs} \cdot db \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot e^{-\frac{b \cdot U_{50\%}}{780 \cdot h_B \cdot m}} \quad (1.27)$$

$$N_{pd}^{(2)} = 2 \cdot \int_{3 \cdot h_B}^{\infty} d \cdot N_{pd} = \frac{(15.5 \div 23.4) \cdot n_{ngs} \cdot h_B \cdot m}{U_{50\%}} \cdot e^{-\frac{U_{50\%}}{260 \cdot m}} \quad (1.28)$$

1.2.3.3 Tính toán cụ thể cho từng chế độ vận hành điểm trung tính

a. Tính toán bảo vệ chống sét đường dây trung áp khi trung tính hệ thống cách đất hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang.

Trong trường hợp này sự cố sét chỉ xảy ra khi có phóng điện trên cách điện của hai pha. Suất cắt do sét được xác định:

$$n = n_{tt} + n_{cur} \text{ (lần/100km.năm)} \quad (1.29)$$

Trong đó:

n_{cur} : Thành phần suất cắt do sét đánh cảm ứng

n_{tt} : Thành phần suất cắt do sét đánh trực tiếp vào đường dây a.

➤ Xác định n_{cur} :

$$n_{cur} = N_{pd}^{(2)} \cdot \eta \quad (1.30)$$

Trong đó:

+ η : Xác suất hình thành hồ quang

Với $\eta = f(E_{lv})$

E_{lv} : gradien điện áp làm việc dọc theo bề mặt cách điện với:

$$E_{lv} = \frac{U_{lv}}{2 \cdot l_{cd}} \quad (1.31)$$

Trong đó:

l : chiều dài cách điện bề mặt

U : là điện áp định mức của đường dây

➤ Xác định n_{tt} :

Điều kiện để xảy ra phóng điện trên cách điện pha B, C sau khi cách điện pha A đã bị phóng điện do sét đánh trực tiếp lên pha này:

$$\frac{I \cdot R_{xk} \cdot Z_{vq} (1 - k_{vq})}{Z_{vq} + 2 \cdot R_{xk}} \geq U_{50\%} \Rightarrow I \geq \frac{U_{50\%} \cdot (Z_{vq} + 2 \cdot R_{xk})}{R_{xk} \cdot Z_{vq} (1 - k_{vq})} \quad (1.32)$$

Xác suất phóng điện được xác định:

$$V_{pđ} = e^{-\frac{1}{26.1}} \quad (1.33)$$

Suất cắt do sét đánh trực tiếp:

$$n_{tt} = N \cdot V_{pđ} \cdot \eta \quad (1.34)$$

Trong đó:

N: Tổng số lần sét đánh lên đường dây

$$N = (0,06 \div 0,09) \cdot n_{ngs} h_{tb}^{dd} \quad (1.35)$$

Trong đó:

n_{ngs} : Số ngày sét đánh trong một năm

h_{tb}^{dd} : chiều cao trung bình của dây trên cùng

η : Xác suất hình thành hồ quang

➤ Biện pháp bảo vệ chống sét đường dây :

Từ suất cắt do sét và tổng số lần sét đánh lên đường dây sẽ suy ra được các biện pháp nhằm giảm các suất cắt như n_{cur} , n_{tt} là:

- Tăng mức cách điện xung kích của đường dây
- Tăng cường sơn cách điện cho hai pha bên dưới (pha B, C) là rất có lợi vì không những làm mức cách điện xung kích (ước tính 100kV/m) mà còn làm giảm đáng kể xác suất hình thành hồ quang η : do chiều dài bề mặt cách điện tăng lên rõ rệt.
- Giảm điện trở nối đất cột điện là biện pháp rất hiệu quả trong việc giảm thành phần suất cắt n_{tt}
- Trong sơ đồ đầu cột phải chủ động bố trí một pha ở trên cùng, pha này có cách điện bị phóng điện trước tiên để trở thành dây được nối đất nhằm phát huy tác dụng ngẫu hợp với các pha khác.
- Khi hai pha còn lại B và C không cùng mặt phẳng ngang sẽ phải tính riêng rẽ các thành phần n_{tt} , n_{cur} với từng pha một và sau đó lập suất cắt do sét (n) theo:

$$N = \text{Max}(n_{cur}) + \text{Max}(n_{tt}) \quad (1.36)$$

- Phân tích tác dụng của cuộn dập hồ quang: trong bảo vệ chống sét đường dây cuộn dập hồ quang chỉ phát huy tác dụng đối với các cú sét gây nên ngắn mạch chạm đất một pha tức là khi dòng điện sét lấy giá trị:

$$I_1 \leq I_s < I_2 \quad (1.37)$$

I_1 : là ngưỡng dòng điện sét gây nên phóng điện trên cách điện pha:

$$I_1 = \frac{4 \cdot U_{50\%}}{Z_{vq}} \quad (1.38)$$

Z_{vq} : là tổng trở sóng của dây dẫn pha A có xét đến vàng quang

I_2 : là ngưỡng dòng điện sét gây nên phóng điện trên pha B hoặc C được xác định theo công thức:

$$I \geq \frac{U_{50\%} \cdot (Z_{vq} + 2 \cdot R_{xk})}{R_{xk} \cdot Z_{vq} (1 - k_{vq})} \quad (1.39)$$

b. Tính toán bảo vệ đường dây trung áp khi dây trung tính hệ thống nối đất trực tiếp hoặc qua tổng trở

Trong các trường hợp này thì phóng điện trên bề mặt cách điện là đủ gây ra sự cố do sét.

a. Xác định n_{cur} :

$$n_{cur} = N_{pd} \cdot \eta \quad (1.40)$$

Trong đó:

η : Xác suất hình thành hồ quang

$$E_{lv} = \frac{U_{lv}}{\sqrt{3} \cdot l_{cd}} \quad (1.41)$$

b. Xác định n_{tt} :

Điều kiện để xảy ra phóng điện trên cách điện pha A sau khi pha này bị sét đánh trực tiếp bởi:

$$I \geq \frac{4 \cdot U_{50\%}}{Z_{vq}} \quad (1.42)$$

Xác suất phóng điện được xác định:

$$V_{pd} = e^{-\frac{4 \cdot U_{50\%}}{Z_{vq}}} = e^{-\frac{U_{50\%}}{6.525 Z_{vq}}} \quad (1.43)$$

Trong đó:

Z_{vq} : Tổng trở sóng của dây dẫn pha A có xét đến ảnh hưởng của vàng quang.

Suất cắt do sét đánh trực tiếp:

$$n_{tt} = N \cdot V_{pd} \cdot \eta \quad (1.44)$$

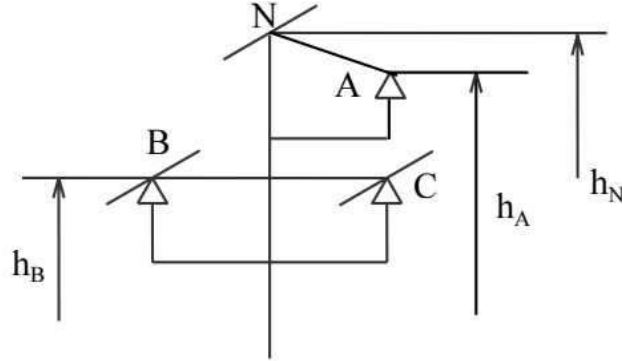
c. Biện pháp bảo vệ chống sét đường dây :

Các thành phần suất cắt n_{tt} , n_{cur} có giá trị lớn hơn so với khi hệ thống điện có trung tính cách điện hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang. Nối đất và việc cải thiện nối đất ở các cột điện không có tác dụng gì đối với việc nâng cao phẩm chất chống sét của đường dây. Trong trường hợp này chỉ có thể dùng các biện pháp:

Tăng mức cách điện của đường dây

Giảm xác suất hình thành hồ quang ngắn mạch, có thể sử dụng đà composite hoặc sơn cách điện đà sắt để đồng thời đạt cả hai mục tiêu trên.

c. Tính toán bảo vệ chống sét đường dây trung áp khi hệ thống nối đất trực tiếp và có dây trung tính.



Hình 1.9: Mô hình bố trí chiều cao các pha và DCS trên lưới điện trung thế 22kV

Ở đây dây trung tính được đặt trên cùng và làm nhiệm vụ chống sét. Nếu góc $\alpha < 300$ thì có thể bảo vệ chống sét cho dây dẫn các pha.

a. Xác định n_{cu} :

- Do dây dẫn N nối đất nên số lần phóng điện trên pha A, B do sét đánh cảm ứng gây nên được xác định như công thức (2.18). Nhưng ở đây ta phải tính cho cả hai pha A và B vì chưa biết pha nào có số lần phóng điện lớn hơn

$$\begin{cases} N_{pd}(A) = \frac{(15,6 \div 23,4) \cdot n_{ngs} \cdot h_A \cdot mm_A}{U_{50\%}} \cdot e^{\frac{-U_{50\%}}{260 \cdot m_A}} \\ m_A = 1 - K_{vq}^A \cdot \frac{h_N}{h_A} \end{cases} \quad (1.45)$$

$$\begin{cases} N_{pd}(B) = \frac{(15,6 \div 23,4) \cdot n_{ngs} \cdot h_B \cdot mm_B}{U_{50\%}} \cdot e^{\frac{-U_{50\%}}{260 \cdot m_B}} \\ m_B = 1 - K_{vq}^B \cdot \frac{h_N}{h_B} \end{cases} \quad (1.46)$$

- Thành phần suất cắt cảm ứng được xác định:

$$n_{cu} = N_{pd} \cdot \eta \quad (1.47)$$

Trong đó:

N_{pd} : là giá trị lớn nhất của $N_{pd}(A)$ và $N_{pd}(B)$

b. Xác định n_{tt} :

- Khi có sét đánh trực tiếp vào dây N thì phóng điện ngược tiếp theo sẽ xuất hiện ở pha nào có hệ số với dây N là lớn nhất.
- Điều kiện để xảy ra phóng điện:

$$\frac{I \cdot R_{xk} \cdot Z_{vq} (1 - k_{vq})}{Z_{vq} + 2 \cdot R_{xk}} \geq U_{50\%} \Rightarrow I \geq \frac{U_{50\%} \cdot (Z_{vq} + 2 \cdot R_{xk})}{R_{xk} \cdot Z_{vq} (1 - k_{vq})} \quad (1.48)$$

- Xác suất phóng điện được xác định:

$$V_{pd} = e^{-\frac{1}{26.1}} \quad (1.49)$$

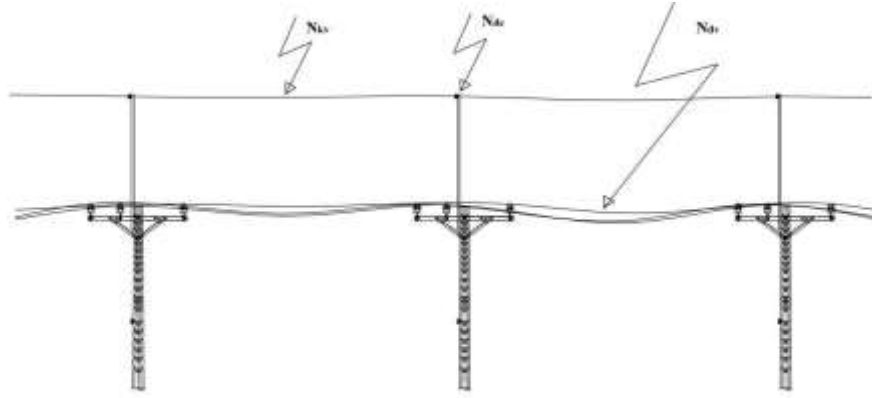
- Suất cắt do sét đánh trực tiếp:

$$N_{tt} = N \cdot V_{pd} \cdot \eta \quad (1.50)$$

c. Biện pháp bảo vệ chống sét cho đường dây 22 kV

- Tăng mức cách điện đường dây, giảm xác suất hình thành hồ quang bằng việc sơn cách điện xà hoặc sử dụng đà composite, ... cho cả ba pha;
- Giảm điện trở nối đất xung kích của cột điện (R_{xk});
- Treo dây trung tính (DCS) với góc bảo vệ $\alpha < 300$.

1.2.4. Tính toán suất cắt đường dây 22kV khi có treo DCS



Hình 1.10: Các trường hợp sét đánh vào đường dây có treo DCS

1.2.4.1. Sét đánh vào khoảng vượt của DCS

- Số lần sét đánh vào khoảng vượt:

$$N_{kv} = N - N_{dc} \approx \frac{N}{2} \quad (1.51)$$

Trong đó:

N_{dc} : số lần sét đánh vào khu vực đỉnh cột

$$N_{dc} = (N - N \cdot V_{\alpha}) \cdot \left(\frac{h_c}{L_{kv}} \right) \approx N \cdot \left(\frac{h_c}{L_{kv}} \right) \quad (1.52)$$

h_c : chiều cao của cột

L_{kv} : chiều dài khoảng vượt

Tính gần đúng ta có :

$$N_{kv} \approx N_{dc} \approx \frac{N}{2} \quad (1.53)$$

- Xác suất phóng điện trên cách điện của ĐDK khi sét đánh vào khoảng vượt DCS.

Điện áp của dây chống sét chính là giá trị $\frac{i_s(t)}{2}$ giáng lên điện trở nối đất và điện cảm L_c^{cs} của cột, có giá trị:

$$U_{cs}(t) = \frac{i_s(t)}{2} \cdot R_c + \frac{1}{2} \cdot L_c^{cs} \cdot \frac{di_s(t)}{dt} \quad (1.54)$$

Điện áp này sẽ cảm ứng lên dây dẫn một điện áp:

$$U_{cs}(t) = K U_{cs}(t) \quad (1.55)$$

Suy ra điện áp của dây chống sét giáng lên cách điện của các pha:

$$U_{cd1}(t) = \frac{a}{2} (R_c \cdot t + L_c^{cs}) (1 - K_1) + U_{lv} \quad (1.56)$$

$$U_{cd2}(t) = \frac{a}{2} (R_c \cdot t + L_c^{cs}) (1 - K_2) + U_{lv} \quad (1.57)$$

$$U_{cd3}(t) = \frac{a}{2} (R_c \cdot t + L_c^{cs}) (1 - K_3) + U_{lv} \quad (1.58)$$

Trong đó:

L_c^{cs} : Điện áp của cột điện tính đến độ treo cao của dây chống sét và được tính:

$$L_c^{cs} = 0,2 \cdot h_{cs} \left(\ln \frac{2H}{R_{td}} + \frac{\Delta h}{2 \cdot h_{cs}} \cdot \ln \frac{H}{\Delta h} - 1 \right) \quad (1.59)$$

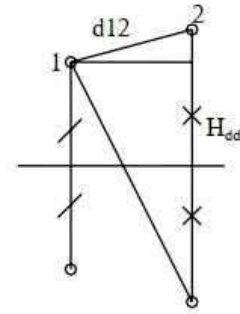
$$H = h_{cs} + h_c, \Delta h = h_{cs} - h_c \quad (1.60)$$

R_{td} : bán kính tương đương của dây dẫn

K : hệ số ngẫu hợp của dây chống sét và dây dẫn

Khi chưa kể đến ảnh hưởng của vàng quang thì:

$$K_o = \frac{\ln \frac{D_{12}}{d_{12}}}{\ln \frac{2 \cdot h_2}{r_2}} \quad (1.60)$$



Trong đó:

$h_2(h_{cs})$: độ treo cao dây chống sét

r_2 : bán kính dây chống sét

d_{12} : khoảng cách giữa dây dẫn và dây chống sét

D_{12} : khoảng cách giữa ảnh dây dẫn và dây chống sét

Điện áp này gây ra phóng điện khi ảnh hưởng đến vàng quang thì ta có hệ số ngẫu hợp có giá trị:

$$K = \lambda \cdot K_o \quad (1.61)$$

Trong đó:

λ : hệ số hiệu chỉnh

Thay các giá trị U_{lv}, L_c^{cs} vào biểu thức $U_{cd}(t)$ và biến đổi ta được:

$$a_i = \frac{U_{pd}(t_i) - U_{lv}}{(R_c t_i + L_c^{cs}) \left(\frac{1-K}{2} \right)} \quad (1.62)$$

$$I_i = a_i \cdot t_i \quad (1.63)$$

$$\Delta V_{pd}(t_i) = e^{-\frac{I_i}{26.1}} \left(e^{-\frac{a_i}{10.9}} - e^{-\frac{a_{i-1}}{10.9}} \right) \quad (1.64)$$

Khi đó, xác suất phóng điện trên khoảng vượt của DCS:

$$V_{pd}(t_i) = \sum_{1}^n \Delta V_{pd}(t_i) \quad (1.65)$$

Suất cắt của ĐDK khi sét đánh vào khoảng vượt DCS:

$$n_{kv} = N_{kv} \cdot V_{pd} \cdot \eta \quad (1.66)$$

1.2.4.2. Suất cắt do sét đánh vào đỉnh cột

$$N_{kv} \approx N_{dc} \approx \frac{N}{2} \quad (1.67)$$

- Xác suất phóng điện:

Khi điện áp đặt lên cách điện của đường dây:

$$U_{cd}(t) = i_c(t) \cdot R_c + L_c^{dd} \frac{d_{ic}}{dt} + M_{dd}(t) \frac{d_{is}}{dt} + U_{cu}^d + U_{lv} - K \cdot U_{cs}(t) \quad (1.68)$$

Thành phần được xác định:

$$U_{cd}(t) = L_c^{dd} \frac{d_{ic}}{dt} + M_{dd}(t) \frac{d_{is}}{dt} \quad (1.69)$$

Trong đó:

L_c^{dd} : : trị số điện cảm phần cột tính từ mặt đất tới mức treo cao dây dẫn

$M_{dd}(t)$: hồ cảm giữa khe sét với mạch vòng (dây dẫn – đất)

$$U_{cu}^d(t) = \frac{0,1 \cdot h_{dd} \cdot a}{\beta} \cdot \ln \frac{(V \cdot t + h_c) \sqrt{(V \cdot t + \Delta h)(V \cdot t + H)}}{(1 + \beta)^2 \cdot h_c \cdot \sqrt{\Delta h \cdot H}} \cdot \left(1 - K \frac{h_{tb}^{cs}}{h_{tb}^{dd}} \right) \quad (1.70)$$

$$\frac{U_{cu}^d}{a} = \frac{0,1 h_{dd}}{\beta} \cdot \ln \frac{(V \cdot t + h_c) \sqrt{(V \cdot t + \Delta h)(V \cdot t + H)}}{(1 + \beta)^2 \cdot h_c \cdot \sqrt{\Delta h \cdot H}} \cdot \left(1 - K \frac{h_{tb}^{cs}}{h_{tb}^{dd}} \right) \quad (1.71)$$

Thành phần điện áp làm việc:

$$U_{lv} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}\pi} U_{dm} \quad (1.72)$$

Thành phần điện áp giáng trên R_c , L_c tính cho độ treo cao của dây dẫn do dòng điện đi trong cột gây ra:

$$i_c(t) \cdot R_c + L_c^{dd} \frac{di_s}{dt} \quad (1.73)$$

Thành phần từ của điện áp cảm ứng xuất hiện trên dây dẫn do hồ cảm giữa khe sét và dây dẫn:

$$M_{dd}(t) \frac{di_s}{dt} \quad (1.74)$$

Thành phần điện áp trên dây dẫn:

$$K \cdot U_{cs}(t) \quad (1.75)$$

Để tính thành phần điện áp:

$$i_c(t) \cdot R_c + L_c^{dd} \frac{di_c}{dt} + M_{dd}(t) \frac{di_s}{dt} - K \cdot U_{cs}(t) \quad (1.76)$$

Trước hết ta cần tính các hệ số sau:

- Điện cảm của dây dẫn tính theo độ treo cao dây:

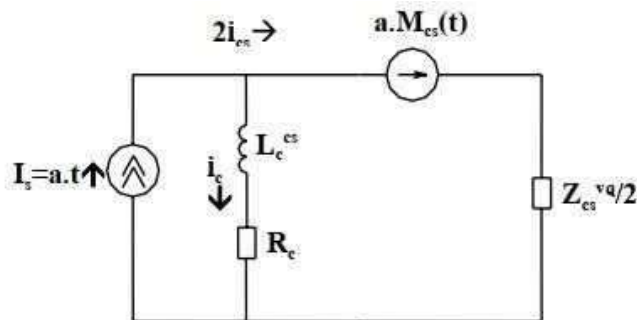
$$L_c^{dd} = 0,2 \cdot h_{dd} \left(\ln \frac{2H}{r_{dt}} + \frac{\Delta h}{2 \cdot h_{dd}} \cdot \ln \frac{H}{\Delta h} - 1 \right) \quad (1.77)$$

- Hệ số hồ cảm giữa dây dẫn và kênh sét:

$$M_c^{dd}(t) = 0,2 \cdot h_{dd} \left(\ln \frac{V \cdot t + H}{(1 + \beta) \cdot H} - \frac{\Delta h}{2 \cdot h_{dd}} \cdot \ln \frac{H}{\Delta h} + 1 \right) \quad (1.78)$$

Các thành phần điện áp giáng trên điện trở, điện cảm của cột cũng như điện áp trên dây chống sét liên quan với nhau vì chúng phụ thuộc vào sự phân bố của dòng điện sét đi trong cột và dây chống sét. Ta chia ra hai trường hợp:

$$t < \frac{2 \cdot L_{kv}}{V} \quad (1.79)$$



Hình 1.11: Sơ đồ mạch điện khi chưa có sóng phản xạ

Tổng trở sóng của dây chống sét có giá trị:

$$Z_{cs} = \frac{Z_o^{cs}}{\lambda} \quad (1.80)$$

Với $Z_o^{cs} = 60 \cdot \ln \frac{2 \cdot h_{tb}^{cs}}{\lambda}$ (khi chưa kể đến ảnh hưởng của vàng quang)

$M_{cs}(t)$: Hệ số hồ cảm giữa khe sét và DCS:

$$M_{cs}(t) = 0,2 \cdot h_{cs} \left(\ln \frac{V \cdot t + H}{(1 + \beta) \cdot H} - \frac{\Delta h}{2 \cdot h_{dd}} \cdot \ln \frac{H}{\Delta h} + 1 \right) \quad (1.81)$$

$$\frac{1}{a} \cdot 2 \cdot i_{cs}(t) = \frac{R_c}{\frac{Z_{cs}}{2} + R_c} \cdot t + \frac{1}{\alpha} \frac{M_{cs}(t)}{L_c^{cs}} + \frac{\frac{Z_{cs}}{2}}{\frac{Z_{cs}}{2} + R_c} \quad (1.82)$$

Với:

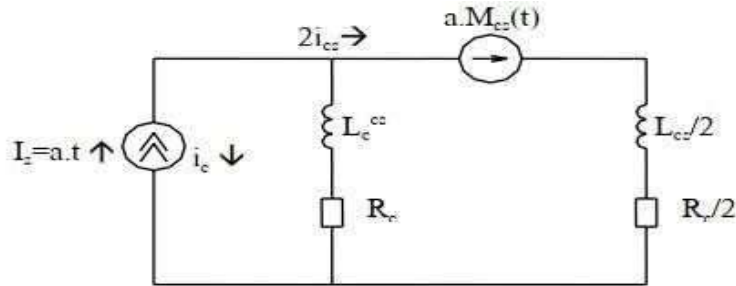
$$\alpha = \frac{\frac{Z_{cs}}{2} + R_c}{L_c^{cs}} \quad (1.83)$$

$$\frac{1}{a} \cdot i_c(t) = t - \frac{1}{a} \cdot 2 \cdot i_{cs}(t) \quad (1.84)$$

$$\frac{1}{a} \frac{dt_c(t)}{dt} = \frac{1}{L_c^{cs}} \left[\frac{1}{a} \cdot 2 \cdot i_{cs} \cdot \frac{Z_{cs}}{2} - \frac{1}{a} \cdot i_c \cdot R_c - M_{cs}(t) \right] \quad (1.85)$$

Xét trường hợp khi có sóng phản xạ từ thân cột hay đà trở về:

$$t > \frac{2 \cdot L_{kv}}{V} \quad (1.86)$$



Hình 1.12: Sơ đồ mạch điện khi có sóng phản xạ

Từ sơ đồ ta có:

$$\frac{1}{a} \cdot 2 \cdot i_{cs}(t) = t - \left[1 - \frac{L_c^{cs} + M_{cs}(t)}{\frac{L_c^{cs}}{2} + L_c^{cs}} \right] \cdot \left[\frac{1 - e^{-at}}{\alpha} \right]$$

$$\frac{1}{a} \cdot i_c(t) = \left[1 - \frac{L_c^{cs} + M_{cs}(t)}{\frac{L_c^{cs}}{2} + L_c^{cs}} \right] \cdot \left[\frac{1 - e^{-at}}{\alpha} \right]$$

$$\frac{1}{a} \frac{di_c(t)}{dt} = \left[1 - \frac{L_c^{cs} + M_{cs}(t)}{\frac{L_c^{cs}}{2} + L_c^{cs}} \right] \cdot e^{-\alpha t} \quad (1.87)$$

$$\text{với } \alpha = \frac{R_c}{\frac{L_c^{cs}}{2} + L_c^{cs}}$$

Thành phần điện áp trên dây chống sét:

$$U_{cs}(t) = \left(i_c(t) \cdot R_c + L_c^{cs} \frac{di_c(t)}{dt} + a \cdot M_{cs}(t) \right) \quad (1.88)$$

Suy ra điện áp trên dây dẫn do dây chống sét cảm ứng:

$$K \cdot U_{cs}(t) = K \cdot \left(i_c(t) \cdot R_c + L_c^{cs} \frac{di_c(t)}{dt} + a \cdot M_{cs}(t) \right) \quad (1.89)$$

$$\frac{K \cdot U_{cs}(t)}{a} = \frac{i_c(t) \cdot R_c}{a} + \frac{L_c^{cs}}{a} \cdot \frac{di_c(t)}{dt} + M_{cs}(t) \quad (1.90)$$

Khi đó xác suất phóng điện do sét đánh vào đỉnh cột: Từ công thức:

$$i_c(t) \cdot R_c + L_c^{dd} \frac{di_c(t)}{dt} + M_{dd}(t) \frac{di_c(t)}{dt} - K \cdot U_{cs}(t) \quad (1.91)$$

Ta thấy nó tỷ lệ với a nên ta đặt:

$$Z(t) = \frac{U_{cd}}{a} \quad (1.92)$$

Điện áp trên cách điện có thể viết:

$$U_{cd}(t) = a \cdot Z(t) + U_{lv} \quad (1.93)$$

Điều kiện xảy ra phóng điện tại thời điểm t

$$U_{cd}(t) = U_{pd}(t) = a \cdot Z(t) + U_{lv} \quad (1.94)$$

Suy ra độ dốc dòng điện sét nguy hiểm:

$$a_i = \frac{U_{pd}(t_i) - U_{lv}}{Z(t_i)} \quad (1.95)$$

Dòng điện sét:

$$I_i = a_i \cdot t_i \quad (1.96)$$

Vậy xác suất phóng điện xung kích của dòng điện sét:

$$\Delta V_{pd}(t_i) = e^{-\frac{I_i}{26.1}} \cdot \left(e^{-\frac{a_i}{10.9}} - e^{-\frac{a_{i-1}}{10.9}} \right)$$

$$V_{pd}(t_i) = \sum_{1}^n \Delta V_{pd}(t_i) \quad (1.97)$$

Suất cắt của ĐDK khi sét đánh vào khoảng vượt DCS:

$$n_{kv} = N_{kv} \cdot V_{pd} \cdot \eta \quad (1.98)$$

1.2.4.3. Suất cắt do sét đánh vòng qua DCS vào đường dây

- Số lần sét đánh vòng qua DCS vào dây dẫn:

$$N_{\alpha} = N \cdot v_{\alpha} \quad (1.99)$$

v_{α} : Xác suất sét đánh vòng qua DCS vào dây dẫn, được tính:

$$lg.v_{\alpha} = \frac{\alpha \sqrt{h_c}}{90} - 4 \quad (1.100)$$

h_c : Chiều cao cột điện

α : Góc bảo vệ

- Xác suất phóng điện:

$$I = I_s \frac{Z_o}{Z_o + \frac{Z_{dd}}{2}} = \frac{I_s}{2} \quad (1.101)$$

Trong đó:

Z_o : Tổng trở khe sắt

Do đó mỗi bên của đường dây sẽ truyền sóng dòng điện và tạo nên điện áp trên dây dẫn:

$$U_{dd} = \frac{I_s}{4} \cdot Z_{dd} \quad (1.102)$$

Khi có kẻ đến điện áp làm việc thì điện áp đặt lên cách điện sẽ là:

$$U_{cd}(t) = \frac{I_s}{4} \cdot Z_{dd} + U_{lv} \quad (1.103)$$

Trong đó:

Z_{dd} : Tổng trở sóng đường dây, được xác định:

$$Z_{dd} = \frac{1}{\lambda} \cdot 60 \cdot \ln \frac{h_{tb}^{dd}}{r_{dd}} \quad (1.104)$$

Với λ : hệ số hiệu chỉnh

Nếu đường dây có phân pha thì r_{dd} thay bằng r_{dt} và được xác định:

$$r_{dt} = \sqrt[n]{d_{12} \cdot d_{13} \dots d_{ln} \cdot r_0} \quad (1.105)$$

Trong đó:

n : Số dây phân nhỏ

d_{ln} : Khoảng cách từ dây phân nhỏ thứ nhất đến thứ n

r_0 : Bán kính dây phân nhỏ

Gọi $U_{pd}(t)$: là điện áp phóng điện của mỗi chuỗi sứ thì điều kiện để gây ra phóng điện trên cách điện tại thời điểm t_i

$$U_{cd}(t_i) = U_{pđ}(t_i) = \frac{a_i}{4} \cdot t_i \cdot Z_{dd} + U_{lv} \quad (1.106)$$

$$a_i = \frac{U_{pđ}(t_i) - U_{lv}}{\frac{t_i}{4} \cdot Z_{dd}} \quad (1.107)$$

Từ đó ta có:

$$I_i = a_i \cdot t_i \quad (1.108)$$

Thay các giá trị $U_{pđ}(t_i)$, U_{lv} , t_i , Z_{dd} ta sẽ tính được từng cặp giá trị a_i , I_i , ứng với khoảng thời gian t_i .

$$\begin{aligned} \Delta V_{pđ}(t_i) &= e^{-\frac{I_i}{26.1}} \cdot \left(e^{-\frac{a_i}{10.9}} - e^{-\frac{a_{i-1}}{10.9}} \right) \\ V_{pđ}(t_i) &= \sum_1^n \Delta V_{pđ}(t_i) \end{aligned} \quad (1.109)$$

Suất cắt đường dây:

$$n_{đv} = N_{\alpha} \cdot V_{pđ\alpha} \cdot \eta \quad (1.110)$$

Chương 2: TÍNH SUẤT CẮT TRÊN ĐƯỜNG DÂY VÀ ĐÁNH GIÁ VIỆC LẮP ĐẶT THIẾT BỊ DÂY CHỐNG SÉT CHO ĐƯỜNG DÂY 22KV

2.1. Tính suất cắt trên đường dây 22kV

Việc tính suất cắt trên đường dây 22kV nhằm đảm bảo an toàn cho hệ thống điện khi xảy ra sự cố ngắn mạch. Qua phép tính này, chúng ta có thể xác định được dòng ngắn mạch tối đa có thể xuất hiện trên hệ thống, từ đó lựa chọn và bố trí các thiết bị bảo vệ như máy cắt, MCCB, cầu chì có khả năng ngắt mạch phù hợp với đặc tính của đường dây 22kV. Điều này không chỉ giúp ngăn ngừa nguy cơ cháy nổ, hư hại thiết bị điện, mà còn bảo vệ an toàn cho người sử dụng.

2.2. Số lần phóng điện của cách điện đường dây

Phóng điện trên cách điện chỉ xảy ra khi quá điện áp khí quyển có trị số cao hơn hoặc bằng mức cách điện xung ($U_{0,5}$), của đường dây. Dòng sét có biên độ và độ dốc tương ứng với quá điện áp bằng mức cách điện xung của đường dây được gọi mức chịu sét hay mức bảo vệ chống sét của đường dây: i_{bv} , ab_v . Xác suất xuất hiện dòng sét bằng hoặc lớn hơn mức chịu sét đó của đường dây cũng chính là xác suất phóng điện v_p trên cách điện đường dây:

$$v_p = P\{i_s \geq i_{bv}\} = P\{u_{qa} \geq u_{0,5}\} \quad (2.1)$$

Như vậy, số lần phóng điện trên cách điện đường dây trong một năm:

$$N_p = N_{v_p} = 6h \cdot L \cdot m \cdot n \cdot v_p \cdot 10^{-3} \text{ (lần/năm)} \quad (2.2)$$

2.3. Các thông số của đường dây trung thế 22kV

Cấp điện áp : 22 kV
 Chiều dài tuyến : 5 km
 Dây dẫn : 2x3ACXV240 mm²
 Dây chống sét : TK50 mm²
 Tiếp đất : Sử dụng cọc thép mạ kẽm nhúng nóng tiết diện 16 mm²
 Độ treo cao $h_{cs} = 12$ m; $r_{cs} = 4.6$ mm
 Độ võng dây chống sét $f_{cs} = 0.9$ m
 Kích thước dây dẫn $d = 35.7$ mm
 Độ treo cao $h_{dd} = 10$ m
 Độ võng dây dẫn $f_{dd} = 0.9$ m
 Chiều dài cách điện = chiều dài sứ: $l_{cs} = l_{cđ} = 23$ cm = 0.23 m
 Hệ số hiệu chỉnh theo ảnh hưởng vàng quang khi treo dây chống sét: $\lambda = 1.3$
 Chiều dài trung bình khoảng vượt: $l_{kv} = 40$ m

Số ngày sét trong năm: $n = 80$

Mật độ sét trung bình: $m = 0.137 \text{ lần/km}^2 \cdot \text{ng.s}$

Hệ số phóng điện ngược: $\beta = 0.3$

Điện trở nối đất của cột $R_c = 10 \, \Omega$

Góc bảo vệ theo yêu cầu tại PCĐN: $\alpha = 25^\circ$



Hình 2.1: Mô hình lắp đặt DCS trên lưới điện trung thế 22kV

2.4. Thông số tính toán

Độ treo cao trung bình của DCS:

$$\overline{h_{cs}} = h_{cs} - \frac{2}{3} \cdot f_{cs} = 12 - \frac{2}{3} \cdot 0,9 = 11,4 \text{ m} \quad (2.3)$$

Độ cao trung bình của đường dây:

$$\overline{h_{da}} = h_{da} - \frac{2}{3} \cdot f_{da} = 10 - \frac{2}{3} \cdot 0,9 = 9,4 \text{ m} \quad (2.4)$$

Hệ số ngẫu hợp k giữa dây dẫn và dây chống sét:

$$k = \frac{\ln \frac{\overline{D}_{1a}}{\overline{d}_{1a}}}{\ln \frac{2 \cdot \overline{h_{cs}}}{r_{cs}}} \quad (2.5)$$

Trong đó:

$\overline{D}_{1a}$ là khoảng cách trung bình giữa ảnh của DCS và dây dẫn pha C:

$$\overline{D}_{1a} = \sqrt{(\overline{h_{da}} + \overline{h_{cs}})^2 + 2,1^2} = \sqrt{(11,4 + 9,4)^2 + 2,1^2} = 20,91 \text{ m} \quad (2.6)$$

$\overline{d}_{1a}$ là khoảng cách trung bình giữa ảnh của DCS và dây dẫn pha C:

$$\bar{d}_{1a} = \sqrt{(\bar{h}_{dd} - \bar{h}_{cs})^2 + 2,1^2} = \sqrt{(11,4 - 9,4)^2 + 2,1^2} = 2,9 \text{ m} \quad (2.7)$$

$$k = \frac{\ln \frac{\bar{D}_{1a}}{\bar{d}_{1a}}}{\ln \frac{2 \cdot \bar{h}_{cs}}{r_{cs}}} = \frac{\ln \frac{20,91}{2,9}}{\ln \frac{2 \cdot 11,4}{0,0046}} = 0,232 \quad (2.8)$$

Hệ số ngẫu hợp động (khi xét đến ảnh hưởng vàng quang) k_{vq} :

$$k_{vq} = \lambda k \quad (2.9)$$

λ – hệ số hiệu chỉnh theo ảnh hưởng của vàng quang xung.

$$\text{Vì vậy } k_{vq} = \lambda k = 1,3 \times 0,232 = 0,3016 \quad (2.10)$$

Điện cảm của cột tính đến độ treo cao dây dẫn:

$$L_c^{dd} = 0,2 h_{dd} \left(\ln \frac{2H}{r_{td(c)}} + \frac{\Delta h}{2h_{dd}} \ln \frac{H}{\Delta h} - 1 \right) \quad (2.11)$$

Với $r_{td(c)}$ là bán kính tương đương của cột điện

$$r_{td(c)} = \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,337 \times 0,337}{\pi}} = 0,19 \text{ m} \quad (2.12)$$

$$H = h_{cs} + h_{dd} = 12 + 10 = 22 \text{ m} \quad (2.13)$$

$$\Delta h = h_{cs} - h_{dd} = 12 - 10 = 2 \text{ m} \quad (2.14)$$

Suy ra:

$$L_c^{dd} = 0,2 \cdot 10 \left(\ln \frac{2 \cdot 22}{0,19} + \frac{2}{2 \cdot 10} \ln \frac{22}{2} - 1 \right) = 9,369 \mu H \quad (2.15)$$

Điện cảm của cột tính đến độ treo cao của DCS:

$$L_c^{cs} = 0,2 \cdot h_{cs} \left(\ln \frac{4 \cdot h_{cs}}{0,19} - 1 \right) = 0,2 \cdot 12 \left(\ln \frac{4 \cdot 12}{0,19} - 1 \right) = 13,267 \mu H \quad (2.16)$$

Hỗ cảm giữa khe sét và mạch vòng kín “Dây dẫn – đất”

$$M_s^{dd} = 0,2 \cdot \bar{h}_{dd} \left(\ln \frac{vt + \bar{H}}{(1 + \beta)\bar{H}} - \frac{\Delta \bar{h}}{2 \cdot \bar{h}_{dd}} \ln \frac{\bar{H}}{\Delta \bar{h}} + 1 \right) \quad (2.17)$$

Trong đó:

+ β – hệ số phóng điện ngược: $\beta = 0,3$

+ c là vận tốc ánh sáng trong môi trường không khí $c = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$

+ v - vận tốc phóng điện ngược:

$$v = \beta \cdot c = 0,3 \times 300 = 90 \text{ m}/\mu\text{s} \quad (2.18)$$

$$\bar{H} = \bar{h}_{cs} + \bar{h}_{dd} = 11,4 + 9,4 = 20,8 \text{ m} \quad (2.19)$$

$$\Delta \bar{h} = \bar{h}_{cs} - \bar{h}_{dd} = 11,4 - 9,4 = 2 \text{ m} \quad (2.20)$$

Suy ra:

$$\begin{aligned}
 M_s^{dd} &= 0,2 \cdot \overline{h_{dd}} \left(\ln \frac{vt + \overline{H}}{(1 + \beta)\overline{H}} - \frac{\Delta \overline{h}}{2 \cdot \overline{h_{dd}}} \ln \frac{\overline{H}}{\Delta \overline{h}} + 1 \right) \\
 &= 0,2 \cdot 9,4 \cdot \left(\ln \frac{90t + 20,8}{(1 + 0,3) \cdot 20,8} - \frac{2}{2 \cdot 9,4} \ln \frac{20,8}{2} + 1 \right) \\
 &= 1,88 \cdot \ln(90t + 20,8) - 4,787 \mu H
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

Hỗ cảm giữa khe sét và mạch vòng kín “DCS – đất”:

$$\begin{aligned}
 M_s^{cs} &= 0,2 \cdot \overline{h_{cs}} \left(\ln \frac{vt + 2 \cdot \overline{h_{cs}}}{2 \cdot (1 + \beta)\overline{h_{cs}}} + 1 \right) \\
 &= 0,2 \cdot 11,4 \cdot \left(\ln \frac{90t + 2 \cdot 11,4}{2 \cdot (1 + 0,3) \cdot 11,4} + 1 \right) \\
 &= 2,28 \ln(90t + 22,8) - 5,447 \mu H
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

Tổng trở sóng của DCS có xét đến ảnh hưởng của vàng quang xung được tính bởi công thức:

$$Z_{cs}^{vq} = \frac{Z_{cs}}{\lambda} \tag{2.23}$$

Với Z_{cs} là tổng trở sóng của DCS:

$$Z_{cs} = 60 \ln \frac{2 \cdot \overline{h_{cs}}}{r_{cs}} = 60 \cdot \ln \frac{2 \cdot 11,4}{0,0046} = 510,508 \Omega \tag{2.24}$$

Suy ra:

$$Z_{cs}^{vq} = \frac{Z_{cs}}{\lambda} = \frac{510,508}{1,3} = 392,698 \Omega \tag{2.25}$$

Tổng trở sóng của dây dẫn có xét đến ảnh hưởng của vàng quang xung được tính bởi công thức:

$$Z_{dd}^{vq} = \frac{Z_{dd}}{\lambda} \tag{2.26}$$

Với Z_{dd} là tổng trở sóng của dây dẫn:

$$Z_{dd} = 60 \ln \frac{2 \cdot \overline{h_{dd}}}{r_{dd}} = 60 \cdot \ln \frac{2 \cdot 9,4}{0,0063} = 480,064 \Omega \tag{2.27}$$

Suy ra:

$$Z_{dd}^{vq} = \frac{Z_{dd}}{\lambda} = \frac{480,064}{1,3} = 369,28 \Omega \tag{2.28}$$

Điện cảm của đoạn DCS trong một khoảng vượt:

$$L_{cs} = \frac{Z_{cs} l_{kv}}{c} \tag{2.29}$$

Trong đó:

+ l_{kv} : là chiều dài khoảng vượt: $l_{kv} = 50m$

+ c : là vận tốc ánh sáng trong môi trường không khí: $c = 300m/\mu s$

Ta có:

$$L_{cs} = \frac{Z_{cs} \cdot l_{kv}}{c} = \frac{510,508.50}{300} = 85,085 \mu \quad (2.30)$$

2.5. Tính suất cắt trên đường dây khi chưa treo DCS:

2.5.1. Tính suất cắt đường dây khi sét đánh trực tiếp

Xác suất phóng điện được xác định:

$$V_{pd} = e^{-\frac{U_{50\%}}{Z_{vq}}} = e^{-\frac{U_{50\%}}{6,525 \cdot Z_{vq}}} = 0,86 \quad (2.31)$$

Trong đó:

$$Z_{dd}^{vq} = 369,28 \Omega$$

$U_{50\%} = 380\text{kV}$ theo bảng 7.1 sách giáo trình cao áp tập 1 của Hoàng Việt

- Suất cắt do sét đánh trực tiếp:

$$n_{tt} = N \cdot V_{pd} \cdot \eta \quad (2.32)$$

Trong đó:

+ N : Tổng số lần sét đánh lên đường dây

$$\begin{aligned} N_p = N_{v_p} &= (0,1 \div 0,15) \cdot 6h^{dd_{tb}} \cdot m \cdot n \cdot v_p \\ &= 0,6 \times 9,4 \times 0,137 \times 80 \times 0,86 = 53 \text{ lần/năm} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Trong đó:

+ n_{ngs} : số ngày sét trong một năm.

+ $h_{dd_{tb}}$: chiều cao trung bình của dây dẫn

+ $\eta = 0,7$: Xác suất hình thành hồ quang được chọn theo bảng trên

$$n_{tt} = N_p \cdot \eta = 52,54 \times 0,7 = 37 \text{ lần/năm} \quad (2.34)$$

2.5.2. Tính suất cắt đường dây khi sét đánh cảm ứng

$$n_{cu} = N_p \cdot \eta \quad (2.35)$$

Với:

$$N_p = 2 \cdot \int_{b_{min}=3.\bar{h}}^{\infty} dN_{pd} = 2 \cdot m \cdot n \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \int_{3.\bar{h}}^{\infty} e^{-\frac{u_{0,5}.b}{780\bar{h}}} dp \quad (2.36)$$

$$\begin{aligned} N_p &= 2 \cdot m \cdot n \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \frac{780 \cdot \bar{h}}{U_{0,5}} \cdot e^{-\frac{U_{0,5}}{260}} = 1,56 \cdot m \cdot n \cdot L \cdot \frac{\bar{h}}{U_{0,5}} \cdot e^{-\frac{U_{0,5}}{260}} \\ &= 1,56 \cdot 0,137 \cdot 80 \cdot 100 \cdot \frac{9,4}{380} \cdot e^{-\frac{380}{260}} = 9,8 \text{ lần/năm} \end{aligned}$$

$$n_{cu} = N_p \cdot \eta = 9,8 \cdot 0,7 = 6,86 \text{ lần/năm}$$

Như vậy tổng suất cắt trên đường dây khi chưa treo DCS là:

$$n = n_{tt} + n_{cu} = 37 + 6,86 = 43,86 \text{ lần/năm} \quad (2.37)$$

Chỉ tiêu chống sét của đường dây trung áp 22kV khi chưa có DCS là:

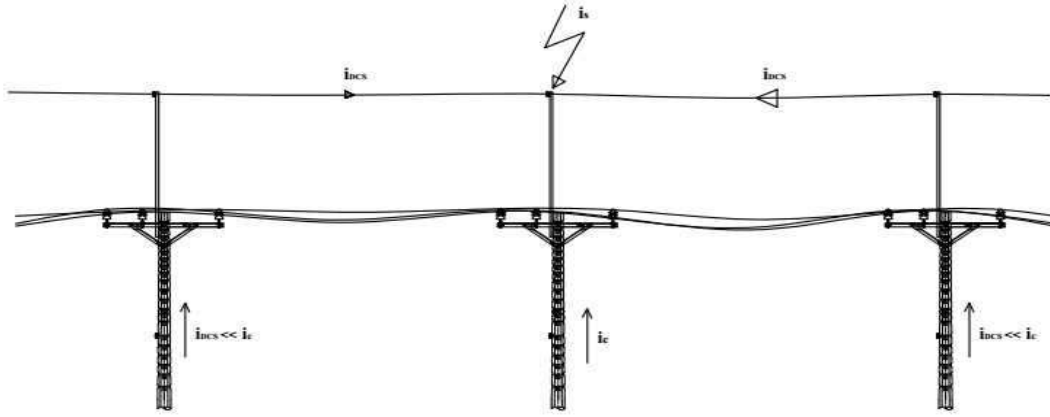
$$M = \frac{1}{n} = \frac{1}{43,86} = 0,023 \text{ năm/lần} \quad (2.38)$$

2.6. Tính suất cắt trên đường dây 22kV khi có treo DCS

Xét trường hợp khi sét đánh trực tiếp vào đường dây

2.6.1. Khi sét đánh vào đỉnh cột hoặc DCS gần đỉnh cột

Sơ đồ phân bố dòng sét khi sét đánh vào cột:



Hình 2.2: Sơ đồ phân bố dòng sét khi sét đánh vào đỉnh cột

Do $R_x \ll Z_{DCS}$ nên dòng sét chủ yếu sẽ đi qua cột bị sét đánh vào nối đất của cột điện, còn phần nhỏ theo DCS đến các cột kế cận và vào nối đất của chúng. Trong trường hợp này chuỗi sứ của cột bị sét đánh chịu quá điện áp nặng nề nhất.

Quá điện áp gồm các thành phần sau:

Điện áp giáng trên điện trở tản xung của nối đất cột điện bị sét đánh:

$$U_R = i_c \cdot R_x, \text{ với } R_x = 10\Omega, i_c = i_s - 2i_{DCS} = at - 2i_{DCS} \quad (2.39)$$

Do đó: $U_R = i_c \cdot R_x = 10(at - 2i_{DCS})$, (vai trò quan trọng khi R_x lớn)

Điện áp cảm ứng từ, U_{ct} , gồm hai thành phần gây nên bởi dòng qua cột tác dụng lên điện áp cảm ứng của cột và bởi dòng trong khe sét tác dụng lên hồ cảm giữa khe sét và mạch vòng kín “DD – đất”.

$$\begin{aligned} U_{ct}^t &= L_{cc}^d \frac{di_c}{dt} + M_s^d \frac{di_s}{dt} \\ &= 9,369 \frac{di_c}{dt} + 1,88 \cdot [1,88 \cdot \ln(90t + 20,8) - 4,787 \mu H] \frac{di_s}{dt} \end{aligned} \quad (2.40)$$

Điện áp cảm ứng điện, U_{cu}^d : Do sự trung hoà điện tích trong khe sét trong giai đoạn phóng điện ngược, các điện tích ràng buộc trên dây dẫn (được tạo nên cảm ứng trong giai đoạn phóng điện tiên đạo) được giải phóng, chạy về hai phía của dây dẫn (tính từ cột bị sét đánh) tạo nên thành phần điện áp cảm ứng điện. DCS có tác dụng làm giảm U_{cu}^d , vì trong giai đoạn phóng điện tiên đạo DCS có tác dụng màn che làm giảm số lượng điện tích cảm ứng trên DD.

Gọi U_{cur}^d là điện áp cảm ứng điện khi chưa kể đến tác dụng của DCS, thì khi kể đến ảnh hưởng của DCS sẽ có:

$$\begin{aligned} U_{cur}^d &= U_{cur}^d \left(1 - k_{vq} \frac{\bar{h}_{cs}}{\bar{h}_{dd}} \right) = U_{cur}^d \left(1 - 0,3016 \frac{11,4}{9,4} \right) \\ &= 0,634. U_{cur}^d \\ U_{cur}^d &= \frac{0,1. a. \bar{h}_{dd}}{\beta} \ln \frac{(vt + \bar{h}_{cs}). \sqrt{(vt + \Delta \bar{h}). (vt + \bar{H})}}{(1 + \beta)^2 \bar{h}_{cs}. \sqrt{\Delta \bar{h}. \bar{H}}} \\ &= \frac{0,1. a. 9,4}{0,3} \ln \frac{(90t + 11,4) \sqrt{(90t + 2)(90t + 20,8)}}{(1 + 0,3)^2. 11,4. \sqrt{2.20,8}} \\ &= 3,133a. \ln \left[(6,538t + 0,915) \sqrt{(90t + 2)(90t + 20,8)} \right] \end{aligned} \quad (2.41)$$

Thành phần điện áp cảm ứng tĩnh điện (điện áp ngẫu hợp) trên DD gây nên bởi dòng điện chạy trong DCS:

$$U_{dd}^{nh} = -kU_{cs} \quad (2.42)$$

Với k là hệ số ngẫu hợp hình học giữa dây dẫn và DCS: $k = 0,224$

$$\begin{aligned} u_{cs} &= R_x i_c + L_c^{cs} \frac{di_c}{dt} + M_c^{cs} \frac{di_s}{dt} \\ &= 10i_c + 13,267 \frac{di_c}{dt} + [2,28 \ln(90t + 22,8) - 5,447] \frac{di_s}{dt} \end{aligned} \quad (2.43)$$

Suy ra :

$$U_{dd}^{nh} = -2,24i_c - 2,972 \frac{di_c}{dt} + [2,28 \ln(90t + 22,8) - 1,22] \frac{di_s}{dt} \quad (2.44)$$

Điện áp làm việc của đường dây :

$$U_{lv} = \frac{T}{2} \int_0^{T/2} \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}} \sin \omega t. dt = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{2}{3}}. 22 = 11,436 \text{ kV} \quad (2.45)$$

Tổng các giá trị trên , ta có được điện áp tác dụng lên chuỗi sứ là:

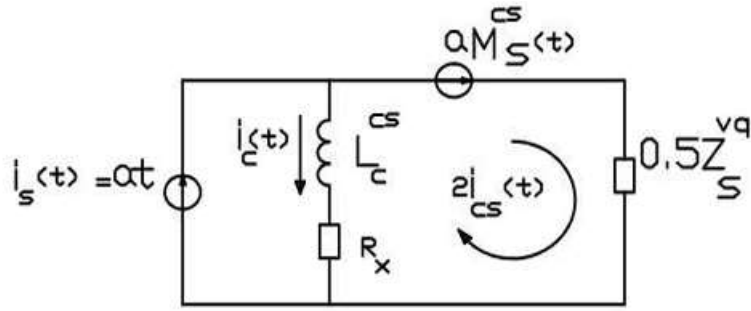
$$u_{cs\text{ứ}}(t) = R_x i_c (1 - k) + (L_{cc}^{dd} - kL_c^{cs}) \frac{di_c}{dt} + a[(M_s^{dd}(t) - kM_s^{cs}(t))] + (1 - k_{vq} \frac{\bar{h}_{cs}}{\bar{h}_{dd}}) U_{cur}^d + U_{lv} \quad (2.46)$$

Để xác định các thành phần điện áp xung trên chuỗi sứ, trước hết ta sẽ xác định các thành phần của dòng sét chạy qua cột (i_c) và chạy qua DCS (i_{cs}).

Xét hai trường hợp sau :

Trường hợp 1 : Khi chưa có song phản xạ từ các cột lân cận trở về :

$$T < \frac{2l_{kv}}{c} = \frac{2 \times 40}{300} = 0,267 \mu$$



Hình 2.3: Sơ đồ phân bố dòng sét khi chưa có sóng phản xạ từ các cột lân cận trở về

Từ sơ đồ thay thế ta có hệ phương trình :

$$\begin{cases} i_c(t) + 2i_{cs}(t) = i_s(t) = at \\ R_x i_c(t) + L_c^{cs} \frac{di_c(t)}{dt} - 2i_{cs}(t) \frac{Z_{cs}^{vq}}{2} + aM_s^{cs}(t) = 0 \end{cases} \quad (2.47)$$

Tính một cách gần đúng :

$$\begin{cases} i_c(t) = \frac{a}{Z_{cs}^{vq} + 2R_x} [Z_{cs}^{vq} \cdot t - 2M_s^{cs}(t) - \frac{Z_{cs}^{vq}}{\alpha_1}] \\ \frac{di_c(t)}{dt} = i'_c(t) \end{cases} \quad (2.48)$$

$$\Rightarrow \alpha_1 = \frac{Z_{cs}^{vq} + 2R_x}{2 \cdot L_c^{cs}} = \frac{392,698 + 2 \times 10}{2 \times 13,267} = 15,553 \quad (2.49)$$

Suy ra :

$$\begin{aligned} i_c(t) &= \frac{a}{412,689} [392,698t - 4,56 \ln(90t + 22,8) - 21,087] \\ \frac{di_c(t)}{dt} &= 0,952a - \frac{0,994}{90t + 22,8} \end{aligned} \quad (2.50)$$

Nhận thấy rằng thành phần $\frac{0,994}{90t + 22,8}$ rất nhỏ do đó khi tính $\frac{di_c(t)}{dt}$ có thể tính nhanh,

dùng công thức $\frac{di_c(t)}{dt} = \frac{a \cdot Z_{cs}^{vq}}{Z_{cs}^{vq} + 2R_x}$

Trường hợp 2 : khi có sóng phản xạ từ các cột lân cận trở về

$$T > \frac{2l_{kv}}{c} = \frac{2 \times 40}{300} = 0,267\mu \quad (2.51)$$

Nghiệm gần đúng là :

$$\left\{ \begin{array}{l} i_c(t) = a \left(\frac{L_{Cs} - 2M_s^{cs}(t)}{2R_x} \right) (1 - e^{-\alpha_2 t}) \\ \frac{di_c(t)}{dt} = i'_c(t) \end{array} \right. \quad (2.52)$$

$$\text{Với } \alpha_2 = \frac{2R_x}{2.L_c^{cs} + L_{Cs}} = \frac{2 \times 10}{2 \times 13,267 + 85,085} = 0,179 \quad (2.53)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} i_c(t) = a \left(\frac{L_{Cs} - 2M_s^{cs}(t)}{2R_x} \right) (1 - e^{-\alpha_2 t}) = a(1 - e^{-0,179t}) [4,52 - 0,114 \ln(90t + 22,8)] \\ \frac{di_c(t)}{dt} = a e^{-0,179} [0,809 - 0,02 \ln(90t + 22,8)] - (1 - e^{-0,179t}) \frac{10,26a}{90t + 22,8} \end{array} \right.$$

Bảng đặc tính V-s của sứ cách điện cấp điện áp 22kV (Dựa vào bảng PL2.4 trong sách “Hướng dẫn thiết kế tốt nghiệp thiết kế phần điện thiết kế chống sét cho nhà máy điện của Dương Vũ Văn – Trần Hoàng Lĩnh -Lê Thanh Thoả ”

Bảng 2.1: Đặc tính V-s của sứ cách điện cấp điện áp 22kV

	t(μs)							
U(sứ) KV	1	2	3	4	5	6	7	8
	440	440	370	340	320	300	290	290

Trị số của dòng sét đối với độ dốc đầu sóng a_i vào lúc xảy ra phóng điện :

$$c = a_i t_{pi} \quad (2.54)$$

Các giá trị t_p cũng được tìm bằng cách nội suy tuyến tính trên từng đoạn nhỏ của đặc tuyến:

c	10	15	20	25
$t_p(\mu s)$	5,785	3,045	1,977	1.355
$i_s(kA)$	57,853	45,675	39,542	33,884

Xác suất phóng điện vp trên chuỗi sứ chính là xác suất xuất hiện dòng sét có độ dốc và biên độ nằm trong vùng nguy hiểm (vùng xảy ra phóng điện).

Ứng với một độ dốc dòng sét cho trước $a=a_i$ thì điều kiện để xảy ra phóng điện là $i_s > i_{si}$ tức là :

$$dv_{p_2} = P\{ a=a_i \} . P\{ i_s > i_{si} \} \quad (2.55)$$

$$\begin{aligned} \text{với } P\{ i_s > i_{si} \} &= v_{is} = e^{\frac{i_s}{26}}, \text{ và } P\{ a=a_i \} \approx P\{ a_i < a < a_i + \Delta a \} \\ &= F(a_i + \Delta a) - F(a_i) = dv_a \end{aligned} \quad (2.56)$$

$$\text{Suy ra : } dv_{p_2} = v_{is} dv_a \quad (2.57)$$

Tất cả các thông kê về thông số dòng sét cho thấy giữa biên độ và độ dốc không có một quan hệ toán học chặt chẽ . do đó có thể coi chúng như những biến số độc lập và xác suất phóng điện v_p được tính theo :

$$dv_{p_2} = \int dv_{p_2} = \int_i^1 v_i dv_{p_2} = \int_i^1 v_a dv_i \quad (2.58)$$

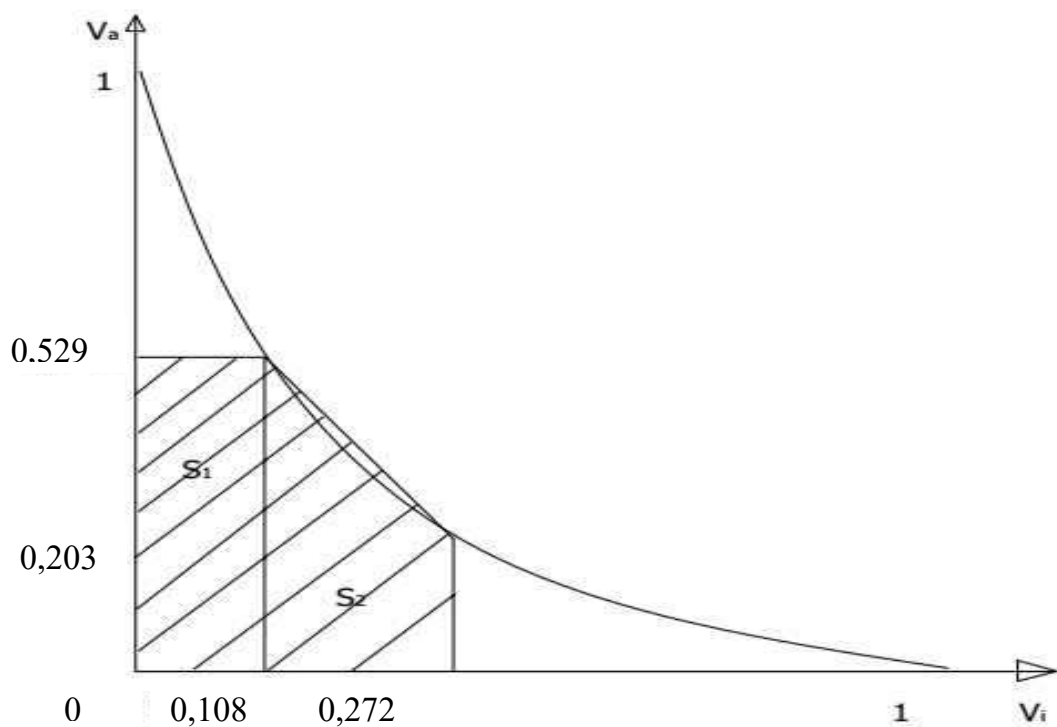
Từ biểu thức trên cho thấy v_{p_2} có trị số bằng diện tích giới hạn bởi đường cong xác suất $v_a = f(v_i)$ trong đó:

$$v_i = e^{\frac{-i_s}{26}} \text{ và } v_a = e^{\frac{-a}{15,7}} \quad (2.59)$$

Từ a và i_s ta tính được bảng số liệu sau :

a(kA/ μ s)	10	15	20	25
i_s (kA)	57,853	45,675	39,542	33,884
v_i	0,108	0,172	0,218	0,272
v_a	0,529	0,385	0,280	0,203

Từ bảng số trên ta vẽ được đường cong xác suất $v_a = f(v_i)$ như sau:



Hình 2.4: Đường cong xác suất

Trị số v_{p2} được tính từ diện tích giới hạn bởi đường cong xác suất với hai trục tọa độ, tuy nhiên, một cách gần đúng có thể xác định trị số v_{p2} là diện tích phần gạch chéo.

Trong đó, S1 là hình chữ nhật và S2 là diện tích hình thang vuông.

$$S_1 = 0,529 \times 0,108 = 0.057 \quad (2.60)$$

$$S_2 = (0,203+0,529) \times (0.272-0.108) \times 0.5 = 0.06 \quad (2.61)$$

$$\text{Suy ra: } v_{p2} = S_1 + S_2 = 0.117 \quad (2.62)$$

Suất cắt điện khi sét đánh vào đỉnh cột hoặc DCS gần đỉnh cột được xác định theo:

$$n_c = N(1 - v_a) \frac{4 \cdot h_{cs}}{l_{kv}} \cdot v_{p2} \cdot \eta_1 \quad (2.63)$$

Trong đó:

$$N = 6 \cdot \overline{h_{cs}} \cdot L \cdot m \cdot n \cdot 10^{-3} = 6.11,4.100.80.0,137 \cdot 10^{-3} = 74,97 \text{ lần/năm} \quad (2.64)$$

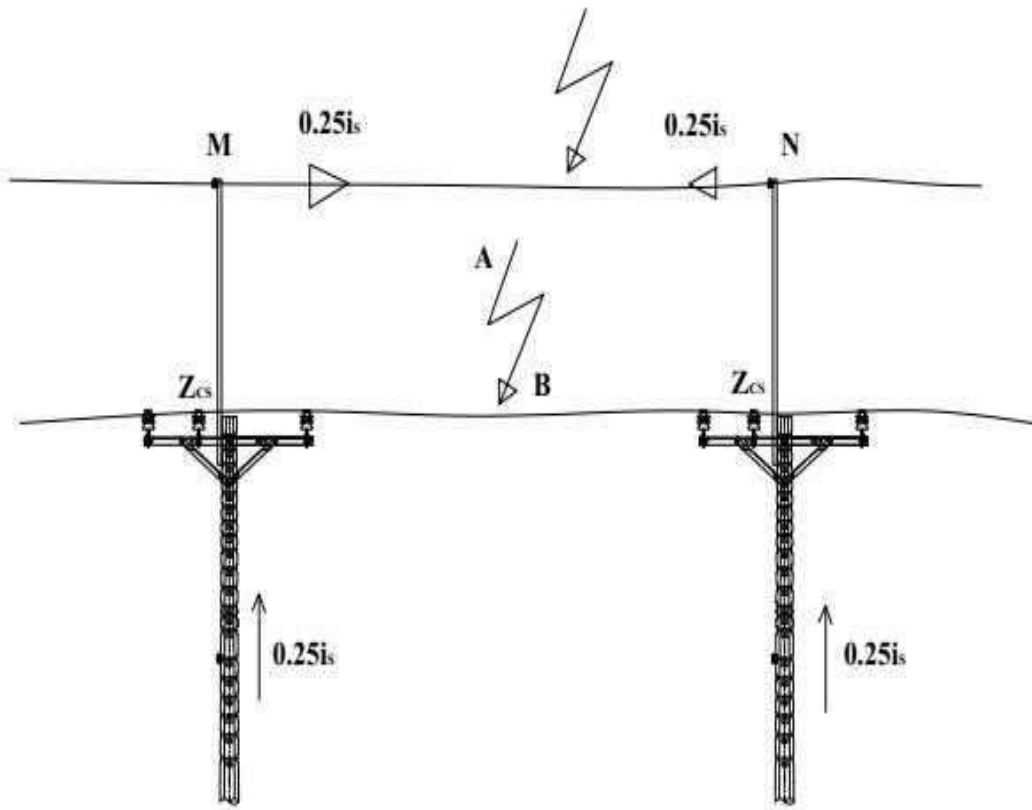
$$\lg v_a = \frac{\alpha \cdot \sqrt{h_c}}{90} - 4 = \frac{25\sqrt{12}}{90} - 4 = -3,038 \Rightarrow v_a = 0,00092 \quad (2.65)$$

$$\Rightarrow n_c = N(1 - v_a) \frac{4 \cdot h_{cs}}{l_{kv}} \cdot v_{p2} \cdot \eta_1 = 74,97 \cdot (1 - 0,00092) \cdot \frac{4.12}{40} \cdot 0,117 \cdot 0,7 \quad (2.66)$$

$$= 7,36 \text{ lần/năm}$$

2.6.2. Khi sét đánh vào DCS ở giữa khoảng vượt

Sơ đồ phân bố dòng sét khi sét đánh vào giữa khoảng vượt:



Hình 2.5: Sơ đồ phân bố dòng sét khi sét đánh vào giữa khoảng vượt

Xét khả năng phóng điện trên khoảng không A-B U_{A-B} gồm các thành phần sau:

Điện áp cảm ứng tĩnh điện:

$$\begin{aligned}
 U_{cr}^d(t) &= \frac{0,2. a. \Delta \bar{h}}{\beta} \ln \frac{\sqrt{(vt + \Delta \bar{h})(vt + \bar{H})}}{(1 + \beta) \sqrt{(\Delta \bar{h} \cdot \bar{H})}} \\
 &= \frac{0,2. a. 2}{0,3} \cdot \ln \frac{\sqrt{(90t + 2)(90t + 20,8)}}{(1 + 0,3) \sqrt{(2.20,8)}} \\
 &= 1,333. a. \ln (0,12. \sqrt{(90t + 2)(90t + 20,8)})
 \end{aligned} \tag{2.67}$$

Điện áp cảm ứng từ:

$$\begin{aligned}
 U_{cr}^t(t) &= 0,2. a. \Delta \bar{h} \cdot \ln \frac{\sqrt{(vt + \Delta \bar{h})(vt + \bar{H})}}{(1 + \beta) \sqrt{(\Delta \bar{h} \cdot \bar{H})}} \\
 &= 0,4. a. \ln (0,12. \sqrt{(90t + 2)(90t + 20,8)})
 \end{aligned} \tag{2.68}$$

Điện áp cảm ứng trên dây dẫn do dòng trên DCS gây nên: U_{dd}^{nh}

$$U_{dd}^{nh} = -k_{vq} \cdot U_{cs} \tag{2.69}$$

$$\text{Với } k_{vq} = 0,3016 \text{ và } U_{cs} = Z_{cs} \frac{at}{4} = 510,508 \frac{at}{4} = 127,672at \tag{2.70}$$

Do đó:

$$U_{dd}^{nh} = -k_{vq} \cdot U_{cs} = -0,3016.127,672at = -38,505at \tag{2.71}$$

Điện áp làm việc của đường dây: U_{lv}

$$U_{lv} = \frac{T}{2} \int_0^{T/2} \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}} \sin \omega t. dt = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 22 = 11,436 \text{ kV} \tag{2.72}$$

Vậy điện áp tác dụng lên khoảng không A-B là:

$$U_{A-B} = U_{cr}^d + U_{cr}^t + U_{cs}(1 - k_{vq}) + U_{lv} \tag{2.73}$$

Điện áp UA-B lớn nhất trước khi có sóng phản xạ từ các cột lân cận trở về, như vậy phóng điện xuyên thủng khoảng cách không khí chỉ có thể xảy ra trong khoảng thời gian:

$$t \leq \frac{l_{kv}}{c} = \frac{40}{300} = 0,133\mu s \tag{2.74}$$

$$\begin{aligned}
 U_{cr}^d(t = 0,133\mu s) &= 1,333. a. \ln (0,12. \sqrt{(90t + 2)(90t + 20,8)}) \\
 &= 1,256a
 \end{aligned} \tag{2.75}$$

$$U_{cr}^t(t = 0,133\mu s) = 0,4. a. \ln (0,12. \sqrt{(90t + 2)(90t + 20,8)}) = 0,377a \tag{2.76}$$

$$U_{cs}(t = 0,133\mu s) = 127,672at. 0,133 = 16,98a \tag{2.77}$$

$$U_{lv} = \frac{T}{2} \int_0^{T/2} \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}} \sin \omega t \cdot dt = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 22 = 11,436 \text{ kV} \quad (2.78)$$

$$\Rightarrow U_{A-B} = U_{cr}^d + U_{cr}^t + U_{cs}(1 - k_{vq}) + U_{lv} = 1,256a + 0,377a + 16,98a(1 - 0,3016) + 11,436 = 13,49a + 11,436 \quad (2.79)$$

Điện áp phóng điện xung của không khí là:

$$U_{pđA-B} = 100 \left(1 + \frac{2.4}{t} \right) S, \text{ kV} \quad (2.80)$$

Với S là chiều dài khoảng cách A-B: $S = \bar{d}_{1a} = 2.9 \text{ m}$

$$U_{pđA-B}(t = 0.133\mu s) = 100 \left(1 + \frac{2.4}{0.133} \right) \cdot 2.9 = 5233,083 \text{ kV} \quad (2.81)$$

Quá trình xảy ra phóng điện khi: $U_{A-B} \geq U_{pđA-B}$, do đó:

$$13,49a + 11,436 \geq 5233,083 \Rightarrow a \geq a_{gh} = 387,075/\mu s \quad (2.82)$$

Xác suất phóng điện trong khoảng không A-B chính là xác suất xuất hiện dòng điện sét có độ bằng và lớn hơn a_{nh} :

$$v_{p3} = v_{agh} = e^{\frac{a_{gh}}{15,7}} = e^{\frac{-387,075}{15,7}} = 1,962 \cdot 10^{-11} \quad (2.83)$$

Xét khả năng phóng điện tại chuỗi sứ

Với giả thuyết gần đúng $Z_s \approx 0.5Z_{cs}$ thì dòng điện đổ về mỗi phía của DCS bằng $i_s(t)/4$, tại điện trở nối đất của cột điện do $R_x \ll Z_{cs}$, nên sóng dòng coi như phản xạ dương toàn phần.

Điện áp giáng trên điện trở nối đất của cột điện:

$$U_R(t) = 0.5i_s(t)R_x = 0.5at \cdot 10 = 5at \quad (2.84)$$

Điện áp cảm ứng từ:

$$U_{cr}^t = \frac{1}{2} \cdot L_c^{cs} \cdot \frac{di_s(t)}{dt} = \frac{1}{2} \cdot 13,267 \cdot a = 6,634a \quad (2.85)$$

Ta bỏ qua thành phần $\frac{1}{2} M_s^{cs} \frac{di_s(t)}{dt}$, vì hồ cảm giữa dòng trong khe sét với mạch vòng kín “DCS – cột” rất bé, do sét đánh xa ở cột.

Điện áp cảm ứng trên dây dẫn do dòng trên DCS gây nên: U_{dd}^{nh}

$$U_{dd}^{nh} = -k_{vq}U_{cs} = -0,3016 \cdot 127,672at = -38,506 \quad (2.86)$$

Điện áp làm việc của đường dây: U_{lv}

$$U_{lv} = \frac{T}{2} \int_0^{T/2} \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}} \sin \omega t \cdot dt = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 22 = 11,436 \text{ kV} \quad (2.87)$$

Điện áp tác dụng lên chuỗi sứ khi sét đánh ở chính giữa khoảng vượt bằng các biểu thức:

$$\begin{aligned}
 U_{cs\acute{u}} &= \frac{1}{2} \left(i_s(t) R_x + L_c^{cs} \frac{di_s(t)}{dt} \right) (1 - k_{vq}) + U_{lv} \\
 &= (5at + 6,634a) (1 - 0,3016) + 11,436 \\
 &= 3,492at + 4,633a + 11,463
 \end{aligned}
 \tag{2.88}$$

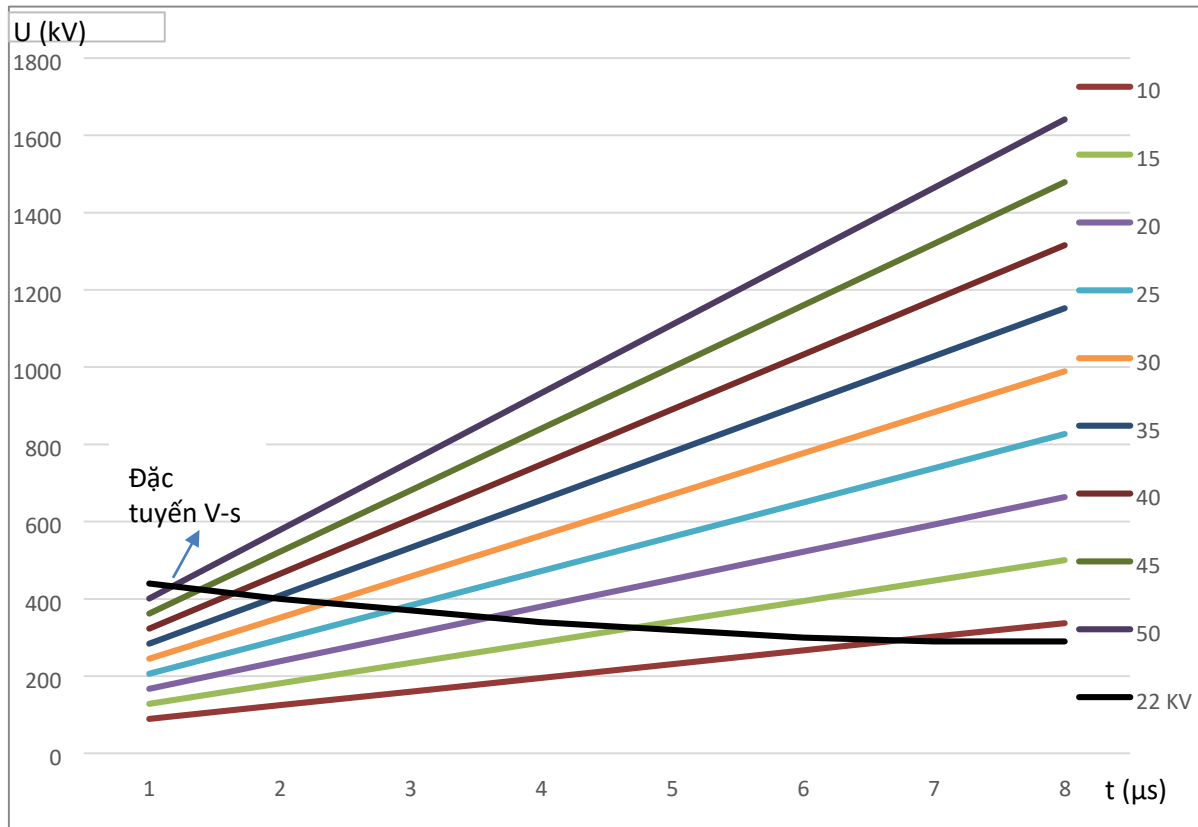
Từ phương trình trên ta tính được bảng sau:

$U_{s\acute{u}r}$	$t \text{ (}\mu\text{s)}$							
a	1	2	3	4	5	6	7	8
5	52.088	69.548	87.008	104.47	121.928	139.388	156.848	174.308
10	92.713	127.63	162.55	197.47	232.393	267.313	302.233	337.153
15	133.34	185.72	238.1	290.48	342.858	395.238	447.618	499.998
20	173.96	243.8	313.64	383.48	453.323	523.163	593.003	662.843
25	214.59	301.89	389.19	476.49	563.788	651.088	738.388	825.688
30	255.21	359.97	464.73	569.49	674.253	779.013	883.773	988.533
35	295.84	418.06	540.28	662.5	784.718	906.938	1029.16	1151.38
40	336.46	476.14	615.82	755.5	895.183	1034.86	1174.54	1314.22
45	377.09	534.23	691.37	848.51	1005.65	1162.79	1319.93	1477.07
50	417.71	592.31	766.91	941.51	1116.11	1290.71	1465.31	1639.91

Bảng 2.2: Đặc tính V-s của sứ cách điện cấp điện áp 22kV

(Dựa vào bảng PL 2.4 trong “hướng dẫn thiết kế tốt nghiệp thiết kế phần điện thiết kế chống sét cho nhà máy điện” dùng cách nội suy ta tính được)

	t (μs)							
U _{sứ} (kV)	1	2	3	4	5	6	7	8
	440	400	370	340	320	300	290	290



Hình 2.6: Đặc tuyến phóng điện trên sứ cách điện cấp điện áp 22kV

Từ đặc tuyến (V-s) của sứ cách điện 22 kV và đặc tuyến (V-s) của họ đường cong

$U_{cd}(t)$ ta xác định được các thời gian phóng điện $t_{p1}, t_{p2}, \dots$ và trị số của dòng sét với độ dốc đầu sóng a_i vào lúc xảy ra phóng điện:

$$i_{si} = a_i t_{pi} \quad (2.89)$$

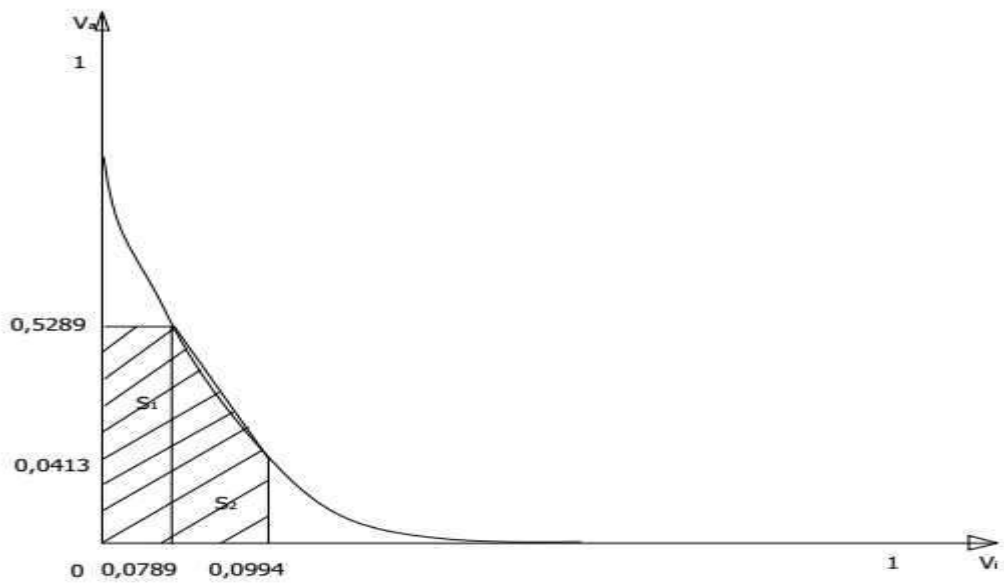
Các giá trị t_p cũng tìm được bằng cách nội suy tuyến tính trên từng đoạn nhỏ của đặc tuyến. (tham khảo bảng tra tài liệu “hướng dẫn thiết kế tốt nghiệp thiết kế phần điện thiết kế chống sét cho nhà máy điện” của Dương Vũ Văn- Trần Hoàng Linh- Lê Thanh Thoả - NXB: ĐHQG TP.HCM năm 2015).

a (kA/μs)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
t_p (μs)	6.6	4.7	3.6	2.9	2.4	1.95	1.75	1.4	1.2
i_s (kA)	66	70.5	72	72.5	72	68.25	70	63	60

Từ bảng a và i_s ta tính được bảng số liệu các xác suất v_i và v_a :

$$v_i = e^{\frac{-i_s}{26}} \text{ và } v_a = e^{\frac{-a}{15,7}} \quad (2.90)$$

a (kA/μs)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
i _s (kA)	66	70.5	72	72.5	72	68.25	70	63	60
v _i	0.0789	0.0664	0.0627	0.0615	0.0627	0.0724	0.0677	0.0886	0.0994
v _a	0.5289	0.3846	0.2797	0.2034	0.1479	0.1076	0.0782	0.0569	0.0413



Hình 2.7: Đường cong xác suất phóng điện

$$S_1 = 0,0789 \cdot 0,5289 = 0,0417 \quad (2.91)$$

$$S_2 = (0,0413 + 0,5289) \times (0,0994 - 0,0789) \times 0,5 = 5,844 \times 10^{-3} \quad (2.92)$$

$$\text{Suy ra: } v_{p4} = S_1 + S_2 = 0,0475 \quad (2.93)$$

Suất cắt điện của đường dây khi sét đánh vào chính giữa khoảng vượt được xác định:

$$n_{kv} = N \cdot (1 - v_a) \left(1 - \frac{4 \cdot h_c}{l_{kv}} \right) (v_{p3} \cdot \eta_2 + v_{p4} \cdot \eta_1), \text{ với } \eta_1 \quad (2.94)$$

$$\eta_2 = 1,5(\overline{E_{lv}} - 4) \cdot 10^{-2} = 1,5 \left(\frac{U}{\sqrt{3}S} - 4 \right) 10^{-2} = 1,5 \left(\frac{24}{\sqrt{3} \cdot 3,26} - 4 \right) 10^{-2} \quad (2.95)$$

$$= 0,375 \cdot 10^{-2}$$

$$n_{kv} = 74,97(1 - 0,001) \left(1 - \frac{4,12}{50} \right) (1,962 \cdot 10^{-11} \cdot 0,375 \cdot 10^{-2} + 0,0475 \cdot 0,7) = 0,01 \quad (2.96)$$

2.7. Khi sét đánh vòng qua DCS vào dây dẫn

Với giả thuyết $Z_s \approx \frac{Z_{dd}}{2}$ thì dòng điện sét chạy về mỗi phía của đường dây $\frac{i_s(t)}{4}$ bằng , dòng điện gây nên trên dây dẫn một điện áp bằng $\frac{i_s(t)}{4} Z_{dd}^{vq}$, với Z_{dd}^{vq} là tổng trở sóng của đường dây có tính đến ảnh hưởng của vàng quang xung quanh.

Do điện áp tác dụng lên chuỗi sứ là:

$$\begin{aligned} U_{cd}(t) &= U_{ch.s}(t) = \frac{i_s(t)}{4} Z_{dd}^{vq} + U_{lv} = \frac{i_s(t)}{4} \cdot 370.570 + 11,463 \\ &= 92,642 i_s(t) + 11,463 \end{aligned} \quad (2.97)$$

Phóng điện xảy ra khi:

$$U_{cd}(t) \geq U_{0,5ch.s}(t) = 659,96kV \text{ hay } i_s(t) \geq 7 kA \quad (2.98)$$

Xác suất xảy ra phóng điện trên chuỗi sứ là:

$$v_{p1} = e^{\frac{-i_s}{26}} = e^{\frac{-7}{26}} = 0,764 \quad (2.99)$$

Suất cắt điện của đường dây khi sét đánh vòng qua DCS vào dây dẫn là:

$$n_{dd} = N \cdot v_a \cdot v_{p1} \cdot \eta_1 = 74.97 \times 0.00092 \times 0.764 \times 0.7 = 0.04 \text{ lần/năm} \quad (2.100)$$

Suất cắt điện tổng của đường dây khi sét đánh trực tiếp bằng:

$$n_{tt} = n_{dd} + n_c + n_{kv} = 0.04 + 7.36 + 0.01 = 7.41 \text{ lần/năm} \quad (2.101)$$

Xét trường hợp khi sét đánh cảm ứng trên đường dây có treo DCS

Do DCS được nối đất nên số lần phóng điện trên các pha do sét đánh cảm ứng gây nên được xác định như công thức trên.

$$\begin{cases} N_p = \frac{(15,6 \div 23,4) \cdot n_{ngs} \cdot h_{dd} \cdot mm_{dd}}{U_{50\%}} \cdot e^{\frac{-U_{50\%}}{260 \cdot m_{dd}}} \\ m_{dd} = 1 - k_{vq} \cdot \frac{h_{cs}}{h_{dd}} = 1 - 0,3016 \cdot \frac{11,4}{9,4} = 0,63 \end{cases} \quad (2.102)$$

$$N_p = \frac{15,6 \cdot 80 \cdot 9,4 \cdot 0,63}{380} \cdot e^{\frac{-380}{260 \cdot 0,63}} = 1,9 \text{ lần/năm} \quad (2.103)$$

$$n_{cur} = N_p \cdot \eta = 1,9 \cdot 0,7 = 1,33 \quad (2.104)$$

Như vậy tổng suất cắt trên đường dây khi có treo DCS là:

$$n = n_{tt} + n_{cur} = 7.41 + 1.33 = 8.74 \text{ lần/năm} \quad (2.105)$$

Chỉ tiêu chống sét của đường dây khi có treo DCS trên lưới 22kV là:

$$M = \frac{1}{n} = \frac{1}{8.74} = 0.114 \text{ năm/lần} \quad (2.106)$$

Mức giảm suất cắt sau khi lắp đặt DCS $\approx 80 \%$.

2.8. Phạm vi bảo vệ DCS

Theo nguyên tắc bảo vệ chống sét, dây chống sét nằm ngang (được treo trên đỉnh cột) tạo ra vùng bảo vệ dạng hình nón có đỉnh nằm trên dây chống sét. Độ lớn góc bảo vệ α giữa mép nón và mặt đất phụ thuộc vào chiều cao của dây và năng lượng sét. Trong trường hợp này, giả sử yêu cầu góc bảo vệ $\alpha = 30^\circ$ tại mặt đất (tham khảo PCDN), bán kính bảo vệ R có thể ước tính xấp xỉ theo công thức:

$$R \approx \frac{H_{dây}}{\tan \alpha} \quad (2.107)$$

Trong đó:

Độ cao hiệu dụng của dây chống sét là:

$$H_{dây} = h_{cs} - f_{cs} = 12 - 0,9 = 11,1 \text{ m} \quad (2.108)$$

Bán kính bảo vệ khi lắp đặt dây chống sét:

$$R \approx \frac{H_{dây}}{\tan \alpha} = \frac{11}{\tan 30^\circ} = 23,58 \text{ m} \quad (2.109)$$

Khu vực bảo vệ 2 bên đường dây với ($L = 5 \text{ km}$):

$$2R \cdot L = 2 \cdot 23,58 \cdot 5000 = 2,36 \cdot 10^5 \text{ m}^2 \quad (2.110)$$

Công thức tính mức độ chịu sét của đường dây

$$BIL_{Trước} = 1,25 \cdot I_{sét} \cdot R \quad (2.111)$$

Trong đó:

$I_{sét}$: Dòng sét giả định (kA)

R : Điện trở nối đất của trụ (Ω).

Hệ số an toàn 1,25

Mức độ chịu sét trước khi lắp đặt DCS:

$$BIL_{Trước} = 1,25 \cdot 30000 \cdot 10 = 375(kV) \quad (2.112)$$

Mức độ chịu sét sau khi lắp đặt DCS:

$$BIL_{Trước} = 1,25 \cdot 30000 \cdot 5 = 187,5(kV) \quad (2.113)$$

Chương 3: ỨNG DỤNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ BẢO VỆ

3.1. Giới thiệu phần mềm MATLAB/Simulink

MATLAB (viết tắt của *Matrix Laboratory*) là phần mềm tính toán số và mô phỏng kỹ thuật do hãng MathWorks phát triển. Với giao diện thân thiện và thư viện công cụ mạnh mẽ, MATLAB được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực kỹ thuật, đặc biệt là điện – điện tử, hệ thống điện, điều khiển và mô phỏng hiện tượng quá độ.

Trong lĩnh vực chống sét và bảo vệ đường dây điện, MATLAB kết hợp với Simulink cung cấp khả năng mô phỏng chi tiết các hiện tượng như:

Mô phỏng xung sét theo mô hình Heidler hoặc xung dạng mũ

Phân tích hiện tượng quá điện áp

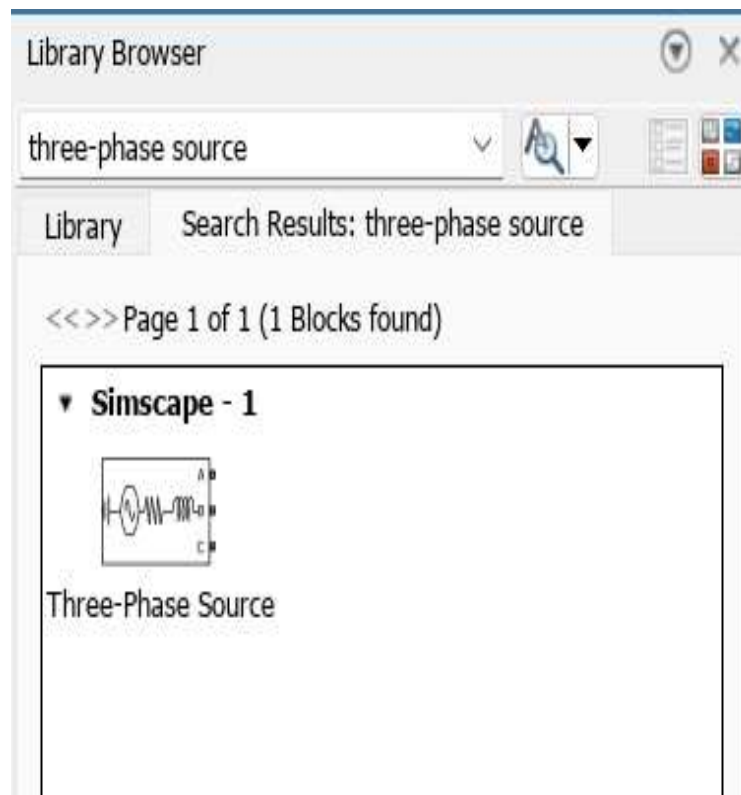
Đánh giá hiệu quả giảm suất cắt (backflashover) của dây chống sét hoặc van chống sét

Xác định số lần vượt ngưỡng cách điện, tần suất sự cố

3.2. Vai trò của MATLAB

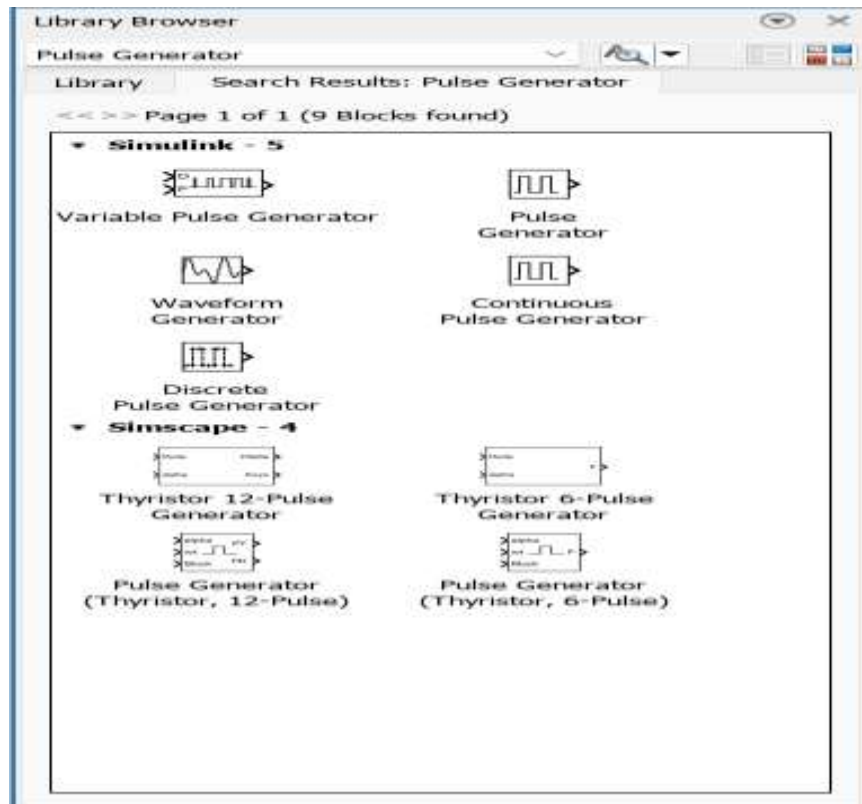
Mô phỏng hiện tượng sét đánh vào đường dây

+ Nguồn điện 3 phase



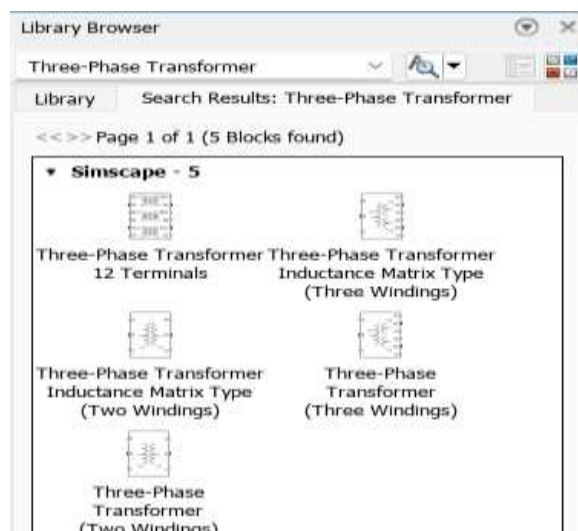
Hình 3.1: Giao diện khối three-phase source

+ Sử dụng khối *Pulse Generator* để tạo xung sét với góc α thay đổi



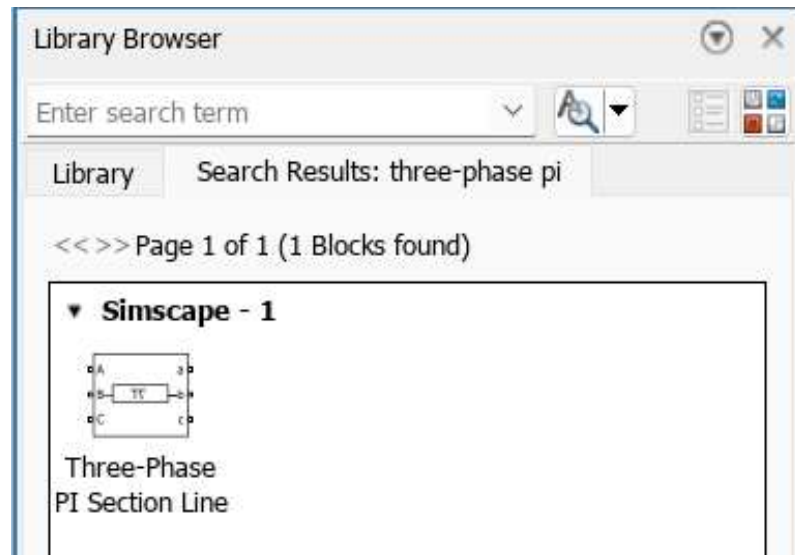
Hình 3.2: Giao diện khối Pulse Generator

+ Máy biến áp



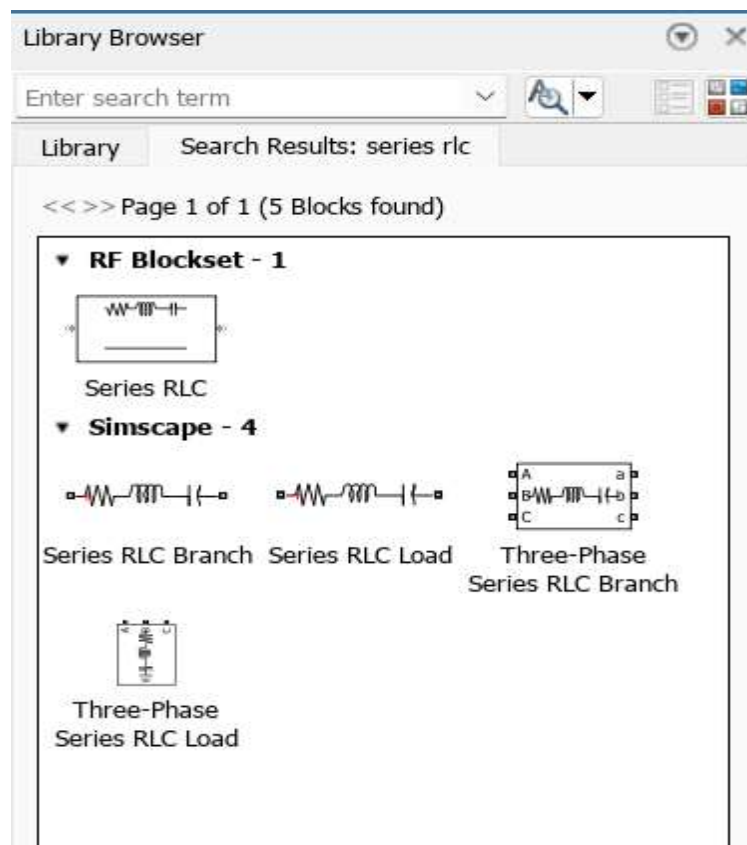
Hình 3.3: Giao diện khối Three-Phase Transformer

+ Đường dây



Hình 3.4: Giao diện khối Three-Phase PI

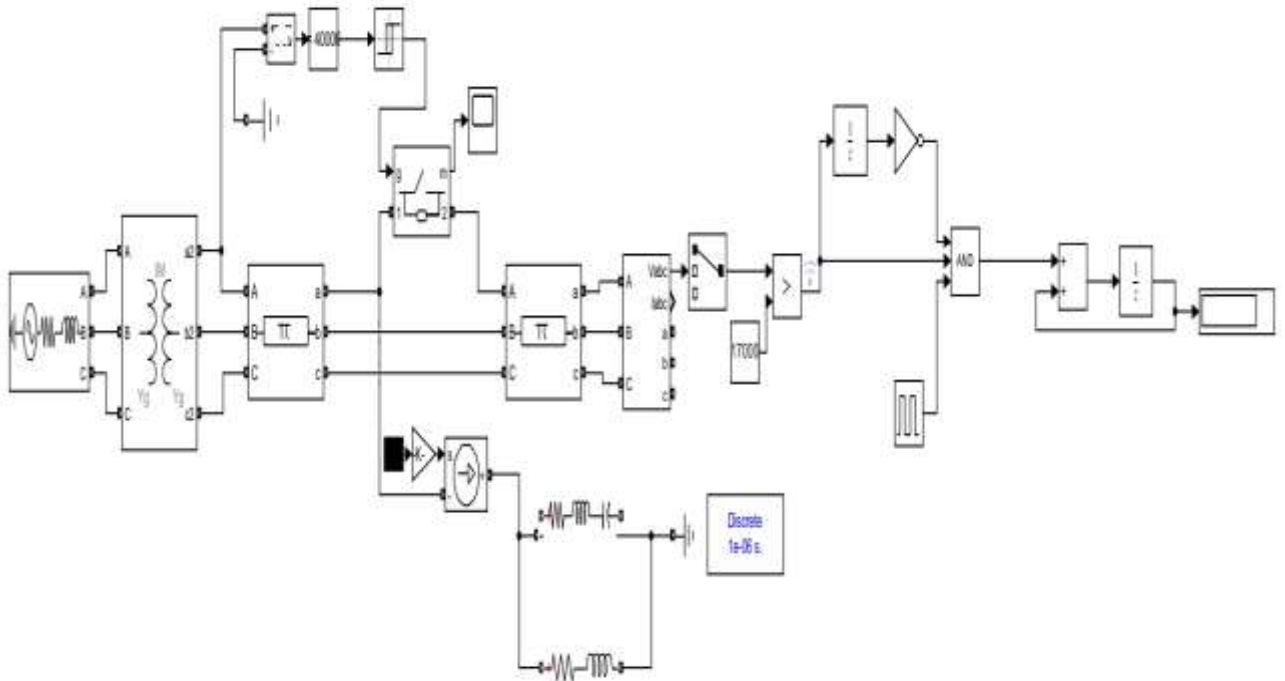
**Xây dựng mô hình đường dây 22Kv có và không có dây chống sét
+ Mô hình RLC tương đương đường dây**



Hình 3.5: Giao diện khối series RLC

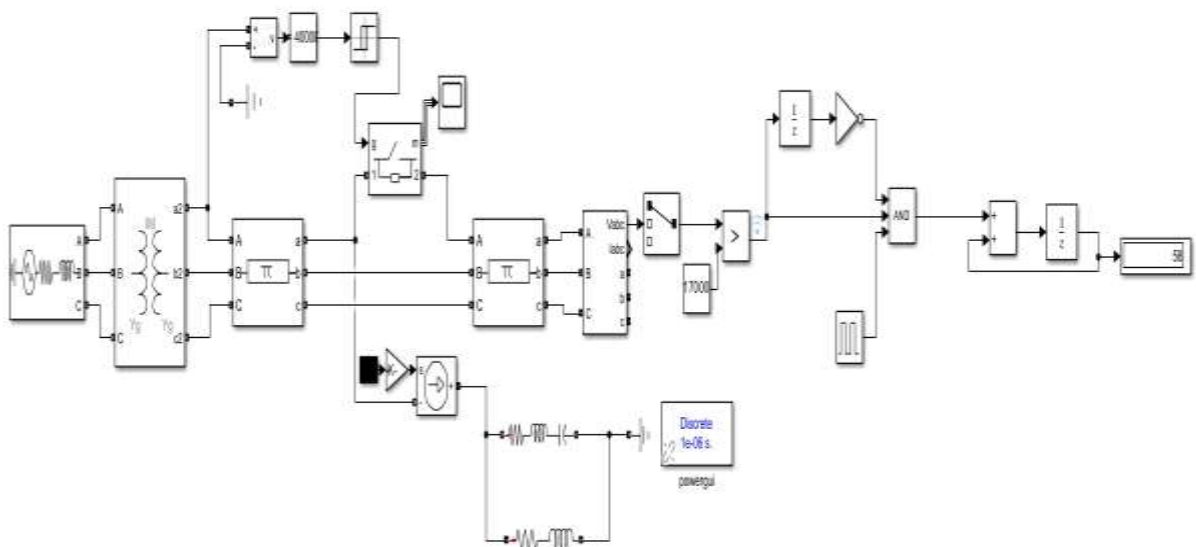
3.3. Thiết lập mô hình đường dây 22kV

3.3.1. Mô hình đường dây khi chưa có thiết bị chống sét



Hình 3.6: Sơ đồ mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi chưa lắp thiết bị chống sét
- Trường hợp khi chưa lắp dây chống sét ta được suất cắt 58 lần/năm.

doantonghiep



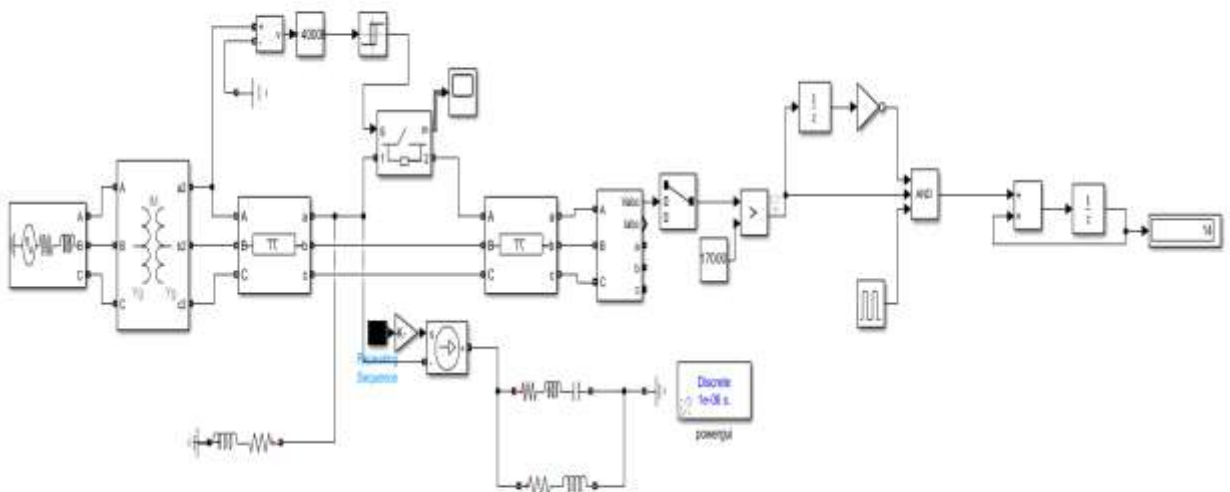
Hình 3.7: Kết quả mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi chưa lắp thiết bị chống sét

Nhận xét :

Qua mô phỏng hiện tượng sét đánh trực tiếp vào đường dây 22kV khi chưa lắp đặt dây chống sét, ta nhận thấy số lần vượt ngưỡng điện áp cách điện là khá lớn. Kết quả đo từ mô hình cho thấy suất cắt lên đến 58 lần/năm. Điều này chứng tỏ hệ thống dễ bị phóng điện ngược tại các điểm yếu trên đường dây, đặc biệt là vùng có điện trở nối đất lớn hoặc cách điện yếu. Nguyên nhân là do mô hình chưa lắp đặt thiết bị chống sét dẫn xung điện sét xuống đất nên toàn bộ năng lượng sét truyền trực tiếp vào pha, gây quá áp tức thời. Điều này làm tăng nguy cơ sự cố, mất điện, hư hỏng thiết bị và giảm độ tin cậy cung cấp điện cho phụ tải. Do đó, việc nghiên cứu và lắp đặt thiết bị bảo vệ như dây chống sét hoặc van chống sét là rất cần thiết nhằm giảm suất cắt và nâng cao độ an toàn cho lưới điện trung áp.

3.3.2. Mô hình đường dây khi lắp đặt DCS

- Trường hợp khi lắp 1 dây chống sét ta được suất cắt 14 lần/năm.



Hình 3.8: Kết quả mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi lắp 1 DCS

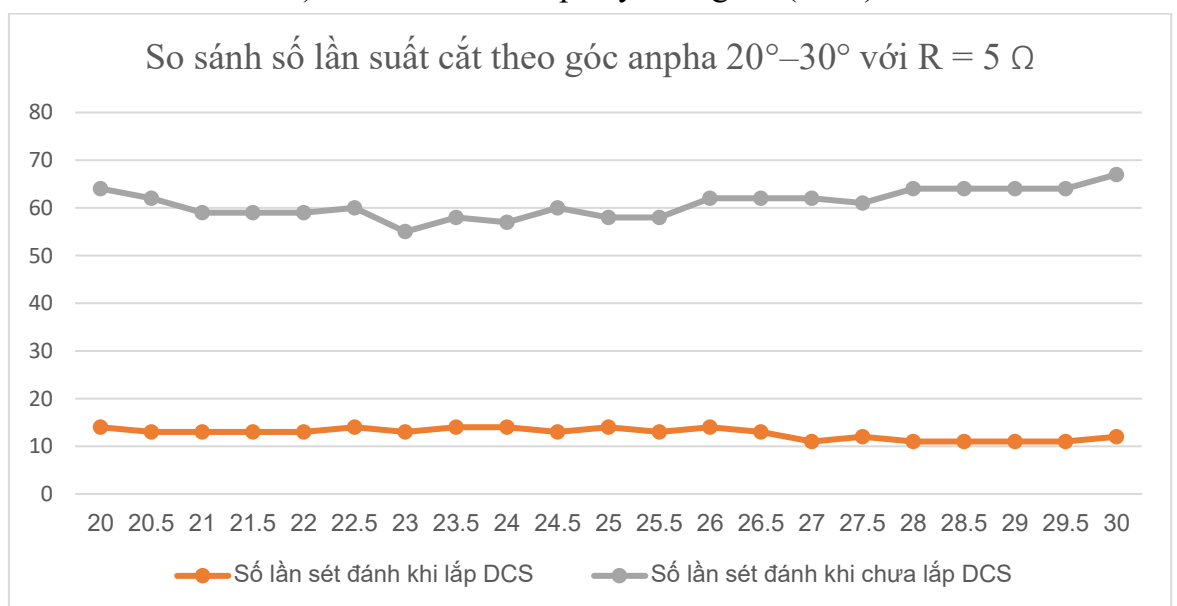
Nhận xét:

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng sau khi lắp đặt DCS suất cắt giảm 75,9% so với kết quả tính toán ở chương 2 là 80%. Với các thông số trên ta thấy tính toán bằng phần mềm mô phỏng và tính toán thủ công có kết quả xấp xỉ nhau. Việc dẫn xung sét trực tiếp xuống đất giúp bảo vệ cách điện đường dây và giảm nguy cơ sự cố, từ đó nâng cao độ tin cậy vận hành của lưới phân phối trung áp.

Trường hợp khi lắp 1 dây chống sét có điện trở 5 Ω với góc anpha thay đổi từ 20-30 độ ta được thông số như bảng sau :

Góc α	Phase delay	Điện trở	Số lần suất cắt khi lắp DCS	Số lần suất cắt khi chưa lắp DCS
20	0,001111	5 Ω	14	64
20,5	0,001139	5 Ω	13	62
21	0,001167	5 Ω	13	59
21,5	0,001194	5 Ω	13	59
22	0,001222	5 Ω	13	59
22,5	0,001250	5 Ω	14	60
23	0,001278	5 Ω	13	55
23,5	0,001306	5 Ω	14	58
24	0,001333	5 Ω	14	57
24,5	0,001361	5 Ω	13	60
25	0,001389	5 Ω	14	58
25,5	0,001417	5 Ω	13	58
26	0,001444	5 Ω	14	62
26,5	0,001472	5 Ω	13	62
27	0,001500	5 Ω	11	62
27,5	0,001528	5 Ω	12	61
28	0,001556	5 Ω	11	64
28,5	0,001583	5 Ω	11	64
29	0,001611	5 Ω	11	64
29,5	0,001639	5 Ω	11	64
30	0,001667	5 Ω	12	67

Bảng 3.1: Kết quả mô phỏng số lần suất cắt của đường dây 22kV theo các góc α (góc đánh sét) khi chưa và có lắp dây chống sét (DCS).

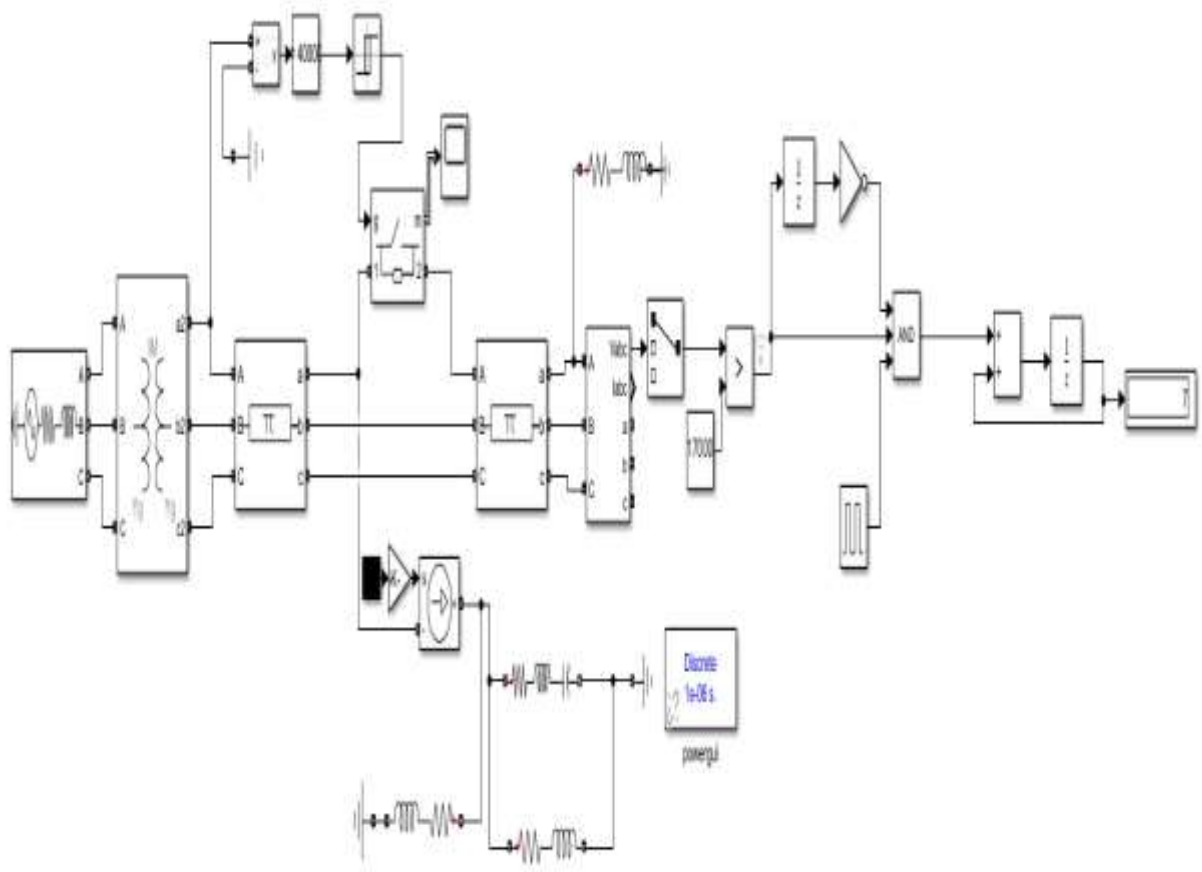


Hình 3.9: Biểu đồ đường ảnh hưởng của góc anpha với R = 5 Ω

Nhận xét :

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng việc thay đổi góc anpha từ 20° đến 30° có ảnh hưởng rõ rệt đến sự thay đổi của suất cắt. Cụ thể, khi chưa lắp đặt dây chống sét, suất cắt duy trì ở mức cao, dao động từ 59 đến 66 lần, phản ánh mức độ nguy hiểm của xung sét đối với cách điện của hệ thống. Tuy nhiên, sau khi lắp đặt dây chống sét với điện trở 5Ω , số lần suất cắt giảm đáng kể, chỉ còn từ 11 đến 14 lần tùy theo góc anpha. Điều này chứng minh khi góc anpha thay đổi có ảnh hưởng đến việc thay đổi suất cắt đường dây trước và sau khi lắp đặt dây chống sét.

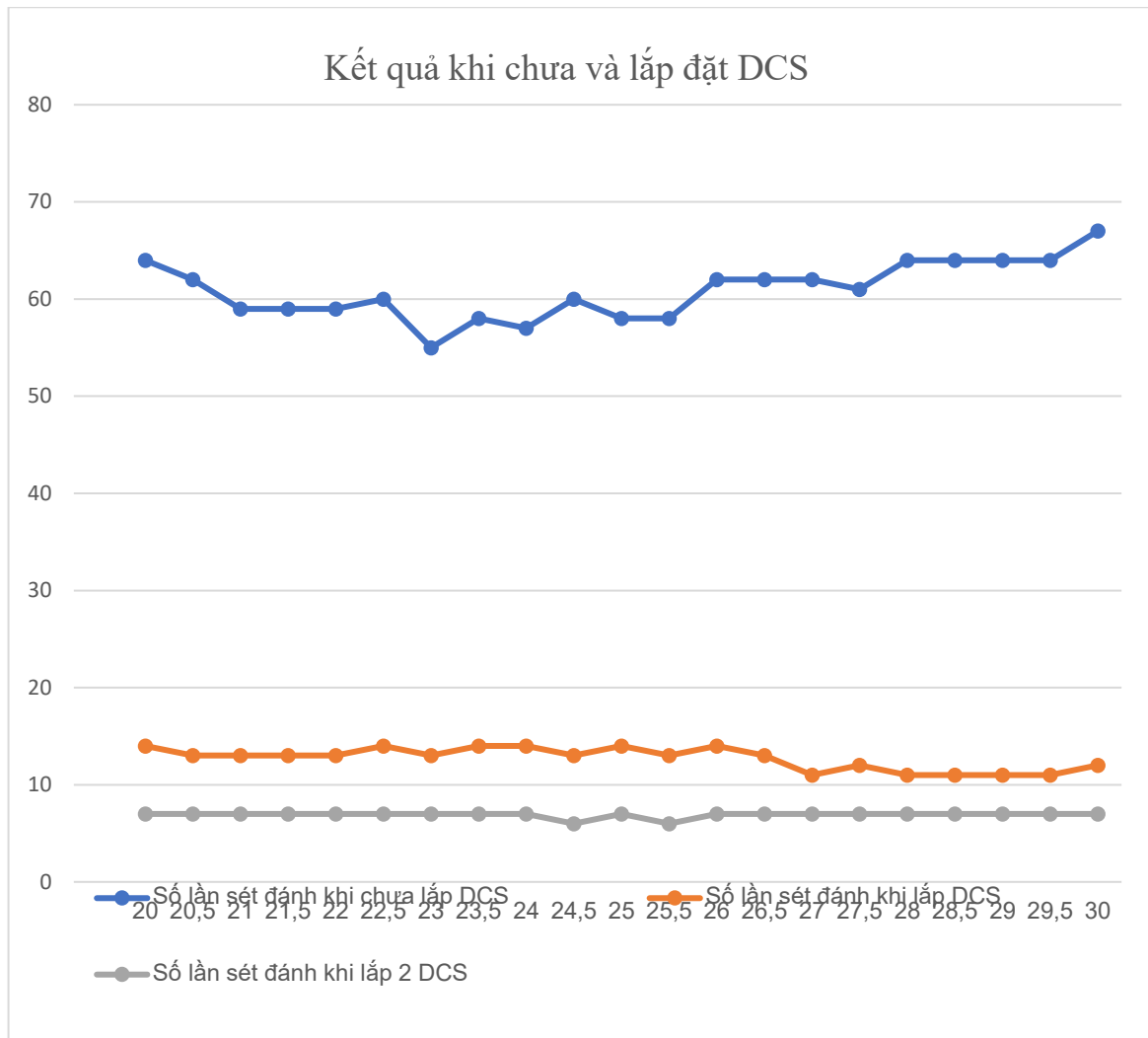
Trường hợp khi lắp 2 dây chống sét có điện trở nối đất của mỗi dây là 10 ôm góc anpha thay đổi từ 20-30 độ ta được thông số như bảng sau :



Hình 3.10: Kết quả mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi lắp 2 DCS

Góc α	Phase delay	Số lần suất cắt khi chưa lắp DCS	Số lần suất cắt lắp DCS	Số lần suất cắt khi lắp 2 DCS
20	0,001111	64	14	7
20,5	0,001139	62	13	7
21	0,001167	59	13	7
21,5	0,001194	59	13	7
22	0,001222	59	13	7
22,5	0,001250	60	14	7
23	0,001278	55	13	7
23,5	0,001306	58	14	7
24	0,001333	57	14	7
24,5	0,001361	60	13	6
25	0,001389	58	14	7
25,5	0,001417	58	13	6
26	0,001444	62	14	7
26,5	0,001472	62	13	7
27	0,001500	62	11	7
27,5	0,001528	61	12	7
28	0,001556	64	11	7
28,5	0,001583	64	11	7
29	0,001611	64	11	7
29,5	0,001639	64	11	7
30	0,001667	67	12	7

Bảng 3.2: Kết quả mô phỏng số lần suất cắt của đường dây 22kV theo các góc α (góc đánh sét) khi chưa và có lắp thêm dây chống sét (DCS).

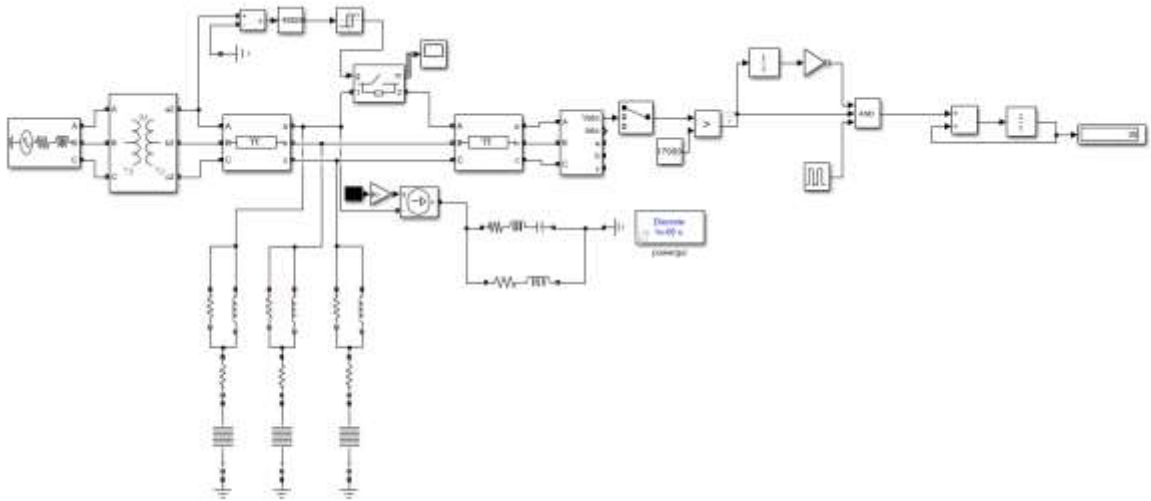


Hình 3.11: Biểu đồ đường ảnh hưởng của góc anpha khi chưa và lắp đặt DCS

Nhận xét :

Kết quả mô phỏng cho thấy việc lắp đặt dây chống sét giúp giảm rõ rệt số lần suất cắt của đường dây 22kV khi bị sét đánh, đặc biệt khi góc anpha thay đổi từ 20° đến 30°. Khi lắp 1 dây chống sét có điện trở nối đất 5Ω, số suất cắt giảm 75–80% so với trường hợp chưa bảo vệ. Điều này chứng minh rằng hệ thống đã được cải thiện đáng kể về khả năng chống quá điện áp do sét. Đặc biệt, khi lắp 2 dây chống sét, mỗi dây có điện trở nối đất 10Ω, suất cắt giảm 88% . Điều này cho thấy phương án lắp 2 dây chống sét không những tăng cường hiệu quả bảo vệ mà còn làm giảm độ nhạy của hệ thống với sự thay đổi góc đánh sét, giúp lưới điện vận hành an toàn và ổn định hơn.

Trường hợp khi lắp 3 chống sét van với anpha thay đổi từ 20-30 độ :

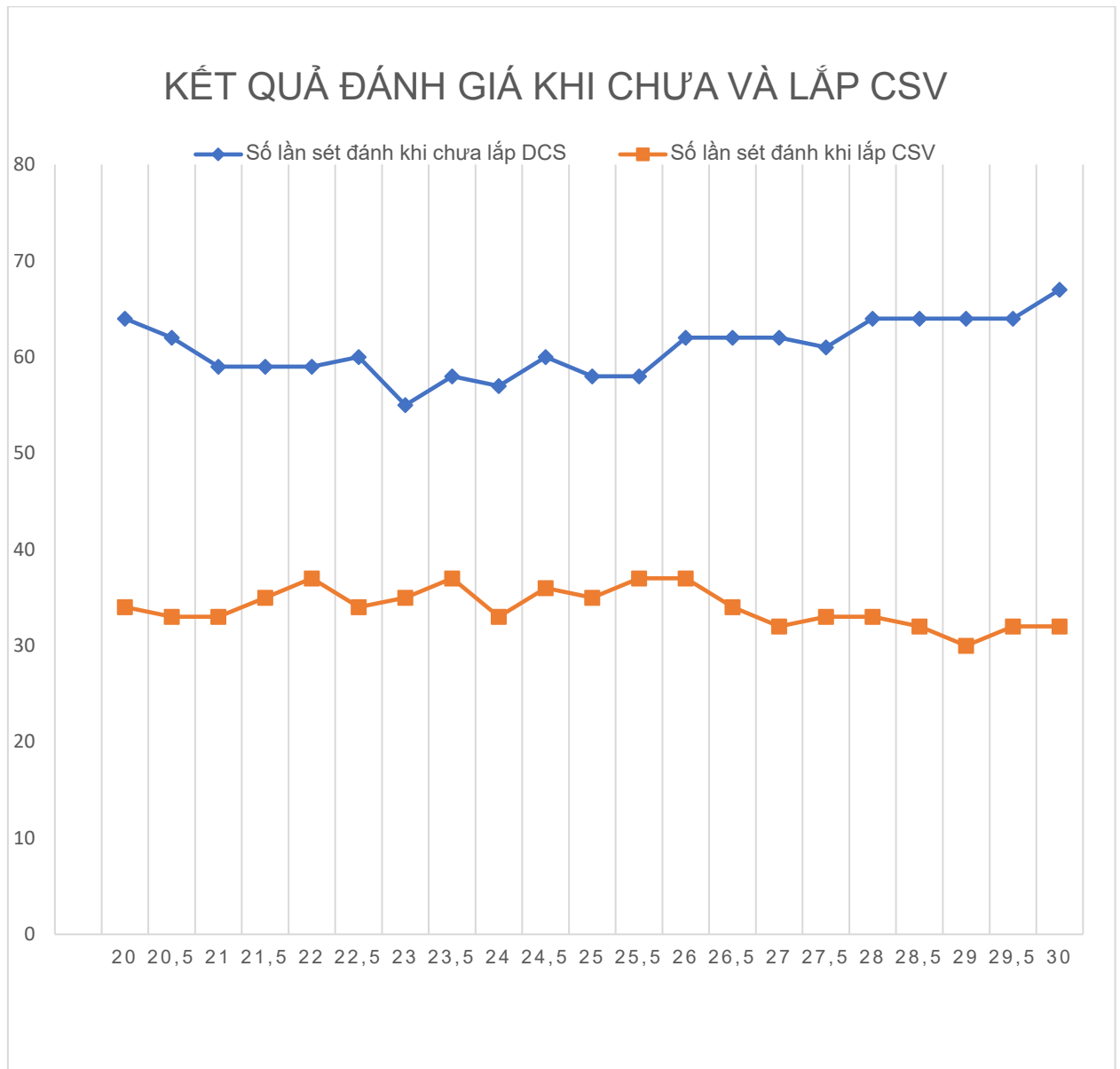


Hình 3.12: Kết quả mô phỏng sét đánh vào đường dây trung áp khi lắp nối tiếp 3 chống sét van vào 3 phase khi sét đánh

Sau khi chạy mô phỏng với góc anpha giao động từ 20 đến 30 độ ta được bảng thông số như sau:

Góc α	Phase delay	Số lần suất cắt khi chưa lắp DCS	Số lần suất cắt khi lắp CSV
20	0,001111	64	34
20,5	0,001139	62	33
21	0,001167	59	33
21,5	0,001194	59	35
22	0,001222	59	37
22,5	0,001250	60	34
23	0,001278	55	35
23,5	0,001306	58	37
24	0,001333	57	33
24,5	0,001361	60	36
25	0,001389	58	35
25,5	0,001417	58	37
26	0,001444	62	37
26,5	0,001472	62	34
27	0,001500	62	32
27,5	0,001528	61	33
28	0,001556	64	33
28,5	0,001583	64	32
29	0,001611	64	30
29,5	0,001639	64	32
30	0,001667	67	32

Bảng 3.3: Kết quả mô phỏng số lần suất cắt của đường dây 22kV theo các góc α (góc đánh sét) khi chưa lắp DCS và lắp CSV



Hình 3.13: Biểu đồ đường ảnh hưởng của góc anpha khi chưa và lắp đặt CSV

Nhận xét:

Qua quá trình mô phỏng với góc đánh sét thay đổi từ 20 đến 30 độ, kết quả cho thấy rằng việc lắp đặt van chống sét cho đường dây 22kV đã mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm suất cắt. Cụ thể, suất cắt trong năm đã giảm đáng kể, tùy theo góc anpha. So với trường hợp chưa lắp đặt thiết bị bảo vệ, hiệu quả giảm suất cắt đạt khoảng 36–52%, chứng minh rằng các van chống sét đã hoạt động tốt, hạn chế được xung điện áp lan truyền khi sét đánh trực tiếp vào đường dây. Sự thay đổi nhỏ về số lần cắt theo từng góc anpha cũng phản ánh độ nhạy của hiện tượng phóng điện đối với thời điểm xảy ra sét trên sóng điện xoay chiều.

Chương 4: KẾT LUẬN

- Kết quả mô phỏng của các phương án theo góc α 20 – 30° được tóm gọn lại ở bảng sau:

Phương án	Mức giảm
Khi không có thiết bị	
Lắp 1 DCS	75 – 82% so với ban đầu
Lắp 2 DCS	~ 89%, ổn định cao
Lắp CSV	39 – 45% hiệu quả thấp hơn so với DCS

- So sánh các phương án để lựa chọn kết quả tối ưu nhất:

LẮP ĐẶT THIẾT BỊ	ƯU ĐIỂM	NHUỘC ĐIỂM
DCS	- Giảm suất cắt cao so với khi chưa lắp đặt DCS khi bị sét đánh vào. - Khả năng bảo vệ toàn tuyến tốt. - Hiệu quả bảo vệ với mọi góc sét đánh. - Bảo vệ thiết bị và giảm nguy cơ hư hỏng cách điện	- Chi phí đầu tư cao do phải lắp đặt suốt tuyến và bố trí hệ tiếp địa. - Lắp đặt phức tạp, đòi hỏi thiết kế cơ khí và cấu trúc móng cột phù hợp. - Yêu cầu kiểm tra bảo trì định kỳ tại các điểm tiếp địa.
CSV	- Chi phí đầu tư thấp, dễ lắp đặt tại các vị trí cần thiết như đầu cột. - Thiết kế nhỏ gọn, không làm thay đổi kết cấu đường dây. - Bảo vệ tốt cho sét lan truyền hoặc quá áp từ xa. - Bảo trì dễ dàng, thay thế nhanh.	- Chỉ bảo vệ cục bộ tại điểm lắp đặt, không hiệu quả toàn tuyến. - Kém hiệu quả khi gặp sét đánh trực tiếp vào khoảng vượt giữa hai cột. - Hiệu quả giảm suất cắt thấp. - Hiệu quả giảm không ổn định với góc sét α thay đổi.

Thông qua các phương án kết quả được so sánh ở bảng trên ta thấy được:

Về mặt kỹ thuật, DCS cho thấy khả năng giảm suất cắt vượt trội từ mức 59–67 lần/năm (khi chưa có bảo vệ) xuống chỉ còn khoảng 6–7 lần/năm khi lắp đặt 2 dây DCS. Trong khi đó CSV chỉ giúp giảm suất cắt xuống mức 30–37 lần/năm, tức hiệu quả chỉ bằng khoảng 39–45% so với DCS. Ngoài ra, DCS bảo vệ toàn tuyến đường dây, kể cả các khoảng vượt và đỉnh cột những khu vực nhạy cảm dễ bị sét đánh trực tiếp. Trong khi CSV chỉ có khả năng bảo vệ cục bộ tại vị trí lắp đặt và không có tác dụng chống sét đánh trực tiếp.

Về mặt kinh tế, việc lắp đặt DCS sẽ tốn chi phí cao hơn do phải thi công dây dẫn suốt tuyến và bố trí tiếp địa định kỳ, song hiệu quả dài hạn lại rất rõ rệt. Việc giảm đáng kể số lần cắt điện do sét không những giảm tổn thất năng lượng và chi phí vận hành, từ đó nâng cao độ tin cậy của hệ thống điện. CSV có chi phí lắp đặt thấp, dễ triển khai và thay thế, tuy nhiên chi phí gián tiếp do sự cố lặp lại vẫn cao, đặc biệt ở các vùng có tần suất sét lớn.

Về mức độ bảo vệ thiết bị, DCS giúp giảm rõ rệt quá áp lan truyền gây hư hỏng cách điện, sứ, máy biến áp và các thiết bị đầu cuối. Đồng thời, nó giúp ổn định điện áp hệ thống sau khi xảy ra hiện tượng sét, trong khi CSV chỉ có khả năng triệt tiêu xung tại vị trí gắn van, không đủ để bảo vệ toàn bộ thiết bị trải dài trên tuyến.

Kết luận:

Từ những đánh giá trên có thể kết luận rằng việc lắp đặt DCS là có thể được lựa chọn cho đường dây trung áp và đặc biệt hơn là trong điều kiện địa lý và khí hậu Việt Nam nơi có tần suất sét đánh nhiều. Việc dùng CSV có thể được sử dụng như một phương án hỗ trợ cho các điểm yếu trên một số đường dây nhưng không vì vậy mà chúng ta nên thay thế hoàn toàn cho DCS được nếu như mục tiêu là đảm bảo an toàn, ổn định và hiệu quả lâu dài của hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. V. Tóp, Kỹ thuật điện cao áp quá điện áp và bảo vệ chống quá điện áp, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, năm 2007.
- [2] H. Việt, *Kỹ thuật cao áp*, tập 1 & 2, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP.HCM, năm 2007.
- [3] R. Günther, “Illuminating the Dark Side: Lightning’s Assault on Power Networks,” *CLOUGLOBAL*, Jul. 18, 2023.
- [4] Hướng dẫn thiết kế tốt nghiệp thiết kế phần điện thiết kế chống sét cho nhà máy điện” của Dương Vũ Văn- Trần Hoàng Linh- Lê Thanh Thoả - NXB: ĐHQG TP.HCM năm 2015.
- [5] N. H. Việt, Đánh giá Độ tin cậy trong hệ thống điện, Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP. HCM, năm 2011.
- [6] TS. Trần Văn Tóp, Kỹ thuật điện cao áp, Quá điện áp và bảo vệ chống quá điện áp; Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [7] IEEE Std 1410-2010, Guide for Improving the Lightning Performance of Overhead Power Lines, IEEE Power & Energy Society.
- [8] IEC 60071-1:2006 (TCVN 7995-1), Insulation coordination – Part 1: Definitions, principles and rules.
- [9] Tổng công ty Điện lực miền Nam (EVN SPC), Hướng dẫn thiết kế chống sét cho đường dây trung thế, 2017.