ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
HỒ VĂN NHẬT CHƯƠNG

BÀI TẬP
KỸ THUẬT ĐIỆN CAO ÁP

HCM
22

NHÀ XUẤT BẢN
ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

Hồ Văn Nhật Chương

BÀI TẬP
KỸ THUẬT ĐIỆN CAO ÁP

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP.HCM
THƯ VIỆN
57224

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA
TP HỒ CHÍ MINH - 2003

GT .01. CK(V)
ĐHQG.HCM-03 180/155 CK.GT.128 – 03(T)

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU 5

Chương 1 THÔNG SỐ ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI ĐIỆN 7

1.1 Tóm tắt lý thuyết 7

1.2 Bài tập ứng dụng 10

1.3 Bài tập tự kiểm tra 15

Chương 2 SÉT VÀ THAM SỐ CỦA DÒNG ĐIỆN SÉT 18

2.1 Tóm tắt lý thuyết 18

2.2 Bài tập ứng dụng 21

2.3 Bài tập tự kiểm tra 23

Chương 3 BẢO VỆ CHỐNG SÉT ĐÁNH TRỰC TIẾP 25

3.1 Vùng bảo vệ của một cột thu sét 25

3.2 Vùng bảo vệ của hai cột thu sét 29

3.3 Vùng bảo vệ của nhiều cột thu sét 35

Chương 4 TÍNH TOÁN NỐI ĐẤT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN 45

4.1 Điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp 45

4.2 Điện trở nối đất của các dạng thanh đặc biệt 53

4.3 Điện trở nối đất xoay chiều tần số công nghiệp của hệ phức hợp thanh - cọc 58

4.4 Điện trở tản xung kích 63

4.5 Điện trở tự nhiên 71

Chương 5 QUÁ TRÌNH SÓNG TRÊN ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN 81

5.1 Tổng trở sóng riêng và tổng trở sóng hỗ tương 81

5.2 Hệ phương trình Maxwell 84

5.3 Sự phản xạ và khúc xạ của sóng 93

5.4 Quy tắc Peterson trong tính toán quá trình sóng 98

5.5 Sự phản nhiều lần của sóng 101

5.6 Một vài phương pháp tính toán quá trình truyền sóng 113
5.7 Phương pháp đồ thị, xác định điện áp cuối đường dây là điện dung 137
5.8 Quy tắc sóng đẳng trị 145
Chương 6 BẢO VỆ CHỐNG SÉT ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN CAO ÁP 151
6.1 Đường lối chung tính suất cắt điện đường dây 151
6.2 Suất cắt đường dây do quá điện áp cảm ứng bởi sét 156
6.3 Suất cắt đường dây do sét đánh vào đường dây không treo dây chống sét 159
Chương 7 BẢO VỆ CHỐNG SÉT TRUYỀN VÀO TRẠM 166
7.1 Tóm tắt lý thuyết 166
7.2 Bài tập ứng dụng 167
Chương 8 CÁC BÀI TOÁN TỔNG HỢP 185
PHỤ LỤC 245
TÀI LIỆU THAM KHẢO 274

LỜI NÓI ĐẦU

BÀI TẬP KỸ THUẬT ĐIỆN CAO ÁP được biên soạn để phục vụ việc giảng dạy và học tập cho sinh viên ngành Hệ thống Điện và Kỹ thuật Điện; sẽ giúp ích cho sinh viên hiểu rõ hơn về môn học Kỹ thuật Điện Cao áp. Cuốn sách được soạn theo các chương mục bám sát giáo trình môn học Kỹ thuật Điện Cao áp và gồm hai phần:

- Phần tóm tắt lý thuyết: tóm tắt sơ bộ về lý thuyết đã học và giới thiệu các công thức tính toán.

- Phần bài tập: giới thiệu các bài tập ứng dụng đã được giải và sau đó là các bài tập để sinh viên tự kiểm tra.

Các bài toán của môn học Kỹ thuật Điện Cao áp nếu muốn giải quyết một cách căn cơ thì rất khó thậm chí nhiều lúc không giải được. Chính vì thế, các bài toán trong cuốn sách này là những bài toán cơ sở, nhằm giúp sinh viên nắm vững kiến thức về môn học Kỹ thuật Điện Cao áp và các phương pháp tính cũng chỉ giới hạn trong môn học này.

Chúng tôi mong muốn rằng, qua các bài toán đã được giải và các bài toán tự kiểm tra sẽ giúp cho sinh viên nắm vững hơn phần lý thuyết đã học và đạt được những kết quả tốt đẹp trong học tập.

Trong điều kiện hiện nay, tài liệu tham khảo để biên soạn còn rất thiếu thốn, chính vì thế cuốn sách này không tránh được những thiếu sót. Chúng tôi mong nhận được những ý kiến đóng góp quý báu của bạn đọc.

Mọi ý kiến đóng góp của bạn đọc xin gửi về cho chúng tôi theo địa chỉ:

Bộ môn Hệ thống Điện, Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TPHCM, số 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, TP. HCM.

Điện thoại 08.8651801.

Xin chân thành cảm ơn.

Tác giả

TS Hồ Văn Nhật Chương

Chương 1

THÔNG SỐ ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI ĐIỆN

1.1 TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1- Điện trở

Điện trở R của một đường dây có chiều dài l và tiết diện S là

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \Omega \tag{1.1}$$

trong đó: ρ - điện trở suất của vật liệu làm dây dẫn Ωm.

Giá trị điện trở R phụ thuộc vào nhiệt độ tính theo biểu thức

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \tag{1.2}$$

với: R_1, R_2 - điện trở tương ứng ở nhiệt độ T_1 và T_2; α - hệ số nhiệt.

Hệ số nhiệt và điện trở suất của một vài kim loại thông dụng cho trong bảng PL01.

2- Điện cảm

a- Đường dây một pha, hai dây

Điện cảm của một dây dẫn của hệ truyền tải hai dây được tính như sau:

$$L_{1d} = \frac{\mu_o}{8\pi}(1 + 4\ln\frac{D}{r}) \quad H/m \tag{1.3}$$

với: $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \quad H/m$

D - khoảng cách hai dây dẫn tính từ tâm (m);

r - bán kính dây dẫn (m).

Như vậy điện cảm của hệ hai dây sẽ là

$$L = 2L_{1d} = \frac{\mu_o}{4\pi}(1 + 4\ln\frac{D}{r}) = (1 + 4\ln\frac{D}{r}) \times 10^{-7} \quad H/m \tag{1.4}$$

Gọi $r' = re^{-1/4}$ - bán kính trung bình hình học của đường dây, thì (1.4) viết lại

$$L = 4 \times 10^{-7} \ln\frac{D}{r'} \quad H/m \tag{1.5}$$

b- Đường dây ba pha, ba dây

Điện cảm trên mỗi pha của đường dây truyền tải ba pha với các dây dẫn phân bố bình thường sẽ là

$$L = \frac{\mu_o}{8\pi}(1 + 4\ln\frac{D}{r}) = 2(\frac{1}{4} + 4\ln\frac{D}{r}) \quad H/m \tag{1.6}$$

ở đây: r - bán kính dây dẫn (m);

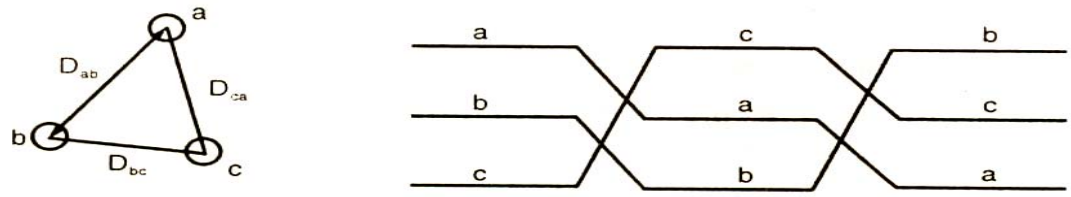
D - khoảng cách giữa các dây dẫn (m).

Tuy nhiên trong thực tế, để cân bằng thông số dọc theo tuyến đường dây, người ta thường hoán chuyển thứ tự pha tương ứng với một chiều dài nhất định nào đó của các dây dẫn, xem hình 1.1. Trong trường hợp này, điện cảm trung bình của một pha sẽ là

$$L = 2(\frac{1}{4} + 4\ln\frac{D_e}{r}) \quad H/m \tag{1.7}$$

với:

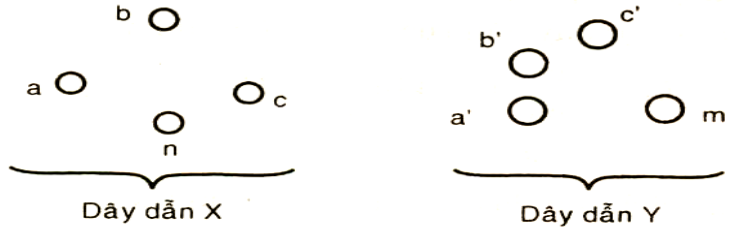
$$D_e = (D_{ab}.D_{bc}.D_{ca})^{1/3} \tag{1.8}$$



Hình 1.1

c- Dây dẫn dạng tổng hợp

Trong một pha của đường dây được bố trí nhiều dây dẫn. Khảo sát một đường dây hai sợi trong trường hợp tổng quát như hình 1.2:



Hình 1.2

Giả sử dây dẫn X có n dây: a, b, c,..., n; dây dẫn Y có m dây a', b', c',..., m thì điện cảm của pha X được tính như sau

$$L_X = 2\times 10^{-7}\times$$

$$\times \ln\frac{\sqrt[mn]{(D_{aa'}.D_{ab'}.D_{ac'}\ldots D_{am})(D_{ba'}.D_{bb'}.D_{bc'}\ldots D_{bm})\ldots(D_{na'}.D_{nb'}.D_{nc'}\ldots D_{nm})}}{\sqrt[n^2]{D_{aa}.D_{ab}.D_{ac}\ldots D_{an})(D_{ba}.D_{bb}.D_{bc}\ldots D_{bn})\ldots(D_{na}.D_{nb}.D_{nc}\ldots D_{nn})}} \tag{1.9}$$

Gọi tử số và mẫu số của phân số trong logarit của biểu thức (1.9) là D_m và D_s, biểu thức (1.9) viết lại

$$L_X = 2\times 10^{-7}\ln\frac{D_m}{D_s} \quad H/m \tag{1.10}$$

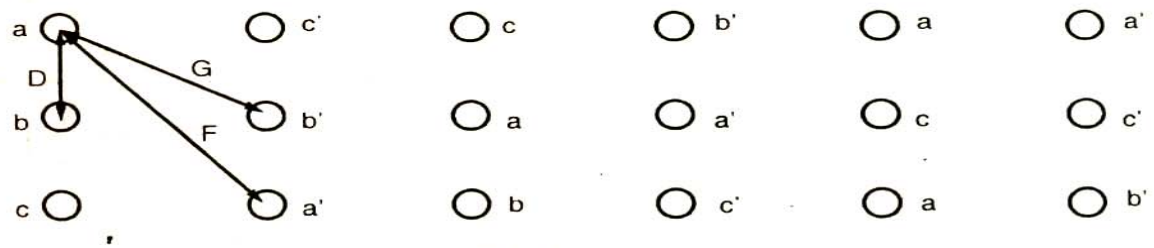
trong đó: D_m - khoảng cách trung bình hình học hỗ tương giữa các dây X và Y (GMD) (m);

D_s - khoảng cách trung bình học của dây X (GMR) (m).

Tương tự như thế thiết lập công thức tính điện cảm cho pha Y. Điện cảm của toàn bộ đường dây sẽ là

$$L = L_X + L_Y \tag{1.11}$$

d- Đường dây ba pha, lộ kép



Hình 1.3

Điện cảm trên mỗi pha của đường dây ba pha mạch kép có hoán chuyển thứ tự pha cho bởi công thức tổng quát

$$L_X = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \quad H/m \tag{1.12}$$

Với đường dây ba pha vẽ trong hình 1.3 thì biểu thức (1.12) trở thành

$$L_X = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\sqrt[6]{2} \cdot \sqrt{D} \cdot \sqrt[3]{G}}{\sqrt{r'} \cdot \sqrt[3]{F}} \quad H/m \tag{1.13}$$

với r' - GMR của dây dẫn (m).

3- Điện dung

Điện dung tính trên đơn vị dài của đường dây một pha hoặc hai sợi cho bởi

$$C = \frac{\pi \varepsilon_o}{\ln \frac{D}{r}} \quad F/m \tag{1.14}$$

với:

$$\varepsilon_o = \frac{10^{-9}}{36\pi} \quad F/m$$

Điện dung mỗi pha đối với dây trung tính, tính trên đơn vị dài, của đường dây ba pha không hoán chuyển thứ tự pha

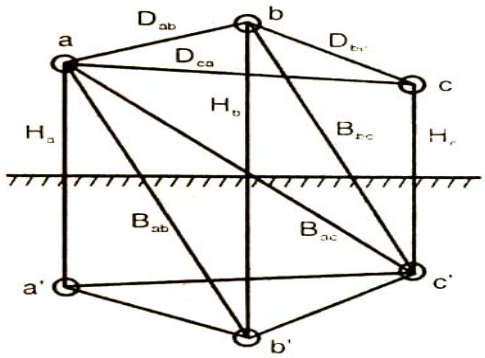
$$C = \frac{2\pi \varepsilon_o}{\ln \frac{D}{r}} \quad F/m \tag{1.15}$$

Trong trường hợp đường dây ba pha có hoán chuyển thứ tự pha, thì D trong (1.15) được thay bằng D_e ở (1.8).

Đối với đường dây ba pha, lộ kép(xem hình 1.3), điện dung mỗi pha tính theo

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_o}{\ln\left[\sqrt[3]{2}\cdot\frac{D}{f}\cdot\frac{G}{F}^{2/3}\right]} \quad F/m \tag{1.16}$$

Đối với đường dây cao thế điện dung của nó có ảnh hưởng bởi đất. Ảnh hưởng của đất đặc trưng bởi ảnh của dây dẫn đối với đất vẽ trong hình 1.4. Do thế điện dung đối với dây trung tính cho bởi



Hình 1.4

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_o}{\ln\frac{D_e}{r} - \ln\left(\frac{\sqrt[3]{B_{ab}\cdot B_{bc}\cdot B_{ca}}}{\sqrt[3]{H_a\cdot H_b\cdot H_c}}\right)} \quad F/m \tag{1.17}$$

trong đó: r - bán kính dây dẫn; D_e được tính theo (1.8).

Sử dụng khái niệm GMD, điện dung đối với dây trung tính của đường dây truyền tải ba pha, không đối xứng, lộ kép được tính theo công thức

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_o}{\ln\frac{GMD}{GMR}} = \frac{2\pi\varepsilon_o}{\ln\frac{D_m}{D_s}} \quad F/m \tag{1.18}$$

hay $$C = \frac{10^{-9}}{18\ln\frac{D_m}{D_s}} \quad F/m$$

với $$\varepsilon_o = \frac{10^{-9}}{36\pi} \quad F/m \tag{1.19}$$

1.2 BÀI TẬP ỨNG DỤNG

1.1 Xác định điện trở của dây dẫn hình trụ bằng nhôm dài 10 km, đường kính 0,635 cm ở nhiệt độ 20°C và 120°C.

Giải Tiết diện cắt ngang của dây dẫn

$$S = \frac{\pi}{4}(0{,}635)^2 = 0{,}317\ cm^2$$

Từ bảng PL01 cho: $\rho = 2{,}83\ \mu\Omega.cm$; $\alpha = 0{,}0039^{o}C^{-1}$ tại $20^{o}C$

a) Điện trở dây dẫn tại 20°C

Áp dụng biểu thức (1.1) cho

$$R = \rho\frac{l}{S} = 2{,}83 \times 10^{-8} \times \frac{10 \times 10^{3}}{0{,}317 \times 10^{-4}} = 8{,}93\ \Omega$$

b) Điện trở dây dẫn tại 120°C

Áp dụng biểu thức (1.2) cho:

$$R_{120} = R_{20}[1 + \alpha(120 - 20)] = 8{,}93(1 + 0{,}0039 \times 100) = 12{,}41\ \Omega$$

1.2 Một dây cáp dài 2 km được chế tạo từ 19 sợi dây đồng giống nhau, mỗi sợi có đường kính 1,5 mm. Tính điện trở của cáp. Cho biết chiều dài thực của các dây đồng tăng 5% so với chiều dài của đoạn cáp do sự xoắn dây.

Giải Chiều dài thực của các sợi dây đồng

$$l = 1{,}05 \times 2000 = 2100\ m$$

Tiết diện cắt ngang của cả 19 sợi dây đồng

$$S = 19 \times \frac{\pi}{4}(1{,}5 \times 10^{-3})^{2} = 33{,}576 \times 10^{-6}\ m^{2}$$

Áp dụng biểu thức (1.1) cho

$$R = \rho\frac{l}{S} = 1{,}72 \times 10^{-8}\frac{2100}{33{,}576 \times 10^{-6}} = 1{,}076\ \Omega$$

1.3 Một mẫu dây đồng có điện trở $50\,\Omega$ tại 10°C. Dây dẫn phải vận hành ở nhiệt độ tối đa là bao nhiêu khi điện trở cho phép chỉ tăng 10%. Cho biết hệ số nhiệt độ ở 10°C là $\alpha = 0{,}00409^{o}C^{-1}$.

Giải Điện trở của dây đồng tại nhiệt độ cực đại

$$R = 1{,}1 \times 50 = 55\ \Omega$$

Áp dụng biểu thức (1.2) cho

$$R_{m} = R_{10}[1 + \alpha(T_{m} - 10)]$$

$$55 = 50[1 + 0{,}00409 \times (T_{m} - 10)] \Rightarrow T_{m} = 34{,}45^{o}C$$

1.4 Tổn hao một chiều trên một đường dây một pha dài 40 km không vượt quá 60 kW với dòng điện trên dây là 100 A. Hãy xác định đường kính dây. Cho biết vật liệu kim loại làm dây dẫn có điện trở suất là $1{,}72 \times 10^{-8}\ \Omega m$.

Giải Điện trở của toàn bộ đường dây

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{60 \times 10^3}{100^2} = 6\ \Omega$$

Áp dụng biểu thức (1.1) cho

$$R = \rho\frac{l}{S} \text{ hay } S = \rho\frac{l}{R} \text{ hay } d = \sqrt{\rho\frac{4l}{\pi R}}$$

$$d = \sqrt{\rho\frac{4l}{\pi R}} = \sqrt{\frac{4 \times (1{,}72 \times 10^{-8})(40 \times 10^3)}{\pi \times 6}} = 1{,}208\ cm$$

1.5 Một đường dây truyền tải dài 15 km chế tạo từ những dây dẫn tròn có đường kính 0,8 cm nằm cách nhau 40 cm. Hãy tính đường kính tương đương của đường dây và điện cảm tương ứng.

Giải Hệ đường dây tương đương với một dây dẫn có bán kính tính theo

$$r' = re^{1/4} = 0{,}4 \times 0{,}7788 = 0{,}3115\ m$$

Vậy đường kính tương đương là

$$D = 2r' = 2 \times 0{,}3115 = 0{,}623\ cm$$

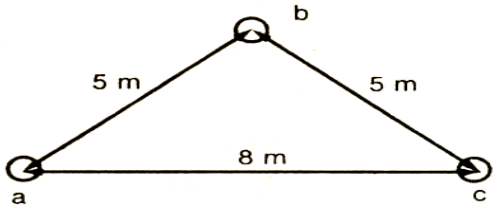
Áp dụng biểu thức (1.5) cho

$$L = 4 \times 10^{-7} \ln\frac{D}{r'} \quad H/m$$

Vậy điện cảm của toàn bộ đường dây

$$L = 15 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-7} \ln\frac{40}{0{,}3115} = 29{,}13\ mH$$

1.6 Một đường dây truyền tải ba pha, 50 Hz, ba dây dẫn được sắp xếp như trong hình vẽ 1.5, đường kính dây dẫn 0,635 cm. Hãy tìm điện kháng của đường dây trên mỗi km dài.



Hình 1.5

Giải Áp dụng biểu thức (1.8) cho

$$D_e = (D_{ab}D_{bc}D_{ca})^{1/3} = (5 \times 5 \times 8)^{1/3} = 5{,}848\ m$$

Áp dụng biểu thức (1.7) cho

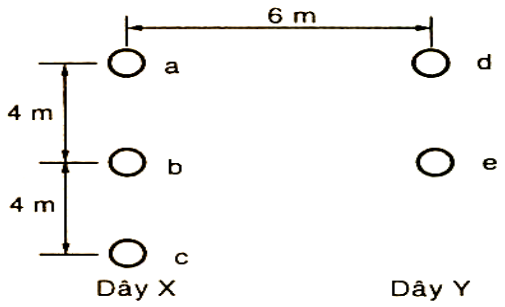
$$L = 2\left(\frac{1}{4} + 4\ln\frac{D_e}{r}\right) \quad H/m$$

Vậy điện cảm của một km đường dây

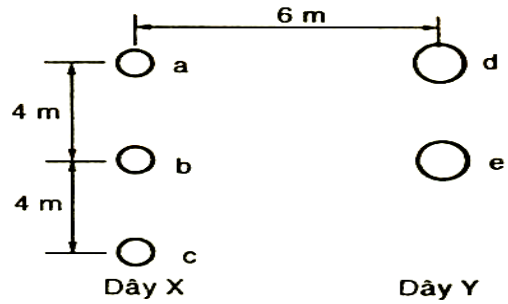
$$L = 1000 \times 2\left(\frac{1}{4} + 4\ln\frac{5{,}848}{0{,}3175 \times 10^{-2}}\right) = 1{,}554 \quad mH/km$$

Vậy điện kháng của đường dây của 1km chiều dài

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 100\pi \times 1{,}554 \times 10^{-3} = 0{,}4879\ \Omega$$



Hình 1.6



Hình 1.7

1.7 Một đường dây truyền tải ba pha, 50 Hz, ba dây dẫn được sắp xếp được vẽ trong hình 1.5, đường kính dây dẫn 0,635 cm. Hãy tìm điện cảm của đường dây trên mỗi km dài bằng cách dùng khái niệm GMR và GMD.

Giải Từ biểu thức (1.109) cho

$$GMR = D_s = \frac{0{,}7788 \times 0{,}635}{2 \times 100} = 0{,}002473\ m$$

và $$GMD = D_m = \sqrt[3]{5 \times 8 \times 5} = 5{,}848\ m$$

Áp dụng biểu thức (1.10) cho

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s}$$

Vậy điện cảm của một km đường dây

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{5{,}848}{0{,}002473} \times 1000 = 1{,}554\ mH$$

1.8 Tìm điện cảm trên đơn vị dài của đường dây một pha có hình dạng đặc biệt được vẽ trong hình 1.7. Trong đó dây X có ba sợi nhỏ a, b, c giống nhau, bán kính 0,2 cm. Dây Y có hai sợi nhỏ c, d giống nhau, bán kính 0,4 cm.

Giải: Từ hình 1.7, cho thấy đường dây hoàn toàn không đối xứng. Do đó, áp dụng biểu thức (1.10)

$$L_X = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s} \quad H/m$$

trong đó GMD: $D_m = \sqrt[3\times 2]{D_{ad} \cdot D_{ae} \cdot D_{bd} \cdot D_{be} \cdot D_{cd} \cdot D_{ce}}$

với: $D_{ad} = D_{be} = 6m$

$$D_{ae} = D_{bd} = D_{ce} = \sqrt{4^2 + 6^2} = 7{,}21\ m$$

$$D_{cd} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\ m$$

vậy: $$D_m = \sqrt[6]{6 \times 7{,}21 \times 7{,}21 \times 6 \times 10 \times 7{,}21} = 7{,}16\ m$$

và GMR của dây X

$$D_{sX} = \sqrt[3\cdot 3]{D_{aa} \cdot D_{ab} \cdot D_{ac} \cdot D_{ba} \cdot D_{bb} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca} \cdot D_{cb} \cdot D_{cc}}$$

trong đó: $$D_{kk} = r_k e^{-1/4} = 0{,}7788 r_k$$

cho nên: $$D_{sX} = \sqrt[9]{(0{,}20 \times 0{,}7788 \times 10^{-2})^2 \times 4 \times 8 \times 4 \times 4 \times 8 \times 4} = 0{,}341\ m$$

Tương tự: $$D_{sY} = \sqrt[4]{D_{ee} D_{ed} D_{dd} D_{de}}$$

$$D_{sY} = \sqrt[4]{(0{,}4 \times 0{,}7788 \times 10^{-2})^2 \times 4 \times 4} = 0{,}112\ m$$

vậy: $$L_X = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{7{,}16}{0{,}341} = 6{,}09 \times 10^{-7}\ H/m$$

và $$L_Y = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{7{,}16}{0{,}112} = 8{,}31 \times 10^{-7}\ H/m$$

Cuối cùng nhận được:

$$L_Y = (6{,}09 + 8{,}31) \times 10^{-7} = 14{,}4 \times 10^{-7}\ H/m$$

1.9 Một đường dây truyền tải tần số 50 Hz dài 15 km chế tạo từ những dây dẫn tròn có đường kính 0,8 cm nằm cách nhau 40 cm. Hãy tính điện dung và dung kháng của đường dây.

Giải Áp dụng biểu thức (1.14) cho

$$C = \frac{\pi \varepsilon_o}{\ln \frac{D}{r}}\ F/m; \quad \text{với: } \varepsilon_o = \frac{10^{-9}}{36\pi}\ F/m$$

$$C = 15 \times 10^3 \frac{\pi \times 10^{-9}}{36\pi \ln \frac{40}{0{,}4}} = 0{,}0904\ \mu F$$

và dung kháng của đường dây

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 50(0{,}0904 \times 10^{-6})} = 29{,}34\ k\Omega$$

1.10 Một đường dây truyền tải ba pha, 50 Hz, ba dây dẫn được sắp xếp như hình 1.5, đường kính dây dẫn 0,635 cm. Hãy tìm dung kháng của đường dây trên mỗi km dài.

Giải Áp dụng biểu thức (1.15) cho

$$C = \frac{2\pi \varepsilon_o}{\ln \frac{D}{r}}\ F/m; \quad \text{với:}$$

$$\varepsilon_o = \frac{10^{-9}}{36\pi}\ F/m$$

Áp dụng biểu thức (1.8) cho

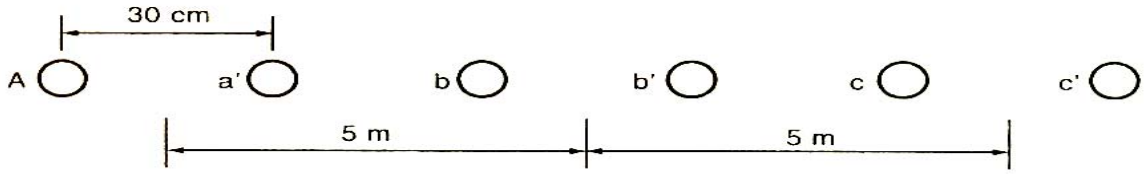
$$D_e = (D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca})^{1/3} = (5 \times 5 \times 8)^{1/3} = 5{,}848 \ m$$

Vậy: $$C = 1000 \times \frac{2\pi \times 10^{-9}}{36\pi \ln(5.848 \times 2 \times 10^2 \ \frac{1}{0{,}635})} = 7{,}387.10^{-9} \quad F/km$$

và dung kháng của đường dây

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 7{,}387} = 0{,}43 \times 10^6 \quad \Omega/\text{km}$$

1.11 Hãy tính điện dung trên mỗi pha cho một km chiều dài của đường dây truyền tải có dây dẫn phân pha như hình 1.8. Cho biết đường kính cuả mỗi dây dẫn là 5 cm.



Hình 1.8

Giải: Ta có: $$D_m = \sqrt[3]{5 \times 10 \times 5} = 6{,}3 \ m$$

$$D_s = \sqrt[4]{(0{,}7788 \times 0{,}025)^2 (0{,}30)^2} = 0{,}07643 \ m$$

Áp dụng biểu thức (1.19) cho

$$C = \frac{10^{-9} \times 1000}{18 \ln \frac{6{,}3}{0{,}07643}} = 0{,}0126 \quad \mu F/km$$

1.3 BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

1.12 Xác định điện trở của dây dẫn hình trụ bằng đồng dài 20 km, đường kính 0,5 cm ở nhiệt độ 20°C và 100°C.

1.13 Một đường dây một pha dài 50 km. Dây dẫn là loại dây đồng có đường kính 12,3 mm. Hãy tìm điện trở của dây ở 20°C.

1.14 Xác định điện trở của đường dây ở bài toán 1.13 ở nhiệt độ 80°C.

1.15 Một dây cáp dài 5 km được chế tạo từ 19 sợi dây đồng giống nhau, mỗi sợi có đường kính 2 mm. Tính điện trở của cáp. Cho biết chiều dài thực của các dây đồng tăng 5% so với chiều dài của đoạn cáp do sự xoắn dây.

1.16 Một mẫu dây đồng có điện trở 25Ω tại 10°C. Dây dẫn phải vận hành ở nhiệt độ tối đa là bao nhiêu khi điện trở cho phép chỉ tăng 7,5%. Cho biết hệ số nhiệt độ ở 10°C là $\alpha = 0{,}00409^{o}C^{-1}$.

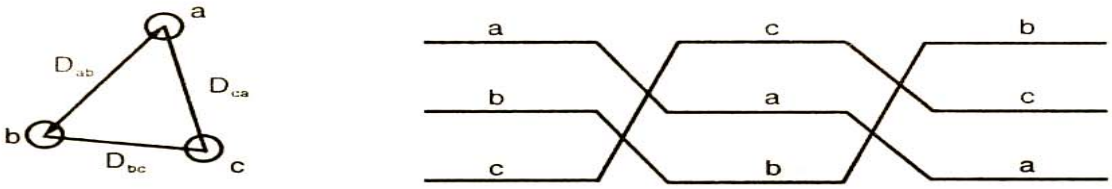
1.17 Điện trở của một đường dây truyền tải là 7 Ω ở 0°C. Hãy tính hệ số nhiệt độ của kim loại làm dây dẫn. Cho biết: điện trở của dây dẫn sẽ tăng lên 7,8 Ω ở nhiệt độ 20°C.

1.18 Tổn hao một chiều trên một đường dây một pha dài 20 km không vượt quá 30 kW với dòng điện trên dây là 100 A. Hãy xác định đường kính dây. Cho biết vật liệu kim loại làm dây dẫn có điện trở suất là $1{,}72 \times 10^{-8}\ \Omega m$.

1.19 Một đường dây truyền tải dài 20 km chế tạo từ những dây dẫn tròn có đường kính 0,5 cm nằm cách nhau 50 cm. Hãy tính đường kính tương đương của đường dây và điện cảm tương ứng.

1.20 Các dây dẫn của một đường dây ba pha, dài 25 km, được sắp xếp theo ba đỉnh của một tam giác đều, mỗi cạnh là 6 m. Các dây dẫn giống nhau, có đường kính là 12,6 mm. Hãy tính điện cảm trên mỗi pha.

1.21 Đặt $D_{ab} = c, D_{bc} = a, D_{ca} = b$ trong sơ đồ đường dây ba pha có hoán chuyển thứ tự pha như hình 1.9. Bán kính dây dẫn là r. Hãy tính điện cảm pha A trên 1m dây dẫn.

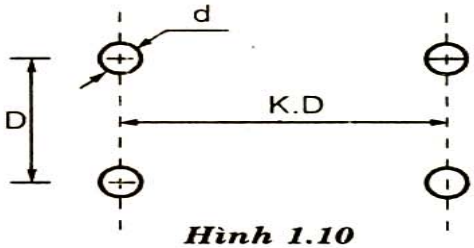


Hình 1.9

1.22 Một đường dây tải điện một pha dài 10 km có điện cảm 16,65 mH. Tìm bán kính của dây dẫn. Cho biết khoảng cách giữa hai dây dẫn là 1,0 m.

1.23 Xác định bán kính trung bình hình học của các dây dẫn của đường dây trong bài tập 1.22.

1.24 Một đường dây tải điện một pha, lộ kép có kích thước như hình 1.10. Hãy xác định điện cảm trên một mét dài của mỗi dây dẫn.



Hình 1.10

1.25 Một đường dây truyền tải ba pha, 50 Hz, ba dây dẫn được sắp xếp như hình 1.5, đường kính dây dẫn 1 cm. Hãy tìm điện kháng của đường dây trên mỗi km dài.

1.26 Một đường dây truyền tải ba pha, 50 Hz, ba dây dẫn được sắp xếp như hình 1.5, đường kính dây dẫn 5 cm. Hãy tìm điện cảm của đường dây trên mỗi km dài bằng cách dùng khái niệm GMR và GMD.

1.27 Tìm điện cảm trên đơn vị dài của đường dây một pha có hình dạng đặc biệt được vẽ trong hình 1.7, trong đó, dây X có ba sợi nhỏ a, b, c giống nhau, bán kính 0,3 cm. Dây Y có hai sợi nhỏ c, d giống nhau, bán kính 0,5 cm.

1.28 Một đường dây truyền tải tần số 50 Hz dài 10 km chế tạo từ những dây dẫn tròn có đường kính 0,5 cm nằm cách nhau 50 cm. Hãy tính điện dung và dung kháng của đường dây.

1.29 Một đường dây truyền tải ba pha, 50 Hz, ba dây dẫn được sắp xếp như hình 1.5, đường kính dây dẫn 1 cm. Hãy tìm dung kháng của đường dây trên mỗi km dài.

1.30 Hãy tính điện dung trên mỗi pha cho một km chiều dài của đường dây truyền tải có dây dẫn phân pha như hình 1.8. Cho biết đường kính của mỗi dây dẫn là 4 cm.

1.31 Tính toán điện dung trên mỗi pha của đường dây truyền tải trong bài tập 1.20.

1.32 Một đường dây truyền tải một pha, hai dây giống nhau bán kính r, nằm ngang có cao độ h(m) và cách nhau một đoạn là d(m). Hãy xác định điện dung trên một mét chiều dài giữa các dây dẫn có tính đến hiệu ứng của đất.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP TP.HCM
THƯ VIỆN
57224

Chương 2

SÉT VÀ THAM SỐ CỦA DÒNG ĐIỆN SÉT

2.1 TÓM TẮT LÝ THUYẾT

2.1.1 Mô hình toán học của dòng điện và điện áp sét

Mô hình toán học của sét được mô tả dưới dạng dưới đây:

1- Điện áp

Dạng điện áp sét được vẽ trong hình 2.1.

Biểu thức toán học được viết như sau

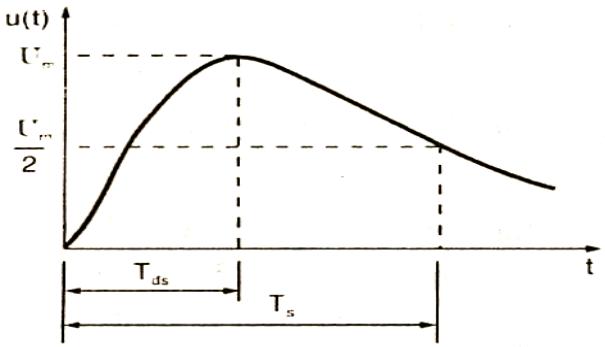
$$u(t) = U\left(e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right), \quad \tau_2 < \tau_1 \tag{2.1}$$

trong đó: U - hằng số có thứ nguyên là điện áp (kV);

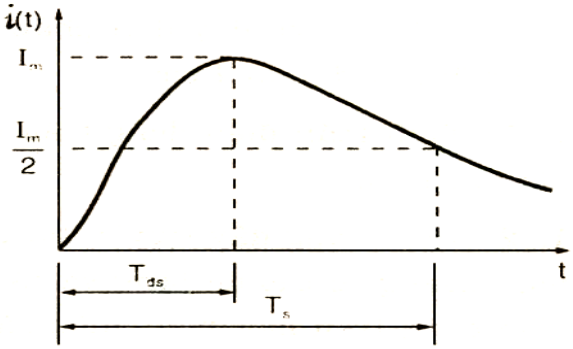
τ_1, τ_2 - hằng số có thứ nguyên là thời gian (μs);

T_{ds} - thời gian đầu sóng (μs);

T_s - thời gian sóng (μs).



Hình 2.1



Hình 2.2

2- Dòng điện

Dạng dòng điện sét được vẽ trong hình 2.2.

Biểu thức toán học được viết như sau:

$$i(t) = I\left(e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right), \quad \tau_2 < \tau_1 \tag{2.2}$$

trong đó: I - hằng số có thứ nguyên là dòng điện (kA);

τ_1, τ_2 - hằng số có thứ nguyên là thời gian (μs).

2- Quy ước quốc tế cách gọi sóng điện áp và sóng dòng điện

$$\frac{T_{ds} \pm \Delta T_{ds}}{T_s \pm \Delta T_s} \qquad (2.3)$$

Ví dụ: Sóng điện áp sét: $\frac{1,2 \pm 0,36\ (\mu s)}{50 \pm 10\ (\mu s)}$

Sóng dòng điện sét: $\frac{8 \pm 0,8\ (\mu s)}{20 \pm 2\ (\mu s)}$

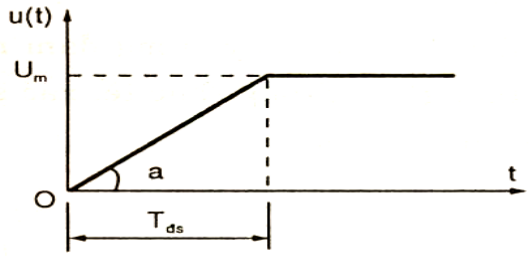
2.1.2 Đơn giản hóa mô hình dòng điện và điện áp sét

Trong kỹ thuật cao áp, người ta thường quan tâm đến hai tham số quan trọng của sóng sét: đó là biên độ và độ dốc. Các tham số này có ý nghĩa quyết định các giá trị quá điện áp gây nên.

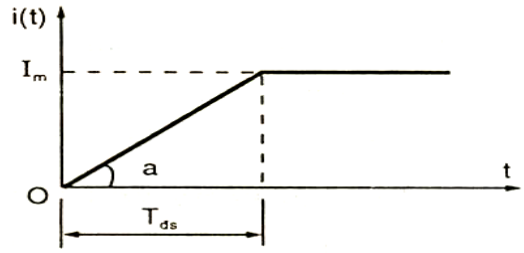
Để đơn giản hóa quá trình tính toán, người ta mô hình dạng sóng sét ở trên (H.2.1 và H.2.2) theo hai dạng sau:

1- Mô hình dạng xiên góc

Mô hình này thường được dùng để tính quá điện áp và dạng sóng được vẽ như hình 2.3, hình 2.4:



Hình 2.3



Hình 2.4

a- Điện áp: Biểu thức toán học

$$u(t) = \begin{cases} at\ , & kV \quad khi \quad t \le T_{ds} \\ U_{max}\ , kV & \qquad\quad t > T_{ds} \end{cases} \qquad (2.4)$$

với: a - độ dốc sóng điện áp sét, kV/μs; U_{max} - giá trị biên độ, kV.

b- Dòng điện: Biểu thức toán học

$$i(t) = \begin{cases} at, & kA \quad khi \quad t \le T_{ds} \\ I_{max}\ , kA & \qquad\quad t > T_{ds} \end{cases} \qquad (2.5)$$

với: a - độ dốc dòng điện sét, kA/μs; I_{max} - biên độ dòng sét, kA.

Ghi chú: Trong trường hợp đặc biệt, khi $a \to \infty$ thì các dạng sóng điện áp và dòng điện được gọi là dạng sóng vuông góc có biên độ hằng số và các biểu thức (2.4), (2.5) trở thành

$$u(t) = U, \quad kV \quad với \quad t \geq 0 \tag{2.6}$$

và

$$i(t) = I, \quad kA \quad với \quad t \geq 0 \tag{2.7}$$

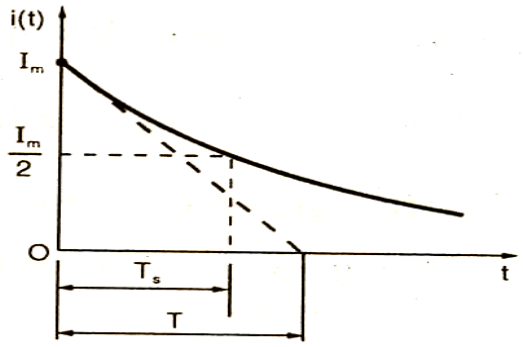
2- Mô hình dạng hàm mũ

Mô hình này thường được dùng để đánh giá tính ổn định nhiệt của các trang thiết bị dẫn dòng điện sét.

Biểu thức toán học

$$i(t) = I_m e^{-\frac{t}{T}} \quad t \geq 0 \tag{2.8}$$

trong đó: T - thời hằng có thứ nguyên là thời gian, μs;



Hình 2.5

T_s - thời gian sóng, μs; với: $T_s = 0{,}67$ T

I_m - biên độ dòng sét, có thứ nguyên là kA

a - độ dốc của sóng, kA/μs.

2.1.3 Xác suất xuất hiện biên độ dòng sét I(kA)

Biên độ dòng sét phụ thuộc vào điện tích tích lũy trong đám mây dông và điều này hoàn toàn mang tính thống kê. Trong thực tế, xác suất xuất hiện dòng sét có biên độ là I được tính như sau:

1- Đối với vùng đồng bằng

$$P_I = e^{-I/26} = 10^{-I/60} \tag{2.9}$$

2- Đối với vùng đồi núi

$$P_I = e^{-I/13} = 10^{-I/30} \tag{2.10}$$

2.1.4 Xác suất xuất hiện dòng sét có độ dốc a (kA/μs)

Tương tự như biên độ, công thức thực nghiệm để xác định xác suất xuất hiện dòng sét có độ dốc là a như sau

1- Đối với vùng đồng bằng

$$P_a = e^{-a/15{,}7} = 10^{-a/36} \tag{2.11}$$

2- Đối với vùng đồi núi

$$P_a = e^{-a/7{,}85} = 10^{-a/18} \tag{2.12}$$

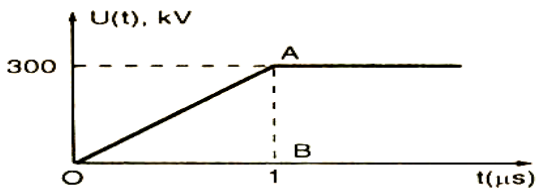
2.1.5 Xác suất xuất hiện dòng sét với biên độ I và độ dốc a

Xác suất xuất hiện dòng sét trong trường hợp này phụ thuộc vào biên độ I lẫn độ dốc a và được tính như sau

$$P_{I,a} = P_I \times P_a \tag{2.13}$$

2.2 BÀI TẬP ỨNG DỤNG

2.1 Cho dạng sóng điện áp sét như hình 2.6. Hãy viết biểu thức toán học của dạng sóng trên.



Hình 2.6

Giải Từ hình 2.6, xét tam giác vuông ABO, ta có

$$a = \frac{AB}{OB} = \frac{300kV}{1\mu s} = 300 \quad (\text{kV}/\mu\text{s})$$

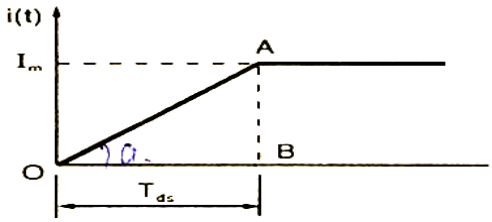
Vậy biểu thức toán học được viết như sau

$$u(t) = \begin{cases} 300 \times t, & kV \quad khi \quad t \le 1\mu s \\ 300\ kV & khi \quad t > 1\mu s \end{cases}$$

Bài tập 2.2 Cho sóng dòng điện sét dạng xiên góc như hình 2.7 với biểu thức toán học như sau

$$i(t) = \begin{cases} 50t, kA & khi \quad t \le T_{ds} \\ 100kA & khi \quad t > T_{ds} \end{cases}$$

Hãy xác định T_{ds}.



Hình 2.7

Giải Với dạng sóng ở hình 2.7, ta có:

$$a = \frac{AB}{OB} = \frac{I_{max}}{T_{ds}}$$

Vậy $$T_{ds} = \frac{I_{max}}{a} = \frac{100kA}{50\frac{kA}{\mu s}} = 2 \quad \mu s$$

2.3 Cho sóng dòng điện sét có dạng hàm mũ như sau

$$i(t) = 100e^{-t}, \quad t \ge 0$$

Hãy xác định thời gian sóng và độ dốc cực đại của dạng sóng trên.

Giải Độ dốc của sóng dòng sét theo t là đạo hàm của hàm $i(t)$ theo thời gian:

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\left(100e^{-t}\right) = -100e^{-t}$$

Độ dốc cực đại của sóng dòng ứng với $t = 0$, có nghĩa là

$$a = \left.\frac{di(t)}{dt}\right|_{t=0} = -100 \quad \text{kA/}\mu\text{s}$$

hay $\quad |a| = 100 \quad$ kA/μs

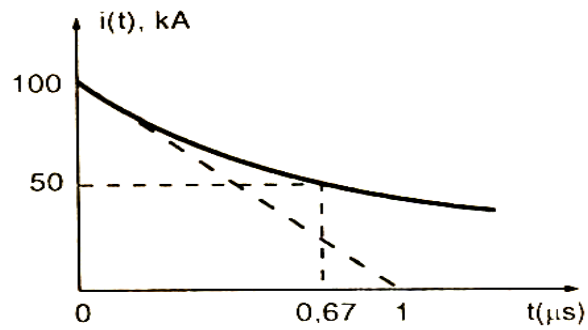
Thời gian sóng ứng với thời điểm lúc biên độ giảm đi hai lần, có nghĩa là:

$$100\, e^{-T_s} = \frac{100}{2} = 50$$

$$e^{-T_s} = \frac{1}{2}$$

suy ra: $\quad T_s = 0{,}67$ μs

Dạng của sóng dòng điện được vẽ như hình 2.8.



Hình 2.8

2.4 Tính xác suất xuất hiện dòng điện sét có biên độ 100 kA ở vùng đồng bằng.

Giải Ứng dụng biểu thức (2.9), nhận được:

$$P_I = e^{-I/26} = e^{-100/26} = 0{,}021 = 2{,}1\%$$

2.5 Tính độ dốc a của một dòng điện sét xuất hiện ở vùng đồi núi với xác suất xuất hiện là 10%.

Giải Ứng dụng biểu thức (2.12), nhận được

$$P_a = e^{-a/7{,}85}$$

Suy ra: $\quad a = -7{,}85 \ln P_a = -7{,}85 \ln(0{,}1) = 18{,}08 \quad$ kA/μs

2.6 Một dòng điện sét có biên độ 100 kA và độ dốc 100 kA/μs. Hãy tính xác suất xuất hiện dạng sóng dòng điện sét có các thông số trên.

Giải Tính toán cho hai trường hợp:

a) Ở vùng đồng bằng

Ứng dụng các biểu thức (2.9) và (2.11), ta có

$$P_I = e^{-I/26} = e^{-100/26} = 0{,}021$$

$$P_a = e^{-a/15.7} = e^{-100/15.7} = 0{,}0017$$

Vậy xác suất xuất hiện dạng sóng trên ở đồng bằng theo (2.13)

$$P_{I,a} = P_I \times P_a = 0{,}021 \times 0{,}0017 = 0{,}0000357$$

b) Ở vùng đồi núi

Ứng dụng các biểu thức (2.10), (2.12) ta có:

$$P_I = e^{-I/13} = e^{-100/13} = 0{,}000456$$

$$P_a = e^{-a/7{,}85} = e^{-100/7{,}85} = 0{,}0000029$$

Vậy, xác xuất xuất hiện dạng sóng trên ở vùng đồi núi theo (2.13):

$$P_{I,a} = P_I \times P_a = 0{,}000456 \times 0{,}0000029 = 1{,}3224 \times 10^{-9}$$

2.3 BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

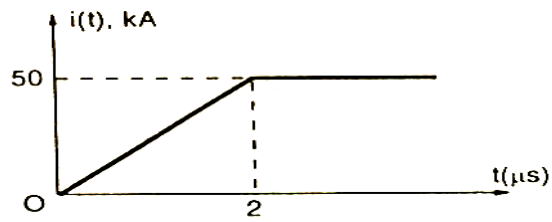
2.7 Cho dạng sóng dòng sét với biểu thức toán học như sau:

$$i(t) = \begin{cases} 150 \times t, kA & \text{khi} \quad t \le Tđs \\ 50, kA & \text{khi} \quad t > Tđs \end{cases}$$

Hãy xác định $T_{đs}$?

2.8 Cho dòng điện sét có dạng như hình 2.9:

Hãy viết biểu thức toán học của dạng sóng trên.



Hình 2.9

Bài tập 2.9 Cho dòng điện sét có biểu thức toán học như sau

$$i(t) = 50\, e^{-t/10^{-3}}$$

Hãy xác định:

a) Biên độ dòng điện sét.

b) Độ dốc cực đại của dòng điện sét.

c) Độ dài sóng T_s của dòng điện sét.

2.10 Một sóng dòng điện sét có biên độ 50 kA xuất hiện ở vùng đồng bằng. Hãy tính xác suất xuất hiện dạng sóng dòng điện có biên độ trên.

2.11 Một sóng dòng điện sét có độ dốc 30 kA/μs xuất hiện ở vùng đồi núi. Hãy xác định xác suất xuất hiện của dạng sóng này.

2.12 Một sóng dòng điện sét có biên độ 90 kA và độ dốc 35 kA/μs. Hãy tính xác suất xuất hiện dạng sóng này.

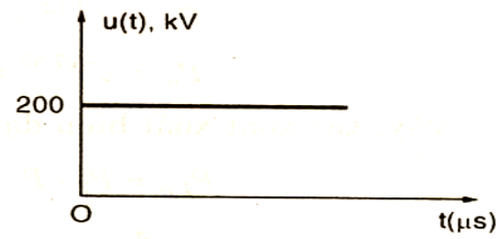
2.13 Sóng dòng điện sét có biểu thức toán học như sau:

$$i(t) = \begin{cases} 200 \times t, kA & \text{khi} \quad t \le Tđs \\ 50, kA & \quad t > Tđs \end{cases}$$

Hãy tính xác suất xuất hiện dạng sóng này.

2.14 Hãy tính xác suất xuất hiện dạng sóng dòng điện có biểu thức toán học như sau: $i(t) = 100\ kA,\ t \geq 0$

2.15 Cho dạng sóng điện áp sét như hình 2.10. Hãy viết biểu thức toán học của dạng sóng trên.



Hình 2.10

2.16 Cho sóng dòng điện sét dạng xiên góc với biểu thức toán học như sau:

$$i(t) = \begin{cases} 75 \times t, kA & khi \quad t \leq T_{ds} \\ 100kA & \quad\quad\quad t > T_{ds} \end{cases}$$

Hãy xác định T_{ds}.

2.17 Cho sóng dòng điện sét có dạng hàm mũ như sau:

$$i(t) = 100e^{-10t},\ t \geq 0$$

Hãy xác định thời gian sóng và độ dốc cực đại của dạng sóng trên.

2.18 Tính xác suất xuất hiện dòng điện sét có biên độ 75 kA ở vùng đồng bằng.

2.19 Tính độ dốc a của một dòng điện sét xuất hiện ở vùng đồi núi với xác suất xuất hiện là 30%.

2.20 Một dòng điện sét có biên độ 70 kA và độ dốc 200 kA/μs. Hãy tính xác suất xuất hiện dạng sóng dòng điện sét có các thông số trên.

Chương 3

BẢO VỆ CHỐNG SÉT ĐÁNH TRỰC TIẾP

3.1 VÙNG BẢO VỆ CỦA MỘT CỘT THU SÉT

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Một cột thu sét cao h(m) để bảo vệ toàn bộ công trình có độ cao h_x (m) thì cao trình đó phải nằm trong vùng bảo vệ của kim thu sét (mặt cắt và mặt bằng) có bán kính của vùng bảo vệ tính theo công thức thực nghiệm:

$$r_x = 1{,}6h.p\frac{h - h_x}{h + h_x} \tag{3.1}$$

Trong thiết kế, để đơn giản người ta thường thay thế biểu thức (3.1) bằng hai biểu thức sau đây:

- Nếu $h_x \le \frac{2}{3}h$ thì

$$r_x = 1{,}5h.p\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8h}\right) \tag{3.2}$$

$$r_x = (1{,}5h - 1{,}875h_x)p$$

- Nếu $h_x > \frac{2}{3}h$ thì

$$r_x = 0{,}75h.p\left(1 - \frac{h_x}{h}\right) \tag{3.3}$$

$$r_x = (0{,}75h - 0{,}75h_x)p$$

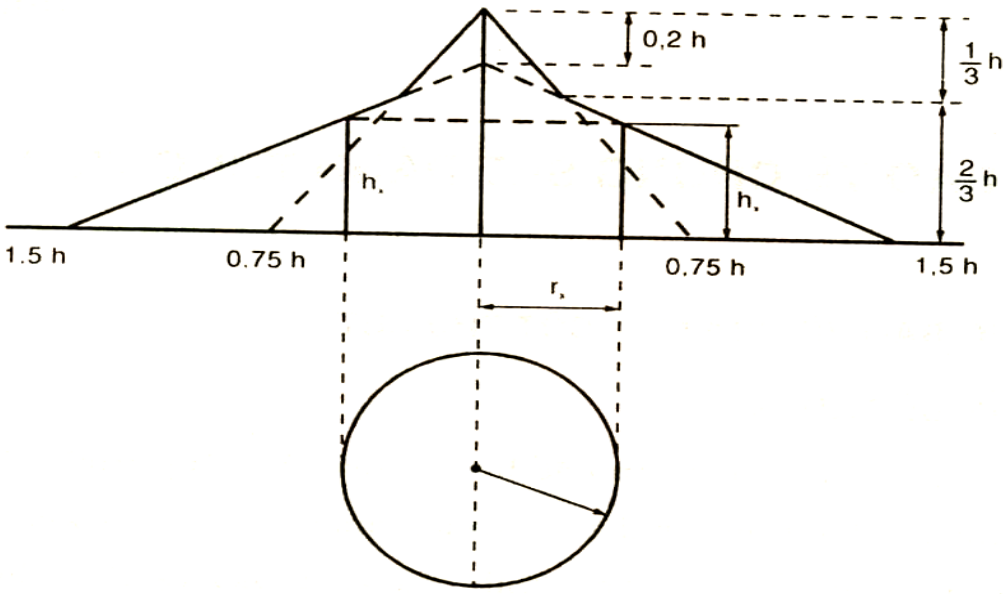
trong đó: h - độ cao cột thu sét (m); h_x - độ cao cần được bảo vệ (m);

r_x - bán kính bảo vệ (m);

p - hệ số hiệu chỉnh tùy thuộc vào chiều cao của cột thu sét

$p = 1$ khi $h \le 30$ m; $p = \frac{5{,}5}{\sqrt{h}}$ khi 30 m $< h \le 60$ m

Mặt cắt và mặt bằng vùng bảo vệ cao trình h_x của cột thu sét có chiều cao h(m) vẽ trong hình 3.1.



Hình 3.1

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

3.1 Một thiết bị có độ cao là 6 m (giả sử bề rộng và dài không đáng kể) đặt cách một cột thu sét cao 12 m một đoạn 4 m. Hỏi thiết bị có được bảo vệ hoàn toàn do sét hay không?

Giải Từ đầu đề ta có:

$$h = 12 \text{ m}; \quad h_x = 6 \text{ m}; \quad r_{xm} = 4 \text{ m}; \quad p = 1$$

với
$$\left.\begin{array}{l} h_x = 6\ m \\ \dfrac{2}{3}h = \dfrac{2}{3}12 = 8\,m \end{array}\right\} \Rightarrow h_x < \frac{2}{3}h$$

Áp dụng biểu thức (3.2) xác định được bán kính bảo vệ

$$r_x = 1{,}5h\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8h}\right) = 1{,}5 \times 12\left(1 - \frac{6}{0{,}8 \times 12}\right) = 6{,}75\,m$$

Vì $r_x > r_{xm}$ nên thiết bị hoàn toàn được bảo vệ bởi kim thu sét.

3.2 Một thiết bị có độ cao 6 m (giả sử chiều rộng và dài không đáng kể) đặt cách cột thu sét có độ cao h(m) một đoạn 6 m. Hãy xác định độ cao h bé nhất để có thể bảo vệ được thiết bị.

Giải Từ đầu bài ta có: $h_x = 6$ m; $r_{xm} = 6$ m.

Vì độ cao h(m) chưa biết nên giả sử rằng:

$h_x \le 2h/3$ và $p = 1$ vì thế có thể sử dụng biểu thức (3.2)

$$r_{xm} = 1{,}5h\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8h}\right)$$

$$6 = 1{,}5h - 1{,}875 \times 6 \Rightarrow h = 11{,}5\ m$$

với h = 17,25m kiểm tra lại điều kiện đã giả sử

$$\begin{cases} h_x = 6\,m \\ \frac{2}{3}h = 7{,}67\ m \end{cases} \Rightarrow h_x < \frac{2}{3}h,\quad p = 1$$

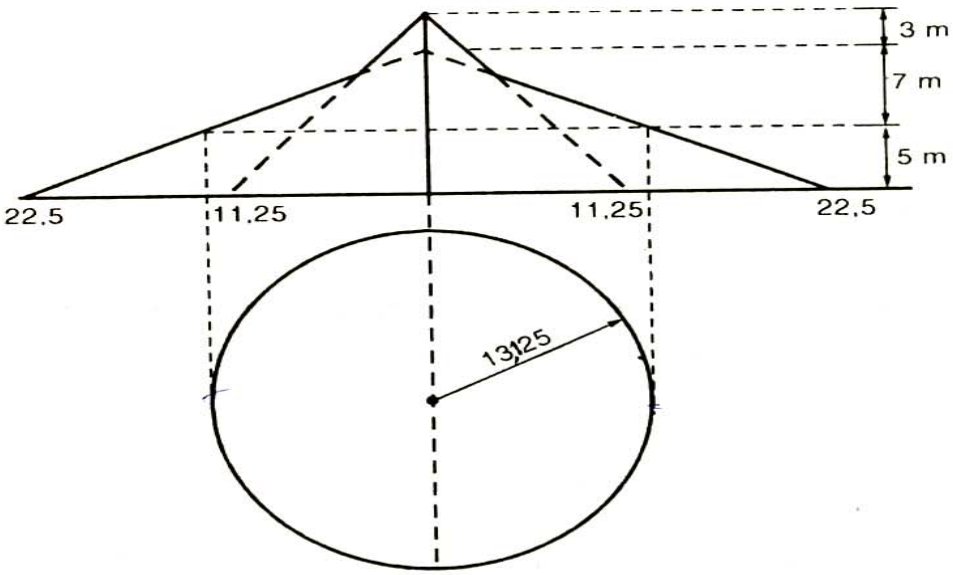
Vậy chiều cao kim thu sét bé nhất là h = 11,5 m

3.3 Một cột thu sét cao 15m để bảo vệ được một thiết bị có độ cao 5 m (giả sử bề dài và bề rộng không đáng kể) thì bán kính bảo vệ là bao nhiêu. Hãy vẽ mặt cắt và mặt bằng vùng bảo vệ tương ứng.

Giải Từ đầu đề biết được: h = 15 m; h_x = 5 m thỏa điều kiện $h_x \le 2h/3$ cho nên áp dụng biểu thức (3.2)

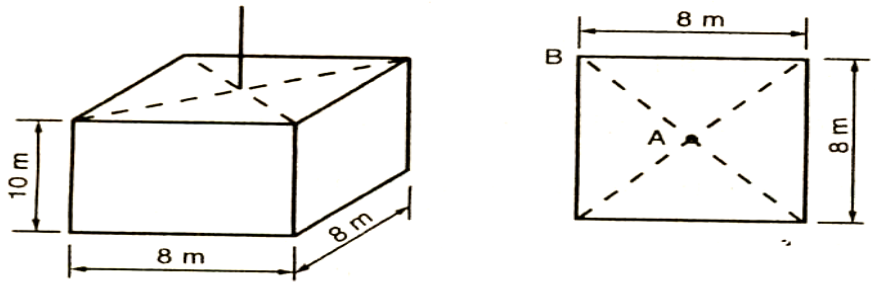
$$r_x = 1{,}5h\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8h}\right) = 1{,}5 \times 15\left(1 - \frac{5}{0{,}8 \times 15}\right) = 13{,}125\ m$$

Mặt bằng và mặt cắt được vẽ trong hình 3.2.



Hình 3.2

3.4 Để bảo vệ chống sét đánh trực tiếp cho một căn nhà có kích thước như hình 3.3, người ta đặt ở giữa nóc nhà tại điểm A một kim thu sét cao 4 m. Hãy vẽ mặt bằng của vùng bảo vệ và cho biết căn nhà có được bảo vệ toàn bộ hay không?



Hình 3.3

Giải Chiều cao của kim thu sét tính từ mặt đất: $h = 10 + 4 = 14$ m

Độ cao lớn nhất của cao trình cần được bảo vệ là $h_x = 10$ m. Do thỏa điều kiện $h_x > 2/3h$ nên áp dụng biểu thức (3.3) nhận được

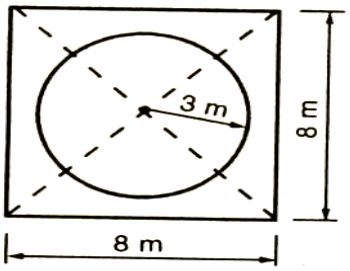
$$r_x = 0{,}75h\left(1 - \frac{h_x}{h}\right) = 0{,}75 \times 14\left(1 - \frac{10}{14}\right) = 3\,m$$

Trong lúc đó, bán kính lớn nhất cần phải có để bảo vệ toàn bộ căn nhà là

$$AB = \frac{8\sqrt{2}}{2} = 5{,}66\ m$$

Mặt bằng vùng bảo vệ được như hình 3.4.

Vậy căn nhà không được bảo vệ toàn bộ khi có sét.



Hình 3.4

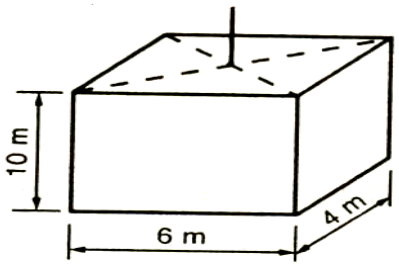
BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

3.5 Một thiết bị có độ cao là 8 m (giả sử bề rộng và dài không đáng kể) đặt cách một cột thu sét cao 15 m một đoạn 5 m. Hỏi thiết bị có được bảo vệ hoàn toàn do sét hay không?

3.6 Một thiết bị có độ cao 6 m (giả sử chiều rộng và dài không đáng kể) đặt cách cột thu sét có độ cao h(m) một đoạn 5 m. Hãy xác định độ cao h bé nhất để có thể bảo vệ được thiết bị.

3.7 Một cột thu sét cao 14 m để bảo vệ được một thiết bị có độ cao 6 m (giả sử bề dài và bề rộng không đáng kể) thì bán kính bảo vệ là bao nhiêu. Hãy vẽ mặt cắt và mặt bằng vùng bảo vệ tương ứng.

3.8 Để bảo vệ chống sét đánh trực tiếp cho một căn nhà có kích thước như hình 3.5, người ta đặt ở giữa nóc nhà tại điểm A một kim thu sét cao 5 m. Hãy vẽ mặt bằng của vùng bảo vệ và cho biết căn nhà có được bảo vệ toàn bộ hay không ?



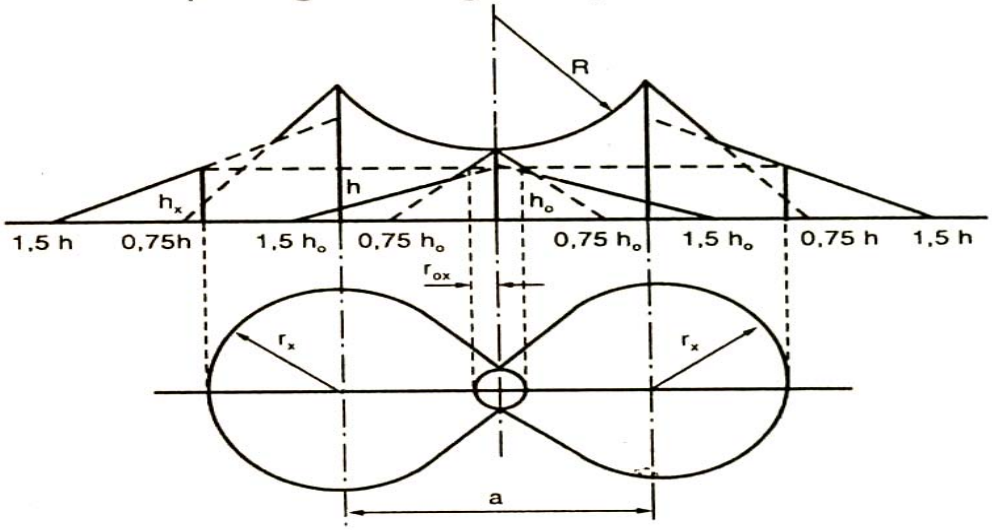
Hình 3.5

3.2 VÙNG BẢO VỆ CỦA HAI CỘT THU SÉT

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1- Hai cột thu sét có độ cao giống nhau

Mặt cắt và mặt bằng của vùng bảo vệ như hình 3.6.

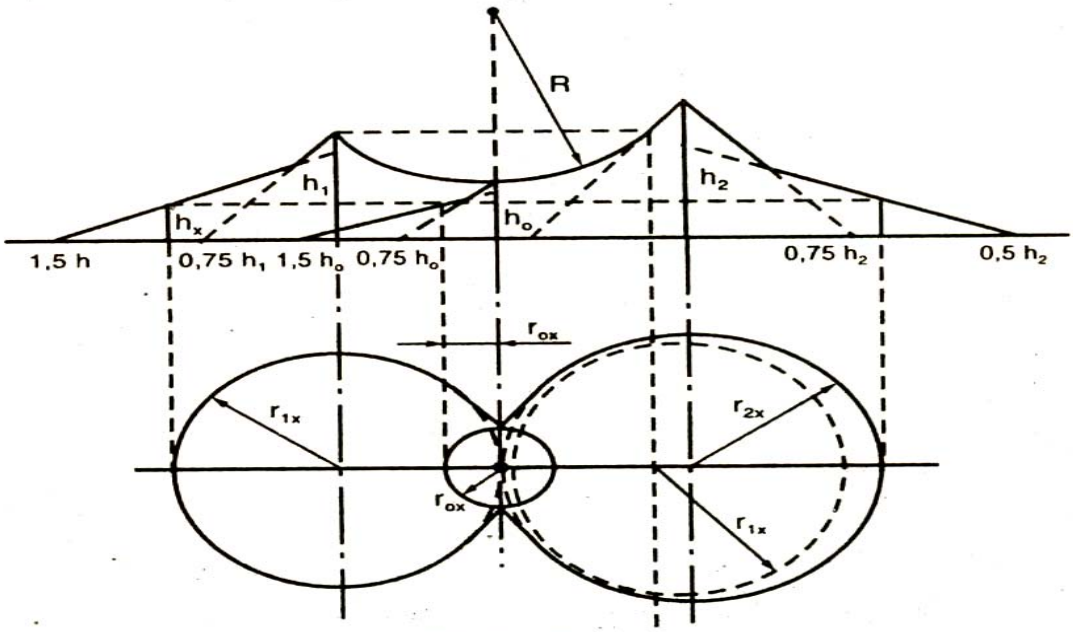


Hình 3.6

trong đó: $h_o = h - \frac{a}{7}$; $a < 7\,h$ (3.4)

2- Hai cột thu sét có độ cao khác nhau

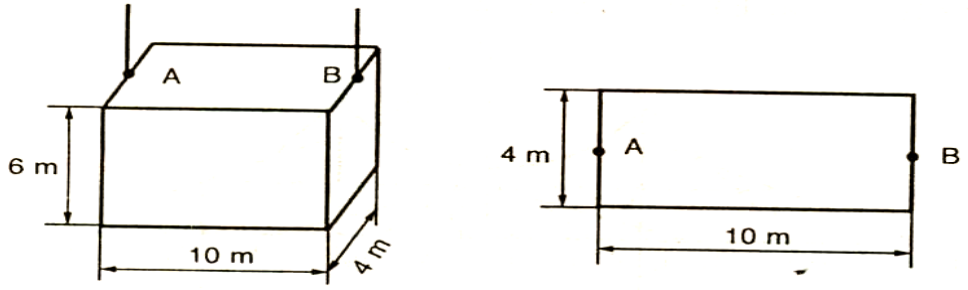
Mặt cắt và mặt bằng của vùng bảo vệ như hình 3.7.



Hình 3.7

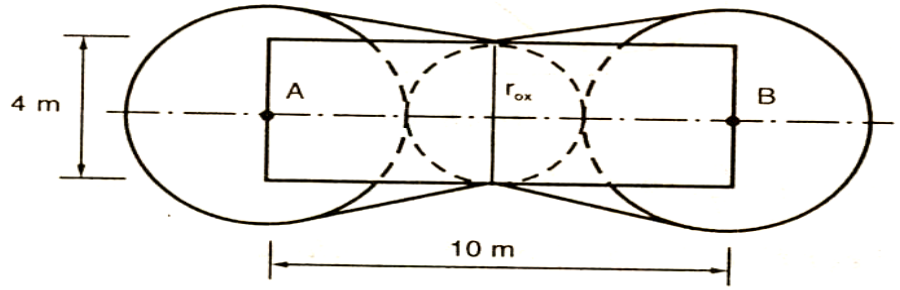
BÀI TẬP ỨNG DỤNG

3.9 Cho một căn nhà có kích thước như hình 3.8. Người ta đặt tại hai điểm A và B hai kim thu sét bằng nhau, và bằng h. Hãy tìm độ cao h bé nhất để bảo vệ được toàn bộ căn nhà.



Hình 3.8

Giải Để bảo vệ được toàn bộ căn nhà thì mặt bằng vùng bảo vệ của hai kim phải như hình 3.9:



Hình 3.9

Từ hình 3.9, nhận thấy rằng: $r_{0x} = 2$ m; $h_x = 6$ m.

Để xác định h_o, giả sử rằng: $h_x > 2h/3$ và áp dụng biểu thức (3.3) cho

$$r_{ox} = 0{,}75h_o\left(1 - \frac{h_x}{h_o}\right) = 0{,}75h_o - 0{,}75\,h_x$$

$$\Rightarrow h_o = \frac{r_{ox} + 0{,}75h_x}{0{,}75} = \frac{2 + 0{,}75 \times 6}{0{,}75} = 8{,}66\,m$$

Kiểm tra lại điều kiện đã giả sử: $\begin{cases} h_x = 6\,m \\ 2h_o/3 = 5{,}77\,m \end{cases}$

Vậy $h_x > 2h_o/3$, thỏa điều kiện đã đặt ra.

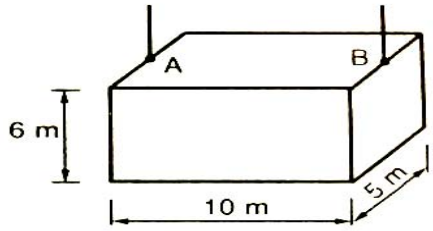
Áp dụng biểu thức (3.4), tìm được chiều cao h:

$$h_o = H - \frac{a}{7} = 6 + h - \frac{a}{7}$$

$$h = h_o - 6 + \frac{a}{7} = 8{,}66 - 6 + \frac{10}{7} = 4{,}09\,m$$

Vậy hai kim thu sét có chiều dài bé nhất là 4,09 m.

3.10 Cho một căn nhà có kích thước được vẽ như hình 3.10. Người ta đặt ở A và B hai kim thu sét dài bằng nhau và bằng 5 m. Hãy vẽ mặt bằng vùng bảo vệ và cho biết căn nhà có được bảo vệ hoàn toàn không?



Hình 3.10

Giải Độ cao của kim thu sét tính từ mặt đất:

$$h = 6 + 5 = 11 \text{ m}$$

Với $h_x = 6$ m và $h = 11$ m điều kiện $h_x < 2h/3$ thỏa, do đó áp dụng biểu thức (3.2) để tính bán kính bảo vệ của mỗi kim:

$$r_x = 1{,}5h\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8h}\right) = 1{,}5 \times 11\left(1 - \frac{6}{0{,}8 \times 11}\right) = 5{,}25\,m$$

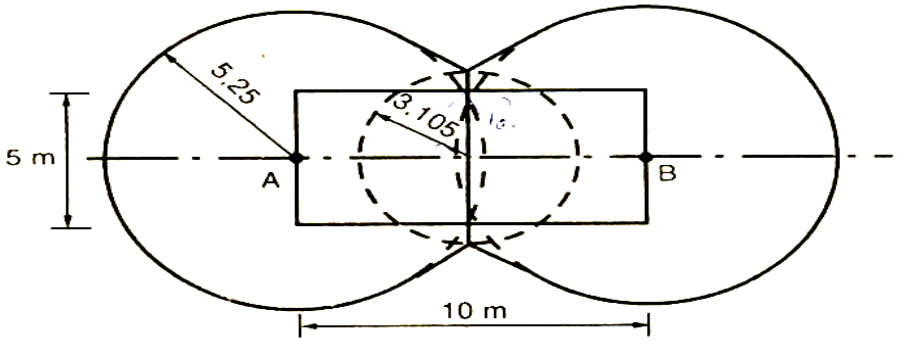
Áp dụng biểu thức (3.4) cho

$$h_o = h - \frac{a}{7} = 11 - \frac{10}{7} = 9{,}57\,m$$

Với $h_x = 6$ m và $h_o = 9{,}57$ m thỏa điều kiện $h_x < 2h_o/3$. Do đó áp dụng biểu thức (3.2) nhận được

$$r_{ox} = 1{,}5h_o\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8h_o}\right) = 1{,}5 \times 9{,}57\left(1 - \frac{6}{0{,}8 \times 9{,}57}\right) = 3{,}105\,m$$

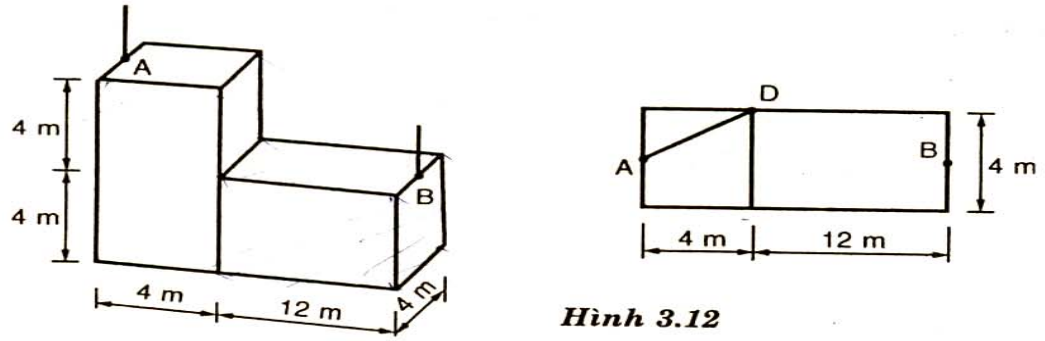
Mặt bằng bảo vệ của hai kim thu sét được vẽ trong hình 3.11.



Hình 3.11

Kết luận: Hai cột thu sét cao 5 m đặt tại A và B bảo vệ hoàn toàn căn nhà do sét.

3.11 Cho căn nhà có kích thước như hình 3.12. Người ta đặt tại A và B hai kim thu sét có độ cao lần lượt là $h_1 = 5{,}5$ m và h_2. Tìm h_2 bé nhất để căn nhà được bảo vệ toàn bộ.



Hình 3.12

Giải Trước hết xác định vùng bảo vệ của cột thu sét đặt tại A. Độ cao kim thu sét h_1 tính từ mặt đất sẽ là

$$H_1 = 8 + h_1 = 8 + 5,5 = 13,5 \text{ m}.$$

Bán kính bảo vệ cần có để kim thu sét đặt tại A bảo vệ được cao trình $h_x = 8$ m

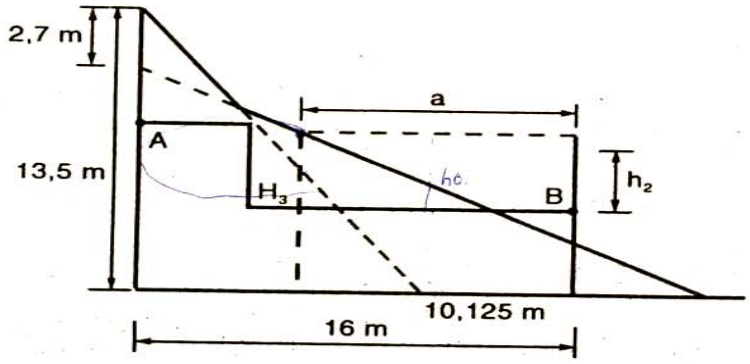
$$r_{xm} = AD = \sqrt{2^2 + 4^2} = 4,47\ m$$

Với $h_x = 8$ m và $H_1 = 13,5$ m thỏa điều kiện $h_x < 2/3H_1$ nên áp dụng biểu thức (3.2) cho

$$r_{x1} = 1,5 \times h\left(1 - \frac{h_x}{0,8h}\right) = 1,5 \times 13,5\left(1 - \frac{8}{0,8 \times 13,5}\right) = 5,25\,m$$

Bởi vì $r_{x1} = 5,25$ m $> r_{xm} = 4,47$ m cho nên kim thu sét $h_1 = 5,5$ m đặt ở A đã bảo vệ toàn bộ cao trình 8m. Vùng bảo vệ của h_1 kết hợp với kim h_2 sẽ bảo vệ phần còn lại của công trình có độ cao cần bảo vệ là $h_x = 4$ m.

Mặt cắt vùng bảo vệ của cột thu sét h_1 vẽ trong hình 3.13.



Hình 3.13

Để bảo vệ được phần còn lại của công trình do kim thu sét đặt tại B và một cột thu sét giả H_3 có cùng độ cao được tạo ra bởi đường sinh của vùng bảo vệ của h_1 thì $r_{ox} = 2$ m (H.3.13). Do đó có thể áp dụng biểu thức (3.2) và giả sử $h_x \leq 2/3h_o$, nhận được:

$$r_{ox} = 1{,}5h_o\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8h_o}\right)$$

$$2 = 1{,}5h_o - 1{,}875 \times 4 \Rightarrow h_o = \frac{2 + 1{,}875 \times 4}{1{,}5} = 6{,}33m$$

Kiểm tra: với $h_x = 4$ m và $\frac{2}{3}h_o = \frac{2}{3}.6{,}33 = 4{,}22$ m thỏa giả thiết đặt ra.

Áp dụng biểu thức (3.4) cho

$$h_o = H_3 - \frac{a}{7} = 6{,}33\,m \qquad \text{(a)}$$

Mặt khác a, H_3 được xác định từ vùng bảo vệ của cột thu sét đặt tại A:

$$16 - a = 1{,}5 \times 13{,}5\left(1 - \frac{H_3}{0{,}8 \times 13{,}5}\right) = 20{,}25 - 1{,}875H_3 \qquad \text{(b)}$$

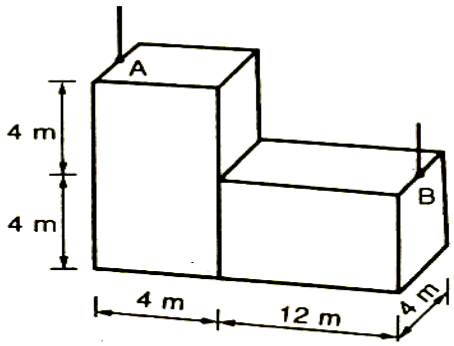
$$1{,}875H_3 - a = 4{,}25$$

Giải hệ (a) và (b) nhận được: $H_3 = 7{,}82\,m$; $a = 10{,}41\,m$

Từ đó suy ra: $H_3 = h_2 + 4 = 7{,}82\ m$; $h_2 = 3{,}82\ m$

Vậy để bảo vệ toàn bộ căn nhà, chiều dài bé nhất kim thu sét đặt tại B là $h_2 = 3{,}82$ m.

3.12 Cho một căn nhà có kích thước phối cảnh như hình 3.14. Tại A và B lần lượt đặt hai kim thu sét cao 5 m và 3 m. Hãy vẽ mặt bằng vùng bảo vệ của hai kim và cho biết khả năng bảo vệ căn nhà của hai kim thu sét.



Hình 3.14

Giải Độ cao kim thu sét đặt tại A tính từ mặt đất: $H_A = 8 + 5 = 13$ m

Với $h_x = 8$ m và $H_1 = 13$ m thỏa điều kiện $h_x \leq H_1/3$. Áp dụng biểu thức (3.2) nhận được

$$r_{xA} = 1{,}5h\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8.h}\right) = 1{,}5 \times 13\left(1 - \frac{8}{0{,}8 \times 13}\right) = 4{,}5\,m$$

Độ cao kim thu sét đặt tại B tính từ mặt đất: $H_B = 4 + 3 = 7$ m

Một cột thu sét giả tại C có độ cao bằng H_B cách cột thu sét tại B một đoạn:

$$a = 16 - 1{,}5 \times 13\left(1 - \frac{7}{0{,}8 \times 13}\right) = 9{,}625\,m$$

Áp dụng biểu thức (3.4) tìm được độ cao h_o nằm giữa cột ở C và B:

$$h_o = H_B - \frac{a}{7} = 7 - \frac{9,625}{7} = 5,625\,m$$

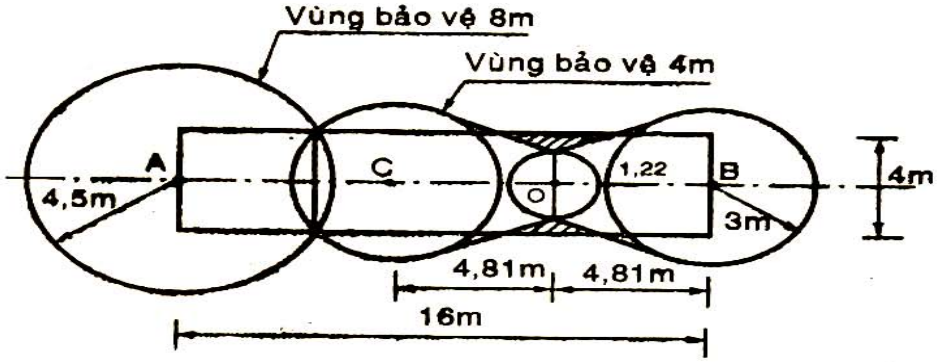
Với $h_x = 4$ m và $h_o = 5,625$ m thỏa điều kiện $h_x > 2h_o/3$ áp dụng biểu thức (3.3) nhận được

$$r_{ox} = 0,75.h_o\left(1 - \frac{h_x}{h_o}\right) = 0,75 \times 5,625\left(1 - \frac{4}{5,625}\right) = 1,22\,m$$

Ngoài ra, bán kính bảo vệ độ cao $h_x = 4$ m của cột đặt tại B được tính bởi biểu thức (3.2) vì $h_x = 4$ m và $H_B = 7$ m thỏa điều kiện $h_x \le 2H_B/3$

$$r_{xB} = 1,5.H_B\left(1 - \frac{4}{0,8.H_B}\right) = 1,5 \times 7\left(1 - \frac{4}{0,8 \times 7}\right) = 3\ m$$

Như vậy mặt bằng vùng bảo vệ của hai kim thu sét đặt tại A và B ứng với hai độ cao $h_x = 8$ m và $h_x = 4$ m vẽ trong hình 3.15.

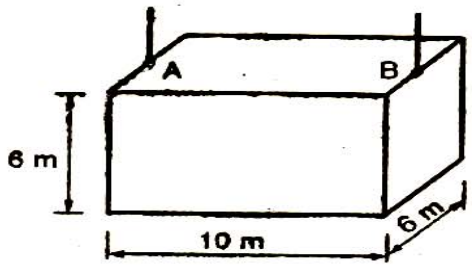


Hình 3.15

Từ bản vẽ mặt bằng hình 3.15 nhận thấy rằng công trình còn hai vùng (gạch chéo) chưa được bảo vệ. Vậy căn nhà không được bảo vệ hoàn toàn.

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

3.13 Cho một căn nhà có kích thước được vẽ như hình 3.16. Người ta đặt tại hai điểm A và B hai kim thu sét bằng nhau, và bằng h. Hãy tìm độ cao h bé nhất để bảo vệ được toàn bộ căn nhà.

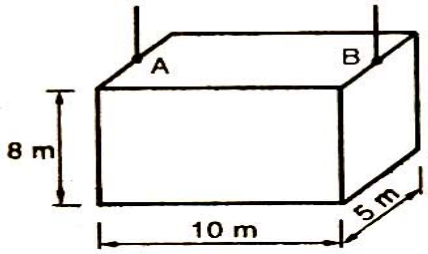


Hình 3.16

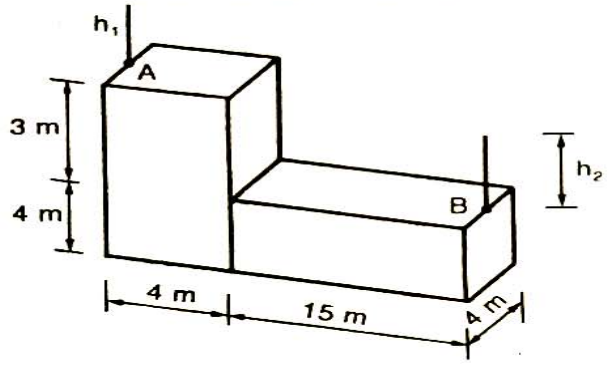
3.14 Cho một căn nhà có kích thước được vẽ như hình 3.17. Người ta đặt ở A và B hai kim thu sét dài bằng nhau và

bằng 5 m. Hãy vẽ mặt bằng vùng bảo vệ và cho biết căn nhà có được bảo vệ hoàn toàn không?

3.15 Cho căn nhà có kích thước như hình 3.18. Người ta đặt tại A và B hai kim thu sét có độ cao lần lượt là h_1 = 5 m và h_2. Tìm h_2 bé nhất để căn nhà được bảo vệ toàn bộ.

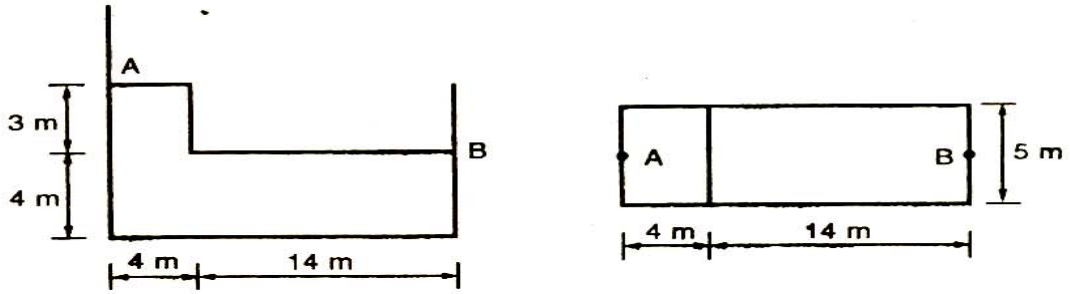


Hình 3.17



Hình 3.18

3.16 Cho một căn nhà có kích thước mặt cắt, mặt bằng như hình 3.19. Tại A và B lần lượt đặt hai kim thu sét cao 6 m và 3 m. Hãy vẽ mặt bằng vùng bảo vệ của hai kim và cho biết khả năng bảo vệ căn nhà của hai kim thu sét.



Hình 3.19

3.3 VÙNG BẢO VỆ CỦA NHIỀU CỘT THU SÉT

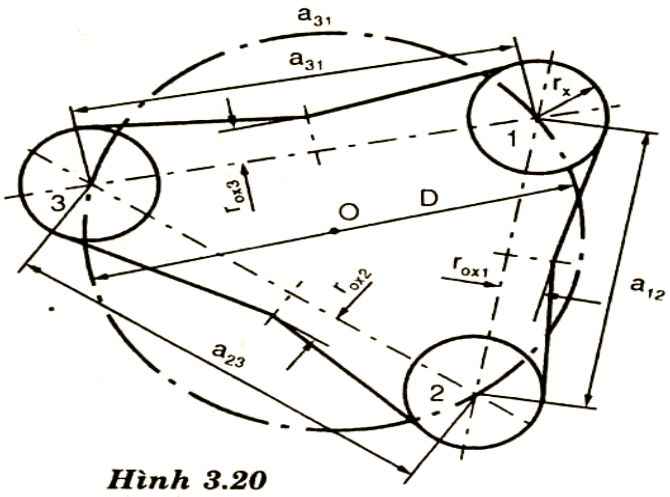
TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Trong thực tế, để bảo vệ chống sét trực tiếp cho một công trình thường có nhiều hơn hai cột thu sét trở lên. Vị trí của các cột thu sét này hình thành các đa giác. Đa giác này được tổ hợp từ các tam giác. Trong trường hợp đặc biệt có thể là hình vuông hoặc hình chữ nhật.

1- Xét trường hợp ba cột hình thành nên một tam giác

Để đơn giản chỉ xét trường hợp các độ cao các cột thu sét là bằng nhau.

Khảo sát vùng bảo vệ của ba cột thu sét hình thành nên tam giác như hình 3.20.



Hình 3.20

trong đó: D - đường kính vòng tròn ngoại tiếp tam giác 123.

Vùng bảo vệ độ cao h_x của ba cột thu sét như sau:

a- Phía trong tam giác

Các cao trình có độ cao h_x được bảo vệ khi thỏa mãn điều kiện

$$D \leq 8p\,(h - h_x) = 8\,ph_a \tag{3.5}$$

trong đó: h - chiều cao của các cột thu sét (m);

h_a - chiều cao hiệu dụng của cột thu sét (m);

p - hệ số hiệu chỉnh.

Nếu gọi P là nửa chu vi của tam giác 123, ta có

$$P = \frac{1}{2}\,(a_{12} + a_{23} + a_{31}) \tag{3.6}$$

trong đó: a_{12} - khoảng cách giữa hai cột thu sét 1 và 2, m;

a_{23} - khoảng cách giữa hai cột thu sét 2 và 3, m;

a_{31} - khoảng cách giữa hai cột thu sét 3 và 1, m.

Đường kính D được tính như sau

$$D = \frac{a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{31}}{2\sqrt{P(P - a_{12})(P - a_{23})(P - a_{31})}} \tag{3.7}$$

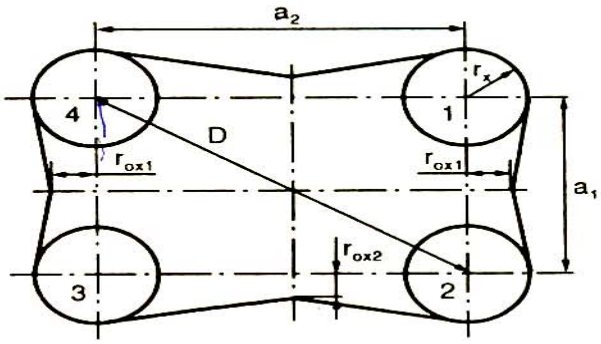
b- Phía ngoài tam giác

Kiểm tra vùng bảo vệ theo từng cặp cột thu sét một giống như trường hợp xác định vùng bảo vệ của hai cột thu sét có độ cao bằng nhau.

2- Xét trường hợp bốn cột, hình thành nên một hình vuông hay hình chữ nhật

Vùng bảo vệ được vẽ trong hình 3.21.

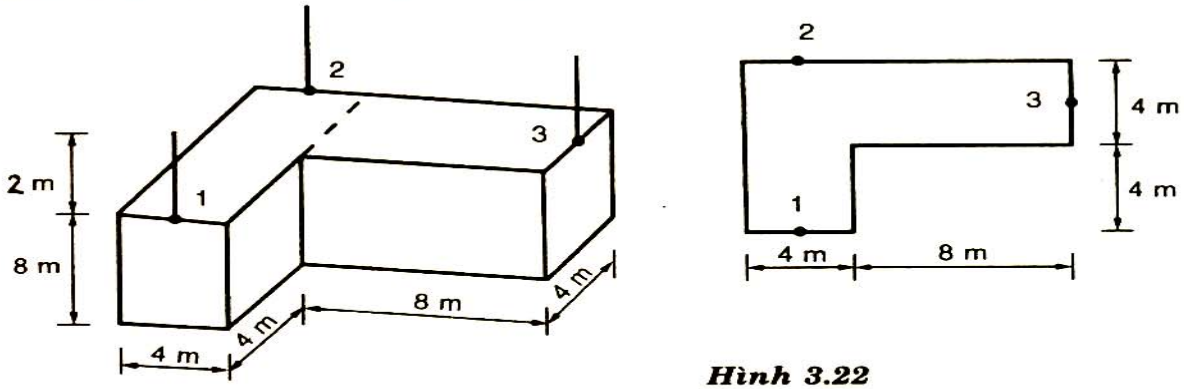
Việc xác định vùng bảo vệ của bốn cột thu sét cũng tương tự như trong trường hợp ba cột thu sét.



Hình 3.21

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

3.17 Cho một căn nhà có kích thước như hình 3.22. Người ta đặt ba kim thu sét ở các vị trí 1, 2, 3 có độ cao bằng nhau và bằng 3 m. Hỏi căn nhà có được bảo vệ toàn bộ hay không?



Hình 3.22

Giải Độ cao của các kim thu sét tính từ mặt đất: $h = 8 + 2 = 10$ m

1- Kiểm tra bên trong tam giác 123

Khoảng cách giữa các cột thu sét

$$a_{12} = 8\,m$$

$$a_{23} = \sqrt{2^2 + 10^2} = 10{,}2\,m$$

$$a_{31} = \sqrt{6^2 + 10^2} = 11{,}66\,m$$

Nửa chu vi của tam giác 123

$$P = \frac{1}{2}(a_{12} + a_{23} + a_{31}) = \frac{1}{2}(8 + 10{,}2 + 11{,}66) = 14{,}93\,m$$

Vậy đường tròn ngoại tiếp tam giác 123 sẽ là

$$D = \frac{a_{12}.a_{23}.a_{31}}{2\sqrt{P(P-a_{12})(P-a_{23})(P-a_{31})}} =$$

$$= \frac{8 \times 10,2 \times 11,66}{2\sqrt{14,93(14,93-8)(14,93-0,2)(14,93-11,66)}} = 11,89\,m$$

Áp dụng biểu thức (3.5) nhận được

$$8(h - h_x) = 8(10 - 8) = 16 \text{ m}$$

và $D = 11,89 \text{ m} < 8(h - h_x) = 16 \text{ m}$

Vậy toàn bộ công trình cao 8 m nằm trong tam giác đều được bảo vệ.

2- Kiểm tra bên ngoài tam giác 123

a) Đối với cặp cột thu sét 1,2

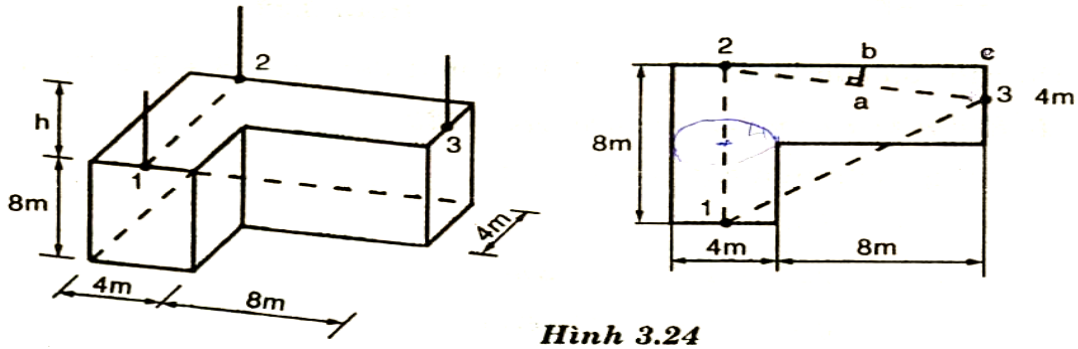
Bán kính bảo vệ của cột thu sét 1,2 ứng với cao trình $h_x = 8$ m và $h = 10$ m nên thỏa điều kiện $h_x > 2h/3$, áp dụng biểu thức (3.2) cho

$$r_1 = r_2 = 0,75.h\left(1 - \frac{h_x}{0,8h}\right) = 0,75.10\left(1 - \frac{8}{10}\right) = 1,5\,m$$

Trong lúc đó, đối với cột thu sét 1, 2 và 3 để bảo vệ được các góc của nóc nhà cao 8 m cần tối thiểu bán kính bảo vệ thực là: $r_{max} > 2$ m.

Điều này chứng tỏ rằng với độ cao cho trong bài, các kim thu sét không bảo vệ được toàn bộ căn nhà mà không cần xét thêm các cặp cột thu sét khác.

3.18 Cho một căn nhà kích thước như hình 3.24. Bố trí ba kim thu sét bằng nhau và bằng h tại các các vị trí 1, 2, 3. h phải có chiều dài nhỏ nhất là bao nhiêu để bảo vệ toàn bộ căn nhà?



Hình 3.24

Giải Chiều cao của các cột thu sét tính từ mặt đất

$$H = 8 + h, \text{ m}$$

Khoảng cách của các cột thu sét

$$a_{12} = 8\,m$$
$$a_{23} = \sqrt{2^2 + 10^2} = 10{,}2\,m$$
$$a_{31} = \sqrt{6^2 + 10^2} = 11{,}66\,m$$

Nửa chu vi của tam giác 1, 2, 3

$$p = \frac{1}{2}(a_{12} + a_{23} + a_{31}) = \frac{1}{2}(8 + 10{,}2 + 11{,}66) = 14{,}93\,m$$

Đường kính của vòng tròn ngoại tiếp tam giác 123

$$D = \frac{a_{12}\,a_{23}\,a_{31}}{2 \times \sqrt{p(p - a_{12})(p - a_{23})(p - a_{31})}} =$$
$$= \frac{8 \times 10{,}2 \times 11{,}66}{2 \times \sqrt{14{,}93(14{,}93 - 8)(14{,}93 - 10{,}2)(14{,}93 - 11{,}66)}} = 11{,}89\,m$$

1- Vùng bảo vệ phía trong tam giác 123

Để bảo vệ được cao trình h_x = 8 m nằm phía trong tam giác 123 thì độ cao h bé nhất phải thỏa điều kiện

$$D = 8(H - h_x)$$

hay

$$11{,}89 = 8(8 + h - 8)$$
$$h = 11{,}89/8 = 1{,}49 \text{ m} \qquad (1)$$

2- Vùng bảo vệ phía ngoài tam giác 123

Trong trường hợp này (H.3.24) chỉ cần xét hai cặp cột:

a) Xét cặp cột 1,2

Để bảo vệ được cao trình h_x = 8 m thì theo hình vẽ, độ cao bảo vệ bé nhất h_o với giả sử $h_x > 2h_o/3$, sẽ thỏa

$$r_{12} = 0{,}75h_o\left(1 - \frac{h_x}{h_o}\right)$$
$$2 = 0{,}75h_o - 0{,}75 \times 8 \Rightarrow h_o = 10{,}67\,m$$

Kiểm tra: h_x = 8 m và $2h_o/3$ = 7,11 m thỏa điều kiện giả sử. Áp dụng biểu thức (3-4) cho

$$H = h + 8 = h_o + \frac{a_{12}}{7} = 10{,}67 + \frac{8}{7} = 11{,}81\,m$$
$$h = 3{,}81\,m \qquad (2)$$

b) Xét cặp cột 2,3

Bán kính bảo vệ bé nhất cần phải có giữa hai cặp cột 23 là đoạn ab (H.3.24). Áp dụng tỉ số của hai tam giác đồng dạng viết được

$$\overline{ab} = \overline{3c}\frac{\overline{2a}}{\overline{2c}} = 2\frac{5,1}{10} = 1,02\,m$$

Để bảo vệ được cao trình h_x = 8 m nằm ngoài hai cột này thì độ cao bảo vệ bé nhất h_o, với [illegible] huyết $h_x > 2h_o/3$, sẽ thoả

$$r_{23} = 0,75h_o\left(1 - \frac{h_x}{h_o}\right)$$

$$1,02 = 0,75h_o - 6 \Rightarrow h_o = 9,38\,m$$

Kiểm tra với h_x = 8 m, $2h_o/3$ = 6,24 m thỏa điều kiện đã cho.

Áp dụng biểu thức (3.4) cho

$$H = h + 8 = h_o + \frac{a_{23}}{7} = 9,38 + \frac{1,02}{7} = 10,84$$

$$h = 2,84\,m \qquad (3)$$

So sánh các độ cao h từ (1), (2) và (3) ta cho: h = 3,81 m

c) Kiểm tra lại bán kính bảo vệ của các cột 1, 2 và 3

Như vậy độ cao của các kim thu sét 1, 2 và 3 tính từ mặt đất là

$$H = 8 + 3,81 = 11,81 \text{ m}$$

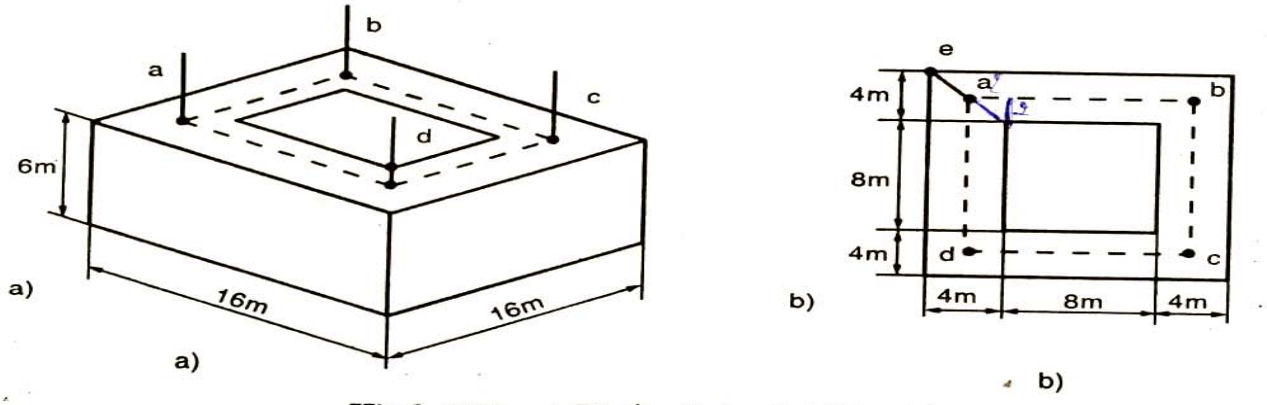
Với h_x = 8 m và $2H/3$ = 7,87 m thì $h_x > 2H/3$ nên áp dụng biểu thức (3.1) viết được

$$r_1 = 0,75H\left(1 - \frac{h_x}{H}\right) = 0,75 \times 11,81(1 - \frac{8}{11,81})$$

$$r_x = 2,86\,m > 2\,m$$

Vậy với độ dài của các kim thu sét là h = 3,81m sẽ bảo vệ toàn bộ căn nhà.

3.19 Cho một câu lạc bộ có cấu trúc khối kích thước như hình 3.25.



a) b)

Hình 3.25: *a) Phối cảnh; b) Mặt bằng*

Người ta đặt tại các vị trí a, b, c, d 4 kim thu sét cao 3 m. Hỏi bốn kim được bố trí như trên có bảo vệ được toàn bộ căn nhà hay không?

Giải Từ hình 3.25a, xác định được

$$ab = bc = cd = da = 12 \text{ m}$$

Chiều cao của các kim thu sét tính từ mặt đất

$$H = 6 + 3 = 9 \text{ m}$$

1- Kiểm tra vùng bảo vệ phía trong hình vuông abcd

Đường kính vòng tròn ngoại tiếp hình vuông abcd

$$D = ab\sqrt{2} = 12\sqrt{2} = 16{,}97\ m$$

Cao trình $h_x = 6$ m nằm trong hình vuông abcd sẽ được bảo vệ nếu thỏa mãn biểu thức (3.5).

$$D \le 8(h - h_x) \Rightarrow D \le 8(9 - 6) = 24\,m$$

Vậy kim thu sét cao 3 m bảo vệ được tất cả các cao trình $h_x \le 6$ m nằm trong hình vuông abcd.

2- Kiểm tra vùng bảo vệ phía ngoài

Do các cột thu sét hình thành một hình vuông và bố trí đối xứng, cho nên trong trường hợp này chỉ cần kiểm tra một cặp cột.

Kiểm tra vùng bảo vệ ngoài của cặp cột ab:

Bán kính bảo vệ độ cao $h_x = 6$ m bởi cột a và b được tính từ biểu thức (3.1) vì điều kiện $h_x \le 2h/3$ thỏa

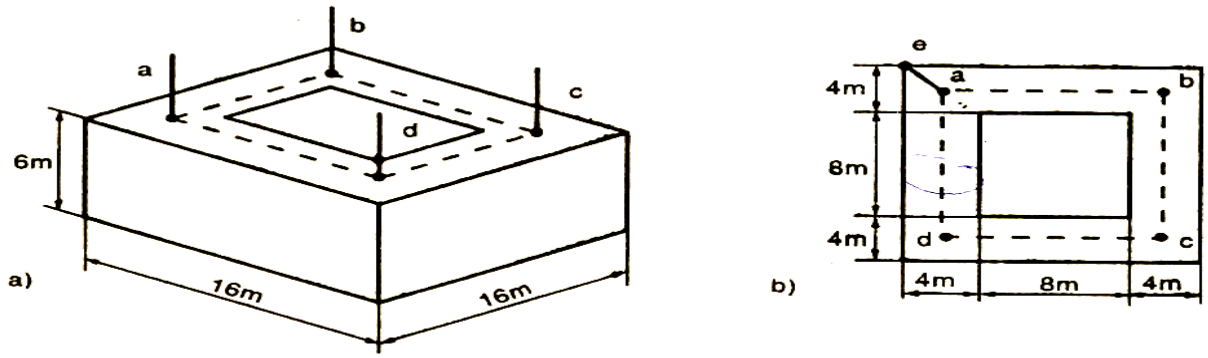
$$r_a = 1{,}5h_a\left(1 - \frac{h_x}{0{,}8h}\right) = 1{,}5 \times 9\left(1 - \frac{6}{0{,}8 \times 9}\right) = 2{,}25\,m$$

Tuy nhiên để bảo vệ được bốn vị trí xa nhất là bốn góc nhà tương ứng với bán kính bảo vệ phải đạt được là

$$r_x = ae = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2{,}83\ m$$

Vậy rõ ràng là với bốn kim thu sét như trên sẽ không bảo vệ hoàn toàn được căn nhà.

3.20 Hãy xác định chiều dài bé nhất của các kim thu sét đặt tại các vị trí a, b, c và d trong bài toán sau, xem hình 3.26, để chúng bảo vệ được toàn bộ căn nhà.



***Hình 3.26:** a) Phối cảnh; b) Mặt bằng*

Giải Từ hình 3.26a, xác định được

$$ab = bc = cd = da = 12 \text{ m}$$

Chiều cao của kim thu sét tính từ mặt đất

$$H = 6 + h \qquad (1)$$

1) Xác định h để bảo vệ được vùng trong hình vuông abcd

Đường kính vòng tròn ngoại tiếp hình vuông abcd cạng $ab = 12$ m là:

$$D = ab\sqrt{2} = 12\sqrt{2} = 16{,}96 \text{ m}$$

Cao trình $hx = 6$ m nằm trong hình vuông abcd sẽ được bảo vệ nếu thỏa mãn biểu thức (3.5)

$$D \le 8(H - hx) = 8(6 + h - 6) \Rightarrow D \le 8h$$

h bé nhất khi: $D = 8h = 16{,}96$ m

Vậy: $h = 2{,}12$ m (2)

2) Xác định h để bảo vệ được vùng ngoài hình vuông abcd

Do các kim thu sét được bố trí đối xứng và tạo thành hình vuông cho nên trong trường hợp này chỉ cần kiểm tra một cặp cột a và b.

Để bảo vệ được độ cao $h_x = 6\ m$ thì theo hình 3.26, bán kính bảo vệ bé nhất ở giữa hai cặp cột a và b là: $r_{ab} = 2\ m$

Độ cao cột thu sét giả tương ứng là h_o được tính theo biểu thức (3.3) vì giả sử rằng $h_x > 2h_o/3$

$$r_{ab} = 0{,}75x\,.\,h_o\left(1 - \frac{h_x}{h_o}\right)$$

$$2 = 0{,}75h_o - 4{,}5 \quad \Rightarrow \quad h_o = 8.67\ m$$

Kiểm tra: $h_x = 6m > 2h_o/3 = 5{,}78\,m$ thỏa giả thiết đặt ra.

Vậy $H = h_o + \dfrac{ab}{7} = 8{,}67 + \dfrac{12}{7} = 10{,}38\ m$

hay $h = 4{,}38$ m (3)

Để kiểm tra độ cao kim thu sét này có bảo vệ độ cao h_x = 6 m ở vị trí góc nhà, ta sử dụng biểu thức:

$$r_x = 1,5 \times 10,38 (1 - \frac{6}{0,8 \times 10,38})$$

vì $h_x < 2H/3$

vậy $r_x = 4,32$ m

Bán kính bảo vệ thực tế cần để bảo vệ được các góc nhà là:

$$ae = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2,83\ m$$

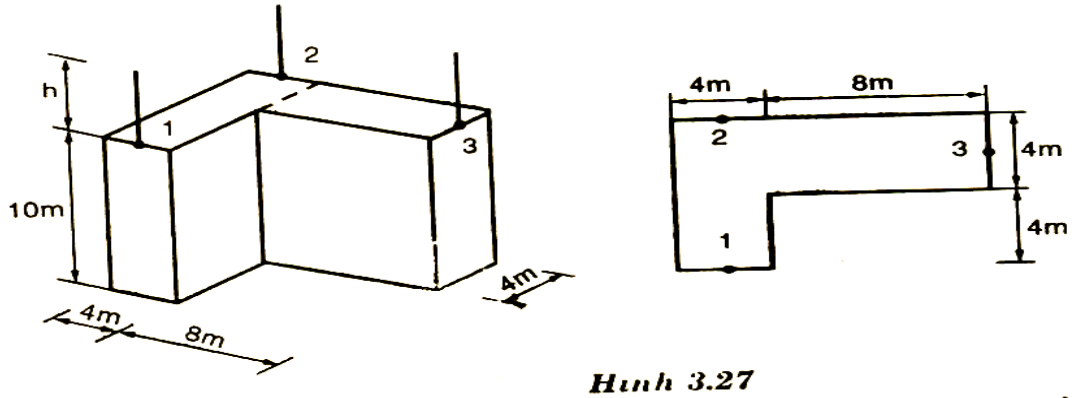
Do vậy, các góc nhà đều được bảo vệ.

Kết hợp biểu thức (2) và (3) ta chọn:

Vậy, để bảo vệ toàn bộ căn nhà, bốn kim thu sét phải có độ dài bé nhất là: $l_c = 4,38$ m

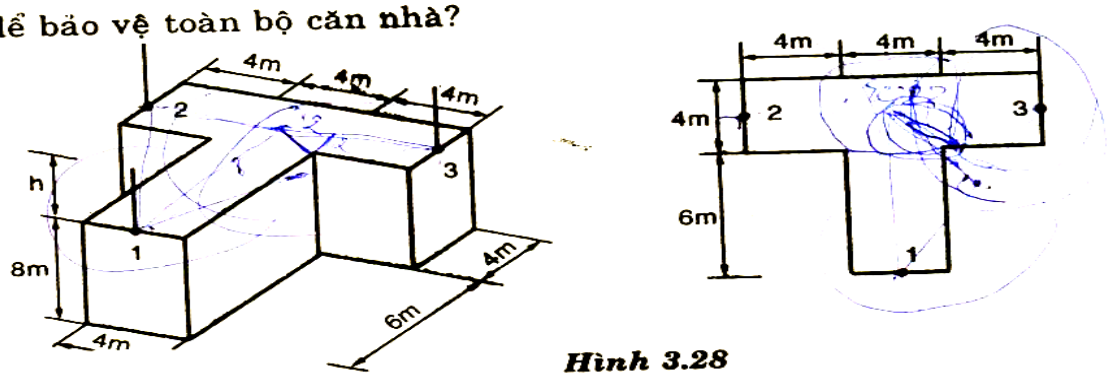
BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

3.21 Cho một căn nhà có kích thước như hình H.3.27. Người ta đặt ba kim thu sét ở các vị trí 1, 2, 3 có độ cao bằng nhau và bằng 4 m. Hỏi căn nhà có được bảo vệ toàn bộ hay không?



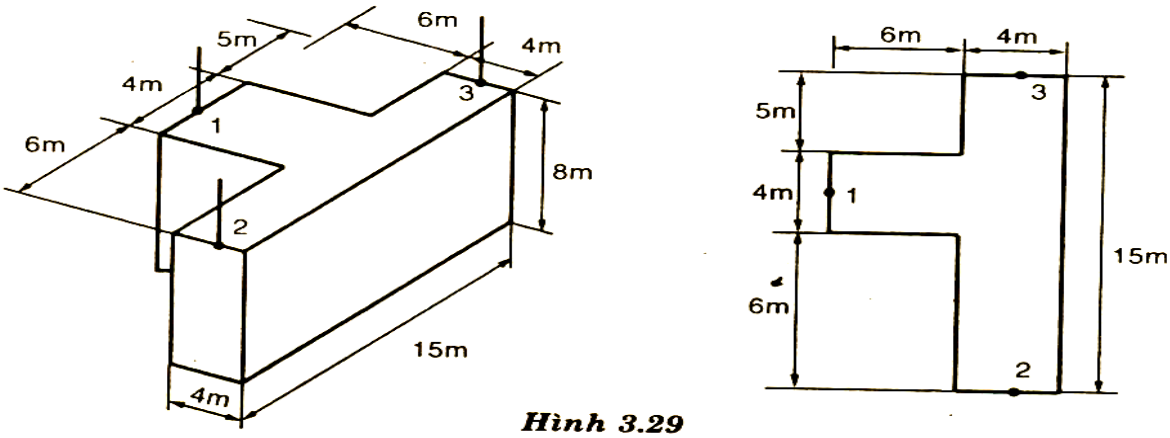
Hình 3.27

3.22 Cho căn nhà có kích thước như trong hình 3.28. Bố trí 3 kim thu sét bằng nhau và bằng h tại các vị trí 1, 2, 3. h có chiều dài nhỏ nhất là bao nhiêu để bảo vệ toàn bộ căn nhà?



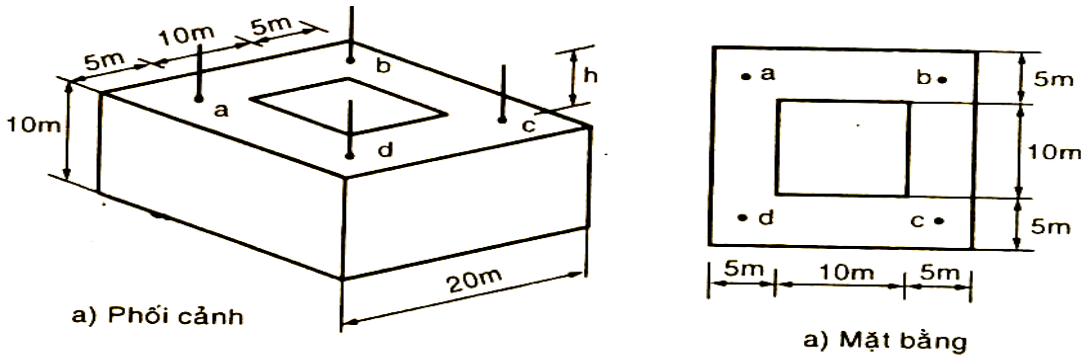
Hình 3.28

3.23 Cho một căn nhà kích thước như hình 3.29. Bố trí ba kim thu sét bằng nhau và bằng h tại các các vị trí 1,2,3. h phải có chiều dài nhỏ nhất là bao nhiêu để bảo vệ toàn bộ căn nhà?



Hình 3.29

3.24 Cho một câu lạc bộ có cấu trúc khối kích thước được vẽ như trong hình 3.30.



Hình 3.30

Người ta đặt tại các vị trí a, b, c, d bốn kim thu sét cao 4m. Hỏi bốn kim được bố trí như trên có bảo vệ được toàn bộ căn nhà hay không?

3.25 Hãy xác định chiều dài bé nhất của các kim thu sét đặt tại các vị trí a, b, c và d trong bài toán 3.24, xem hình 3.30, để chúng bảo vệ được toàn bộ căn nhà.

Chương 4

TÍNH TOÁN NỐI ĐẤT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

4.1 ĐIỆN TRỞ TẢN XOAY CHIỀU TẦN SỐ CÔNG NGHIỆP

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp của các dạng nối đất đơn giản:

1- Cọc nối đất

a- Cọc chôn nổi: Cọc chôn nổi được thực hiện như hình 4.1.

Cọc làm bằng thép tròn, công thức tính như sau:

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}; \quad l > d \tag{4.1}$$

Nếu cọc làm bằng sắt góc có bề rộng là b thì thay $d = 0{,}95b$ lúc này

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{0{,}95b} \tag{4.2}$$

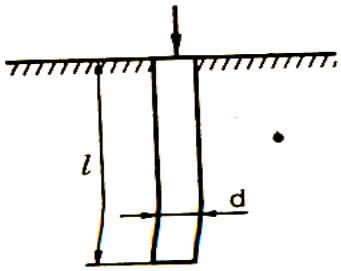
với ρ_{tt} là điện trở suất tính toán, được tính theo

$$\rho_{tt} = k_m \times \rho_{đo} \tag{4.3}$$

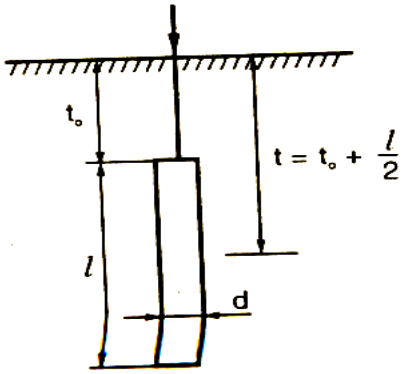
trong đó: $\rho_{đo}$ - điện trở suất đo được vào thời điểm đo, Ωm;

k_m - hệ số mùa, cho trong phụ lục PL03;

d - đường kính của cọc tròn, m; l - chiều dài của cọc, m.



Hình 4.1



Hình 4.2

b- Cọc chôn sâu: Cọc chôn sâu được thực hiện như hình 4.2.

Công thức tính điện trở tản trong trường hợp này:

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t+l}{4t-l}\right);\ l > d;\quad t = t_o + \frac{l}{2} \tag{4.4}$$

với: t - độ chôn sâu của cọc tính từ giữa cọc, m.

Nếu điện cực được làm sắt góc thì thay $d = 0{,}95b$; b là bề rộng của điện cực

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{0{,}95b} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t+l}{4t-l}\right) \tag{4.5}$$

c- Nhiều cọc ghép song song: Trường hợp có n cọc giống nhau và cách đều nhau một khoảng là a và dây nối giữa chúng không đáng kể, điện trở tản tương đương được tính bằng công thức

$$R_{th} = \frac{R_c}{n.\eta} \tag{4.6}$$

trong đó: R_c - điện trở tản của một cọc; η - hệ số sử dụng của hệ thống.

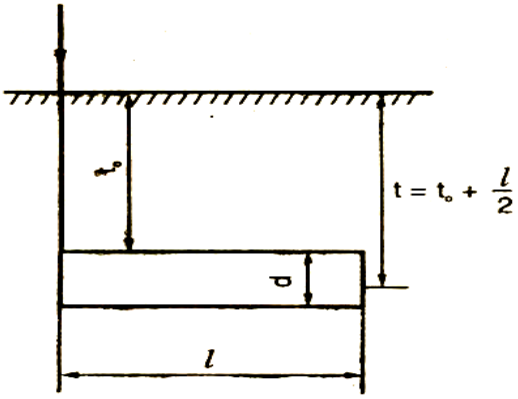
2- Thanh nối đất

a- Thanh chôn chìm: Thanh chôn chìm được thực hiện như hình 4.3. Điện trở tản của thanh dùng sắt tròn được tính theo công thức:

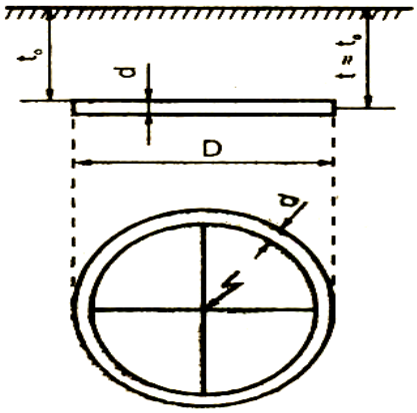
$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{l^2}{dt_o};\quad l > d \tag{4.7}$$

Nếu dùng sắt dẹt có bề rộng b thì thay $d = b/2$, (4.7) trở thành

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{2l^2}{bt_o} \tag{4.8}$$



Hình 4.3



Hình 4.4

b- Nhiều thanh ghép song song: Trường hợp có n thanh giống nhau ghép song song và dây nối giữa chúng không đáng kể, điện trở tản tương đương được tính bằng công thức:

$$R_{th} = \frac{R_t}{n\eta} \quad (4.9)$$

trong đó: R_t - điện trở tản của một thanh; η - hệ số sử dụng của hệ thống.

c- Thanh hình xuyến: Thanh hình xuyến được thực hiện như hình 4.4.

Công thức tính điện trở tản

$$R_v = \frac{\rho_{tt}}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d} + \ln\frac{\pi D}{4t_o}\right) \quad (4.10)$$

trong đó: D - đường kính hình xuyến;

d - đường kính của vật liệu làm hình xuyến.

BÀI TẬP ỨNGDỤNG

4.1 Tính điện trở tản xoay chiều của cọc chôn nổi trong đất có điện trở suất đo vào mùa ẩm là $\rho_{đo}$ = 150 Ω m. Chiều dài cọc l = 3 m và đường kính cọc d = 30 mm.

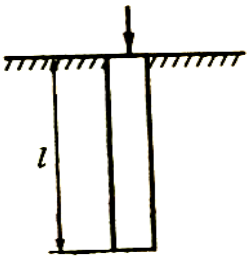
Giải Áp dụng công thức (4.1), nhận được

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$$

Tra bảng phụ lục PL03, chọn $k_m = 2$, vậy

$$R_c = \frac{2\times 150}{2\pi.3}\ln\frac{4.3}{0,030} = 95,41\ \Omega$$

4.2 Tính toán chiều dài của một cọc nối đất chôn nổi có đường kính 30 mm đóng vào trong đất có điện trở suất đã quy về tính toán là 40 Ωm, như hình 4.5. Yêu cầu giá trị điện trở tản nối đất xoay chiều tần số công nghiệp là 10 Ω.



Hình 4.5

Giải Áp dụng biểu thức (4.1) cho:

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d} \Leftrightarrow 10 = \frac{40}{2\pi l}\ln\frac{4l}{0,03} \Leftrightarrow 1,57l = \ln 133,33l \quad (1)$$

Phương trình (1) là dạng siêu việt cho nên bài toán có thể giải bằng phương pháp đồ thị hoặc phương pháp lặp. Bảng số sau đây cho kết quả gần đúng:

l,m	1,57l	ln 33,33l	l,m	1,57l	ln 33,33l
3,0	4,710	5,991	4,5	7,065	6,397
3,5	5,495	6,146	5,0	7,850	6,502
4,0	6,280	6,279	6,0	6,282	6,680

Từ bảng số, ta chọn được chiều dài của cọc: l = 4 m.

4.3 Để xác định điện trở suất của đất vào thời điểm đo, người ta có thể sử dụng phương pháp đóng cọc mẫu. Đóng một cọc dạng chôn nổi có chiều dài 3 m đường kính 20 mm vào trong vùng đất cần đo điện trở suất. Điện trở này đo được vào lúc thực hiện là $10\,\Omega$. Hãy cho biết điện trở suất trung bình của vùng đất.

Giải Vì là dạng cọc chôn nổi, nên áp dụng biểu thức (4.1) cho

$$R_c = \frac{\rho_{do}}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$$

hay

$$\rho_{do} = \frac{R_c 2\pi l}{\ln\frac{4l}{d}} = \frac{10 \times 2\pi \times 3}{\ln\frac{4 \times 3}{0{,}02}} = 29{,}45\,\Omega m$$

4.4 Hệ thống nối đất gồm hai cọc dạng chôn nổi đóng cách nhau 10 m. Mỗi cọc dài 4 m đường kính 26 mm. Giả sử điện trở suất đo vào lúc khô là $100\,\Omega m$. Xác định điện trở tản xoay chiều của hệ thống trong hai trường hợp:

a) Bỏ qua ảnh hưởng màn che.

b) Xét đến ảnh hưởng màn che, với hệ số sử dụng của hệ thống $\eta = 0{,}81$.

Giải Dạng nối đất là cọc chôn nổi, nên áp dụng biểu thức (4.1) cho

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$$

Tra phụ lục PL03, chọn $K_m = 1{,}6$.

Do đó: $$R_c = \frac{1{,}6 \times 100}{2\pi \times 4}\ln\frac{4 \times 4}{0{,}026} = 40{,}91\ \Omega$$

Vậy điện trở của hệ thống là:

a) Trong trường hợp không tính đến ảnh hưởng của hiệu ứng màn che, áp dụng biểu thức (4.6), nhận được

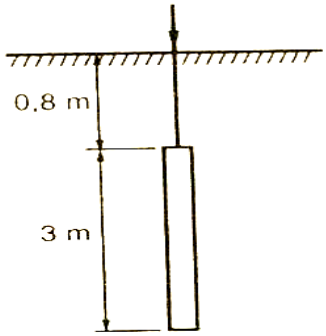
$$R_{ht} = \frac{R_c}{n.\eta} = \frac{40{,}91}{2 \times 1} = 20{,}46\ \Omega$$

b) Có tính đến ảnh hưởng của hiệu ứng màn che. Áp dụng biểu thức (4.6), nhận được

$$R_{ht} = \frac{R_c}{n.\eta} = \frac{40{,}91}{2 \times 0{,}81} = 25{,}26\ \Omega$$

4.5 Một cọc nối đất dài 3 m, đường kính 30 mm đóng sâu xuống đất một đoạn 0,8 m (H.4.6), đất có điện trở suất đo vào lúc khô ráo là 100 Ωm.

Xác định điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp của cọc.



Hình 4.6

Giải Nối đất thực hiện theo hình thức chôn chìm, nên áp dụng biểu thức (4.4), nhận được

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

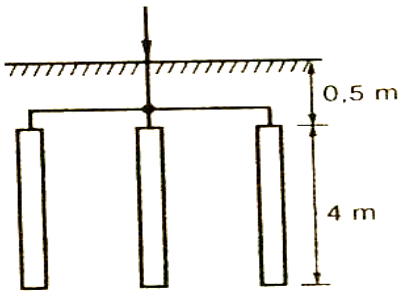
Tra phụ lục PL03, chọn $K_m = 1,4$

$$R_c = \frac{1,4 \times 100}{2\pi 3}\left(\ln\frac{2 \times 3}{0,03} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 2,3 + 3}{4 \times 2,3 - 3}\right)$$

Ở đây $t = t_o + \frac{l}{2} = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3$ m

Cho nên $R_c = 41,88\ \Omega$.

4.6 Cho hệ thống nối đất gồm ba cọc giống nhau dài 4 m, đường kính 20 mm. Đóng sâu xuống đất 0,5 m, đất có điện trở suất đã quy đổi về tính toán là 150 Ωm, xem hình 4.7. Tính điện trở tản của hệ thống, biết rằng dây nối giữa chúng có điện trở không đáng kể và hệ số sử dụng của hệ thống là $\eta = 0,7$.



Hình 4.7

Giải: Áp dụng biểu thức (4.4) để tính điện trở tản của một cọc:

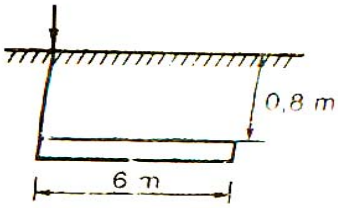
$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

$$R_c = \frac{150}{2\pi 4}\left(\ln\frac{2 \times 4}{0,02} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 2,5 + 4}{4 \times 2,5 - 4}\right) = 30,31\ \Omega$$

Áp dụng biểu thức (4.6) để tính điện trở tản của hệ thống

$$R_{ht} = \frac{R_c}{n.\eta} = \frac{30,31}{3 \times 0,7} = 14,43\ \Omega$$

4.7 Tính điện trở nối đất tản xoay chiều của một thanh sắt dẹp 40 × 4 mm dài 6 m chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đo vào mùa khô là 150 Ωm (H.4.8).



Hình 4.8

Giải: Áp dụng biểu thức (4.8) cho

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt_o}$$

Tra bảng phụ lục PL03, chọn K_m = 1,6 và điện trở tản xoay chiều của thanh nối đất sẽ là

$$R_t = \frac{1.6 \times 150}{2\pi \times 6} \ln \frac{2 \times 6^2}{0,8 \times 0,04} = 49,16\ \Omega$$

4.8 Một hệ thống nối đất gồm hai thanh giống nhau làm bằng sắt tròn dài 10 m có đường kính 20 mm đặt cách một đoạn là a và được chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm. Tính giá trị điện trở nối đất tản xoay chiều trong hai trường hợp:

a) Không xét đến hiệu ứng màn che.

b) Có xét đến màn che, với hệ số sử dụng là 0,8.

Giải Áp dụng biểu thức (4.7), nhận được:

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt} = \frac{100}{2\pi 10} \ln \frac{(10)^2}{0,02 \times 0,8} = 13,92\ \Omega$$

Áp dụng biểu thức (4.9) và tính cho hai trường hợp:

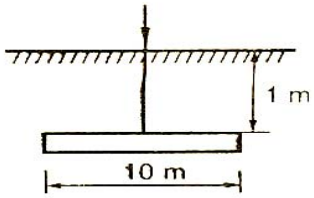
a) Không xét đến hiệu ứng màn che

$$R_{ht} = \frac{R_t}{n.\eta} = \frac{13,92}{2 \times 1} = 6,96\ \Omega$$

b) Có xét đến hiệu ứng màn che

$$R_{ht} = \frac{R_t}{n.\eta} = \frac{13,92}{2 \times 0,8} = 8,7\ \Omega$$

4.9 Một hệ thống nối đất có dạng hình xuyến, làm bằng sắt tròn có đường kính 55 mm. Hình xuyến có đường kính là 10 m và được chôn sâu 1m trong đất có điện trở suất đã quy về tính toán là 420 Ωm (H.4.9). Tính giá trị điện trở nối đất tản xoay chiều của hệ thống nối đất.



Hình 4.9

Giải Áp dụng biểu thức (4.10), nhận được

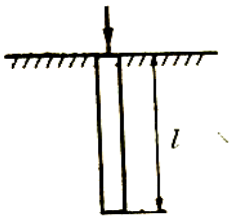
$$R_v = \frac{\rho_{tt}}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d} + \ln\frac{\pi D}{4t_o}\right)$$

$$R_v = \frac{420}{2\pi^2 \times 10}\left(\ln\frac{8\times 10}{0{,}055} + \ln\frac{\pi\times 10}{4\times 1}\right) = 19{,}88\ \Omega$$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

4.10 Tính điện trở tản xoay chiều của cọc chôn nổi trong đất có điện trở suất đo vào mùa ẩm là ρ_{do} = 120 Ω m. Chiều dài cọc l = 4 m và đường kính cọc d = 26 mm.

4.11 Tính toán chiều dài của một cọc nối đất chôn nổi có đường kính 26 mm đóng vào trong đất có điện trở suất đã quy về tính toán là 60 Ωm, vẽ như hình 4.10. Yêu cầu giá trị điện trở tản nối đất xoay chiều tần số công nghiệp là 10 Ω.



Hình 4.10

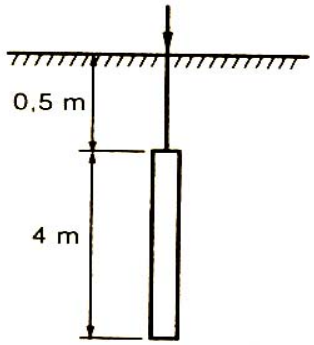
4.12 Để xác định điện trở suất của đất vào thời điểm đo, người ta có thể sử dụng phương pháp đóng cọc mẫu. Đóng một cọc dạng chôn nổi có chiều dài 2 m đường kính 10 mm vào trong vùng đất cần đo điện trở suất. Điện trở này đo được vào lúc thực hiện là 8 Ω. Hãy cho biết điện trở suất trung bình của vùng đất.

4.13 Hệ thống nối đất gồm hai cọc dạng chôn nổi đóng cách nhau 10 m. Mỗi cọc dài 2,5 m đường kính 26 mm. Giả sử điện trở suất đo vào lúc khô là 150 Ωm. Xác định điện trở tản xoay chiều của hệ thống trong hai trường hợp:

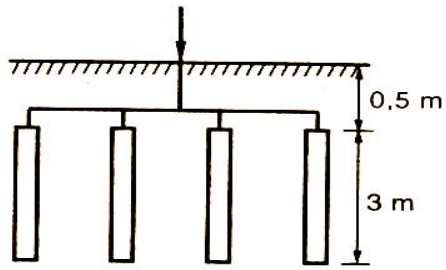
a) Bỏ qua ảnh hưởng màn che.

b) Xét đến ảnh hưởng màn che, với hệ số sử dụng của hệ thống η = 0,81.

4.14 Một cọc nối đất dài 4 m, đường kính 26 mm đóng sâu xuống đất một đoạn 0,5 m, xem hình 4.11, đất có điện trở suất đo vào lúc khô ráo là 100 Ωm. xác định điện trở tản xoay chiều của cọc.



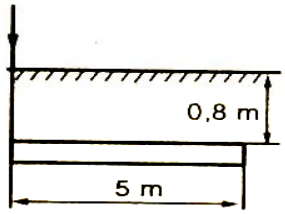
Hình 4.11



Hình 4.12

4.15 Cho hệ thống nối đất gồm bốn cọc giống nhau dài 3 m, đường kính 20 mm. Đóng sâu xuống đất 0,5 m trong đất có điện trở suất đã quy đổi về tính toán là $120\,\Omega m$, xem hình 4.12. Tính điện trở tản của hệ thống, biết rằng: dây nối giữa chúng có điện trở không đáng kể và hệ số sử dụng của hệ thống là $\eta = 0,7$.

4.16 Tính điện trở nối đất tản xoay chiều của một thanh sắt dẹp 50 × 5 mm dài 5 m chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đo vào mùa khô là 180 Ωm, xem hình 4.13.



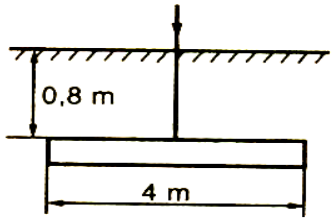
Hình 4.13

4.17 Một hệ thống nối đất gồm hai thanh giống nhau làm bằng sắt tròn dài 10 m có đường kính 25 mm đặt cách một đoạn là a và được chôn sâu 0,5 m trong đất có điện trở suất đã quy về tính toán là $200\,\Omega m$. Tính giá trị điện trở nối đất tản xoay chiều trong hai trường hợp:

a) Không xét đến hiệu ứng màn che.

b) Có xét đến màn che, với hệ số sử dụng là 0,78.

4.18 Một hệ thống nối đất có dạng hình xuyến, làm bằng sắt tròn có đường kính 30 mm. Hình xuyến có đường kính là 4 m và được chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đã quy về tính toán là $230\,\Omega m$, xem hình 4.14. Tính giá trị điện trở nối đất tản xoay chiều của hệ thống nối đất.



Hình 4.14

4.2 ĐIỆN TRỞ NỐI ĐẤT CỦA CÁC DẠNG THANH ĐẶC BIỆT

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Một hệ thống nối đất dạng thanh có dạng đặc biệt trong bảng phụ lục PL19 có thể được tính gần đúng theo công thức tổng quát sau

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{K \cdot L^2}{d.t} \qquad (4.11)$$

trong đó: d - đường kính của điện cực, nếu là sắt dẹt thay $d = b/2$;

L - chiều dài tổng của các điện cực, nếu là mạch vòng kín thì lấy bằng chu vi, m;

b - bề rộng sắt dẹt, m; t - độ chôn sâu, $t \approx t_o$, m

K - hệ số hình dáng, phụ thuộc vào cách bố trí các thanh nằm ngang, tra bảng phụ lục PL19.

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

4.19 Tính điện trở nối đất tản xoay chiều của một tiếp địa dạng hình tròn đường kính 2 m làm bằng sắt tròn đường kính ϕ30, chôn nằm ngang và cách mặt đất 0,8 m. Đất có điện trở suất đo vào mùa ẩm là 100 Ωm, xem hình 4.15.

Giải Áp dụng biểu thức (4.11), nhận được

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{KL^2}{d.t}$$

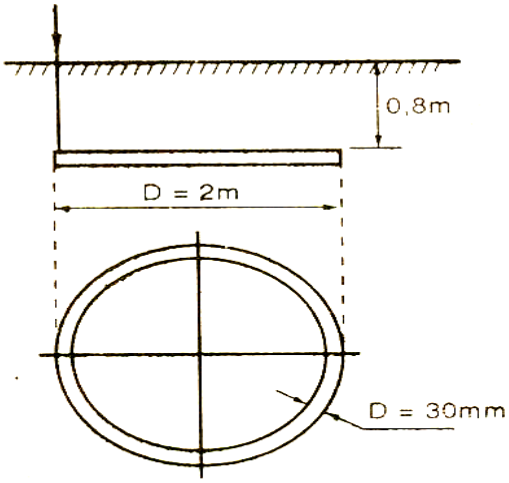
Tra bảng phụ lục PL03, chọn $K_m = 3$.

Tra bảng phụ lục PL19, chọn $K = 1,27$.

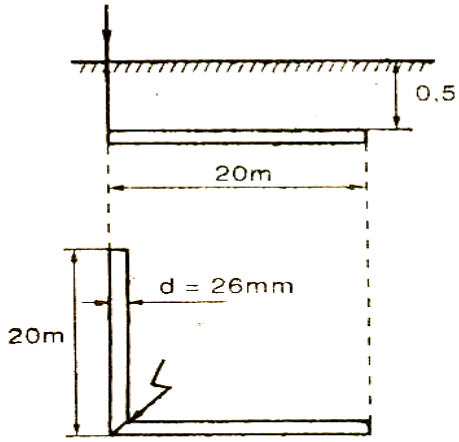
Chu vi của vòng tròn của tiếp địa

$$L = \pi D = \pi.2 = 6,28 \ m$$

Vậy $$R_{td} = \frac{3 \times 100}{2\pi 6,28} \ln \frac{1,27 \times (6,28)^2}{0,8 \times 0,03} = 58,14 \ \Omega$$



Hình 4.15



Hình 4.16

4.20 Một hệ thống nối đất gồm hai thanh sắt tròn dài 20 m đường kính 26 mm ghép với nhau một góc 90°, xem hình 4.16 đặt song song với mặt đất và ở độ sâu 0,5 m. Đất có điện trở suất đã quy về tính toán là $\rho = 120\,\Omega m$. Tính điện trở nối đất của hệ thống.

Giải Áp dụng biểu thức (4-11), nhận được

$$R_{ht} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{KL^2}{d.t}$$

Tra bảng phụ lục PL19 tìm được

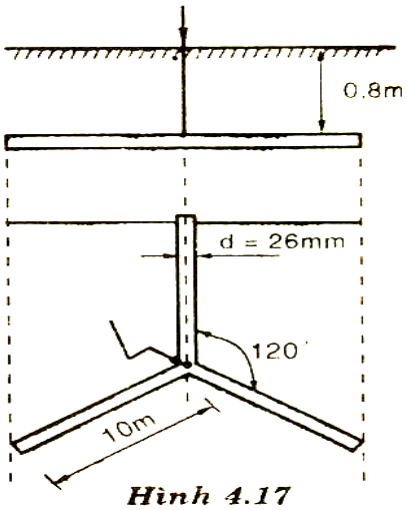
$K = 1,46$, vậy:

$$R_{ht} = \frac{120}{2\pi \times 40} \ln \frac{1,46(40)^2}{0,8 \times 0,026} = 5,56\ \Omega$$

4.21 Tính điện trở tản xoay chiều của một tiếp địa ba tia bằng nhau hợp với nhau một góc 120°. Một tia dài 10 m nằm song song với mặt đất ở độ sâu 0,8 m. Đất đo vào lúc khô ráo có điện trở suất 150 Ωm, xem hình 4.17. Đường kính của tia là d = 26 mm.

Giải Áp dụng biểu thức (4.11) để tính điện trở của tiếp địa:

$$R_{td} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{KL^2}{d.t}$$



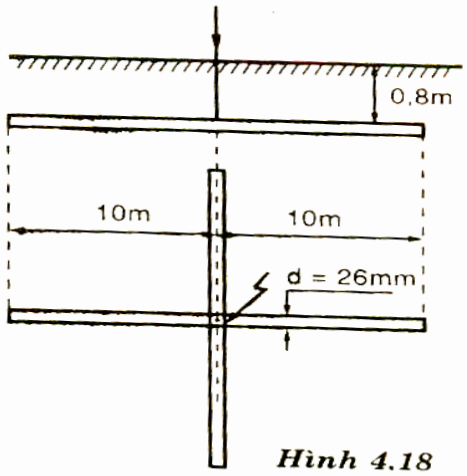
Hình 4.17

Tra bảng phụ lục PL03 cho $K_m = 1,6$.

Tra bảng phụ lục PL19 cho $K = 2,38$

Vậy: $$R_t = \frac{1,6 \times 150}{2\pi \times 30} \ln \frac{2,38 \times (30)^2}{0,8 \times 0,026} = 14,70\ \Omega.$$

4.22 Tính điện trở tản xoay chiều của một tiếp địa bốn tia bằng nhau hợp với nhau một góc 90°. Một tia dài 10 m nằm song song với mặt đất ở độ sâu 0,8 m. Đất đo vào lúc khô ráo có điện trở suất 150 Ωm, xem hình 4.18. Đường kính của tia là $d = 26$ mm.



Hình 4.18

Giải Áp dụng biểu thức (4.11), cho:

$$R_{td} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{KL^2}{d.t}$$

Tra bảng phụ lục PL03 tìm được $K_m = 1,6$

Tra bảng phụ lục PL19 tìm được $K = 8,45$

Vậy: $$R_t = \frac{1,6 \times 150}{2\pi \times 40} \ln \frac{8,45 \times (40)^2}{0,8 \times 0,026} = 12,74\ \Omega$$

4.23 Tính điện trở tản xoay chiều của một tiếp địa sáu tia bằng nhau hợp với nhau một góc 60°. Một tia dài 10 m nằm song song với mặt đất ở độ sâu 0,8 m. Đất đo vào lúc khô ráo có điện trở suất 150 Ωm, xem hình 4.19. Đường kính của tia là $d = 26$ mm.

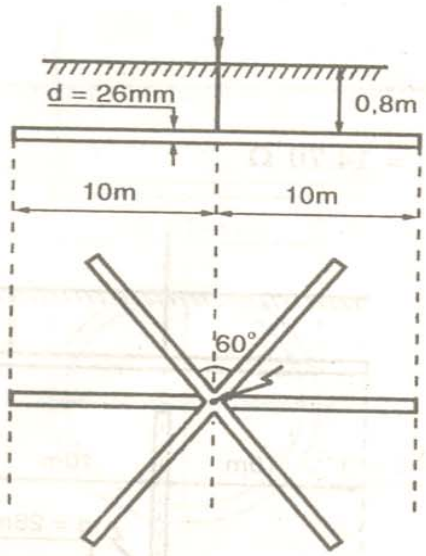
Giải Áp dụng biểu thức (4.11), cho

$$R_{td} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{KL^2}{d.t}$$

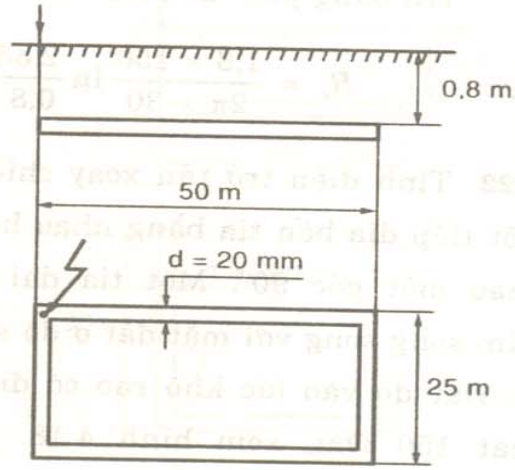
Tra bảng phụ lục PL03 tìm được $K_m = 1,6$

Tra bảng phụ lục PL19 tìm được $K = 19,2$

Vậy: $$R_t = \frac{1,6 \times 150}{2\pi \times 60} \ln \frac{19,2 \times (60)^2}{0,8 \times 0,026} = 9,56\ \Omega$$



Hình 4.19



Hình 4.20

4.24 Người ta thực hiện một tiếp địa là một mạch vòng hình chữ nhật dài 50 m, rộng 25 m bằng sắt tròn đường kính 20 mm chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đo được vào lúc ẩm là 60 Ωm. Tính điện trở tản xoay chiều của mạch vòng đó (H4.20).

Giải Áp dụng biểu thức (4.11), cho:

$$R_{mv} = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{K.L^2}{d.t}$$

Tra bảng phụ lục PL03 tìm được $K_m = 3$.

Tra bảng phụ lục PL19 tìm được $K = 6{,}42$

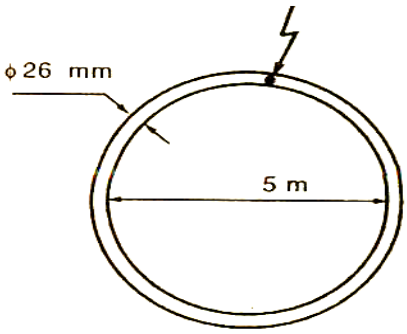
với $\frac{l_1}{l_2} = \frac{50}{25} = 2$

và $L = 2(l_1 + l_2) = 2(50 + 25) = 150$ m

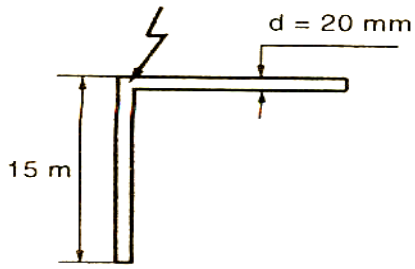
Vậy $R_{mv} = \frac{3 \times 60}{2\pi \times 150} \ln \frac{6{,}42 \times (150)^2}{0{,}8 \times 0{,}02} = 3{,}06\ \Omega$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

4.25 Tính điện trở nối đất tản xoay chiều của một tiếp địa dạng hình tròn đường kính 5m làm bằng sắt tròn đường kính ϕ26, chôn nằm ngang và cách mặt đất 0,8 m. Đất có điện trở suất đo vào mùa ẩm là 150 Ωm, xem hình 4.21.



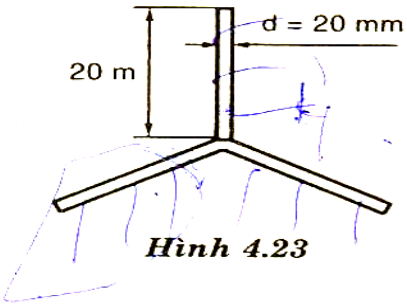
Hình 4.21



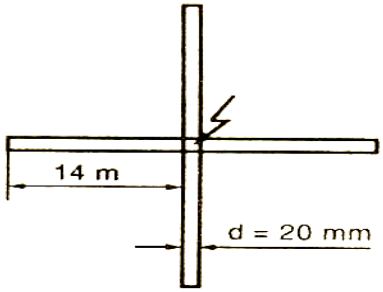
Hình 4.22

4.26 Một hệ thống nối đất gồm hai thanh sắt tròn dài 15 m đường kính 20 mm ghép với nhau một góc 90°, xem hình 4.22 đặt song song với mặt đất và ở độ sâu 0,5 m. Đất có điện trở suất đã quy về tính toán là $\rho = 120\,\Omega m$. Tính điện trở nối đất của hệ thống.

4.27 Tính điện trở tản xoay chiều của một tiếp địa ba tia bằng nhau hợp với nhau một góc 120°. Một tia dài 20 m nằm song song với mặt đất ở độ sâu 0,8 m. Đất đo vào lúc khô ráo có điện trở suất $200\,\Omega m$, xem hình 4.23.



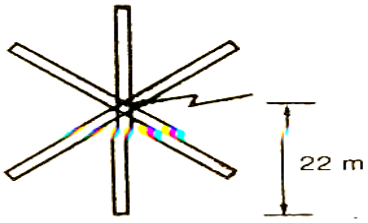
Hình 4.23



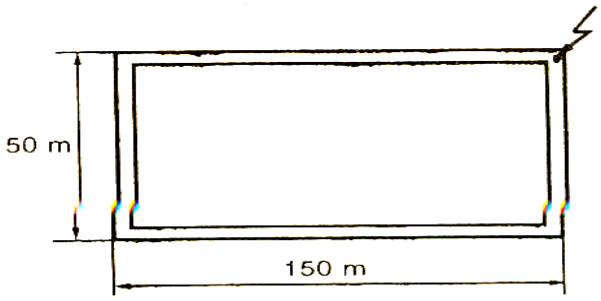
Hình 4.24

4.28 Tính điện trở tản xoay chiều của một tiếp địa bốn tia bằng nhau hợp với nhau một góc 90°. Một tia dài 14 m nằm song song với mặt đất ở độ sâu 0,8 m. Đất đo vào lúc khô ráo có điện trở suất $300\,\Omega m$ (H.4.24).

4.29 Tính điện trở tản xoay chiều của một tiếp địa sáu tia bằng nhau hợp với nhau một góc 60°. Một tia dài 22 m nằm song song với mặt đất ở độ sâu 0,8 m. Đất đo vào lúc khô ráo có điện trở suất $320\,\Omega m$ (H.4.25). Đường kính của tia là d = 26 mm.



Hình 4.25



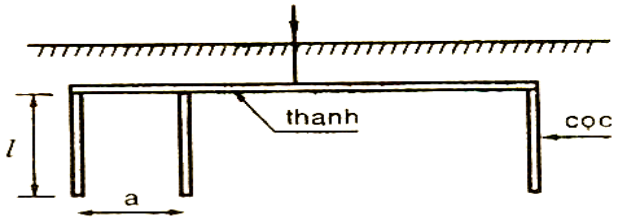
Hình 4.26

4.30 Người ta thực hiện một tiếp địa là một mạch vòng hình chữ nhật dài 150 m, rộng 50 m bằng sắt tròn đường kính 22 mm chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đo được vào lúc ẩm là 68 Ωm. Tính điện trở tản xoay chiều của mạch vòng đó, xem hình 4.26.

4.3 ĐIỆN TRỞ NỐI ĐẤT XOAY CHIỀU TẦN SỐ CÔNG NGHIỆP CỦA HỆ PHỨC HỢP THANH - CỌC

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát một hệ nối đất phức hợp gồm thanh và cọc như hình 4.27.



Hình 4.27

Gọi: R_t - điện trở tản của thanh, Ω; R_c - điện trở tản của cọc, Ω;

n - số cọc có trong thanh;

η_c - hệ số sử dụng của tổ hợp cọc không tính đến ảnh hưởng của thanh;

η_t - hệ số sử dụng của thanh đối với tổ hợp cọc có nghĩa là lúc thanh có cọc đóng dọc theo dây.

Các hệ số η_c, η_t là một hàm của số cọc và tỉ số a/l

(a - khoảng cách giữa hai cọc và l - chiều dài của cọc).

Giá trị của các hệ số này tra trong các phụ lục PL04, PL05, PL06 và PL07.

Điện trở tổng của tổ hợp cọc không tính đến ảnh hưởng của thanh

$$R_{c\Sigma} = \frac{R_c}{n \cdot \eta_c} \qquad (4.12)$$

Điện trở của thanh khi có tính đến hiệu ứng của tổ hợp cọc

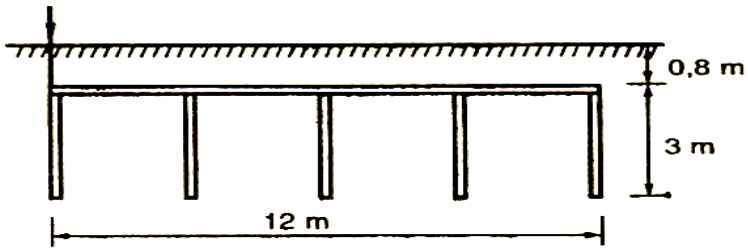
$$R_{t\Sigma} = \frac{R_t}{\eta_t} \tag{4.13}$$

Lúc này xem thanh và tổ hợp cọc song song tuyệt đối với nhau nên điện trở tản của tổ hợp là

$$R_{th} = \frac{R_{c\Sigma} . R_{t\Sigma}}{R_{c\Sigma} + R_{t\Sigma}} = \frac{R_c . R_t}{R_c . \eta_t + n . \eta_c . R_t} \tag{4.14}$$

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

4.31 Cho một hệ tổ hợp phức như hình 4.28 gồm có năm cọc, mỗi cọc dài 3 m, đường kính 30 mm, đóng cọc dọc theo thanh nối đất dạng tròn đường kính 20 mm dài 12 m. Cả tổ hợp nằm sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm. Tính điện trở tản xoay chiều của tổ hợp.



Hình 4.28

Giải Áp dụng biểu thức (4.14), cho

$$R_{th} = \frac{R_c . R_t}{R_c . \eta_t + n . \eta_c . R_t}$$

trong đó:

Điện trở tản của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

$$= \frac{100}{2\pi 3}\left(\ln\frac{2 \times 3}{0,03} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 2,3 + 3}{4 \times 2,3 - 3}\right) = 29,91 \ \Omega$$

Điện trở tản của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{l^2}{d.t} = \frac{100}{2\pi 12}\ln\frac{12^2}{0,8 \times 0,02} = 12,08 \ \Omega$$

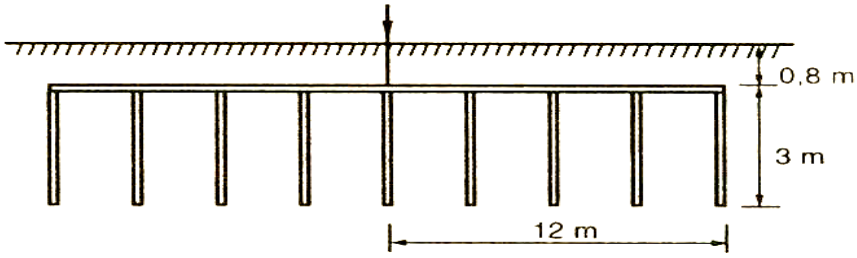
với $\frac{a}{l} = \frac{3}{3} = 1$ và $n = 5$ Tra bảng phụ lục PL05 và PL07 chọn

$\eta_c = 0,70$ và $\eta_t = 0,74$

Như vậy, điện trở tản của tổ hợp

$$R_{th} = \frac{29,91 \times 12,08}{29,91 \times 0,74 + 5 \times 0,70 \times 12,0} = 5,61 \ \Omega$$

4.32 Cho một hệ tổ hợp phức như hình 4.29. Mỗi tia gồm có năm cọc, mỗi cọc dài 3 m, đường kính 30 mm, đóng cọc dọc theo tia nối đất dạng tròn đường kính 20 mm dài 12 m. Cả tổ hợp nằm sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm. Tính điện trở tản xoay chiều của tổ hợp. Biết rằng hệ số sử dụng của tổ hợp bằng 1.



Hình 4.29

Giải Áp dụng biểu thức (4.14), cho

$$R_{th} = \frac{R_c \cdot R_t}{R_c \cdot \eta_t + n \cdot \eta_c \cdot R_t}$$

trong đó:

Điện trở tản của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

$$= \frac{100}{2\pi 3}\left(\ln\frac{2 \times 3}{0{,}03} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 2{,}3 + 3}{4 \times 2{,}3 - 3}\right) = 29{,}91 \ \Omega$$

Điện trở tản của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{l^2}{d.t} = \frac{100}{2\pi 12}\ln\frac{12^2}{0{,}8 \times 0{,}02} = 12{,}08 \ \Omega$$

với $\frac{a}{l} = \frac{3}{3} = 1$ và $n = 5$ Tra bảng phụ lục PL05 và PL07 chọn

$\eta_c = 0{,}70$ và $\eta_t = 0{,}74$:

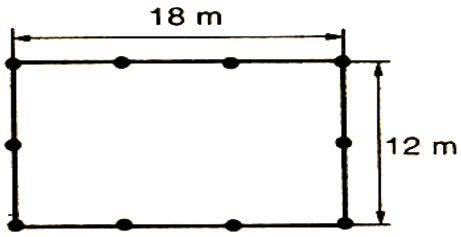
Điện trở tản của thanh - cọc

$$R_{th} = \frac{29{,}91 \times 12{,}08}{29{,}91 \times 0{,}74 + 5 \times 0{,}70 \times 12{,}0} = 5{,}61 \ \Omega$$

Như vậy, điện trở tản của tổ hợp

$$R_{th} = \frac{R_{t-c}}{n \cdot \eta_{th}} = \frac{5{,}61}{2 \times 1} = 2{,}805\,\Omega$$

4.33 Một mạch vòng phức hợp gồm thanh và cọc như hình 4.30. Thanh dùng vật liệu sắt tròn đường kính 20 mm, cọc dùng vật liệu sắt tròn đường kính 30 mm dài 3 m, Hệ thống chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đo vào mùa khô là 100 Ωm. Hãy xác định điện trở tản xoay chiều của hệ thống nối đất.



Hình 4.30

Giải Áp dụng biểu thức (4.3) để tính điện trở tản của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

Tra bảng phụ lục PL03, cho $K_m = 1,4$

Vậy $$R_c = \frac{1,4 \times 100}{2\pi 3}\left(\ln\frac{2 \times 3}{0,03} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 2,3 + 3}{4 \times 2,3 - 3}\right) = 41,87\ \Omega$$

Áp dụng biểu thức (4.11) để tính điện trở tản của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{K.L^2}{d.t}$$

Tra bảng phụ lục PL03, nhận được $K_m = 1,6$

và $$L = 2(l_1 + l_2) = 2(18 + 12) = 60\,m\,,\ \frac{l_1}{l_2} = \frac{18}{12} = 1,5$$

Tra bảng phụ lục PL19, cho $K = 5,81$

Vậy $$R_t = \frac{1,6 \times 100}{2\pi 60}\ln\frac{5,81 \times 60^2}{0,8 \times 0,02} = 5,98\ \Omega$$

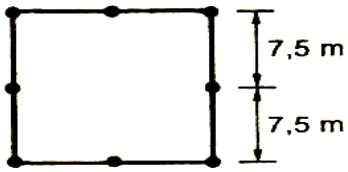
với $\frac{a}{l} = \frac{6}{3} = 2$ và $n = 10$ tra bảng PL05 và PL07 chọn

$\eta_c = 0,71$ và $\eta_t = 0,4$:

Áp dụng biểu thức (4.14) để tính điện trở của mạch vòng:

$$R_{th} = \frac{R_c.R_t}{R_c.\eta_t + n.\eta_c.R_t} = \frac{41,87 \times 5,98}{41,87 \times 0,4 + 10 \times 0,71 \times 5,98} = 4,23\ \Omega$$

4.34 Một mạch vòng phức hợp hình vuông cạnh 15 m gồm thanh và cọc như hình 4.31. Thanh dùng vật liệu sắt tròn đường kính 20 mm, cọc dùng vật liệu tròn đường kính 30 mm dài 3 m, Hệ thống chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đo vào mùa khô là 100 Ωm. Hãy xác định điện trở tản xoay chiều của hệ thống nối đất.



Hình 4.31

Giải Áp dụng biểu thức (4.3) để tính điện trở tản của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

Tra bảng phụ lục PL03, cho $K_m = 1,4$

Vậy $$R_c = \frac{1,4 \times 100}{2\pi 3}\left(\ln\frac{2 \times 3}{0,03} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 2,3 + 3}{4 \times 2,3 - 3}\right) = 41,87\,\Omega$$

Áp dụng biểu thức (4.11) để tính điện trở tản của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{K.L^2}{d.t}$$

Tra bảng phụ lục PL03, nhận được $K_m = 1,6$

và $$L = 4 \times 15 = 60\,m\,; \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{15}{15} = 1$$

Tra bảng phụ lục PL19, cho $K = 5,53$

Vậy $$R_t = \frac{1,6 \times 100}{2\pi 60}\ln\frac{5,53 \times 60^2}{0,8 \times 0,02} = 5,96\ \Omega$$

với $\frac{a}{l} = \frac{7,5}{3} = 2,5$ và $n = 8$ tra bảng PL05 và PL07 chọn

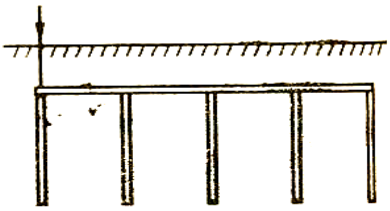
$\eta_c = 0,77$ và $\eta_t = 0,5$:

Áp dụng biểu thức (4.14) để tính điện trở của mạch vòng

$$R_{th} = \frac{R_c.R_t}{R_c.\eta_t + n.\eta_c.R_t} = \frac{41,87 \times 5,96}{41,87 \times 0,5 + 8 \times 0,77 \times 5,96} = 4,33\ \Omega$$

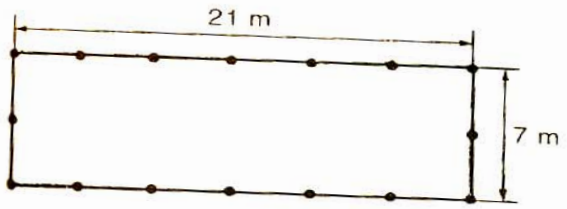
BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

4.35 Cho một hệ tổ hợp phức như hình 4.32 gồm có năm cọc, mỗi cọc dài 2,5 m, đường kính 26 mm, đóng cọc theo thanh nối đất dạng tròn đường kính 20 mm dài 20 m. Cả tổ hợp nằm sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $150\,\Omega m$. Tính điện trở tản xoay chiều của tổ hợp.

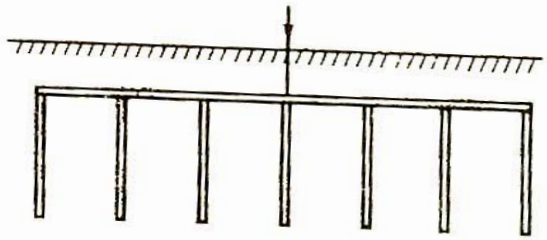


Hình 4.32

4.36 Cho một hệ tổ hợp phức như hình 4.33 gồm có bốn cọc, mỗi cọc dài 3 m, đường kính 26 mm, đóng cọc theo thanh nối đất dạng tròn đường kính 20 mm dài 9 m. Cả tổ hợp nằm sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $200\,\Omega m$. Tính điện trở tản xoay chiều của tổ hợp. Biết rằng hệ số sử dụng của tổ hợp bằng một.



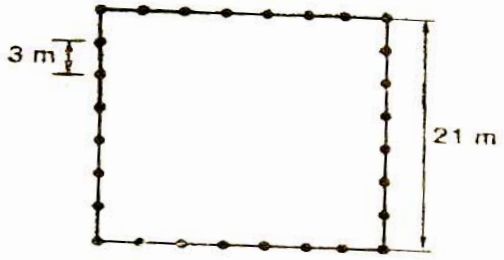
Hình 4.34



Hình 4.33

4.37 Một mạch vòng phức hợp gồm thanh và cọc vẽ trong hình H4-34. Thanh dùng vật liệu sắt tròn đường kính 16 mm, cọc dùng vật liệu sắt tròn đường kính 26 mm dài 3,5 m, Hệ thống chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đo vào mùa khô là 210 Ωm. Hãy xác định điện trở tản xoay chiều của hệ thống nối đất.

4.38 Một mạch vòng phức hợp hình vuông cạnh 21 m gồm thanh và cọc như hình 4.35. Thanh dùng vật liệu sắt tròn đường kính 20 mm, cọc dùng vật liệu sắt tròn đường kính 26 mm dài 3 m. Hệ thống chôn sâu 0,8 m trong đất có điện trở suất đo vào mùa khô là 190 Ωm. Hãy xác định điện trở tản xoay chiều của hệ thống nối đất.



Hình 4.35

4.4 ĐIỆN TRỞ TẢN XUNG KÍCH

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1- Điện trở nối đất tập trung

a- Điện trở xung kích của một cọc hay một thanh nối đất

Điện trở xung kích của một cọc hay một thanh nối đất được tính theo

$$R_{xk} = \alpha_{xk}.R_{\sim} \qquad (4.15)$$

trong đó $R_{\sim}$ - điện trở tải xoay chiều của cọc hay của thanh;

α_{xk} - hệ số xung kích của cọc hay của thanh;

R_{xk} - điện trở xung kích của cọc hay của thanh.

Việc xác định α_{xk} bằng lý thuyết rất phức tạp nhiều khi không làm được. Vì nó phụ thuộc vào kích thước điện cực, điện trở suất của đất và

dòng điện sét. Trong thực tế, α_{xk} xác định bằng thực nghiệm được ch trong các phụ lục PL15, PL35, PL37...

b- Điện trở xung kích của một tổ hợp đơn giản

Trong trường hợp hệ nối đất có n cọc hoặc n thanh giống nhau (điệr trở của dây nối giữa chúng bỏ qua) ghép song song và cách nhau mộ đoạn là a thì điện trở xung kích của tổ hợp tính theo:

$$R_{xk\Sigma} = \frac{R_{xk}}{n.\eta_{xk}} \quad (4.16)$$

trong đó: R_{xk} - điện trở xung kích của một cọc hay của một thanh;

η_{xk} - hệ số sử dụng xung kích của tổ hợp, tra trong các phụ lục PL11, PL12, PL34, PL35...

c- Điện trở xung kích của một tổ hợp phức hợp

Gọi: R_{xkc} - điện trở xung kích của cọc;

R_{xkt} - điện trở xung kích của thanh;

n - số cọc đóng dọc theo thanh.

Điện trở xung kích của tổ hợp được tính như sau

$$R_{xk\Sigma} = \frac{R_{xkc} \times R_{xkt}}{R_{xkc} + n.R_{xkt}} \frac{1}{\eta_{xk}} \quad (4.17)$$

với: η_{xk} - hệ số sử dụng xung kích tổ hợp phúc hợp, tra trong các bảng phụ lục PL11, PL12, PL34, PL35....

2- Điện trở nối đất phân bố dài dạng thanh

a- Tính theo hệ số α_{xk}

Sử dụng công thức (4-15).

b- Tính theo công thức gần đúng

$$Z(0, T_{ds}) = R_{xc} + \frac{L_o \times l}{3T_{ds}} \quad (4.18)$$

trong đó: T_{ds} - thời gian đầu sóng của sóng dòng sét dạng xiên góc, μs;

R_{xc} - là điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp, Ω;

l - chiều dài của thanh nối đất, m;

L_o - điện cảm trên đơn vị dài của thanh nối đất, $\mu H/m$.

$$L_o = 0{,}2(\ln\frac{l}{r} - 0{,}31) \ \mu H/m \quad (4.19)$$

với: r - bán kính của thanh nối đất dạng tròn, m.

Trong trường hợp có m thanh ghép song song, thì r bán kính trung bình hình học của m thanh

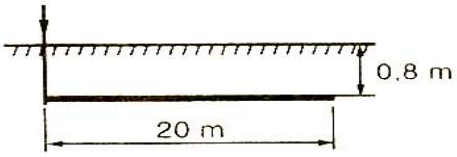
$$r = r_{td} = \sqrt[m]{r \times D^{m-1}} \quad (4.20)$$

với:

$$D^{m-1} = \sqrt[\frac{1}{2}[m(m-1)]]{D_{12}D_{23}...D_{m(m-1)}} \quad (4.21)$$

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

4.39 Xác định điện trở xung kích của một thanh nối đất, xem hình 4.36, làm bằng thép dẹt 4 × 40 mm² dài 20 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là 500 Ωm. Giả sử dòng sét tính toán là 40 kA.



Hình 4.36

Giải Áp dụng công thức (4.8), cho điện trở tản xoay chiều của thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt_o}$$

$$R_t = \frac{500}{2\pi.20} \ln \frac{2 \times 20^2}{0,04 \times 0,8} = 40,31\ \Omega$$

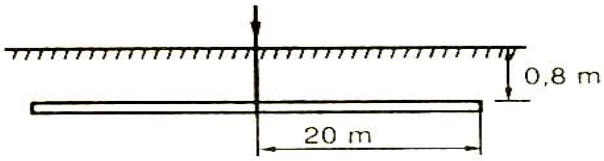
Với $l = 20\,m$; $\rho = 500\ \Omega m$; $I = 40\,kA$;

tra ở phụ lục PL15 cho $\alpha_{xk} = 0,6$. Áp dụng công thức (4.15), tính được điện trở tản xung của thanh:

$$R_{xk} = \alpha_{xk} R_{\sim}$$

$$R_{xk} = 0,6 \times 40,31 = 24,19\,\Omega$$

4.40 Xác định điện trở xung kích của hai thanh nối đất, xem hình 4.37, làm bằng thép dẹt 4×40 mm² dài 20 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là 500 Ωm. Giả sử dòng sét chạy qua hệ thống nối đất là 80 kA.



Hình 4.37

Giải Áp dụng công thức (4.8), cho điện trở tản xoay chiều của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{b.t_o}$$

$$R_t = \frac{500}{2\pi.20} \ln \frac{2 \times 20^2}{0,04 \times 0,8} = 40,31\ \Omega$$

Dòng điện sét chạy trong mỗi thanh

$$I = \frac{80}{2} = 40\ kA$$

Với $l = 20m$; $\rho = 500\,\Omega m$; $I = 40\,kA$;

tra ở phụ lục PL15 cho $\alpha_{xk} = 0,6$. Áp dụng công thức (4.15), tính được điện trở xung kích của một thanh

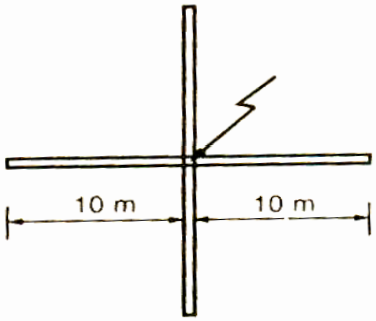
$$R_{xk} = \alpha_{xk}.R_{\sim}$$

$$R_{xk} = 0,6 \times 40,31 = 24,19\,\Omega$$

Áp dụng công thức (4.16), đồng thời tra ở phụ lục PL11 cho $\eta_{xk} = 1$, tính được điện trở xung kích của hệ thống

$$R_{xk\Sigma} = \frac{R_{xk}}{n\eta_{xk}} = \frac{24,19}{2 \times 1} = 12,10\,\Omega$$

4.41 Xác định điện trở xung kích của hệ nối đất gồm bốn thanh, xem hình 4.38, làm bằng thép dẹt 4×40 mm^2 dài 10 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $500\,\Omega m$. Giả sử dòng sét chạy qua hệ thống nối đất là 80 kA.



Hình 4.38

Giải Áp dụng công thức (4.8), cho điện trở tản xoay chiều của một thanh:

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{2l^2}{bt_o} = \frac{500}{2\pi.10}\ln\frac{2 \times 10^2}{0,04 \times 0,8} = 69,59\ \Omega$$

Dòng điện sét chạy trong mỗi thanh

$$I = \frac{80}{4} = 20\,kA$$

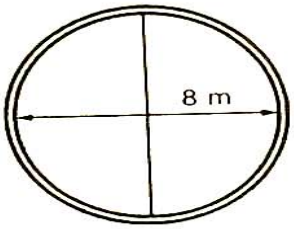
Với $l = 10\,m$; $\rho = 500\,\Omega m$; $I = 20\,kA$; tra ở phụ lục PL15 cho $\alpha_{xk} = 0,6$. Áp dụng công thức (4.15), tính được điện trở xung kích của một thanh:

$$R_{xk} = \alpha_{xk}R_{\sim} = 0,6 \times 69,59 = 41,75\,\Omega$$

Áp dụng công thức (4-16), đồng thời tra ở phụ lục PL11 cho $\eta_{xk} = 0,65$, tính được điện trở xung kích của hệ thống

$$R_{xk\Sigma} = \frac{R_{xk}}{n\eta_{xk}} = \frac{41,75}{4 \times 0,65} = 16,06\,\Omega$$

4.42 Xác định điện trở xung kích của hệ nối đất hình xuyến, xem hình 4.39, làm bằng thép dẹt 4×40 mm^2, đường kính của vòng xuyến là 8 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $500\,\Omega m$. Giả sử dòng sét chạy qua hệ thống nối đất là 80 kA.



Hình 4.39

Giải Áp dụng công thức (4-10), cho điện trở tản xoay chiều của hình xuyến

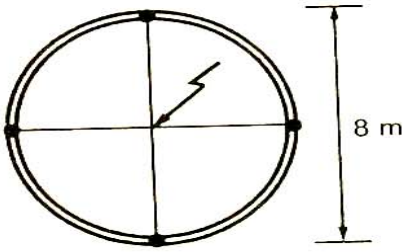
$$R_v = \frac{\rho_{tt}}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d} + \ln\frac{\pi D}{4t_o}\right)$$

$$R_v = \frac{500}{2\pi^2 8}\left(\ln\frac{2 \times 8 \times 8}{0,04} + \ln\frac{\pi 8}{4 \times 0,8}\right) = 32,11\ \Omega$$

Với $\rho = 500\,\Omega m$; $I = 80\,kA$; tra ở phụ lục PL15 cho $\alpha_{xk} = 0,3$. Áp dụng công thức (4.15), tính được điện trở xung kích của hình xuyến

$$R_{xk} = \alpha_{xk} R_{\sim} = 0,3 \times 32,11 = 9,63\ \Omega$$

4.43 Xác định điện trở xung kích của hệ nối đất phức hợp hình xuyến, xem hình 4.40, làm bằng thép dẹt 4×40 mm^2, đường kính của vòng xuyến là 8 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $500\,\Omega m$. Dọc theo hình xuyến đóng thêm bốn cọc tròn dài 2 m đường kính 50 mm cách đều nhau, có điện trở suất đã quy về tính toán là $200\,\Omega m$. Giả sử dòng sét chạy qua hệ thống nối đất là 80 kA.



Hình 4.40

Giải Áp dụng công thức (4.10), cho điện trở tản xoay chiều của hình xuyến

$$R_v = \frac{\rho_{tt}}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d} + \ln\frac{\pi D}{4t_o}\right)$$

$$R_v = \frac{500}{2\pi^2 8}\left(\ln\frac{2 \times 8 \times 8}{0,04} + \ln\frac{\pi 8}{4 \times 0,8}\right) = 32,11\ \Omega$$

Áp dụng biểu thức (4.3) để tính điện trở tản của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

$$R_c = \frac{200}{2\pi \times 2}\left(\ln\frac{2 \times 2}{0,05} + \frac{1}{2}\ln\frac{4(1 + 0,8) + 2}{4(1 + 0,8) - 2}\right) = 74,32\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của tổ hợp cọc

$$R_{c\Sigma} = \frac{74,32}{4} = 18,58\,\Omega$$

Có thể xem dòng sét sẽ phân bố theo điện dẫn trong tổ hợp nối đất, do đó dòng xác định phân bố dòng trong hình xuyến và một cọc như sau:

Dòng chạy trong một cọc

$$I_x = 80\frac{32,11}{18,58 + 32,11} \times \frac{1}{4} = 12,67\ kA$$

Dòng chạy trong hình xuyến

$$I_x = 80\frac{18,58}{18,58 + 32,11} = 29,32\,kA$$

Với $\rho = 500\,\Omega m$; $I = 29,32\ kA$; tra ở phụ lục PL15 cho $\alpha_{xk} = 0,5$. Áp dụng công thức (4.15), tính được điện trở xung kích của hình xuyến

$$R_{xk} = \alpha_{xk}R_{\sim} = 0,5 \times 32,11 = 16,06\ \Omega$$

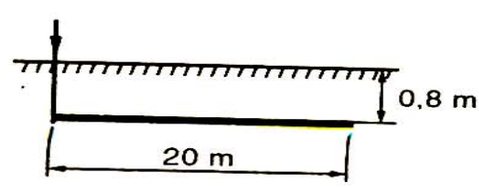
Với $\rho = 200\,\Omega m$; $I = 12,67\ kA$; tra ở phụ lục PL15 cho $\alpha_{xk} = 0,55$. Áp dụng công thức (4.15), tính được điện trở xung kích của một cọc:

$$R_{xk} = \alpha_{xk}R_{\sim} = 0,55 \times 74,32 = 40,88\ \Omega$$

Tra bảng phụ lục PL12 tìm được $\eta_{xk} = 0,75$ và áp dụng công thức (4.17) xác định được điện trở xung kích của hệ thống

$$R_{xk\Sigma} = \frac{R_{xkc} \times R_{xkt}}{R_{xkc} + nR_{xkt}}\frac{1}{\eta_{xk}} = \frac{40,88 \times 16,06}{40,88 + 4 \times 16,06}\frac{1}{0,75} = 8,33\,\Omega$$

4.44 Xác định điện trở xung kích đầu vào của một thanh nối đất, xem hình 4.41, làm bằng thép tròn, đường kính 20 mm, dài 20 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm. Giả sử dòng sét có dạng xiên góc biên độ 40 kA và thời gian đầu sóng 3,5 μs.



Hình 4.41

Giải Áp dụng công thức (4.7), cho điện trở tản xoay chiều của thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{l^2}{dt_o} = \frac{100}{2\pi \times 20}\ln\frac{20^2}{0{,}02 \times 0{,}8} = 8{,}06\ \Omega$$

Áp dụng công thức (4.19), cho điện cảm trên đơn vị dài của thanh

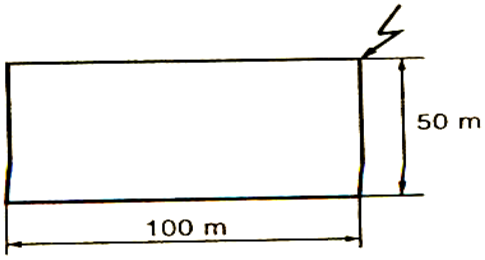
$$L_o = 0{,}2(\ln\frac{l}{r} - 0{,}31) = 0{,}2(\ln\frac{20}{0{,}01} - 0{,}31) = 1{,}46 \quad \mu H/m$$

Áp dụng công thức (4.18), cho điện trở tản xung kích của thanh

$$Z(0, T_{ds}) = R_{xc} + \frac{L_o \times l}{3T_{ds}}$$

$$Z(0, T_{ds}) = 8{,}06 + \frac{1{,}46 \times 20}{3 \cdot 3{,}5} = 10{,}84\ \Omega$$

4.45 Xác định điện trở xung kích đầu vào của một mạch vòng nối đất dài 100 m rộng 50 m, xem hình 4.42, làm bằng thép tròn đường kính 20 mm, chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $100\,\Omega m$. Giả sử dòng sét có dạng xiên góc biên độ 100 kA và thời gian đầu sóng 3,5 μs.



Hình 4.42

Giải Trường hợp này có thể xem như sét truyền vào hai thanh nối đất ghép song song có chiều dài

$$l = 100 + 50 = 150\,m$$

và chu vi mạch vòng

$$CV = 2 \times 150 = 300\,m$$

Áp dụng công thức (4.19), cho điện cảm trên đơn vị dài của thanh

$$L_o = 0{,}2(\ln\frac{l}{r} - 0{,}31) = 0{,}2(\ln\frac{150}{0{,}01} - 0{,}31) = 1{,}72 \quad \mu H/m$$

Điện cảm của mạch vòng

$$L = \frac{L_o \times l}{2} = \frac{1{,}72 \times 150}{2} = 129 \quad \mu H$$

Áp dụng công thức (4.11) và tra bảng phụ lục PL19 với $\frac{l_1}{l_2} = \frac{100}{50} = 2$ tìm được $K = 6{,}42$, xác định được điện trở tản xoay chiều của thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi L} \ln \frac{KL^2}{d.t} = \frac{100}{2\pi \times 300} \ln \frac{6{,}42 \times 300^2}{0{,}02 \times 0{,}8} = 0{,}91\ \Omega$$

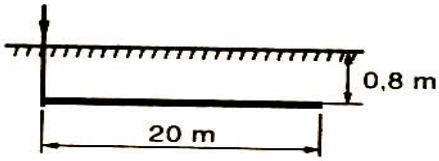
Áp dụng công thức (4.18), cho điện trở tản xung kích của thanh

$$Z(0, T_{ds}) = R_{xc} + \frac{L_o \times l}{3T_{ds}}$$

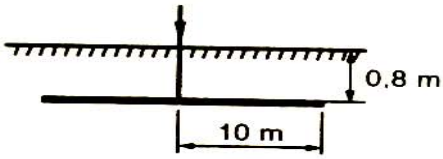
$$Z(0, T_{ds}) = 0{,}92 + \frac{129}{3 \times 3{,}5} = 13{,}21\ \Omega$$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

4.46 Xác định điện trở xung kích của một thanh nối đất, xem hình 4.43, làm bằng thép dẹt $4 \times 40\ mm^2$ dài 20 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm. Giả sử dòng sét tính toán là 80 kA.



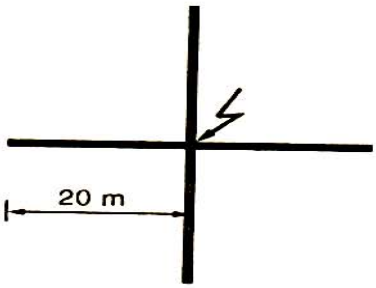
Hình 4.43



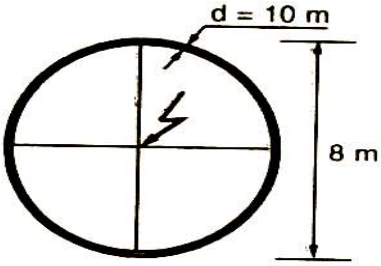
Hình 4.44

4.47 Xác định điện trở xung kích của hai thanh nối đất, xem hình 4.44, làm bằng thép dẹt $4 \times 40\ mm^2$ dài 10 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm. Giả sử dòng sét chạy qua hệ thống nối đất là 80 kA.

4.48 Xác định điện trở xung kích của hệ nối đất gồm bốn thanh, xem hình 4.45, làm bằng thép dẹt $4 \times 40\ mm^2$, mỗi thanh dài 20 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm. Giả sử dòng sét chạy qua hệ thống nối đất là 100 kA.



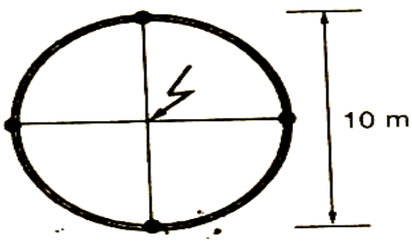
Hình 4.45



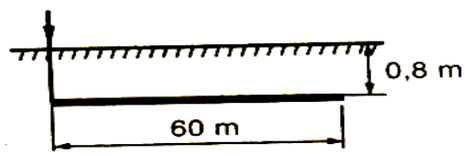
Hình 4.46

4.49 Xác định điện trở xung kích của hệ nối đất hình xuyến, xem hình 4.46, làm bằng thép tròn bán kính 10 mm, đường kính của vòng xuyến là 8 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $100\,\Omega m$. Giả sử dòng sét chạy qua hệ thống nối đất là 80 kA.

4.50 Xác định điện trở xung kích của hệ nối đất phức hợp hình xuyến, xem hình 4.47, làm bằng thép dẹt 4 × 40 mm^2, đường kính của vòng xuyến là 10 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $500\,\Omega m$. Dọc theo hình xuyến đóng thêm 4 cọc tròn dài 2 m đường kính 40 mm cách đều nhau, có điện trở suất đã quy về tính toán là $100\,\Omega m$. Giả sử dòng sét chạy qua hệ thống nối đất là 100 kA.



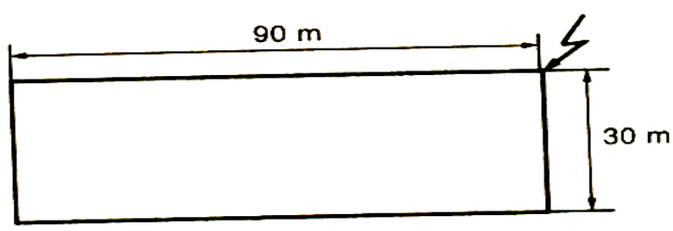
Hình 4.47



Hình 4.48

4.51 Xác định điện trở xung kích đầu vào của một thanh nối đất, xem hình 4.48, làm bằng thép tròn, đường kính 20 mm, dài 60 m chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $300\,\Omega m$. Giả sử dòng sét có dạng xiên góc biên độ 40 kA và thời gian đầu sóng $3\,\mu s$.

4.52 Xác định điện trở xung kích đầu vào của một mạch vòng nối đất dài 90m rộng 30m, xem hình 4.49, làm bằng thép tròn đường kính 20mm, chôn sâu trong đất 0,8 m có điện trở suất đã quy về tính toán là $100\,\Omega m$. Giả sử dòng sét có dạng xiên góc biên độ 100 kA và thời gian đầu sóng $3{,}5\,\mu s$.



Hình 4.49

4.5 ĐIỆN TRỞ TỰ NHIÊN

4.5.1 ĐIỆN TRỞ TỰ NHIÊN CỦA DÂY CHỐNG SÉT - CỘT

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

a- Trường hợp số lượng cột m > 20

Điện trở tản xoay chiều của hệ dây chống sét - cột tính theo công thức:

$$R_{tn} = \frac{R_c}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{R_c}{R_{dcs}} + \frac{1}{4}}} \quad (4.22)$$

b- Trường hợp số lượng cột m < 20

Điện trở tản xoay chiều của hệ dây chống sét - cột tính theo công thức:

$$R_{tn} = \sqrt{R_c.R_{dcs}}\coth(m \times \sqrt{\frac{R_{dcs}}{R_c}}) \quad (4.23)$$

trong đó: R_c - điện trở nối đất của cột điện;

R_{dcs} - điện trở của dây chống sét trong một khoảng vượt.

với:

$$R_{dcs} = kr_o l_{kv} \quad (4.24)$$

l_{kv} - chiều dài khoảng vượt;

r_o - điện trở của dây chống sét trên đơn vị chiều dài.

Nếu đường dây có hai dây chống sét thì $k = 1$.

Nếu đường dây có hai dây chống sét thì $k = 0,5$.

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

4.53 Một đường dây cao thế 110 kV dài 80 km, chiều dài trung bình của khoảng vượt là 250 m. Để bảo vệ chống sét cho đường dây người ta dùng một dây chống sét mã hiệu ПC-50. Điện trở nối đất của cột điện là 10 Ω. Tính điện trở của hệ thống dây chống sét - cột điện.

Giải Số cột điện có trong đường dây

$$m = \frac{80}{0,25} + 1 = 321 \text{ cột}$$

Tra bảng phụ lục PL47 nhận được loại dây ПC-50 có 3,7 Ω/km. Áp dụng công thức (4.24) cho:

$$R_{dcs} = k.r_o.l_{kv} = 1 \times 3,7 \times 0,250 = 0,925\,\Omega$$

Áp dụng công thức (4.22) xác định được điện trở của hệ dây chống sét - cột:

$$R_{tn} = \frac{R_c}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{R_c}{R_{dcs}} + \frac{1}{4}}} = \frac{10}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{10}{0,925} + \frac{1}{4}}} = 2,61\ \Omega$$

4.54 Một đường dây cao thế 110 kV dài 80 km, chiều dài trung bình của khoảng vượt là 200 m. Để bảo vệ chống sét cho đường dây người ta dùng hai dây chống sét mã hiệu ΠC-50. Điện trở nối đất của cột điện là 10 Ω. Tính điện trở của hệ thống dây chống sét - cột điện.

Giải Số cột điện có trong đường dây

$$m = \frac{80}{0,25} + 1 = 321 \text{ cột}$$

Tra bảng phụ lục PL49 nhận được loại dây ΠC-50 có 3,7 Ω/km. Áp dụng công thức (4.24) cho

$$R_{dcs} = k.r_o.l_{kv} = 0,5 \times 3,7 \times 0,20 = 0,37\ \Omega$$

Áp dụng công thức (4.22) xác định được điện trở của hệ dây chống sét - cột

$$R_{tn} = \frac{R_c}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{R_c}{R_{dcs}} + \frac{1}{4}}} = \frac{10}{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{10}{0,37} + \frac{1}{4}}} = 1,74\ \Omega$$

4.55 Một đường dây cao thế dài 4 km, chiều dài trung bình của khoảng vượt là 250 m. Để bảo vệ chống sét cho đường dây người ta dùng một dây chống sét mã hiệu ΠC - 50. Điện trở nối đất của cột điện là 15 Ω. Tính điện trở của hệ thống dây chống sét - cột điện.

Giải Số cột điện có trong đường dây

$$m = \frac{4}{0,25} + 1 = 17 \text{ cột}$$

Tra bảng phụ lục PL47 nhận được loại dây ΠC-50 có 3,7 Ω/km. Áp dụng công thức (4.24) cho

$$R_{dcs} = kr_o l_{kv} = 1 \times 3,7 \times 0,250 = 0,925\,\Omega$$

Áp dụng công thức (4.23) xác định được điện trở của hệ dây chống sét - cột:

$$R_{tn} = \sqrt{R_c.R_{dcs}}\ \coth(m \times \sqrt{\frac{R_{dcs}}{R_c}})$$

Đặt $A = \coth(m \times \sqrt{\frac{R_{dcs}}{R_c}}) = \coth(17 \times \sqrt{\frac{0,925}{15}}) = \coth(4,22)$, tìm được:

$$\coth(4,22) = 1,00043$$

Vậy: $R_{tn} = \sqrt{15 \times 0,925} \times 1,00043 = 3,73\ \Omega$

4.56 Một đường dây cao thế dài 4 km, chiều dài trung bình của khoảng vượt là 250 m. Để bảo vệ chống sét cho đường dây người ta dùng hai dây chống sét mã hiệu ΠC-50. Điện trở nối đất của cột điện là 15 Ω. Tính điện trở của hệ thống dây chống sét - cột điện.

Giải Số cột điện có trong đường dây

$$m = \frac{4}{0,25} + 1 = 17 \text{ cột}$$

Tra bảng phụ lục PL47 nhận được loại dây ΠC-50 có 3,7 Ω/km. Áp dụng công thức (4-24) cho

$$R_{dcs} = k.r_o.l_{kv} = 0,5 \times 3,7 \times 0,250 = 0,4625\,\Omega$$

Áp dụng công thức (4.23) xác định được điện trở của hệ dây chống sét - cột:

$$R_{tn} = \sqrt{R_c.R_{dcs}}\,\coth(m \times \sqrt{\frac{R_{dcs}}{R_c}})$$

Đặt $A = \coth(m \times \sqrt{\frac{R_{dcs}}{R_c}}) = \coth(17 \times \sqrt{\frac{0,4625}{15}}) = \coth(2,985)$, tìm được:

$$\coth(2,985) = 1,0051$$

Vậy $R_{tn} = \sqrt{15 \times 0,4625} \times 1,0051 = 2,65\,\Omega$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

4.57 Một đường dây cao thế 110 kV dài 60 km, chiều dài trung bình của khoảng vượt là 200 m. Để bảo vệ chống sét cho đường dây người ta dùng một dây chống sét mã hiệu ΠC-50. Điện trở nối đất của cột điện là 12 Ω. Tính điện trở của hệ thống dây chống sét - cột điện.

4.58 Một đường dây cao thế 110 kV dài 100 km, chiều dài trung bình của khoảng vượt là 200 m. Để bảo vệ chống sét cho đường dây người ta dùng hai dây chống sét mã hiệu ΠC-50. Điện trở nối đất của cột điện là 14 Ω. Tính điện trở của hệ thống dây chống sét - cột điện.

4.59 Một đường dây cao thế dài 3,5 km, chiều dài trung bình của khoảng vượt là 300 m. Để bảo vệ chống sét cho đường dây người ta dùng một dây chống sét mã hiệu ΠC-70. Điện trở nối đất của cột điện là 8 Ω. Tính điện trở của hệ thống dây chống sét - cột điện.

4.60 Một đường dây cao thế dài 2,5 km, chiều dài trung bình của khoảng vượt là 250 m. Để bảo vệ chống sét cho đường dây người ta dùng hai dây

chống sét mã hiệu ПС-70. Điện trở nối đất của cột điện là 7 Ω. Tính điện trở của hệ thống dây chống sét - cột điện.

4.5.2 ĐIỆN TRỞ TỰ NHIÊN CỦA MÓNG CỘT ĐIỆN

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

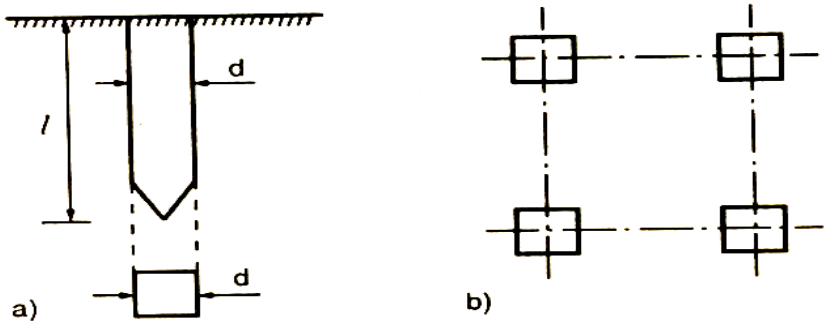
Các cột điện cao thế thường có móng chôn sâu và là tổ hợp của lưới sắt với bê tông, cho nên chúng hình thành dạng nối đất tự nhiên ổn định. Do dạng nối đất này làm việc trong môi trường "đất - bê tông" nên điện trơ suất của nó tăng lên và được tính theo

$$\rho = 1{,}25\rho_{tt} = 1{,}25 \times K_{hc} \times \rho_{do} \qquad (4.25)$$

trong đó: K_{hc} - hệ số hiệu chỉnh cho trong phụ lục PL18.

a- Điện trở nối đất tự nhiên của loại móng cọc

Kích thước và sơ đồ vị trí các trụ được vẽ trong hình 4.50.



Hình 4.50

Điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp của một phần tử được tính như sau:

$$R_{mc} = \frac{1{,}25 \times 1{,}4 \times \rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} \qquad (4.26)$$

và điện trở tản của toàn bộ móng sẽ là

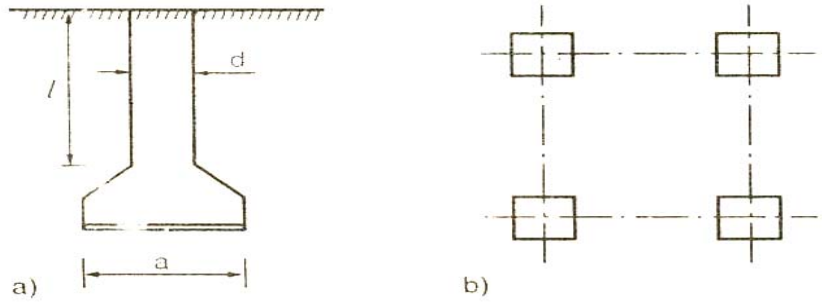
$$R_{\Sigma} = \frac{R_{mc}}{n\eta} \qquad (4.27)$$

trong đó: n - số phần tử của móng;

η - hệ số sử dụng cho trong phụ lục PL24.

b- Điện trở nối đất tự nhiên của loại móng lọ mực

Kích thước và sơ đồ vị trí các trụ được vẽ trong hình 4.51.



Hình 4.51

Điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp của phần thân trụ được tính như sau:

$$R_t = \frac{1,25 \times 1,4 \times \rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} \qquad (4.28)$$

Điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp của phần đế được tính như sau:

$$R_d = \frac{1,25 \times 1,4 \times \rho_{tt}}{2D_{td}} \qquad (4.29)$$

với:

$$D_{td} = \sqrt{\frac{4a^2}{\pi}} \qquad (4.30)$$

và điện trở tản của toàn bộ móng sẽ là

$$R_{\Sigma} = \frac{R_t . R_d}{R_t + R_d} \times \frac{1}{\eta} \qquad (4.31)$$

trong đó: η - hệ số sử dụng:

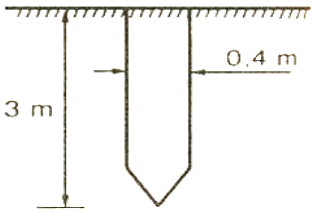
- Bằng 0,9 đối với tần số công nghiệp;
- Bằng 0,8 đối với sóng xung kích.

b- Điện trở nối đất tự nhiên của các dạng móng cột khác

Xem ở phụ lục PL24, PL25, PL26, PL27.

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

4.61 Một cột điện có móng dạng cọc vẽ trong hình 4.52. Tính điện trở nối đất xoay chiều tần số công nghiệp của móng. Cho biết điện trở suất đã quy về tính toán là $100\,\Omega m$.



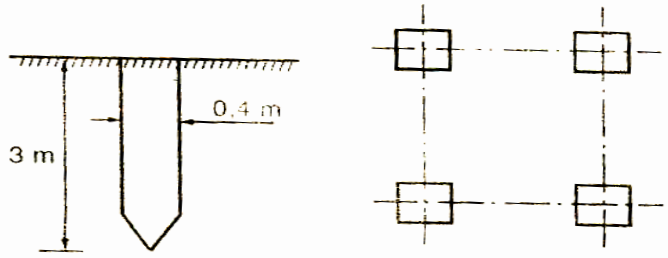
Hình 4.52

Giải Áp dụng công thức (4-26), cho:

$$R_{mc} = \frac{1,25 \times 1,4 \times \rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

$$R_{mc} = \frac{1,25 \times 1,4 \times 100}{2\pi \times 3} \ln \frac{4 \times 3}{0,4} = 31,59\,\Omega$$

4.62 Một cột điện có móng dạng cọc xem hình 4.53. Tính điện trở nối đất xoay chiều tần số công nghiệp của móng. Cho biết điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm.



Hình 4.53

Giải Áp dụng công thức (4.26), cho điện trở của một phần tử:

$$R_{mc} = \frac{1,25 \times 1,4 \times \rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

$$R_{mc} = \frac{1,25 \times 1,4 \times 100}{2\pi \times 3} \ln \frac{4 \times 3}{0,4} = 31,59\ \Omega$$

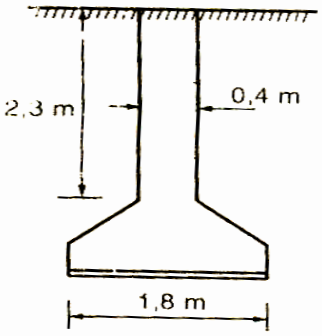
Áp dụng công thức (4.27) tính được điện trở tản của toàn bộ móng sẽ là:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{mc}}{n\eta}$$

Tra phụ lục PL24 cho $\eta = 0,6$. Vậy:

$$R_{\Sigma} = \frac{31,59}{4 \times 0,6} = 13,16\ \Omega$$

4.63 Một cột điện có móng dạng lọ mực vẽ trong hình 4.54. Tính điện trở nối đất xoay chiều tần số công nghiệp của móng. Cho biết điện trở suất đã quy về tính toán là 100 Ωm.



Hình 4.54

Giải Áp dụng công thức (4.28) để tính điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp của phần thân trụ:

$$R_t = \frac{1,25 \times 1,4 \times \rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

$$R_t = \frac{1,25 \times 1,4 \times 100}{2\pi \times 2,3} \ln \frac{4 \times 2,3}{0,4} = 37,5\ \Omega$$

Áp dụng công thức (4.29) tính được điện trở tản xoay chiều tần số công nghiệp của phần đế

$$R_d = \frac{1,25 \times 1,4 \times \rho_{tt}}{2D_{td}}$$

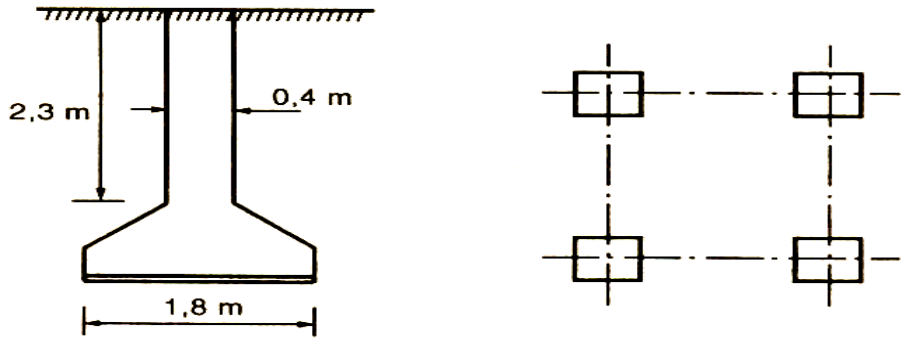
Với: $$D_{td} = \sqrt{\frac{4a^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,8^2}{\pi}} = 2,03\,m$$

Vậy: $$R_d = \frac{1,25 \times 1,4 \times 100}{2 \times 2,03} = 43,4\,\Omega$$

Áp dụng công thức (4.29) xác định được điện trở tản của toàn bộ móng sẽ là:

$$R_\Sigma = \frac{R_t R_d}{R_t + R_d} \times \frac{1}{\eta} = \frac{43,4 \times 37,5}{43,4 + 37,5} \times \frac{1}{0,9} = 24,75\,\Omega$$

4.64 Một cột điện có móng dạng lọ mực xem hình 4.55. Tính điện trở n đất xoay chiều tần số công nghiệp của móng. Cho biết điện trở suất đ quy về tính toán là $100\,\Omega m$.



Hình 4.55

Giải Áp dụng công thức (4.28) để tính điện trở tản xoay chiều tần công nghiệp của phần thân trụ của một phần tử

$$R_t = \frac{1,25 \times 1,4 \times \rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

$$R_t = \frac{1,25 \times 1,4 \times 100}{2\pi \times 2,3} \ln \frac{4 \times 2,3}{0,4} = 37,5\,\Omega$$

Áp dụng công thức (4.29) tính được điện trở tản xoay chiều tần công nghiệp của phần đế của một phần tử

$$R_d = \frac{1,25 \times 1,4 \times \rho_{tt}}{2D_{td}}$$

với: $$D_{td} = \sqrt{\frac{4a^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,8^2}{\pi}} = 2,03\,m$$

Vậy: $$R_d = \frac{1,25 \times 1,4 \times 100}{2 \times 2,03} = 43,4\ \Omega$$

Áp dụng công thức (4.29) xác định được điện trở tản của móng một phần tử

$$R_\Sigma = \frac{R_t R_d}{R_t + R_d} \times \frac{1}{\eta} = \frac{43,4 \times 37,5}{43,4 + 37,5} \times \frac{1}{0,9} = 24,75\ \Omega$$

Vì móng có bốn phần tử nên điện trở tản xoay chiều của toàn bộ móng sẽ là

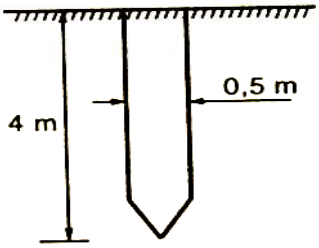
$$R_\Sigma = \frac{R_{mc}}{n\eta}$$

Tra phụ lục PL24 cho $\eta = 0,6$, Vậy:

$$R_\Sigma = \frac{24,75}{4 \times 0,6} = 10,3\Omega$$

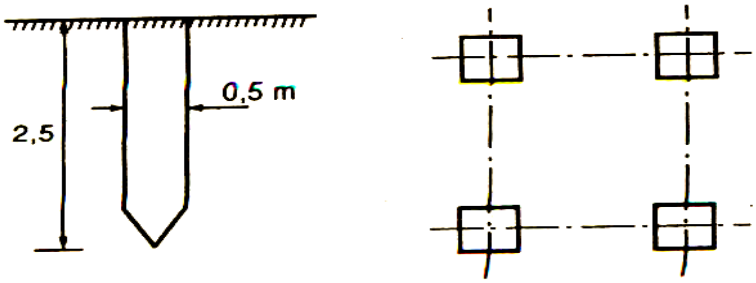
BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

4.65 Một cột điện có móng dạng cọc xem hình 4.56. Tính điện trở nối đất xoay chiều tần số công nghiệp của móng. Cho biết điện trở suất đã quy về tính toán là $200\,\Omega m$.



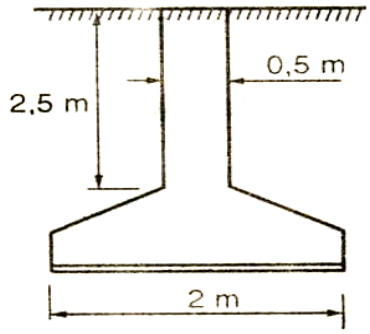
Hình 4.56

4.66 Một cột điện có móng dạng cọc xem hình 4.57. Tính điện trở nối đất xoay chiều tần số công nghiệp của móng. Cho biết điện trở suất đã quy về tính toán là $150\,\Omega m$.



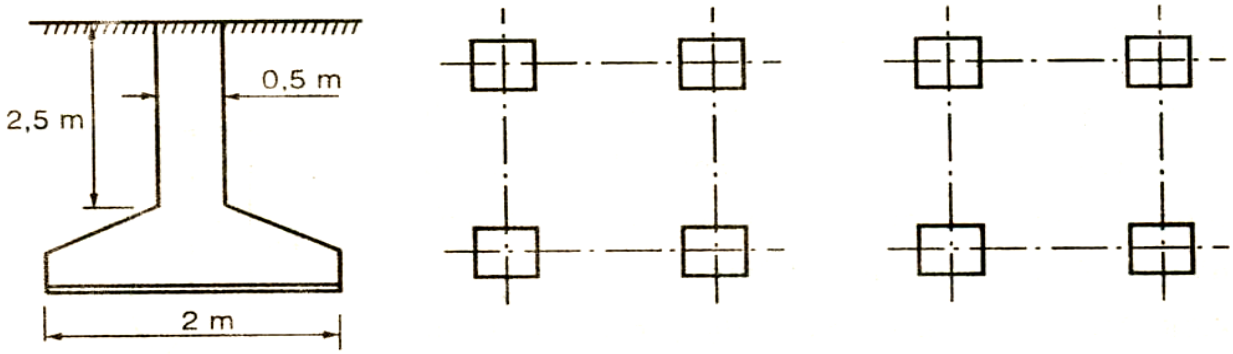
Hình 4.57

4.67 Một cột điện có móng dạng lọ mực xem hình 4.58. Tính điện trở nối đất xoay chiều của móng. Cho biết điện trở suất đã quy về tính toán là $200\,\Omega m$.



Hình 4.58

4.68 Một cột điện có móng dạng lọ mực vẽ trong hình 4.59. Tính điện trở nối đất xoay chiều của móng. Cho biết điện trở suất đã quy về tính toán là 150 Ωm.



Hình 4.59

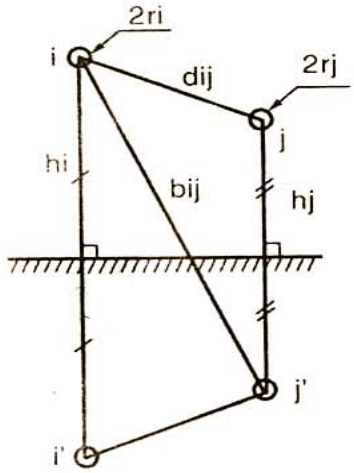
Chương 5

QUÁ TRÌNH SÓNG TRÊN ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

5.1 TỔNG TRỞ SÓNG RIÊNG VÀ TỔNG TRỞ SÓNG HỖ TƯƠNG

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát sơ đồ trong hình 5.1



Hình 5.1

Tổng trở sóng của dây dẫn được tính theo các công thức sau đây:

1- Tổng trở sóng riêng của dây dẫn

Dây thứ i: $$Z_{ii} = 60 \ln \frac{2h_i}{r_i} \quad \Omega \tag{5.1}$$

Dây thứ j: $$Z_{jj} = 60 \ln \frac{2h_j}{r_j} \quad \Omega \tag{5.2}$$

2- Tổng trở sóng hỗ tương

Tổng trở sóng hỗ tương giữa dây *i* và *j* được tính theo biểu thức sau

$$Z_{ij} = 60 \ln \frac{b_{ij}}{d_{ij}} \quad \Omega \tag{5.3}$$

do $d_{ij} = d_{ji}$ và $b_{ij} = b_{ji}$ nên

$$Z_{ij} = Z_{ji} \tag{5.4}$$

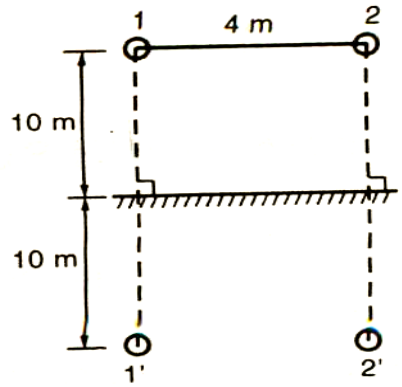
BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.1 Cho hệ hai dây dẫn xem hình H.5.2 với các thông số sau

$$h_1 = h_2 = 10\ m$$

$$r_1 = r_2 = 5\ mm$$

Hãy tính tổng trở sóng riêng của các dây 1,2 và tổng trở sóng hỗ tương giữa chúng.



Hình 5.2

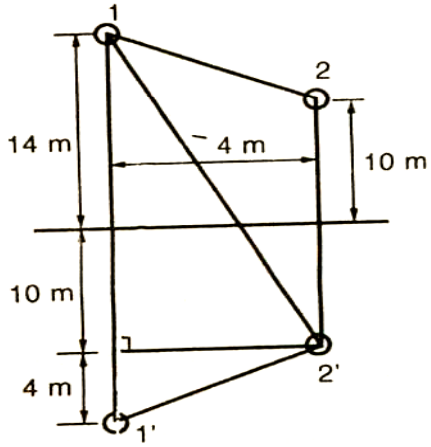
Giải Áp dụng công thức (5.1), cho

$$Z_{11} = Z_{22} = 60 \ln \frac{2h_1}{r_1} = 60 \ln \frac{2 \times 10\ m}{5 \times 10^{-3}\ m} = 497{,}64\ \Omega$$

Áp dụng công thức (5.3), cho

$$Z_{12} = Z_{21} = 60 \ln \frac{\sqrt{20^2 + 4^2}}{4} = 97{,}74\ \Omega$$

5.2 Cho hệ hai dây dẫn vẽ trong hình 5.3 với các thông số như sau: $h_1 = 14\ m$, $h_2 = 10\ m$, $r_1 = 5\ mm$ và $r_2 = 7\ mm$. Hãy tính tổng trở sóng riêng của các dây 1, 2 và tổng trở sóng hỗ tương của dây 1 và 2.



Hình 5.3

Giải Áp dụng công thức (5.1), cho

$$Z_{11} = 60 \ln \frac{2h_1}{r_1}$$

$$= 60 \ln \frac{2 \times 14\ m}{5 \times 10^{-3}\ m} = 517{,}83\ \Omega$$

và: $$Z_{22} = 60 \ln \frac{2h_2}{r_2} = 60 \ln \frac{2 \times 10\ m}{7 \times 10^{-3}\ m} = 477{,}45\ \Omega$$

Áp dụng công thức (5.3), cho

$$Z_{12} = Z_{21} = 60 \ln \frac{b_{12}}{d_{12}} = 60 \ln \frac{\sqrt{24^2 + 4^2}}{\sqrt{4^2 + 4^2}} = 87{,}53\ \Omega$$

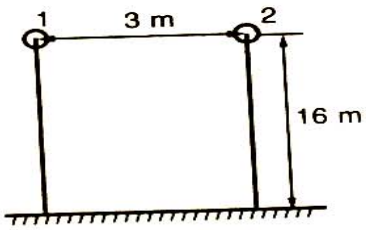
BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

5.3 Cho hệ hai dây dẫn được vẽ trong hình 5.4 với các thông số sau

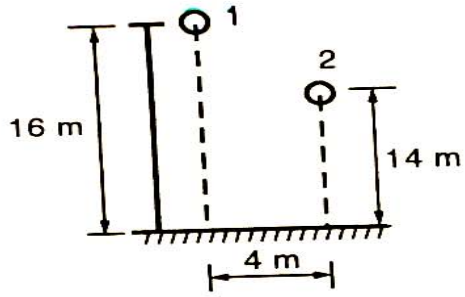
$$h_1 = h_2 = 16\ m$$

$$r_1 = r_2 = 6{,}25\ mm$$

Hãy tính tổng trở sóng riêng của các dây 1, 2 và tổng trở sóng hỗ tương giữa chúng.



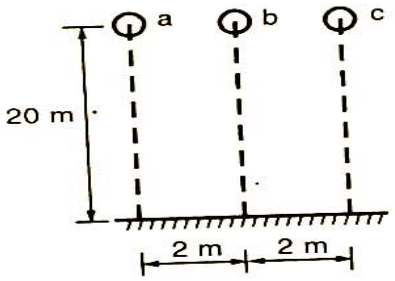
Hình 5.4



Hình 5.5

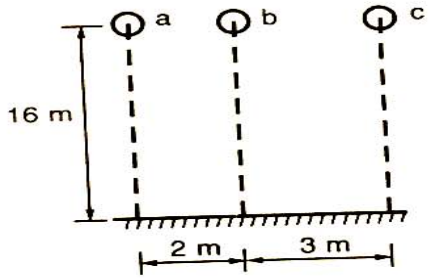
5.4 Cho hệ hai dây dẫn vẽ trong hình 5.5 với các thông số như sau: $h_1 = 16\,m$, $h_2 = 14\,m$, $r_1 = 5\ mm$ và $r_2 = 7\ mm$. Hãy tính tổng trở sóng riêng của các dây 1, 2 và tổng trở sóng hỗ tương của dây 1 và 2.

5.5 Xác định tổng trở sóng riêng và hỗ tương của các dây dẫn trong hai hình 5.6 và hình 5.7.



$r_a = r_b = r_c = 10mm$
$h_a = h_b = h_c = 20m$

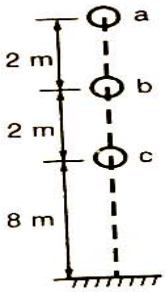
Hình 5.6



$r_a = r_b = r_c = 7mm$
$h_a = h_b = h_c = 16m$

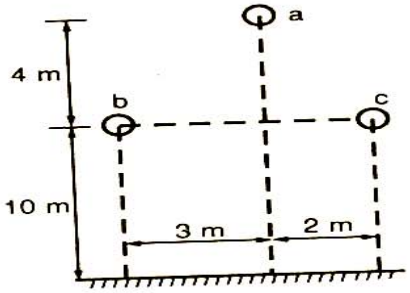
Hình 5.7

5.6 Xác định tổng trở sóng riêng và tổng trở sóng hỗ tương của các dây dẫn trong các hình 5.8; hình 5.9; hình 5.10.



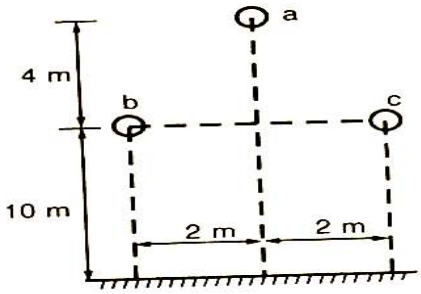
$r_a = r_b = r_c = 7mm$

Hình 5.8



$r_a = r_b = r_c = 7mm$

Hình 5.9



$r_a = r_b = r_c = 7mm$

Hình 5.10

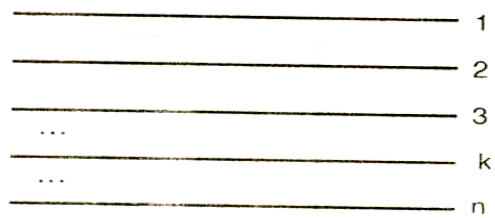
5.2 HỆ PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát sơ đồ trong hình 511:

Gọi U_i, với $i = 1 \div n$ - điện áp trên dây dẫn thứ i

I_i, với $i = 1 \div n$: - dòng điện trên dây dẫn thứ i



Hình 5.11

Z_{ii} - tổng trở sóng riêng của dây thứ i, Ω

Z_{ij} - tổng trở sóng hỗ tương giữa dây i và j, Ω

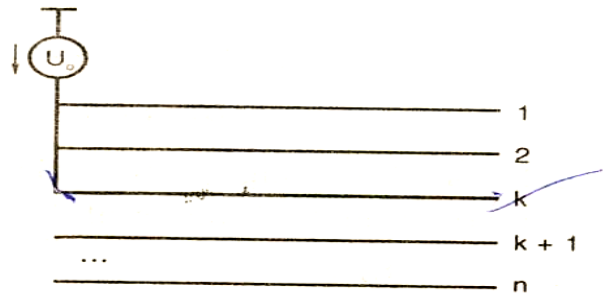
Hệ phương trình Maxwell được viết như sau:

$$\left.\begin{aligned}
u_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + \ldots + Z_{1k}I_k + \ldots + Z_{1n}I_n \\
u_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + \ldots + Z_{2k}I_k + \ldots + Z_{2n}I_n \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
u_k &= Z_{k1}I_1 + Z_{k2}I_2 + \ldots + Z_{kk}I_k + \ldots + Z_{kn}I_n \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
u_n &= Z_{n1}I_1 + Z_{n2}I_2 + \ldots + Z_{nk}I_k + \ldots + Z_{nn}I_n
\end{aligned}\right\} \quad (5.6)$$

Hệ phương trình (5.6) gồm có: n biến u_i, n biến I_i, có nghĩa là hệ có n phương trình nhưng có đến $2n$ biến. Do đó hệ (5.6) chỉ có thể giải được tùy thuộc bài toán cụ thể. Sau đây sẽ khảo sát một vài bài toán.

1- Trường hợp 1: k dây nối nguồn, (n-k) dây hở mạch

Khảo sát hệ n dây dẫn vẽ trong hình 5.12:



Hình 5.12

Trong trường hợp này số biến u và I biết trước sẽ là n

$$u_1 = u_2 = \ldots = u_k = U_o$$
$$I_{k+1} = I_{k+2} = \ldots = I_n = 0$$

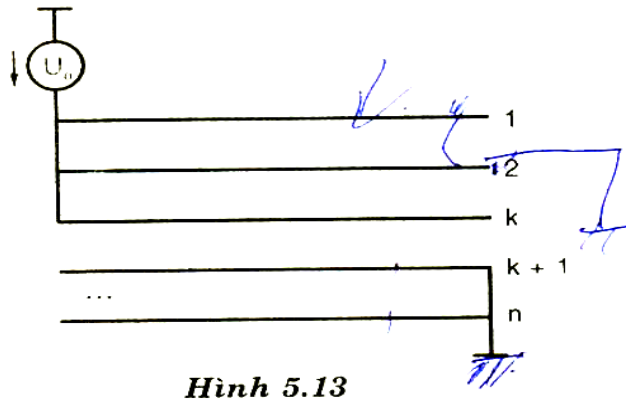
Vậy hệ (5.6) trở thành

$$\begin{aligned}
U_o &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + \ldots + Z_{1k}I_k \\
U_o &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + \ldots + Z_{2k}I_k \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
u_{k+1} &= Z_{k+1,1}I_1 + Z_{k+2,2}I_2 + \ldots + Z_{k+1,k}I_k \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
u_n &= Z_{n,1}I_1 + Z_{n,2}I_2 + \ldots + Z_{n,n}I_n
\end{aligned} \quad (5.7)$$

Và như vậy hệ (5.7) giải được.

2- Trường hợp 2: K dây nối nguồn, (n-k) dây nối đất

Khảo sát hệ n dây dẫn vẽ trong hình 5.13:



Hình 5.13

Trong trường hợp này, số biến u và I biết trước sẽ là n

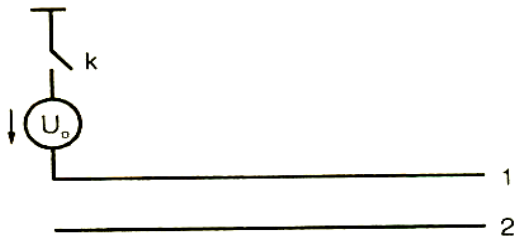
$$u_1 = u_2 = \ldots = u_k = U_o$$
$$u_{k+1} = u_{k+2} = \ldots = u_n = 0$$

Vậy hệ (5.6) trở thành

$$\begin{aligned}
U_o &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + \ldots + Z_{1k}I_k + \ldots + Z_{1n}I_n \\
U_o &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + \ldots + Z_{2k}I_k + \ldots + Z_{2n}I_n \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
U_o &= Z_{k1}I_1 + Z_{k2}I_2 + \ldots + Z_{kk}I_k + \ldots + Z_{kn}I_n \\
0 &= Z_{k+1,1}I_1 + Z_{k+1,2}I_2 + \ldots + Z_{k+1,k}I_k + \ldots + Z_{k+1,n}I_n \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
0 &= Z_{n1}I_1 + Z_{n2}I_2 + \ldots + Z_{nk}I_k + \ldots + Z_{nn}I_n
\end{aligned} \tag{5.8}$$

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.7 Cho hệ hai dây dẫn 1 và 2 lần lượt có tổng trở sóng riêng là Z_1 và Z_2 và tổng trở sóng hỗ tương giữa dây 1 và 2 là Z_{12}. Tác dụng lên dây 1 một điện áp không đổi là U_o, còn dây 2 hở mạch. Xác định dòng điện trên pha 1 và điện áp trên pha 2. Xem hình 5.14.



Hình 5.14

Giải Áp dụng hệ (5.7), viết được

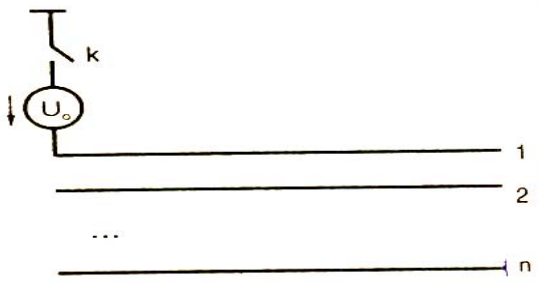
$$\begin{cases} U_o = Z_1 I_1 & (1) \\ u_2 = Z_{12} I_1 & (2) \end{cases}$$

Phương trình (1) cho $I_1 = \dfrac{U_o}{Z_1}$

Thế I_1 vào (2) cho $u_2 = \dfrac{Z_{12}}{Z_1} U_o$

5.8 Cho hệ n dây dẫn được vẽ trong hình 5.15:

Trong đó dây 1 nối vào nguồn điện áp không đổi U_o và các dây còn lại là hở mạch. Xác định dòng điện trên dây 1 và điện áp trên dây thứ k. Các tổng trở sóng riêng và hỗ tương của hệ dây dẫn đã biết.



Hình 5.15

Giải Áp dụng cho hệ (5.7) viết được

$$\begin{cases} U_o = Z_{11}I_1 & (1) \\ u_2 = Z_{21}I_1 \\ \vdots \\ u_k = Z_{k1}I_1 & (k) \\ \vdots \\ u_n = Z_{n1}I_1 \end{cases}$$

Từ phương trình (1) cho

$$I_1 = \frac{U_o}{Z_{11}}$$

Thay giá trị I_1 và phương trình (k) nhận được

$$u_k = \frac{Z_{k1}}{Z_{11}}U_o = K_{k1}U_o, \quad \text{với } K_{k1} = \frac{Z_{k1}}{Z_{11}}$$

trong đó: K_{k1} - hệ số ngẫu hợp của dây 1 lên dây k.

U_k- điện áp ngẫu hợp lên dây k do tác dụng lên dây 1 một điện áp là U_o

5.9 Cho hệ *n* dây dẫn vẽ trong hình 5.16. Trong đó dây 2 nối vào nguồn điện áp không đổi U_o và các dây còn lại là hở mạch. Xác định dòng điện trên các dây 1, 2 và điện áp trên dây thứ k. Các tổng trở sóng riêng và hỗ tương của hệ dây dẫn đã biết.

Hình 5.16

Giải Áp dụng hệ (5.7), viết được

$$\begin{cases} U_o = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 & (1) \\ U_o = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 & (2) \\ u_3 = Z_{31}I_1 + Z_{32}I_2 & \\ \quad \dots & \\ u_k = Z_{k1}I_1 + Z_{k2}I_2 & (k) \\ \quad \dots & \\ u_n = Z_{n1}I_1 + Z_{n2}I_2 & \end{cases}$$

Hệ hai phương trình hai ẩn số (1) và (2) cho nghiệm

$$I_1 = \frac{Z_{12} - Z_{22}}{Z_{12}.Z_{21} - Z_{11}.Z_{22}} U_o$$

$$I_2 = \frac{Z_{21} - Z_{11}}{Z_{12}.Z_{21} - Z_{11}.Z_{22}} U_o$$

Thay I_1 và I_2 vào phương trình (k) ta có

$$u_k = \frac{Z_{k1}(Z_{12} - Z_{22})}{Z_{12}.Z_{21} - Z_{11}.Z_{22}} U_o + \frac{Z_{k2}(Z_{21} - Z_{11})}{Z_{12}.Z_{21} - Z_{11}.Z_{22}} U_o$$

$$= \frac{Z_{k1}(Z_{12} - Z_{22}) + Z_{k2}(Z_{21} - Z_{11})}{Z_{12}.Z_{21} - Z_{11}.Z_{22}} U_o$$

hay $\quad u_k = K_{k1.2}.U_o$

với $\quad K_{k1.2} = \dfrac{Z_{k1}(Z_{12} - Z_{22}) + Z_{k2}(Z_{21} - Z_{11})}{Z_{12}.Z_{21} - Z_{11}.Z_{22}}$

$$\frac{2(Z_{12} - Z_{11})\, Z_{k1}}{(Z_{12} - Z_{11})(Z_{12} + Z_{11})} = \frac{2Z_{k1}}{Z_{12} + Z_{11}}$$

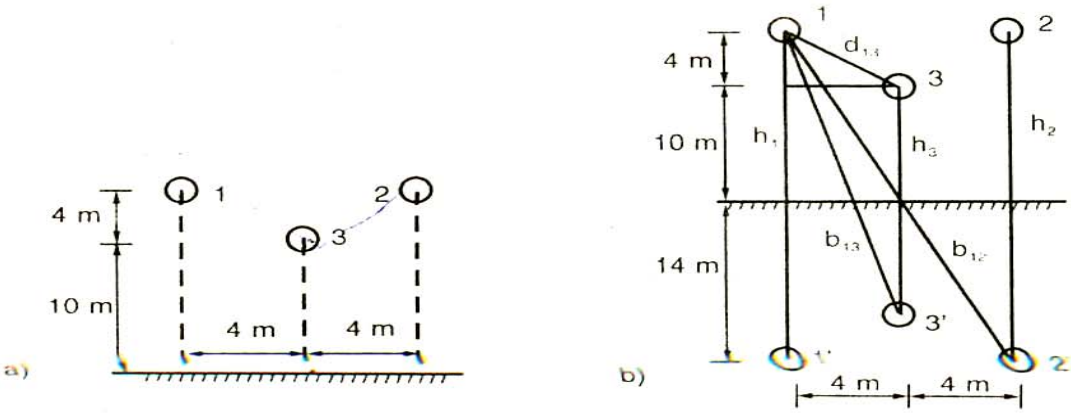
trong đó: $K_{k1.2}$ - hệ số ngẫu hợp của dây 1 và 2 lên dây k.

u_k - điện áp ngẫu hợp lên dây thứ k khi tác dụng lên cả hai dây 1 và 2 một điện áp là U_o

5.10 Cho một hệ truyền tải gồm hai dây: dây chống sét 1 và dây pha a được vẽ trong hình 5.17a. Khảo sát đường dây đang vận hành ở chế độ không tải và điện áp sét tác dụng vào dây chống sét dạng vuông góc với biên độ 100 kV. Xác định dòng chạy trong dây chống sét và điện áp ngẫu hợp lên dây pha a. Cho biết:

Bán kính dây chống sét 7mm

Bán kính dây dẫn 14mm



Hình 5.18

Giải Áp dụng hệ (5.7), viết được

$$\begin{cases} U_o = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ U_o = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \\ U_3 = Z_{31}I_1 + Z_{32}I_2 \end{cases}$$

Để tính các hệ số của I_1 và I_2, sử dụng các biểu thức (5.1), (5.3) và từ hình 5.18b, cho

$$Z_{11} = 60\ln\frac{2h_1}{r_1} = 60\ln\frac{2\times 14\,m}{5\times 10^{-3}\,m} = 517{,}83\ \Omega$$

$$Z_{11} = Z_{22}$$

$$Z_{21} = 60\ln\frac{b_{21}}{d_{21}} = 60\ln\frac{\sqrt{28^2+8^2}}{8} = 77{,}52\ \Omega$$

$$Z_{21} = Z_{12}$$

$$Z_{31} = 60\ln\frac{b_{31}}{d_{31}} = 60\ln\frac{\sqrt{24^2+4^2}}{\sqrt{4^2+4^2}} = 87{,}53\ \Omega$$

$$Z_{32} = Z_{31}$$

Vậy hệ phương trình trên viết lại

$$\begin{cases} 400 = 517{,}83I_1 + 77{,}52I_2 & (1) \\ 400 = 77{,}52I_1 + 517{,}83I_2 & (2) \\ u_3 = 87{,}53I_1 + 87{,}53I_2 & (3) \end{cases}$$

Từ hai phương trình (1) và (2), tìm được

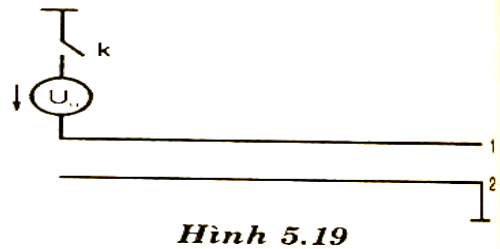
$$I_1 = I_2 = \frac{Z_{12} - Z_{11}}{Z_{12}^2 - Z_{11}^2}U = \frac{U}{Z_{12} + Z_{11}} = \frac{400}{77{,}52 + 517{,}83}$$

Vậy $\quad I_1 = I_2 = 0{,}67\ kA$

Từ phương trình (3) tìm được

$$u_3 = 87{,}53\times 0{,}67 + 87{,}53\times 0{,}67 = 117{,}29\ kV$$

5.12 Một hệ hai dây dẫn 1 và 2 lần lượt có tổng trở sóng riêng là Z_{11}, Z_{22} và tổng trở sóng hỗ tương giữa dây 1 và dây 2 là Z_{12} vẽ trên hình 5.19. Tác dụng lên dây 1 một điện áp không đổi là U_o. Hãy xác định dòng điện trên dây 1 và 2. Giả sử rằng dây 2 đang nối đất.



Hình 5.19

Giải Áp dụng hệ (5.8), viết được

$$U_o = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \quad (1)$$

$$0 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \quad (2)$$

Phương trình (2) cho:

$$I_2 = -\frac{Z_{21}}{Z_{22}}I_1 \quad (3)$$

Thay (3) vào (1), nhận được

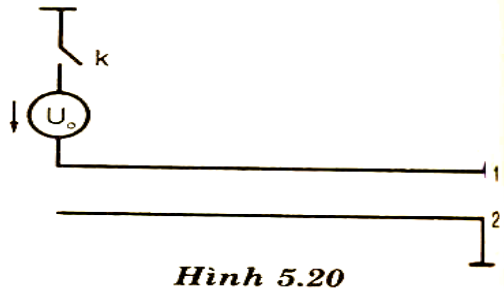
$$U_o = Z_{11}I_1 - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{22}}I_1 = \frac{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}{Z_{22}}I_1$$

vậy

$$I_1 = \frac{Z_{22}}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}U_o$$

$$I_2 = \frac{Z_{21}}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}U_o$$

5.13 Một hệ hai dây dẫn 1 và 2 lần lượt có tổng trở sóng riêng là $Z_{11} = 100\,\Omega$, $Z_{22} = 200\ \Omega$ và tổng trở sóng hỗ tương giữa dây 1 và dây 2 là $Z_{12} = 70\,\Omega$ như hình 5.20. Tác dụng lên dây 1 một điện áp không đổi là $U_o = 100$ kV. Hãy xác định dòng điện trên dây 1 và 2. Giả sử rằng dây 2 đang nối đất.



Hình 5.20

Giải Áp dụng hệ (5.8), viết được

$$U_o = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2$$

$$0 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2$$

hay:

$$100 = 100I_1 + 70I_2 \quad (1)$$

$$0 = 70I_1 + 200I_2 \quad (2)$$

Phương trình (2) cho

$$I_2 = -\frac{70}{200} I_1 \qquad (3)$$

Thay (3) vào (1), nhận được

$$100 = 100 I_1 - \frac{70 \times 70}{200} I_1 = 75{,}5 I_1$$

Vậy: $I_1 = 1{,}325\ kA$

$I_2 = -0{,}464\ kA$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

5.14 Cho hệ hai dây dẫn 1 và 2 lần lượt có tổng trở sóng riêng là $Z_1 = 400\,\Omega$ và $Z_2 = 350\,\Omega$ và tổng trở sóng hỗ tương giữa dây 1 và 2 là $Z_{12} = 60\,\Omega$. Tác dụng lên dây 1 một điện áp không đổi là $U_o = 400$ kV, còn dây 2 hở mạch. Xác định dòng điện trên dây 1 và điện áp trên dây 2. Xem hình 5.21.

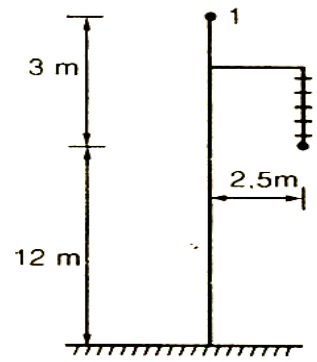
Hình 5.21

Hình 5.22

5.15 Cho hệ n dây dẫn được vẽ trong 5.22, trong đó dây 1 có tổng trở $Z = 400\ \Omega$ nối vào nguồn điện áp không đổi $U_o = 100$ kV và các dây còn lại là hở mạch. Xác định dòng điện trên dây 1 và điện áp trên dây thứ k có tổng trở sóng hỗ tương với dây 1 là 78 Ω.

5.16 Cho hệ n dây dẫn vẽ trong hình 5.23, trong đó dây 2 nối vào nguồn điện áp không đổi $U_o = 300$ kV và các dây còn lại là hở mạch. Xác định dòng điện trên các dây 1, 2 (có tổng trở sóng riêng bằng nhau và bằng 400 Ω; tổng trở sóng hỗ tương giữ dây 1 và dây 2 là 100 Ω) và điện áp trên dây thứ k (có tổng trở sóng hỗ tương với dây 1 và 2 là 59 Ω).

Hình 5.23



Hình 5.24

5.17 Cho một hệ truyền tải gồm hai dây: dây chống sét 1 và dây pha a được vẽ trong hình 5.24. Khảo sát đường dây đang vận hành ở chế độ không tải và điện áp sét tác dụng vào dây chống sét dạng vuông góc với biên độ 400 kV. Xác định dòng điện chạy trong dây chống sét và điện áp ngẫu hợp lên dây pha a. Cho biết

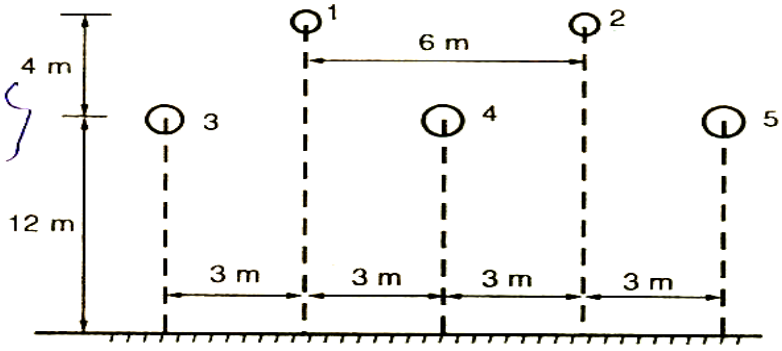
Bán kính dây chống sét 5 mm

Bán kính dây dẫn 7 mm

5.18 Một hệ truyền tải ba pha, không tải, được bố trí như trong hình 5.25. Bán kính của các dây lần lượt bằng $r_1 = r_2 = 6{,}235\,mm$ và $r_3 = r_4 = r_5 = 10\,mm$. Hãy xác định dòng điện trong dây 1, 2 và điện áp ngẫu hợp lên dây 3. Cho biết sóng điện áp sét có dạng vuông góc, biên độ 300 kV tác dụng lên cả hai dây 1 và 2.

$Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2$

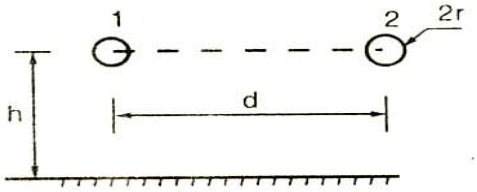
$Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2$



Hình 5.25

5.19 Một hệ hai dây dẫn 1 và 2 lần lượt có tổng trở sóng riêng là $Z_{11} = 350\,\Omega$, $Z_{22} = 400\ \Omega$ và tổng trở sóng hỗ tương giữa dây 1 và dây

2 là Z_{12} = 90 Ω vẽ trên hình 5.26. Tác dụng lên dây 1 một điện áp không đổi là U_o = 200 kV. Hãy xác định dòng điện trên dây 1. Giả sử rằng dây 2 đang nối đất.



Hình 5.26

5.3 SỰ PHẢN XẠ VÀ KHÚC XẠ CỦA SÓNG

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát một hệ truyền sóng gồm hai môi trường có tổng trở sóng bất kì Z_1 và Z_2 giao nhau tại điểm x xem hình 5.27.

Hình 5.27

Khảo sát sóng tại x vào thời điểm t.

u_t - sóng tới tức là sóng đến điểm khảo sát x;

Z_1 - tổng trở sóng của môi trường tới;

u_f - sóng phản xạ tức là sóng từ điểm khảo sát truyền trở lại môi trường tới;

u_k - sóng khúc xạ tức là sóng đi từ điểm khảo sát truyền sang môi trường thứ hai (môi trường khúc xạ);

Z_2 - tổng trở sóng của môi trường khúc xạ.

Một số định nghĩa và công thức đã được chứng minh.

1- Các biểu thức quan hệ giữa sóng điện áp và dòng điện

$$u_t + u_f = u_k \tag{5.9}$$

$$i_t + i_f = i_k \tag{5.10}$$

$$i_t = \frac{u_t}{z_1} \tag{5.11}$$

$$i_f = -\frac{u_f}{z_1} \tag{5.12}$$

$$i_k = \frac{u_k}{z_2} \tag{5.13}$$

2- Hệ số khúc xạ và phản xạ

a- Hệ số khúc và phản xạ điện áp

Hệ số khúc xạ

$$\alpha_u = \frac{u_k}{u_t} = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} \quad (5.14)$$

Hệ số phản xạ

$$\beta_u = \frac{u_f}{u_k} = \frac{z_2 - z_1}{z_1 + z_2} \quad (5.15)$$

$$\alpha_u = 1 + \beta_u \quad (5.16)$$

b- Hệ số khúc và phản xạ dòng điện

Hệ số khúc xạ

$$\alpha_i = \frac{i_k}{i_t} = \frac{2z_1}{z_1 + z_2} \quad (5.17)$$

Hệ số phản xạ

$$\beta_i = \frac{i_f}{i_k} = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \quad (5.18)$$

$$\alpha_i = 1 + \beta_i \quad (5.19)$$

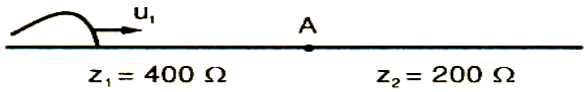
Ghi nhớ:

- *Sóng điện áp phản xạ và sóng dòng phản xạ luôn luôn ngược dấu nhau*
- *Môi trường Z_2 trong trường hợp tổng quát là môi trường phức hợp.*

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.20 Cho một môi trường truyền sóng gồm $Z_1 = 400\ \Omega$ và $Z_2 = 200\ \Omega$ vẽ trong hình 5.28.

Hãy xác định: hệ số khúc xạ, phản xạ điện áp và dòng điện tại A



Hình 5.28

Giải Áp dụng biểu thức (5.14) và (5.15), nhận được

$$\alpha_u = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} = \frac{2 \times 200}{200 + 400} = 0{,}67$$

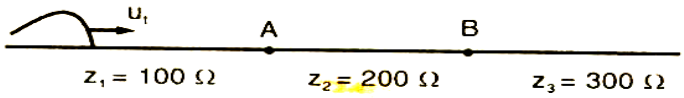
$$\beta_u = \frac{z_2 - z_1}{z_1 + z_2} = \frac{200 - 400}{200 + 400} = -0{,}33$$

Áp dụng biểu thức (5.17) và (5.18), nhận được

$$\alpha_i = \frac{2z_1}{z_1 + z_2} = \frac{2 \times 400}{200 + 400} = 1{,}33$$

$$\beta_i = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} = \frac{400 - 200}{200 + 400} = 0{,}33$$

5.21 Cho một môi trường truyền sóng gồm ba tổng trở sóng ghép nối tiếp nhau. $Z_1 = 100\ \Omega$, $Z_2 = 200\ \Omega$ và $Z_3 = 300\ \Omega$ vẽ trong hình 5.29. Xác định hệ số khúc và phản xạ điện áp tại A và B.



Hình 5.29

Giải Áp dụng các biểu thức (5.14) và (5.15) tại A, nhận được

$$\alpha_u = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} = \frac{2 \times 200}{100 + 200} = 1{,}33$$

$$\beta_u = \frac{z_2 - z_1}{z_1 + z_2} = \frac{200 - 100}{100 + 200} = 0{,}33$$

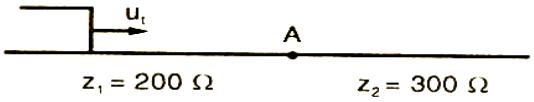
Áp dụng các biểu thức (5.14) và (5.15) tại B, nhận được

$$\alpha_u = \frac{2z_3}{z_2 + z_3} = \frac{2 \times 300}{200 + 300} = 1{,}2$$

$$\beta_u = \frac{z_3 - z_2}{z_2 + z_3} = \frac{300 - 200}{300 + 200} = 0{,}2$$

5.22 Một môi trường truyền sóng gồm hai tổng trở sóng $Z_1 = 200\Omega$, $Z_2 = 300\ \Omega$ như trong hình 5.30.

Hãy xác định biên độ điện áp phản xạ và khúc xạ tại A cho biết sóng điện áp tới u_t có biên độ 100kV.



Hình 5.30

Giải Áp dụng các biểu thức (5.14) và (5.16), cho

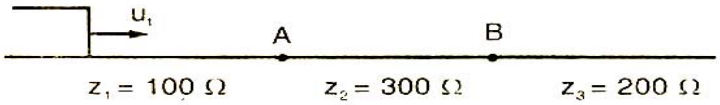
$$\alpha_u = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} = \frac{2 \times 300}{200 + 300} = 1{,}2$$

$$\beta_u = \alpha_u - 1 = 1{,}2 - 1 = 0{,}2$$

Do đó: $u_k = \alpha_u . u_t = 1{,}2 \times 100\ kV = 120\ kV$

$u_f = \beta_u u_t = 0{,}2 \times 100\ kV = 20\ kV$

5.23 Một môi trường truyền sóng gồm ba tổng trở sóng ghép nối tiếp nhau $Z_1 = 100\ \Omega$, $Z_2 = 300\ \Omega$ và $Z_3 = 200\ \Omega$ vẽ trong hình 5.31.



Hình 5.31

Hãy xác định biên độ điện áp phản xạ và khúc xạ tại A và B khi sóng đến A và B lần đầu tiên. Cho biết sóng tới u_t có biên độ 200 kV.

Giải *a- Điện áp khúc xạ và phản xạ tại A*

Áp dụng các biểu thức (5.14) và (5.16), cho

$$\alpha_u = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} = \frac{2 \times 300}{100 + 300} = 1{,}5$$

$$\beta_u = \alpha_u - 1 = 1{,}5 - 1 = 0{,}5$$

Vậy, biên độ điện áp khúc xạ và phản xạ tại A sẽ là

$$u_{kA} = \alpha_u U_t = 1{,}5 \times 200\ kV = 300\ kV$$

$$u_{fA} = \beta_u U_t = 0{,}5 \times 200\ kV = 100\ kV$$

b- Điện áp khúc xạ và phản xạ tại B

Sóng điện áp khúc xạ u_{kA} tại A trở thành sóng tới đến B. Sóng này sẽ tạo nên điện áp khúc xạ và phản xạ tại B.

Áp dụng các biểu thức (5.14) và (5.16), cho

$$\alpha_u = \frac{2z_3}{z_2 + z_3} = \frac{2 \times 200}{300 + 200} = 0{,}8$$

$$\beta_u = \alpha_u - 1 = 0{,}8 - 1 = -0{,}2$$

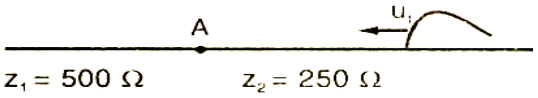
Vậy, biên độ điện áp khúc xạ và phản xạ tại B sẽ là

$$u_{kB} = \alpha_u U_{kA} = 0{,}8 \times 300\ kV = 240\ kV$$

$$u_{fB} = \beta_u U_{kA} = -0{,}2 \times 300\ kV = -60\ kV$$

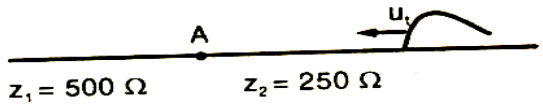
BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

5.24 Cho hệ truyền sóng gồm hai tổng trở sóng $Z_1 = 500\ \Omega$, $Z_2 = 250\ \Omega$ vẽ trong hình 5.32. Hãy xác định hệ số khúc và phản xạ điện áp, hệ số khúc xạ và phản xạ dòng điện tại A.



Hình 5.32

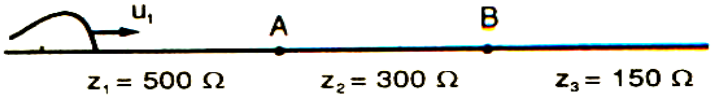
5.25 Làm lại bài toán 5.24, với hệ truyền sóng sau đây (H.5.33).



Hình 5.33

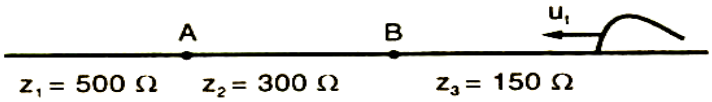
5.26 Cho một môi trường gồm ba tổng trở sóng $Z_1 = 500\ \Omega$, $Z_2 = 300\ \Omega$ và $Z_3 = 150\ \Omega$ như hình 5.34.

Hãy xác định hệ số khúc và phản xạ điện áp tại A và B.



Hình 5.34

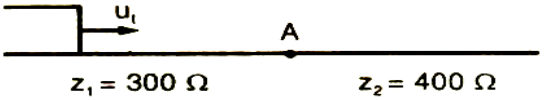
5.27 Làm lại bài toán 5.26 với sóng tới u_t tác dụng vào môi trường z_3 như hình 5.35.



Hình 5.35

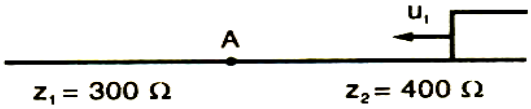
5.28 Một hệ truyền sóng gồm hai môi trường $Z_1 = 300\Omega$, $Z_2 = 400\ \Omega$ như trong hình 5.36.

Hãy xác định biên độ sóng điện áp và dòng điện phản xạ tại A. Cho biết sóng tới u_t có biên độ 500kV.



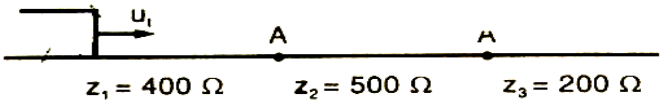
Hình 5.36

5.29 Làm lại bài toán 5.28 với sơ đồ truyền sóng như hình 5.37.



Hình 5.37

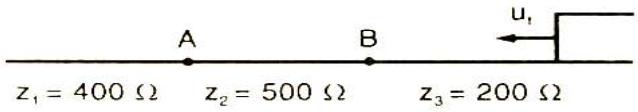
5.30 Cho sơ đồ truyền sóng gồm ba môi trường nối tiếp nhau $Z_1 = 400\ \Omega$, $Z_2 = 500\ \Omega$ và $Z_3 = 200\ \Omega$ như hình 5.38.



Hình 5.38

Hãy xác định biên độ điện áp khúc và phản xạ tại A và B khi sóng đến A và B lần đầu tiên. Cho biết sóng tới u_t có biên độ 275 kV.

5.31 Làm lại bài toán số 5.30 với sơ đồ thay đổi như hình 539.

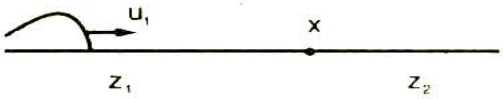


Hình 5.39

5.4 QUY TẮC PETERSON TRONG TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH SÓNG

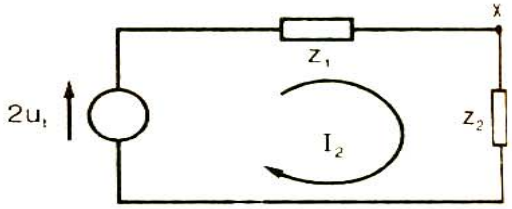
TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát một hệ truyền sóng gồm hai môi trường có tổng trở sóng bất kỳ Z_1 và Z_2 giao nhau tại điểm x như hình 5.40. (Z_2 có thể là số thực hoặc là số phức).



Hình 5.40

Để xác định điện áp khúc xạ u_k và dòng điện khúc xạ $i_k = I_2$ vào môi trường Z_2 có thể sử dụng *Quy tắc Peterson: thay thế sơ đồ truyền sóng bằng một sơ đồ mạch điện (*) và giải bài toán như là một bài toán mạch điện.* Theo quy tắc Peterson thì sơ đồ truyền sóng hình 5.40 được vẽ lại dưới dạng sơ đồ mạch điện như hình 5.41.



Hình 5.41

Từ hình 5.41 có thể xác định được điện áp khúc xạ và dòng khúc xạ sang môi trường Z_2 như sau

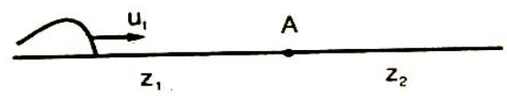
$$I_k = I_2 = \frac{2u_t}{Z_1 + Z_2} \quad (5.20)$$

$$u_k = U_x = Z_2 I_2 = 2u_t \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (5.21)$$

(*) Từ đây mạch điện này gọi tắt là sơ đồ Peterson.

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.32 Cho một môi trường truyền sóng gồm hai tổng trở sóng Z_1 và Z_2 vẽ như hình 5.42.



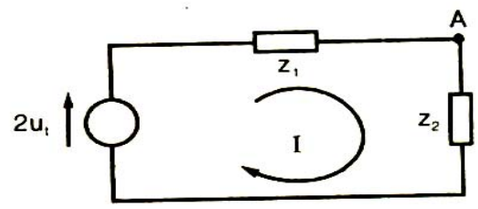
Hình 5.42

Áp dụng quy tắc Peterson để xác định hệ số khúc xạ và phản xạ của điện áp và dòng điện tại A.

Giải *a) Hệ số khúc xạ và phản xạ điện áp*

Áp dụng quy tắc Peterson, vẽ được sơ đồ Peterson ở hình 5.43

Từ sơ đồ hình 5.43 viết được phương trình sau



Hình 5.43

$$2u_t = I(Z_1 + Z_2)$$

hay
$$I = \frac{2u_t}{Z_1 + Z_2}$$

Điện áp tại điểm A (H.5.43) là điện áp khúc xạ sang môi trường Z_2 sẽ là

$$U_A = Z_2 I = u_t \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Vậy: $$\frac{u_A}{u_t} = \alpha_u = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Áp dụng biểu thức (5.16), nhận được

$$\beta_u = \alpha_u - 1 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$\beta_u = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

b) Hệ số khúc xạ và phản xạ dòng điện

Theo định nghĩa, viết được

$$\alpha_u = \frac{u_A}{u_t} = \frac{I.Z_2}{I_t.Z_1}$$

hay
$$\frac{I}{I_t} = \alpha_i = \alpha_u.\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}.\frac{Z_1}{Z_2}$$

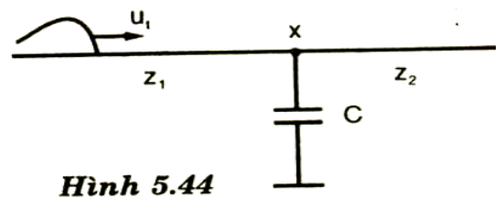
$$\alpha_i = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Áp dụng biểu thức (5-19), nhận được:

$$\beta_i = \alpha_i - 1 = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$\beta_i = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

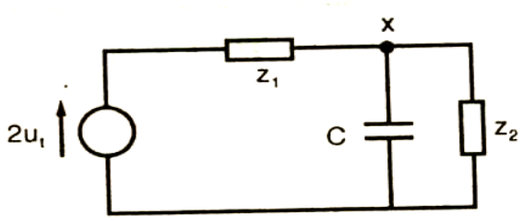
5.33 Cho một môi trường truyền sóng như hình 5.44, Z_1 và Z_2 là số thực. C là điện dung tập trung đặt tại x. Hãy xác định điện áp khúc xạ sang môi trường Z_2. Cho biết: sóng tới có dạng vuông góc, biên độ hằng số U, độ rộng xung vô hạn. Chọn thời gian $t = 0$ khi u_t đến x.



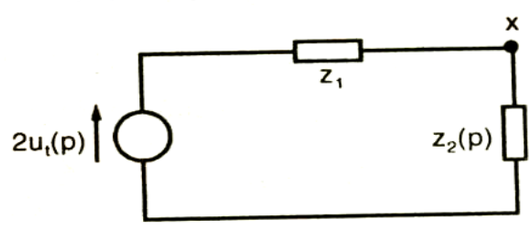
Hình 5.44

Giải Áp dụng quy tắc Peterson, vẽ được sơ đồ Peterson ở hình 545.

Sử dụng toán tử Laplace p cho mạch điện, vẽ lại mạch như hình 5.46.



Hình 5.45



Hình 5.46

với:
$$Z_2(p) = \frac{1}{p.C} // Z_2 = \frac{\frac{Z_2}{p.C}}{\frac{1}{p.C} + Z_2}$$

$$Z_2(p) = \frac{Z_2}{1 + C.Z_2.p}$$

Từ sơ đồ hình 5.46, viết được

$$U_x(p) = 2U_t(p)\frac{Z_2(p)}{Z_1 + Z_2(p)} \quad (1)$$

Với $u_t = U$, $t \geq 0$, nên biểu thức (1) viết lại

$$U_x(p) = 2.U.\frac{1}{p}\frac{Z_2(p)}{Z_1 + Z_2(p)}$$

$$U_x(p) = 2.U.\frac{1}{p}.\frac{\frac{Z_2}{1 + C.Z_2.p}}{Z_1 + \frac{Z_2}{1 + C.Z_2.p}}$$

$$U_x(p) = 2.U.\frac{1}{p}.\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + C.Z_1.Z_2.p}$$

$$U_x(p) = U\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}.\frac{1}{p}.\frac{1}{1 + \frac{C.Z_1.Z_2}{Z_1 + Z_2}.p}$$

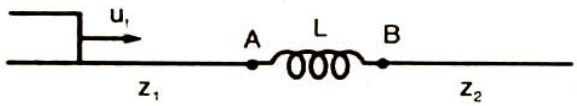
Sử dụng bảng phụ lục PL01 để biến đổi về miền thời gian t, nhận được

$$U_x(t) = U\frac{2.Z_2}{Z_1 + Z_2}\left(1 - e^{-\frac{z_1 + z_2}{cz_1z_2}.t}\right)$$

5.34 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.47, trong đó Z_1, Z_2 là số thực, u_t là sóng tới có biểu thức toán học như sau:

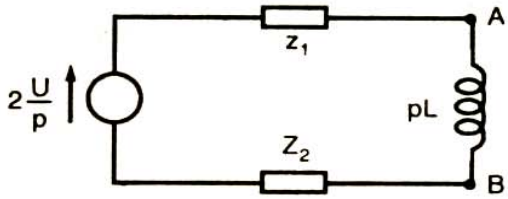
$u_t = U$, $t \geq 0$. L là điện cảm tập trung

Hãy xác định dạng điện áp truyền qua L và dạng điện áp truyền qua môi trường Z_2.



Hình 5.47

Giải Áp dụng quy tắc Peterson vẽ được sơ đồ mạch trong hình 5.48 dưới dạng toán tử Laplace p:



Hình 5.48

a) Xác định điện áp truyền qua điện cảm L.

Điện áp U_A tại điểm A trên sơ đồ Peterson trong hình 5.48 chính là sóng điện áp truyền qua điện cảm L. Luật phân áp cho

$$U_A(p) = 2U_t(p)\frac{Z_2 + Lp}{Z_1 + Z_2 + Lp}$$

$$U_A(p) = 2.U.\frac{1}{p}.\frac{Z_2 + Lp}{Z_1 + Z_2 + Lp}$$

$$= 2.U.\left(\frac{1}{p}.\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + Lp} + \frac{L}{Z_1 + Z_2 + Lp}\right)$$

Sử dụng bảng phụ lục PL02 để biến đổi về miền thời gian t, nhận được

$$U_A(t) = U.\left[\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}\left(1 - e^{-\frac{Z_1+Z_2}{L}.t}\right) + 2e^{-\frac{Z_1+Z_2}{L}.t}\right]$$

hay:

$$U_A(t) = U.\left[\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}e^{-\frac{Z_1+Z_2}{L}.t}\right]$$

b) Xác định điện áp truyền qua môi trường Z_2

Điện áp U_B tại điểm B trên sơ đồ Peterson hình 5.48 là điện áp truyền qua môi trường Z_2. Theo luật phân áp viết được

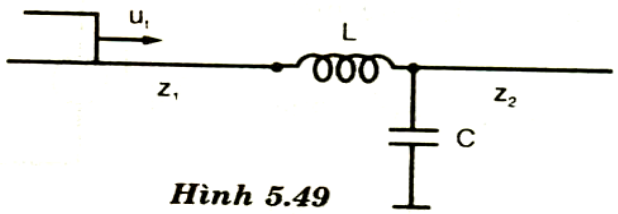
$$U_B(p) = 2U_t(p)\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + Lp} = 2.U.\frac{1}{p}.\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + Lp}$$

$$= 2.U.\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}.\frac{1}{p}.\frac{\frac{Z_1 + Z_2}{L}}{p + \frac{Z_1 + Z_2}{L}}$$

Tra bảng phụ lục PL02 cho điện áp $U_B(t)$

$$u_B(t) = 2.U.\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}\left(1 - e^{-\frac{Z_1+Z_2}{L}t}\right)$$

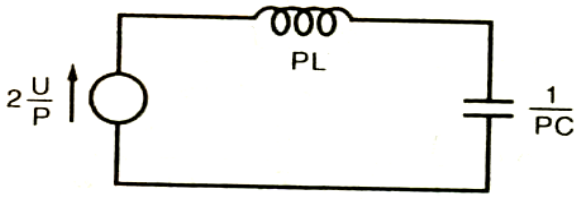
5.35 Cho sơ đồ truyền sóng gồm hai phần tử tập trung L và C vẽ trong hình 5.49.



Hình 5.49

Hãy xác định điện áp trên tụ C trong trường hợp $Z_1 = 0$, $Z_2 = \infty$ và $u_t = U$, $t \geq 0$.

Giải Vẽ sơ đồ Peterson dưới dạng toán tử p trong hình 5.50.



Hình 5.50

Từ hình 5.50, luật phân áp viết được

$$u_C(p) = 2u_t(p)\frac{\frac{1}{Cp}}{\frac{1}{Cp} + Lp} = 2.U.\frac{1}{p}.\frac{1}{1 + LCp^2} =$$

$$= 2.U.\frac{1}{p}.\frac{\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)^2}{\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)^2 + p^2}$$

$$u_C(p) = 2.U.\left[\frac{1}{p} - \frac{p}{p^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)^2}\right]$$

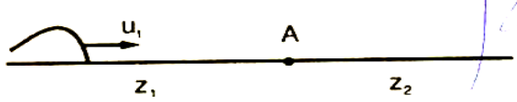
Tra bảng phụ lục PL02 để biến đổi về miền thời gian t, nhận được:

$$u_C(t) = 2.U.\left[1 - \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)t\right]$$

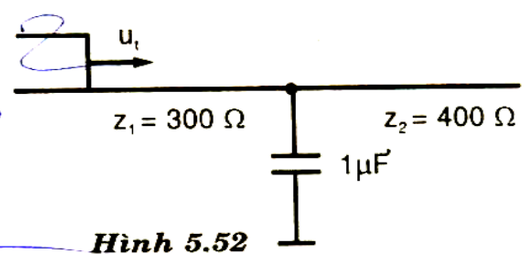
BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

5.36 Cho một môi trường truyền sóng gồm hai tổng trở sóng $Z_1 = 200\ \Omega$ và $Z_2 = 400\ \Omega$ vẽ trong hình 5.51.

Áp dụng quy tắc Peterson để xác định hệ số khúc xạ và phản xạ của điện áp và dòng điện tại A.



Hình 5.51



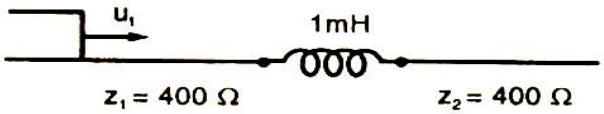
Hình 5.52

5.37 Cho một môi trường truyền sóng như hình 5.52, $Z_1 = 300\,\Omega$ và $Z_2 = 400\ \Omega$. $C = 1\ \mu F$ là điện dung tập trung đặt tại x. Hãy xác định điện áp khúc xạ sang môi trường Z_2. Cho biết: sóng tới có dạng vuông góc, biên độ hằng số $U = 100$ kV, độ rộng xung vô hạn. Chọn thời gian $t = 0$ khi u_t đến x.

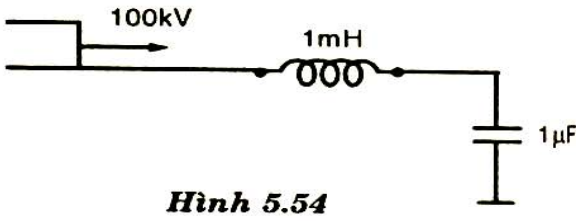
5.38 Cho sơ đồ truyền sóng như hình 5.53.

trong đó: $Z_1 = Z_2 = 400\ \Omega$

u_t - sóng tới có biểu thức toán học như sau: $u_t = U = 400$ kV, $t \geq 0$. $L = 1$mH là điện cảm tập trung. Hãy xác định dạng điện áp truyền qua L và dạng điện áp truyền qua môi trường Z_2.



Hình 5.53



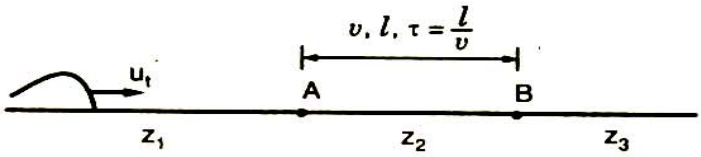
Hình 5.54

5.39 Cho sơ đồ truyền sóng gồm hai phần tử tập trung L = 1 mH và C = 1 μF vẽ trong hình 5.54. Hãy xác định dạng điện áp trên tụ điện C.

5.5 SỰ PHẢN XẠ NHIỀU LẦN CỦA SÓNG

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát sơ đồ truyền sóng gồm ba phần tử z_1, z_2, z_3 như hình 5.55.



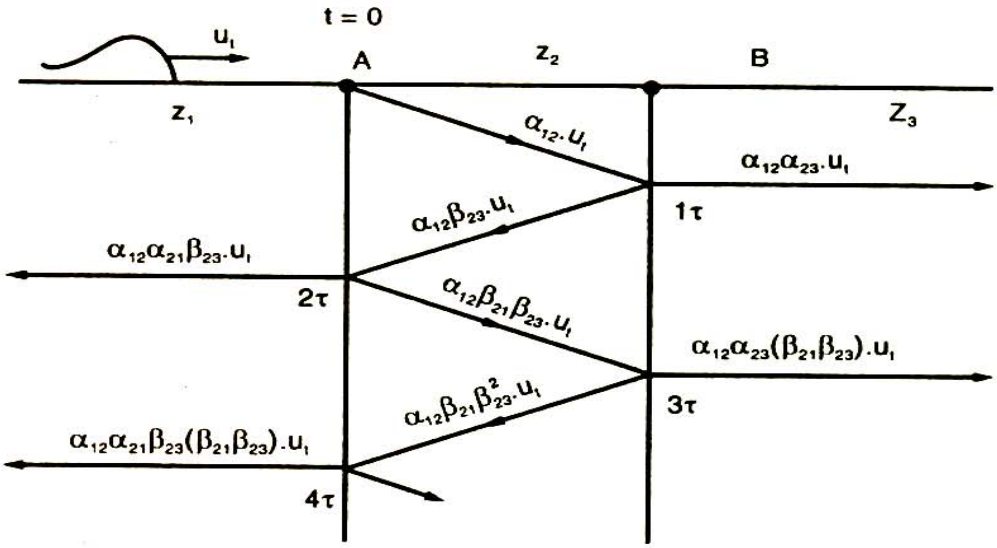
Hình 5.55

trong đó: z_1, z_3 - hai môi trường có chiều dài vô hạn;

v - tốc độ truyền sóng; l - chiều dài của đoạn AB.

Chọn $t = 0$ lúc sóng u_t đến điểm A lần đầu tiên.

Sơ đồ hành trình của sóng truyền từ z_1 được vẽ trong hình 5.56.



Hình 5.56

với quy ước:

α_{ij} - hệ số khúc xạ sóng điện áp truyền từ môi trường i sang môi trường j

$$\alpha_{ij} = \frac{2Z_j}{Z_i + Z_j}$$

β_{ij} - hệ số phản xạ sóng điện áp khi truyền từ môi trường i sang môi trường j

$$\beta_{ij} = \frac{Z_j - Z_i}{Z_i + Z_j}$$

như vậy, ta có $\alpha_{12} = \dfrac{2z_2}{z_1 + z_2}$; $\alpha_{21} = \dfrac{2z_1}{z_1 + z_2}$; $\alpha_{23} = \dfrac{2z_3}{z_2 + z_3}$

$$\beta_{21} = \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2}; \quad \beta_{23} = \frac{z_3 - z_2}{z_3 + z_2}$$

Điện áp tại A và B sau nhiều lần phản xạ được viết như sau:

a- Đối với dạng sóng tới u_t bất kì

$$u_A = \alpha_{12}u(t) + \alpha_{21}\beta_{23}\{u(t-2\tau) + \beta_{23}\beta_{21}.u(t-4\tau) + (\beta_{23}\beta_{21})^2 u(t-6\tau) + \\ + \ldots + (\beta_{23}\beta_{21})^k u[t-2(k+1)\tau] + \ldots\} \quad (5.22)$$

và:

$$u_B = \alpha_{12}\alpha_{23}\{u(t-\tau) + \beta_{23}\beta_{21}.u(t-3\tau) + (\beta_{23}\beta_{21})^2 u(t-5\tau) + \\ + \ldots + (\beta_{23}\beta_{21})^k u[t-(2k+1)\tau] + \ldots\} \quad (5.23)$$

b- Đối với dạng sóng với biên độ hằng số $u_t = U_0$, $t \geq 0$

$$u_A = \alpha_{12}U_o 1(t) + \alpha_{12}\alpha_{21}\beta_{23}U_o\{1(t-2\tau) + \beta_{23}\beta_{21}1(t-4\tau) + \\ + (\beta_{23}\beta_{21})^2 1(t-6\tau) \ldots + (\beta_{23}\beta_{21})^k 1[t-2(k+1)\tau] + \ldots\} \quad (5.24)$$

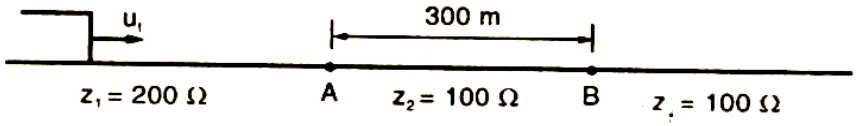
$$u_B = \alpha_{12}\alpha_{23}U_o\{1(t-\tau) + \beta_{23}\beta_{21}1(t-3\tau) + (\beta_{23}\beta_{21})^2 1(t-5\tau) + \\ \ldots + (\beta_{23}\beta_{21})^k 1[t-(2k+1)\tau] + \ldots\} \quad (5.25)$$

Nếu số lần phản xạ tăng lên vô cùng thì:

$$u_A = u_B = \alpha_{13}.U_o \quad \text{với} \quad \alpha_{13} = \frac{2z_3}{z_1 + z_3} \quad (5.26)$$

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.40 Hãy vẽ dạng sóng điện áp tại A và B theo thời gian trong sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5-57, trong đó: $Z_1 = 200\ \Omega$, $Z_2 = 100\,\Omega$, $Z_3 = 300\,\Omega$.



Hình 5.57

Cho u_t = 100 kV, $t \geq 0$. Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến A lần đầu tiên. Đoạn AB = 300 m và tốc độ truyền sóng bằng tốc độ ánh sáng.

Giải Thời gian để sóng truyền từ A đến B

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{300\,m}{300\,m/\mu s} = 1\mu s$$

Các hệ số phản xạ và khúc xạ tại A và B được xác định như sau

$$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 100}{100 + 200} = 0{,}6667$$

$$\alpha_{21} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 200}{100 + 200} = 1{,}3333$$

$$\alpha_{23} = \frac{2Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{2 \times 300}{100 + 300} = 1{,}5$$

$$\alpha_{13} = \frac{2Z_3}{Z_1 + Z_3} = \frac{2 \times 300}{200 + 300} = 1{,}2$$

$$\beta_{23} = \frac{300 - 100}{100 + 300} = 0{,}5$$

$$\beta_{21} = \frac{200 - 100}{100 + 200} = 0{,}3333$$

suy ra: $\alpha_{12}\alpha_{21}\beta_{23} = 0{,}6667 \times 1{,}3333 \times 0{,}5 = 0{,}4445$

$$\beta_{23}\beta_{21} = 0{,}5 \times 0{,}3333 = 0{,}1667$$

$$\alpha_{12}\alpha_{23} = 0{,}6667 \times 1{,}5 = 1{,}00$$

Như vậy, áp dụng biểu thức (5.24) để xác định điện áp u_A theo thời gian

$$u_A(t) = 0{,}6667 \times 100.1(t) + 0{,}4445 \times 100.1(t - 2) +$$
$$+ 0{,}4445 \times 0{,}1667 \times 100.1(t - 4) + 0{,}4445 \times (0{,}1667)^2 \times 100.1(t - 6) + \ldots$$
$$u_A(t) = 66{,}67.1(t) + 44{,}45.1(t - 2) + 7{,}40.1(t - 4) + 1{,}23.1(t - 6) + \ldots$$

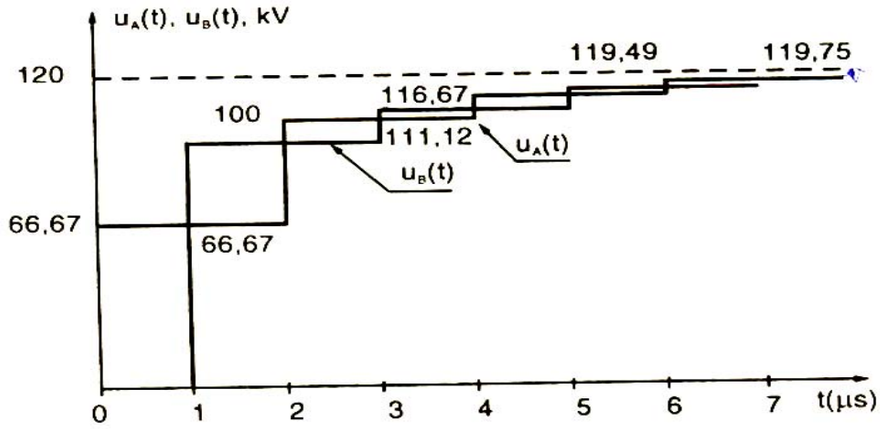
Tương tự, áp dụng biểu thức (5.25) để xác định điện áp u_B theo thời gian

$$u_B(t) = 1{,}0 \times 100.1(t - 1) + (1{,}0) \times (0{,}1667) \times 100.1(t - 3) +$$
$$+ (1{,}0)(0{,}1667)^2 \times 100.1(t - 5) + (1{,}0) \times (0{,}1667)^3 \times 100.1(t - 7) + \ldots$$
$$u_B(t) = 100.1(t - 1) + 16{,}67.1(t - 3) + 2{,}77.1(t - 5) + 0{,}46.1(t - 7) + \ldots$$

Sau nhiều lần phản xạ, điện áp tại A và B bằng nhau và bằng

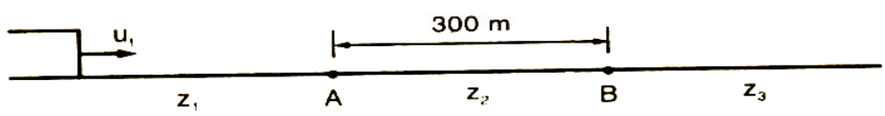
$U = \alpha_{13}U_o = 1,2 \times 100 = 120\ kV$

Dạng điện áp $u_A(t)$ và $u_B(t)$ được vẽ trong hình 5.58



Hình 5.58

5.41 Hãy vẽ dạng sóng điện áp tại A và B theo thời gian trong sơ đồ truyền sóng như hình 5.59, trong đó: $Z_1 = 200\ \Omega$, $Z_2 = 300\ \Omega$, $Z_3 = 100\ \Omega$.



Hình 5.59

Cho $u_t = 100$ kV, $t \geq 0$. Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến A lần đầu tiên. Đoạn AB = 300 m và tốc độ truyền sóng bằng tốc độ ánh sáng.

Giải Thời gian để sóng truyền từ A đến B

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{300\,m}{300\,m/\mu s} = 1\ \mu s$$

Các hệ số phản xạ và khúc xạ tại A và B được xác định như sau

$$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 300}{200 + 300} = 1,2$$

$$\alpha_{21} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 200}{200 + 300} = 0,8$$

$$\alpha_{23} = \frac{2Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{2 \times 100}{100 + 300} = 0,5$$

$$\beta_{23} = \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} = \frac{100 - 300}{100 + 300} = -0,5$$

$$\beta_{21} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{200 - 300}{200 + 300} = -0,2$$

$$\alpha_{13} = \frac{2Z_3}{Z_1 + Z_3} = \frac{2 \times 100}{100 + 200} = 0,67$$

Suy ra các hệ số

$$\alpha_{12}\alpha_{21}\beta_{23} = 1,2 \times 0,8 \times (-0,5) = -0,48$$

$$\beta_{23}\beta_{21} = (-0,5) \times (-0,2) = 0,1$$

$$\alpha_{12}\alpha_{23} = 1,2 \times 0,5 = 0,6$$

Áp dụng biểu thức (5.24) để xác định điện áp u_A theo thời gian

$$u_A(t) = 1,2 \times 100.1(t) - 0,48 \times 100.1(t - 2)$$

$$- 0,48 \times 0,1 \times 100.1(t - 4) - 0,48 \times (0,1)^2 \times 100.1(t - 6) - \ldots$$

$$u_A(t) = 120.1(t) - 48.1(t - 2) - 4,8 \times 1(t - 4) - 0,48 \times 1(t - 6) - \ldots$$

Áp dụng biểu thức (5.25) để xác định điện áp u_B theo thời gian

$$u_B(t) = 0,6 \times 100.1(t - 1) + 0,6 \times 0,1 \times 100.1(t - 3) +$$

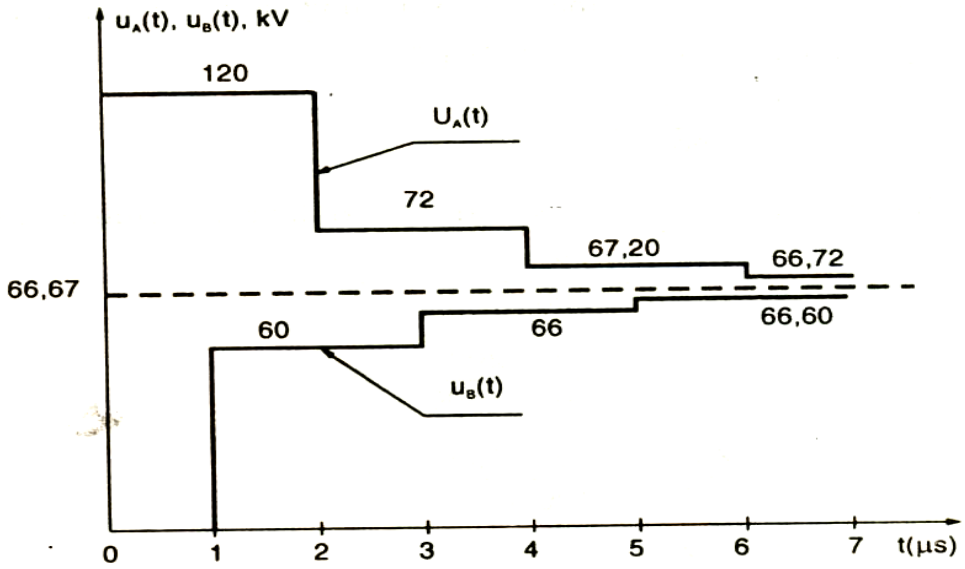
$$+ 0,6 \times (0,1)^2 \times 100.1(t - 5) + 0,6 \times (0,1)^3 \times 100.1(t - 7) + \ldots\ldots$$

$$= 60 \times 1(t - 1) + 6 \times 1(t - 3) + 0,6 \times 1(t - 5) + 0,06 \times 1(t - 7) +$$

Sau nhiều lần phản xạ, điện áp tại A và B bằng nhau và bằng

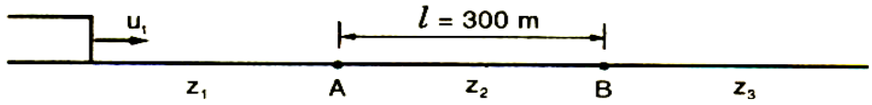
$$U = \alpha_{13}U_o = 0,6667 \times 100 = 66,67\ kV$$

Dạng điện áp $u_A(t)$ và $u_B(t)$ được vẽ trong hình 5.60.



Hình 5.60

5.42 Hãy vẽ dạng sóng điện áp tại A và B theo thời gian trong sơ đồ truyền sóng như hình 5.61, trong đó: $Z_1 = 100\ \Omega$, $Z_2 = 300\ \Omega$, $Z_3 = 600\ \Omega$.



Hình 5.61

Cho $u_t = 100$ kV, $t \geq 0$. Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến A lần đầu tiên. Đoạn AB = 300 m và tốc độ truyền sóng bằng tốc độ ánh sáng.

Giải Thời gian để sóng truyền từ A đến B

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{300\,m}{300\,m/\mu s} = 1\ \mu s$$

Các hệ số phản xạ và khúc xạ tại A và B

$$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 300}{100 + 300} = 1{,}5$$

$$\alpha_{21} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 100}{100 + 300} = 0{,}5$$

$$\alpha_{23} = \frac{2Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{2 \times 600}{300 + 600} = 1{,}3333$$

$$\beta_{23} = \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} = \frac{600 - 300}{600 + 300} = 0{,}3333$$

$$\beta_{21} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{100 - 300}{100 + 300} = -0{,}5$$

$$\alpha_{13} = \frac{2Z_3}{Z_1 + Z_3} = \frac{2 \times 600}{100 + 600} = 1{,}71$$

Suy ra các hệ số

$$\alpha_{12}.\alpha_{21}.\beta_{23} = 1{,}5 \times 0{,}5 \times 0{,}3333 = 0{,}25$$

$$\beta_{23}.\beta_{21} = -0{,}17$$

$$\alpha_{12}.\alpha_{23} = 1{,}5 \times 1{,}33 = 2$$

Áp dụng biểu thức (5.24) để xác định điện áp u_A theo thời gian

$$u_A(t) = 1{,}5 \times 100.1(t) + 0{,}25 \times 100.1(t - 2) -$$

$$- 0{,}25 \times 0{,}17 \times 100.1(t - 4) + 0{,}25 \times (0{,}17)^2 \times 100.1(t - 6) - \ldots$$

$$u_A(t) = 150.1(t) + 25.1(t - 2) - 4{,}25 \times 1(t - 4) + 0{,}72 \times 1(t - 6) - \ldots$$

Áp dụng biểu thức (5.25) để xác định điện áp u_B theo thời gian

$$u_B(t) = 2 \times 100.1(t - 1) - 2 \times 0{,}17 \times 100.1(t - 3)$$

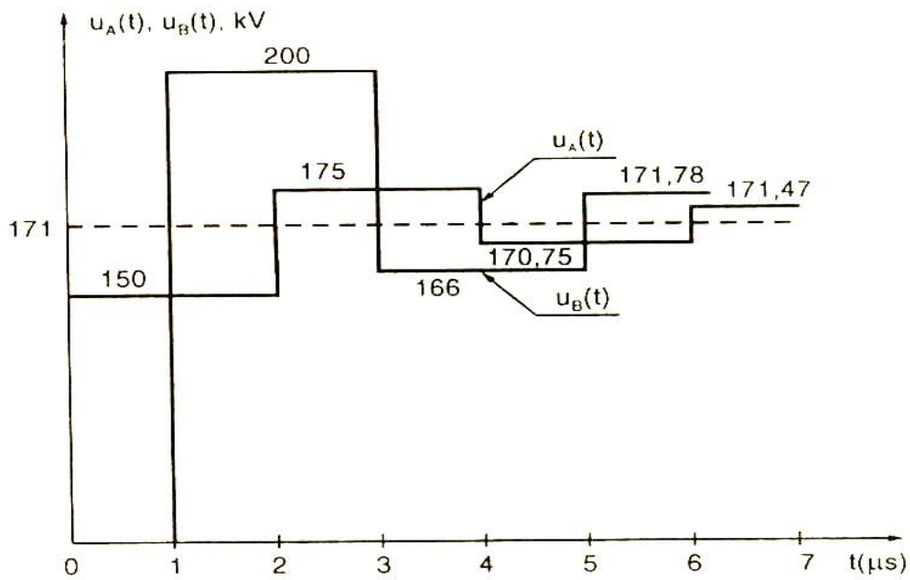
$$+ 2 \times (0{,}17)^2 \times 100.1(t - 5) - 2 \times (0{,}17)^3 \times 100.1(t - 7) + \ldots\ldots$$

$$= 200 \times 1(t - 1) - 34 \times 1(t - 3) + 5{,}78 \times 1(t - 5) - 0{,}98 \times 1(t - 7) +$$

Sau nhiều lần phản xạ, điện áp tại A và B bằng nhau và bằng

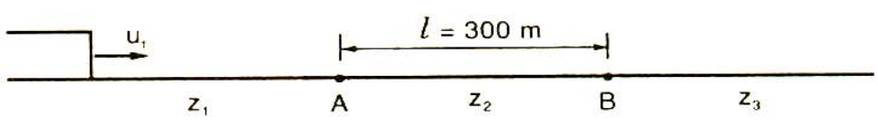
$$U = \alpha_{13} U_o = 1{,}71 \times 100 = 171\ kV$$

Dạng điện áp $u_A(t)$ và $u_B(t)$ được vẽ trong hình 5.62.



Hình 5.62

5.43 Hãy vẽ dạng sóng điện áp tại A và B theo thời gian trong sơ đồ truyền sóng như hình 5.63. Trong đó: $Z_1 = 600\,\Omega$, $Z_2 = 300\ \Omega$, $Z_3 = 100\ \Omega$.



Hình 5.63

Cho $u_t = 100$ kV, $t \geq 0$. Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến A lần đầu tiên. Đoạn AB = 300 m và tốc độ truyền sóng bằng tốc độ ánh sáng.

Giải Thời gian để sóng truyền từ A đến B

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{300\,m}{300\,m/\mu s} = 1\ \mu s$$

Các hệ số phản xạ và khúc xạ tại A và B

$$\alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 300}{600 + 300} = 0,67$$

$$\alpha_{21} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 600}{600 + 300} = 1,33$$

$$\alpha_{23} = \frac{2Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{2 \times 100}{300 + 100} = 0,5$$

$$\beta_{23} = \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} = \frac{100 - 300}{100 + 300} = -0,5$$

$$\beta_{21} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{600 - 300}{600 + 300} = 0,33$$

$$\alpha_{13} = \frac{2Z_3}{Z_1 + Z_3} = \frac{2 \times 100}{100 + 600} = 0,29$$

Suy ra các hệ số

$$\alpha_{12}\alpha_{21}\beta_{23} = 0,67 \times 1,33 \times (-0,5) = -0,45$$

$$\beta_{23}\beta_{21} = (-0,5) \times 0,33 = -0,17$$

$$\alpha_{12}\alpha_{23} = 0,67 \times 0,5 = 0,34$$

Áp dụng biểu thức (5.24) để xác định điện áp u_A theo thời gian

$$u_A(t) = 0,67 \times 100.1(t) - 0,45 \times 100.1(t - 2) +$$

$$+ 0,45 \times 0,17 \times 100.1(t - 4) - 0,45 \times (0,17)^2 \times 100.1(t - 6) - \ldots$$

$$u_A(t) = 67.1(t) - 45.1(t - 2) - 7,65 \times 1(t - 4) + 1,3 \times 1(t - 6) - \ldots$$

Áp dụng biểu thức (5.25) để xác định điện áp u_B theo thời gian

$$u_B(t) = 0,34 \times 100.1(t - 1) - 0,34 \times 0,17 \times 100.1(t - 3)$$

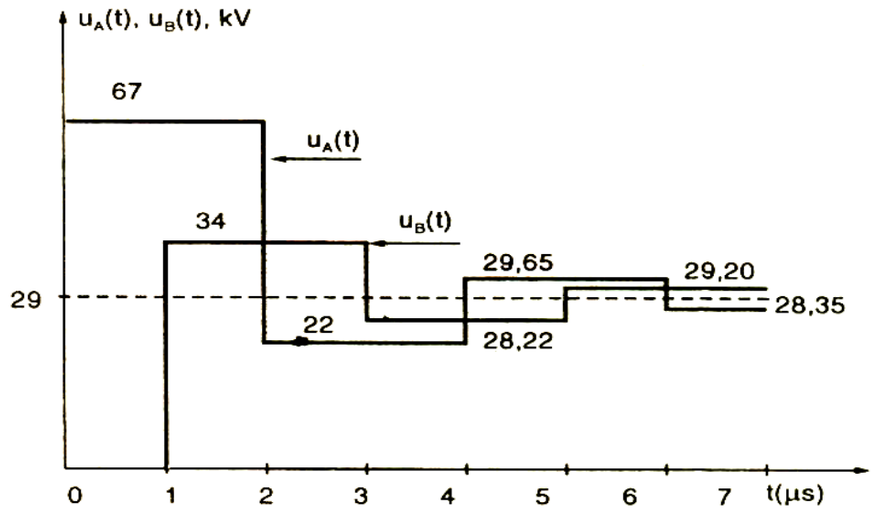
$$+ 0,4 \times (0,17)^2 \times 100.1(t - 5) - 0,34 \times (0,17)^3 \times 100.1(t - 7) + \ldots$$

$$= 34 \times 1(t - 1) - 5,78 \times 1(t - 3) + 0,98 \times 1(t - 5) - 0,17 \times 1(t - 7) + .$$

Sau nhiều lần phản xạ, điện áp tại A và B bằng nhau và bằng:

$$U = \alpha_{13}U_o = 0,29 \times 100 = 29\ kV$$

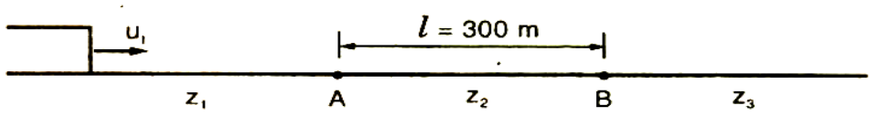
Dạng điện áp $u_A(t)$ và $u_B(t)$ được vẽ trong hình 5.64.



Hình 5.64

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

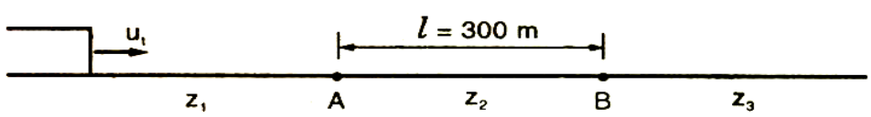
5.44 Hãy vẽ dạng sóng điện áp tại A và B theo thời gian trong sơ đồ truyền sóng như hình 5.65, trong đó: $Z_1 = 200\ \Omega$, $Z_2 = 400\ \Omega$, $Z_3 = 600\ \Omega$.



Hình 5.65

Cho $u_t = 100$ kV, $t \geq 0$. Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến A lần đầu tiên. Đoạn AB = 300 m và tốc độ truyền sóng bằng nửa tốc độ ánh sáng.

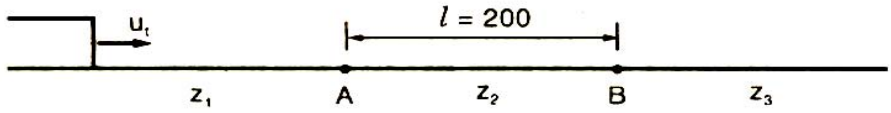
5.45 Hãy vẽ dạng sóng điện áp tại A và B theo thời gian trong sơ đồ truyền sóng như hình 5.66. Trong đó: $Z_1 = 300\ \Omega$, $Z_2 = 600\ \Omega$, $Z_3 = 100\ \Omega$.



Hình 5.66

Cho $u_t = 400$ kV, $t \geq 0$. Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến A lần đầu tiên. Đoạn AB = 300 m và tốc độ truyền sóng bằng tốc độ ánh sáng.

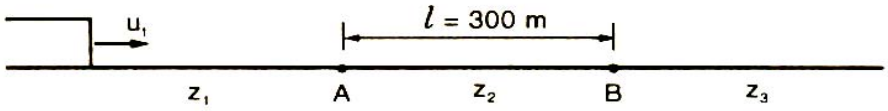
5.46 Hãy vẽ dạng sóng điện áp tại A và B theo thời gian trong sơ đồ truyền sóng như hình 5.67, trong đó: $Z_1 = 500\ \Omega$, $Z_2 = 400\ \Omega$, $Z_3 = 200\ \Omega$.



Hình 5.67

Cho u_t = 200 kV, $t \geq 0$. Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến A lần đầu tiên. Đoạn AB = 200 m và tốc độ truyền sóng bằng 2/3 tốc độ ánh sáng.

5.47 Hãy vẽ dạng sóng điện áp tại A và B theo thời gian trong sơ đồ truyền sóng như hình 5.68, trong đó: $Z_1 = 100\ \Omega$, $Z_2 = 400\ \Omega$, $Z_3 = 600\ \Omega$.



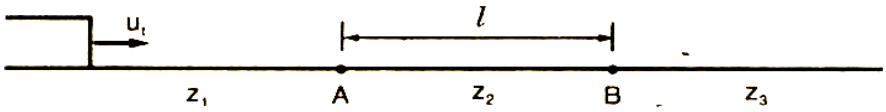
Hình 5.68

Cho u_t = 100 kV, $t \geq 0$. Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến A lần đầu tiên. Đoạn AB = 300 m và tốc độ truyền sóng bằng tốc độ ánh sáng.

5.6 MỘT VÀI PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH TRUYỀN SÓNG

PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ: PHƯƠNG PHÁP CÁC ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH

Khảo sát môi trường truyền sóng vẽ trong hình 5.69:



Hình 5.69

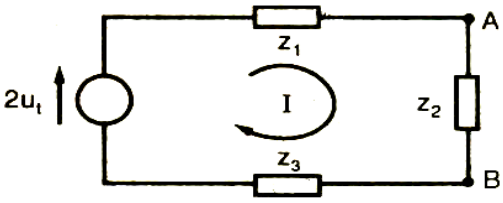
trong đó: z_1,z_3 - tổng trở sóng của môi trường 1, 3 có độ dài vô hạn và z_2 là tổng trở sóng của môi trường 2 có độ dài là l đóng vai trò như là một phần tử tập trung.

Vì thế, áp dụng quy tắc Peterson vẽ được sơ đồ hình 5.70.

trong đó: I - dòng điện chạy qua môi trường z_2.

Từ hình 5.70, viết được:

$$u_A = 2u_t - z_1 I; \qquad u_B = z_3 I$$



Hình 5.70

Mặt khác, khảo sát quá trình truyền sóng trên tổng trở z_2, nếu gọi:

u^+ - sóng truyền từ A đến B: gọi là sóng thuận

u^- - sóng truyền từ B đến A: gọi là sóng nghịch

thì sóng điện áp tại một điểm x bất kỳ nào đó nằm trên z_2 (kể cả tại hai đầu A và B) đều thỏa:

$$u_x = u^+ + u^- \quad \text{(a)}$$

$$\dot{I} = I^+ + I^- \quad \text{(b)}$$

Từ (b) suy ra: $\dot{I} = \dfrac{u^+}{z_2} - \dfrac{u^-}{z_2}$ hay $z_2 I = u^+ - u^-$ (c)

Từ hai phương trình (a) và (c) tính tại A và B cho:

$$u_A = 2u^- + z_2 I$$

$$u_B = 2u^+ - z_2 I$$

Tóm lại nhận được hai cặp phương trình để xác định điện áp tại A và B như sau

• Xác định điện áp tại A

$$u_A = 2u_t - z_1 I \quad (5.27)$$

$$u_A = 2u^- + z_2 I \quad (5.28)$$

Để ý rằng trong hệ hai phương trình (5.27) và (5.28), phương trình đường thẳng được vẽ bởi (5.27) không thay đổi. Phương trình (5.28) đặc trưng một họ đường thẳng được thay đổi bởi giá trị u^- (cần phải xác định), các đường thẳng này có đặc tính là song song với nhau.

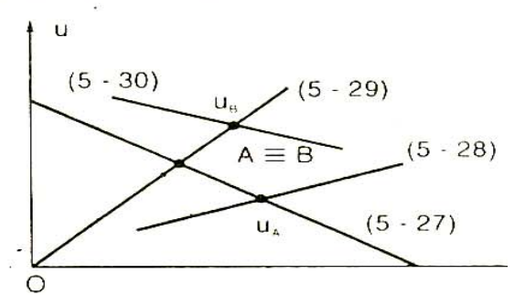
• Xác định điện áp tại B

$$u_B = z_3 I \quad (5.29)$$

$$u_B = 2u^+ - z_2 I \quad (5.30)$$

Để ý rằng trong hệ hai phương trình (5.29) và (5.30), phương trình đường thẳng được vẽ bởi (5.29) không thay đổi. Phương trình (5.30) đặc trưng một họ đường thẳng được thay đổi bởi giá trị u^+ (cần phải xác định), các đường thẳng này có đặc tính là song song với nhau.

Như vậy, điện áp tại A theo thời gian, là giao điểm của đường thẳng (5.27) và họ đường thẳng (5.28); điện áp tại B theo thời gian là giao điểm của đường thẳng (5.29) và họ đường thẳng (5.30) được vẽ trong hình 5.71.

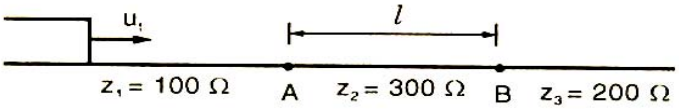


Hình 5.71

Để ý rằng, quan hệ trên hình 5.71 là quan hệ giữa điện áp u_A, u_B theo dòng điện I tương ứng với thời điểm t nào đó. Khi t thay đổi, các giá trị u_A, u_B cũng thay đổi theo. Do đó để tìm quan hệ u_A, u_B theo thời gian cần phải vẽ một đồ thị song hành với đồ thị (H.5.71) và đồ thị này chính là điện áp u_A, u_B cần xác định. Ngoài ra, sau nhiều lần phản xạ, điện áp tại A và B bằng nhau. Các điện áp này thỏa mãn hệ hai phương trình (5.27) và (5.29).

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.48 Cho sơ đồ truyền sóng trong hình 5.72:



Hình 5.72

Xác định dạng điện áp tai A và B theo thời gian đến thời điểm 7τ.

Cho biết: đoạn AB dài 300 m, tốc độ sóng truyền v = 300 m/μs, sóng tới u_t có dạng u_t = 100 kV, t ≥ 0 và chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến A lần đầu tiên.

Giải Sóng truyền từ A đến B hoặc ngược lại mất một khoảng thời gian

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{300m}{300m/\mu s} = 1\,\mu s$$

a) Xác định điện áp tại A_1 trong khoảng thời điểm $0 \le t < 2\mu s$ và tại B_1 trong khoảng thời điểm $1 \le t < 3\mu s$:

Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\mu s$, sóng tới u_t đã tác dụng vào điểm A và chưa có sóng từ B đến.

Áp dụng các biểu thức (5.27) và (5.28):

$$u_A = 2U_o - z_1 I = 200 - 100I \quad (1)$$

$$u_A = 2u^- + z_2 I = 2u^- + 300I \quad (2)$$

Áp dụng các biểu thức (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_B = z_3 I = 200I & (3) \\ u_B = 2u^+ - z_2 I = 2u^+ - 300I & (4) \end{cases}$$

Để ý rằng trong khoảng thời gian nhỏ hơn $\tau = 1\mu s$ thì sóng từ A chưa đến B và trong khoảng thời gian nhỏ hơn $2\tau = 2\mu s$ thì cũng chưa có sóng phản xạ từ B trở về A, vậy các phương trình (1), (2), (3) và (4) viết lại:

$$u_A = 200 - 100I \quad (1.A1)$$

$$u_A = 300I \quad (2.A1)$$

và

$$u_B = 200I \quad (3.B1)$$

$$u_B = 2u_{A1}^{+} - 300I \quad (4.B1)$$

Như vậy, biên độ điện áp tại A trong khoảng thời gian: $0 \le t < 2\mu s$ chính là tung độ của điểm A_1 thỏa hệ (1.A1) và (2.A1) và bằng

$$u_{A1} = 200 - 100\frac{u_{A1}}{300} = 200 - \frac{u_{A1}}{3}$$

$$u_{A1} = 200\frac{3}{4} = 150\ kV$$

và tọa độ điểm A_1 sẽ là

$$A_1 = \begin{cases} u_{A1} = 150\ kV \\ I_{A1} = 0{,}5\ kA \end{cases}$$

Sóng điện áp u_{A1} sau thời gian $\tau = 1\mu s$ sẽ đến B và tạo điện áp u_{B1} tại đây. Điện áp này tồn tại tại B trong khoảng thời gian $1 \le t < 3\ \mu s$. Trước thời điểm $\tau = 1\mu s$ điện áp tại B bằng zero vì sóng chưa đến. u_{B1} sẽ thỏa hệ phương trình (3.B1) và (4.B1):

$$\begin{cases} u_{B1} = 200I \\ u_{B1} = 2u_{A1} - 300I = 300 - 300I \end{cases}$$

Giải hệ này, cho toạ độ điểm B_1

$$B_1 = \begin{cases} u_{B1} = 120\ kV \\ I_{B1} = 0{,}6\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{B1} tại B sẽ tạo nên điện áp nghịch u_{B1}^{-} truyền từ B đến A

$$u_{B1}^{-} = u_{B1} - u_{A1}$$

$$u_{B1}^{-} = 120 - 150 = -30\ kV$$

b) Xác định điện áp tại A_2 trong khoảng thời điểm $2 \le t < 4\mu s$ và tại B_2 trong khoảng thời điểm $3 \le t < 5\mu s$

Sóng u_{B1}^{-} sẽ truyền trở lại A (lần thứ 1) sẽ tạo nên điện áp u_{A2}. Như vậy trong khoảng thời gian: $2 \le t < 4\mu s$ điện áp tại A chính là tung độ của điểm A_2 thỏa hệ (1.A2) và (2.A2) sau

$$u_{A2} = 200 - 100I \quad (1.A2)$$

$$u_{A2} = -60 + 300I \quad (2.A2)$$

Giải hệ này, cho toạ độ điểm A_2

$$A_2 = \begin{cases} u_{A2} = 135\ kV \\ I_{A2} = 0{,}65\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{A2} tại A sẽ tạo nên sóng điện áp thuận $u^{+}{}_{A2}$ từ A truyền trở lại B

$$u^{+}_{A2} = u_{A2} - u^{-}_{B1}$$

$$u^{+}_{A2} = 135 - (-30) = 165\ kV$$

Sóng u^{+}_{A2} từ A đến B sau thời gian là $\tau = 1\mu s$ và tạo nên điện áp ở đây. Toạ độ điểm B_2 (điện áp và dòng điện áp tại B trong khoảng thời gian ($3 \le t < 5\ \mu s$)) sẽ thỏa mãn hệ phương trình (3.B2) và (4.B2)

$$\begin{cases} u_{B2} = 200I \\ u_{B2} = 330 - 300I \end{cases}$$

Giải hệ này, cho tọa độ điểm B_2

$$B_2 = \begin{cases} u_{B2} = 132\ kV \\ I_{B2} = 0{,}66\,kA \end{cases}$$

Điện áp u_{B2} tại B, sẽ tạo nên sóng điện áp ngược u^{-}_{B2} truyền từ B đến A thỏa $u^{-}_{B2} = u_{B2} - u^{+}_{A2} = 132 - 165 = -33\ kV$

c) Xác định điện áp tại A_3 trong khoảng thời điểm $4 \le t < 6\mu s$ và tại B_3 trong khoảng thời điểm $5 \le t < 7\mu s$

Sóng u^{-}_{B2} từ B đến A (lần thứ 2) và sẽ tạo nên điện áp u_{A3} tại A. Như vậy, trong khoảng thời gian: $4 \le t < 6\ \mu s$ điện áp tại A chính là tung độ của điểm A_3 thỏa hệ (1.A3) và (2.A3)

$$\begin{cases} u_{A3} = 200 - 100I & (1.A3) \\ u_{A3} = -66 + 300I & (2.A3) \end{cases}$$

Giải hệ này cho tọa độ điểm A_3

$$A_3 = \begin{cases} u_{A3} = 133{,}5\ kV \\ I_{A3} = 0{,}665\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{A3} tại A, sẽ tạo sóng điện áp thuận u^{+}_{A3} truyền từ A đến B thỏa: $u^{+}_{A3} = u_{A3} - u^{-}_{B2} = 133.5 - (-33) = 166{,}5\ kV$

Sóng điện áp u^{+}_{A3} từ A đến B (lần thứ 3) sẽ tạo nên điện áp u_{B3}. Như vậy trong khoảng thời gian: $5 \le t < 7\mu s$ điện áp tại B chính là tung độ của điểm B_3 thỏa hệ (3.B3) và (4.B3)

$$\begin{cases} u_{B3} = 200I & (3.B3) \\ u_{B3} = 333 - 300I & (4.B3) \end{cases}$$

Giải hệ này cho tọa độ điểm B_3

$$B_3 = \begin{cases} u_{B3} = 133{,}2\ kV \\ I_{B3} = 0{,}666\ kA \end{cases}$$

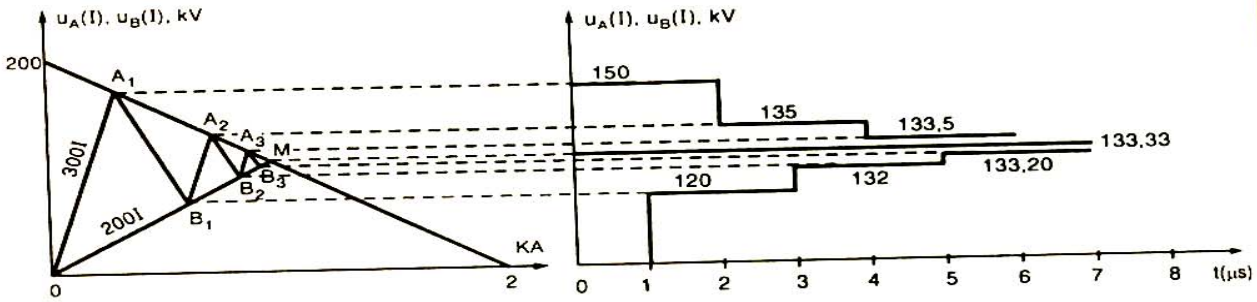
và tiếp tục làm như trên đến thời điểm khảo sát. Dạng điện áp $u_A(t)$ và $u_B(t)$ được vẽ trong hình 5.73 đến thời gian $t = 7\tau = 7\ \mu s$. Cần để ý rằng, sau phản xạ nhiều lần điện áp tại A và B bằng nhau và bằng U. Điện áp này thỏa hệ phương trình

$$U = 200 - 100I$$

$$U = 200I$$

Giải hệ này cho:

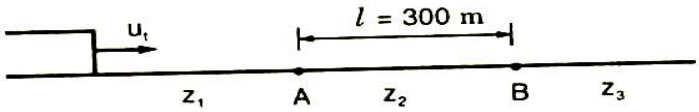
$$U = 133{,}33\ \text{kV}$$



Hình 5.73

5.49 Cho sơ đồ truyền sóng có phần tử $z_1 = 200\,\Omega$, $z_2 = 100\,\Omega$ và $z_3 = 300\,\Omega$ được vẽ trong hình 5.74. Hãy xác định dạng điện áp tại A và B theo thời gian (đến 7τ) cho biết:

- Sóng điện áp có dạng $u(t) = 100$ kV, $t \geq 0$;
- Đoạn AB dài 300 m;
- Tốc độ truyền sóng $v = 300$ m/μs;
- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến A lần đầu tiên.



Hình 5.74

Giải Sóng truyền từ A đến B hoặc ngược lại mất một khoảng thời gian

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{300\,m}{300\,m/\mu s} = 1\ \mu s$$

a) Xác định điện áp tại A_1 trong khoảng thời điểm $0 \le t < 2\mu s$ và tại B_1 trong khoảng thời điểm $1 \le t < 3\mu s$:

Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\mu s$ sóng u_t đã tác dụng vào điểm A và chưa có sóng từ B đến. Áp dụng các biểu thức (5.27) và (5.28), viết được

$$\begin{cases} u_{A1} = 200 - 200I \\ u_{A1} = 100I \end{cases}$$

Giải hệ này, nhận được tọa độ điểm A_1

$$A_1 = \begin{cases} u_{A1} = 66{,}667\ kV \\ I_{A1} = 0{,}6667\ kA \end{cases}$$

Sóng u_{A1} sẽ truyền đến B và tạo điện áp u_{B1} tại B ở thời điểm $t = \tau$ và điện áp này tồn tại trong khoảng thời gian $1\mu s \le t < 3\mu s$. Trước thời điểm $t = \tau = 1\ \mu s$ điện áp tại B bằng 0 vì sóng chưa đến. u_{B1} thỏa hệ (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_{B1} = 300I \\ u_{B1} = 133.334 - 100I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm B_1

$$B_1 = \begin{cases} u_{B1} = 100\ kV \\ I_{B1} = 0{,}3333\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{B1} sẽ tạo nên sóng nghịch u^-_{B1} truyền từ B trở về A thỏa biểu thức

$$u^-_{B1} = u_{B1} - u_{A1} = 100 - 66{,}667 = 33{,}333\ kV$$

b) Xác định điện áp tại A_2 khi $2\ \mu s \le t < 4\ \mu s$ và điện áp tại B_2 khi $3\ \mu s \le t < 5\ \mu s$

Sóng u^-_{B1} truyền từ B đến A tạo điện áp u_{A2} tại A. Điện áp u_{A2} thỏa hệ (5.27), (5.28)

$$\begin{cases} u_{A2} = 200 - 200I \\ u_{A2} = 66{,}666 + 100I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm A_2

$$A_2 = \begin{cases} u_{A2} = 111{,}11\ kV \\ I_{A2} = 0{,}4444\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{A2} sẽ tạo nên sóng thuận u_{A2}^{+} từ A truyền đến B thỏa

$$u_{A2}^{+} = u_{A2} - u_{B1}^{-} = 111,11 - 33,333 = 77,78\ kV$$

Sóng u_{A2}^{+} từ A truyền đến B tạo điện áp u_{B2} tại B thỏa hệ (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_{B2} = 300I \\ u_{B2} = 155.56 - 100I \end{cases}$$

Giải hệ này, ta nhận được tọa độ điểm B_2

$$B_2 = \begin{cases} u_{B2} = 116,67\ kV \\ I_{B2} = 0,3889\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{B2} sẽ tạo nên sóng nghịch u_{B2}^{-} từ B trở về A thỏa biểu thức

$$u_{B2}^{-} = u_{B2} - u_{A2}^{+} = 116,67 - 77,78 = 38,89\ kV$$

c) Xác định điện áp tại A_3 khi $4 \le t < 6\,\mu s$ và điện áp tại B_3 khi $5\,\mu s \le t < 7\,\mu s$.

Sóng u_{B2}^{-} truyền từ B đến A tạo điện áp u_{A2} tại A. Điện áp u_{A3} thỏa hệ (5.27) và (5.28)

$$\begin{cases} u_{A3} = 200 - 200I \\ u_{A3} = 77,78 + 100I \end{cases}$$

Giải hệ này ta nhận được tọa độ điểm A_3

$$A_3 = \begin{cases} u_{A3} = 118,52\ kV \\ I_{A3} = 0,4074\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{A3} sẽ tạo nên sóng thuận u_{A3}^{+} từ A truyền đến B thỏa

$$u_{A3}^{+} = u_{A3} - u_{B2}^{-} = 118,52 - 38,89 = 79,68\ kV$$

Sóng điện áp u_{A3}^{+} truyền đến B tạo điện áp u_{B3} tại B thỏa hệ (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_{B3} = 300I \\ u_{B3} = 159.26 - 100I \end{cases}$$

Giải hệ này, ta nhận được tọa độ điểm B_3

$$B_3 = \begin{cases} u_{B3} = 119,445\ kV \\ I_{B3} = 0,3982\ kA \end{cases}$$

c) Xác định tọa độ điểm M

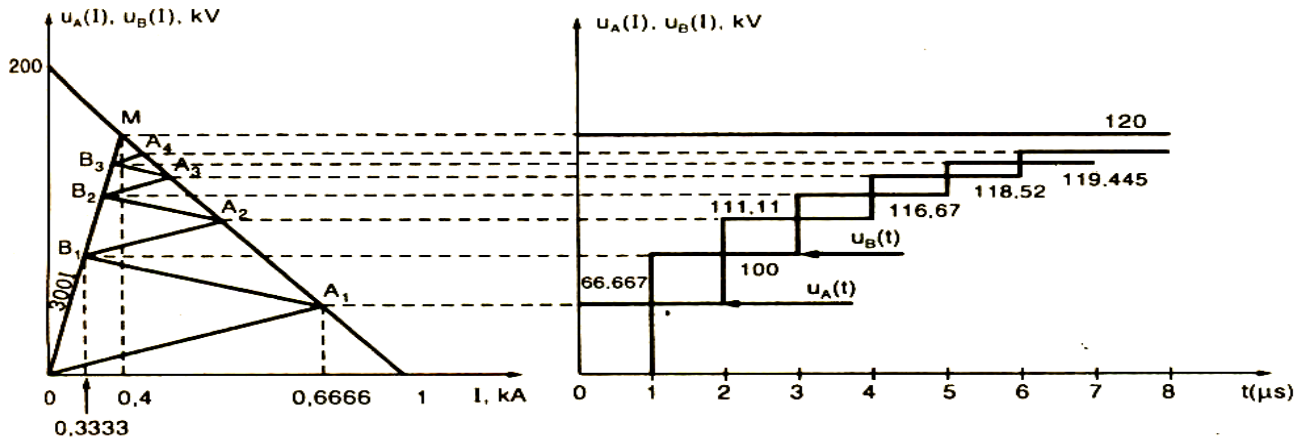
Sau phản xạ nhiều lần, điện áp tại A và B bằng nhau. Điện áp này thỏa hệ phương trình (5.27) và (5.29)

$$\begin{cases} u_M = 200 - 200I \\ u_M = 300I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm M

$$M = \begin{cases} u_M = 120\ kV \\ I_M = 0{,}4\ kA \end{cases}$$

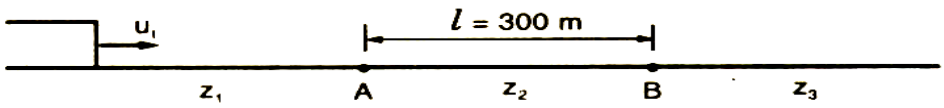
Dạng điện áp $u_A(t)$ và $u_B(t)$ theo t được vẽ trong hình 5.75.



Hình 5.75

5.50 Cho sơ đồ truyền sóng có phần tử $z_1 = 100\Omega$, $z_2 = 200\Omega$ và $z_3 = 300\Omega$ được vẽ trong hình 5.76. Hãy xác định dạng điện áp tại A và B theo thời gian (đến 7τ) cho biết

- Sóng u_t có dạng $u(t) = 100$ kV, $t \geq 0$
- Đoạn AB dài 300 m
- Tốc độ truyền sóng $v = 300$ m/μs
- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến A lần đầu tiên.



Hình 5.76

Giải Thời gian sóng truyền từ A đến B

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{300\,m}{300\,m/\mu s} = 1\ \mu s$$

a) Xác định điện áp tại A_1 trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\,\mu s$ và tại B_1 trong khoảng thời gian $1 \le t < 3\,\mu s$

Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\,\mu s$ sóng u_t đã tác dụng vào điểm A và chưa có sóng từ B đến.

Áp dụng các biểu thức (5.27) và (5.28), viết được

$$\begin{cases} u_{A1} = 200 - 100I \\ u_{A1} = 200I \end{cases}$$

Giải hệ này, nhận được tọa độ điểm A_1

$$A_1 = \begin{cases} u_{A1} = 133{,}33\ kV \\ I_{A1} = 0{,}6667\ kA \end{cases}$$

Sóng u_{A1} sẽ truyền đến B và tạo điện áp u_{B1} tại B ở thời điểm $t = \tau$ và điện áp này tồn tại trong khoảng thời gian $1\mu s \le t < 3\,\mu s$. Trước thời điểm $t = \tau = 1\ \mu s$ điện áp tại B bằng 0 vì sóng chưa đến. u_{B1} thỏa hệ (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_{B1} = 300I \\ u_{B1} = 266{,}67 - 200I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm B_1

$$B_1 = \begin{cases} u_{B1} = 160\ kV \\ I_{B1} = 0{,}5333\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{B1} sẽ tạo nên sóng nghịch u^-_{B1} truyền từ B trở về A thỏa biểu thức

$$u^-_{B1} = u_{B1} - u_{A1} = 160 - 133{,}33 = 26{,}67\ kV$$

b) Xác định điện áp tại A_2 khi $2\,\mu s \le t < 4\,\mu s$ và điện áp tại B_2 khi $3\,\mu s \le t < 5\,\mu s$

Sóng u^-_{B1} truyền từ B đến A tạo điện áp u_{A2} tại A. Điện áp u_{A2} thỏa hệ (5.27), (5.28)

$$\begin{cases} u_{A2} = 200 - 100I \\ u_{A2} = 53{,}34 + 200I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm A_2

$$A_2 = \begin{cases} u_{A2} = 151{,}11\ kV \\ I_{A2} = 0{,}4889\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{A2} sẽ tạo nên sóng thuận u^+_{A2} từ A truyền đến B thỏa

$$u^+_{A2} = u_{A2} - u^-_{B1} = 151{,}11 - 26{,}67 = 124{,}44\ kV$$

Sóng u^+_{A2} truyền từ A đến B tạo điện áp u_{B2} tại B thỏa hệ (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_{B2} = 300I \\ u_{B2} = 248{,}88 - 200I \end{cases}$$

Giải hệ này, ta nhận được tọa độ điểm B_2

$$B_2 = \begin{cases} u_{B2} = 149{,}33\,kV \\ I_{B2} = 0{,}4978\,kA \end{cases}$$

Điện áp u_{B2} sẽ tạo nên sóng nghịch u^-_{B2} truyền từ B trở về A thỏa biểu thức

$$u^-_{B2} = u_{B2} - u^+_{A2} = 149{,}33 - 124{,}44 = 24{,}89\,kV$$

c) Xác định điện áp tại A_3 khi $4 \le t < 6\ \mu s$ và điện áp tại B_3 khi $5\ \mu s \le t < 7\,\mu s$

Sóng u^-_{B2} truyền từ B đến A tạo điện áp u_{A2} tại A. Điện áp u_{A3} thỏa hệ (5.27) và (5.28)

$$\begin{cases} u_{A3} = 200 - 100I \\ u_{A3} = 49{,}78 + 200I \end{cases}$$

Giải hệ này ta nhận được tọa độ điểm A_3

$$A_3 = \begin{cases} u_{A3} = 149{,}93\ kV \\ I_{A3} = 0{,}5007\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{A3} sẽ tạo nên sóng thuận u^+_{A3} từ A truyền đến B thỏa

$$u^+_{A3} = u_{A3} - u^-_{B2} = 149{,}93 - 24{,}89 = 125{,}04\ kV$$

Sóng điện áp u^+_{A3} truyền đến B tạo điện áp u_{B3} tại B thỏa hệ (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_{B3} = 300I \\ u_{B3} = 250{,}08 - 200I \end{cases}$$

Giải hệ này, ta nhận được tọa độ điểm B_3

$$B_3 = \begin{cases} u_{B3} = 150{,}05\ kV \\ I_{B3} = 0{,}5002\ kA \end{cases}$$

c) Xác định tọa độ điểm M

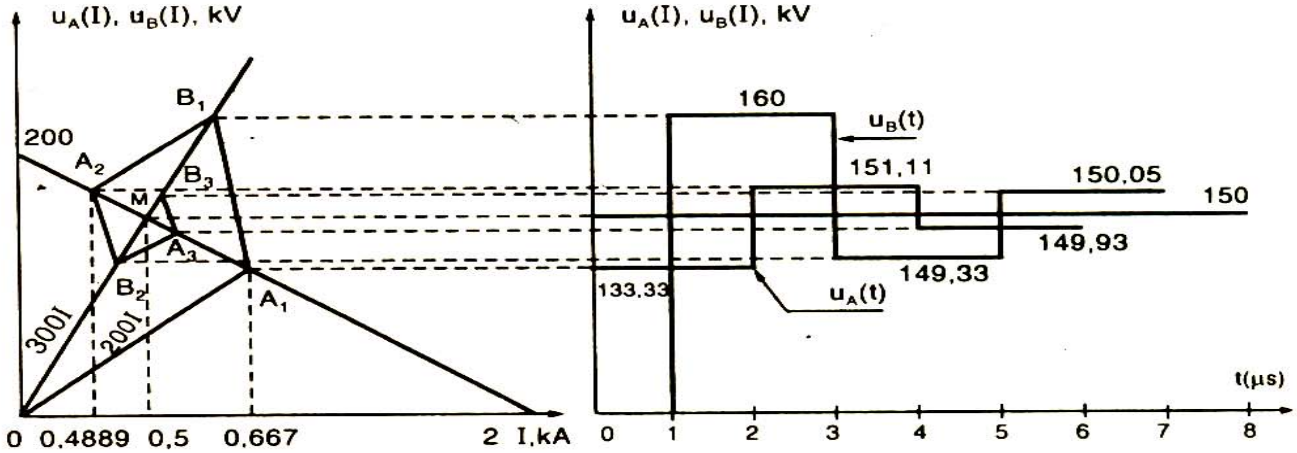
Sau phản xạ nhiều lần, điện áp tại A và B bằng nhau. Điện áp này thỏa hệ phương trình (5.27) và (5.29)

$$\begin{cases} u_M = 200 - 100I \\ u_M = 300I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm M

$$M = \begin{cases} u_M = 150\ kV \\ I_M = 0{,}5\ kA \end{cases}$$

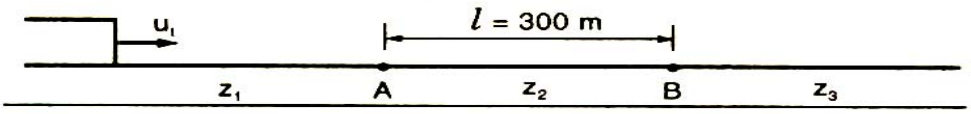
Dạng điện áp $u_A(t)$ và $u_B(t)$ theo t được vẽ trong hình 5.77.



Hình 5.77

5.51 Cho sơ đồ truyền sóng có phần tử $z_1 = 300\ \Omega$, $z_2 = 200\ \Omega$ và $z_3 = 100\,\Omega$ được vẽ trong hình 5.78. Hãy xác định dạng điện áp tại A và B theo thời gian (đến 7τ) cho biết:

- Sóng u_t có dạng u(t) = 100 kV, t ≥ 0
- Đoạn AB dài 300 m
- Tốc độ truyền sóng v = 300 m/μs
- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến A lần đầu tiên.



Hình 5.78

Giải Thời gian sóng truyền từ A đến B

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{300\,m}{300\,m/\mu s} = 1\,\mu s$$

a) Xác định điện áp tại A_1 khi $0 \le t < 2\mu s$ và điện áp tại B_1 khi $1\mu s \le t < 3\mu s$.

Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\,\mu s$ sóng u_t đã tác dụng vào điểm A và chưa có sóng từ B đến. Áp dụng các biểu thức (5.27) và (5.28), viết được

$$\begin{cases} u_{A1} = 200 - 300I \\ u_{A1} = 200I \end{cases}$$

Giải hệ này, nhận được tọa độ điểm A_1

$$A_1 = \begin{cases} u_{A1} = 80\ kV \\ I_{A1} = 0{,}4\ kA \end{cases}$$

Sóng u_{A1} sẽ truyền đến B và tạo điện áp u_{B1} tại B ở thời điểm $t = \tau$ và điện áp này tồn tại trong khoảng thời gian $1\mu s \le t < 3\,\mu s$. Trước thời điểm $t = \tau = 1\ \mu s$ điện áp tại B bằng 0 vì sóng chưa đến. u_{B1} thỏa hệ (5.29) và (5.30):

$$\begin{cases} u_{B1} = 100I \\ u_{B1} = 160 - 200I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm B_1

$$B_1 = \begin{cases} u_{B1} = 53{,}33\ kV \\ I_{B1} = 0{,}5333\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{B1} sẽ tạo nên sóng nghịch u^-_{B1} truyền từ B trở về A thỏa biểu thức:

$$u^-_{B1} = u_{B1} - u_{A1} = 53{,}33 - 80 = 26{,}67\ kV$$

b) Xác định điện áp tại A_2 khi $2\,\mu s \le t < 4\ \mu s$ và điện áp tại B_2 khi $3\,\mu s \le t < 5\ \mu s$

Sóng u_{B1}^{-} truyền từ B đến A tạo điện áp u_{A2} tại A. Điện áp u_{A2} thỏa hệ (5.27), (5.28)

$$\begin{cases} u_{A2} = 200 - 300I \\ u_{A2} = 53{,}34 + 200I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm A_2

$$A_2 = \begin{cases} u_{A2} = 47{,}996\ kV \\ I_{A2} = 0{,}5067\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{A2} sẽ tạo nên sóng thuận u_{A2}^{+} từ A truyền đến B thỏa

$$u_{A2}^{+} = u_{A2} - u_{B1}^{-} = 47{,}996 - 26{,}67 = 24{,}67\ kV$$

Sóng u_{A2}^{+} truyền đến B và tạo điện áp u_{B2} tại B thỏa hệ (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_{B2} = 100I \\ u_{B2} = 149{,}34 - 200I \end{cases}$$

Giải hệ này, ta nhận được tọa độ điểm B_2

$$B_2 = \begin{cases} u_{B2} = 49{,}78\ kV \\ I_{B2} = 0{,}4978\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{B2} sẽ tạo nên sóng nghịch u_{B2}^{-} truyền từ B trở về A thỏa biểu thức:

$$u_{B2}^{-} = u_{B2} - u_{A2}^{+} = 49{,}78 - 74{,}67 = -24{,}89\ kV$$

c) Xác định điện áp tại A_3 khi $4 \le t < 6\,\mu s$ và điện áp tại B_3 khi $5\,\mu s \le t < 7\,\mu s$

Sóng u_{B2}^{-} truyền từ B đến A tạo điện áp u_{A2} tại A. Điện áp u_{A3} thỏa hệ (5.27) và (5.28)

$$\begin{cases} u_{A3} = 200 - 300I \\ u_{A3} = -49{,}78 + 200I \end{cases}$$

Giải hệ này ta nhận được tọa độ điểm A_3

$$A_3 = \begin{cases} u_{A3} = 50{,}12\ kV \\ I_{A3} = 0{,}4996\ kA \end{cases}$$

Điện áp u_{A3} sẽ tạo nên sóng thuận u_{A3}^{+} từ A truyền đến B thỏa

$$u_{A3}^{+} = u_{A3} - u_{B2}^{-} = 149{,}93 - 24{,}89 = 125{,}04\ kV$$

Sóng điện áp u^{+}_{A3} truyền đến B tạo điện áp u_{B3} tại B thỏa hệ (5.29) và (5.30)

$$\begin{cases} u_{B3} = 100I \\ u_{B3} = 150{,}02 - 200I \end{cases}$$

Giải hệ này, ta nhận được tọa độ điểm B_3

$$B_3 = \begin{cases} u_{B3} = 50{,}01 \ kV \\ I_{B3} = 0{,}5001 \ kA \end{cases}$$

c) Xác định tọa độ điểm M

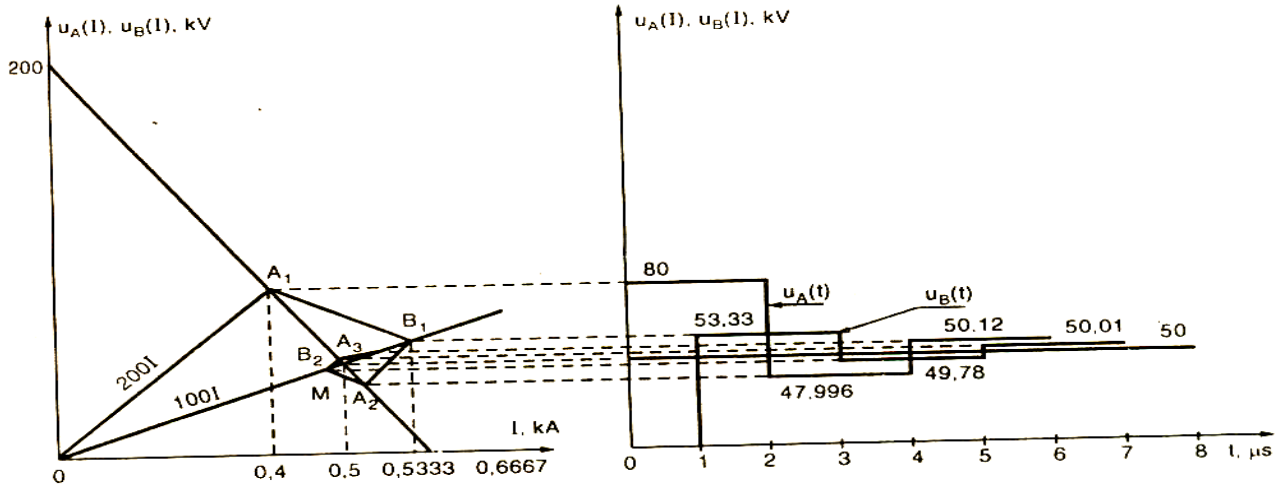
Sau phản xạ nhiều lần, điện áp tại A và B bằng nhau. Điện áp này thỏa hệ phương trình (5.27) và (5.29)

$$\begin{cases} u_M = 200 - 300I \\ u_M = 100I \end{cases}$$

Giải hệ này nhận được tọa độ điểm M

$$M = \begin{cases} u_M = 50 \ kV \\ I_M = 0{,}5 \ kA \end{cases}$$

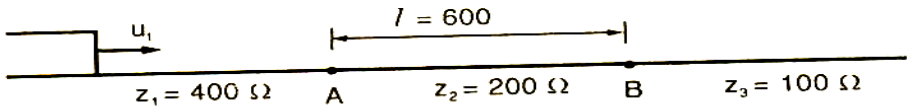
Dạng điện áp u_A và u_B theo t được vẽ trong hình 5.79.



Hình 5.79

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

5.52 Cho sơ đồ truyền sóng trong hình 5.80.



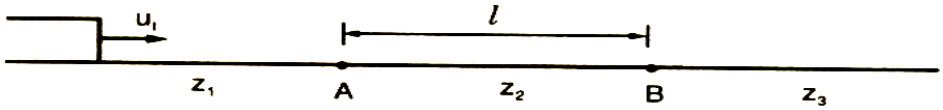
Hình 5.80

Xác định dạng điện áp tại A và B theo thời gian đến thời điểm 7τ.

Cho biết: đoạn AB dài 600 m, tốc độ sóng truyền v = 300 m/μs, sóng tới u_t có dạng u_t = 200 kV, t ≥ 0 và chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến A lần đầu tiên.

5.53 Cho sơ đồ truyền sóng có phần tử z_1 = 300 Ω, z_2 = 200 Ω và z_3 = 400 Ω được vẽ trong hình 5.81. Hãy xác định dạng điện áp tại A và B theo thời gian (đến 9τ) cho biết:

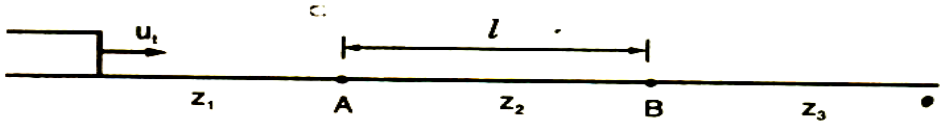
- Sóng điện áp có dạng $u(t)$ = 400 kV, $t \geq 0$
- Đoạn AB dài 400 m
- Tốc độ truyền sóng v = 200 m/μs
- Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến A lần đầu tiên.



Hình 5.81

5.54 Cho sơ đồ truyền sóng có phần tử z_1 = 200 Ω, z_2 = 400 Ω và z_3 = 600 Ω được vẽ trong hình 5.82. Hãy xác định dạng điện áp tại A và B theo thời gian (đến 7τ) cho biết:

- Sóng u_t có dạng $u(t)$ = 200 kV, $t \geq 0$
- Đoạn AB dài 500 m
- Tốc độ truyền sóng v = 250 m/μs
- Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến A lần đầu tiên.



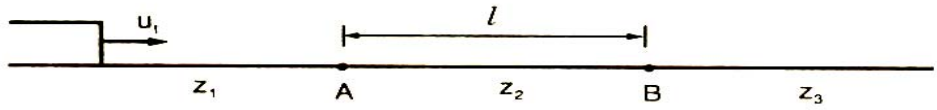
Hình 5.82

5.55 Cho sơ đồ truyền sóng có phần tử z_1 = 400 Ω, z_2 = 300 Ω và z_3 = 200 Ω được vẽ trong hình 5.83. Hãy xác định dạng điện áp tại A và B theo thời gian (đến 8τ) cho biết:

- Sóng u_t có dạng $u(t)$ = 500 kV, t ≥ 0
- Đoạn AB dài 600 m

- Tốc độ truyền sóng v = 300 m/μs

- Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến A lần đầu tiên.

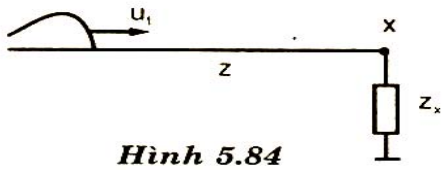


Hình 5.83

PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ: XÁC ĐỊNH ĐIỆN ÁP CUỐI ĐƯỜNG DÂY LÀ MỘT ĐIỆN TRỞ

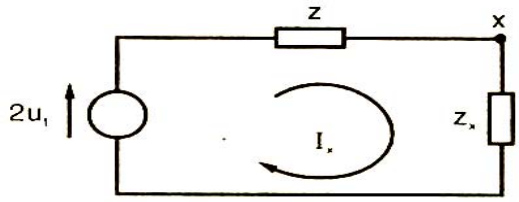
TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát sơ đồ vẽ trong hình 5.84:



Hình 5.84

Sơ đồ Peterson được vẽ trong hình 5.85



Hình 5.85

Luật mạch vòng viết được phương trình

$$2u_t = ZI_x + Z_xI_x \tag{5.31}$$

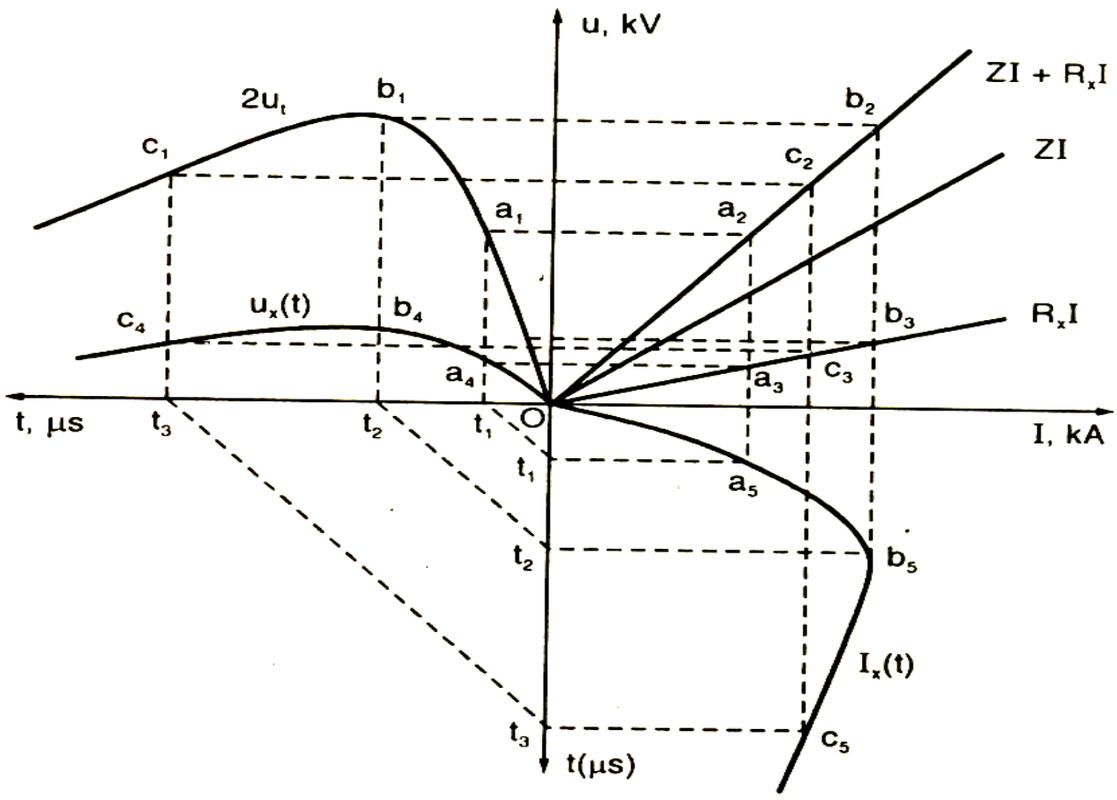
Vẽ trên cùng một đồ thị các đường cong đặc trưng cho vế trái và vế phải của (5.31). Giao điểm của chúng là nghiệm $u_x(t)$ và từ đó suy ra $I_x(t)$.

a- Nếu Z_x là điện trở thuần R_x

Nếu Z_x là điện trở thuần R_x, phương trình (5.31) viết lại

$$2u_t = I_xZ + I_xR_x \tag{5.32}$$

Trong biểu thức (5.32): u_t, Z, R_x đã biết. Đồ thị xác định $u_x(t)$ và $I_x(t)$ được vẽ trong hình 5.86:



Hình 5.86

Nối tất cả các điểm $o, a_4, b_4, c_4, \ldots$ nhận được $u_x(t)$

Nối tất cả các điểm $o, a_5, b_5, c_5, \ldots$ nhận được $I_x(t)$.

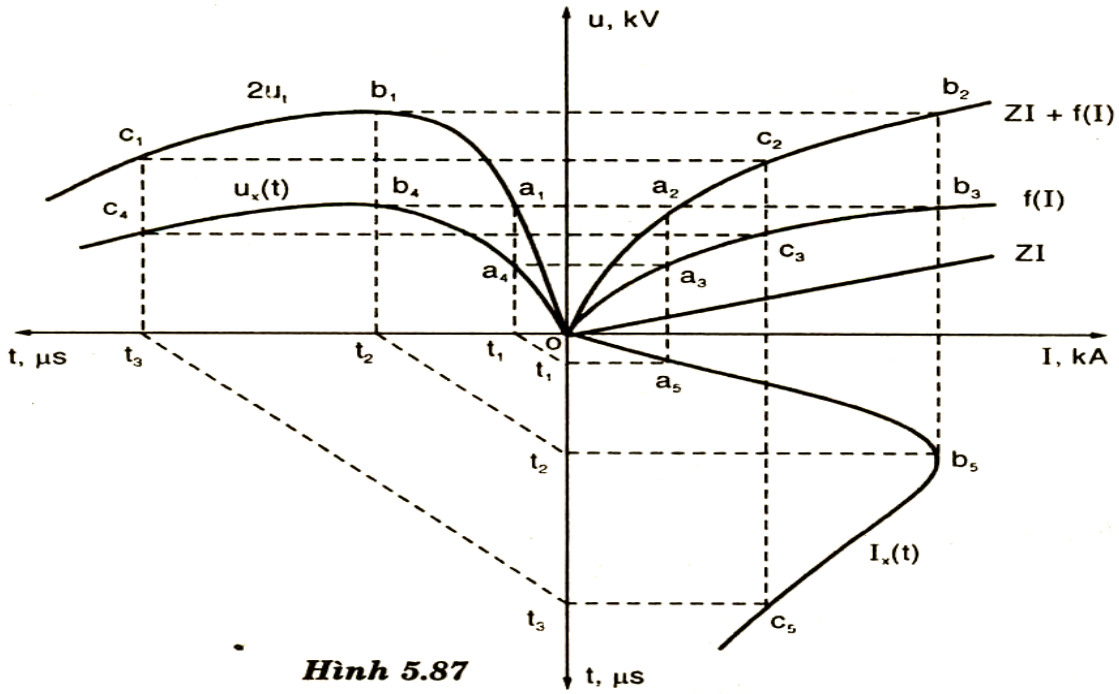
b- Nếu Z_x là điện trở phi tuyến R_x

Trong trường hợp này cần phải xây dựng quan hệ giữa điện áp và dòng điện trên R_x được gọi là đặc tính vôn - amp. Thông thường đặc tính này có dạng $u_x = f(I_x)$.

Từ biểu thức (5.31), viết được

$$2u_t = I_x Z + f(I_x) \qquad (5.33)$$

Đồ thị xác định $u_x(t)$ và $I_x(t)$ được vẽ trong hình 5.87.



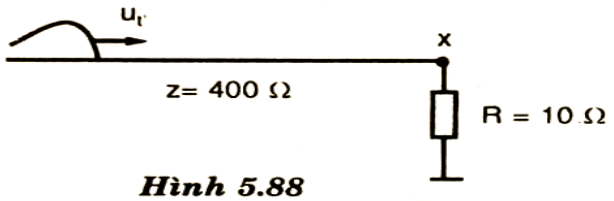
Hình 5.87

Nối tất cả các điểm $o, a_4, b_4, c_4, \ldots$ nhận được $u_x(t)$

Nối tất cả các điểm $o, a_5, b_5, c_5, \ldots$ nhận được $I_x(t)$.

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.56 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.88:



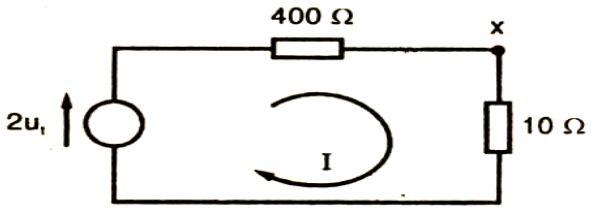
Hình 5.88

Cho biết:

- Sóng u_t có dạng u_t = 100 kV, t ≥ 0
- Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng đến x.

Dùng phương pháp đồ thị để xác định dạng điện áp và dòng điện theo thời gian t trên R.

Giải: Theo quy tắc Peterson, sơ đồ hình 5.88 được vẽ lại trong hình 589:

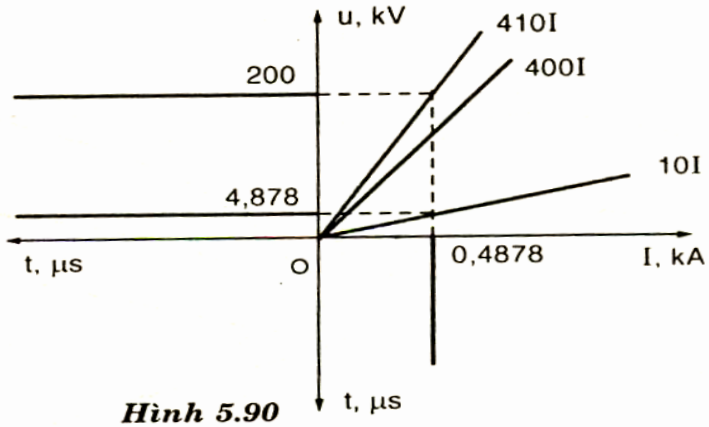


Hình 5.89

Luật mạch vòng viết (H.5.89):

$2u_t = 400I + 10I$ (1)

Vẽ đồ thị của các hàm số đặc trưng vế trái và vế phải của phương trình (1) ở hình 5.90:



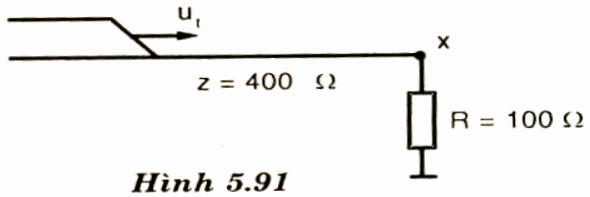
Hình 5.90

Từ hình 5.90, có thể viết biểu thức toán của điện áp và dòng điện trên R như sau

$$u_x(t) = 4{,}878\ kV,\ t \geq 0$$

$$i_x(t) = 0{,}4878\ kA,\ t \geq 0$$

5.57 Cho sơ đồ truyền sóng như trong hình 5.91:



Hình 5.91

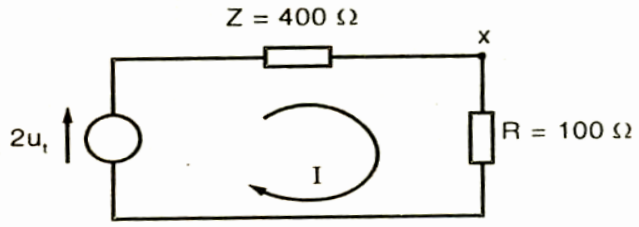
trong đó:

- u_t có dạng: $u_t = \begin{cases} 100t,\ kV\ khi\ \ t \leq T_{ds} \\ 200,\ kV\ khi\ t > T_{ds} \end{cases}$

- $t = 0$ chọn lúc sóng u_t đến x

Dùng phương pháp đồ thị để xác định điện áp và dòng điện theo thời gian trên R.

Giải Theo quy tắc Peterson, sơ đồ truyền sóng hình 5.91 vẽ lại như hình 5.92:

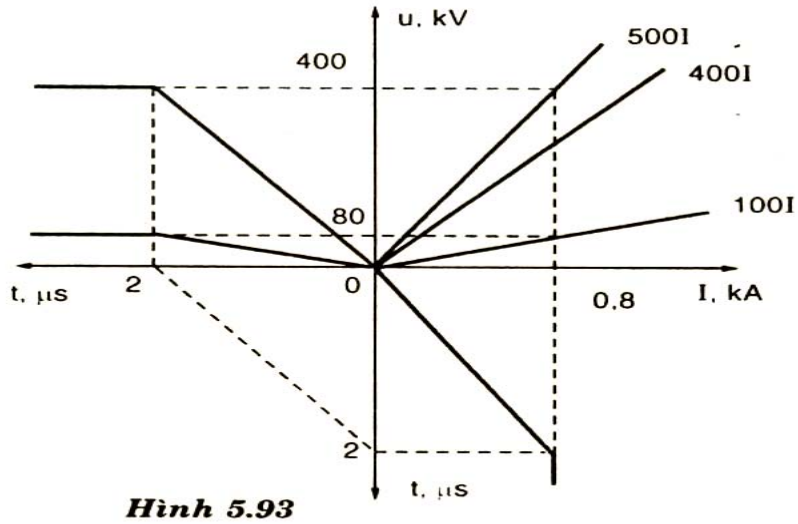


Hình 5.92

Luật mạch vòng viết cho sơ đồ trong hình 5.92, nhận được

$$2u_t = 400I + 10I \qquad (1)$$

Từ phương trình (1) vẽ đồ thị như trong hình 5.93:



Hình 5.93

Từ hình vẽ 5.93, xác định được độ dốc của sóng điện áp $u_x(t)$ là

$$a_u = \frac{80\ kV}{2\,\mu s} = 40 \quad \text{kV/}\mu\text{s}$$

Vậy biểu thức toán học của sóng điện áp $u_x(t)$ là

$$u_x(t) = \begin{cases} 40t,\ kV\ khi\ t \le 2\,\mu s \\ 80,\ kV\ khi\ t > 2\ \mu s \end{cases}$$

Tương tự, từ hình 5.93, xác định được độ dốc của sóng dòng điện $i_x(t)$

$$a_I = \frac{0{,}8\ kA}{2\,\mu s} = 0{,}4 \quad \text{kA/}\mu\text{s}$$

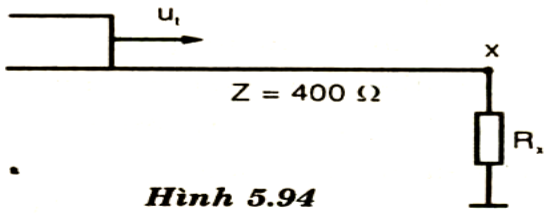
Vậy biểu thức toán học của sóng dòng điện $i_x(t)$

$$i_x(t) = \begin{cases} 0{,}4t,\ kA\ \ khi\ \ t \le 2\ \mu s \\ 0{,}8,\ kA\ \ khi\ \ t > 2\ \mu s \end{cases}$$

5.58 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.94:

Dùng phương pháp đồ thị để xác định điện áp $u_x(t)$ và dòng điện $I_x(t)$ qua điện trở phi tuyến R_x có đặc tính volt - ampe như sau

$$u_x(I) = \begin{cases} 100I,\ kV\ khi\ I \le 1\ kA \\ 100,\ kV\ khi\ I > 1\ kA \end{cases}$$

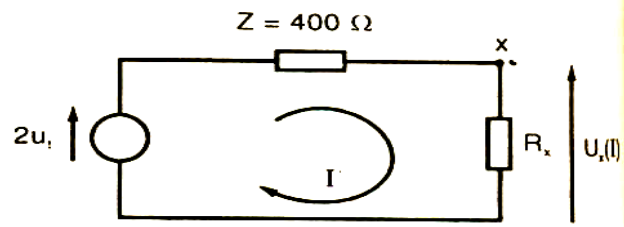


Hình 5.94

Cho biết:

- Sóng u_t có dạng $u_t = 100$ kV, $t \ge 0$.
- Chọn gốc thời gian t = 0 khi u_t đến x.

Giải Theo quy tắc Peterson, sơ đồ truyền sóng hình 5.94 được vẽ lại trong hình 5.95:

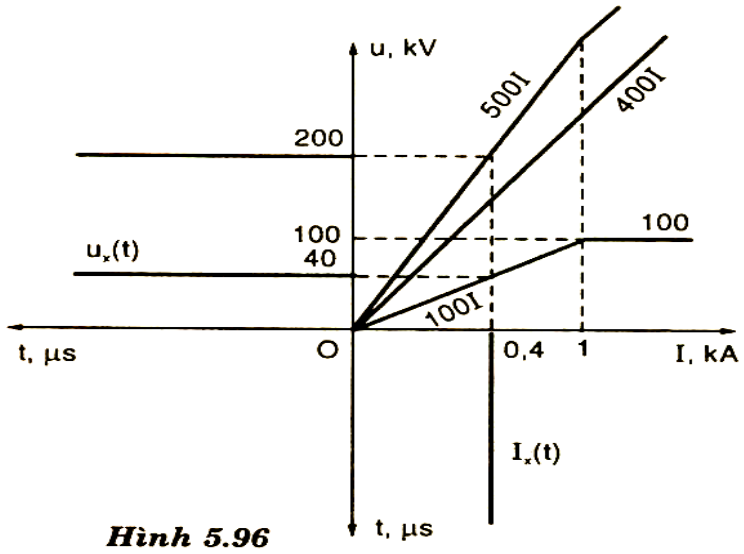


Hình 5.95

Luật mạch vòng viết cho sơ đồ hình 5.95:

$$2u_t = 400I + u_xI \qquad (1)$$

Vẽ đồ thị đặc trưng hai vế của (1) ở trong hình 5.96:



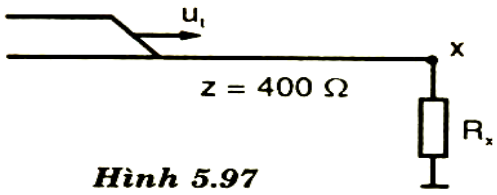
Hình 5.96

Từ hình vẽ 5.96 cho thấy dạng của điện áp $u_a(t)$ và dòng điện $I(t)$ qua điện trở R_x và biểu thức toán học viết như sau

$$u_x(t) = 40\ kV, \quad t \geq 0$$

$$I(t) = 0{,}4\ kA, \quad t \geq 0$$

5.59 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.97.



Hình 5.97

Dùng phương pháp đồ thị để xác định điện áp $u_x(t)$ và dòng điện $I(t)$ qua điện trở phi tuyến R_x có đặc tính volt -ampe như sau

$$u_x(I) = \begin{cases} 100I,\ kV\ khi\ I \leq 1\ \ kA \\ 100,\ \ kV\ khi\ I > 1\ \ kA \end{cases}$$

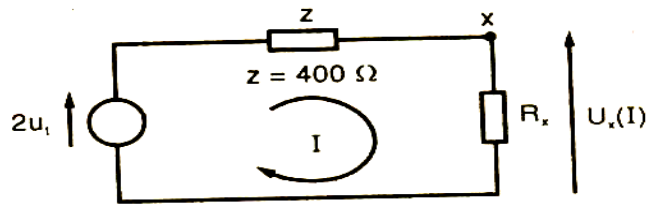
Cho biết

- Sóng tới có dạng

$$u(t) = \begin{cases} 300t,\ kV & khi\ t \le T_{ds} \\ 300,\ kV & khi\ t > T_{ds} \end{cases}$$

- Chọn $t = 0$ khi sóng điện áp u_t đến x.

Giải Theo quy tắc Peterson, sơ đồ truyền sóng hình 5.97 được vẽ lại trong hình 5.98.

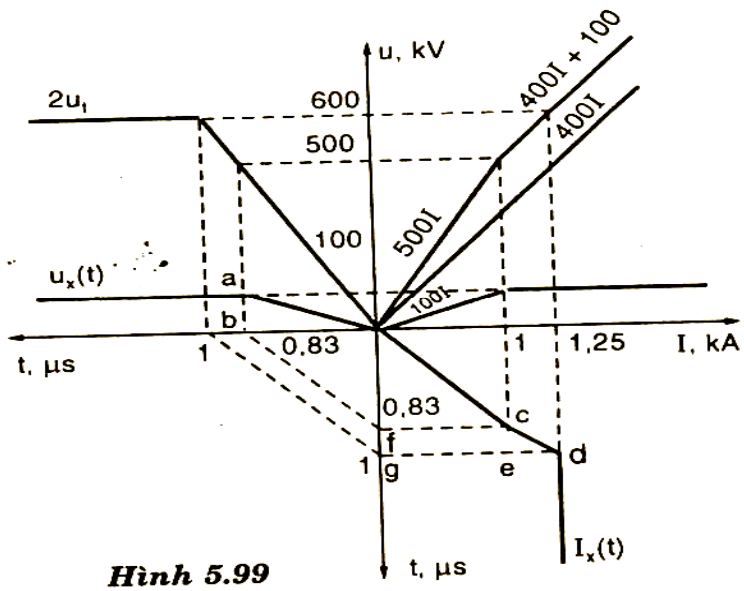


Hình 5.98

Luật mạch vòng viết cho sơ đồ trong hình 5.98:

$$2u_t = 400I + u_x(I) \qquad (1)$$

Vẽ đồ thị đặc trưng hai vế của phương trình (1) trong hình 5.99:



Hình 5.99

Từ hình 5.99 nhận thấy rằng điện áp $u_x(t)$ là một sóng dạng xiên góc có độ dốc:

$$a_u = \frac{ab}{bo} = \frac{100\ kV}{0{,}83\ \mu s} = 120{,}48\ \ kV/\mu s$$

Vậy biểu thức toán học của sóng $u_x(t)$:

$$u_x(t) = \begin{cases} 120{,}48t,\ kV & khi\ t \le 0{,}83\ \mu s \\ 100,\ kV & khi\ t > 0{,}83\ \mu s \end{cases}$$

Cũng từ hình 5.99 nhận thấy rằng dòng điện $I(t)$ ở đầu sóng có ba đoạn thẳng ứng với các khoảng thời gian

a) Khi $0 \le t \le 0{,}83\ \mu s$

Sóng có độ dốc

$$a_1 = \frac{cf}{fo} = \frac{1\,kA}{0{,}83\,\mu s} = 1{,}2 \quad \text{kA/}\mu\text{s}$$

Biểu thức toán học viết cho khoảng thời gian này

$$I(t) = 1{,}2.t, \ \text{kA}$$

b) Khi $0{,}83 < t \le 1 \ \mu s$

Sóng có độ dốc

$$a_2 = \frac{de}{ce} = \frac{0{,}25\ kA}{0{,}17\ \mu s}$$

$$a_2 = 1{,}47 \quad kA/\mu s$$

Biểu thức toán học viết cho khoảng thời gian này

$$I(t) = 1{,}47\text{t} - 0{,}22, \text{ kA}$$

c) Khi $t > 1\,\mu s$

Biểu thức toán học viết cho khoảng thời gian này

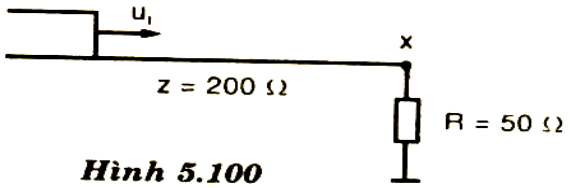
$$I(t) = 1{,}25, \quad \text{kA}$$

Tổng hợp ba trường hợp, có thể viết biểu thức toán học của $I(t)$ như sau:

$$I(t) = \begin{cases} 1{,}2t,\ kA & khi \quad 0 \le t \le 0{,}83\ \mu s \\ 1{,}47t - 0{,}22,\ kA & khi \quad 0.83 < t \le 1\,\mu s \\ 1{,}25,\ kA & khi \quad t > 1\mu s \end{cases}$$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

5.60 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.100:



Hình 5.100

Cho biết:

- Sóng u_t có dạng

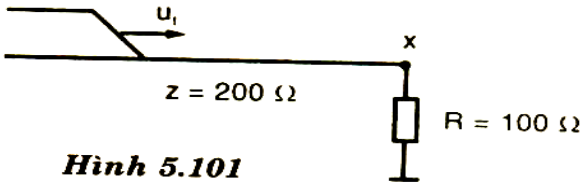
$$u_t = 100 \text{ kV}, \ t \ge 0$$

- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng đến x.

Dùng phương pháp đồ thị để xác định dạng điện áp và dòng điện theo thời gian t trên R.

5.61 Cho sơ đồ truyền sóng như hình 5.101:

trong đó:



Hình 5.101

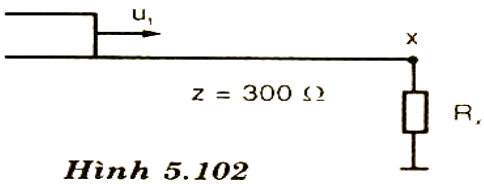
- u_t có dạng

$$u_t = \begin{cases} 100t,\ kV\ khi\ t \le T_{ds} \\ 200,\ kV\ khi\ t > T_{ds} \end{cases}$$

- $t = 0$ chọn lúc sóng u_t đến x

Dùng phương pháp đồ thị để xác định điện áp và dòng điện theo thời gian trên R.

5.62 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.102:



Hình 5.102

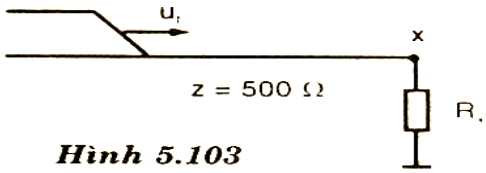
Dùng phương pháp đồ thị để xác định điện áp $u_x(t)$ và dòng điện $I_x(t)$ qua điện trở phi tuyến R_x có đặc tính volt - ampe như sau:

$$u_x(I) = \begin{cases} 100I,\ kV\ \ khi\ I \le 1\,kA \\ 100,\ kV\ \ khi\ I > 1\ kA \end{cases}$$

Cho biết: - Sóng u_t có dạng u_t = 100 kV, $t \ge 0$

- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi u_t đến x

5.63 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.103



Hình 5.103

Dùng phương pháp đồ thị để xác định điện áp $u_x(t)$ và dòng điện $I(t)$ qua điện trở phi tuyến R_x có đặc tính volt - ampe như sau

$$u_x(I) = \begin{cases} 100I,\ kV\ \ khi\ I \le 1\,kA \\ 100,\ kV\ \ khi\ I > 1\,kA \end{cases}$$

Cho biết:

- Sóng tới có dạng

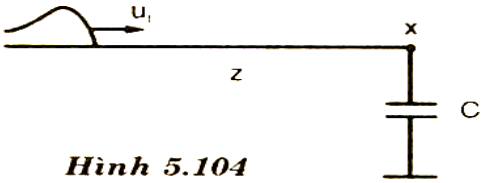
$$u(t) = \begin{cases} 300t,\ kV\ \ khi\ t \le T_{ds} \\ 300,\ kV\ \ khi\ t > T_{ds} \end{cases}$$

- Chọn $t = 0$ khi sóng điện áp u_t đến x.

5.7 PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ: XÁC ĐỊNH ĐIỆN ÁP CUỐI ĐƯỜNG DÂY LÀ ĐIỆN DUNG

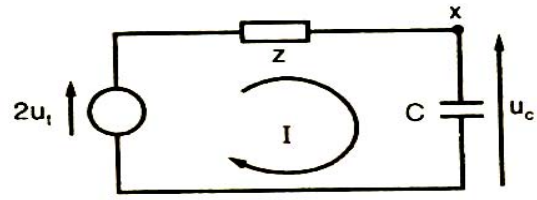
TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Khảo sát sơ đồ truyền sóng trong hình 5.104:



Hình 5.104

Theo quy tắc Peterson, sơ đồ trong hình 5.104 có thể vẽ lại ở hình 5.105.



Hình 5.105

Luật mạch vòng viết cho sơ đồ trong hình 5.105, nhận được

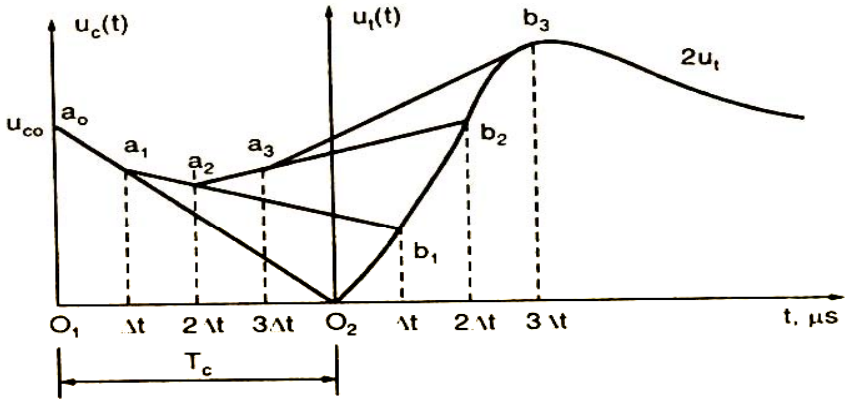
$2u(t) = I.Z + u_c$

hay: $$2u(t) = ZC\frac{du_c}{dt} + u_c \qquad (5.34)$$

Vi sai hóa phương trình vi phân (5.34), sau biến đổi nhận được

$$\begin{cases} \Delta u_c(t + \Delta t) = \dfrac{\Delta t}{T_c}[2u(t) - u_c(t)] \\ u_c(t + \Delta t) = u_c(t) + \Delta u_c(t + \Delta t) \end{cases} \qquad (5.35)$$

Từ hệ (5.35) có thể dùng phương pháp đồ thị để xác định $u_c(t)$ (còn gọi là phương pháp tiếp tuyến) như trong hình 5.106.



Hình 5.106

Nối các điểm a_o, a_1, a_2, a_3... lại với nhau, nhận được đường cong điện áp trên tụ điện C theo thời gian.

Ghi chú: Để đơn giản và kết quả tính có độ chính xác cao, thường chọn:

- *T_c chia chẵn cho Δt*
- *Δt càng bé càng tốt*
- *T_c (μs) - hằng số thời gian của mạch:*

$$T_C = Z.C$$

- *u_{co} - điện áp đặt trên tụ trước thời gian khảo sát. Nếu tụ không tích lũy năng lượng ban đầu thì $u_{co} = 0$.*
- *Điện tích tích tích lũy trong tụ*

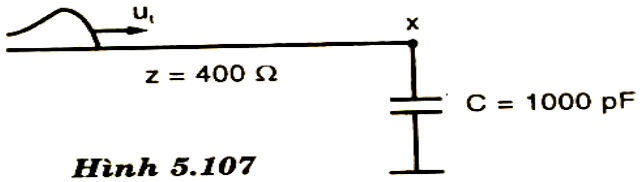
$$Q(C) = C(F) \times U(V) \qquad (5.36)$$

- *Năng lượng tích lũy trong tụ*

$$W(J) = \frac{1}{2}C(F) \times U^2(V^2) \qquad (5.37)$$

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.64 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.107

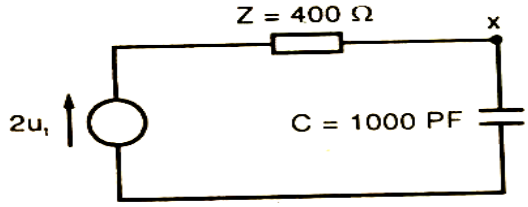


Hình 5.107

Dùng phương pháp tuyến tính để xác định điện áp trên tụ C tại thời điểm 0,3 μs. Cho biết:

- Sóng tới u_t = 100 kV, t ≥ 0
- Chọn bước tính Δt = 0,1 μs
- Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng u_t đến x
- Tụ C không tích lũy năng lượng ban đầu.

Giải Theo quy tắc Peterson, sơ đồ hình 5.107 được vẽ lại trong hình 5.108:



Hình 5.108

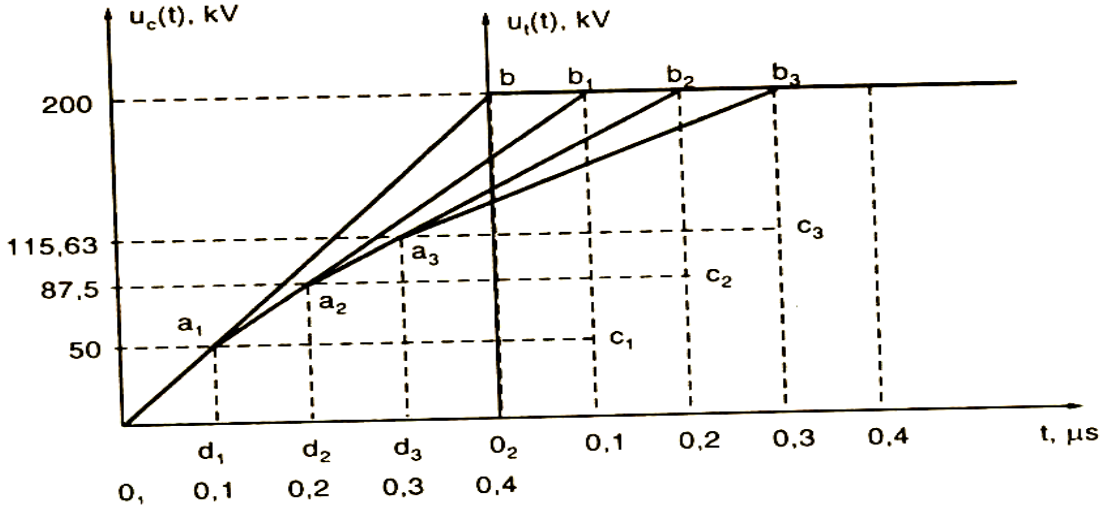
Luật mạch vòng viết cho sơ đồ trong hình 5.108, nhận được

$$2u_t = ZC\frac{\Delta u_c}{\Delta t} + u_c$$

trong đó:

T_c = ZC = 400 ×1000.10^{-6} = 0,4 μs

Để xác định điện áp trên tụ điện C, đồ thị được vẽ trong hình 5.109:



Hình 5.109

Trên hình 5.109 điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm 0,3 μs ứng với độ dài của đoạn a_3d_3, có nghĩa là tung độ của điểm a_3.

Xét tam giác O_1O_2b nhận được tung độ của điểm a_1:

$$a_1d_1 = \frac{bO_2}{4} = \frac{200\,kV}{4} = 50\ kV$$

Xét tam giác $a_1b_1c_1$, nhận được tung độ của điểm a_2:

$$a_2d_2 = a_1d_1 + \frac{b_1c_1}{4} = 50 + \frac{200 - 50}{4} = 87{,}5\ kV$$

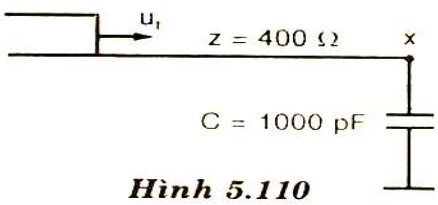
Xét tam giác $a_2b_2c_2$, nhận được tung độ của điểm a_3:

$$a_3d_3 = a_2d_2 + \frac{b_2c_2}{4} = 87{,}5 + \frac{200 - 87{,}5}{4} = 115{,}625\ kV$$

Vậy điện áp trên tụ điện C vào thời điểm t = 0,3 μs là

$$u_c(0{,}3\mu s) = 115{,}625\ kV$$

5.65 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.110:



Hình 5.110

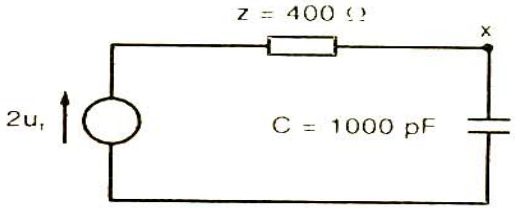
Dùng phương pháp tuyến tính để xác định điện áp trên tụ C tại thời điểm 0,3 μs. Cho biết:

- Sóng tới u_t có dạng u_t = 100 kV, t ≥ 0
- Chọn bước tính Δt = 0,1 μs
- Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng u_t đến x.
- Tụ điện C tích lũy năng lượng ban đầu tương ứng với điện áp 50 kV.

Giải Theo quy tắc Peterson, sơ đồ hình 5.110 được vẽ lại trong hình 5.111

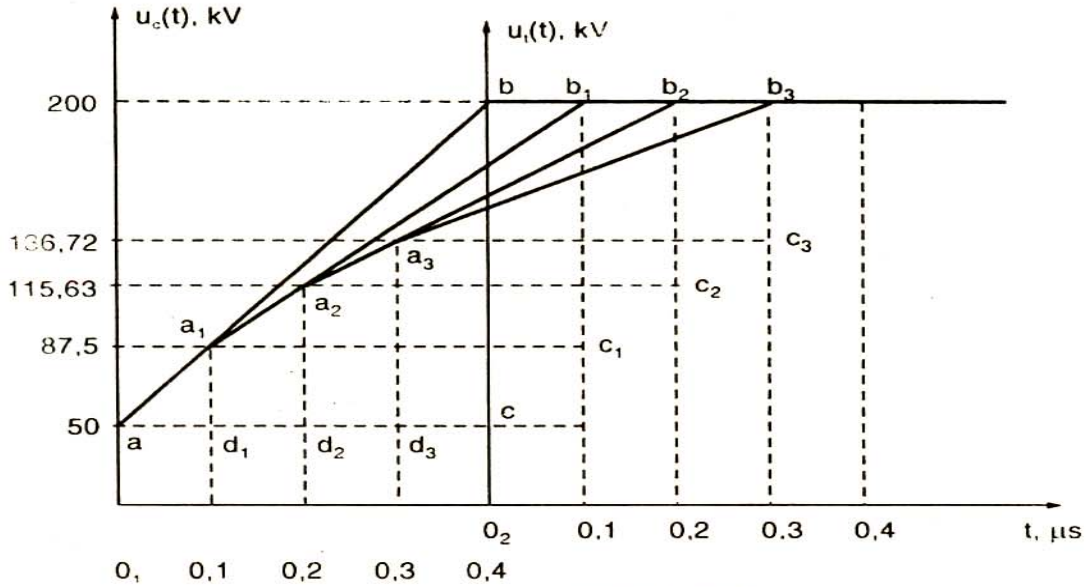
Từ hình 5.111 xác định được

$$T_C = ZC = 400 \times 1000.10^{-6} = 0{,}4\ \mu s$$



Hình 5.111

Đồ thị được xác định điện áp trên tụ C vẽ theo phương pháp tiếp tuyến trong hình 5.112:



Hình 5.112

Trên hình vẽ 5.112 điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm t = 0,3 μs ứng với tung độ của điểm a_3. Xét tam giác abc, cho ta tung độ điểm a_1, tức là điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm t = 0,1μs

$$u_c\,(0{,}1\mu s) = 50 + a_1d_1 = 50 + \frac{bc}{4}$$

$$= 50 + \frac{200 - 50}{4} = 87{,}5\ kV$$

Xét tam giác $a_1b_1c_1$, cho ta tung độ điểm a_2, tức là điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm t = 0,2 μs

$$u_c(0{,}2\mu s) = 87{,}5 + \frac{b_1c_1}{4} = 87{,}5 + \frac{200 - 87{,}5}{4} = 115{,}625\ kV$$

Xét tam giác $a_2b_2c_2$, cho ta tung độ điểm a_3, tức là điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm t = 0,3 μs

$$u_c(0{,}3\mu s) = 115{,}625 + \frac{200 - 115{,}625}{4} = 136{,}72\ kV$$

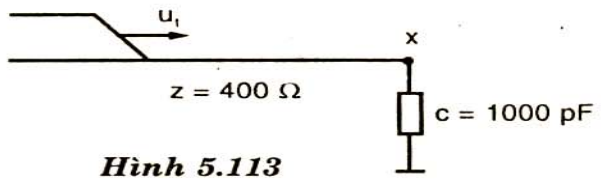
Vậy điện áp trên tụ C vào thời điểm t = 0,3 μs sẽ là

$$u_c(0{,}3\,\mu s) = 136{,}72\ kV$$

5.66 Cho sơ đồ truyền sóng trong hình 5.113

Dùng phương pháp tiếp tuyến để xác định điện áp trên tụ điện C tại thời điểm t = 0,3 μs.

Cho biết:



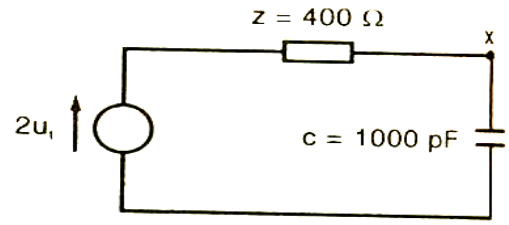
Hình 5.113

- Sóng tới u_t có dạng

$$u_t = \begin{cases} 100t,\ kV & khi\ \ t \le 1\ \mu s \\ 100,\ kV & khi\ \ t > 1\,\mu s \end{cases}$$

- Chọn bước tính $\Delta t = 0{,}1\ \mu s$
- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng u_t đến x.
- Tụ điện C không tích lũy năng lượng ban đầu.

Giải Theo quy tắc Peterson, sơ đồ hình 5.113 được vẽ lại trong hình 5-114:



Hình 5.114

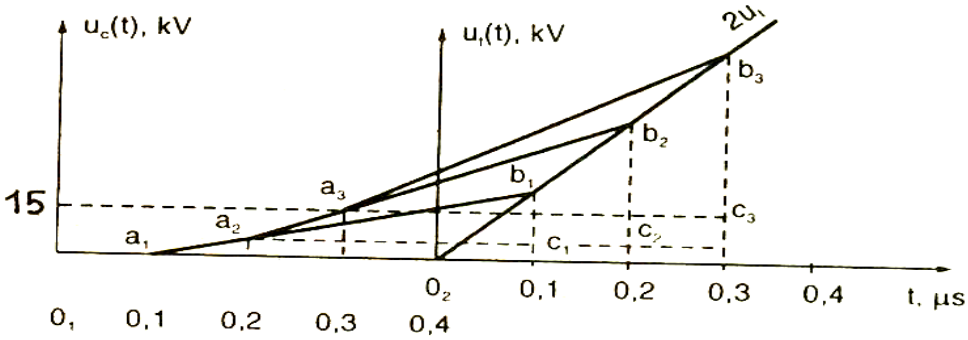
Luật mạch vòng viết cho sơ đồ trong hình 5.114, nhận được

$$2u_t = ZC\frac{\Delta u_c}{\Delta t} + u_c$$

hay $$u_c(t) = 2u_t - \frac{T_c}{\Delta t}\Delta u_c$$

trong đó: $T_c = ZC = 400\ \Omega \times 1000.\ 10^{-6} = 0{,}4\ \mu s$

Đồ thị xác định $u_c(t)$ theo phương pháp tiếp tuyến được vẽ trong hình 5.115:



Hình 5.115

Trên hình 5.115 điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm $t = 0{,}3\ \mu s$ ứng với tung độ của điểm a_3. Xét tam giác $a_1b_1c_1$, nhận được tung độ của điểm a_2, có nghĩa là điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm $t = 0{,}2\ \mu s$:

$$u_c(0{,}2\,\mu s) = \frac{b_1c_1}{4} = \frac{2u_t(0{,}1\mu s)}{4} = \frac{2\times 100\times 0{,}1}{4} = 5\ kV$$

Xét tam giác $a_2b_2c_2$, nhận được tung độ điểm a_3, có nghĩa là điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm $t = 0{,}3\ \mu s$:

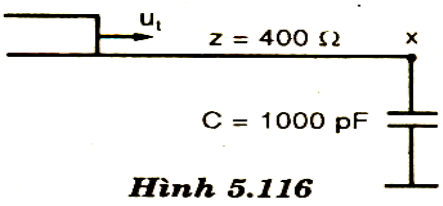
$$u_c(0{,}3\,\mu s) = 5\,kV + \frac{b_2c_2}{4} = 5 + \frac{2u_t(0{,}2\mu s)}{4} = 5 + \frac{2\times100\times0{,}2}{4} = 15\ kV$$

Vậy điện áp trên tụ điện C vào thời điểm t = 0,3 μs sẽ là

$u_c(0{,}3\,\mu s)$ = 15 kV

5.67 Cho sơ đồ truyền sóng trong hình 5.116:

Dùng phương pháp tiếp tuyến để xác định điện áp trên tụ điện C tại thời điểm t = 0,3μs. Cho biết:



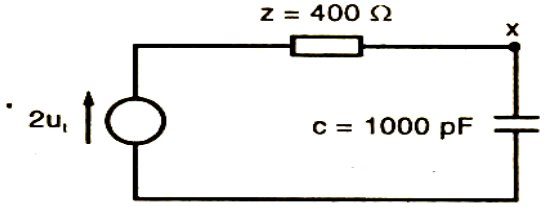
Hình 5.116

- Sóng tới u_t có dạng

$$u_t = \begin{cases} 100t, & kV \quad khi \quad t \le 1\ \mu s \\ 100, & kV \quad khi \quad t > 1\ \mu s \end{cases}$$

- Chọn bước tính $\Delta t = 0{,}1\,\mu s$.
- Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng u_t đến x.
- Tụ điện C tích lũy năng lượng ban đầu ứng với điện áp 50 kV.

Giải Theo quy tắc Peterson, sơ đồ hình 5.116 được vẽ lại trong hình 5.117:



Hình 5.117

Luật mạch vòng viết cho sơ đồ trong hình 5.117, nhận được:

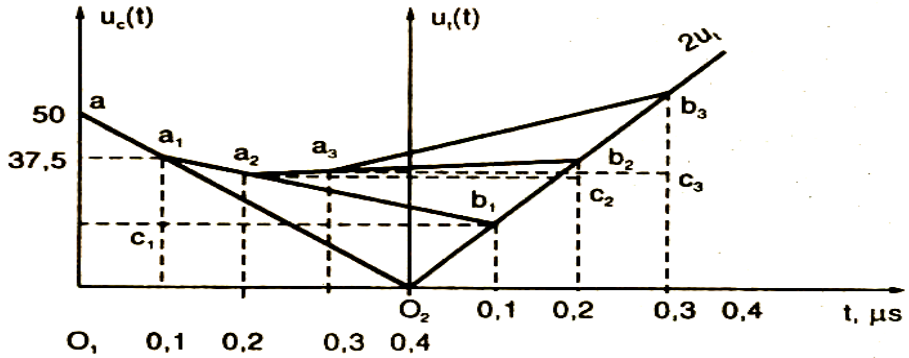
$$2u_t = ZC\frac{\Delta u_c}{\Delta t} + u_c$$

hay $$u_c(t) = 2u_t - \frac{T_c}{\Delta t}\Delta u_c$$

với $T_c = ZC = 400 \times 1000.10^{-6} = 0{,}4$ μs

$T_c = 0{,}4$ μs

Đồ thị để xác định điện áp $u_c(t)$ theo phương pháp tiếp tuyến được vẽ trong hình 5.118:



Hình 5.118

Trên hình 5.118 điện áp $u_c(t)$ tại thời điểm t = 0,3 μs ứng với tung độ của điểm a_3. Xét tam giác aO_1O_2, nhận được tung độ của điểm a_1, có nghĩa là điện áp trên tụ C $u_c(t)$ ở thời điểm t = 0,1μs:

$$u_c(0{,}1\mu s) = \frac{3}{4}aO_1 = \frac{3 \times 50}{4}\ 37{,}5\ kV$$

Xét tam giác $a_1b_1c_1$, nhận được tung độ của điểm a_2, có nghĩa là điện áp trên tụ C $u_c(t)$ ở thời điểm t = 0,2 μs

$$u_c\ (0{,}2\,\mu s) = 2u_t\ (0{,}1\,\mu s) + \frac{3}{4}[u_c\ (0{,}1\,\mu s) - 2u_t\ (0{,}1\,\mu s)]$$

$$= 20 + \frac{3}{4}(37{,}5 - 20) = 20 + 13{,}125 = 33{,}125\,kV$$

Xét tam giác $a_2b_2c_2$, nhận được tung độ điểm a_3, có nghĩa là điện áp $u_c(t)$ trên tụ C ở thời điểm t = 0,3 μs

$$u_c\ (0{,}3\,\mu s) = u_c\ (0{,}2\,\mu s) + \frac{1}{4}[2u_t\ (0{,}2\,\mu s) - u_c\ (0{,}2\,\mu s)]$$

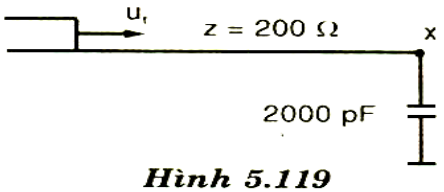
$$= 33{,}125 + \frac{1}{4}\ (40 - 33{,}125) = 34{,}84\ kV$$

Vậy điện áp $u_c(t)$ trên tụ điện C ở thời điểm t = 0,3 μs sẽ là

$$u_c(0{,}3\,\mu s) = 34{,}84\ kV$$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

5.68 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.119.

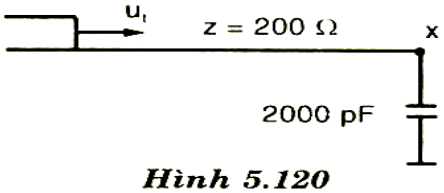


Hình 5.119

Dùng phương pháp tuyến tính xác định điện áp trên tụ C tại thời điểm 0,4 μs. Cho biết:

- Sóng tới u_t = 100 kV, $t \le 0$
- Chọn bước tính Δt = 0,1 μs
- Chọn gốc thời gian t = 0 khi sóng u_t đến x
- Tụ C không tích lũy năng lượng ban đầu.

5.69 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.120.



Hình 5.120

Dùng phương pháp tuyến tính để xác định điện áp trên tụ C tại thời điểm 0,6 μs Cho biết:

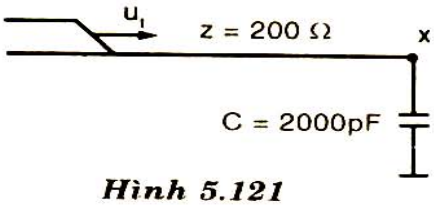
- Sóng tới u_t có dạng

$$u_t = 100\ kV,\ t \geq 0$$

- Chọn bước tính $\Delta t = 0{,}1\,\mu s$
- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng u_t đến x.
- Tụ điện C tích lũy năng lượng ban đầu tương ứng với điện áp 20 kV.

5.70 Cho sơ đồ truyền sóng trong hình 5.121

Dùng phương pháp tiếp tuyến để xác định điện áp trên tụ điện C tại thời điểm $t = 0{,}5$ µs, cho biết:



Hình 5.121

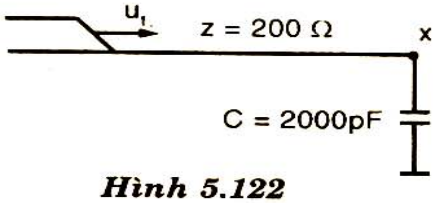
- Sóng tới u_t có dạng

$$u_t = \begin{cases} 100t,\ kV\ \ khi\ t \leq 1\ \mu s \\ 100,\ \ kV\ \ khi\ t > 1\ \mu s \end{cases}$$

- Chọn bước tính $\Delta t = 0{,}1$ µs
- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng u_t đến x
- Tụ điện C không tích lũy năng lượng ban đầu.

5.71 Cho sơ đồ truyền sóng trong hình 5.122:

Dùng phương pháp tiếp tuyến để xác định điện áp trên tụ điện C tại thời điểm $t = 0{,}4$ µs. Cho biết:



Hình 5.122

- Sóng tới u_t có dạng

$$u_t = \begin{cases} 100t,\ kV\ \ khi\ \ t \leq 1\ \mu s \\ 100,\ \ kV\ \ khi\ \ t > 1\ \mu s \end{cases}$$

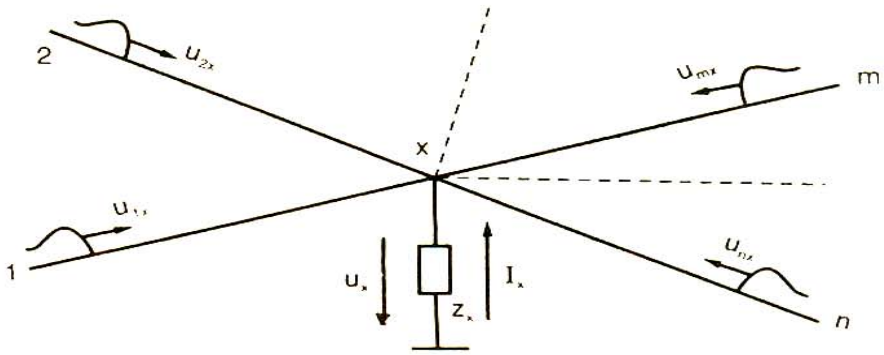
- Chọn bước tính $\Delta t = 0{,}1\mu s$
- Chọn gốc thời gian $t = 0$ khi sóng u_t đến x.
- Tụ điện C tích lũy năng lượng ban đầu ứng với điện áp 40 kV.

5.8 QUY TẮC SÓNG ĐẲNG TRỊ

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Trong thực tế, tại một điểm nút x thường có nhiều hơn một môi trường truyền sóng nối vào. Vì thế, để giải bài toán tìm điện áp và dòng điện qua tổng trở Z_x nối tại x cần phải đẳng trị sơ đồ thực tế thành sơ đồ đơn giản nhất.

Khảo sát hệ truyền sóng có n tổng trở sóng nối vào điểm x, tại đó có tổng trở tập trung Z_x vẽ trong hình 5.123.



Hình 5.123

trong đó: 1, 2,..., m..., n - n môi trường truyền sóng;

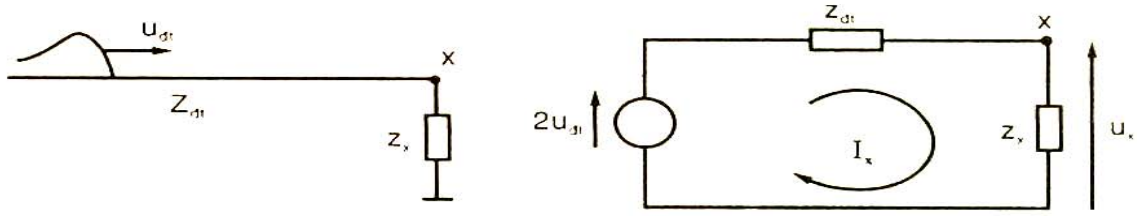
Z_1, Z_2, ..., Z_m, ..., Z_n - tổng trở sóng của n môi trường;

u_{1x}, u_{2x}, ..., u_{mx}, ..., u_{nx} - sóng tới truyền đến x trên n môi trường;

Z_x - tổng trở tập trung tại x;

u_x, i_x - điện áp và dòng điện trên tổng trở Z_x.

Quy tắc sóng đẳng trị cho phép đẳng trị môi trường truyền sóng tổng quát ở hình 5.123 thành sơ đồ đẳng trị vẽ trong hình 5.124.



Hình 5.124

Với các thông số như sau:

Tổng trở sóng đẳng trị:

$$Z_{dt} = Z_1//Z_2//..//Z_m//..//Z_n = \frac{1}{\sum_{m=1}^{n} \frac{1}{Z_m}} \tag{5.38}$$

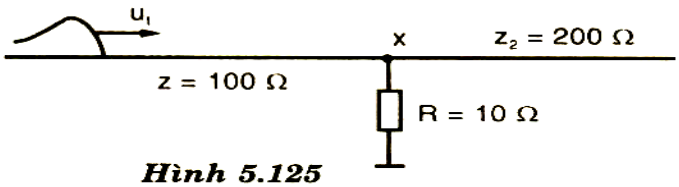
và điện áp đẳng trị:

$$u_{dt} = \sum_{m=1}^{n} \left(\frac{Z_{dt}}{Z_m} u_{mx} \right) \tag{5.39}$$

Với sơ đồ hình 5.124 có thể dễ dàng tìm được u_x và i_x qua tổng trở tập trung Z_x bằng các phương pháp đơn giản đã biết.

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

5.72 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.125:



Hình 5.125

Dùng quy tắc sóng đẳng trị để thành lập sơ đồ đơn giản.

Giải Áp dụng biểu thức (5.38), tìm được

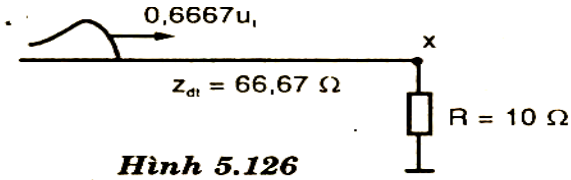
$$Z_{dt} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66{,}67\ \Omega$$

Áp dụng biểu thức (5.39), tìm được

$$u_{dt} = \sum \frac{Z_{dt}}{Z_m} u_{mx} = \frac{Z_{dt}}{Z_1} u_{1x} + \frac{Z_{dt}}{Z_2} u_{2x} =$$

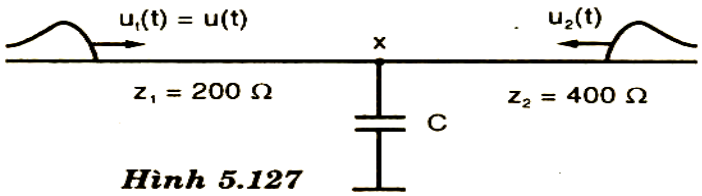
$$= \frac{66{,}67}{100} u_t + \frac{66{,}67}{200}(0) = 0{,}6667\ u_t$$

Sơ đồ đơn giản được vẽ trong hình 5.126.



Hình 5.126

5.73 Cho sơ đồ truyền sóng như trong hình 5.127:



Hình 5.127

Dùng quy tắc sóng đẳng trị để thành lập sơ đồ đơn giản. Áp dụng khi $u_2(t) = 2u(t)$. Giả sử các sóng $u_1(t)$ và $u_2(t)$ đến x cùng một lúc.

Giải Áp dụng biểu thức (5.38), tìm được

$$Z_{dt} = \frac{200 \times 400}{200 + 400} = 133{,}33\ \Omega$$

Áp dụng biểu thức (5.39), tìm được

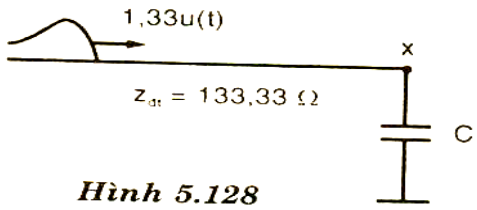
$$u_{dt} = \sum_{m=1}^{2} \frac{Z_{dt}}{Z_m} u_{mx} = \frac{133,33}{200} u(t) + \frac{133,33}{400} u_2(t) =$$

$$= 0,67u(t) + 0,33u_2(t)$$

với $u_2(t) = 2u(t)$ thì

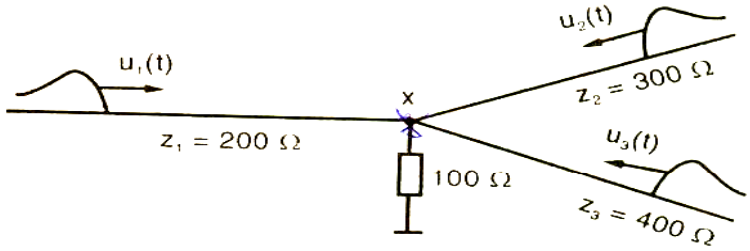
$$u_{dt} = 0,67u(t) + 0,66u(t) = 1,33u(t)$$

Sơ đồ đẳng trị được vẽ trong hình 5.128



Hình 5.128

5.74 Cho hệ truyền sóng được vẽ trong hình 5.129



Hình 5.129

Tìm sơ đồ đẳng trị với đầy đủ các thông số.

Cho biết: $u_1(t) = 2u_2(t) = 4u_3(t)$

với $u_1(t) = 100$ kV, $t \geq 0$

Giả sử các sóng truyền đến x cùng một thời điểm.

Giải Theo đề bài, xác định được

$u_1(t) = 100$ kV, $t \geq 0$; $u_2(t) = 50$ kV, $t \geq 0$; $u_3(t) = 25$ kV, $t \geq 0$

Áp dụng biểu thức (5.38), tìm được

$$Z_{dt} = \frac{200 \times 300 \times 400}{200 \times 300 + 300 \times 400 + 400 \times 200} = \frac{2400}{29} = 92,30\ \Omega$$

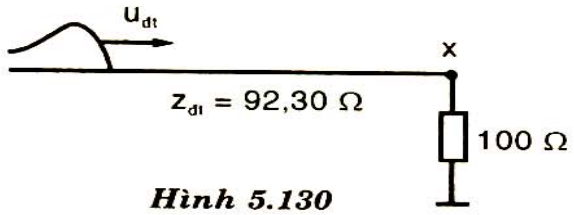
Áp dụng biểu thức (5.39), tìm được

$$u_{dt} = \frac{92,30}{200} u_1(t) + \frac{92,30}{300} u_2(t) + \frac{92,30}{400} u_3(t) =$$

$$= 1,846u_3(t) + 0,615u_3(t) + 0,23u_3(t) = 2,692u_3(t)$$

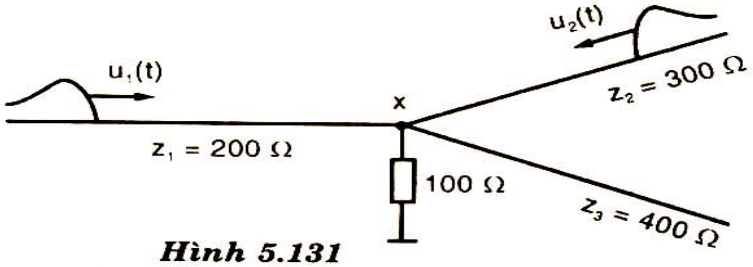
Vậy $u_{dt} = 67,3$ kV, $t \geq 0$

Sơ đồ đẳng trị được vẽ trong hình 5.130



Hình 5.130

5.75 Cho hệ truyền sóng được vẽ trong hình 5.131



Hình 5.131

Hãy vẽ sơ đồ đẳng trị với đầy đủ các thông số của nó.

Cho biết:

- Sóng điện áp $u_1(t) = 2u_2(t) = 100\ kV,\quad t \geq 0$

- Các sóng truyền đến x cùng một thời điểm.

Giải Từ đề bài, xác định được

$$u_2(t) = \frac{1}{2}u_1(t) = 50\ kV,\quad t \geq 0$$

Áp dụng biểu thức (5.38), tìm được

$$Z_{dt} = \frac{200 \times 300 \times 400}{200 \times 300 + 300 \times 400 + 400 \times 200} = \frac{2400}{26} = 92{,}30\ \Omega$$

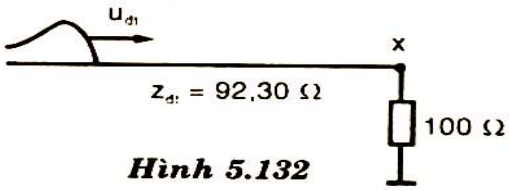
Áp dụng biểu thức (5.39), tìm được

$$u_{dt} = \frac{92{,}30}{200}u_1(t) + \frac{92{,}30}{300}u_2(t) + \frac{92{,}30}{400}u_3(t)$$

$$= 0{,}923u_2(t) + 0{,}308u_2(t) + (0) = 1{,}231u_2(t)$$

Vậy $u_{dt} = 61{,}55$ kV, $t \geq 0$

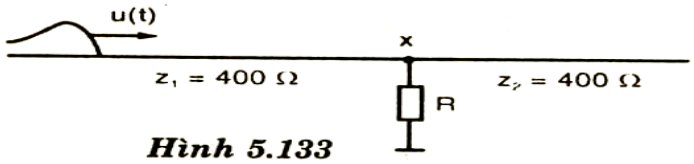
Sơ đồ đẳng trị được vẽ trong hình 5.132



Hình 5.132

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

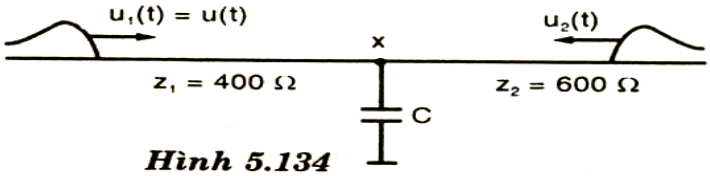
5.76 Cho sơ đồ truyền sóng vẽ trong hình 5.133



Hình 5.133

Dùng quy tắc sóng đẳng trị để thành lập sơ đồ đơn giản.

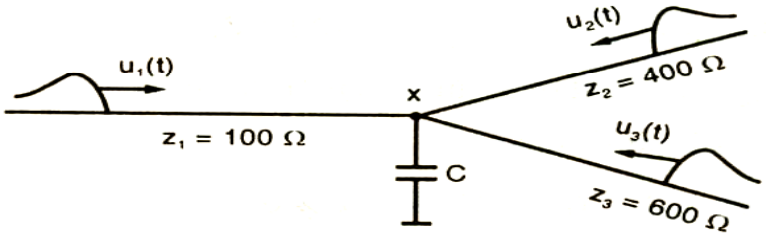
5.77 Cho sơ đồ truyền sóng như trong hình vẽ 5.134



Hình 5.134

Dùng quy tắc sóng đẳng trị để thành lập sơ đồ đơn giản. Áp dụng khi $u_2(t) = 2u(t)$. Giả sử các sóng $u_1(t)$ và $u_2(t)$ đến x cùng một lúc.

5.78 Cho hệ truyền sóng được vẽ trong hình 5.135



Hình 5.135

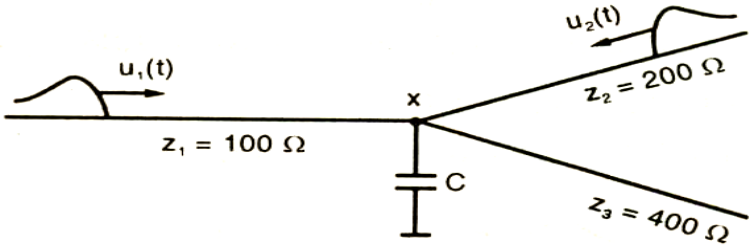
Tìm sơ đồ đẳng trị với đầy đủ các thông số.

Cho biết: $u_1(t) = 2u_2(t) = 4u_3(t)$

với $u_1(t) = 100$ kV, $t \geq 0$

Giả sử các sóng truyền đến x cùng một thời điểm.

5.79 Cho hệ truyền sóng được vẽ trong hình 5.136



Hình 5.136

Hãy vẽ sơ đồ đẳng trị với đầy đủ các thông số của nó.

Cho biết: - Sóng điện áp $u_1(t) = 2u_2(t) = 100$ kV, $t \geq 0$

- Các sóng truyền đến x cùng một thời điểm.

Chương 6

BẢO VỆ CHỐNG SÉT ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN CAO ÁP

6.1 ĐƯỜNG LỐI CHUNG TÍNH SUẤT CẮT ĐIỆN ĐƯỜNG DÂY

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1- Số lần sét đánh vào đường dây

Số lần sét đánh trung bình vào đường dây

$$N = Fmn \tag{6.1}$$

trong đó: n - số ngày có dông sét trong năm (ngày);

m - mật độ sét, có giá trị $m = 0,1 \div 0,15$ lần/ng.sét. km^2;

F - diện tích thu sét của đường dây (km^2).

a) Trường hợp đường dây có một dây

$$F = 6hL \tag{6.2}$$

b) Trường hợp đường dây có hai dây

$$F = (6h + s)L \tag{6.3}$$

trong đó: h - chiều cao trung bình của đường dây (km);

s - khoảng cách giữa hai dây (km);

L - chiều dài đường dây (km).

2- Số lần sét đánh gây phóng điện trên cách điện đường dây

$$N_p = N \times v_p = Fmnv_p \tag{6.4}$$

với: v_p - xác suất phóng điện trên cách điện đường dây.

3- Số lần sét đánh gây cắt điện đường dây

$$N_c = N_p \times \eta = Fmnv_p\eta \tag{6.5}$$

với: η - xác suất duy trì hồ quang xung thành hồ quang tần số công nghiệp.

Đối với đường dây cột sắt hoặc bê tông cốt sắt:

a) Điện áp từ 110 ÷ 220 kV: $\eta = 0,7$

b) Điện áp ≥ 330 kV: $\eta = 1$

Đối với đường dây cột gỗ hoặc khoảng cách không khí lớn, η có thể tính theo công thức gần đúng

$$\eta = 1{,}5(E_{tb} - 4) \times 10^2 \quad (6.6)$$

với $$E_{tb} = \frac{U_{lv}}{l_{cd}} \quad \text{(kV/m)}$$

4- Suất cắt điện đường dây

Suất cắt điện đường dây là số lần cắt điện do sét ứng với 100 km đường dây:

a- Trường hợp đường dây có một dây chống sét:

$$n_c = 600\,hmnv_p\eta \quad (6.7)$$

b- Trường hợp đường dây có hai dây chống sét:

$$n_c = 100(6h + s)mnv_p\eta \quad (6.8)$$

5- Chỉ tiêu chống sét của đường dây

$$M = \frac{1}{n_c} \quad \text{năm/lần} \quad (6.9)$$

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

6.1 Một đường dây dài 30 km, cao 10 m. Hãy tính số lần sét đánh vào đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 70.

Giải Áp dụng các biểu thức (6.1) và (6.2) cho

$$N = Fmn = 6hLmn$$

$$N = 6 \times 0{,}01 \times 30 \times 0{,}1 \times 70 = 12{,}6 \quad \text{lần/năm}$$

6.2 Một đường dây dài 200 km, cao 14 m. Hãy tính số lần sét đánh vào đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100.

Giải Áp dụng các biểu thức (6.1) và (6.2) cho:

$$N = Fmn = 6hLmn$$

$$N = 6 \times 0{,}014 \times 200 \times 0{,}15 \times 100 = 252 \quad \text{lần/năm}$$

6.3 Một đường dây có hai sợi cách nhau 2 m, dài 100 km, cao 10 m. Hãy tính số lần sét đánh vào đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100.

Giải Áp dụng các biểu thức (6.1) và (6.3) cho:

$$N = Fmn = (6h + s)Lmn$$

$$N = (6 \times 0{,}01 + 0{,}002) \times 100 \times 0{,}1 \times 100 = 62 \quad \text{lần/năm}$$

6.4 Một đường dây dài 200 km, cao 14 m. Hãy tính số lần phóng điện trên cách điện của đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,02.

Giải Áp dụng các biểu thức (6.1) và (6.2) cho số lần sét đánh vào đường dây trong một năm:

$$N = Fmn = 6\ hLmn$$

$$N = 6 \times 0{,}014 \times 200 \times 0{,}15 \times 100 = 252 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần xảy ra phóng điện trên đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6.4), tính được:

$$N_p = N \times v_p = 252 \times 0{,}02 = 5{,}04 \quad \text{lần/năm}$$

6.5 Một đường dây 110 kV, dài 200 km, cao 14 m. Hãy tính số lần cắt điện đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,02.

Giải Áp dụng các biểu thức (6.1) và (6.2) cho số lần sét đánh vào đường dây trong một năm:

$$N = Fmn = 6\ hLmn$$

$$N = 6 \times 0{,}014 \times 200 \times 0{,}15 \times 100 = 252 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần xảy ra phóng điện trên đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6.4), tính được:

$$N_p = N \times v_p = 252 \times 0{,}02 = 5{,}04 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần cắt điện đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6.5), tính được:

$$N_c = N_p \times \eta = 5{,}04 \times 0{,}7 = 3{,}53 \quad \text{lần/năm}$$

6.6 Một đường dây 110 kV, dài 200 km, cao 14 m. Hãy tính suất cắt điện đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,02.

Giải Áp dụng các biểu thức (6.1) và (6.2) cho số lần sét đánh vào đường dây trong một năm:

$$N = Fmn = 6\ hLmn$$

$$N = 6 \times 0{,}014 \times 200 \times 0{,}15 \times 100 = 252 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần xảy ra phóng điện trên đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6.4), tính được

$$N_p = N \times v_p = 252 \times 0{,}02 = 5{,}04 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần cắt điện đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6.5), tính được

$$N_c = N_p \times \eta = 5{,}04 \times 0{,}7 = 3{,}53 \quad \text{lần/năm}$$

Suất cắt điện đường dây sẽ là

$$n_c = 3{,}53 \frac{100}{200} = 1{,}8 \quad \text{lần/năm}$$

6.7 Một đường dây 110 kV, dài 100 km, cao 14 m. Hãy tính số lần cắt điện đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,10.

Giải Áp dụng các biểu thức (6.1) và (6.2) cho số lần sét đánh vào đường dây trong một năm:

$$N = Fmn = 6\ hLmn$$

$$N = 6 \times 0{,}014 \times 200 \times 0{,}15 \times 100 = 252 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần xảy ra phóng điện trên đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6.4), tính được

$$N_p = N \times v_p = 252 \times 0{,}1 = 25{,}2 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần cắt điện đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6.5), tính được

$$N_c = N_p \times \eta = 25{,}2 \times 0{,}7 = 17{,}64 \quad \text{lần/năm}$$

6.8 Một đường dây 110 kV, dài 200 km, cao 14 m. Hãy tính chỉ tiêu chống sét của đường dây này. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,02.

Giải Áp dụng các biểu thức (6.1) và (6.2) cho số lần sét đánh vào đường dây trong một năm

$$N = Fmn = 6\ hLmn$$

$$N = 6 \times 0{,}014 \times 200 \times 0{,}15 \times 100 = 252 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần xảy ra phóng điện trên đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6.4), tính được

$$N_p = N \times v_p = 252 \times 0{,}02 = 5{,}04 \quad \text{lần/năm}$$

Số lần cắt điện đường dây trong một năm, áp dụng công thức (6-5), tính được

$$N_c = N_p \times \eta = 5{,}04 \times 0{,}7 = 3{,}53 \quad \text{lần/năm}$$

Suất cắt điện đường dây sẽ là

$$n_c = 3{,}53\frac{100}{200} = 1{,}8 \quad \text{lần/ năm}$$

Chỉ tiêu chống sét đường dây

$$m = \frac{1}{n_c} = \frac{1}{1{,}8} = 0{,}56 \quad \text{năm/lần}$$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

6.9 Một đường dây dài 60 km, cao 18 m. Hãy tính số lần sét đánh vào đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,12 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 50.

6.10 Một đường dây dài 250 km, cao 20 m. Hãy tính số lần sét đánh vào đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 120.

6.11 Một đường dây có hai sợi cách nhau 4 m, dài 80 km, cao 14 m. Hãy tính số lần sét đánh vào đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 110.

6.12 Một đường dây dài 300 km, cao 22 m. Hãy tính số lần phóng điện trên cách điện của đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 75. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,01.

6.13 Một đường dây 220 kV, dài 250 km, cao 18 m. Hãy tính số lần cắt điện đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 90. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,01.

6.14 Một đường dây 220 kV, dài 300 km, cao 20 m. Hãy tính suất cắt điện đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,01.

6.15 Một đường dây 110 kV, dài 80 km, cao 14 m. Hãy tính số lần cắt điện đường dây này trong một năm. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 75. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,02.

6.16 Một đường dây 220 kV, dài 220 km, cao 20 m. Hãy tính chỉ tiêu chống sét của đường dây này. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 120. Giả sử xác suất phóng điện trên đường dây này là 0,01.

6.2 SUẤT CẮT ĐƯỜNG DÂY DO QUÁ ĐIỆN ÁP CẢM ỨNG BỞI SÉT

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Một đường dây tải điện có độ cao trung bình h. Khi sét đánh thẳng xuống đất cách đường dây một đoạn là b thì giá trị quá điện áp cảm ứng cực đại do sét có thể tính theo công thức gần đúng sau đây

$$U_{\max}^{cu} = 30\frac{h}{b}I_s \tag{6.10}$$

Điện áp này vượt quá độ bền xung của cách điện đường dây ($U_{0,5}$) thì sẽ gây nên phóng điện. Từ đó tìm được giá trị dòng điện sét gây phóng điện:

$$I_s \geq U_{0,5}\frac{b}{30h} \tag{6.11}$$

và tương ứng xác xuất phóng điện trên đường dây là

$$v_p = e^{-I_s/I_o} \tag{6.12}$$

Số lần gây phóng điện khi có sét cảm ứng sẽ là

$$N_p = 60mnLh\frac{I_o}{U_{0,5}} \times e^{-U_{0,5}/10\times I_o} \tag{6.13}$$

$I_o = 26$ nếu sét xuất hiện ở đồng bằng,

$I_o = 13$ nếu sét xuất hiện ở đồi núi.

Các bước tính tiếp theo như trong mục 6.1.

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

6.17 Một đường dây tải điện dài 30 km, cao 10 m. Hãy tính giá trị cực đại của điện áp cảm ứng do sét đánh thẳng xuống đất cách đường dây 50 m. Cho biết biên độ cực đại của dòng sét là 100 kA.

Giải Áp dụng công thức 6.10), tính được giá trị điện áp cảm ứng cực đại

$$U_{\max}^{cu} = 30\frac{h}{b}I_s = 30\frac{10}{50}\times 100 = 600\ kV$$

6.18 Một đường dây tải điện 110 kV cột sắt, dài 30 km, cao 10 m, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính xác suất phóng điện lên cách điện

đường dây do một dòng sét có biên độ I đánh thẳng xuống đất cách đường dây 50 m.

Giải Áp dụng công thức (6.11), tính được giá trị dòng điện nguy hiểm

$$I_s \geq U_{0,5}\frac{b}{30h}$$

Áp dụng công thức (6.12), tính được xác suất phóng điện

$$v_p = e^{-I_s/I_o} = e^{-\frac{660\frac{50}{30\times 10}}{26}} = 0{,}0145$$

Ở đây, $U_{0,5} = 660\,kV$ tra trong phụ lục PL42.

6.19 Một đường dây 110 kV cột sắt, dài 30 km, cao 10 m, nằm ở vùng đồi núi. Hãy tính xác suất phóng điện lên cách điện đường dây do dòng sét có biên độ I đánh thẳng xuống đất cách đường dây 50 m.

Giải Áp dụng công thức (6.11) và (6.12), tính được xác suất phóng điện

$$v_p = e^{-I_s/I_o} = e^{-\frac{660\frac{50}{30\times 10}}{13}} = 0{,}00021$$

Ở đây, $U_{0,5} = 660\,kV$ tra trong phụ lục PL42.

6.20 Một đường dây 110 kV cột sắt, dài 30 km, cao 10 m, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính số lần phóng điện trên cách điện của đường dây do sét đánh cảm ứng. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét.km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100.

Giải Áp dụng công thức (6.13), tính được số lần phóng điện khi có sét cảm ứng

$$N_p = 60mnLh\frac{I_o}{U_{0,5}} \times e^{-U_{0,5}/10\times I_o}$$

$$N_p = 60\times 0{,}1\times 100\times 30\times 0{,}01\times\frac{26}{660}\times e^{-660/10\cdot 26} = 0{,}56 \quad \text{lần/năm}$$

6.21 Một đường dây 110 kV cột sắt, dài 30 km, cao 10 m, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính số lần cắt điện đường dây do sét đánh cảm ứng. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét.km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100.

Giải Áp dụng công thức (6.13), tính được số lần phóng điện khi có sét cảm ứng

$$N_p = 60mnLh\frac{I_o}{U_{0,5}} \times e^{-U_{0,5}/10\times I_o}$$

biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 75.

6.28 Một đường dây 110 kV cột sắt, dài 550 km, cao 16 m, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính suất cắt điện đường dây do sét đánh cảm ứng. Cho biết đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 120.

6.3 SUẤT CẮT ĐƯỜNG DÂY DO SÉT ĐÁNH VÀO ĐƯỜNG DÂY KHÔNG TREO DÂY CHỐNG SÉT

TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Gọi: Z_{dd} - tổng trở sóng riêng của dây dẫn;

Z_s - tổng trở sóng riêng của khe sét, có giá trị $Z_s \approx 200\Omega$.

Một dòng điện sét I_s tác dụng vào dây dẫn sẽ tạo nên trên dây dẫn một dòng điện

$$I_{dd} = \frac{I_s}{2} \times \frac{Z_s}{Z_s + \frac{Z_{dd}}{2}} \tag{6.14}$$

Nếu xem $Z_{dd} = 400\ \Omega$ thì

$$I_{dd} = \frac{I_s}{4} \tag{6.15}$$

và điện áp trên dây dẫn sẽ là

$$U_{dd} = Z_{dd} \times I_{dd} = 100 I_s \tag{6.16}$$

Điện áp này sẽ gây nên phóng điện trên cách điện đường dây nếu

$$U_{dd} \geq U_{0,5}$$

1- Đối với đường dây cột thép hay bê tông cốt thép

a) Trung tính nối đất trực tiếp

$$U_{dd} = 100 I_s \geq U_{0,5} \Leftrightarrow I_s \geq \frac{U_{0,5}}{100} \tag{6.17}$$

trong đó: $U_{0,5}$ - điện áp phóng điện xung kích của chuỗi sứ.

b) Trung tính cách ly hay nối đất qua cuộn dập hồ quang

$$I_s \geq \frac{U_{0,5}}{R_d(1 - k_d)} \tag{6.18}$$

trong đó: $U_{0,5}$ - điện áp phóng điện xung kích của chuỗi sứ;

R_d - điện trở nối đất của cột điện; k_d - hệ số ngẫu hợp động.

2) Đối với đường dây cột gỗ:

a) Phóng điện theo đường pha - đất

$$I_s \geq \frac{U_{0,5}}{100} \tag{6.19}$$

trong đó: $U_{0,5}$ - điện áp phóng điện xung kích theo đường pha - đất.

b) Phóng điện theo đường pha - pha

$$I_s \geq \frac{U_{0,5}}{100(1 - k_d)} \tag{6.20}$$

trong đó: $U_{0,5}$ - điện áp phóng điện xung kích theo đường pha - pha.

Từ các biểu thức (6.15), (6.16), (6.17) và (6.18) có thể xác định xác suất phóng điện trên cách điện của đường dây và các bước tiếp theo xác định như trong mục 6.1.

BÀI TẬP ỨNG DỤNG

6.29 Một đường dây cao thế có tổng trở sóng 500 Ω. Hãy tính dòng điện chạy trong dây dẫn do sét đánh vào đường dây có biên độ 100 kA. Cho biết tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω.

Giải Áp dụng biểu thức (6.14), tính được dòng điện trong dây dẫn

$$I_{dd} = \frac{I_s}{2} \times \frac{Z_s}{Z_s + \frac{Z_{dd}}{2}} = \frac{100}{2} \times \frac{200}{200 + \frac{500}{2}} = 22,22 \quad kA$$

6.30 Một đường dây cao thế có tổng trở sóng 400 Ω. Hãy tính điện áp trên dây dẫn do sét đánh vào đường dây có biên độ 100kA. Cho biết tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω.

Giải Áp dụng biểu thức (6.15) và (6.16), tính được điện áp trên dây dẫn

$$I_{dd} = \frac{I_s}{4} = \frac{100}{4} = 25 \quad \text{kA}$$

$$U_{dd} = 400 \times 25 = 1000 \quad \text{kV}$$

6.31 Một đường dây 110 kV cột sắt không treo dây chống sét, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính xác suất phóng điện lên cách điện đường dây do dòng sét có biên độ I đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω và của khe sét là 200 Ω.

Giải Áp dụng biểu thức (6.16), dòng điện sét gây phóng điện sẽ là

$$U_{dd} = 100 I_s \geq U_{0,5} \quad \Leftrightarrow \quad I_s \geq \frac{U_{0,5}}{100}$$

$$I_s \geq \frac{660}{100} = 6,6 \text{ kA}$$

$U_{0,5} = 660\ kV$, tra trong phụ lục PL42.

Xác suất phóng điện trên cách điện đường dây:

$$v_p = e^{-6,6/26} = 0,78$$

6.32 Một đường dây 35 kV cột sắt không treo dây chống sét, trung tính cách ly, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính xác suất phóng điện do dòng sét có biên độ I đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, điện trở nối đất xung của cột điện 10 Ω và hệ số ngẫu hợp động 0,3.

Giải Áp dụng biểu thức (6.18), tính được dòng điện sét gây phóng điện:

$$I_s \geq \frac{U_{0,5}}{R_d(1 - k_d)}$$

Tra phụ lục PL42 cho $U_{0,5} = 380$ kV, Vậy:

$$I_s \geq \frac{380}{10(1 - 0,3)} = 54,29 \text{ kA}$$

Xác suất phóng điện trên cách điện đường dây

$$v_p = e^{-54,29/26} = 0,12.$$

6.33 Một đường dây 35 kV cột sắt không treo dây chống sét, trung tính cách ly, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính xác suất phóng điện do dòng sét có biên độ I đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, điện trở nối đất xung của cột điện 5 Ω và hệ số ngẫu hợp động 0,3.

Giải Áp dụng biểu thức (6.18), tính được dòng điện sét gây phóng điện

$$I_s \geq \frac{U_{0,5}}{R_d(1 - k_d)}$$

Tra phụ lục PL42 cho $U_{0,5} = 380$ kV, Vậy

$$I_s \geq \frac{380}{5(1 - 0,3)} = 108,57 \text{ kA}$$

Xác suất phóng điện trên cách điện đường dây:

$$v_p = e^{-108,57/26} = 0,015$$

6.34 Một đường dây 35 kV cột sắt, cao 10 m, dài 30 km, không treo dây chống sét, trung tính cách ly, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính số lần phóng điện trên cách điện đường dây do dòng sét có biên độ I đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở

sóng của khe sét là 200 Ω, điện trở nối đất xung của cột điện 10 Ω, hệ số ngẫu hợp động 0,3 và đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 100.

Giải Áp dụng biểu thức (6.18), tính được dòng điện sét gây phóng điện

$$I_s \geq \frac{U_{0,5}}{R_d(1 - k_d)}$$

Tra phụ lục PL42 cho $U_{0,5} = 380$ kV, Vậy:

$$I_s \geq \frac{380}{10(1 - 0,3)} = 54,29 \quad \text{kA}$$

Xác suất phóng điện trên cách điện đường dây:

$$v_p = e^{-54,29/26} = 0,12$$

Áp dụng biểu thức (6.1), tính được số lần sét đánh vào đường dây:

$$N = Fmn$$

$$N = 6\ hLmn = 6 \times 0,01 \times 30 \times 0,1 \times 100 = 18 \quad \text{lần/năm}$$

Áp dụng biểu thức (6.4), tính được số lần sét đánh gây phóng điện trên cách điện đường dây

$$N_p = N \times v_p = 18 \times 0,12 = 2,16 \quad \text{lần/năm}$$

6.35 Một đường dây 35 kV cột sắt, cao 10 m, dài 30 km, không treo dây chống sét, trung tính cách ly, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính số lần cắt điện đường dây do dòng sét có biên độ I đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, điện trở nối đất xung của cột điện 10 Ω, hệ số ngẫu hợp động 0,3 và đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2, số ngày có dông sét trong năm là 100, xác suất chuyển hồ quang xoay chiều tần số công nghiệp thành hồ quang xung là 0,7.

Giải Áp dụng biểu thức (6.18), tính được dòng điện sét gây phóng điện

$$I_s \geq \frac{U_{0,5}}{R_d(1 - k_d)}$$

Tra phụ lục PL42 cho $U_{0,5} = 380$ kV, vậy:

$$I_s \geq \frac{380}{10(1 - 0,3)} = 54,29 \quad \text{kA}$$

Xác suất phóng điện trên cách điện đường dây

$$v_p = e^{-54,29/26} = 0,12$$

Áp dụng biểu thức (6.1), tính được số lần sét đánh vào đường dây

$$N = Fmn$$

$$N = 6hLmn = 6 \times 0,01 \times 30 \times 0,1 \times 100 = 18 \quad \text{lần/năm}$$

Áp dụng biểu thức (6.4), tính được số lần sét đánh gây phóng điện trên cách điện đường dây

$$N_p = N \times v_p = 18 \times 0,12 = 2,16 \quad \text{lần/năm}$$

Áp dụng biểu thức (6.5), tính được số lần cắt điện đường dây

$$N_c = N_p \times \eta = = 2,16 \times 0,7 = 1,51 \quad \text{lần/năm}$$

6.36 Một đường dây 110 kV cột gỗ, cao 10 m, khoảng cách giữa các pha 4 m, không treo dây chống sét, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính suất cắt điện đường dây do sét đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, hệ số ngẫu hợp động 0,3 và đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2, số ngày có dông sét trong năm là 100, độ bền điện của gỗ là 100 kV/m và chiều dài chuỗi sứ 1,3 m.

Giải Áp dụng biểu thức (6.20), tính được dòng điện sét gây phóng điện

$$I_s \geq \frac{U_{0,5}}{100(1 - k_d)}$$

Tra phụ lục PL42 cho $U_{0,5-ch.sứ} = 660$ kV, Vậy điện áp phóng điện xung giữa hai pha và xà gỗ sẽ là

$$U_{0,5} = 2 \times U_{0,5-ch.sứ} + 4 \times 100 = 1720 \quad \text{kV}$$

Vậy $$I_s \geq \frac{1720}{100(1 - 0,3)} = 24,57 \quad \text{kA}$$

Xác suất phóng điện trên cách điện đường dây

$$v_p = e^{-24,57/26} = 0,39$$

Áp dụng biểu thức (6.1), tính được số lần sét đánh vào đường dây

$$N = 6\ hLmn = 6 \times 0,01 \times 100 \times 0,1 \times 100 = 60 \quad \text{lần/năm}$$

Áp dụng biểu thức (6.4), tính được số lần sét đánh gây phóng điện trên cách điện đường dây

$$N_p = N \times v_p = 60 \times 0,39 = 23,4 \quad \text{lần/năm}$$

Chiều dài phóng điện trong trường hợp này là

$$l_{pd} = 2 \times 1,3 + 4 = 6,6\ m$$

và gradient điện áp làm việc

$$E_{tb} = \frac{110}{\sqrt{3} \times 6,6} = 9,62 \quad \text{kV/m}$$

Áp dụng biểu thức (6.6), tính được η - xác suất duy trì hồ quang xung thành hồ quang tần số công nghiệp

$$\eta = 1,5(E_{tb} - 4) \times 10^2 = 1,5(9,62 - 4) \times 10^2 = 0,084$$

Vậy, suất cắt đường dây là

$$n_c = N_p \times \eta = 23,4 \times 0,084 = 1,97 \quad \text{lần/năm}$$

BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

6.37 Một đường dây cao thế có tổng trở sóng 600 Ω. Hãy tính dòng điện chạy trong dây dẫn do sét đánh vào đường dây có biên độ 70 kA. Cho biết tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω.

6.38 Một đường dây cao thế có tổng trở sóng 400 Ω. Hãy tính điện áp trên dây dẫn do sét đánh vào đường dây có biên độ 50 kA. Cho biết tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω.

6.39 Một đường dây 110 kV cột sắt không treo dây chống sét, nằm ở vùng đồi núi. Hãy tính xác suất phóng điện do dòng sét có biên độ *I* đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω và của khe sét là 200 Ω.

6.40 Một đường dây 35 kV cột sắt không treo dây chống sét, trung tính cách ly, nằm ở vùng đồi núi. Hãy tính xác suất phóng điện do dòng sét có biên độ *I* đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, điện trở nối đất xung của cột điện 15 Ω và hệ số ngẫu hợp động 0,3.

6.41 Một đường dây 35 kV cột sắt không treo dây chống sét, trung tính cách ly, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính xác suất phóng điện do dòng sét có biên độ *I* đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, điện trở nối đất xung của cột điện 7 Ω và hệ số ngẫu hợp động 0,3.

6.42 Một đường dây 35 kV cột sắt, cao 8 m, dài 10 km, không treo dây chống sét, trung tính cách ly, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính số lần phóng điện trên cách điện đường dây do dòng sét có biên độ I đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, điện trở nối đất xung của cột điện 15 Ω, hệ số ngẫu hợp động 0,3 và đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,15 lần/ng.sét. km^2 và số ngày có dông sét trong năm là 70.

6.43 Một đường dây 35 kV cột sắt, cao 10 m, dài 9 km, không treo dây chống sét, trung tính cách ly, nằm ở vùng đồi núi. Hãy tính số lần cắt điện đường dây do dòng sét có biên độ I đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, điện trở nối đất xung của cột điện 10 Ω, hệ số ngẫu hợp động 0,3 và đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,1 lần/ng.sét. km^2, số ngày có dông sét trong năm là 75, xác suất chuyển hồ quang xoay chiều tần số công nghiệp thành hồ quang xung là 0,7.

6.44 Một đường dây 110 kV cột gỗ, dạng hình π, dây dẫn có độ cao 10 m, khoảng cách giữa các pha 4m, không treo dây chống sét, nằm ở vùng đồng bằng. Hãy tính suất cắt điện đường dây do sét đánh thẳng vào dây dẫn. Cho biết tổng trở sóng của dây dẫn là 400 Ω, tổng trở sóng của khe sét là 200 Ω, hệ số ngẫu hợp động 0,3 và đường dây nằm trong vùng có mật độ sét 0,12 lần/ng.sét. km^2, số ngày có dông sét trong năm là 120, độ bền điện của gỗ là 100 kV/m và chiều dài chuỗi sứ 1,3 m.

Chương 7

BẢO VỆ CHỐNG SÉT TRUYỀN VÀO TRẠM

7.1 TÓM TẮT LÝ THUYẾT

Trong chương này chỉ trình bày phương pháp lập bảng để tính toán điện áp theo thời gian tại các điểm nút quan tâm. Các bước tính toán được tiến hành như sau:

Bước 1: Dựa vào sơ dồ nguyên lý, xác lập sơ đồ vận hành nguy hiểm nhất đứng trên quan điểm bảo vệ sóng sét truyền vào trạm.

Bước 2: Từ sơ đồ đã được xác lập ở bước 1, chọn các điểm nút quan tâm cần xác định điện áp. Các điểm nút quan tâm thường là:

- Dao cắt ly đầu đường dây có sóng truyền đến;
- Máy cắt đầu đường dây có sóng truyền đến;
- Thanh cái của trạm;
- Máy biến áp đo lường;
- Chống sét van;
- Máy biến áp động lực...

Bước 3: Tiến hành lập sơ đồ ở trạng thái sóng. Các dây dẫn, thanh góp được thay thế bằng tổng trở sóng của chúng (thường chọn là 400 Ω) và sơ đồ thay thế hình Π (mạch LC). Tuy nhiên đối với quá trình sét, chỉ thay bằng điện dung với

$$C_o = 8{,}33 \quad pF/m$$

Các thiết bị khác được thay bằng điện dung đầu vào của chúng cho ở phụ lục PL43.

Bước 4: Tiến hành lập sơ đồ tính toán. Từ sơ đồ trạng thái sóng ở bước 3, quy tất cả các điện dung trong sơ đồ về các điểm nút quan tâm bằng "phương pháp momen lực".

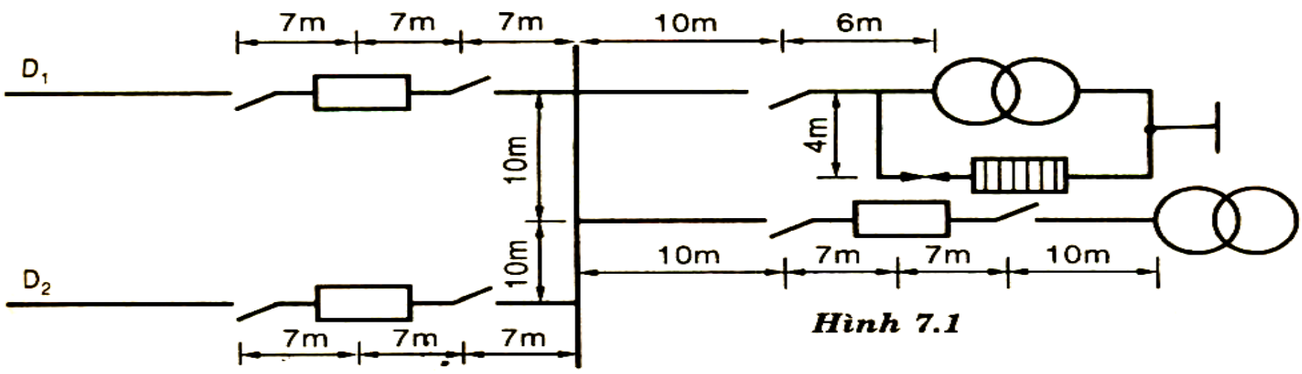
Bước 5: Tiến hành tính toán. Dùng các phương pháp tính điện áp tại điểm nút đã học trong giáo trình "Kỹ thuật điện cao áp" để tính toán.

Bước 6: Lập bảng tính toán và vẽ các dạng điện áp theo thời gian tại các điểm nút quan tâm, so sánh với các đường đặc tính chịu xung của cách điện của các thiết bị tương ứng.

Bước 7: Nhận xét và đánh giá kết quả.

7.2 BÀI TẬP ỨNG DỤNG

7.1 Một trạm biến áp với sơ đồ nguyên lý như hình 7.1. Thành lập sơ đồ tính toán quá trình sóng truyền từ đường dây D_2. Bỏ qua điện dung của dây dẫn và thanh góp.



Hình 7.1

Giải Thành lập sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng theo các bước sau:

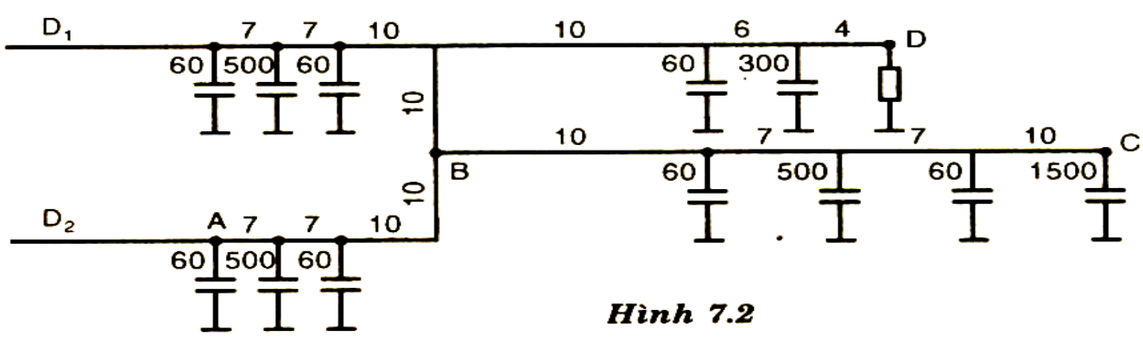
Bước 1: Chọn các điểm nút quan tâm:

Các điểm nút quan tâm chọn trong sơ đồ là:

- Nút A: Dao cắt ly đầu tiên trên đường dây D_2;
- Nút B: Thanh cái;
- Nút C: Máy biến áp động lực;
- Nút D: Chống sét van.

Bước 2: Thành lập sơ đồ ở trạng thái sóng:

Trước tiên dựa vào các giá trị điện dung đầu vào của các thiết bị trong phụ lục PL43 và thành lập được sơ đồ như hình 7.2:



Hình 7.2

Bước 3: Thành lập sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng:

Các điểm nút quan tâm đã được chọn. Quy tất cả các điện dung không nằm ở các nút này về các nút đã được chọn bằng phương pháp momen lực:

a) Tại nút A và B

Ở trong đoạn này có hai điện dung cần phải quy về nút A và B. Đó là C_1 và C_2

$$C_1^a = C_1\frac{27}{34} = 500\frac{27}{34} = 397 \text{ pF}$$

$$C_2^a = C_2\frac{20}{34} = 60\frac{20}{34} = 35 \text{ pF}$$

$$C_1^b = C_1\frac{7}{34} = 500\frac{7}{34} = 103 \text{ pF}$$

$$C_2^b = C_2\frac{14}{34} = 60\frac{14}{34} = 25 \text{ pF}$$

b) Tại nút B và C

Ở trong đoạn này có ba điện dung cần phải quy về nút B và C. Đó là C_3 , C_4 và C_5 :

$$C_3^b = C_3\frac{24}{34} = 60\frac{24}{34} = 42 \text{ pF}$$

$$C_3^c = C_3\frac{10}{34} = 60\frac{10}{34} = 18 \text{ pF}$$

$$C_4^b = C_4\frac{17}{34} = 500\frac{17}{34} = 250 \text{ pF}$$

$$C_4^c = C_4\frac{17}{34} = 500\frac{17}{34} = 250 \text{ pF}$$

$$C_5^b = C_5\frac{10}{34} = 60\frac{10}{34} = 18 \text{ pF}$$

$$C_5^c = C_5\frac{24}{34} = 60\frac{24}{34} = 42 \text{ pF}$$

c) Tại nút B và D

Ở trong đoạn này có ba điện dung cần phải quy về nút B và D. Đó là C_6 , C_7 và C_8 :

$$C_6^b = C_6\frac{20}{30} = 620\frac{20}{30} = 413 \text{ pF}$$

$$C_6^d = C_6\frac{10}{30} = 620\frac{10}{30} = 207 \text{ pF}$$

$$C_7^b = C_7\frac{10}{30} = 60\frac{10}{30} = 20 \text{ pF}$$

$$C_7^d = C_7\frac{20}{30} = 60\frac{20}{30} = 40 \text{ pF}$$

$$C_8^b = C_8\frac{4}{30} = 300\frac{4}{30} = 40 \text{ pF}$$

$$C_8^d = C_8\frac{26}{30} = 300\frac{26}{30} = 260 \text{ pF}$$

Như vậy điện dung tổng tại nút A là

$$C_A = C_a + C_1^a + C_2^a$$

$$C_A = 60 + 397 + 35 = 492 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút B là

$$C_B = C_b + C_1^b + C_2^b + C_3^b + C_4^b + C_5^b + C_6^b + C_7^b + C_8^b$$

$$C_B = 103 + 25 + 42 + 250 + 18 + 413 + 20 + 40 = 911 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút C là

$$C_C = C_c + C_3^c + C_4^c + C_5^c$$

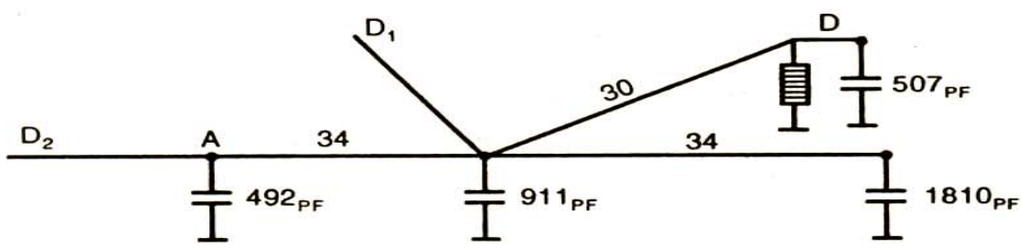
$$C_C = 1500 + 18 + 250 + 42 = 1810 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút D là

$$C_D = C_d + C_6^d + C_7^d + C_8^d$$

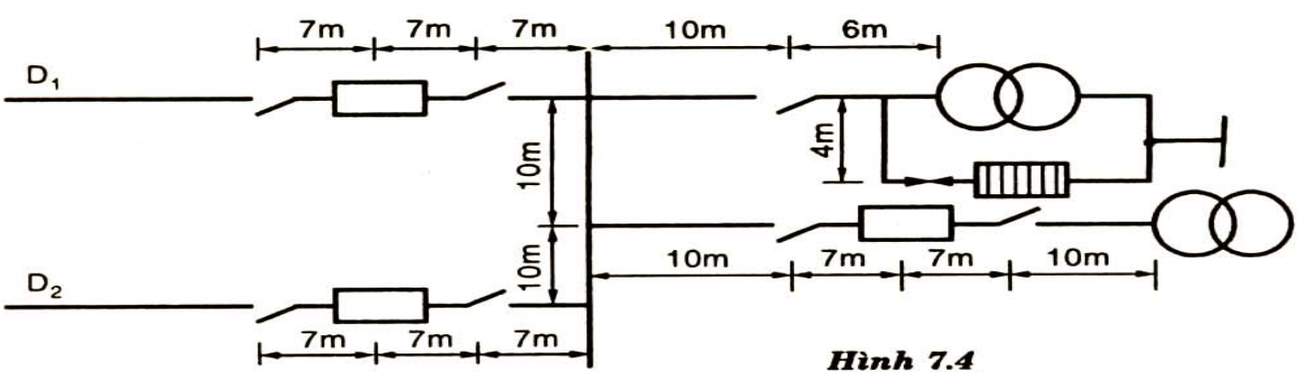
$$C_D = 207 + 40 + 260 = 507 \text{ pF}$$

và sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng được vẽ trong hình 7.3.



Hình 7.3

7.2 Một trạm biến áp với sơ đồ nguyên lý như hình 7.4. Thành lập sơ đồ tính toán quá trình sóng truyền từ đường dây D_1. Bỏ qua điện dung của dây dẫn và thanh góp.



Hình 7.4

Giải Thành lập sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng theo các bước sau:

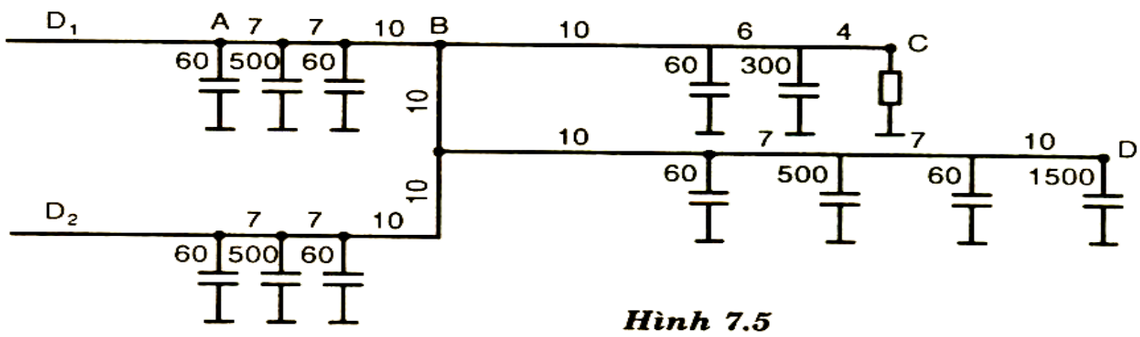
1).Bước 1: Chọn các điểm nút quan tâm:

Các điểm nút quan tâm chọn trong sơ đồ là:

- Nút A: Dao cắt ly đầu tiên trên đường dây D_1;
- Nút B: Thanh cái;
- Nút C: Máy biến áp động lực;
- Nút D: Chống sét van.

Bước 2: Thành lập sơ đồ ở trạng thái sóng:

Trước tiên dựa vào các giá trị điện dung đầu vào của các thiết bị trong phụ lục PL43 và thành lập được sơ đồ như hình 7.5.



Hình 7.5

Bước 3: Thành lập sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng:

Các điểm nút quan tâm đã được chọn. Quy tất cả các điện dung không nằm ở các nút này về các nút đã được chọn bằng phương pháp momen lực:

a) Tại nút A và B

Ở trong đoạn này có hai điện dung cần phải quy về nút A và B. Đó là C_1 và C_2:

$$C_1^a = C_1\frac{17}{24} = 500\frac{17}{24} = 354 \quad \text{pF}$$

$$C_2^a = C_2\frac{10}{24} = 60\frac{10}{24} = 25 \quad \text{pF}$$

$$C_1^b = C_1\frac{7}{24} = 500\frac{7}{24} = 146 \quad \text{pF}$$

$$C_2^b = C_2\frac{14}{24} = 60\frac{14}{24} = 35 \quad \text{pF}$$

b) Tại nút B và C

Ở trong đoạn này có hai điện dung cần phải quy về nút B và C. Đó là C_3 và C_4

$$C_3^b = C_3 \frac{10}{20} = 60 \frac{10}{20} = 30 \text{ pF}$$

$$C_3^c = C_3 \frac{10}{20} = 60 \frac{10}{20} = 30 \text{ pF}$$

$$C_4^b = C_4 \frac{4}{20} = 300 \frac{4}{20} = 60 \text{ pF}$$

$$C_4^c = C_4 \frac{16}{20} = 300 \frac{16}{20} = 240 \text{ pF}$$

c) Tại nút B và D

Ở trong đoạn này có bốn điện dung cần phải quy về nút B và D. Đó là C_5, C_6, C_7 và C_8:

$$C_5^b = C_5 \frac{34}{44} = 620 \frac{34}{44} = 479 \text{ pF}$$

$$C_5^d = C_5 \frac{10}{44} = 620 \frac{10}{44} = 141 \text{ pF}$$

$$C_6^b = C_6 \frac{24}{44} = 60 \frac{24}{44} = 33 \text{ pF}$$

$$C_6^d = C_6 \frac{20}{44} = 60 \frac{20}{44} = 27 \text{ pF}$$

$$C_7^b = C_7 \frac{17}{44} = 500 \frac{17}{44} = 193 \text{ pF}$$

$$C_7^d = C_7 \frac{27}{44} = 500 \frac{27}{44} = 307 \text{ pF}$$

$$C_8^b = C_8 \frac{10}{44} = 60 \frac{10}{44} = 14 \text{ pF}$$

$$C_8^d = C_8 \frac{34}{44} = 60 \frac{34}{44} = 46 \text{ pF}$$

Như vậy điện dung tổng tại nút A là

$$C_A = C_a + C_1^a + C_2^a$$

$$C_A = 60 + 354 + 25 = 439 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút B là

$$C_B = C_b + C_1^b + C_2^b + C_3^b + C_4^b + C_5^b + C_6^b + C_7^b + C_8^b$$

$$C_B = 146 + 35 + 30 + 60 + 479 + 33 + 193 + 14 = 990 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút C là

$$C_C = C_3^c + C_4^c$$

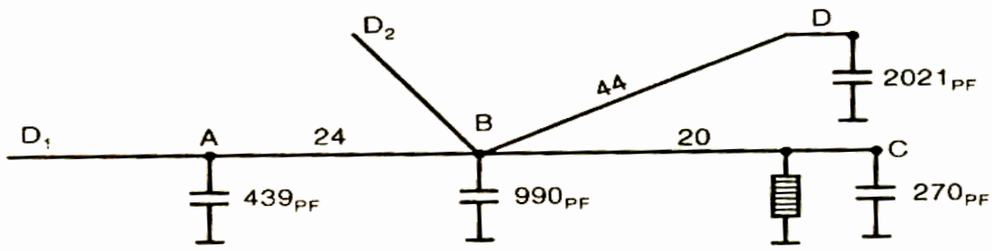
$$C_C = 30 + 240 = 270 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút D là

$$C_D = C_d + C_5^d + C_6^d + C_7^d + C_8^d$$

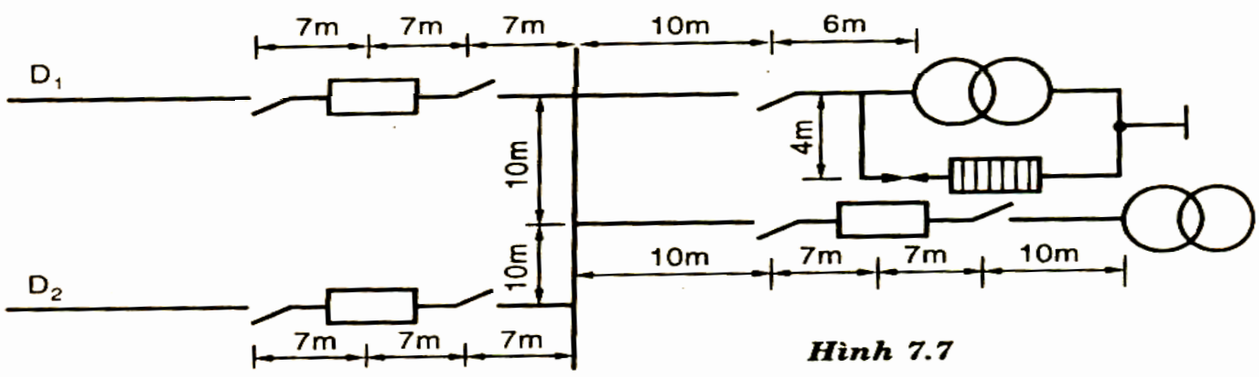
$$C_D = 1500 + 141 + 27 + 307 + 46 = 2021 \text{ pF}$$

và sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng được vẽ trong hình 7.6.



Hình 7.6

7.3 Một trạm biến áp với sơ đồ nguyên lý như trong hình 7.7. Thành lập sơ đồ tính toán quá trình sóng truyền từ đường dây trong trường hợp vận hành nguy hiểm nhất.



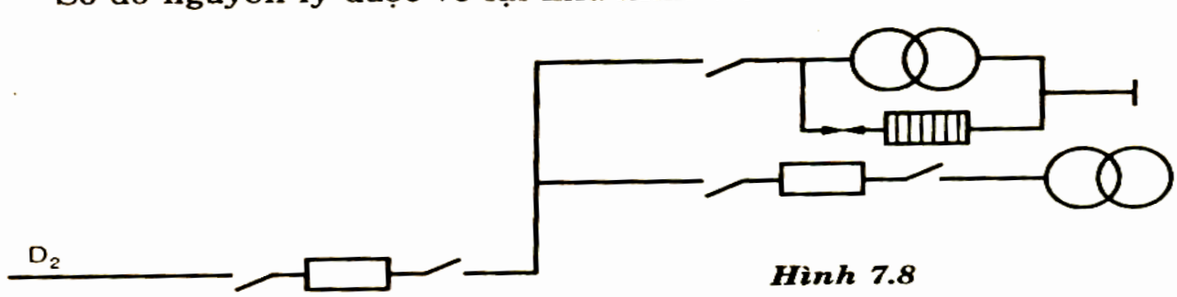
Hình 7.7

Giải Thành lập sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng theo các bước sau:

Bước 1: Chọn sơ đồ vận hành nguy hiểm

Trạng thái vận hành nguy hiểm nhất cho máy biến áp trong trường hợp này là đường dây D_1 bị cắt và sóng truyền vào đường dây D_2.

Sơ đồ nguyên lý được vẽ lại như hình 7.8



Hình 7.8

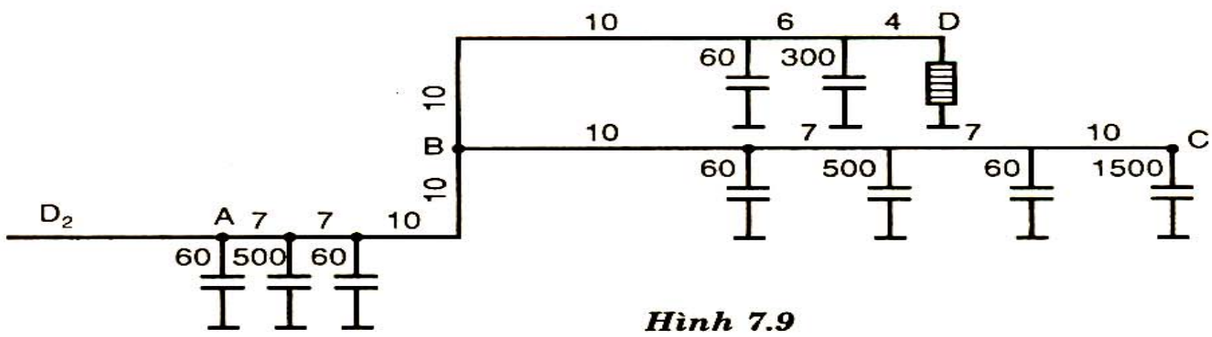
Bước 2: Chọn các điểm nút quan tâm

Các điểm nút quan tâm chọn trong sơ đồ là:

- Nút A: Dao cắt ly đầu tiên trên đường dây D_2;
- Nút B: Thanh cái;
- Nút C: Máy biến áp động lực;
- Nút D: Chống sét van.

Bước 3: Thành lập sơ đồ ở trạng thái sóng

Trước tiên dựa vào các giá trị điện dung đầu vào của các thiết bị trong phụ lục PL43 và thành lập được sơ đồ như hình 7.9.



Hình 7.9

Bước 4: Thành lập sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng

1- Điện dung đầu vào của các thiết bị

Các điểm nút quan tâm đã được chọn. Quy tất cả các điện dung không nằm ở các nút này về các nút đã được chọn bằng phương pháp momen lực. Bỏ qua điện dung của dao cắt ly và máy cắt trên đường dây D_1:

a) Tại nút A và B

Ở trong đoạn này có hai điện dung cần phải quy về nút A và B. Đó là C_1 và C_2:

$$C_1^a = C_1\frac{27}{34} = 500\frac{27}{34} = 397 \quad \text{pF}$$

$$C_2^a = C_2\frac{20}{34} = 60\frac{20}{34} = 35 \quad \text{pF}$$

$$C_1^b = C_1\frac{7}{34} = 500\frac{7}{34} = 103 \quad \text{pF}$$

$$C_2^b = C_2\frac{14}{34} = 60\frac{14}{34} = 25 \quad \text{pF}$$

b) Tại nút B và C

Ở trong đoạn này có ba điện dung cần phải quy về nút B và C. Đó là C_3, C_4 và C_5

$$C_3^b = C_3 \frac{24}{34} = 60 \frac{24}{34} = 42 \quad \text{pF}$$

$$C_3^c = C_3 \frac{10}{34} = 60 \frac{10}{34} = 18 \quad \text{pF}$$

$$C_4^b = C_4 \frac{17}{34} = 500 \frac{17}{34} = 250 \quad \text{pF}$$

$$C_4^c = C_4 \frac{17}{34} = 500 \frac{17}{34} = 250 \quad \text{pF}$$

$$C_5^b = C_5 \frac{10}{34} = 60 \frac{10}{34} = 18 \quad \text{pF}$$

$$C_5^c = C_5 \frac{24}{34} = 60 \frac{24}{34} = 42 \quad \text{pF}$$

c) Tại nút B và D

Ở trong đoạn này có ba điện dung cần phải quy về nút B và D. Đó là C_6 và C_7

$$C_6^b = C_6 \frac{10}{30} = 60 \frac{10}{30} = 20 \quad \text{pF}$$

$$C_6^d = C_6 \frac{20}{30} = 60 \frac{20}{30} = 40 \quad \text{pF}$$

$$C_7^b = C_7 \frac{4}{30} = 300 \frac{4}{30} = 40 \quad \text{pF}$$

$$C_7^d = C_7 \frac{26}{30} = 000 \frac{26}{30} = 260 \quad \text{pF}$$

Như vậy điện dung tổng tại nút A là

$$C_A = C_a + C_1^a + C_2^a$$

$$C_A = 60 + 397 + 35 = 492 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút B là

$$C_B = C_b + C_1^b + C_2^b + C_3^b + C_4^b + C_5^b + C_6^b + C_7^b$$

$$C_B = 103 + 25 + 42 + 250 + 18 + 20 + 40 = 498 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút C là

$$C_C = C_c + C_3^c + C_4^c + C_5^c$$

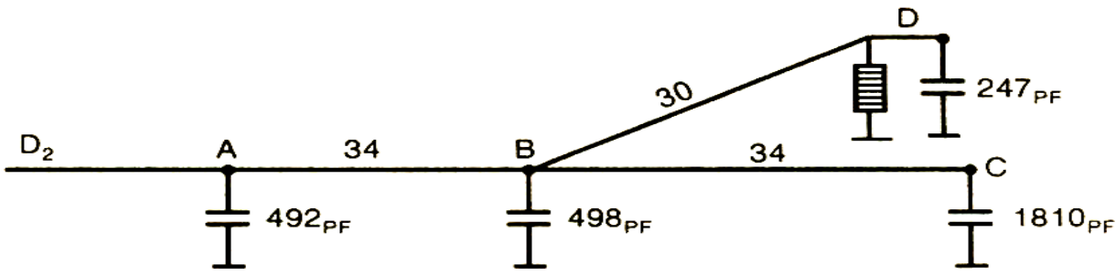
$$C_C = 1500 + 18 + 250 + 42 = 1810 \text{ pF}$$

Điện dung tổng tại nút D là

$$C_D = C_d + C_6^d + C_7^d$$

$$C_D = 207 + 40 = 247 \text{ pF}$$

và sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng được vẽ trong hình 7.10.



Hình 7.10

2- Điện dung của các thanh dẫn và thanh góp

Tất cả các điện dung của thanh dẫn và thanh cái được phân bố đều theo chiều dài đường dây của chúng với điện dung trên đơn vị dài là

$$C_o = 8{,}33 \ pF/m$$

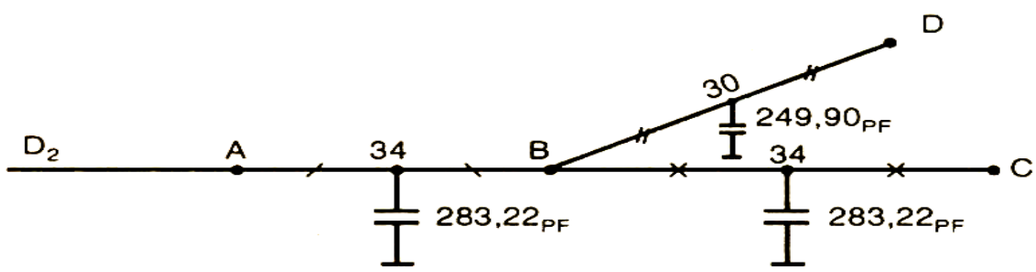
Như vậy, điện dung tổng của các đoạn như sau

$$C_{AB} = 34 \times 8{,}33 = 283{,}22 \ pF$$

$$C_{BC} = 34 \times 8{,}33 = 283{,}22 \ pF$$

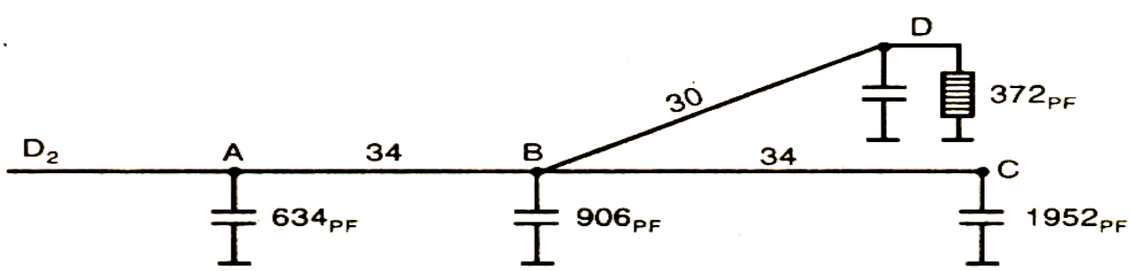
$$C_{BD} = 30 \times 8{,}33 = 249{,}90 \ pF$$

Mỗi một điện dung trên dây phân đều về cho hai nút kế cận. và sơ đồ phân bố điện dung được vẽ trong hình 7.11.



Hình 7.11

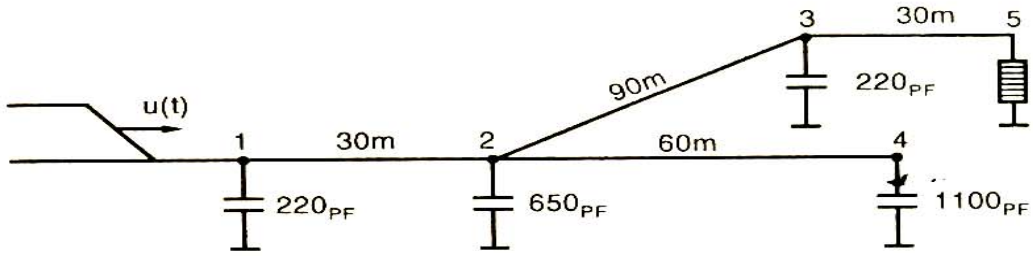
Tổng hợp điện dung trong hai sơ đồ hình 7.10 và hình 7.11 sẽ cho sơ đồ tính toán của trạm ở trạng thái sóng và được vẽ trong hình 7.12.



Hình 7.12

7.4 Một trạm biến áp 110 kV với sơ đồ tính toán ở trang thái sóng vẽ trong hình 7.13. Trình bày quá trình tính toán bằng phương pháp lập bảng để xác định điện áp tại các điểm nút quan tâm. Cho biết dạng sóng điện áp sét truyền vào trạm có dạng

$$u(t) = \begin{cases} 225 \times t, & kV \quad khi \quad t \le T_{ds} \\ U_{\max}, & kV \quad khi \quad t > T_{ds} \end{cases}$$



Hình 7.13

Giải *1- Tính toán số liệu ban đầu*

a- Thời gian sóng truyền giữa các nút (t_{ij})

Trên sơ đồ hình 7.13 có năm điểm nút cần tính toán điện áp là 1, 2, 3, 4 và 5. Có bốn đoạn sóng sẽ truyền qua l_{12}, l_{23}, l_{24} và l_{35} tương ứng với các thời gian truyền sóng

$$t_{12} = t_{21} = \frac{30}{300} = 0{,}1 \ \mu s$$

$$t_{23} = t_{32} = \frac{90}{300} = 0{,}3 \ \mu s$$

$$t_{24} = t_{42} = \frac{60}{300} = 0{,}2 \ \mu s$$

$$t_{35} = t_{53} = \frac{30}{300} = 0{,}1 \ \mu s$$

Dựa vào các khoảng thời gian trên ta có thể chọn $\Delta t = 0{,}05$ µs

a- Tổng trở đẳng trị và các hệ số α_{mx} tại các điểm nút

Tổng trở sóng đẳng trị được xác định theo công thức sau

$$Z_{dtx} = \frac{Z_m}{n}$$

với: $Z_m = 400\ \Omega$ - tổng trở sóng của dây dẫn và thanh cái;

n - số nhánh đến điểm x.

Suy ra: $Z_{dt1} = \frac{Z_m}{2} = 200\ \Omega$

$$Z_{dt2} = \frac{Z_m}{3} = 133,3\ \Omega$$

$$Z_{dt3} = \frac{Z_m}{2} = 200\ \Omega$$

$$Z_{dt4} = Z_m = 400\ \Omega$$

Từ đó tính được:

$$\alpha_{m1} = \frac{2.Z_{dt1}}{Z_m} = \frac{2.200}{400} = 1$$

$$\alpha_{m2} = \frac{2.Z_{dt2}}{Z_m} = \frac{2.133,3}{400} = 0,667$$

$$\alpha_{m3} = \frac{2.Z_{dt3}}{Z_m} = \frac{2.200}{400} = 1$$

$$\alpha_{m4} = \frac{2.Z_{dt4}}{Z_m} = \frac{2.400}{400} = 2$$

c- Hằng số thời gian tại các điểm nút (T_{ci})

$$Tc_1 = Z_{dt1} \times C_1 = 200 \times 220.10^{-12} = 0,044\ \mu s$$

$$Tc_2 = Z_{dt2} \times C_2 = 133,3 \times 650.10^{-12} = 0,086\ \mu s$$

$$Tc_3 = Z_{dt3} \times C_3 = 200 \times 220.10^{-12} = 0,044\ \mu s$$

$$Tc_4 = Z_{dt4} \times C_4 = 400 \times 1100.10^{-12} = 0,44\ \mu s$$

Từ các hằng số trên ta có thể tính được các hệ số

$$\beta_1 = \frac{\Delta t}{Tc_1} = \frac{0,05}{0,044} = 1,14$$

$$\beta_2 = \frac{\Delta t}{Tc_2} = \frac{0,05}{0,086} = 0,58$$

$$\beta_3 = \frac{\Delta t}{Tc_3} = \frac{0,05}{0,044} = 1,14$$

$$\beta_4 = \frac{\Delta t}{Tc_4} = \frac{0,05}{0,44} = 0,11$$

Ngoài ra từ đầu đề ta còn tính được giá trị T_{ds}

$$T_{ds} = \frac{U_{max}}{225} = \frac{660}{225} = 2,93\ \mu s$$

2- Phương pháp tính điện áp tại các điểm nút

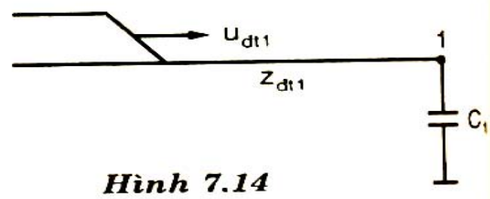
Để thuận tiện trong việc tính toán ta quy ước như sau:

U_{ij}: sóng truyền từ nút i đến j và đang ở i

U'_{ij}: sóng truyền từ nút i đến j và đang ở j. U'_{ij} sẽ có giá trị như U_{ij} nhưng về mặt thời gian thì nó bị chậm hơn 1 khoảng thời gian là t_{ij}.

a- Điện áp tại nút 1: $U_1(t)$

Tại nút 1 sơ đồ tương đương được vẽ lại như trong hình 7.14.



Hình 7.14

Theo công thức từ quy tắc sóng đẳng trị, nhận được

$$2.U_{dt1} = \sum_{m=1}^{n} \alpha_{mx}.U_{mx} = \alpha_{m1}.\sum_{m=1}^{n} U_{m1} = U'_{01} + U'_{21}$$

Tại nút 1 tồn tại điện dung tập trung, cho nên áp dụng phương pháp sai phân để tính điện áp tại đây thể hiện qua

$$\Delta U_1(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{T_{c1}}[2U_{dt1}(t) - U_1(t)]$$

$$U_1(t + \Delta t) = U_1(t) + \Delta U_1(t + \Delta t)$$

hay:
$$U_1(t + \Delta t) = U_1(t) + \frac{\Delta t}{T_{c1}}[2U_{dt1} - U_1(t)]$$

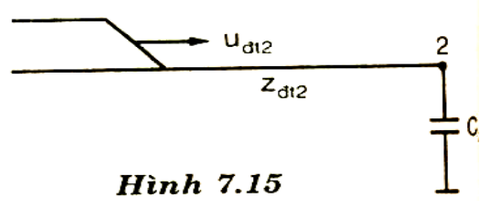
Khi đã có điện áp tại nút 1 sẽ xác định được

$$U_{12}(t) = U_1(t) - U'_{21}(t)$$

Thành phần này sẽ xuất hiện tại nút 2 sau thời gian t_{12}.

b- Điện áp tại nút 2: $U_2(t)$

Tại nút 2 sơ đồ tương đương được vẽ lại như trong hình 7.15:



Hình 7.15

Theo công thức từ quy tắc sóng đẳng trị, nhận được

$$2.U_{dt2} = \sum_{m=1}^{n} \alpha_{mx}.U_{mx} = \alpha_{m2}.\sum_{m=1}^{n} U_{m2} = 0{,}667(U'_{12} + U'_{32} + U'_{42})$$

Tại nút 2 tồn tại điện dung tập trung, cho nên áp dụng phương pháp sai phân để tính điện áp tại đây thể hiện qua

$$\Delta U_2(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{T_{c2}}[2U_{dt2}(t) - U_2(t)]$$

$$U_2(t + \Delta t) = U_2(t) + \Delta U_2(t + \Delta t)$$

hay:

$$U_2(t + \Delta t) = U_2(t) + \frac{\Delta t}{T_{c2}}[2U_{dt2} - U_2(t)]$$

Khi đã có điện áp tại nút 2 sẽ xác định được

$$U_{21}(t) = U_2(t) - U'_{12}(t)$$

Thành phần này sẽ xuất hiện tại nút 1 sau thời gian t_{12}.

$$U_{23}(t) = U_2(t) - U'_{32}(t)$$

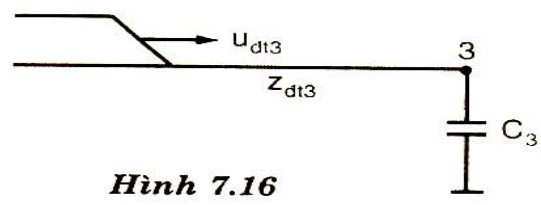
Thành phần này sẽ xuất hiện tại nút 3 sau thời gian t_{23}.

$$U_{24}(t) = U_2(t) - U'_{42}(t)$$

Thành phần này sẽ xuất hiện tại nút 4 sau thời gian t_{24}.

c- Điện áp tại nút 3: $U_3(t)$

Tại nút 2 sơ đồ tương đương được vẽ lại như trong hình 7.16:



Hình 7.16

Theo công thức từ quy tắc sóng đẳng trị, nhận được:

$$2.U_{dt3} = \sum_{m=1}^{n} \alpha_{mx}.U_{mx} = \alpha_{m3}.\sum_{m=1}^{n} U_{m3} = (U'_{23} + U'_{53})$$

Tại nút 3 tồn tại điện dung tập trung, cho nên áp dụng phương pháp sai phân để tính điện áp tại đây thể hiện qua

$$\Delta U_3(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{T_{c3}}[2U_{dt3}(t) - U_3(t)]$$

$$U_3(t + \Delta t) = U_3(t) + \Delta U_3(t + \Delta t)$$

hay

$$U_3(t + \Delta t) = U_3(t) + \frac{\Delta t}{T_{c3}}[2U_{dt3} - U_3(t)]$$

Khi đã có điện áp tại nút 3 sẽ xác định được:

$$U_{32}(t) = U_3(t) - U'_{23}(t)$$

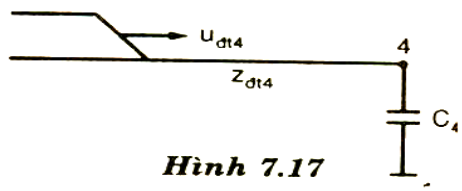
Thành phần này sẽ xuất hiện tại nút 2 sau thời gian t_{23}.

$$U_{35}(t) = U_3(t) - U'_{53}(t)$$

Thành phần này sẽ xuất hiện tại nút 5 sau thời gian t_{35}.

d- Điện áp tại nút 4: $U_4(t)$

Tại nút 4 sơ đồ được vẽ lại như trong hình 7.17:



Hình 7.17

Theo công thức từ quy tắc sóng đẳng trị, nhận được:

$$2.U_{dt4} = \sum_{m=1}^{n} \alpha_{mx}.U_{mx} = \alpha_{m4}.\sum_{m=1}^{n} U_{m4} = 2U'_{24}$$

Tại nút 4 tồn tại điện dung tập trung, cho nên áp dụng phương pháp sai phân để tính điện áp tại đây thể hiện qua

$$\Delta U_4(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{T_{c4}}[2U_{dt4}(t) - U_4(t)]$$

$$U_4(t + \Delta t) = U_4(t) + \Delta U_4(t + \Delta t)$$

hay:

$$U_4(t + \Delta t) = U_4(t) + \frac{\Delta t}{T_{c4}}[2U_{dt4} - U_4(t)]$$

Khi đã có điện áp tại nút 4 sẽ xác định được

$$U_{42}(t) = U_4(t) - U'_{24}(t)$$

Thành phần này sẽ xuất hiện tại nút 2 sau thời gian t_{24}.

e- Điện áp tại nút 5: $U_5(t)$

Tại điểm nút 5 có đặt CSV. Biết rằng CSV chỉ làm việc khi sóng tác dụng lên nó vượt quá đặc tính vôn - giây của CSV. Vì vậy khi tính $U_5(t)$ chia làm hai giai đoạn:

1) Khi CSV chưa làm việc: xem như điểm 5 hở mạch, nghĩa là

$$U_5(t) = 2U'_{35}(t)$$

2) Khi CSV làm việc: $U_5(t)$ được xác định bằng phương pháp đồ thị như lý thuyết đã học.

Sau khi tìm được $U_5(t)$, sẽ tìm được điện áp:

$$U_{53}(t) = U_5(t) - U'_{35}(t)$$

Sau khi tìm hiểu các công thức tính điện áp ở các điểm nút, tiến hành lập bảng tính toán có dạng như bảng sau:

Bảng số tính toán điện áp tại các điểm nút trong trạm biến áp

A1	A2	A3	A4	A5	A6
Thời gian, t	U'_{01}	U'_{21}	$2U_{đt1}$	ΔU_1	U_1
Δt, μs	u(t)	$A_{14}(t - t_{12})$	$\alpha_{m1}(A_2 + A_3)$	$\beta_1(A_5 - A_6)$	$A_5 + A_6$
0	0	0	0	0	0
Δt					
$2\Delta t$					
...					

A1	A7	A8	A9	A10	A11
Thời gian, t	U_{12}	U'_{12}	U'_{32}	U'_{42}	$2U_{đt2}$
Δt, μs	$A_3 - A_6$	$A_7(t - t_{12})$	$A_{22}(t - t_{23})$	$A_{32}(t - t_{24})$	$\alpha_{m2}(A_8 + A_9 + A_{10})$
0	0	0	0	0	0
Δt					
$2\Delta t$					
...					

A1	A12	A13	A14	A15	A16
Thời gian, t	ΔU_2	U_2	U_{21}	U_{23}	U_{24}
Δt, μs	$\beta_2(A_{11} - A_{13})$	$A_{12} + A_{13}$	$A_{13} - A_8$	$A_{13} - A_9$	$A_{13} - A_{10}$
0	0	0	0	0	0
Δt					
$2\Delta t$					
...					

A1	A17	A18	A19	A20	A21
Thời gian, t	U'_{23}	U'_{53}	$2U_{đt3}$	ΔU_3	U_3
Δt, μs	$A_{15}(t - t_{23})$	$A_{26}(t - t_{35})$	$\alpha_{m3}(A_{17} + A_{18})$	$\beta_3(A_{19} - A_{21})$	$A_{20} + A_{21}$
0	0	0	0	0	0
Δt					
$2\Delta t$					
...					

A1	A22	A23	A24	A25	A26
Thời gian, t	U_{32}	U_{35}	U'_{35}	$2U_{đt}$	U_5
Δt, μs	$A_{21} - A_{17}$	$A_{21} - A_{18}$	$A_{23}(t - t_{35})$	$2A_{24}$	Đồ thị
0	0	0	0	0	0
Δt					
$2\Delta t$					
...					

A1	A27	A28	A29	A30	A31
Thời gian, t	U_{53}	U'_{24}	$2U_{đt4}$	ΔU_4	U_4
Δt, μs	$A_{26} - A_{24}$	$A_{16}(t - t_{24})$	$2A_{28}$	$\beta_4(A_{29} - A_{31})$	$A_{30} + A_{31}$
0	0	0	0	0	0
Δt					
$2\Delta t$					
...					

A1	A32	A33
Thời gian, t	U_{42}	I_{csv}
Δt, μs	$A_{31} - A_{28}$	Đồ thị
0	0	0
Δt		
$2\Delta t$		
...		

Lưu ý: Trong khi tính toán và lập bảng số cần lưu ý các điểm sau:

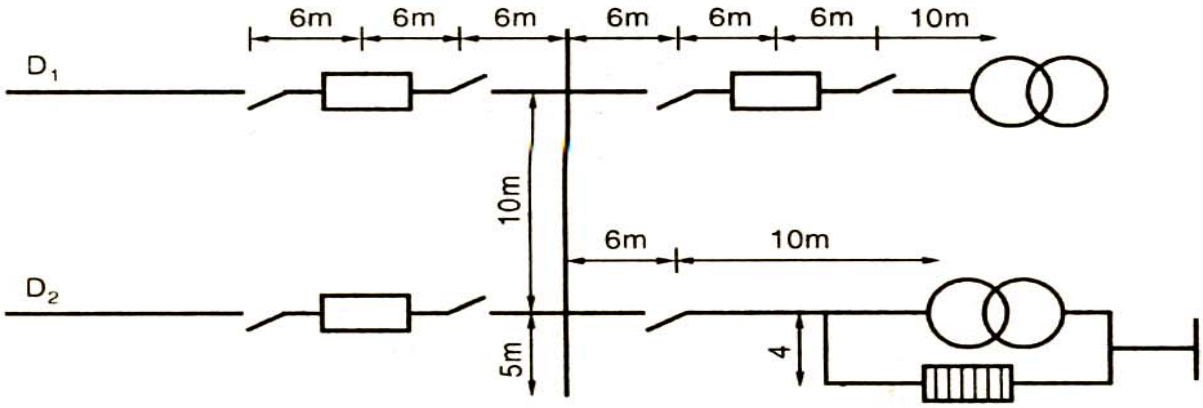
1- *Cột A1:* Số liệu ở cột này được tính theo biểu thức toán học của dạng sóng điện áp tính toán theo thời gian.

2- *Cột A26 và A33:* Số liệu ở các cột này được tính theo phương pháp đồ thị khi cuối đường dây là một chống sét van.

3- Các số liệu trong các cặp cột (A1,A6), (A1,A13), (A1,A21), (A1,A26) và (A1,A31) dùng để vẽ các đường cong điện áp theo thời gian tại các điểm nút và (A1,A33) dùng để vẽ dòng điện theo thời gian qua chống sét van.

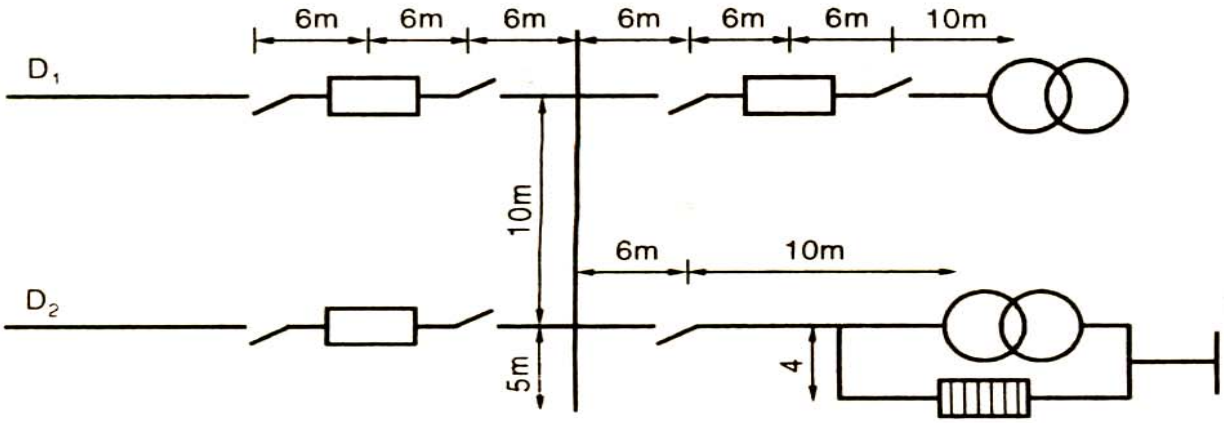
7.3 BÀI TẬP TỰ KIỂM TRA

7.5 Một trạm biến áp với sơ đồ nguyên lý như trong hình 7.18. Thành lập sơ đồ tính toán quá trình sóng truyền từ đường dây D_2. Bỏ qua điện dung của dây dẫn và thanh góp.



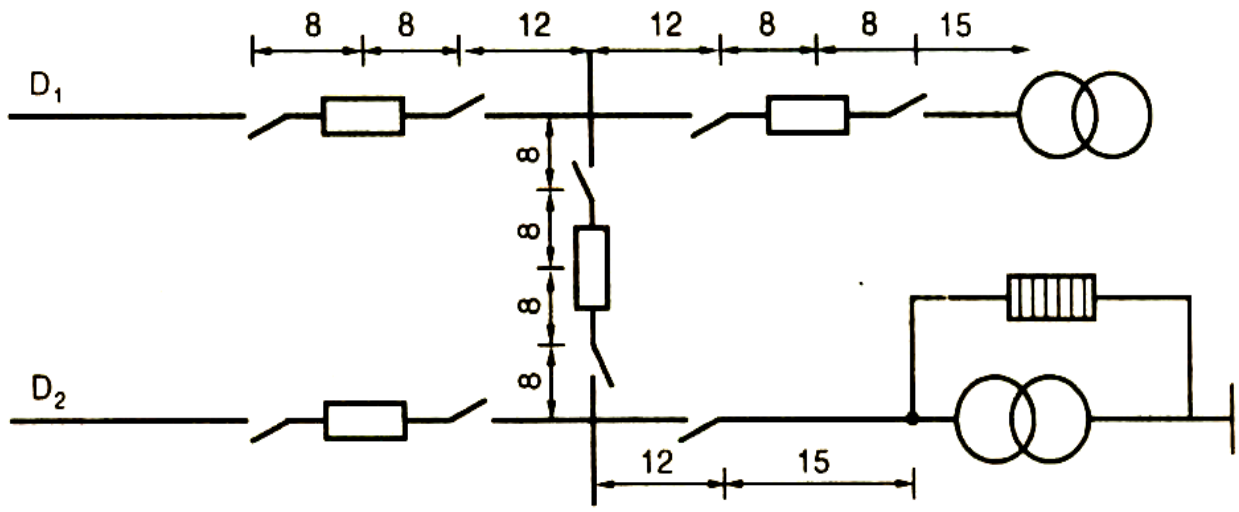
Hình 7.18

7.6 Một trạm biến áp với sơ đồ nguyên lý như trong hình 7.19. Thành lập sơ đồ tính toán quá trình sóng truyền từ đường dây D_1. Bỏ qua điện dung của dây dẫn và thanh góp.



Hình 7.19

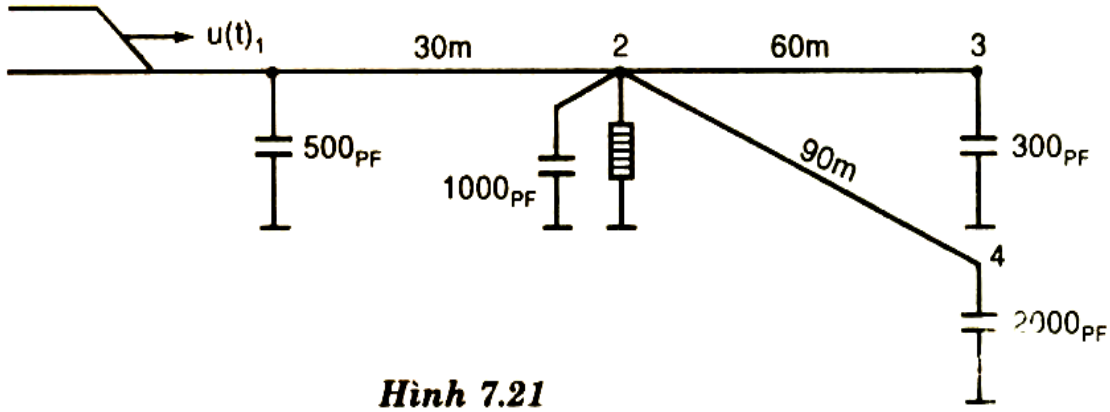
.7 Một trạm biến áp với sơ đồ nguyên lý như trong hình 7.20. Thành ıp sơ đồ tính toán quá trình sóng truyền từ đường dây trong trường hợp ,ận hành nguy hiểm nhất.



Hình 7.20

7.8 Một trạm biến áp 220 kV với sơ đồ tính toán ở trạng thái sóng vẽ trong hình 7.21. Trình bày quá trình tính toán bằng phương pháp lập bảng để xác định điện áp tại các điểm nút quan tâm. Cho biết dạng sóng điện áp sét truyền vào trạm có dạng:

$$u(t) = \begin{cases} 400 \times t, & kV \quad khi \quad t \le T_{ds} \\ U_{\max}, & kV \quad khi \quad t > T_{ds} \end{cases}$$



Hình 7.21

Chương 8

CÁC BÀI TOÁN TỔNG HỢP

8.1 Tính điện trở tản xoay chiều của hệ thống nối đất gồm hai cọc tròn chôn nổi trong đất. Biết chiều dài của cọc l = 4 m, đường kính điện cực d = 45 mm, điện trở suất của đất đã quy về tính toán ρ = 120 Ωm. Hệ số sử dụng của hệ thống 0,9.

Giải Điện trở tản xoay chiều của một cọc

$$R_1 = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d},$$

Vậy:

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{120}{2\pi \times 4} \ln \frac{4 \times 4}{0{,}045} = 28\ (\Omega)$$

Điện trở tản tổng:

$$R_{th} = \frac{R_c}{2\eta} = \frac{28}{2 \times 0{,}9} = 15{,}56\ (\Omega)$$

8.2 Điện trở tản xoay chiều của một hệ thống nối đất gồm hai cọc chôn nổi có giá trị là 20 Ω. Hãy tính đường kính của mỗi cọc, biết chiều dài cọc l = 5 m, điện trở suất của đất quy về tính toán ρ = 250 Ωm, hệ số sử dụng của hệ thống $\eta_{\sim}$ = 0,9.

Giải Điện trở tản xoay chiều của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

Điện trở tản xoay chiều của hệ thống

$$R = \frac{R_c}{n \times \eta} = \frac{R_c}{2 \times 0{,}9}$$

vậy:

$$\frac{1{,}8 \times R \times 2\pi l}{\rho_{tt}} = \ln \frac{4l}{d}$$

hay:

$$e^{3{,}6\pi Rl/\rho_{tt}} = \frac{4l}{d}$$

$$d = \frac{4l}{e^{3{,}6\pi Rl/\rho_{tt}}} = \frac{4 \times 5}{e^{3{,}6\pi \times 20 \times 5/150}} = 10{,}67\ mm$$

8.3 Một hệ thống nối đất gồm bốn cọc bằng thép tròn có đường kính d = 50 mm, được chôn nổi trong đất. Điện trở tương đương của tổ hợp bốn

đo được là 30 Ω. Hãy tìm điện trở suất tính toán của đất. Cho biết chiều dài của cọc l = 4 m và hệ số sử dụng của hệ thống 0,65.

Giải Điện trở tản xoay chiều của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

Điện trở tản xoay chiều của hệ thống:

$$R_{th} = \frac{R_c}{n\eta_\sim}$$

hay $$R_c = R_{th} \times n \times \eta_\sim = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

Suy ra $$\rho_{tt} = \frac{R_{th} \times n \times \eta \times 2\pi l}{\ln \frac{4l}{d}} = \frac{30 \times 4 \times 0{,}65 \times 2 \times \pi \times 4}{\ln \frac{4 \times 4}{0{,}05}} = 340 \ \Omega m$$

8.4 Xác định điện trở tản xung kích của một hệ thống nối đất ba tia dùng thép dẹt có bề rộng 2 cm, mỗi tia dài 10 m, chôn sâu trong đất 0,5 m. Điện trở suất đo được vào mùa khô là $3{,}6 \times 10^4 \Omega cm$. Dòng điện sét tính toán là 100 kA.

Giải Điện trở suất tính toán

$$\rho_{tt} = K_m \times \rho_{do} = 1{,}4 \times 3{,}6 \times 10^4 \ \Omega cm = 500 \ \Omega m$$

với K_m = 1,4 tra ở phụ lục PL03.

Điện trở tản xoay chiều của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt} = \frac{500}{2\pi \times 10} \ln \frac{2 \times 10^2}{0{,}02 \times 0{,}5} = 79 \ \Omega$$

Dòng điện sét chạy trong một tia

$$I = \frac{100kA}{3} = 33{,}33 \ kA$$

Tra phụ lục PL15 với l = 10 m, ρ = 500 Ωm, I = 33,33 kA tìm được α_{xk} = 0,5

Vậy, điện trở tản xung kích của một thanh

$$R_{xk-t} = 0{,}5 \times 79 = 39{,}5 \ \Omega$$

Cuối cùng, điện trở xung kích của tổ hợp

$$R_{x-ht} = \frac{R_{xk-t}}{n\eta_{xk}} = \frac{39{,}5}{3 \times 0{,}75} = 17{,}5 \ \Omega$$

với η_{xk} = 0,75 tra từ phụ lục PL11.

8.5 Xác định điện trở tản xung kích của một hệ thống nối đất phức hợp hai tia mỗi tia dài 20 m dùng sắt dẹt bề rộng 4 cm. Trên mỗi tia có đóng năm cọc. Chiều dài mỗi cọc 3 m dùng sắt tròn đường kính 5 cm. Cả hệ thống chôn sâu trong đất 0,5 m, có điện trở suất đo vào lúc ẩm là $7{,}15 \times 10^4\ \Omega cm$. Dòng điện sét tính toán là 100 kA. Cho biết hệ số sử dụng xoay chiều của thanh 0,65 và cọc 0,6. Hệ số sử dụng xung kích của hệ thống là 0,9.

Giải Điện trở suất tính toán đối với cọc

$$\rho_{tt} = K_m \times \rho_{đo} = 1{,}4 \times 7{,}15 \times 10^4\ \Omega cm = 1000\ \Omega m$$

với $K_m = 1{,}4$ tra ở phụ lục PL03.

Điện trở suất tính toán đối với thanh

$$\rho_{tt} = K_m \times \rho_{đo} = 1{,}8 \times 7{,}15 \times 10^4\ \Omega cm = 1300\ \Omega m$$

với $K_m = 1{,}8$ tra ở phụ lục PL03.

Điện trở tản xoay chiều của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

$$R_c = \frac{1000}{2\pi \times 3}\left(\ln\frac{2 \times 3}{0{,}05} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 2 + 3}{4 \times 2 - 3}\right) = 333\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{2l^2}{bt} = \frac{1300}{2\pi \times 20}\ln\frac{2 \times 20^2}{0{,}04 \times 0{,}5} = 110\ \Omega$$

Điện trở tản tương đương của 10 cọc

$$R_{c\Sigma} = \frac{R_c}{n\eta_c} = \frac{333}{10 \times 0{,}6} = 57\ \Omega$$

Điện trở tản tương đương của hai thanh

$$R_{t\Sigma} = \frac{R_t}{n\eta_t} = \frac{110}{2 \times 0{,}65} = 85\ \Omega$$

Dòng điện sét chạy trong hệ thống thanh và cọc thỏa hệ

$$I_{c\Sigma} + I_{t\Sigma} = 100\ kA \qquad (1)$$

$$\frac{I_{t\Sigma}}{I_{c\Sigma}} = \frac{R_{c\Sigma}}{R_{t\Sigma}} = \frac{85}{57} \qquad (2)$$

Giải hệ phương trình (1) và (2), tìm được

$$I_{c\Sigma} = 60\ kA\ ; \qquad I_{t\Sigma} = 40\ kA$$

Vậy, dòng điện sét chạy trong mỗi cọc

$$I_c = \frac{I_{c\Sigma}}{n_c} = \frac{60}{10} = 6\ kA$$

và dòng điện sét chạy trong mỗi thanh

$$I_t = \frac{I_{t\Sigma}}{n_t} = \frac{40}{2} = 20\ kA$$

Với cọc $l = 3\ m$, $I_c = 6\ kA$, $\rho = 1000\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0{,}53$.

Với thanh $l = 20\ m$, $I_t = 20\ kA$, $\rho = 1300\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0{,}57$.

Vậy, điện trở tản xung kích của một cọc

$$R_{xk-c} = 0{,}53 \times 333 = 176\ \Omega$$

và điện trở tản xung kích của một thanh

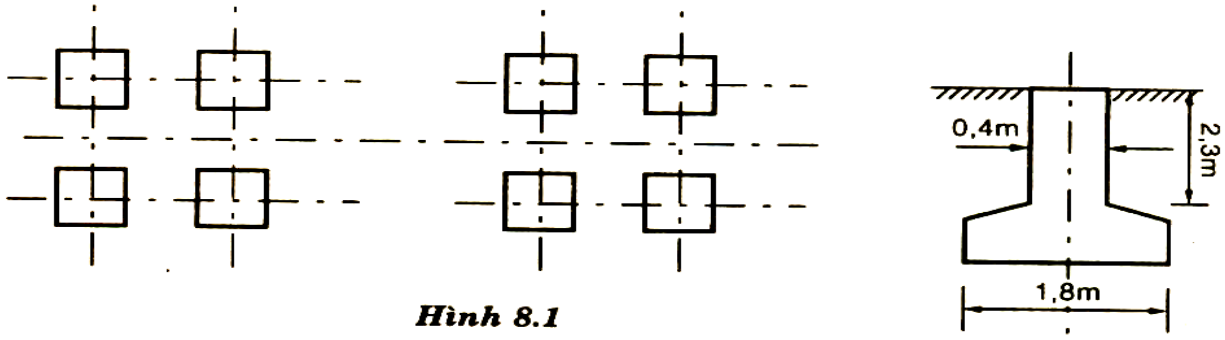
$$R_{xk-t} = 0{,}57 \times \frac{110}{2} = 31\ \Omega$$

Cuối cùng, điện trở xung kích của tổ hợp

$$R_{xk-HT} = \frac{\dfrac{R_{xk-c}}{n_c} \times R_{xk-t}}{\dfrac{R_{xk-c}}{n_c} + R_{xk-t}} \times \frac{1}{\eta_{xk}}$$

$$R_{xk-HT} = \frac{\dfrac{176}{10} \times 31}{\dfrac{176}{10} + 31} \times \frac{1}{0{,}9} = 12{,}5\ \Omega$$

8.6 Xác định điện trở xung kích của móng một trụ điện có kích thước như hình 8.1, trong đó $a = 180$ cm; $d = 40$ cm; $l = 230$ cm. Điện trở suất đã quy về tính toán $\rho_{tt} = 150\ \Omega m$. Dòng điện sét tính toán là 100 kA.



Hình 8.1

Giải Điện trở tản xoay chiều của thân móng

$$R_{th} = \frac{1,25 \times 1,4 \times 150}{2 \times 2,03} = 65\ \Omega$$

trong đó, bán kính tương đương của thân móng

$$D_{td} = \sqrt{\frac{4 \times 1,8^2}{\pi}} = 2,03\ m$$

Điện trở tản xoay chiều của đế móng

$$R_{th} = \frac{1,25 \times 1,4 \times 150}{2 \times \pi \times 2,30} \ln \frac{4 \times 2,3}{0,4} = 56,3\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của thân và đế của một móng

$$R_m = \frac{65 \times 56,3}{65 + 56,3} \times \frac{1}{0,9} = 33\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của bốn thân và đế của một móng

$$R_m = \frac{33}{4 \times 0,6} = 13,8\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của toàn bộ móng

$$R_m = \frac{13,8}{2 \times 0,9} = 7,7\ \Omega$$

Dòng điện sét chạy trong một thân và đế móng

$$I_{t-d} = \frac{100}{8} = 12,5\ kA$$

Với $I_{t-d} = 12,5\ kA$ và $\rho = 150\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 Tìm được $\alpha_{xk} = 0,5$. Do đó, điện trở xung kích của một thân và đế móng:

$$R_{xk-td} = 0,5 \times 33 = 16,5\ \Omega$$

Điện trở tản xung kích của bốn thân và đế của một móng

$$R_m = \frac{16,5}{4 \times 0,4} = 10,3\ \Omega$$

Điện trở tản xung kích của toàn bộ móng

$$R_m = \frac{10,3}{2 \times 0,8} = 6,45\ \Omega$$

Ghi chú: Các giá trị hệ số sử dụng xoay chiều, hệ số xung kích và hệ số sử dụng xung kích được tra trong các phụ lục PL20 - PL27.

$$R_{mv} = \frac{1,1 \times 300}{2\pi^2 \times 5,3}\left(\ln\frac{8 \times 5,3}{0,012} + \frac{\pi \times 5,3}{4 \times 2,5}\right) = 31\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của đầu ra

$$R_d = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$$

$$R_d = \frac{1,3 \times 300}{2\pi \times 2,5}\ln\frac{4 \times 2,5}{0,012} = 167\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của hệ thống mạch vòng - đầu ra

$$R_1 = \frac{\frac{R_d}{n_c} \times R_{mv}}{\frac{R_d}{n_c} + R_{mv}} \times \frac{1}{\eta} = \frac{\frac{167}{4} \times 31}{\frac{167}{4} + 31} \times \frac{1}{0,8} = 22,5\ \Omega$$

Vậy, điện trở của hệ thống mạch vòng - đầu ra - đế

$$R = \frac{R_1 \times R_{mv}}{R_1 + R_{mv}} \times \frac{1}{\eta} = \frac{22,5 \times 27,9}{22,5 + 27,9} \times \frac{1}{0,85} = 14,65\ \Omega$$

Như vậy điện trở của toàn bộ móng

$$R_{\Sigma} = \frac{R}{2\eta} = \frac{14,65}{2 \times 0,9} = 8,14\ \Omega$$

Dòng điện sét chạy qua mỗi thân trụ

$$I_{tru} = \frac{100\ kA}{2} = 50\ kA$$

Dòng điện sét chạy trong hệ thống mạch vòng - đầu ra và bốn đế thỏa hệ:

$$I_{mv} + I_d = 50\ kA \qquad (1)$$

$$\frac{I_{mv}}{I_d} = \frac{R_d}{R_{mv}} = \frac{27,9}{22,5} \qquad (2)$$

Giải hệ phương trình (1) và (2), tìm được

$$I_{mv} = 27,5\ kA\ ; \qquad I_d = 22,5\ kA$$

Vậy, dòng điện sét chạy trong mỗi đầu ra

$$I_{dr} = \frac{I_{mv}}{4} = \frac{27,5}{4} = 6,88\ kA$$

và dòng điện sét chạy trong mỗi một đế

$$I_{1d} = \frac{I_d}{4} = \frac{22,5}{4} = 5,63\ kA$$

Giải Điện trở suất tính toán

$$\rho_{tt} = K_m \times \rho_{do} = 1{,}4 \times 10^4\ \Omega cm = 140\ \Omega m$$

Điện trở tản xoay chiều của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{2l^2}{bt} = \frac{140}{2\pi \times 10}\ln\frac{2 \times 10^2}{0{,}01 \times 0{,}5} = 22\ \Omega$$

Dòng điện sét chạy trong một thanh

$$I_t = \frac{100kA}{4} = 25\ kA$$

Với thanh $l = 10\ m$, $I_t = 25\ kA$, $\rho = 140\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0{,}9$

Vậy, điện trở tản xung kích của một thanh

$$R_{xk-c} = 0{,}9 \times 22 = 19{,}8\ \Omega$$

Vậy, điện trở xung kích của toàn bộ hệ thống

$$R_{xk-cột} = \frac{19{,}8}{4} \times \frac{1}{0{,}65} = 8\ \Omega$$

Ghi chú: Các giá trị hệ số sử dụng xoay chiều, hệ số xung kích và hệ số sử dụng xung kích được tra trong các phụ lục PL20 - PL27.

8.9 Xác định hệ số sử dụng xung kích của một hệ thống nối đất chôn sâu 0,8 m có dạng một tia hai cọc: tia dài 6 m, dày 4 mm và rộng 40 mm; cọc làm bằng sắt tròn dài 3 m đường kính 60 mm. Điện trở suất tính toán $\rho_{tt} = 100\ \Omega m$. Dòng điện sét tính toán là 60kA với thời gian đầu sóng từ 3 - 6 μs. Cho biết điện trở xung kích của hệ thống đo được là 9 Ω.

Giải Điện trở tản xoay chiều của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

$$R_c = \frac{100}{2\pi \times 3}\left(\ln\frac{2 \times 3}{0{,}06} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \times 2{,}3 + 3}{4 \times 2{,}3 - 3}\right) = 26\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\ln\frac{2l^2}{bt} = \frac{100}{2\pi \times 6}\ln\frac{2 \times 6^2}{0{,}04 \times 0{,}8} = 23\ \Omega$$

Điện trở tản tương đương của hệ thống

$$R_\Sigma = \frac{R_c R_t}{R_c\eta_t + n\eta_c R_t} = \frac{26 \times 23}{26 \times 0{,}9 + 2 \times 23 \times 0{,}92} = 9\ \Omega$$

Với $I_{dr} = 27{,}5\,kA$, $\rho = 300\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0{,}50$

Với $I_t = 6{,}88\ kA$, $\rho = 300\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0{,}80$

Vậy, điện trở tản xung kích của mạch vòng

$$R_{xk-mv} = 0{,}50 \times 31 = 15{,}5\ \Omega$$

và điện trở tản xung kích của một đầu ra

$$R_{xk-dr} = 0{,}8 \times 167 = 134\ \Omega$$

Cuối cùng, điện trở xung kích của tổ hợp

$$R_{xk-th} = \frac{\frac{134}{4} \times 15{,}5}{\frac{134}{4} + 15{,}5} \times \frac{1}{0{,}7} = 15{,}2\ \Omega$$

Với $I_t = 5{,}63\ kA$, $\rho = 300\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0{,}90$.

Vậy, điện trở tản xung kích của một đế

$$R_{xk-d} = 0{,}90 \times 67 = 60{,}3\ \Omega$$

và điện trở tản xung kích của bốn đế

$$R_{xk-d\Sigma} = \frac{60{,}3}{4 \times 0{,}4} = 37{,}69\ \Omega$$

Vậy, điện trở xung kích của mạch vòng - đầu ra - đế

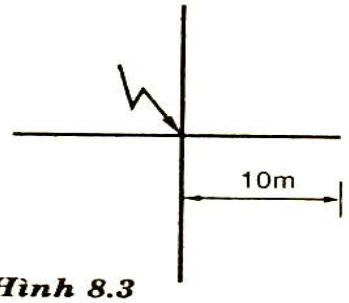
$$R_{xk-th} = \frac{15{,}2 \times 37{,}69}{15{,}2 + 37{,}69} \times \frac{1}{0{,}75} = 14{,}44\ \Omega$$

Điện trở xung kích của toàn bộ cột

$$R_{xk-cột} = \frac{14{,}44}{2} \times \frac{1}{0{,}8} = 9\ \Omega$$

Ghi chú: Các giá trị hệ số sử dụng xoay chiều, hệ số xung kích và hệ số sử dụng xung kích được tra trong các phụ lục PL20 - PL27.

8.8 Xác định điện trở xung kích của một hệ thống nối đất dạng bốn tia có kích thước như hình 8.3. Điện trở suất đo được lúc khô $\rho_d = 100\ \Omega m$. Dòng điện sét tính toán là 100 kA. Sắt dùng loại sắt dẹt bề rộng là 10 mm. Mỗi tia dài 10 m, chôn sâu 0,5 m.



Hình 8.3

Giải Điện trở suất tính toán

$$\rho_{tt} = K_m \times \rho_{do} = 1,4 \times 10^4\ \Omega cm = 140\ \Omega m$$

Điện trở tản xoay chiều của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt} = \frac{140}{2\pi \times 10} \ln \frac{2 \times 10^2}{0,01 \times 0,5} = 22\ \Omega$$

Dòng điện sét chạy trong một thanh

$$I_t = \frac{100kA}{4} = 25\ kA$$

Với thanh $l = 10\ m$, $I_t = 25\ kA$, $\rho = 140\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0,9$

Vậy, điện trở tản xung kích của một thanh

$$R_{xk-c} = 0,9 \times 22 = 19,8\ \Omega$$

Vậy, điện trở xung kích của toàn bộ hệ thống

$$R_{xk-cột} = \frac{19,8}{4} \times \frac{1}{0,65} = 8\ \Omega$$

Ghi chú: Các giá trị hệ số sử dụng xoay chiều, hệ số xung kích và hệ số sử dụng xung kích được tra trong các phụ lục PL20 - PL27.

8.9 Xác định hệ số sử dụng xung kích của một hệ thống nối đất chôn sâu 0,8 m có dạng một tia hai cọc: tia dài 6 m, dày 4 mm và rộng 40 mm; cọc làm bằng sắt tròn dài 3 m đường kính 60 mm. Điện trở suất tính toán $\rho_{tt} = 100\ \Omega m$. Dòng điện sét tính toán là 60kA với thời gian đầu sóng từ 3 - 6 μs. Cho biết điện trở xung kích của hệ thống đo được là 9 Ω.

Giải Điện trở tản xoay chiều của một cọc

$$R_c = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l}\left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l}{4t - l}\right)$$

$$R_c = \frac{100}{2\pi \times 3}\left(\ln \frac{2 \times 3}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \times 2,3 + 3}{4 \times 2,3 - 3}\right) = 26\ \Omega$$

Điện trở tản xoay chiều của một thanh

$$R_t = \frac{\rho_{tt}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt} = \frac{100}{2\pi \times 6} \ln \frac{2 \times 6^2}{0,04 \times 0,8} = 23\ \Omega$$

Điện trở tản tương đương của hệ thống

$$R_\Sigma = \frac{R_c R_t}{R_c \eta_t + n \eta_c R_t} = \frac{26 \times 23}{26 \times 0,9 + 2 \times 23 \times 0,92} = 9\ \Omega$$

Ở đây các hệ số $\eta_c = 0,92$ và $\eta_t = 0,9$ tra trong bảng phụ lục PL04 - PL07.

Vì điện trở tản của thanh và của cọc xấp xỉ bằng nhau, nên dòng sét chạy qua thanh và cọc có thể tính gần đúng

$$I = \frac{60kA}{3} = 20\ kA$$

Với cọc $l = 3\ m$; $I_c = 20\ kA$; $\rho = 100\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0,75$

Với thanh $l = 6\ m$; $I_t = 20\ kA$; $\rho = 100\ \Omega m$ tra phụ lục PL15 có thể chọn $\alpha_{xk} = 0,8$

Vậy, điện trở tản xung kích của một cọc

$$R_{xk-c} = 0,75 \times 26 = 19,5\ \Omega$$

và điện trở tản xung kích của một thanh

$$R_{xk-t} = 0,8 \times 23 = 18,4\ \Omega$$

Điện trở xung kích của tổ hợp

$$R_{xk-HT} = \frac{\dfrac{R_{xk-c}}{n_c} \times R_{xk-t}}{\dfrac{R_{xk-c}}{n_c} + R_{xk-t}} \times \frac{1}{\eta_{xk}}$$

$$R_{xk-HT} = \frac{\dfrac{19,5}{2} \times 18,4}{\dfrac{19,5}{2} + 18,4} \times \frac{1}{0,8} = 7,9\ \Omega$$

Ở đây $\eta_{xk} = 0,8$ tra ở phụ lục PL12.

Cuối cùng, hệ số xung kích của hệ thống

$$\alpha_{xk} = \frac{R_{xk=HT}}{R_{\Sigma}} = \frac{7,9}{9} = 0,88$$

8.10 Xác định xác suất sét đánh vòng vào dây dẫn có góc bảo vệ là $\alpha = 30^o$ ứng với hai trường hợp cột cao $h_c = 15m$ và $h_c = 45\ m$.

Giải Áp dụng công thức

$$\lg P_\alpha = \frac{\alpha\sqrt{h_c}}{90} - 4$$

a) Khi $h_c = 15\ m$

$$\lg P_\alpha = \frac{30 \times \sqrt{15}}{90} - 4 = -2,7$$

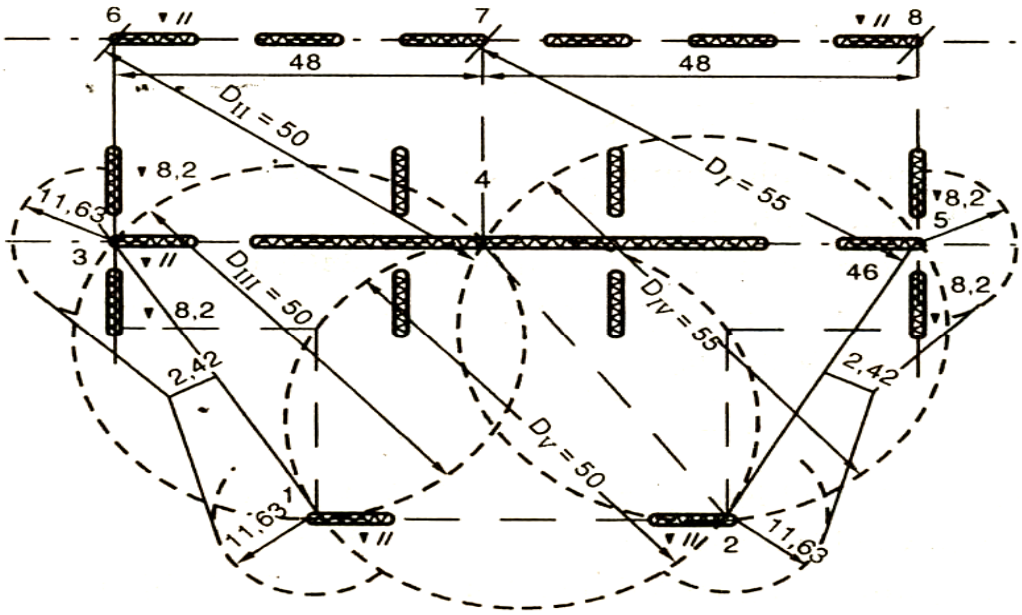
Vậy: $P_u = 0{,}002$

b) Khi $h_c = 45\ m$

$$\lg P_u = \frac{30 \times \sqrt{45}}{90} - 4 = -1{,}8$$

Vậy: $P_u = 0{,}016$

8.11 Trên hình 8.4 mặt bằng của trạm biến áp cao thế 110 kV. Kích thước của các xà và chu vi trạm cho trong hình vẽ. Trạm được bảo vệ bằng 8 kim thu sét đặt tại các vị trí: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 và 8. Hãy chọn chiều cao kim thu sét và vẽ vùng bảo vệ của chúng.



Hình 8.4

Giải Độ cao bảo vệ cao nhất trong công trình là $h_x = 11\ m$.

Trước hết phân vùng để tính toán độ cao kim thu sét và vẽ vùng bảo vệ. Với mặt bằng như trên có thể phân thành năm khu vực:

a) Khu vực tam giác 134

Đường kính vòng tròn đi qua ba điểm 134 có chiều dài 50 m. Các kim 1, 3 và 4 sẽ bảo vệ được các cao trình h_x sẽ thỏa mãn:

$$D \le 8\ h_a$$

hay $$h_a = \frac{D}{8} = \frac{50}{8} = 6{,}3\ m$$

Đây là độ cao hiệu dụng của các cộ 1, 3 và 4.

b) Khu vực tam giác 124

Đường kính vòng tròn đi qua ba điểm 124 có chiều dài 50 m. Các kim 1, 2 và 4 sẽ bảo vệ được các cao trình h_x sẽ thỏa mãn:

$$D \leq 8\ h_a$$

hay
$$h_a = \frac{D}{8} = \frac{50}{8} = 6{,}3m$$

Đây là độ cao hiệu dụng của các cột 1, 2 và 4.

c) Khu vực tam giác 245

Đường kính vòng tròn đi qua ba điểm 245 có chiều dài 55 m. Các kim 2, 4 và 5 sẽ bảo vệ được các cao trình h_x sẽ thỏa mãn:

$$D \leq 8\ h_a$$

hay
$$h_a = \frac{D}{8} = \frac{55}{8} = 6{,}9\ m$$

Đây là độ cao hiệu dụng của các cột 2, 4 và 5.

d) Khu vực hình chữ nhật 3467

Đường kính vòng tròn đi qua 4 điểm 3467 có chiều dài 50 m. Các kim 3, 4, 6 và 7 sẽ bảo vệ được các cao trình h_x sẽ thỏa mãn:

$$D \leq 8\ h_a$$

hay
$$h_a = \frac{D}{8} = \frac{50}{8} = 6{,}3\ m$$

Đây là độ cao hiệu dụng của các cột 3, 4, 6 và 7.

e) Khu vực hình chữ nhật 4578

Đường kính vòng tròn đi qua bốn điểm 4578 có chiều dài 50 m. Các kim 4, 5, 7 và 8 sẽ bảo vệ được các cao trình h_x sẽ thỏa mãn:

$$D \leq 8\ h_a$$

hay
$$h_a = \frac{D}{8} = \frac{55}{8} = 6{,}9\ m$$

Đây là độ cao hiệu dụng của các cột 4, 5, 7 và 8.

Tóm lại, đối với tất cả các kim thu sét có thể chọn chung một độ cao hiệu dụng là $h_a = 6{,}9\ m$. Vậy độ cao của các cột thu sét bằng nhau và bằng

$$h = h_a + h_x = 6{,}9 + 11 = 17{,}9\ m \approx 18\ m$$

Để vẽ vùng bảo vệ của các cột thu sét, cần kiểm tra lại khả năng bảo vệ đối với các xà A và B vì chúng ở ngoài tam giác 134 và 245. Muốn vậy, cần kiểm tra chúng có nằm trong vùng bảo vệ của các cặp cột 1, 3 và

2, 5 hay không. Do tính đối xứng của hai cặp cột 1, 3 và 2, 5 nên chỉ cần kiểm tra một cặp cột mà thôi.

Các xà A và B có độ cao $h_x = 8{,}2\ m$. Với $\frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 18 = 12\ m > h_x$ nên áp dụng công thức

$$r_x = 1{,}5 \times 18(1 - \frac{8{,}2}{0{,}8 \times 18}) = 11{,}63\ m$$

Độ cao lớn nhất giữa 2 cột thu sét 1, 3 và 2, 5

$$h_o = 18 - \frac{46}{7} = 11{,}43\ m$$

Với $\frac{2}{3} \times h_o = \frac{2}{3} \times 11{,}43 = 7{,}62\ m < h_x$ nên áp dụng công thức

$$r_{ox} = 0{,}75 \times 11{,}43(1 - \frac{8{,}2}{11{,}43}) = 2{,}42\ m$$

Sau khi vẽ vùng bảo vệ của các cột thu sét, nhận thấy rằng các xà A và B đều nằm trong phạm vi bảo vệ của các cột thu sét, xem hình 8.4.

8.12 Xác định tốc độ của sóng truyền và tổng trở sóng của cáp với cáp có các thông số sau: $L = 0{,}25\ \mu H/m$, $C = 100\ pF/m$.

Giải Tốc độ truyền sóng trong cáp

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0{,}25 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^{-12}}} = 2 \times 10^8\ m/s$$

Tổng trở sóng của cáp

$$Rc = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0{,}25 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-9}}} = 50\ \Omega$$

8.13 Xác định tốc độ của sóng truyền và tổng trở sóng của cáp với cáp có các thông số sau: $C = 10\ pF/m$, $\varepsilon_r = 2{,}1$, $\mu_r = 1$.

Giải Tốc độ truyền sóng trong cáp

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{2{,}1 \times 1}} = 2{,}07 \times 10^8\ m/s$$

Tổng trở sóng của cáp:

$$Rc = \frac{1}{Cv} = \frac{1}{10 \times 10^{-12} \times 2{,}07 \times 10^8} = 483{,}09\ \Omega$$

8.14 Tổng trở sóng của đường dây truyền tải $R_C = 50\ \Omega$, Điện trở tải $R_L = 100\ \Omega$. Điện áp nguồn DC là 30 V với điện trở nội bằng zero. Tính toán hệ số phản xạ điện áp ở tải và ở nguồn nhìn từ đường dây truyền tải.

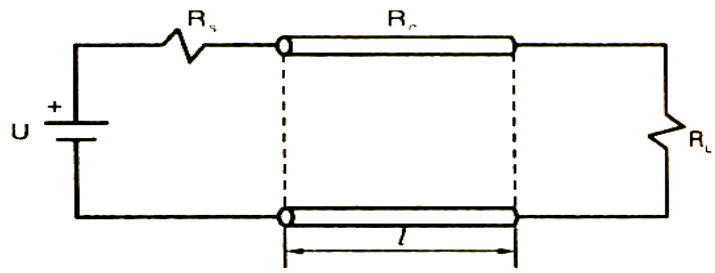
Giải Hệ số phản xạ điện áp tại tải

$$\beta_L = \frac{R_L - R_C}{R_L + R_C} = \frac{100 - 50}{100 + 50} = \frac{1}{3}$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn

$$\beta_S = \frac{R_S - R_C}{R_S + R_C} = \frac{0 - 50}{0 + 50} = -1$$

8.15 Khảo sát một sơ đồ truyền sóng như hình 8.5, trong đó, tổng trở sóng của đường dây truyền tải R_C, điện trở tải R_L. Điện áp nguồn DC là U với điện trở nội bằng R_s. Xác định điện áp trên tải sau nhiều lần phản xạ trên đường dây truyền tải.



Hình 8.5

Giải Hệ số phản xạ điện áp tại tải

$$\beta_L = \frac{R_L - R_c}{R_L + R_c}$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn

$$\beta_s = \frac{R_s - R_c}{R_s + R_c}$$

gọi: V_L - điện áp ở hai đầu tải;

V_1^+ - sóng điện áp tới tải lần thứ nhất.

với: $$V_1^+ = \frac{R_c}{R_s + R_c} U$$

V_1^- - sóng điện áp phản xạ ở tải lần thứ nhất.

Như vậy: $V_1^- = \beta_L V_1^+$

gọi: V_2^+ - sóng điện áp tới tải lần thứ hai;

V_2^- - sóng điện áp phản xạ ở tải lần thứ hai.

Như vậy: $V_2^+ = \beta_s V_1^- = \beta_s \beta_L V_1^+$

$$V_2^- = \beta_L V_2^+ = \beta_s \beta_L^2 V_1^+$$

Tương tự như thế, khảo sát với nhiều lần phản xạ, nhận được

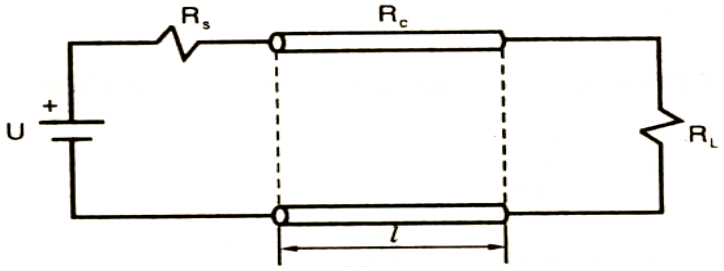
$$V_L = V_1^+ + V_1^- + V_2^+ + V_2^- + \ldots$$

$$= V_1^+\left(1 + \beta_L + \beta_S.\beta_L + \beta_S.\beta_L^2 + \beta_S^2.\beta_L^3 + \ldots\right)$$

$$= V_1^+[\left(1 + \beta_L + \beta_S.\beta_L + \beta_S.\beta_L^2 + \ldots\right) + \beta_L\left(1 + \beta_L + \beta_S.\beta_L + \beta_S^2.\beta_L^2 + \ldots\right)]$$

$$= V_1^+\left[\left(\frac{1}{1 - \beta_S\beta_L}\right) + \left(\frac{\beta_L}{1 - \beta_S\beta_L}\right)\right] = V_1^+\left(\frac{1 + \beta_L}{1 - \beta_S\beta_L}\right)$$

8.16 Khảo sát một sơ đồ truyền sóng như hình 8.6, trong đó, tổng trở sóng của đường dây truyền tải R_C, điện trở tải R_L. Điện áp nguồn DC là U với điện trở trong bằng R_s. Xác định dòng điện qua tải sau nhiều lần phản xạ trên đường dây truyền tải.



Hình 8.6

Giải Hệ số phản xạ điện áp tại tải:

$$\beta_L = \frac{R_L - R_c}{R_L + R_c}$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn

$$\beta_s = \frac{R_s - R_c}{R_s + R_c}$$

gọi: I_L - dòng điện chạy qua tải;

I_1^+ - sóng dòng điện tới tải lần thứ nhất;

I_1^- - sóng dòng điện phản xạ ở tải lần thứ nhất;

I_2^+ - sóng dòng điện tới tải lần thứ hai;

I_2^- - sóng dòng điện phản xạ ở tải lần thứ hai.

Tương tự như thế, khảo sát với nhiều lần phản xạ, nhận được dòng điện qua tải:

$$I_L = I_1^+ + I_1^- + I_2^+ + I_2^- + \ldots \quad (1)$$

Để ý rằng:

$$I_1^+ = \frac{V_1^+}{R_C} \text{ và } I_1^- = -\frac{V_1^-}{R_C} \ldots$$

và biểu thức (1), kết hợp với kết quả bài tập 8.15, viết lại

$$I_L = \frac{V_1^+}{R_C} - \beta_L \frac{V_1^+}{R_C} + \frac{\beta_S\beta_L V_1^+}{R_C} - \frac{\beta_S\beta_L^2 V_1^+}{R_C} + \ldots$$

$$= \frac{V_1^+}{R_C}\left(1 - \beta_L + \beta_S\beta_L - \beta_S\beta_L^2 + \beta_S^2\beta_L^2 - \beta_S^2\beta_L^3 + \ldots\right)$$

$$= \frac{V_1^+}{R_C}\left[\left(1 + \beta_S\beta_L + \beta_S^2\beta_L^2 + \ldots\right) - \beta_L\left(1 + \beta_S\beta_L + \beta_S^2\beta_L^2 + \ldots\right)\right]$$

$$= \frac{V_1^+}{R_C}\left(\frac{1 - \beta_L}{1 - \beta_S\beta_L}\right)$$

Có thể kiểm chứng kết quả trên bằng công thức

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

$$I_L = V_1^+\left(\frac{1 + \beta_L}{1 - \beta_S\beta_L}\right) \times \frac{1}{R_L}$$

$$I_L = V_1^+\left(\frac{1 + \dfrac{R_L - R_c}{R_L + R_c}}{1 - \beta_S\beta_L}\right) \times \frac{1}{R_L}$$

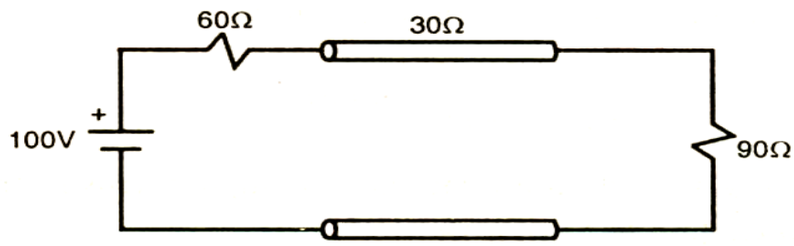
$$I_L = V_1^+\left(\frac{\dfrac{R_c}{R_L} \times \dfrac{2R_L}{R_L + R_c}}{1 - \beta_S\beta_L}\right) \times \frac{1}{R_L} \times \frac{R_L}{R_c}$$

$$I_L = V_1^+\left(\frac{\dfrac{2R_c}{R_L + R_c}}{1 - \beta_S\beta_L}\right) \times \frac{1}{R_c}$$

$$I_L = \frac{V_1^+}{R_c} \times \left(\frac{1 - \dfrac{R_L - R_c}{R_L + R_c}}{1 - \beta_S\beta_L}\right)$$

$$I_L = \frac{V_1^+}{R_c} \times \left(\frac{1 - \beta_L}{1 - \beta_S\beta_L}\right)$$

8.17 Một đường dây truyền tải có tổng trở sóng 30 Ω mắc giữa tải có điện trở 90 Ω và nguồn DC không đổi 100 V, xem hình 8.9. Điện trở trong của nguồn là 60 Ω. Hãy xác định điện áp ở tải trong trạng thái xác lập.



Hình 8.9

Giải Chọn $t = 0$ khi nguồn DC 100V đóng vào đường dây. Sóng điện áp này sẽ tạo nên hiện tượng phản xạ nhiều lần trên đường dây truyền tải.

Áp dụng lời giải của bài tập 8.15 cho

$$V_1^+ = \frac{30 \times 100}{30 + 60} = 33{,}33 \text{ V}$$

Hệ số phản xạ tại nguồn

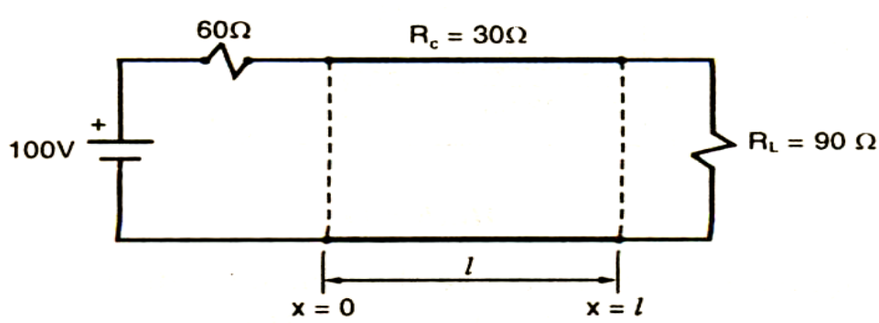
$$\beta_S = \frac{R_S - R_C}{R_S + R_C} = \frac{60 - 30}{60 + 30} = 0{,}333$$

Hệ số phản xạ tại tải

$$\beta_L = \frac{R_L - R_C}{R_L + R_C} = \frac{90 - 30}{90 + 30} = 0{,}5$$

Vậy: $V_L = V_1^+\left(\dfrac{1 + \beta_L}{1 - \beta_S\beta_L}\right) = 33{,}33\left(\dfrac{1 + 0{,}5}{1 - 0{,}33 \times 0{,}5}\right) = 60\ V$

8.18 Tính toán dòng điện qua tải trong trạng thái xác lập trên sơ đồ truyền sóng ở hình 8.10.



Hình 8.10

Giải Áp dụng công thức

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

và sử dụng kết quả của bài tập 8.16, nhận được

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{60V}{90\Omega} = 0{,}667\ A$$

8.19 Hãy vẽ dạng sóng điện áp dọc theo đường dây truyền tải tại ba thời điểm sau trong sơ đồ ở bài tập 8.18

a) $0 < t_1 < T$

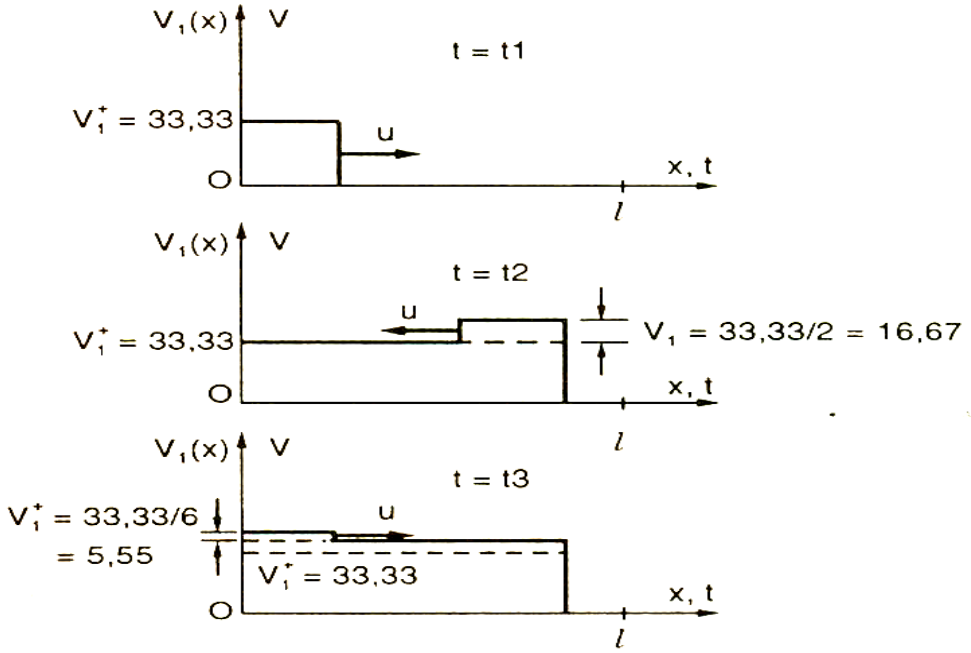
b) $T < t_2 < 2T$

c) $2T < t_3 < 3T$

Ở đây T là thời gian để sóng truyền qua đường dây truyền tải.

Giải Dạng sóng điện áp dọc theo đường dây truyền tải như hình 8.11:

Trong hình vẽ đã sử dụng các kết quả tìm được trong bài tập 8.17.

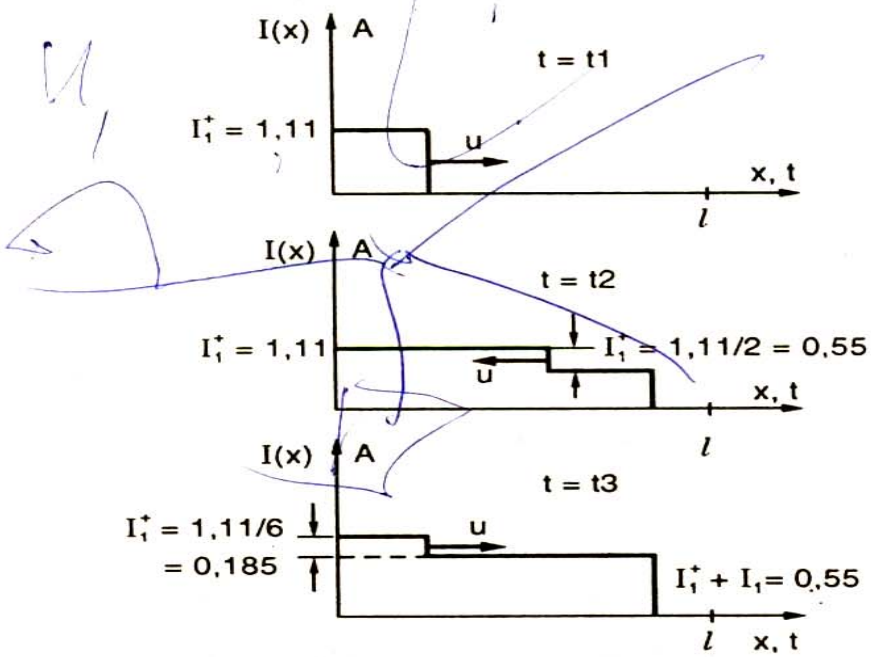


Hình 8.11

8.20 Làm lại bài tập 8.18 nhưng vẽ cho sóng dòng điện.

Giải Dạng sóng dòng điện dọc theo đường dây truyền tải như hình 8.12:

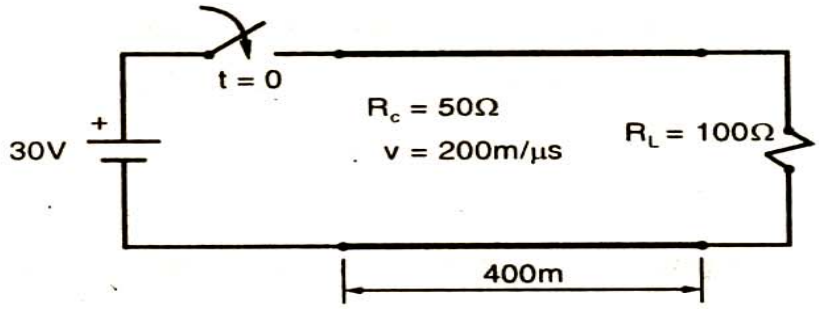
Trong hình 8.12 đã sử dụng các kết quả tìm được trong bài tập 8.19.



Hình 8.12

8.21 Tại thời điểm $t = 0$, một nguồn điện áp lý tưởng DC 30 V nối với đường dây truyền tải, xem hình 8.13. Sóng điện áp truyền qua đường dây này mất thời gian là 2 μs (đường dây dài 400 m và tốc độ truyền sóng là 200 $m/\mu s$). Hãy vẽ phân bố điện áp dọc theo đường dây tại các thời điểm:

a) $t = 1\,\mu s$ b) $t = 2{,}5\,\mu s$ c) $t = 4{,}5\ \mu s$ và d) $t = 6{,}5\ \mu s$.



Hình 8.13

Giải Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn và tải như sau

$$\beta_S = \frac{R_S - R_C}{R_S + R_C} = \frac{0 - 50}{0 + 50} = -1$$

$$\beta_L = \frac{R_L - R_C}{R_L + R_C} = \frac{100 - 50}{100 + 50} = \frac{1}{3}$$

a) Tại thời điểm $t = 1\mu s$

Sóng tới với biên độ

$$V_1^+ = \frac{50}{0 + 50} \times 30\ V = 30\ V$$

nằm giữa đường dây theo hướng truyền từ nguồn đến tải. Dạng sóng được vẽ trên hình 8.14a.

b) Tại thời điểm $t = 2{,}5\ \mu s$

Lúc này sóng phản xạ tại tải lần một đã xuất hiện có biên độ

$$V_1^- = \beta_L \times 30V = \frac{30}{3} = 10\ V$$

truyền từ tải về nguồn và đang ở cách tải 100 m. Biên độ của sóng này kết hợp với biên độ của tổng các sóng trong thời gian trước đó tạo thành điện áp có biên độ 10 V + 30 V = 40 V tại điểm khảo sát. Dạng sóng được vẽ trên hình 8.14b.

c) Tại thời điểm $t = 4{,}5\ \mu s$

Lúc này sóng phản xạ tại nguồn lần một đã xuất hiện có biên độ

$$V_2^+ = \beta_s \times 10V = -1 \times 10 = -10\ V$$

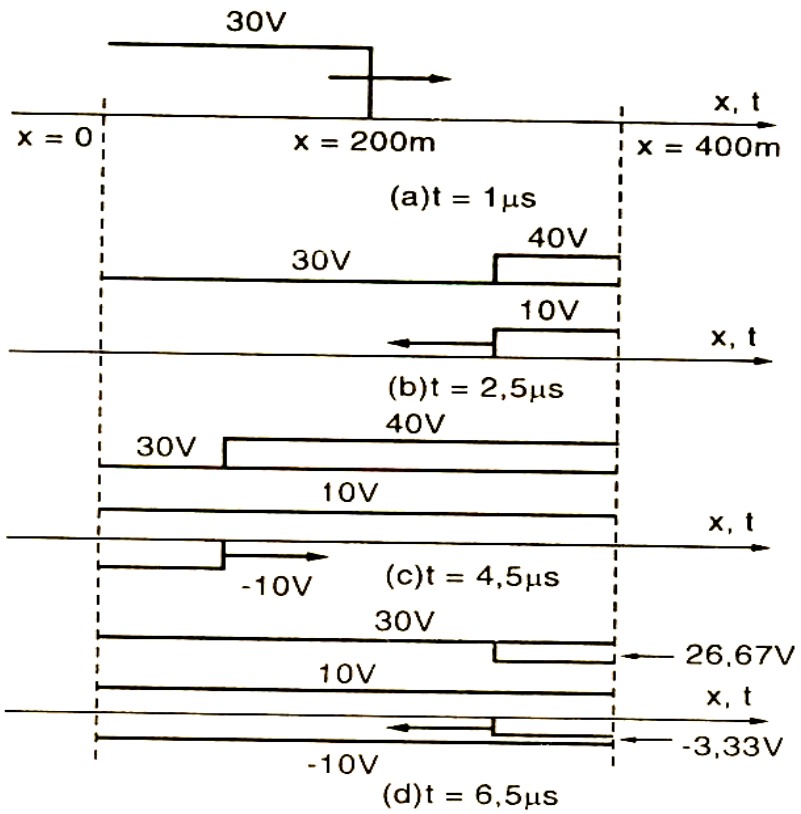
Truyền từ nguồn về tải và đang ở cách nguồn 100 m. Biên độ của sóng này kết hợp với biên độ của tổng sóng trong thời gian trước hình thành điện áp tại điểm khảo sát có biên độ 40 V –10 V = 30 V. Dạng sóng được vẽ trên hình 8.14c.

d) Tại thời điểm $t = 6{,}5\ \mu s$

Lúc này sóng phản xạ tại nguồn lần hai đã xuất hiện có biên độ

$$V_2^- = \beta_{Ls} \times (-10V) = \frac{1}{3} \times (-10) = -3{,}33\ V$$

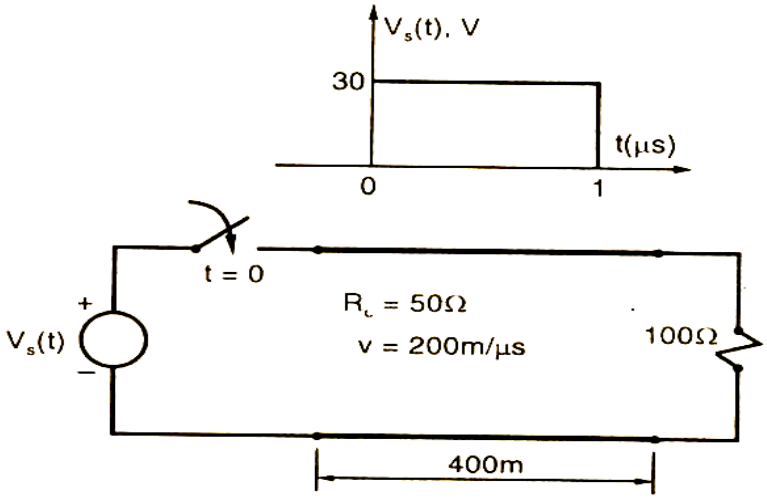
Truyền từ tải về nguồn và đang ở cách tải 100 m. Biên độ của sóng này kết hợp với biên độ của tổng sóng trong thời gian trước hình thành điện áp tại điểm khảo sát có biên độ 30 V – 3,33 V = 26,67 V. Dạng sóng được vẽ trên hình 8.14d.



Hình 8.14

8.22 Tại thời điểm $t = 0$, một nguồn điện áp DC lý tưởng phát ra một xung có biên độ 30 V với độ rộng xung là 1 μs, nối với đường dây truyền tải, xem hình 8.15. Đường dây dài 400 m và tốc độ truyền sóng là 200 $m/\mu s$. Hãy vẽ phân bố điện áp dọc theo đường dây tại các thời điểm

a) $t = 1\ \mu s$ b) $t = 2{,}75\ \mu s$ c) $t = 4{,}75\ \mu s$ và d) $t = 6{,}75\ \mu s$.



Hình 8.15

Giải Thời gian sóng truyền dọc theo đường dây truyền tải:

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{200} = 2\ \mu s$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn và tải như sau:

$$\beta_S = \frac{R_S - R_C}{R_S + R_C} = \frac{0 - 50}{0 + 50} = -1$$

$$\beta_L = \frac{R_L - R_C}{R_L + R_C} = \frac{100 - 50}{100 + 50} = \frac{1}{3}$$

a) Tại thời điểm $t = 1\ \mu s$

Sóng tới với biên độ:

$$V_1^+ = \frac{50}{0 + 50} \times 30\ V = 30\ V$$

Có đầu sóng nằm giữa đường dây theo hướng truyền từ nguồn đến tải và đuôi sóng nằm ngay tại đầu nguồn. Dạng sóng được vẽ trên hình 8.16a.

b) Tại thời điểm $t = 2{,}75\ \mu s$

Lúc này sóng phản xạ tại tải lần một đã xuất hiện có biên độ

$$V_1^- = \beta_L \times 30\ V = \frac{30}{3} = 10\ V$$

Truyền từ tải về nguồn và đang ở cách tải 150 m. Biên độ của sóng này kết hợp với biên độ của sóng V_1^+ tạo nên điện áp có biên độ 10 V + 30 V = 40 V (chỉ tồn tại khi có sóng V_1^+). Dạng sóng được vẽ trên hình 8.16b.

c) Tại thời điểm $t = 4{,}75\ \mu s$

Lúc này sóng phản xạ tại nguồn lần một đã xuất hiện có biên độ

$$V_2^+ = \beta_s \times 10\ V = -1 \times 10 = -10\ V$$

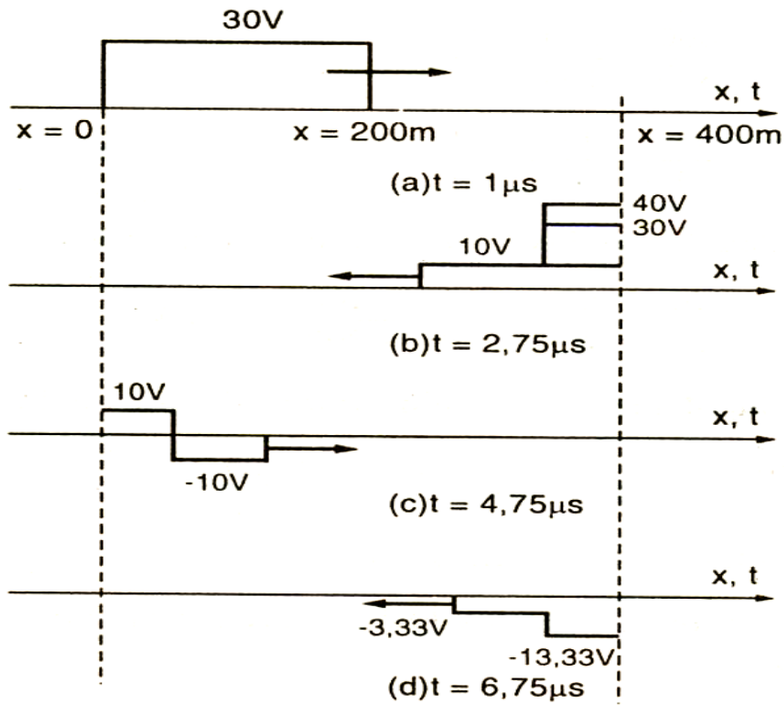
Truyền từ nguồn về tải và đang ở cách nguồn 150 m. Biên độ của sóng này kết hợp với biên độ của sóng V_1^- trong thời gian trước hình thành điện áp sát có biên độ 10 V – 10 V = 0 V (chỉ tồn tại khi có sóng V_1^+). Dạng sóng được vẽ trên hình 8.16c.

d) Tại thời điểm $t = 6{,}75\ \mu s$

Lúc này sóng phản xạ tại nguồn lần hai đã xuất hiện có biên độ

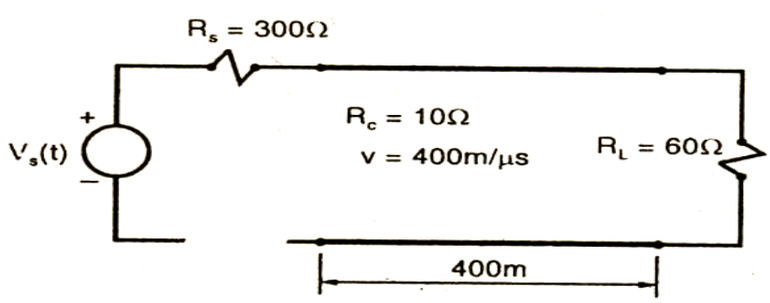
$$V_2^- = \beta_{Ls} \times (-10V) = \frac{1}{3} \times (-10) = -3{,}33\ V$$

Truyền từ tải về nguồn và đang ở cách tải 150 m. Biên độ của sóng này kết hợp với biên độ của sóng V_2^+ trong thời gian trước hình thành điện áp có biên độ −10 V − 3,33 V = −13,33 V (chỉ tồn tại khi có sóng V_2^+). Dạng sóng được vẽ trên hình 8.16d.



Hình 8.16

8.23 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.17 có điện trở tải $R_L = 60\,\Omega$, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với **u(t)** là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng ở đầu đường dây V(0,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$.



Hình 8.17

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải:

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{300 - 100}{300 + 100} = \frac{1}{2}$$

$$\beta_L = \frac{60 - 100}{60 + 100} = -\frac{1}{4}$$

Điện áp đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$V_1^+ = \frac{R_C V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{100 \times 400}{100 + 300} = 100\ V$$

Điện áp đầu đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$V(0,\infty) = \frac{60}{300 + 60} \times 400 = 66{,}67\ V$$

a) Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\ \mu s$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về và bằng

$$V(0,t) = 100\ V$$

Tuy nhiên trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần đầu tiên tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_1^- = \beta_L \times 100\ V = -\frac{1}{4} \times 100\ V = -25\ V$$

b) Trong khoảng thời gian $2 \le t < 4\ \mu s$

Sóng V_1^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 2\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ nhất ở đầu nguồn V_2^+ với biên độ:

$$V_2^+ = \beta_{sL} \times (-25)V = \frac{1}{2} \times (-25)\ V = -12{,}5V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 100 - 25 - 12{,}5 = 62{,}5\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần hai và bằng

$$V(0,t) = 62,5\ V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ hai tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_1^- = \beta_L \times (-12,5)\ V = -\frac{1}{4} \times (-12,5)\ V = 3,125\ V$$

c) Trong khoảng thời gian $4 \le t < 6\ \mu s$

Sóng V_2^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 4\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở đầu nguồn V_3^+ với biên độ

$$V_3^+ = \beta_{sL} \times (3,125)\ V = \frac{1}{2} \times (3,125)\ V = 1,5625\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần hai từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ:

$$V(0,t) = 100 - 25 - 12,5 = 62,5\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần hai và bằng:

$$V(0,t) = 67,19\ V$$

Tuy nhiên trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ ba tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_3^- = \beta_L \times (1,5625)\ V = -\frac{1}{4} \times (1,5625)\ V = -0,39\ \text{V}$$

d) Trong khoảng thời gian $6 \le t < 8\ \mu s$

Sóng V_3^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 6\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ ba ở đầu nguồn V_4^+ với biên độ

$$V_4^+ = \beta_{sL} \times (-0,39)V = \frac{1}{2} \times (-0,39)\ V = -0,195\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần ba từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ:

$$V(0,t) = 67,19 - 0,39 - 0,195 = 66,60\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần bốn và bằng

$$V(0,t) = 66{,}60\ V$$

Tuy nhiên trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ tư tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_4^- = \beta_L \times (-0{,}195)\ V = -\frac{1}{4} \times (-0{,}195)\ V = 0{,}049\ V$$

e) Trong khoảng thời gian $8 \le t < 10\ \mu s$

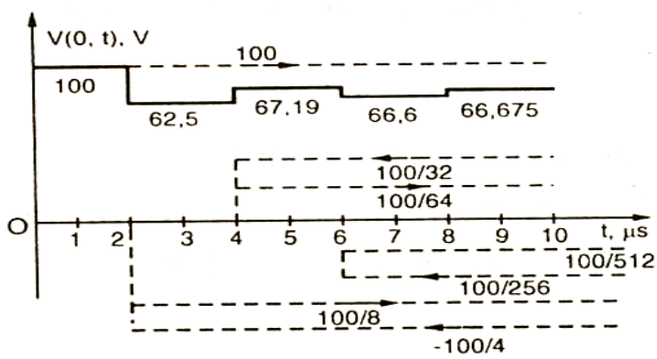
Sóng V_4^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 8\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ tư ở đầu nguồn V_5^+ với biên độ:

$$V_5^+ = \beta_{sL} \times (0{,}049)V = \frac{1}{2} \times (0{,}049)\ V = 0{,}025\ V$$

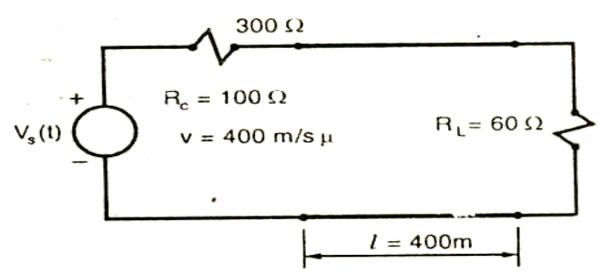
Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần thứ tư từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 66{,}60 + 0{,}049 + 0{,}025 = 66{,}674\ V$$

Dạng của V(0,t) được vẽ trong hình 8.18.



Hình 8.18



Hình 8.19

8.24 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.19 có điện trở tải $R_L = 60\ \Omega$, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$, với $u(t)$ là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng dòng điện ở đầu đường dây I(0,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

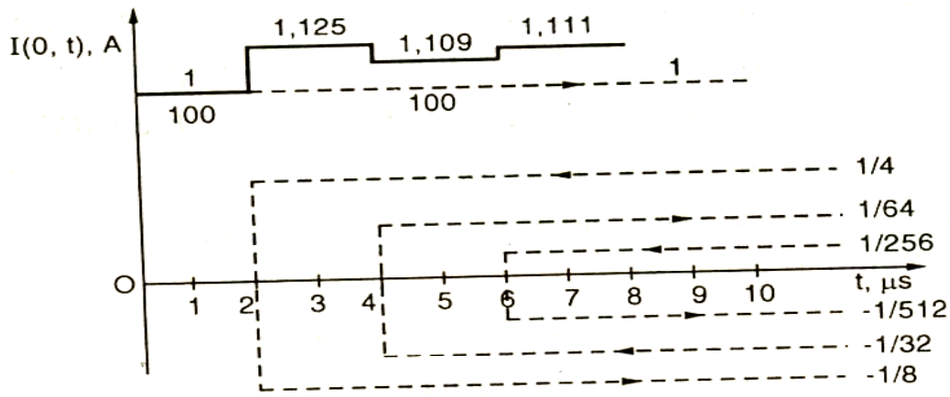
Dòng điện đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$I_1^+ = \frac{V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{400}{100 + 300} = 1\ A$$

Dòng điện đầu đường dây truyền tải ở thời gian xác lập:

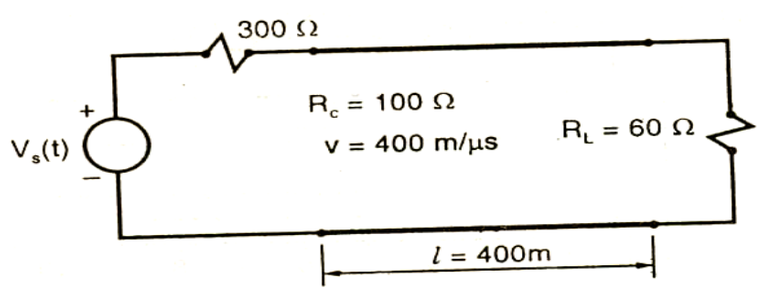
$$I(0,\infty) = \frac{400}{300 + 60} = 1{,}11\ A$$

Thực hiện tương tự các bước tính trong bài tập 8.23 và để ý rằng sóng dòng điện và sóng điện áp phản xạ luôn luôn nghịch dấu nhau. Dạng sóng dòng điện ở đầu đường dây I(0,t) được vẽ trong hình 8.20.



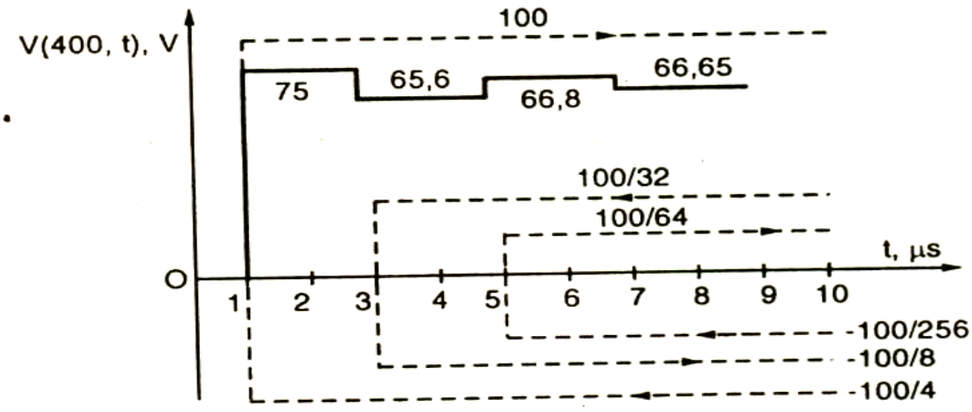
Hình 8.20

8.25 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.21 có điện trở tải $R_L = 60\ \Omega$, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng ở cuối đường dây V(400,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$



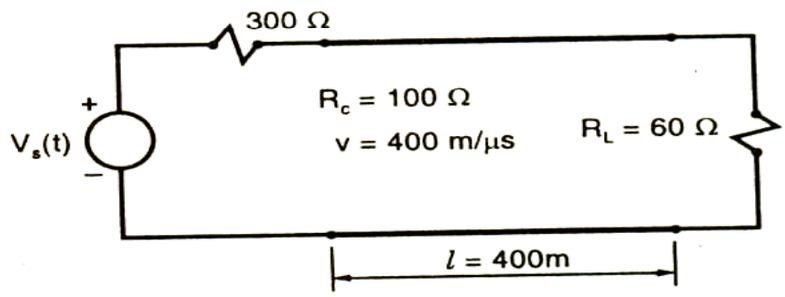
Hình 8.21

Giải Sử dụng phương pháp giải như bài tập 8.23, xác định được dạng sóng điện áp ở cuối đường dây như vẽ trong hình 8.22



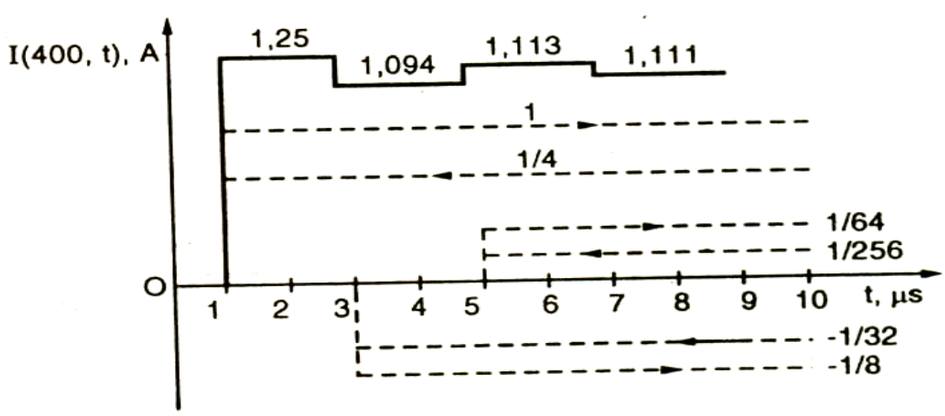
Hình 8.22

Bài tập 8.26 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.23 có điện trở tải $R_L = 60\ \Omega$, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\,m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với $u(t)$ là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng dòng điện ở cuối đường dây I(400,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$



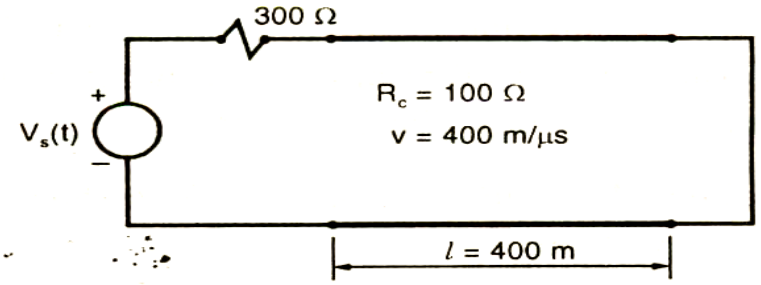
Hình 8.23

Giải Sử dụng phương pháp giải như bài tập 8.23, xác định được dạng sóng dòng điện ở cuối đường dây như hình 8.24.



Hình 8.24

8.27 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.25, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với $u(t)$ là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng ở đầu đường dây V(0,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$ khi đường dây ngắn mạch ở đầu cuối.



Hình 8.25

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{300 - 100}{300 + 100} = \frac{1}{2}$$

$$\beta_L = \frac{-100}{100} = -1$$

Điện áp đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu:

$$V_1^+ = \frac{R_C V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{100 \times 400}{100 + 300} = 100\ V$$

Điện áp đầu đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$V(0,\infty) = \frac{0}{300 + 0} \times 400 = 0\ V$$

a) Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\ \mu s$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về và bằng

$$V(0,t) = 100\ V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần đầu tiên tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_1^- = \beta_L \times 100\ V = -1 \times 100V = -100\ V$$

b) Trong khoảng thời gian $2 \le t < 4\ \mu s$

Sóng V_1^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 2\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ nhất ở đầu nguồn V_2^+ với biên độ

$$V_2^+ = \beta_{sL} \times (-100)\ V = \frac{1}{2} \times (-100)\ V = -50\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 100 - 100 - 50 = -50\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần hai và bằng

$$V(0,t) = -50\ V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ hai tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_2^- = \beta_L \times (-50)\ V = -1 \times (-50)\ V = 50\ V$$

c) Trong khoảng thời gian $4 \le t < 6\ \mu s$

Sóng V_2^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 4\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở đầu nguồn V_3^+ với biên độ

$$V_3^+ = \beta_{sL} \times (50)\ V = \frac{1}{2} \times (50)\ V = 25\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần hai từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 50 - 50 + 25 = 25\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần hai và bằng

$$V(0,t) = 25V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ ba tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_3^- = \beta_L \times (25)\ V = -1 \times (25)\ V = -25\ V$$

d) Trong khoảng thời gian $6 \le t < 8\ \mu s$

Sóng V_3^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 6\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ ba ở đầu nguồn V_4^+ với biên độ

$$V_4^+ = \beta_{sL} \times (-25)\ V = \frac{1}{2} \times (-25)\ V = -12{,}5\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần ba từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 25 - 25 - 12{,}5 = -12{,}5\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần bốn và bằng

$$V(0,t) = -12{,}5\ V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ tư tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_4^- = \beta_L \times (-12{,}5)\ V = -1 \times (-12{,}5)\ V = 12{,}5\ V$$

e) Trong khoảng thời gian $8 \le t < 10\ \mu s$

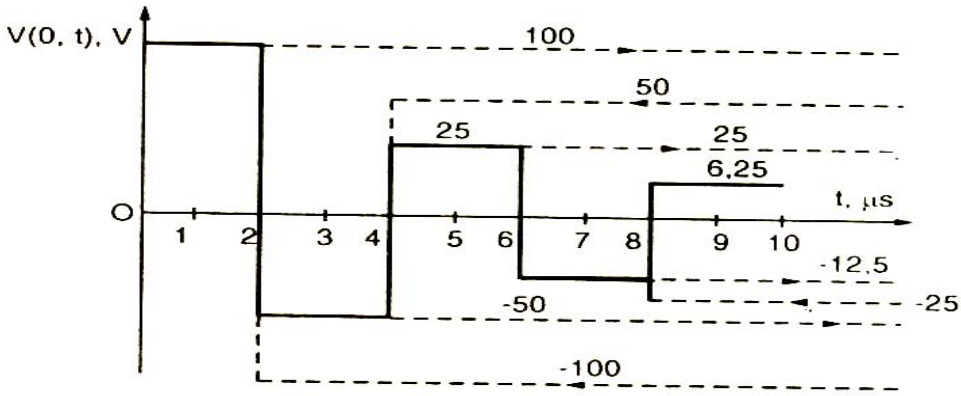
Sóng V_4^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 8\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ tư ở đầu nguồn V_5^+ với biên độ

$$V_5^+ = \beta_{sL} \times (12{,}5)\ V = \frac{1}{2} \times (12{,}5)\ V = 6{,}25\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần thứ tư từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

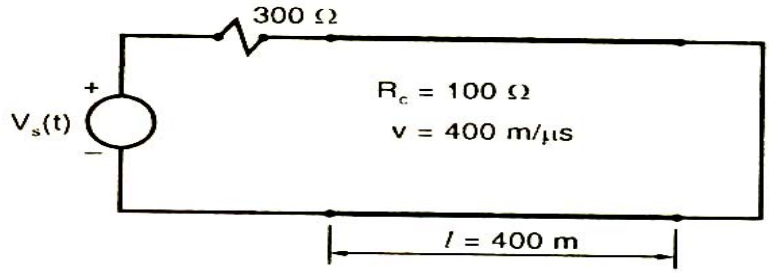
$$V(0,t) = 12{,}5 - 12{,}5 + 6{,}25 = 6{,}25\ V$$

Dạng của V(0,t) được vẽ trong hình 8.26.



Hình 8.26

8.28 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.27, điện trở nguồn R_s = 300 Ω và tổng trở sóng của cáp R_c = 100 Ω. Tốc độ truyền sóng v = 400 $m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải l = 400 m và $V_S(t)$ = 400 $u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng điện áp ở cuối đường dây V(400,t) trong khoảng thời gian $0 < t \leq 7$ μs khi đường dây ngắn mạch ở đầu cuối.



Hình 8.27

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{300 - 100}{300 + 100} = \frac{1}{2}$$

$$\beta_L = \frac{-100}{100} = -1$$

Điện áp đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$V_1^+ = \frac{R_C V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{100 \times 400}{100 + 300} = 100\ V$$

Điện áp cuối đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$V(400,\infty) = \frac{0}{300+0} \times 400 = 0\ V$$

a) Trong khoảng thời gian $1 \le t < 3\ \mu s$

Tại thời điểm $t = 0$, điện áp tại đầu đường dây $V_1^+ = 100\ V$ bắt đầu truyền về phía tải. Điện áp này vào lúc $t = 1\ \mu s$ sẽ đến cuối đường dây, tạo nên một sóng điện áp phản xạ lần thứ nhất có biên độ

$$V_1^- = \beta_L \times 100\ V = -1 \times 100V = -100V$$

Như vậy, điện áp tại cuối đường dây đường dây bằng tổng các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ:

$$V(400,t) = 100 - 100 = 0V$$

b) Trong khoảng thời gian $3 \le t < 5\ \mu s$

Sóng V_1^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 2\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ nhất ở đầu nguồn V_2^+ với biên độ

$$V_2^+ = \beta_{sL} \times (-100)\ V = \frac{1}{2} \times (-100)\ V = -50\ V$$

Điện áp này vào lúc $t = 3\ \mu s$ sẽ đến cuối đường dây, tạo nên một sóng điện áp phản xạ lần thứ hai có biên độ

$$V_2^- = \beta_L \times (-50\ V) = -1 \times (-50\ V) = 50\ V$$

Như vậy, điện áp tại cuối đường dây đường dây bằng tổng các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(400,t) = 50 - 50 = 0\ V$$

c) Trong khoảng thời gian $5 \le t < 7\ \mu s$

Sóng V_2^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 4\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở đầu nguồn V_3^+ với biên độ

$$V_3^+ = \beta_{sL} \times (50)\ V = \frac{1}{2} \times (50)\ V = 25\ V$$

Điện áp này vào lúc $t = 5\ \mu s$ sẽ đến cuối đường dây, tạo nên một sóng điện áp phản xạ lần thứ ba có biên độ

$$V_3^- = \beta_L \times (25\ V) = -1 \times (25\ V) = -25\ V$$

$$\beta_L = \frac{100}{100} = 1$$

Dòng điện đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$I_1^+ = \frac{V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{400}{100 + 300} = 1\ A$$

Dòng điện đầu đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$I(0,\infty) = \frac{400}{300} = 1{,}33\ A$$

a) Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\ \mu s$

Dòng điện tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về và bằng

$$I(0,t) = 1\ A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần đầu tiên tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$I_1^- = \beta_L \times 1A = 1 \times 1A = 1A$$

b) Trong khoảng thời gian $2 \le t < 4\ \mu s$

Sóng I_1^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 2\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ nhất ở đầu nguồn I_2^+ với biên độ

$$I_2^+ = \beta_{sL} \times 1\ A = -\frac{1}{2} \times 1\ A = -0{,}5\ A$$

Như vậy, dòng điện tại đầu đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(0,t) = 1 + 1 - 0{,}5 = 1{,}5\ A$$

Dòng điện tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần thứ hai và bằng

$$I(0,t) = 1{,}5\ A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ hai tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$I_2^- = \beta_L \times (-0{,}50)\ A = 1 \times (-0{,}50)\ A = -0{,}5\ A$$

c) Trong khoảng thời gian $4 \le t < 6\ \mu s$

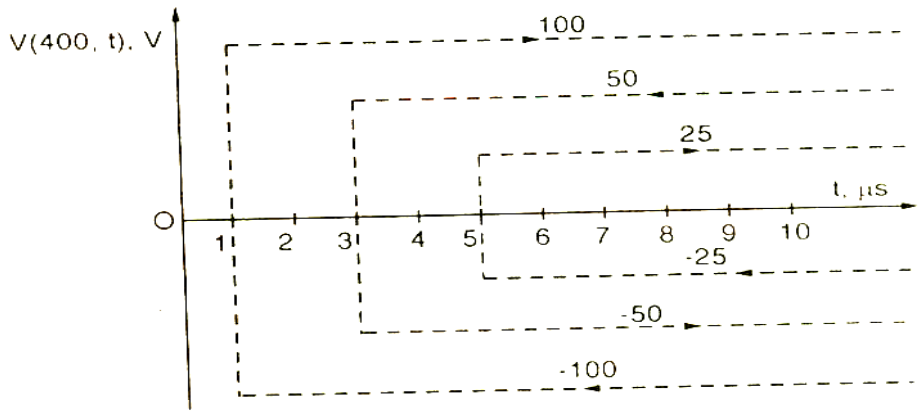
Sóng I_2^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 4\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở đầu nguồn I_3^+ với biên độ

$$I_3^+ = \beta_{sL} \times (-0{,}5)\ A = -\frac{1}{2} \times (-0{,}5)A = 0{,}25\ A$$

Như vậy, điện áp tại cuối đường dây đường dây bằng tổng các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

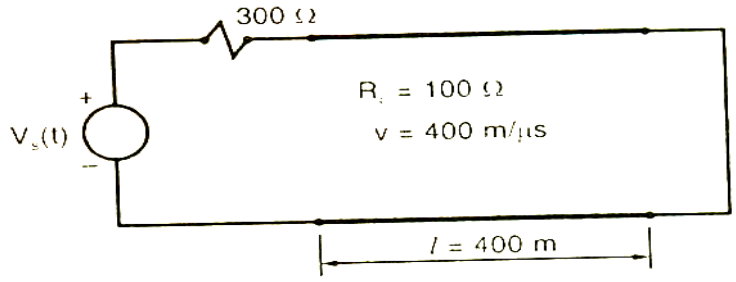
$$V(400, t) = 25 - 25 = 0\ V$$

Dạng sóng điện áp cuối đường dây vẽ trên hình 8.28.



Hình 8.28

8.29 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.29, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng dòng điện ở đầu đường dây I(0,t) trong khoảng thời gian $0 < t \leq 10\ \mu s$ khi đường dây ngắn mạch ở đầu cuối.



Hình 8.29

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

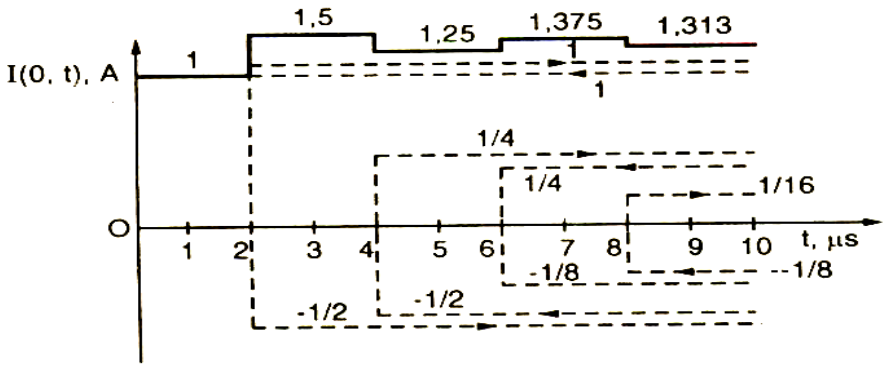
Hệ số phản xạ dòng điện tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{100 - 300}{300 + 100} = -\frac{1}{2}$$

Như vậy, dòng điện tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần thứ tư từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

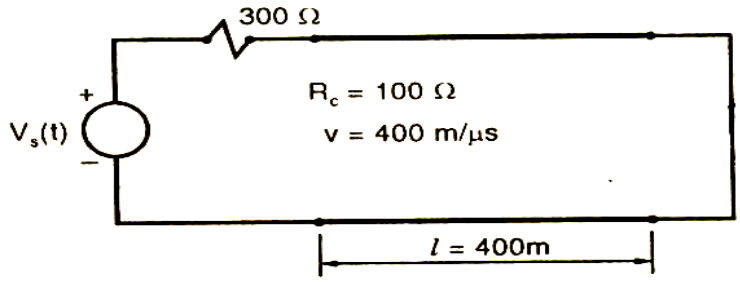
$$I(0,t) = 1{,}375 - 0{,}125 + 0{,}0625 = 1{,}313A$$

Dạng của V(0,t) được vẽ trong hình 8.30.



Hình 8.30

8.30 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.31, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng dòng điện ở cuối đường dây I(400,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\,\mu s$ khi đường dây ngắn mạch ở đầu cuối.



Hình 8.31

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

Hệ số phản xạ dòng điện tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{100 - 300}{300 + 100} = -\frac{1}{2}$$

$$\beta_L = \frac{100}{100} = 1$$

Dòng điện đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$I_1^+ = \frac{V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{400}{100 + 300} = 1\ A$$

Dòng điện cuối đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$I(0,\infty) = \frac{400}{300} = 1{,}33\ A$$

a) Trong khoảng thời gian $1 \le t < 3\,\mu s$

Dòng điện tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về và bằng:

$$I(0,t) = 1\,A$$

Trong khoảng thời gian $0 \le t < 1\,\mu s$ dòng điện tại tải bằng zero. Sau thời gian $t = 1\,\mu s$, sóng I_1^+ đến tải và xuất hiện sóng phản xạ lần đầu tiên tại tải và sẽ trở về nguồn với biên độ

$$I_1^- = \beta_L \times 1\ A = 1 \times 1\ A = 1\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(400,t) = 1 + 1 = 2\ A$$

Dòng điện tại cuối đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ nguồn trở về lần thứ hai và bằng

$$I(400,t) = 2A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ hai tại nguồn và đang đến tải với biên độ

$$I_2^+ = \beta_s \times (1)\ A = -\frac{1}{2} \times (1)\ A = -0{,}5\ A$$

b) Trong khoảng thời gian $3 \le t < 5\ \mu s$

Sóng I_1^+ đến tải vào đúng thời điểm $t = 3\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở tải I_2^- với biên độ

$$I_2^- = \beta_L \times (-0{,}5)\ A = 1 \times (-0{,}5)\ A = -0{,}5\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(400, t) = 2 - 0,5 - 0,5 = 1\ A$$

Dòng điện tại cuối đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ nguồn trở về lần thứ ba và bằng

$$I(400, t) = 1\ A$$

Tuy nhiên trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ ba tại nguồn và đang đến tải với biên độ

$$I_3^+ = \beta_s \times (-0,5)\ A = -\frac{1}{2} \times (-0,5)\ A = 0,25\ A$$

c) Trong khoảng thời gian $5 \le t < 7\ \mu s$

Sóng I_3^+ đến tải vào đúng thời điểm $t = 5\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ ba ở tải I_3^- với biên độ

$$I_3^- = \beta_L \times (0,25)\ A = 1 \times (0,25)\ A = 0,25\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(400, t) = 1 + 0,25 + 0,25 = 1,5\ A$$

Dòng điện tại cuối đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ nguồn trở về lần thứ tư và bằng

$$I(400, t) = 1,5\ A$$

Tuy nhiên trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ tư tại nguồn và đang đến tải với biên độ

$$I_4^+ = \beta_s \times (0,25)\ A = -\frac{1}{2} \times (0,25)\ A = -0,125\ A$$

d) Trong khoảng thời gian $7 \le t < 9\ \mu s$

Sóng I_4^+ đến tải vào đúng thời điểm $t = 7\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ tư ở tải I_4^- với biên độ

$$I_4^- = \beta_L \times (-0,125)A = 1 \times (-0,125)\ A = -0,125\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(400, t) = 1{,}5 - 0{,}125 - 0{,}125 = 1{,}25\ A$$

Dòng điện tại cuối đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ nguồn trở về lần thứ năm và bằng:

$$I(400, t) = 1{,}25\ A$$

Tuy nhiên trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ năm tại nguồn và đang đến tải với biên độ

$$I_5^+ = \beta_s \times (-0{,}125)\ A = -\frac{1}{2} \times (-0{,}125) A = 0{,}0625\ A$$

e) Trong khoảng thời gian $9 \le t < 11\ \mu s$

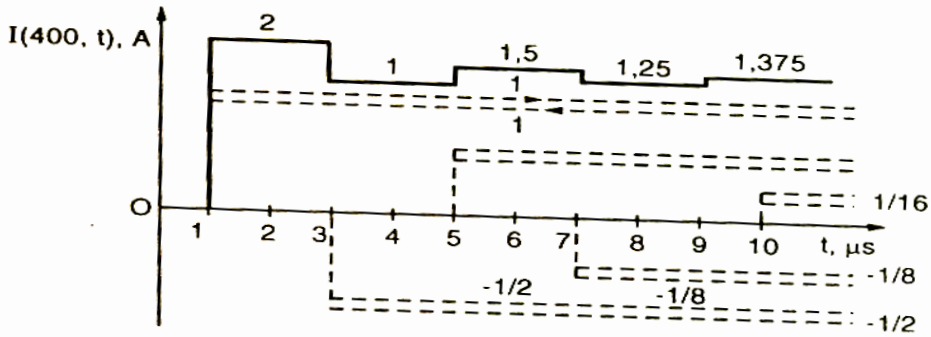
Sóng I_5^+ đến tải vào đúng thời điểm $t = 9\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ năm ở tải I_5^- với biên độ

$$I_5^- = \beta_L \times (0{,}0625)\ A = 1 \times (0{,}0625)\ A = 0{,}0625\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

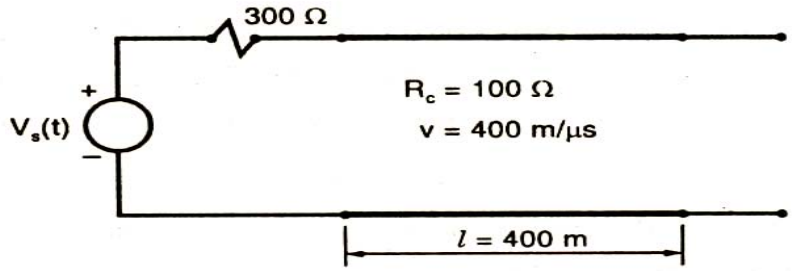
$$I(400, t) = 1{,}25 + 0{,}0625 + 0{,}0625 = 1{,}375\ A$$

Dạng của I(0,t) được vẽ trong hình 8.32



Hình 8.32

8.31 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.33, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng ở đầu đường dây V(0,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$ khi đường dây hở mạch ở đầu cuối.



Hình 8.33

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{300 - 100}{300 + 100} = \frac{1}{2}$$

$$\beta_L = \frac{\infty - 100}{\infty + 100} = 1$$

Điện áp đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$V_1^+ = \frac{R_C V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{100 \times 400}{100 + 300} = 100\ V$$

Điện áp đầu đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$V(0,\infty) = \frac{\infty}{300 + \infty} \times 400 = 400\ V$$

a) Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\ \mu s$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về và bằng

$$V(0,t) = 100\ V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần đầu tiên tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_1^- = \beta_L \times 100\ V = 1 \times 100\ V = 100\ V$$

b) Trong khoảng thời gian $2 \le t < 4\ \mu s$

Sóng V_1^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 2\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ nhất ở đầu nguồn V_2^+ với biên độ

$$V_2^+ = \beta_{sL} \times (100)V = \frac{1}{2} \times (100)\ V = 50\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 100 + 100 + 50 = 250\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần thứ hai và bằng

$$V(0,t) = 250\ V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ hai tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_2^- = \beta_L \times (50)\ V = 1 \times (50)\ V = 50\ V$$

c) Trong khoảng thời gian $4 \le t < 6\ \mu s$

Sóng V_2^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 4\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở đầu nguồn V_3^+ với biên độ

$$V_3^+ = \beta_{sL} \times (50)V = \frac{1}{2} \times (50)\ V = 25\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần hai từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 250 + 50 + 25 = 325\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần thứ hai và bằng

$$V(0,t) = 325\ V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ ba tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_3^- = \beta_L \times (25)V = 1 \times (25)\ V = 25\ V$$

d) Trong khoảng thời gian $6 \le t < 8\ \mu s$

Sóng V_3^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 6\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ ba ở đầu nguồn V_4^+ với biên độ

$$V_4^+ = \beta_{sL} \times (25)\ V = \frac{1}{2} \times (25)\ V = 12{,}5\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần ba từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện

áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 325 + 25 + 12,5 = 362,5\ V$$

Điện áp tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần bốn và bằng

$$V(0,t) = 362,5\ V$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ tư tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$V_4^- = \beta_L \times (12,5)\ V = 1 \times (12,5)\ V = 12,5\ V$$

e) Trong khoảng thời gian $8 \le t < 10\ \mu s$

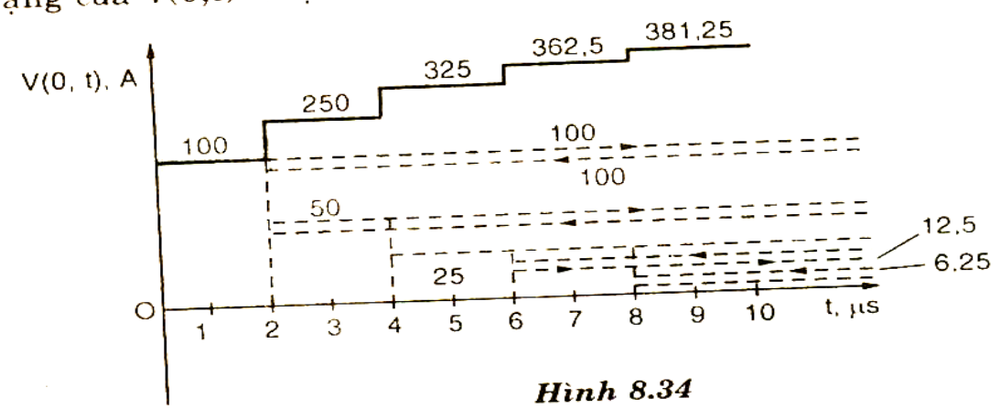
Sóng V_4^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 8\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ tư ở đầu nguồn V_5^+ với biên độ:

$$V_5^+ = \beta_{sL} \times (12,5)\ V = \frac{1}{2} \times (12,5)\ V = 6,25\ V$$

Như vậy, điện áp tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần thứ tư từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Điện áp tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(0,t) = 362,5 + 12,5 + 6,25 = 381,25\ V$$

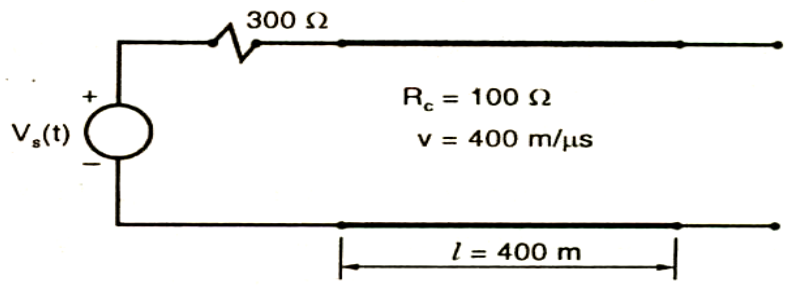
Dạng của V(0,t) được vẽ trong hình 8.34



Hình 8.34

8.32 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.35, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\,m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng

điện áp ở cuối đường dây V(400,t) trong khoảng thời gian $0 < t \leq 10\ \mu s$ khi đường dây hở mạch ở đầu cuối.



Hình 8.35

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải:

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

Hệ số phản xạ điện áp tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{300 - 100}{300 + 100} = \frac{1}{2}$$

$$\beta_L = \frac{-100}{100} = -1$$

Điện áp đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$V_1^+ = \frac{R_C V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{100 \times 400}{100 + 300} = 100\ V$$

Điện áp cuối đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$V(400, \infty) = 400\ V$$

a) Trong khoảng thời gian $1 \leq t < 3\ \mu s$

Tại thời điểm $t = 0$, điện áp tại đầu đường dây $V_1^+ = 100\ V$ bắt đầu truyền về phía tải. Điện áp này vào lúc $t = 1\ \mu s$ sẽ đến cuối đường dây, tạo nên một sóng điện áp phản xạ lần thứ nhất có biên độ

$$V_1^- = \beta_L \times 100\ V = 1 \times 100\ V = 100\ V$$

Như vậy, điện áp tại cuối đường dây đường dây bằng tổng các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(400, t) = 100 + 100 = 200\ V$$

b) Trong khoảng thời gian $3 \le t < 5\ \mu s$

Sóng V_1^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 2\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ nhất ở đầu nguồn V_2^+ với biên độ:

$$V_2^+ = \beta_{sL} \times (100)V = \frac{1}{2} \times (100)\ V = 50\ V$$

Điện áp này vào lúc $t = 3\ \mu s$ sẽ đến cuối đường dây, tạo nên một sóng điện áp phản xạ lần thứ hai có biên độ:

$$V_2^- = \beta_L \times (50\ V) = 1 \times (50\ V) = 50\ V$$

Như vậy, điện áp tại cuối đường dây đường dây bằng tổng các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(400, t) = 200 + 50 + 50 = 300\ V$$

c) Trong khoảng thời gian $5 \le t < 7\ \mu s$

Sóng V_2^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 4\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở đầu nguồn V_3^+ với biên độ

$$V_3^+ = \beta_{sL} \times (50)\ V = \frac{1}{2} \times (50)\ V = 25\ V$$

Điện áp này vào lúc $t = 5\ \mu s$ sẽ đến cuối đường dây, tạo nên một sóng điện áp phản xạ lần thứ ba có biên độ

$$V_3^- = \beta_L \times (25\ V) = 1 \times (25V) = 25\ V$$

Như vậy, điện áp tại cuối đường dây đường dây bằng tổng các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(400, t) = 300 + 25 + 25 = 350\ V$$

d) Trong khoảng thời gian $7 \le t < 9\ \mu s$

Sóng V_3^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 6\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ ba ở đầu nguồn V_3^+ với biên độ

$$V_4^+ = \beta_{sL} \times (25)\ V = \frac{1}{2} \times (25)V = 12{,}5\ V$$

Điện áp này vào lúc $t = 7\ \mu s$ sẽ đến cuối đường dây, tạo nên một sóng điện áp phản xạ lần thứ tư có biên độ

$$V_4^- = \beta_L \times (12{,}5\ V) = 1 \times (12{,}5\ V) = 12{,}5\ V$$

Như vậy, điện áp tại cuối đường dây đường dây bằng tổng các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$V(400, t) = 350 + 12{,}5 + 12{,}5 = 375\ V$$

d) Trong khoảng thời gian $9 \le t < 11\ \mu s$

Sóng V_4^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 8\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ tư ở đầu nguồn V_5^+ với biên độ

$$V_5^+ = \beta_{sL} \times (12{,}5)V = \frac{1}{2} \times (12{,}5)V = 6{,}25V$$

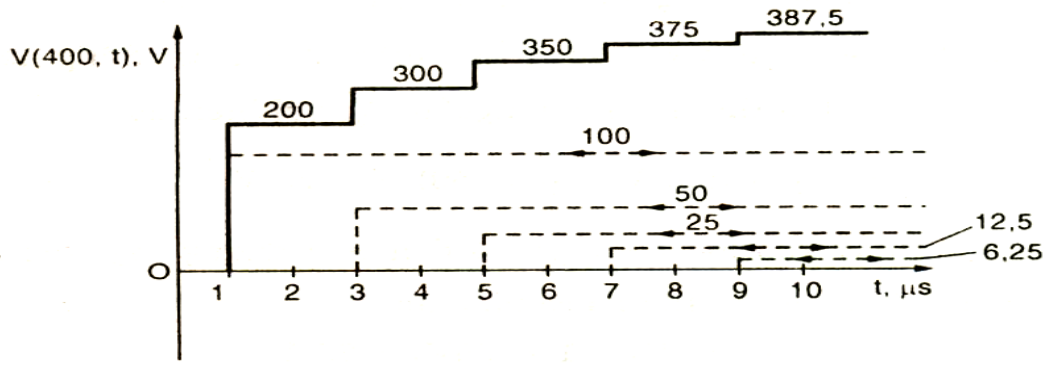
Điện áp này vào lúc $t = 9\ \mu s$ sẽ đến cuối đường dây, tạo nên một sóng điện áp phản xạ lần thứ năm có biên độ

$$V_5^- = \beta_L \times (6{,}25\ V) = 1 \times (6{,}25\ V) = 6{,}25\ V$$

Như vậy, điện áp tại cuối đường dây đường dây bằng tổng các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

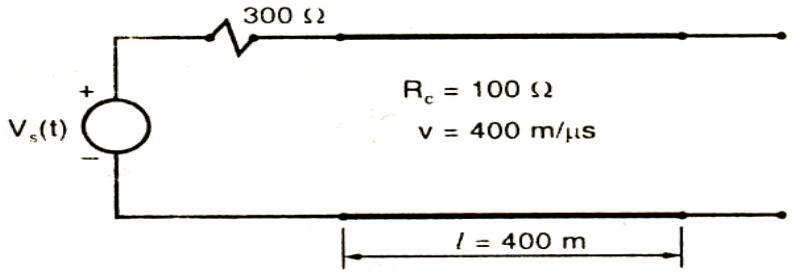
$$V(400, t) = 375 + 6{,}25 + 6{,}25 = 387{,}5\ V$$

Dạng sóng điện áp cuối đường dây vẽ trên hình 8.36.



Hình 8.36

8.33 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.37, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng dòng điện ở đầu đường dây I(0,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$ khi đường dây hở mạch ở đầu cuối.



Hình 8.37

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\ \mu s$$

Hệ số phản xạ dòng điện tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{100 - 300}{300 + 100} = -\frac{1}{2}$$

$$\beta_L = \frac{100}{100} = 1$$

Dòng điện đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$I_1^+ = \frac{V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{400}{100 + 300} = 1\ A$$

Dòng điện đầu đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$I(0, \infty) = 0\ A$$

a) Trong khoảng thời gian $0 \le t < 2\ \mu s$

Dòng điện tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về và bằng

$$I(0, t) = 1A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần đầu tiên tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$I_1^- = \beta_L \times 1\,A = -1 \times 1\,A = -1\,A$$

b) Trong khoảng thời gian $2 \le t < 4\ \mu s$

Sóng I_1^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 2\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ nhất ở đầu nguồn I_2^+ với biên độ

$$I_2^+ = \beta_{sL} \times (-1A) = -\frac{1}{2} \times (-1A) = 0{,}5\ A$$

Như vậy, dòng điện tại đầu đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(0, t) = 1 - 1 + 0{,}5 = 0{,}5\ A$$

Dòng điện tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần hai và bằng

$$I(0, t) = 0{,}5\ A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ hai tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$I_2^- = \beta_L \times (0{,}50)A = -1 \times (0{,}50)A = -0{,}5A$$

c) Trong khoảng thời gian $4 \le t < 6\ \mu s$

Sóng I_2^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 4\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở đầu nguồn I_3^+ với biên độ

$$I_3^+ = \beta_{sL} \times (-0{,}5)A = -\frac{1}{2} \times (-0{,}5)A = 0{,}25\ A$$

Như vậy, dòng điện tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần thứ hai từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(0,t) = 0{,}50 - 0{,}50 + 0{,}25 = 0{,}25\ A$$

Dòng điện tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần thứ hai và bằng

$$I(0,t) = 0{,}25\ A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ ba tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$I_3^- = \beta_L \times (0{,}25)A = -1 \times (0{,}25)A = -0{,}25\ A$$

d) Trong khoảng thời gian $6 \le t < 8\ \mu s$:

Sóng I_3^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 6\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ ba ở đầu nguồn I_4^+ với biên độ

$$I_4^+ = \beta_{sL} \times (-0{,}25)A = -\frac{1}{2} \times (-0{,}25)A = 0{,}125\ A$$

Như vậy, dòng điện tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần thứ ba từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(0,t) = 0{,}25 - 0{,}25 + 0{,}125 = 0{,}125\ A.$$

Dòng điện tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về lần thứ tư và bằng

$$I(0,t) = 0{,}125\ A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ tư tại tải và đang đến nguồn với biên độ

$$I_4^- = \beta_L \times (0{,}125)A = -1 \times (0{,}125)A = -0{,}125\ A$$

e) Trong khoảng thời gian $8 \le t < 10\ \mu s$

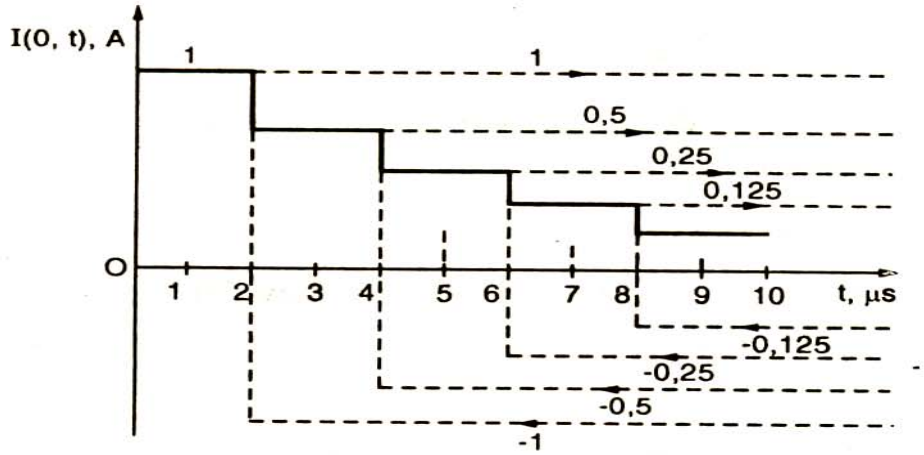
Sóng I_4^- đến nguồn vào đúng thời điểm $t = 8\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ tư ở đầu nguồn I_5^+ với biên độ

$$I_5^+ = \beta_{sL} \times (-0{,}125)A = -\frac{1}{2} \times (-0{,}125)A = 0{,}0625\ A$$

Như vậy, dòng điện tại đầu đường dây lại bắt đầu thay đổi vì đã có sóng phản xạ lần thứ tư từ tải trở về cũng như phản xạ từ đầu nguồn. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

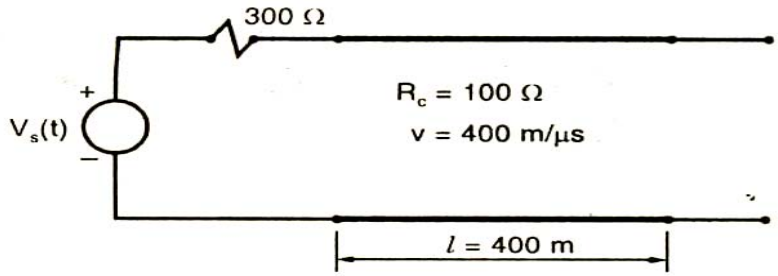
$$I(0,t) = 0{,}125 - 0{,}125 + 0{,}0625 = 0{,}0625\ A$$

Dạng của V(0,t) được vẽ trong hình 8.38.



Hình 8.38

8.34 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.39, điện trở nguồn $R_s = 300\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng dòng điện ở cuối đường dây I(400,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\mu s$ khi đường dây hở mạch ở đầu cuối.



Hình 8.39

Giải Thời gian sóng truyền qua đường dây truyền tải

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{400}{400} = 1\mu s$$

Hệ số phản xạ dòng điện tại nguồn và tải

$$\beta_S = \frac{100 - 300}{300 + 100} = -\frac{1}{2}$$

$$\beta_L = -1$$

Dòng điện đầu đường dây truyền tải ở thời điểm ban đầu

$$I_1^+ = \frac{V_S(0^+)}{R_C + R_S} = \frac{400}{100 + 300} = 1\ A$$

Dòng điện cuối đường dây truyền tải ở thời gian xác lập

$$I(0, \infty) = 0A$$

a) Trong khoảng thời gian $1 \le t < 3\ \mu s$

Dòng điện tại đầu đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ tải trở về và bằng

$$I(0, t) = 1\ A$$

Trong khoảng thời gian $0 \le t < 1\ \mu s$ dòng điện tại tải bằng zero. Sau thời gian $t = 1\ \mu s$, sóng I_1^+ đến tải và xuất hiện sóng phản xạ lần đầu tiên tại tải và sẽ trở về nguồn với biên độ

$$I_1^- = \beta_L \times 1A = -1 \times 1A = -1\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(400, t) = 1 - 1 = 0\ A$$

Dòng điện tại cuối đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ nguồn trở về lần thứ hai và bằng:

$$I(400,t) = 0\ A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ hai tại nguồn và đang đến tải với biên độ

$$I_2^+ = \beta_s \times (-1)A = -\frac{1}{2} \times (-1)A = 0{,}5\ A$$

b) Trong khoảng thời gian $3 \le t < 5\ \mu s$

Sóng I_1^+ đến tải vào đúng thời điểm $t = 3\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ hai ở tải I_2^- với biên độ:

$$I_2^- = \beta_L \times (0{,}5)A = -1 \times (0{,}5)A = -0{,}5\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(400,t) = 0{,}5 - 0{,}5 = 0\ A$$

Dòng điện tại cuối đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ nguồn trở về lần thứ ba và bằng

$$I(400,t) = 0\ A$$

Tuy nhiên trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ ba tại nguồn và đang đến tải với biên độ

$$I_3^+ = \beta_s \times (-0{,}5)A = -\frac{1}{2} \times (-0{,}5)A = 0{,}25\ A$$

c) Trong khoảng thời gian $5 \le t < 7\ \mu s$

Sóng I_3^+ đến tải vào đúng thời điểm $t = 5\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ ba ở tải I_3^- với biên độ:

$$I_3^- = \beta_L \times (0{,}25)A = -1 \times (0{,}25)A = -0{,}25\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(400,t) = 0{,}25 - 0{,}25 = 0A$$

Dòng điện tại cuối đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ nguồn trở về lần thứ tư và bằng:

$$I(400,t) = 0\ A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ tư tại nguồn và đang đến tải với biên độ

$$I_4^+ = \beta_s \times (-0{,}25)A = -\frac{1}{2} \times (-0{,}25)A = 0{,}125\ A$$

d) Trong khoảng thời gian $7 \le t < 9\ \mu s$

Sóng I_4^+ đến tải vào đúng thời điểm $t = 7\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ tư ở tải I_4^- với biên độ

$$I_4^- = \beta_L \times (0{,}125)A = -1 \times (0{,}125)A = -0{,}125\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

$$I(400, t) = 0{,}125 - 0{,}125 = 0\ A$$

Dòng điện tại cuối đường dây không thay đổi vì chưa có sóng phản xạ từ nguồn trở về lần thứ năm và bằng

$$I(400, t) = 0\ A$$

Tuy nhiên, trong khoảng thời gian này cũng đã xuất hiện sóng phản xạ lần thứ năm tại nguồn và đang đến tải với biên độ

$$I_5^+ = \beta_s \times (-0{,}125)A = -\frac{1}{2} \times (-0{,}125)A = 0{,}0625\ A$$

e) Trong khoảng thời gian $9 \le t < 11\ \mu s$

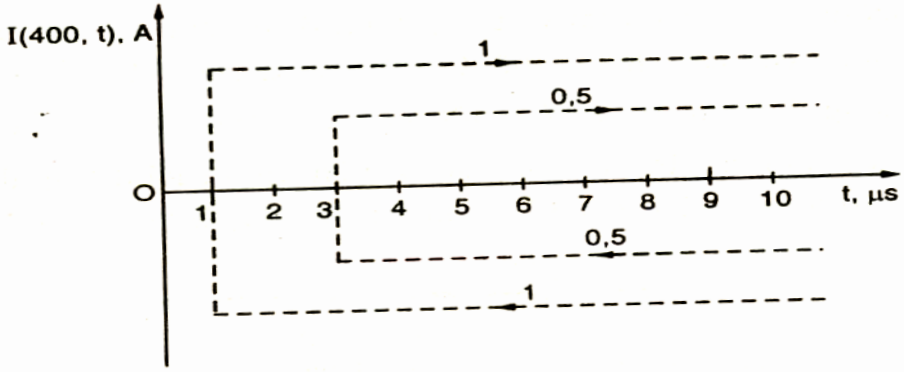
Sóng I_5^+ đến tải vào đúng thời điểm $t = 9\ \mu s$. Sóng này sẽ tạo nên sóng phản xạ lần thứ năm ở tải I_5^- với biên độ

$$I_5^- = \beta_L \times (0{,}0625)A = -1 \times (0{,}0625)A = -0{,}0625\ A$$

Như vậy, dòng điện tại cuối đường dây bắt đầu thay đổi vì đã có sóng từ nguồn đến cũng như phản xạ từ tải. Dòng điện tại đây bằng tổng tất cả các sóng tồn tại trong khoảng thời gian này với biên độ

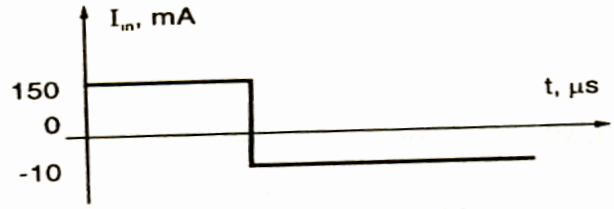
$$I(400, t) = 0{,}0625 - 0{,}0625 = 0\ A$$

Dạng của I(0,t) được vẽ trong hình 8.40.



Hình 8.40

8.35 Một nguồn DC 12V với điện trở nguồn không đáng kể mắc nối với đường dây truyền tải có chiều dài chưa biết. Giả sử dòng điện đầu vào của đường dây truyền tải cho trước ở hình 8.41. Hãy xác định tổng trở sóng của đường dây.



Hình 8.41

Giải Dòng điện đầu đường dây truyền tải trong thời gian ban đầu là

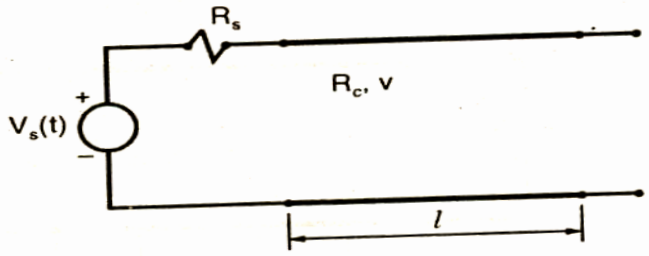
$$I = \frac{12V}{R_C} = 0{,}15A$$

Vậy tổng trở sóng của đường dây truyền tải

$$R_C = \frac{12}{0{,}15} = 80\,\Omega$$

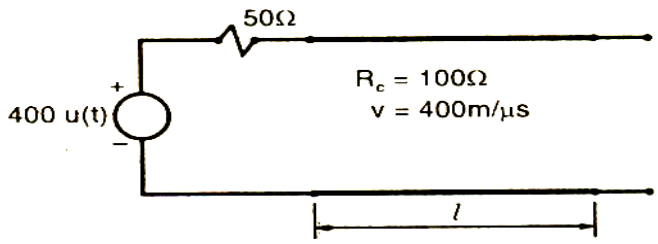
CÁC BÀI TOÁN TỰ KIỂM TRA

8.36 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.42, điện trở nguồn $R_s = 200\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 60\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng ở đầu đường dây V(0,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\,\mu s$ khi đường dây hở mạch ở đầu cuối.



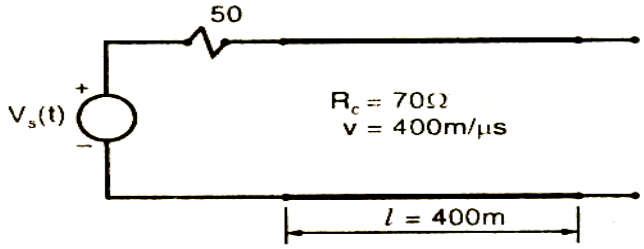
Hình 8.42

8.37 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.43, điện trở nguồn $R_s = 50\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 100\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng điện áp ở cuối đường dây V(400,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$ khi đường dây hở mạch ở đầu cuối.



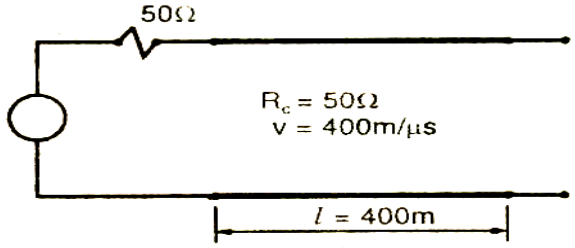
Hình 8.43

8.38 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.44, điện trở nguồn $R_s = 50\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 70\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\ m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng dòng điện ở đầu đường dây I(0,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\ \mu s$ khi đường dây hở mạch ở đầu cuối.



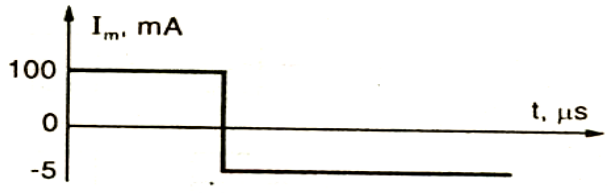
Hình 8.44

8.39 Một đường dây truyền tải vẽ trong hình 8.45, điện trở nguồn $R_s = 50\ \Omega$ và tổng trở sóng của cáp $R_c = 50\ \Omega$. Tốc độ truyền sóng $v = 400\ m/\mu s$. Chiều dài đường dây truyền tải $l = 400\,m$ và $V_S(t) = 400\ u(t)V$ với u(t) là hàm bước nhảy đơn vị. Hãy vẽ dạng sóng dòng điện ở cuối đường dây I(400,t) trong khoảng thời gian $0 < t \le 10\,\mu s$ khi đường dây hở mạch ở đầu cuối.



Hình 8.45

8.40 Một nguồn DC 12V với điện trở nguồn không đáng kể mắc nối với đường dây truyền tải có chiều dài chưa biết. Giả sử dòng điện đầu vào của đường dây truyền tải cho trước ở hình 8.46. Hãy xác định tổng trở sóng của đường dây.



Hình 8.46

8.41 Tính điện trở tản xoay chiều của hệ thống nối đất gồm hai cọc tròn chôn nổi trong đất. Biết chiều dài của cọc l = 3 m, đường kính cọc d = 40 mm, điện trở suất của đất đã quy về tính toán ρ = 120 Ωm. Hệ số sử dụng của hệ thống 0,8.

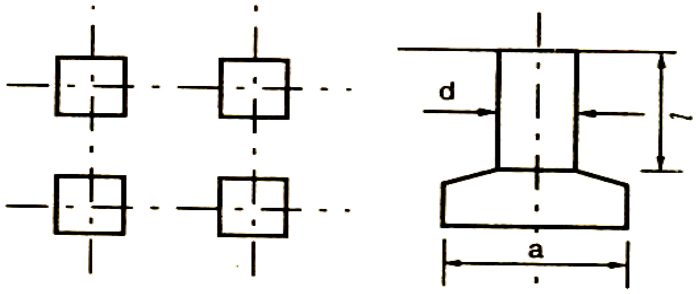
8.42 Điện trở tản xoay chiều của một hệ thống nối đất gồm hai cọc chôn nổi có giá trị là 20 Ω. Hãy tính đường kính của mỗi cọc, biết chiều dài cọc l = 4 m, điện trở suất của đất quy về tính toán ρ = 130 Ωm , hệ số sử dụng của hệ thống $\eta_{\sim}$ = 0,8.

8.43 Một hệ thống nối đất gồm bốn cọc bằng thép tròn có đường kính d = 30mm, được chôn nổi trong đất. Điện trở tương đương của tổ hợp đo được là 10 Ω. Hãy tìm điện trở suất tính toán của đất. Cho biết: chiều dài của cọc l = 3 m và hệ số sử dụng của hệ thống 0,60.

8.44 Xác định điện trở tản xung kích của một hệ thống nối đất ba tia dùng thép dẹt có bề rộng 4 cm, mỗi tia dài 20 m, chôn sâu trong đất 0,5 m. Điện trở suất đo được vào mùa khô là $3{,}6 \times 10^4\ \Omega cm$. Dòng điện sét tính toán là 80 kA.

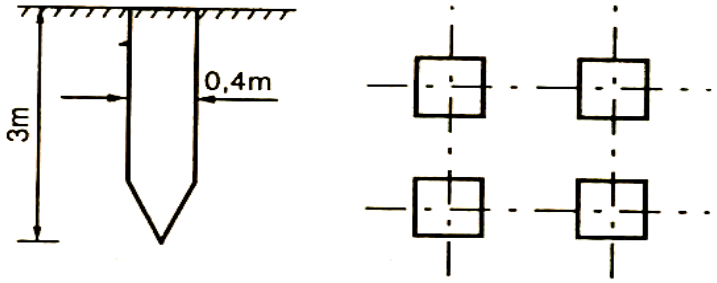
8.45 Xác định điện trở tản xung kích của một hệ thống nối đất phức hợp hai tia: mỗi tia dài 20 m dùng sắt dẹt bề rộng 4 cm. Trên mỗi tia có đóng sáu cọc. Chiều dài mỗi cọc 3 m dùng sắt tròn đường kính 4 cm. Cả hệ thống chôn sâu trong đất 0,5 m, có điện trở suất đo vào lúc ẩm là $7{,}15 \times 10^4\ \Omega cm$. Dòng điện sét tính toán là 80 kA. Cho biết hệ số sử dụng xoay chiều của thanh 0,65 và cọc 0,6. Hệ số sử dụng xung kích của hệ thống là 0,85.

8.46 Xác định điện trở xung kích của móng một trụ điện có kích thước như trong hình 8.47. Trong đó a = 200 cm; d = 40 cm; l = 250 cm. Điện trở suất đã quy về tính toán $\rho_{tt} = 150\ \Omega m$. Dòng điện sét tính toán là 80 kA.



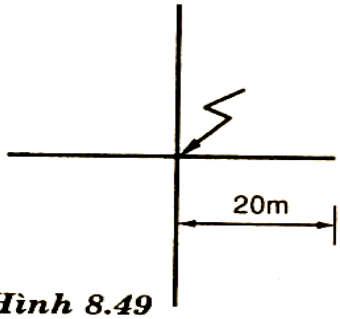
Hình 8.47

8.47 Xác định điện trở xung kích của móng một trụ điện có kích thước như trong hình 8.48. Điện trở suất đo được lúc khô $\rho_d = 300\,\Omega m$. Dòng điện sét tính toán là 80 kA.



Hình 8.48

8.48 Xác định điện trở xung kích của một hệ thống nối đất dạng bốn tia có kích thước như trong hình 8.49. Điện trở suất đo được lúc khô $\rho_d = 100\ \Omega m$. Dòng điện sét tính toán là 60 kA. Sắt dùng loại sắt tròn đường kính 20 mm. Mỗi tia dài 20 m. Chôn sâu 0,8 m.



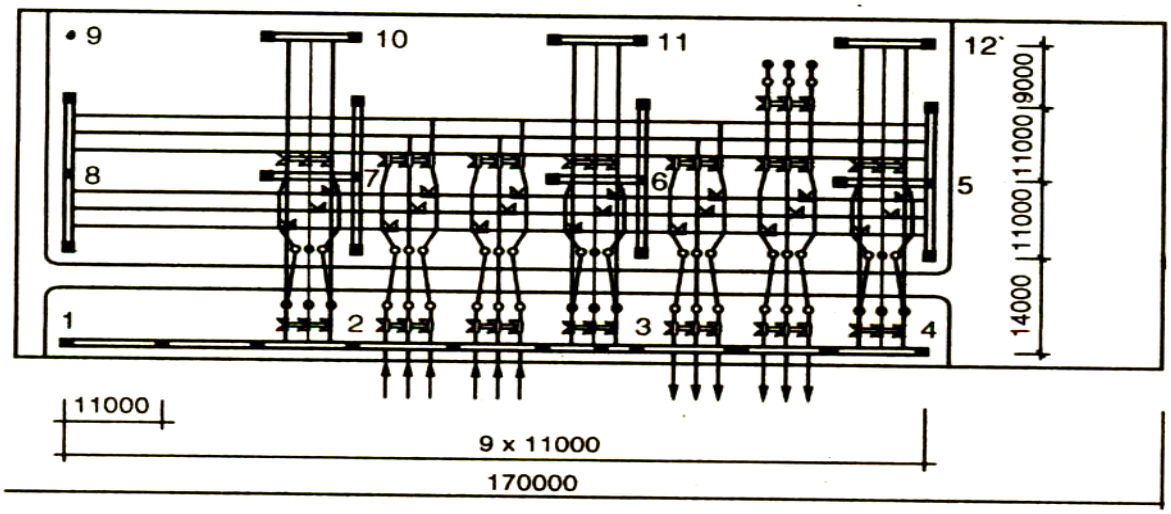
Hình 8.49

8.49 Xác định hệ số sử dụng xung kích của một hệ thống nối đất dạng một tia hai cọc: tia dài 10 m, dày 5 mm và rộng 50 mm; cọc làm bằng sắt tròn dài 3 m đường kính 30 mm. Điện trở suất tính toán $\rho_{tt} = 100\,\Omega m$. Dòng điện sét tính toán là 60kA với thời gian đầu sóng từ 3 - 6 μs. Cho biết điện trở xung kích của hệ thống đo được là $10\,\Omega$. Hệ thống nối đất chôn sâu 0,8 m.

8.50 Xác định xác suất sét đánh vòng vào dây dẫn có góc bảo vệ là $\alpha = 28^o$ ứng với hai trường hợp cột cao $h_c = 15m$ và $h_c = 40\,m$.

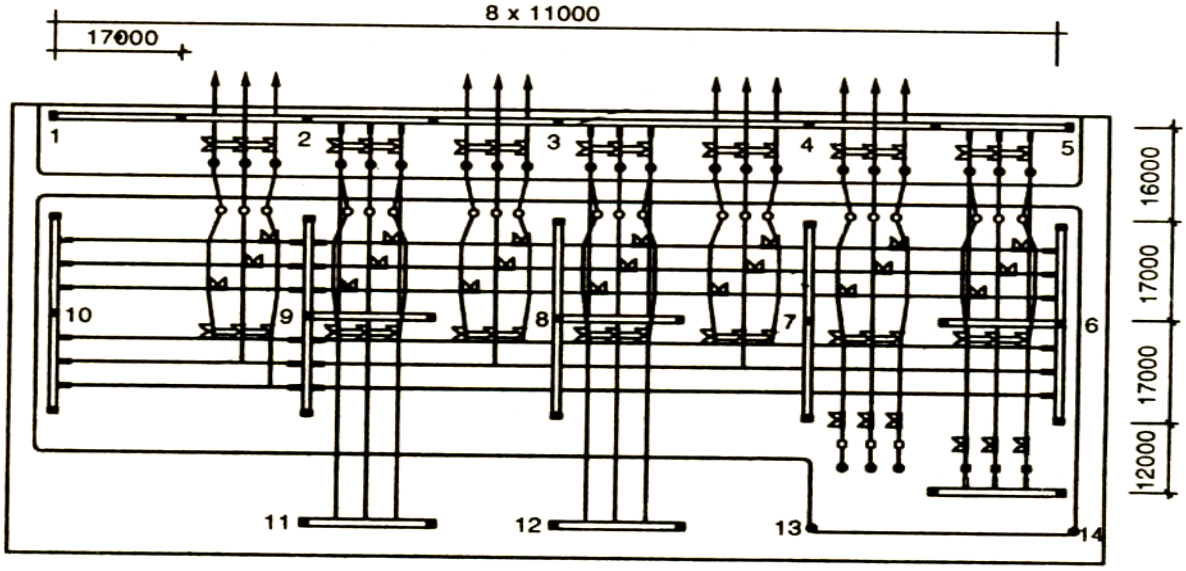
8.51 Trên hình 8.50 là mặt bằng của trạm biến áp cao thế 110 kV. Kích thước của các xà và chu vi trạm cho trong hình vẽ. Trạm được bảo vệ bằng 12 kim thu sét đặt tại các vị trí: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 và 12.

Hãy chọn chiều cao kim thu sét và vẽ vùng bảo vệ của chúng. Cho biết các chiều cao cần được bảo vệ là 8 m.



Hình 8.50

8.52 Trên hình 8.51 là mặt bằng của trạm biến áp cao thế 220 kV. Kích thước của các xà và chu vi trạm cho trong hình vẽ. Trạm được bảo vệ bằng 14 kim thu sét đặt tại các vị trí: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 và 14. Hãy chọn chiều cao kim thu sét và vẽ vùng bảo vệ của chúng. Cho biết chiều cao cần được bảo vệ là 12,5 m.



Hình 8.51

8.53 Cho đường dây không tổn hao có tổng trở sóng là 30 Ω và đầu cuối là điện trở R = 90 Ω. Một nguồn áp DC 120 V cấp đầu dây tại t = 0. Hãy

vẽ V_R theo thời gian trong khoảng thời gian $t = 0$ đến $t = 5T$, trong đó T là thời gian để sóng điện áp truyền hết chiều dài dây, chiều dài dây là 300 m và tốc độ truyền sóng là $v = 300\ m/\mu s$.

8.54 Cho đường dây không tổn hao có tổng trở sóng là 30 Ω và đầu cuối là điện trở $R = 90\ \Omega$. Một nguồn áp DC 120 V cấp đầu dây tại $t = 0$. Tính điện áp tại đầu cuối dây và vẽ V_R theo thời gian trong khoảng $t = 0$ đến $t = 5$ T bằng phương pháp "thời gian - khoảng cách", trong đó T là thời gian để sóng điện áp truyền hết chiều dài dây, chiều dài dây là 300 m và tốc độ truyền sóng là $v = 300\ m/\mu s$.

8.55 Cho đường dây không tổn hao có tổng trở sóng là 30 Ω và đầu cuối là điện trở $R = 10\ \Omega$. Một nguồn áp DC 120 V, có điện trở nội 60 Ω, cấp đầu dây tại $t = 0$. Tính điện áp tại đầu cuối dây và vẽ V(100,t) theo thời gian trong khoảng từ $t = 0$ đến $t = 4T$ bằng phương pháp "thời gian - khoảng cách", trong đó T là thời gian để sóng điện áp truyền hết chiều dài dây, chiều dài dây là 300 m và tốc độ truyền sóng là $v = 300\ m/\mu s$.

8.56 Một đường dây không tổn hao dài 400 m có tổng trở sóng là 100 Ω và cuối đường dây là điện trở 60 Ω. Một nguồn DC 400 V có điện trở nội 300 Ω cấp cho đầu đường dây tại $t = 0$. Hãy tính hệ số phản xạ điện áp tại nguồn và tải của đường dây.

8.57 Một đường dây không tổn hao dài 400 m có tổng trở sóng là 100 Ω và cuối đường dây là điện trở 60 Ω. Một nguồn DC 400 V có điện trở nội 300 Ω cấp cho đầu đường dây tại $t = 0$. Cho vận tốc truyền sóng là 400 m/μs, hãy vẽ dạng điện áp đầu đường dây $V_S(t)$ trong khoảng thời gian $0 \le t \le 10\mu s$.

8.58 Một đường dây không tổn hao dài 400 m có tổng trở sóng là 100 Ω và cuối đường dây là điện trở 60 Ω. Một nguồn DC 400 V có điện trở nội 300 Ω cấp cho đầu đường dây tại $t = 0$. Hãy tính hệ số phản xạ dòng điện tại nguồn và tải của đường dây.

8.59 Một đường dây không tổn hao dài 400 m có tổng trở sóng là 100 Ω và cuối đường dây là điện trở 60 Ω. Một nguồn DC 400 V có điện trở nội 300 Ω cấp cho đầu đường dây tại $t = 0$. Hãy vẽ dạng điện áp cuối đường dây $V_R(t)$ trong khoảng $0 \le t \le 10\ \mu s$.

8.60 Một đường dây không tổn hao dài 400 m có tổng trở sóng là 100 Ω và cuối đường dây là điện trở 60 Ω. Một nguồn DC 400 V có điện trở nội 300 Ω cấp cho đầu đường dây tại $t = 0$. Hãy xác định điện áp và dòng điện tại đầu đường dây trong trạng thái xác lập.

PHỤ LỤC

Phụ lục PL01: *Hệ số nhiệt độ và điện trở suất của một vài kim loại thông dụng*

Vật liệu	ρ ở 20°C; μΩ.Cm	α ở 20°C; °C^{-1}
Nhôm	2,83	0,0039
Đồng thau	6,4 - 8,4	0,0020
Đồng	1,72 - 1,77	0,00393 - 0,00382
Sắt	10,00	0,0050
Bạc	1,59	0,0038
Thép	12-88	0,001 - 0,005

Phụ Lục PL02: *Bảng biến đổi Laplace*

Hàm Laplace F(p)	Hàm thời gian f(t)	Hàm Laplace F(p)	Hàm thời gian f(t)
$\frac{1}{p}$	1(t); [hay u(t)]	$\frac{b-a}{(p+a)(p+b)}$	$e^{-at} - e^{-bt}$
$\frac{1}{p^2}$	t	$\frac{p}{(p+a)^2}$	$(1-at)e^{-at}$
$\frac{1}{p^3}$	$\frac{t^2}{2}$	$\frac{a^2}{p(p+a)^2}$	$1-(1+at)e^{-at}$
$\frac{1}{p^4}$	$\frac{1}{3!}t^3$	$\frac{(b-a)p}{(p+a)(p+b)}$	$be^{-bt} - ae^{-at}$
$\frac{1}{p+a}$	e^{-at}	$\frac{a}{p^2+a^2}$	$\sin at$
$\frac{1}{(p+a)^2}$	$t \times e^{-at}$	$\frac{p}{p^2+a^2}$	$\cos at$
$\frac{1}{(p+a)^3}$	$\frac{1}{2}t^2 \times e^{-at}$	$\frac{b}{(p+a)^2+b^2}$	$e^{-at}\sin bt$
$\frac{a}{p(p+a)}$	$1-e^{-at}$	$\frac{p+a}{(p+a)^2+b^2}$	$e^{-at}\cos bt$
$\frac{a}{p^2(p+a)}$	$t-\frac{1-e^{-at}}{a}$	$\frac{1}{p(p+a)(p+b)}$	$\frac{1}{ab}+\frac{e^{-at}}{a(a-b)}+\frac{be^{-bt}}{b(b-a)}$

Phụ Lục PL03: *Trị số trung bình của hệ số mùa K_m ứng với các loại nối đất*

Loại nối đất	Dạng cực	Hệ số mùa K_m ứng với trạng thái	
		Đất khô	Đất ẩm
An toàn và làm việc	- Thanh ngang chôn sâu 0,5 m	4,50	6,50
	- Thanh ngang chôn sâu 0,8 m	1,60	3,00
	- Cọc dài 2 ÷ 3 m chôn sâu 0,8 m	1,40	2,00
Chống sét	- Thanh ngang chôn sâu 0,5 m	1,40	1,80
	- Thanh ngang chôn sâu 0,8 m	1,25	1,45
	- Cọc dài 2 ÷ 3 m	1,25	1,30
	- Nối đất chôn sâu với độ sâu từ 2,5 ÷ 3 m	1,00	1,10

Phụ lục PL04: *Hệ số sử dụng của cọc bố trí theo dạng hình tia (không chú ý đến ảnh hưởng của thanh nối)*

Tỷ số a/l	Số Cọc n	Hệ số sử dụng	Tỷ số a/l	Số cọc n	Hệ số sử dụng
0,5	2	0,75	0,5	20	0,42
1,0		0,84 - 0,87	1,0		0,47 - 0,50
2,0		0,90 - 0,92	2,0		0,65 - 0,70
3,0		0,93 - 0,95	3,0		0,74 - 0,79
0,5	3	0,70	0,5	30	0,38
1,0		0,76 - 0,80	1,0		0,57
2,0		0,85 - 0,88	2,0		0,77
3,0		0,90 - 0,92	3,0		0,85
0,5	5	0,60	0,5	40	0,36
1,0		0,67 - 0,72	1,0		0,55
2,0		0,79 - 0,83	2,0		0,74
3,0		0,85 - 0,88	3,0		0,83
0,5	10	0,50	0,5	50	0,35
1,0		0,56 - 0,62	1,0		0,53
2,0		0,72 - 0,77	2,0		0,72
3,0		0,79 - 0,83	3,0		0,82
0,5	15	0,45	0,5	60	0,33
1,0		0,51 - 0,56	1,0		0,52
2,0		0,66 - 0,73	2,0		0,72
3,0		0,75 - 0,80	3,0		0,82

Chú ý: *a* - **khoảng cách giữa các cọc,**

l **chiều dài mỗi cọc.**

Phụ lục PL05: *Hệ số sử dụng của cọc bố trí dọc theo mạch vòng (không chú ý đến ảnh hưởng của thanh nối)*

Tỷ số a/l	Số Cọc n	Hệ số sử dụng	Tỷ số a/l	Số cọc n	Hệ số sử dụng
0,5	4	-	0,5	100	0,27
1,0		0,66 - 0,75	1,0		0,33 - 0,39
2,0		0,77 - 0,80	2,0		0,49 - 0,55
3,0		0,84 - 0,86	3,0		0,59 - 0,65
0,5	6	-	0,5	120	0,26
1,0		0,58 - 0,65	1,0		0,39
2,0		0,71 - 0,75	2,0		0,57
3,0		0,78 - 0,82	3,0		0,65
0,5	10	-	0,5	160	0,24
1,0		0,52 - 0,58	1,0		0,37
2,0		0,66 - 0,71	2,0		0,55
3,0		0,74 - 0,78	3,0		0,64
0,5	20	0,36	0,5	200	0,23
1,0		0,44 - 0,50	1,0		0,36
2,0		0,61 - 0,66	2,0		0,53
3,0		0,68 - 0,73	3,0		0,62
0,5	40	0,32	0,5	240	0,22
1,0		0,38 - 0,44	1,0		0,35
2,0		0,55 - 0,61	2,0		0,52
3,0		0,64 - 0,69	3,0		0,61
0,5	60	0,30	0,5	280	0,215
1,0		0,36 - 0,42	1,0		0,34
2,0		0,52 - 0,58	2,0		0,51
3,0		0,62 - 0,67	3,0		0,60
0,5	80	0,28	0,5	320	0,21
1,0		0,33 - 0,39	1,0		0,34
2,0		0,49 - 0,55	2,0		0,34
3,0		0,59 - 0,65	3,0		0,595

Chú ý: *a* - khoảng cách giữa các cọc,

l - chiều dài mỗi cọc.

Phụ lục PL06: *Hệ số sử dụng xoay chiều của thanh khi có cọc bố trí dọc theo thanh*

Tỷ số a/l	Số cọc trong một dãy, n							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,20
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,34
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,47

Chú ý: *a* - khoảng cách giữa các cọc,

l - chiều dài mỗi cọc.

Phụ lục PL07: *Hệ số sử dụng xoay chiều của thanh khi có cọc bố trí dọc theo mạch vòng*

Tỷ số a/l	Số cọc trong một dãy, n								
	4	6	8	10	20	30	50	70	100
1	0,45	0,40	0,36	0,27	0,24	0,24	0,20	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,44	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35	0,33

Chú ý: a - khoảng cách giữa các cọc; l - chiều dài mỗi cọc.

Phụ lục PL08: *Hệ số sử dụng xoay chiều của hệ thống nối đất gồm nhiều tia*

Độ dài của tia, m	Số tia, n					
	3		4		6	
	Đường kính của thanh dẫn làm tia, cm					
	1	2	1	2	1	2
2,5	0,76	0,74	0,63	0,61	0,50	0,48
5	0,78	0,76	0,67	0,65	0,53	0,51
10	0,81	0,79	0,70	0,69	0,57	0,55
15	0,82	0,80	0,72	0,70	0,62	0,57
30	0,84	0,82	0,75	0,73	0,62	0,60

Chú ý: 1- Nếu dùng loại thanh dẹt có độ rộng là b thì đường kính tương đương sẽ bằng b/2.

2 - Các số liệu ở phụ lục này có thể dùng ứng với độ chôn sâu từ 0,3 đến 0,8 m.

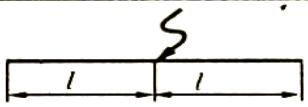
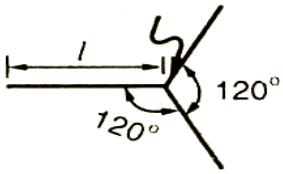
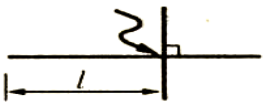
Phụ lục PL 09: *Hệ số sử dụng của các thanh nối song song với nhau (thanh nối bằng sắt dẹt, rộng b = 20 ÷ 40 mm, độ chôn sâu t = 0,5 ÷ 0,8 m)*

Số thanh nối song song	Độ dài mỗi thanh, m	Khoảng cách giữa các thanh, m				
		2	2,5	5,0	10,0	15,0
5	15	0,37				
5	25	0,35				
5	50			0,48	0,58	0,60
5	75	0,31	0,38	0,45	0,53	0,58
5	100	0,30	0,36	0,43	0,51	
5	200	0,28	0,32	0,37	0,44	0,50
10	15	0,25	0,37	0,49	0,64	0,72
10	25	0,23	0,31	0,43	0,57	0,66
10	50	0,20	0,27	0,35	0,46	0,53
10	75	0,18	0,25	0,31	0,41	0,47
10	100	0,17	0,23	0,28	0,37	0,44
10	200	0,14	0,20	0,23	0,30	0,36
20	15	0,16	0,27	0,39	0,57	0,64
20	25	0,14	0,23	0,33	0,47	0,57
20	50	0,12	0,19	0,25	0,36	0,44
20	75	0,11	0,16	0,22	0,31	0,38
20	100	0,10	0,15	0,20	0,28	0,245
20	200	0,088	0,12	0,15	0,215	0,265

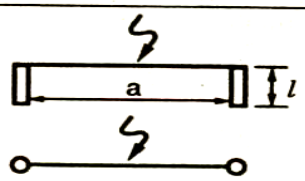
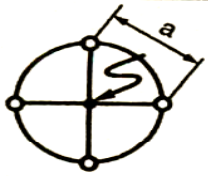
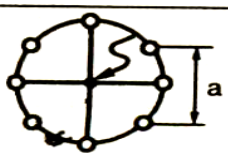
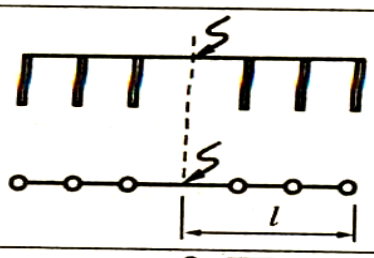
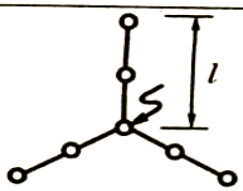
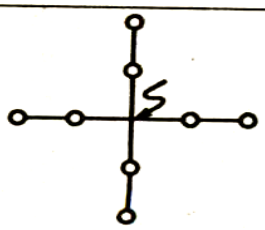
Phụ lục PL 10: *Hệ số sử dụng của các thanh nối song song với nhau (thanh nối bằng sắt dẹt, rộng b = 20 ÷ 40 mm, độ chôn sâu t = 0,5 ÷ 0,8 m)*

Độ dài mỗi thanh, m	Số thanh nối song song	Khoảng cách giữa các thanh, m				
		1	2,5	5,0	10,0	15,0
15	2	0,63	0,75	0,83	0,92	0,96
	5	0,37	0,49	0,60	0,73	0,79
	10	0,25	0,37	0,49	0,64	0,72
	20	0,16	0,27	0,39	0,57	0,64
25	5	0,35	0,45	0,55	0,66	0,73
	10	0,23	0,21	0,43	0,57	0,66
	20	0,14	0,23	0,33	0,47	0,57
50	2	0,60	0,69	0,78	0,88	0,93
	5	0,33	0,40	0,48	0,58	0,65
	10	0,20	0,27	0,35	0,46	0,53
	20	0,12	0,19	0,25	0,36	0,44
75	5	0,31	0,33	0,45	0,53	0,58
	10	0,18	0,25	0,31	0,41	0,47
	20	0,11	0,16	0,20	0,31	0,38
100	5	0,30	0,36	0,43	-	0,57
	10	0,17	0,23	0,28	0,37	
	20	0,10	0,15	0,20	0,28	0,34
200	5	0,28	0,32	0,37	0,44	0,50
	10	0,14	0,20	0,23	0,30	0,36
	20	0,088	0,12	0,15	0,215	0,265

Phụ lục PL11: *Giá trị hệ số sử dụng của một số hệ thống nối đất phức tạp*

Bố trí hệ thống nối đất	Chiều dài tia, m	Hệ số sử dụng η_{-}	Hệ số sử dụng η_{xk}
	Bất kỳ	1	1
	10 20 30 40 60	0,90 0,93 0,94 0,95 0,96	0,75 0,80 0,85 0,87 0,90
	10 20 30 40	0,75 0,8 0,83 0,85	0,65 0,70 0,75 0,80

Phụ lục PL12: *Giá trị hệ số sử dụng của một số hệ thống nối đất phức tạp*

Bố trí hệ thống nối đất	a/l	Số cọc, n	Hệ số η_{-}	Hệ số η_{xk}
	2 3 2 3	2 2 3 3	0,9 0,95 0,85 0,9	0,8 0,85 0,75 0,8
	2 3	3 3	0,85 0,9	0.75 0,8
	2 3	3 3		0,7 0,75
	2 3	4 4		0,7 0,75
	2 3	6 6		065 0,7
	Tia 10 m 20 m 30 m 40 m	Mổi tia 3 cọc 5 7 10		0,92 0,9 0,85 0,85
	Tia 10 m 20 m 30 m 40 m	Mỗi tia 3 cọc 5 cọc 7 cọc 10 cọc		0,65 0,75 0,80 0,80
	Tia 10 m 20 m 30 m 40 m	Mỗi tia 3 cọc 5 cọc 7 cọc 10 cọc		0,55 0,65 0,70 0,70

Phụ lục PL13: *Giá trị hệ số xung kích α_{xk} của hệ thống nhiều thanh*

$\frac{n_t}{l_t}$	I, kA	Điện trở suất ρ, Ωm						
		100	300	500	750	1000	1500	2000
2/10	10	1,08	0,94	0,84	0,74	0,67	0,60	0,55
	25	1,00	0,85	0,74	0,63	0,57	0,49	0,45
	50	0,90	0,73	0,60	0,50	0,44	0,38	0,33
	100	0,77	0,60	0,48	0,38	0,34	0,29	0,26
	200	0,62	0,47	0,36	0,29	0,25	0,20	0,18
2/20	10	1,20	1,08	0,95	0,85	0,76	0,65	0,59
	25	1,11	1,98	0,86	0,75	0,68	0,57	0,50
	50	1,00	0,85	0,73	0,61	0,54	0,45	0,41
	100	0,88	0,74	0,60	0,50	0,43	0,36	0,31
	200	0,76	0,61	0,50	0,40	0,35	0,29	0,25
2/30	10	1,30	1,17	1,05	0,93	0,85	0,73	0,64
	25	1,21	1,06	0,97	0,85	0,77	0,65	0,58
	50	1,13	0,95	0,84	0,72	0,65	0,54	0,48
	100	1,00	0,85	0,73	0,62	0,55	0,44	0,38
	200	0,91	0,74	0,61	0,53	0,47	0,35	0,28
3/10	10	1,11	0,98	0,87	0,76	0,70	0,61	0,58
	25	1,02	0,28	0,77	0,67	0,69	0,52	0,47
	50	0,92	0,77	0,65	0,55	0,58	0,41	0,37
	100	0,80	0,65	0,53	0,44	0,38	0,33	0,30
	200	0,67	0,52	0,42	0,34	0,30	0,25	0,23
3/20	10	1,24	1,11	1,00	0,88	0,79	0,69	0,65
	25	1,14	1,00	0,89	0,77	0,70	0,62	0,57
	50	1,03	0,89	0,78	0,67	0,60	0,52	0,48
	100	0,91	0,78	0,67	0,56	0,50	0,42	0,39
	200	0,80	0,69	0,57	0,48	0,41	0,35	0,32
3/30	10	1,33	1,20	1,10	1,00	0,93	0,81	0,75
	25	1,23	1,10	1,00	0,90	0,83	0,72	0,66
	50	1,14	1,00	0,91	0,80	0,74	0,63	0,57
	100	1,03	0,90	0,79	0,70	0,64	0,55	0,49
	200	0,94	0,81	0,71	0,62	0,55	0,45	0,40
4/10	10	1,16	1,00	0,90	0,8	0,73	0,65	0,61
	25	1,08	0,92	0,83	0,72	0,64	0,55	0,52
	50	0,98	0,82	0,70	0,60	0,53	0,45	0,42
	100	0,87	0,69	0,58	0,49	0,44	0,38	0,33
	200	0,75	0,56	0,48	0,40	0,29	0,29	0,27
4/20	10	1,28	1,15	1,04	0,93	0,84	0,74	0,70
	25	1,19	1,06	0,95	0,83	0,75	0,66	0,62
	50	1,07	0,95	0,83	0,72	0,66	0,57	0,54
	100	0,95	0,81	0,71	0,61	0,55	0,49	0,45
	200	0,85	0,71	0,62	0,53	0,47	0,40	0,37
4/30	10	1,37	1,24	1,14	1,04	0,98	0,85	0,81
	25	1,28	1,15	1,04	0,94	0,87	0,76	0,72
	50	1,17	1,04	0,95	0,86	0,79	0,69	0,65
	100	1,07	0,93	0,83	0,76	0,70	0,60	0,57
	200	0,97	0,84	0,75	0,66	0,60	0,53	0,50

trong đó: n_t - số thanh có trong tổ hợp; l_t - chiều dài mỗi thanh.

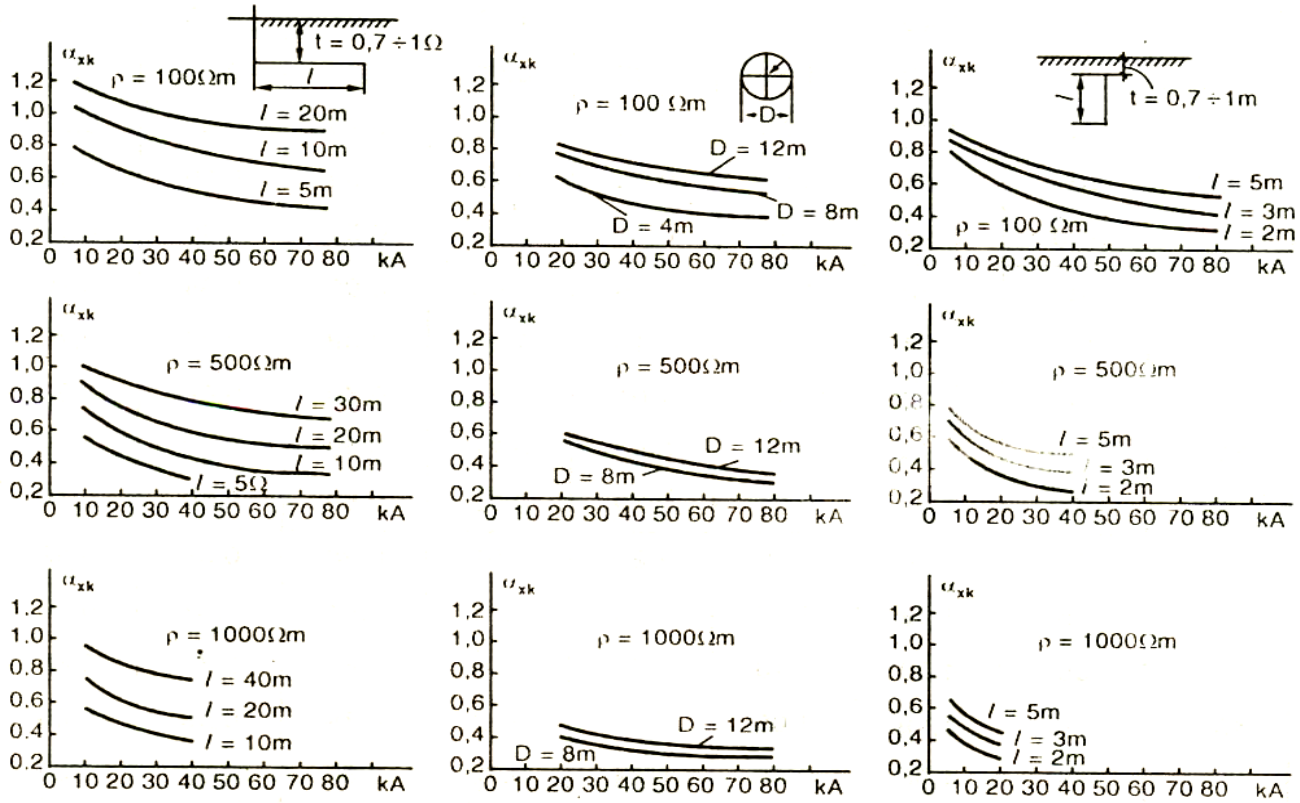
***Phụ lục PL14**: Giá trị hệ số xung kích α_{xk} của hệ thống nhiều thanh với cọc đóng dọc theo thanh*

$\frac{n_t}{l_t}$	I, kA	Điện trở suất ρ, Ωm						
		100	300	500	750	1000	1500	2000
2/10	10	1,17	1,02	0,90	0,78	0,70	0,60	0,56
	25	1,06	0,91	0,80	0,69	0,60	0,51	0,46
	50	0,97	0,80	0,69	0,57	0,49	0,42	0,37
	100	0,84	0,69	0,57	0,47	0,40	0,34	0,30
	200	0,74	0,58	0,46	0,38	0,32	0,27	0,25
3/10	10	1,20	1,07	0,95	0,82	0,75	0,65	0,60
	25	1,11	0,97	0,85	0,74	0,66	0,56	0,52
	50	1,02	0,88	0,75	0,63	0,56	0,47	0,43
	100	0,88	0,74	0,62	0,53	0,46	0,40	0,36
	200	0,77	0,63	0,51	0,42	0,38	0,33	0,30
4/10	10	1,28	1,14	1,00	0,87	0,78	0,70	0,65
	25	1,19	1,04	0,90	0,78	0,70	0,61	0,56
	50	1,10	0,95	0,81	0,70	0,62	0,54	0,48
	100	0,96	0,82	0,70	0,58	0,53	0,45	0,41
	200	0,82	0,69	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34
2/20	10	1,30	1,17	1,06	0,94	0,84	0,70	0,63
	25	1,22	1,09	0,98	0,86	0,76	0,61	0,54
	50	1,12	1,00	0,87	0,75	0,66	0,51	0,45
	100	0,99	0,85	0,75	0,62	0,54	0,42	0,38
	200	0,82	0,70	0,60	0,50	0,42	0,34	0,30
3/20	10	1,35	1,21	1,09	0,96	0,87	0,75	0,69
	25	1,25	1,13	1,01	0,89	0,80	0,69	0,62
	50	1,17	1,05	0,93	0,80	0,73	0,61	0,55
	100	1,05	0,92	0,80	0,70	0,61	0,52	0,46
	200	0,90	0,78	0,67	0,58	0,51	0,41	0,38
4/20	10	1,37	1,23	1,10	0,98	0,89	0,80	0,75
	25	1,29	1,15	1,02	0,91	0,82	0,74	0,68
	50	1,21	1,06	0,95	0,82	0,76	0,67	0,62
	100	1,10	0,95	0,83	0,74	0,67	0,59	0,55
	200	0,96	0,83	0,74	0,64	0,57	0,50	0,45
2/30	10	1,35	1,24	1,13	1,01	0,92	0,78	0,70
	25	1,26	1,15	1,05	0,98	0,84	0,69	0,61
	50	1,17	1,05	0,95	0,82	0,74	0,60	0,55
	100	1,06	0,94	0,83	0,72	0,64	0,51	0,45
	200	0,95	0,82	0,62	0,60	0,53	0,41	0,36
3/30	10	1,41	1,29	1,20	1,09	1,00	0,87	0,80
	25	1,32	1,21	1,12	1,00	0,92	0,80	0,72
	50	1,23	1,11	1,01	0,91	0,83	0,72	0,65
	100	1,14	1,02	0,93	0,82	0,75	0,64	0,56
	200	1,02	0,90	0,81	0,71	0,64	0,54	0,48
4/30	10	1,49	1,36	1,26	1,14	1,05	0,95	0,88
	25	1,40	1,28	1,18	1,07	0,99	0,87	0,80
	50	1,31	1,19	1,08	0,98	0,90	0,80	0,74
	100	1,20	1,09	0,99	0,89	0,81	0,72	0,65
	200	1,08	0,96	0,86	0,78	0,72	0,62	0,57

(Với cọc dài 2,5 m cách nhau một đoạn a = 10 m)

n_t - số thanh có trong tổ hợp; l_t - chiều dài mỗi thanh.

Phụ lục PL15: *Giá trị hệ số xung kích α_{xk}*



Phụ lục PL16: *Giá trị hệ số xung kích α_{xk} của hệ thống nhiều thanh với cọc đóng dọc theo thanh*

$\frac{n_t}{l_t}$	I, kA	Điện trở suất ρ, Ωm						
		100	300	500	750	1000	1500	2000
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
2/10	10	1,25	1,06	0,95	0,85	0,75	0,66	0,60
	25	1,14	0,99	0,87	0,77	0,67	0,57	0,52
	50	1,04	0,88	0,77	0,66	0,55	0,77	0,42
	100	0,91	0,76	0,64	0,54	0,46	0,40	0,35
	200	0,79	0,65	0,54	0,45	0,37	0,33	0,30
3/10	10	1,27	1,15	1,05	0,93	0,84	0,72	0,65
	25	1,18	1,05	0,95	0,84	0,75	0,65	0,59
	50	1,08	0,95	0,85	0,73	0,65	0,56	0,51
	100	0,96	0,84	0,73	0,62	0,55	0,47	0,44
	200	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,40	0,38
4/10	10	1,35	1,24	1,13	1,01	0,92	0,80	0,73
	25	1,25	1,15	1,04	0,92	0,84	0,73	0,64
	50	1,18	1,05	0,94	0,82	0,74	0,64	0,56
	100	1,05	0,93	0,84	0,73	0,65	0,55	0,48
	200	0,92	0,81	0,70	0,61	0,54	0,46	0,41

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	10	1,40	1,27	1,15	1,03	0,94	0,78	0,70
	25	1,30	1,18	1,07	0,95	0,86	0,70	0,61
	50	1,21	1,09	0,98	0,85	0,75	0,60	0,52
2/20	100	1,10	0,95	0,83	0,73	0,63	0,50	0,43
	200	0,97	0,83	0,72	0,60	0,51	0,40	0,35
	10	1,42	1,30	1,18	1,06	0,96	0,84	0,76
	25	1,34	1,21	1,10	0,98	0,89	0,76	0,70
	50	1,26	1,13	1,01	0,89	0,79	0,68	0,60
3/20	100	1,15	1,02	0,90	0,77	0,68	0,58	0,52
	200	1,04	0,91	0,79	0,68	0,59	0,50	0,45
	10	1,46	1,33	1,20	1,07	0,98	0,88	0,82
	25	1,38	1,25	1,13	1,01	0,91	0,81	0,76
	50	1,30	1,16	1,03	0,91	0,83	0,74	0,68
4/20	100	1,19	1,05	0,95	0,81	0,74	0,65	0,60
	200	1,08	0,96	0,84	0,72	0,65	0,57	0,53
	10	1,47	1,35	1,23	1,10	1,01	0,87	0,78
	25	1,39	1,25	1,14	1,00	0,91	0,76	0,68
	50	1,25	1,13	1,03	0,90	0,82	0,67	0,59
2/30	100	1,14	1,02	0,91	0,80	0,71	0,58	0,50
	200	1,05	0,91	0,81	0,70	0,60	0,48	0,42
	10	1,52	1,39	1,27	1,16	1,06	0,93	0,85
	25	1,44	1,31	1,20	1,06	0,97	0,85	0,76
	50	1,33	1,21	1,10	0,98	0,88	0,76	0,69
3/30	100	1,23	1,11	0,98	0,87	0,78	0,68	0,61
	200	1,13	1,00	0,89	0,78	0,70	0,58	0,52
	10	1,62	1,45	1,32	1,19	1,10	0,98	0,90
	25	0,52	1,37	1,25	1,11	1,03	0,90	0,84
	50	1,41	1,28	1,15	1,02	0,94	0,83	0,76
4/30	100	1,31	1,17	1,04	0,93	0,84	0,74	0,68
	200	1,20	1,06	0,93	0,80	0,73	0,65	0,59

(Với cọc dài 5m cách nhau một đoạn a = 10 m)

n_t - số thanh có trong tổ hợp; l_t - chiều dài mỗi thanh.

Phụ lục PL17: *Giá trị hệ số xung kích α_{xk} của hệ thống nhiều thanh với cọc đóng dọc theo thanh*

$\frac{n_t}{l_t}$	I, kA	Điện trở suất ρ, Ωm						
		100	300	500	750	1000	1500	2000
2/10	10	1,41	1,27	1,14	1,01	0,91	0,78	0,69
	25	1,32	1,18	1,05	0,92	0,83	0,70	0,60
	50	1,22	1,08	0,95	0,83	0,73	0,59	0,51
	100	1,12	0,98	0,85	0,72	0,62	0,49	0,42
	200	1,00	0,87	0,75	0,63	0,54	0,40	0,34
3/10	10	1,43	1,30	1,19	1,07	0,97	0,83	0,75
	25	1,36	1,23	1,11	0,99	0,91	0,76	0,67
	50	1,27	1,04	1,03	0,90	0,81	0,67	0,60
	100	1,16	1,03	0,9	0,79	0,70	0,58	0,51
	200	1,04	0,92	0,81	0,70	0,60	0,49	0,42
4/10	10	1,49	1,37	1,25	1,13	1,03	0,90	0,81
	25	1,40	1,28	1,17	1,05	0,94	0,83	0,75
	50	1,32	1,20	1,08	0,96	0,86	0,75	0,67
	100	1,22	1,08	0,96	0,85	0,75	0,64	0,58
	200	1,09	0,98	0,85	0,75	0,67	0,54	0,49
2/20	10	1,52	1,38	1,27	1,15	1,05	0,90	0,80
	25	1,42	1,29	1,18	1,06	0,97	0,82	0,71
	50	1,32	1,20	1,08	0,95	0,87	0,72	0,63
	100	1,22	1,10	0,98	0,85	0,76	0,61	0,53
	200	1,11	0,99	0,87	0,75	0,65	0,50	0,44
3/20	10	1,50	1,40	1,29	1,17	1,08	0,94	0,86
	25	1,42	1,31	1,20	1,10	1,00	0,86	0,77
	50	1,34	1,22	1,11	0,00	0,90	0,77	0,70
	100	1,24	1,13	1,01	0,90	0,80	0,69	0,62
	200	1,13	1,02	0,92	0,80	0,71	0,59	0,53
4/20	10	1,58	1,45	1,35	1,22	1,12	0,98	0,91
	25	1,48	1,35	1,25	1,14	1,04	0,90	0,82
	50	1,40	1,27	1,16	1,04	0,94	0,82	0,75
	100	1,30	1,18	1,07	0,94	0,85	0,75	0,68
	200	1,21	1,09	0,98	0,85	0,76	0,65	0,60
2/30	10	1,59	1,46	1,34	1,11	1,10	0,97	0,85
	25	1,51	1,39	1,27	1,14	1,03	0,89	0,79
	50	1,43	1,31	1,18	1,05	0,95	0,80	0,70
	100	1,32	1,19	1,07	0,95	0,85	0,71	0,62
	200	1,18	1,07	0,96	0,85	0,75	0,60	0,52
3/30	10	1,64	1,53	1,43	1,32	1,22	1,07	0,97
	25	1,55	1,44	1,34	1,22	1,13	0,98	0,89
	50	1,47	1,35	1,24	1,13	1,03	0,89	0,80
	100	1,36	1,24	1,13	1,02	0,93	0,80	0,73
	200	1,25	1,13	1,03	0,93	0,85	0,71	0,64
4/30	10	1,70	1,60	1,51	1,39	1,28	1,13	1,03
	25	1,63	1,52	1,42	1,30	1,19	1,05	0,95
	50	1,54	1,42	1,31	1,20	1,10	0,98	0,88
	100	1,44	1,32	1,21	1,09	0,99	0,88	0,81
	200	1,32	1,20	1,09	0,99	0,90	0,80	0,73

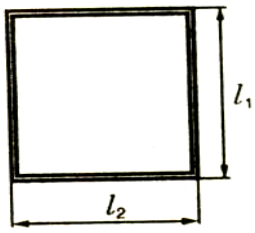
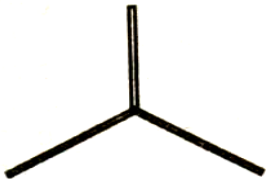
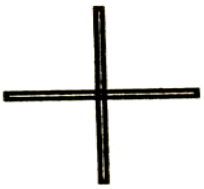
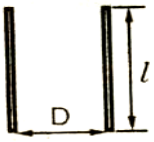
(Với cọc dài 10 m cách nhau một đoạn a = 10 m)

n_t - số thanh có trong tổ hợp; l_t - chiều dài mỗi thanh.

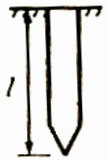
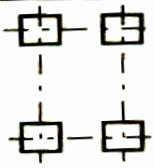
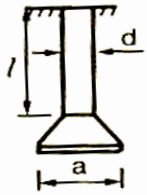
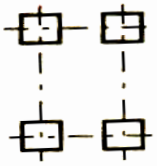
Phụ lục PL18: *Hệ số K_{hc} đối với các loại móng cột điện*

Các loại phần tử nối đất	K_{hc}
Móng cọc	1,1
Phần trụ chôn dưới đất có móng lọ mực	1,1
Màn kim loại của móng lọ mực	1,1
Nối đất chôn sâu hình vòng	1,1
Đầu ra của nối đất chôn sâu	1,3
Nối đất hình tia trong nối đất chôn sâu	1,5

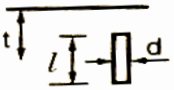
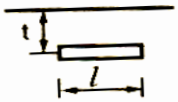
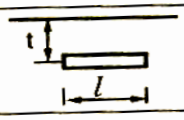
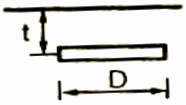
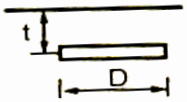
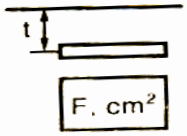
Phụ lục PL19: *Hệ số hình dáng K của của một vài hệ thống nối đất thông dụng*

Sơ đồ bố trí thanh	K	Sơ đồ bố trí thanh	l_1/l_2	K
	1		1	5,53
	1,27		1,5	5,81
	1,46		2	6,42
	2,38		3	8,17
	8,45		4	10,40
	19,2			
	$\frac{l^2}{4D^2}$			

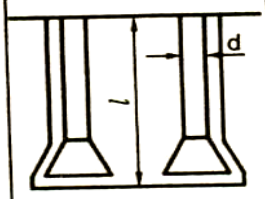
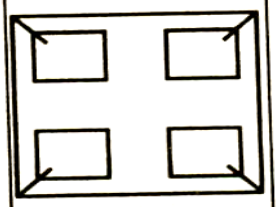
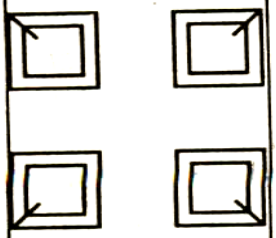
Phụ lục PL20: *Điện trở nối đất tự nhiên của các loại móng cột điện*

Loại móng	Kích thước hình học	Sơ đồ vị trí các trụ	Điện trở của một phần tử	Điện trở của toàn bộ móng	Ghi chú
Móng cọc			$R_{mc} = \frac{1,25.1,4\rho}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$	$R_1 = \frac{R_{mc}}{n\eta}$	R_{mc} - điện trở của móng cọc n - số móng η - hệ số sử dụng (xem bảng PL24)
Móng lọ mực			$R_t = \frac{1,25.1,4\rho}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$ $R_m = \frac{1,25.1,4\rho}{2D_{td}}$	$R_{dé} = \frac{R_m.R_t}{R_m+R_t}.\frac{1}{\eta}$	$D_{td} = \sqrt{\frac{4a^2}{\pi}}$ R_t - điện trở của tụ R_m - điện trở của màn kim loại η - hệ số sử dụng: + với dòng điện tần sốcông nghiệp $\eta_{\sim} = 0,9$; + với dòng điện xung $\eta_{xk} = 0,8$

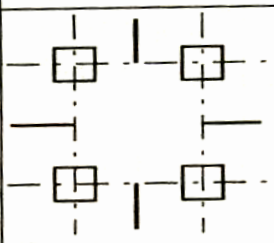
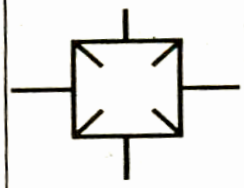
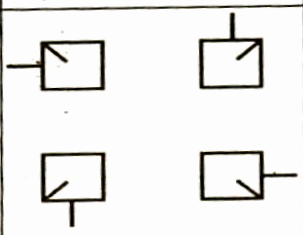
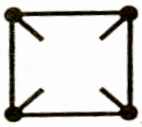
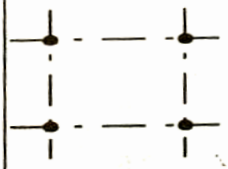
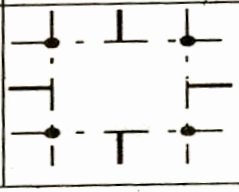
Phụ lục PL21: *Công thức tính điện trở tản xoay chiều của một vài loại điện cực thông dụng*

Loại cực	Cách bố trí	Công thức tính R(Ω)
Cọc, chôn nổi		$R_c = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$
Cọc, chôn sâu t		$R_c = \frac{\rho}{2\pi l}\left[\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t+l}{4t-l}\right]$
Thanh dẹt tiết diện chữ nhật bề rộng b, chôn sâu t		$R_t = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l^2}{bt}$
Thanh tròn đường kính d chôn sâu t		$R_t = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{l^2}{dt}$
Thanh dẹt tiết diện chữ nhật rộng b, chôn sâu t theo đường tròn đường kính D		$R_V = \frac{\rho}{2\pi D}\ln\frac{8\pi D^2}{bt}$
Thanh tròn tiết diện có đường kính d, chôn sâu t theo đường tròn đường kính D		$R_V = \frac{\rho}{2\pi D}\ln\frac{4\pi D^2}{dt}$
Tấm kim loại chữ nhật có diện tích F, cm² chôn sâu t		$R_{tấm} = \frac{\rho}{8\sqrt{\frac{F}{\pi}}}\left(1 + \frac{2}{\pi}\arcsin\frac{\sqrt{F/\pi}}{\sqrt{t^2+\frac{F}{\pi}}}\right)$

Phụ lục PL22: *Điện trở nối đất của hệ thống "mạch vòng-đầu ra" và hệ thống "mạch vòng-đế"*

Hệ thống nối đất	Cách bố trí	Công thức tính	Ghi chú
Mạch vòng đặt dưới đáy hố chung với các điểm được nối chung với trụ cột		$R_{mv} = \frac{\rho}{2\pi^2 D_{td}}\left(\ln\frac{8D_{td}}{d} + \frac{\pi D_{td}}{4l}\right)$ $R_d = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$	R_{mv} - điện trở của mạch vòng nối đất chôn sâu. R_d - điện trở nối đất của đầu ra d - đường kính của thanh nối đất l - chiều dài đầu ra n - số đầu ra η_2 - hệ số sử dụng (Bảng PL25). η - hệ số sử dụng (Bảng PL26) η_3 - hệ số sử dụng (Bảng PL26) η_4 - hệ số sử dụng (Bảng PL26) η_5 - hệ số sử dụng (bảng PL26) R_2 - điện trở của hệ thống mạch vòng - đầu ra
Mạch vòng với đầu ra, đế dùng làm nối đất tự nhiên		Điện trở của hệ thống mạch vòng đầu ra $R_2 = \frac{R_{mv}\frac{R_d}{n}}{R_{mv} + \frac{R_d}{n}}\frac{1}{\eta_2}$	
Đế mạch vòng đầu ra đặt xung quanh mỗi đế (trong trường hợp các hố đào đặt cách nhau)		Điện trở của hệ thống "mạch vòng với đầu ra - đế " $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\frac{1}{\eta}$ Điện trở của hệ thống "mạch vòng với đầu ra - đế " $R_3 = \frac{R_{de} R_2}{R_{de} + R_2}\frac{1}{\eta_3}$ Điện trở của toàn bộ hệ thống $R_4 = \frac{R_3}{4}\frac{1}{\eta_4}$	

Phụ lục PL23: *Điện trở nối đất nhân tạo chôn sâu của móng cột điện*

Hệ thống nối đất	Cách bố trí	Công thức tính	Ghi chú
Tia nằm ngang		$R_5 = \frac{R_t}{n}\frac{1}{\eta_5}$	η_5 - hệ số sử dụng (bảng PL11)
Mạch vòng với đầu ra - tia		$R = \frac{R_1 R_5}{R_2 + R_5}\frac{1}{\eta}$	R_2 - điện trở của hệ thống mạch vòng - đầu ra η - hệ số sử dụng (bảng PL27)
Mạch vòng với đầu ra tia cho mỗi hố		Điện trở của hệ thống mạch vòng với đầu ra - tia $R_6 = \frac{R_2 R_t}{R_2 + R_t}\frac{1}{\eta_6}$ Điện trở của toàn bộ hệ thống $R_7 = \frac{R_6}{4}\frac{1}{\eta_7}$	η_6 = 0,95 ứng với sóng dòng điện tần số công nghiệp η_6 = 0,85 ứng với sóng xung η_7 - xem bảng PL27
Mạch vòng với đầu ra cọc		$R_8 = \frac{R_2 \frac{R_c}{n}}{R_2 + \frac{R_c}{n}}\frac{1}{\eta_8}$	n - số cọc R_c - điện trở của cọc chôn sâu η_8 - xem bảng PL12.
Cọc chôn đứng dọc theo vách hố của móng cọc		$R_9 = \frac{R}{n}\frac{1}{\eta_9}$	R_{co} - điện trở của cọc không chôn sâu η_9 - xem bảng PL25
Cọc đứng - tia		$R_{10} = \frac{R_5 R_9}{R_5 + R_9}\frac{1}{\eta_{10}}$	η_{10} - xem bảng PL27

Phụ lục PL24: *Hệ số sử dụng của các loại móng dùng làm nối đất tự nhiên*

Loại cột	Sơ đồ bố trí của móng	Hệ số sử dụng	
		Dòng điện tần số công nghiệp	Dòng điện xung
Cột trụ	Móng lọ mực	0,6	0,4
Cột chữ Π đứng tự do		0,9	0,8
Cột chữ Π có néo		0,9	0,8
Cột néo ở góc		0,9	0,8
Cột một trụ	Móng cọc	0,7	0,5

Phụ lục PL25: *Hệ số sử dụng của các loại móng dùng làm nối đất tự nhiên*

Loại cột	Sơ đồ bố trí của móng	Hệ số sử dụng	
		Dòng điện tần số công nghiệp	Dòng điện xung
(1)	(2)	(3)	(4)
Cột một trụ	Móng lọ mực	0,8 0,6	0,7 0,4
Cột chữ Π đứng tự do		0,9	0,8
Cột chữ Π có néo		0,9	0,8

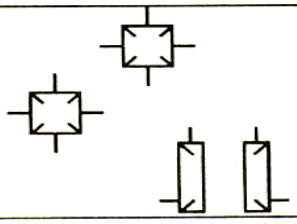
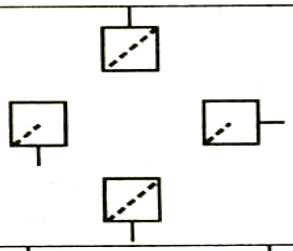
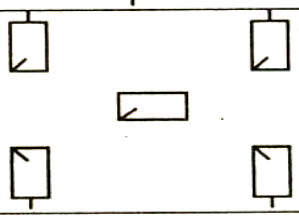
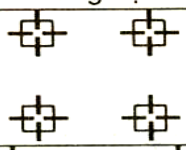
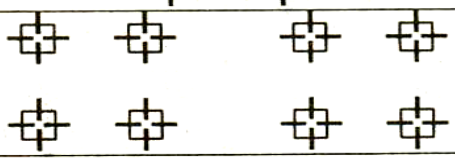
(1)	(2)	(3)	(4)
Cột néo góc		0,9	0,8
Cột một trụ	Móng cọc	0,7	0,6
Cột chữ Π		0,9	0,8

Phụ lục PL26: *Hệ số sử dụng của hệ thống "mạch vòng-đầu ra" móng lọ mực*

Loại cột	Sơ đồ bố trí của móng	Hệ số sử dụng	
		Dòng điện tần số công nghiệp	Dòng điện xung
Cột một trụ		0,85	0,75
		Một đế với mạch vòng	
		0,7	0,6
		Toàn bộ cột	
		0,6	0,4
Cột chữ Π đứng tự do		0,9	0,8
Loại cột	Sơ đồ bố trí của móng	Hệ số sử dụng	
		Dòng điện tần số công nghiệp	Dòng điện xung
Cột chữ Π có néo		0,9	0,8
Cột néo góc		0,9	0,8

Ghi chú: Không nên dùng hệ thống nối đất móng cọc, vì ảnh hưởng màn che rất lớn.

Phụ lục PL27: *Hệ số sử dụng của hệ thống "mạch vòng-đầu ra" tia và cọc tia*

Loại cột	Bố trí hệ thống nối đất	Hệ số sử dụng	
		Dòng điện tần số công nghiệp	Dòng điện xung
Cột trụ		0,95	0,85
		0,90	0,80
		0,6	0,5
Cột hình chữ Π đứng tự do		0,9	0,8
Cột hình chữ Π có néo		0,9	0,8
Cột néo ở góc		0,9	0,8
Cột một trụ	Móng cọc	0,95	0,85
		0,9	0,8
Cột hình chữ Π		0,9	0,8

Phụ lục PL28: *Hệ số xung kích của một cọc chôn thẳng đứng*
(Cọc dài 2 ÷ 3 m, đường kính 6 cm. Độ dài đầu sóng 3 ÷ 6μs)

Kích thước của cọc	I (kA)	Điện trở suất tính toán, Ω. cm		
		10^4	5.10^4	10.10^4
Cọc dài 2 ÷ 3 m, đường kính 6 cm.	5	0,85 - 0,90	0,60 - 0,70	0,45 - 0,55
	10	0,75 - 0,85	0,50 - 0,60	0,35 - 0,45
	20	0,60 - 0,75	0,35 - 0,45	0,25 - 0,35
	40	0,50 - 0,60	0,25 - 0,30	

Phụ lục PL29: *Hệ số xung kích của thanh*

(Bề rộng thanh 2 ÷ 4 cm hay đường kính 1 ÷ 2 cm. Độ dài đầu sóng 3 ÷ 6μs)

Chiều dài của thanh, m	I (kA)	Điện trở suất tính toán, Ω. cm			
		10^4	5.10^4	10.10^4	20.10^4
5	10	0,75	0,55	-	-
10		1,00	0,75	0,55	-
20		1,15	0,90	0,75	0,60
100		-	-	-	1,20
5	20	0,65	0,45	-	-
10		0,90	0,60	0,45	-
20		1,055	0,75	0,60	0,50
100		-	-	-	1,10
5	40	0,50	0,30	-	-
10		0,80	0,45	0,35	-
20		0,95	0,60	0,50	0,40
100		-	-	-	1,05

Phụ lục PL30: *Hệ số xung kích của vòng nối đất*

(Bề rộng thanh 2 ÷ 4 cm hay đường kính 1 ÷ 2 cm,

Dòng điện đi vào ngay tâm của vòng và có từ 3 ÷ 4 tia qua tâm)

Đường kính của vòng D, cm	I (kA)	Điện trở suất tính toán, Ω. cm		
		10^4	5.10^4	10.10^4
4 m	20	0,60	0,50	0,35
	40	0,45	0,40	0,25
	80	0,35	0,25	0,20
8 m	20	0,75	0,55	0,40
	40	0,65	0,45	0,30
	80	0,50	0,30	0,25
12 m	20	0,80	0,60	0,45
	40	0,70	0,50	0,40
	80	0,60	0,35	0,30

Phụ lục PL31: *Hệ số xung kích của hệ thống nối đất phức tạp*

Loại nối đất phức tạp	Bố trí hệ thống nối đất (mặt bằng)	Số tia hay số cọc đặt đứng n	Độ dài l mỗi tia của nối đất theo tia	Tỷ số a/l	Số cọc mỗi tia	Hệ số sử dụng
1	2	3	4	5	6	7
Nối đất hình tia nằm ngang			Bất kỳ			1
		3	10 20 40 80			0,75 0,80 0,85 0,90
		4	10 20 40 80			0,65 0,70 0,75 0,80
Các cọc chôn thẳng đứng nối với nhau bằng thanh ngang		2	2 3			0,80 0,85
		3	2	2 3		0,75 0,80
		3		2 3		0,70 0,75
		4		2 3		0,70 0,75
Tia nằm ngang có cọc dài 2 m		6		2 3		0,65 0,70
		2	10 20 30 40		3 5 7 10	0,90 0,90 0,85 0,85
		3	10 20 30 40		3 5 7 10	0,65 0,75 0,80 0,85
		4	10 20 30 40		3 5 7 10	0,55 0,65 0,70 0,70

Phụ lục PL32: *Điện trở suất của một vài loại đất*

Loại đất	Điện trở suất, Ω. cm	Loại đất	Điện trở suất, Ω. cm
Đất cát	400	Đất đen	50
Đất pha cát	300	Đất bùn	20
Đất pha đất sét	100	Nước sông	10 ÷ 50
Đất sét	60		

Phụ lục PL32: *Hệ số mùa ứng với các loại điện cực*

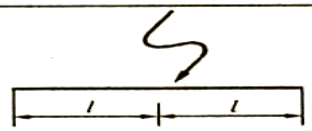
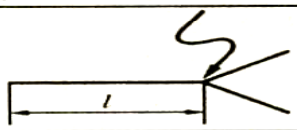
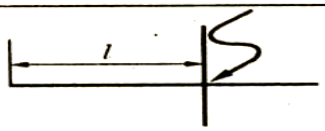
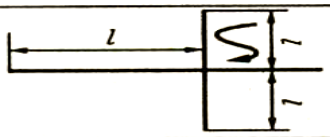
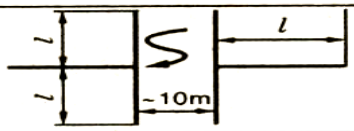
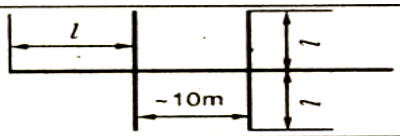
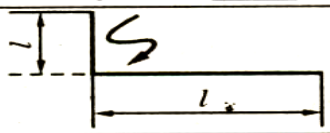
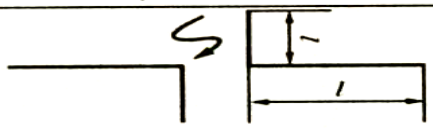
Loại điện cực	Đất khô	Đất ẩm
Điện cực kéo dài, chôn sâu 0,5 m	1,4	1,8
Điện cực kéo dài, chôn sâu 0,8 ÷ 1,0 m	1,25	1,45
Cọc dài 2 ÷ 3 m	1,15	1,30
Nối đất chôn sâu với độ chôn sâu 2,5 ÷ 3 m	1,0	1,10

Chú ý: Đất khô hay ẩm là trạng thái của đất khi tiến hành đo điện trở suất.

Phụ lục PL33: *Hệ số xung kích của các loại móng cột điện*

Loại móng	Dòng điện xung kích, kA		
	5	10	20
Lọ mực	0,9	0,6	0,3
Móng cọc	0,7	0,5	0,3

Phụ lục PL34: *Hệ số sử dụng của dạng nối đất hình tia*

Bố trí nối đất hình tia	Độ dài của tia, m	Tần số công nghiệp	Dòng điện xung kích
	Độ dài bất kỳ	1	1
	10 20 40	0,9 0,93 0,93	0,8 0,83 0,85
	10 20 40	0,75 0,80 0,85	0,65 0,70 0,75
	10 20 40	0,9 0,93 0,95	0,8 0,83 0,85
	10 20 40	0,9 0,9 0,9	0,8 0,8 0,8
	10 20 40	0,8 0,83 0,85	0,7 0,73 0,75
	10 20 40	0,93 0,93 0,93	0,83 0,83 0,83
	10 20 40	0,9 0,9 0,9	0,8 0,8 0,8

Phụ lục PL35: *Hệ số xung kích của nối đất dạng thanh*

Điện trở suất Ω cm	Độ dài, m	Dòng điện xung kích (kA)			
		5	10	20	40
10^4	5	0,8	0,75	0,65	0,50
	10	1,05	1,0	0,90	0,80
	20	1,20	1,0	0,90	0,80
5.10^4	5	0,60	0,55	0,45	0,30
	10	0,80	0,75	0,60	0,35
	20	0,95	0,90	0,75	0,60
	40	1,05	1,00	0,90	0,80
10^5	10	0,60	0,55	0,45	0,35
	20	0,80	0,75	0,60	0,50
	40	1,00	0,95	0,80	0,70
	60	1,20	1,15	1,0	0,95
2.10^5	20	0,65	0,60	0,50	0,40
	40	0,80	0,75	0,65	0,55
	60	0,95	0,90	0,80	0,75
	80	1,10	1,05	0,95	0,90
	100	1,25	1,20	1,10	1,05

Phụ lục PL36: *Hệ số sử dụng của nối đất dạng cọc có thanh nối*

Bố trí hệ thống nối đất	a/l	Số cọc chôn đứng	Hệ số sử dụng	
			Tần số công nghiệp	Dòng điện xung kích
	2	2	0,9	0,8
	3	2	0,95	0,85
	2	3	0,85	0,75
	3	3	0,90	0,80
	2	3	0,8	0,70
	3	3	0,85	0,75
	2	4	0,75	0,65
	3	4	0,80	0,70

Phụ lục PL37: *Hệ số xung kích của nối đất dạng vòng (với T_{ds} =3 ÷ 6μs)*

Điện trở suất		10^4 Ω.cm			5.10^4 Ω.cm			10^5 Ω.cm		
Dòng điện sét	I, kA	20	40	80	20	40	80	20	40	80
Vòng có đường kính D, m	1 m	0,6	0,45	0,35	0,5	0,4	0,25	0,35	0,25	0,20
	8m	0,75	0,65	0,5	0,55	0,45	0,3	0,4	0,3	0,25
	12m	0,80	0,70	0,6	0,6	0,5	0,35	0,45	0,4	0,30

Phụ lục PL38: *Hệ số xung kích của cọc (cọc dài 2 ÷3 m, tt_{ds} = 3 ÷ 6 μs)*

Điện trở suất, Ω. cm	Dòng điện I (kA)			
	5	10	20	40
10^4	0,9	0,85	0,75	0,6
5.10^4	0,7	0,6	0,45	0,3
10^5	0,55	0,45	0,3	-

Phụ lục PL39: *Đặc tính v - s của chuỗi sứ*
(Với sóng 1,5/40μs, t = 20°C; 760 mmHg. g/cm³)

Loại sứ	Số đĩa trên chuỗi	Cực tính của sóng	Điện áp phóng điện xung kích, kV							
			Thời gian, μs							
			1	2	3	4	5	6	7	8
П - 2	3	+	320	285	275	265	260	260	260	260
		-	340	315	300	298	295	290	290	290
П - 4,5	6	+	1000	830	760	720	700	685	680	680
		-	1000	850	780	750	735	705	705	700
	7	+	1020	930	860	815	790	780	770	770
		-	1020	960	900	855	830	810	805	800
	12	+	1780	1620	1400	1360	1280	1220	1180	1180
		-	1800	1880	1570	1490	1415	1250	1300	1280
П - 7	8	+	1330	1200	1200	1120	1050	-	-	-
			-	1330	1250	1180	1130	1100	-	-
П -12	8		-	1890	1720	1600	1530	1480	-	-
			-	2000	1890	1780	1680	1610	-	-

Phụ lục PL40: *Điện áp phóng điện xung kích của chuỗi sứ*

Loại sứ	Số sứ trong một chuỗi	Điện áp phóng điện xung kích kV max 50% với t = 3 μs			
		Cực tính -	Cực tính +	Cực tính -	Cực tính +
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
П - 4,5	6	570	570	790	780
	7	665	645	905	880
	10	930	860	1250	1160
	12	1000	1000	1450	1340
	14	1270	1140	1630	1490
	18	1600	1400	1940	1750
П - 7	6	510	560	660	630
	7	595	645	770	735
	10	850	870	1100	1040
	12	1020	1000	1320	1235
	14	1190	1130	1540	1425
	18	1500	1370	1980	1798
	20	1640	1485	2200	1980
П -8,5	6	610	660	800	780
	7	710	745	930	885
	10	1000	1000	1300	1170
	12	1200	1130	1540	1320
	14	1400	1230	1770	1400
	18	1750	1400	2230	1720

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
П - 4,5	6	510	525	690	690
	7	600	600	800	785
	10	870	830	1130	1050
	12	1040	980	1340	1200
	14	1210	1120	1550	1350
	18	1530	1390	1970	1670
	20	1690	1520	2170	1820
	22	1860	1650	2370	1960
П С- 4,5	6	480	490	510	580
	7	550	560	635	665
	10	770	750	940	900
	12	900	865	1110	1040
	14	1030	980	1260	1170
	18	1290	1200	1550	1420
	20	1420	1320	1680	1540
	22	1550	1410	1810	1660
П С- 8,5	6	480	500	650	640
	7	565	700	760	730
	10	820	780	1060	990
	12	990	920	1200	1140
	14	1150	1050	1430	1280
	18	1470	1300	1740	1530

Phụ lục PL41: *Số lượng đĩa trong chuỗi sứ*

Điện áp định mức , kV			35	110	150	220	330
Trị số tính toán của quá điện áp nội bộ, kV			77	204	260	281	510
Bội số của điện áp pha			3,8	3,2	3,0	3,0	2,7
Số lượng bát sứ trong một chuỗi, n	Theo $n >> \frac{1,1U_{nb}}{H.E_{tb}}$	П 4,5	2,3	6,1	7,8	11,5	15,3
		П - 7	-	5,6	7,2	10,6	14,1
	Theo quy phạm	П 4,5	3	7	9	13	16
		П - 7	-	7	9	12	15

Chú ý: U_{nb} - trị số quá điện áp nội bộ; H - chiều cao của một bát sứ; E_{tb} - cường độ điện trường phóng điện ướt trung bình: đối với sứ П - 4,5, П 7 và П - 8,5 bằng 2,15 kV/cm; đối với sứ П M - 4,5 bằng 2,70 kV/cm.

Phụ lục PL42: *Điện áp phóng điện $U_{0,5}$ của chuỗi sứ*

Điện áp định mức, kV	35	110	150	220	330
Số lượng sứ П - 4,5 trong một chuỗi	3	7	9	13	16
Điện áp phóng điện xung kích 50% của chuỗi sứ	380	660	840	1140	1440
Khoảng cách cho phép bé nhất tương đương với cường độ cách điện xung kích của chuỗi sứ theo quy phạm, cm	45	115	150	210	255

Phụ lục PL43: *Điện dung đầu vào của các thiết bị (cấp điện áp 35 ÷ 320 kV)*

Loại thiết bị	Đặc tính của thiết bị	Giá trị điện dung, pF	
		Giới hạn	Trung bình
Máy BA công suất	Có điện dung bù, công suất lớn	1000 ÷ 3000	1500
	Không có điện dung bù công suất bé	300 ÷ 1000	500
Máy BA đo lường		200 ÷ 500	300
Máy cắt điện	Ở trạng thái đóng	300 ÷ 800	500
	Ở trạng thái mở	200 ÷ 500	300
Dao cách ly	Ở trạng thái đóng	40 ÷ 80	60
	Ở trạng thái mở	30 ÷ 60	40
Sứ xuyên	Kiểu tụ điện	150 ÷ 300	200
	Kiểu không tải điện	100 ÷ 200	150

Phụ lục PL44: *Các đặc tính điện chủ yếu của loại chống sét van (PBC, SX tại Nga)*

Điện áp định mức chống sét, kV	Điện áp làm việc lớn nhất của cái chống sét, kV	Điện áp chọc thủng ở tần số công nghiệp, kV		Điện áp chọc thủng xung kích với t = 1,5 ÷ 20 μsec	Điện áp dòng điện xung kích có biên độ khác nhau và độ dài đầu sóng 10 μs kV max (không lớn hơn)		
					Biên độ dòng điện, kA		
		Không nhỏ	Không lớn		3	5	10
3	3,8	9	11	20	13,5	14,3	16
6	7,6	16	19	30	25	17,0	30
10	12,7	26	20,5	45	42	45	50
15	19,0	38	48	70	57	61	67
20	25,0	349	60,5	85	75	80	88
35	40,5	478	98,0	125	122	130	143
110	100,0	7200	250	285	315	335	367
130	138,0	20275	345	375	435	465	510
200	220,0	27400	500	530	630	670	734

Phụ lục PL45: *Các đặc tính điện chủ yếu của loại chống sét van bảo vệ mfd (PBBM, SX tại Nga)*

Điện áp định mức của chống sét van, kV	Điện áp làm việc lớn nhất của chống sét van, kV	Điện áp chọc thủng		Điện áp dư của chống sét van ứng với dòng điện 3 kA, kV_{max}
		Ở tần số công nghiệp, kV	Với thời gian phóng điện 1,5 μs và lớn hơn, kV_{max}	
3	3,8	7,5	12	12
6	7,6	15	23	23
10	12,8	24	38	38

Phụ lục PL46: *Các đặc tính điện chủ yếu của loại chống sét pbm (SX tại Nga)*

Điện áp định mức chống sét, kV	Điện áp làm việc lớn nhất của cái chống sét, kV	Điện áp chọc thủng ở tần số công nghiệp, kV		Điện áp chọc thủng xung kích với t = 2 ÷ 20 μsec	Điện áp dòng điện xung kích có biên độ khác nhau và độ dài đầu sóng 10 μs kV max (không lớn hơn)		
					Biên độ dòng điện, kA		
		Không nhỏ hơn	Không lớn hơn		3	5	10
3	3,8	7,5	9,5	9	9,5	9,5	11
6	7,6	15	18	17	17	10	20
10	12,7	25	30	28	28	30	33
20	25	45	51	-	60	65	72
35	40,5	70	83	105	97	100	116
110	100	170	195	215	245	265	295
150	138	235	270	370	340	370	410
220	200	340	390	515	475	515	570
330	295	485	560	740	800	740	820
500	420	660	760	1130	970	1060	1170

Phụ lục PL47: *Điện trở tác dụng của dây chống sét r_o (Ω/km)*

Dòng điện I, (A)	Mã hiệu dây chống sét				
	ПС – 25	ПС – 35	ПС – 50	ПС – 70	ПС – 95
1	5,25	3,66	2,75	1,70	1,55
5	5,32	3,70	2,75	1,70	1,55
10	5,50	3,80	2,78	1,70	1,55
15	5,97	4,02	2,80	1,70	1,55
20	6,70	4,40	2,85	1,72	1,55
25	6,97	4,89	2,95	1,74	1,55
30	7,10	5,21	3,10	1,77	1,56
35	7,10	5,36	3,25	1,79	1,56
40	7,02	5,35	3,40	1,83	1,57
45	6,92	5,30	3,52	1,88	1,57
50	6,85	5,25	3,61	1,93	1,58
60	6,70	5,13	3,69	2,07	1,58
70	6,60	5,00	3,73	2,21	1,61
80	6,50	4,89	3,70	2,27	1,63
90	6,40	4,78	3,68	2,29	1,67
100	6,32	4,71	3,65	2,33	1,71
125	-	4,60	3,58	2,33	1,83
150	-	4,47	3,50	2,38	1,87
175	-	-	3,45	2,23	1,89
200	-	-	-	2,19	1,88

Phụ lục PL48: *Đặc tính điện chủ yếu của một số chống sét LA (SX tại Mỹ)*

Điện áp, kV	MCOV, kV	TOV		FOW, KVm	MSS, kVm	Điện áp phóng điện max, kVmax, ứng với sóng dòng 8/20 μs						
		1s	2s			1,5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	15 kA	20 kA	40 kA
3	2,55	3,7	3,5	7,4	5,7	6,5	6,8	6,9	7,3	7,7	8,0	8,6
6	5,10	7,4	7,1	14,7	11,3	13,1	13,5	13,9	14,6	15,5	16,1	17,2
9	7,65	11,1	10,6	22,1	17,0	19, 6	20,3	20,8	21,8	23,2	24,1	25,8
10	8,40	12,2	11,6	24,5	18,9	21,8	22,5	23,2	24,3	25,8	26,8	28,7
12	10,2	14,8	14,1	29,4	22,6	26,2	27,0	27,8	29,1	31,0	32,1	34,4
15	12,7	18,4	17,6	36,8	28,3	32,7	33,8	34,7	36,4	38,7	40,1	43,0
18	15,3	22,2	21,2	44,1	34,0	39,3	40,5	41,7	43,7	46,5	48,2	51,6
21	17,0	24,7	23,5	51,5	39,6	45,8	47,3	48,6	51,0	54,2	56,2	60,2
24	19,5	28,3	27,0	56,4	43,4	50,2	51,8	53,3	55,8	59,4	61,5	65,9
27	22,0	32,0	30,4	63,7	49,1	56,7	58,5	60,2	63,1	67,2	69,6	74,5
30	24,4	35,4	33,8	71,1	54,7	63,3	65,3	67,1	70,4	74,9	77,6	83,1
36	29,0	42,1	40,1	84,1	64,8	74,9	77,3	79,5	83,3	88,7	91,8	98,4
39	31,5	45,8	43,6	91,5	70,4	81,4	84,1	86,4	90,6	96,4	100	107
45	36,5	53,0	50,5	107	82,4	95,3	98,3	101	106	113	117	125
48	39,0	56,7	54,0	113	86,8	100	104	107	112	119	123	132
54	42,0	61,0	58,1	118	90,7	105	108	111	117	124	129	138
60	48,0	69,7	66,4	134	103	120	123	127	133	142	147	157
66	54,0	78,4	74,7	151	116	134	139	143	149	159	165	177
72	57,0	82,8	78,9	160	124	143	147	152	159	169	175	188
90	70,0	102	96,9	199	153	177	183	188	197	210	217	233
90	74,0	107	102	207	159	184	190	196	205	218	226	242
96	76,0	110	105	218	168	194	200	206	216	230	238	255
108	84,0	122	116	235	181	210	216	222	233	248	257	275
108	88,0	128	122	247	202	219	227	233	244	260	269	288
120	98,0	142	136	273	224	243	251	258	271	288	298	320
132	106	154	147	302	248	269	277	285	299	318	329	353
144	115	167	159	321	263	286	295	303	318	338	350	375
168	131	190	181	370	303	329	340	349	366	390	404	432
172	140	203	194	391	321	348	359	370	387	412	427	457
180	144	209	199	403	330	359	370	381	399	425	440	471
192	152	221	210	424	348	378	390	401	420	447	463	496
228	180	261	249	521	428	464	479	493	516	550	569	610
240	190	276	263	537	452	478	494	508	532	566	586	628
258	209	304	289	633	501	530	547	563	590	628	650	696
264	212	308	293	642	508	538	555	571	598	637	659	706
276	220	320	304	668	529	559	577	594	622	662	686	735
288	230	334	318	703	557	589	608	625	655	697	722	774
294	235	341	325	708	561	593	612	629	660	702	727	779
300	240	349	332	728	577	610	630	648	679	722	748	802
312	245	356	339	753	597	631	651	370	702	747	774	829
336	270	392	374	823	652	689	711	731	767	816	845	905
360	290	421	401	879	696	736	760	781	819	872	903	967
372	300	436	415	910	721	763	787	809	848	903	935	1002
396	318	462	440	963	763	807	832	856	897	955	989	1060
420	335	487	464	1016	805	851	878	903	947	1007	1043	1118
444	353	513	488	1077	853	902	931	957	1004	1068	1106	1185
468	372	540	515	1130	895	947	977	1005	1053	1121	1161	1244

Phụ lục PL49: *Hệ số xung kích α_{xk} của nối đất cột điện dạng nhiều tia (n_t - số tia, l_t - chiều dài tia và $\tau = 3,5\ \mu s$)*

$\frac{n_t}{l_t}$	I, kA	Điện trở suất ρ, Ωm						
		100	300	500	750	1000	1500	2000
2/10	10	1,08	0,94	0,84	0,74	0,67	0,60	0,55
	25	1,00	0,85	0,74	0,63	0,57	0,49	0,45
	50	0,90	0,73	0,60	0,50	0,44	0,38	0,33
	100	0,77	0,60	0,48	0,38	0,34	0,29	0,26
	200	0,62	0,47	0,36	0,29	0,25	0,20	0,18
2/20	10	1,20	1,08	0,95	0,85	0,76	0,65	0,59
	25	1,11	1,98	0,86	0,75	0,68	0,57	0,50
	50	1,00	0,85	0,73	0,61	0,54	0,45	0,41
	100	0,88	0,74	0,60	0,50	0,43	0,36	0,31
	200	0,76	0,61	0,50	0,40	0,35	0,29	0,25
2/30	10	1,30	1,17	1,05	0,93	0,85	0,73	0,64
	25	1,21	1,06	0,97	0,85	0,77	0,65	0,58
	50	1,13	0,95	0,84	0,72	0,65	0,54	0,48
	100	1,00	0,85	0,73	0,62	0,55	0,44	0,38
	200	0,91	0,74	0,61	0,53	0,47	0,35	0,28
3/10	10	1,11	0,98	0,87	0,76	0,70	0,61	0,58
	25	1,02	0,28	0,77	0,67	0,69	0,52	0,47
	50	0,92	0,77	0,65	0,55	0,58	0,41	0,37
	100	0,80	0,65	0,53	0,44	0,38	0,33	0,30
	200	0,67	0,52	0,42	0,34	0,30	0,25	0,23
3/20	10	1,24	1,11	1,00	0,88	0,79	0,69	0,65
	25	1,14	1,00	0,89	0,77	0,70	0,62	0,57
	50	1,03	0,89	0,78	0,67	0,60	0,52	0,48
	100	0,91	0,78	0,67	0,56	0,50	0,42	0,39
	200	0,80	0,69	0,57	0,48	0,41	0,35	0,32
3/30	10	1,33	1,20	1,10	1,00	0,93	0,81	0,75
	25	1,23	1,10	1,00	0,90	0,83	0,72	0,66
	50	1,14	1,00	0,91	0,80	0,74	0,63	0,57
	100	1,03	0,90	0,79	0,70	0,64	0,55	0,49
	200	0,94	0,81	0,71	0,62	0,55	0,45	0,40
4/10	10	1,16	1,00	0,90	0,8	0,73	0,65	0,61
	25	1,08	0,92	0,83	0,72	0,64	0,55	0,52
	50	0,98	0,82	0,70	0,60	0,53	0,45	0,42
	100	0,87	0,69	0,58	0,49	0,44	0,38	0,33
	200	0,75	0,56	0,48	0,40	0,29	0,29	0,27
4/20	10	1,28	1,15	1,04	0,93	0,84	0,74	0,70
	25	1,19	1,06	0,95	0,83	0,75	0,66	0,62
	50	1,07	0,95	0,83	0,72	0,66	0,57	0,54
	100	0,95	0,81	0,71	0,61	0,55	0,49	0,45
	200	0,85	0,71	0,62	0,53	0,47	0,40	0,37
4/30	10	1,37	1,24	1,14	1,04	0,98	0,85	0,81
	25	1,28	1,15	1,04	0,94	0,87	0,76	0,72
	50	1,17	1,04	0,95	0,86	0,79	0,69	0,65
	100	1,07	0,93	0,83	0,76	0,70	0,60	0,57
	200	0,97	0,84	0,75	0,66	0,60	0,53	0,50

Phụ lục PL50: *Hệ số xung kích α_{xk} của nối đất cột điện dạng nhiều tia với cọc (n_t - số tia, l_t - chiều dài tia và $\tau = 3,5$ μs; $l_c = 2,5$ m và $a = 10$ m)*

$\frac{n_t}{l_t}$	I, kA	Điện trở suất ρ, Ωm						
		100	300	500	750	1000	1500	2000
2/10	10	1,17	1,02	0,90	0,78	0,70	0,60	0,56
	25	1,06	0,91	0,80	0,69	0,60	0,51	0,46
	50	0,97	0,80	0,69	0,57	0,49	0,42	0,37
	100	0,84	0,69	0,57	0,47	0,40	0,34	0,30
	200	0,74	0,58	0,46	0,38	0,32	0,27	0,25
3/10	10	1,20	1,07	0,95	0,82	0,75	0,65	0,60
	25	1,11	0,97	0,85	0,74	0,66	0,56	0,52
	50	1,02	0,88	0,75	0,63	0,56	0,47	0,43
	100	0,88	0,74	0,62	0,53	0,46	0,40	0,36
	200	0,77	0,63	0,51	0,42	0,38	0,33	0,30
4/10	10	1,28	1,14	1,00	0,87	0,78	0,70	0,65
	25	1,19	1,04	0,90	0,78	0,70	0,61	0,56
	50	1,10	0,95	0,81	0,70	0,62	0,54	0,48
	100	0,96	0,82	0,70	0,58	0,53	0,45	0,41
	200	0,82	0,69	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34
2/20	10	1,30	1,17	1,06	0,94	0,84	0,70	0,63
	25	1,22	1,09	0,98	0,86	0,76	0,61	0,54
	50	1,12	1,00	0,87	0,75	0,66	0,51	0,45
	100	0,99	0,85	0,75	0,62	0,54	0,42	0,38
	200	0,82	0,70	0,60	0,50	0,42	0,34	0,30
3/20	10	1,35	1,21	1,09	0,96	0,87	0,75	0,69
	25	1,25	1,13	1,01	0,89	0,80	0,69	0,62
	50	1,17	1,05	0,93	0,80	0,73	0,61	0,55
	100	1,05	0,92	0,80	0,70	0,61	0,52	0,46
	200	0,90	0,78	0,67	0,58	0,51	0,41	0,38
4/20	10	1,37	1,23	1,10	0,98	0,89	0,80	0,75
	25	1,29	1,15	1,02	0,91	0,82	0,74	0,68
	50	1,21	1,06	0,95	0,82	0,76	0,67	0,62
	100	1,10	0,95	0,83	0,74	0,67	0,59	0,55
	200	0,96	0,83	0,74	0,64	0,57	0,50	0,45
2/30	10	1,35	1,24	1,13	1,01	0,92	0,78	0,70
	25	1,26	1,15	1,05	0,98	0,84	0,69	0,61
	50	1,17	1,05	0,95	0,82	0,74	0,60	0,55
	100	1,06	0,94	0,83	0,72	0,64	0,51	0,45
	200	0,95	0,82	0,62	0,60	0,53	0,41	0,36
3/30	10	1,41	1,29	1,20	1,09	1,00	0,87	0,80
	25	1,32	1,21	1,12	1,00	0,92	0,80	0,72
	50	1,23	1,11	1,01	0,91	0,83	0,72	0,65
	100	1,14	1,02	0,93	0,82	0,75	0,64	0,56
	200	1,02	0,90	0,81	0,71	0,64	0,54	0,48
4/30	10	1,49	1,36	1,26	1,14	1,05	0,95	0,88
	25	1,40	1,28	1,18	1,07	0,99	0,87	0,80
	50	1,31	1,19	1,08	0,98	0,90	0,80	0,74
	100	1,20	1,09	0,99	0,89	0,81	0,72	0,65
	200	1,08	0,96	0,86	0,78	0,72	0,62	0,57

Phụ lục PL51: *Hệ số xung kích α_{xk} của nối đất cột điện dạng nhiều tia với cọc (n_t - số tia, l_t - chiều dài tia và $\tau = 3,5$ μs; $l_c = 5$ m và $a = 10$ m)*

$\frac{n_t}{l_t}$	I, kA	Điện trở suất ρ, Ωm						
		100	300	500	750	1000	1500	2000
2/10	10	1,25	1,06	0,95	0,85	0,75	0,66	0,60
	25	1,14	0,99	0,87	0,77	0,67	0,57	0,52
	50	1,04	0,88	0,77	0,66	0,55	0,77	0,42
	100	0,91	0,76	0,64	0,54	0,46	0,40	0,35
	200	0,79	0,65	0,54	0,45	0,37	0,33	0,30
3/10	10	1,27	1,15	1,05	0,93	0,84	0,72	0,65
	25	1,18	1,05	0,95	0,84	0,75	0,65	0,59
	50	1,08	0,95	0,85	0,73	0,65	0,56	0,51
	100	0,96	0,84	0,73	0,62	0,55	0,47	0,44
	200	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,40	0,38
4/10	10	1,35	1,24	1,13	1,01	0,92	0,80	0,73
	25	1,25	1,15	1,04	0,92	0,84	0,73	0,64
	50	1,18	1,05	0,94	0,82	0,74	0,64	0,56
	100	1,05	0,93	0,84	0,73	0,65	0,55	0,48
	200	0,92	0,81	0,70	0,61	0,54	0,46	0,41
2/20	10	1,40	1,27	1,15	1,03	0,94	0,78	0,70
	25	1,30	1,18	1,07	0,95	0,86	0,70	0,61
	50	1,21	1,09	0,98	0,85	0,75	0,60	0,52
	100	1,10	0,95	0,83	0,73	0,63	0,50	0,43
	200	0,97	0,83	0,72	0,60	0,51	0,40	0,35
3/20	10	1,42	1,30	1,18	1,06	0,96	0,84	0,76
	25	1,34	1,21	1,10	0,98	0,89	0,76	0,70
	50	1,26	1,13	1,01	0,89	0,79	0,68	0,60
	100	1,15	1,02	0,90	0,77	0,68	0,58	0,52
	200	1,04	0,91	0,79	0,68	0,59	0,50	0,45
4/20	10	1,46	1,33	1,20	1,07	0,98	0,88	0,82
	25	1,38	1,25	1,13	1,01	0,91	0,81	0,76
	50	1,30	1,16	1,03	0,91	0,83	0,74	0,68
	100	1,19	1,05	0,95	0,81	0,74	0,65	0,60
	200	1,08	0,96	0,84	0,72	0,65	0,57	0,53
2/30	10	1,47	1,35	1,23	1,10	1,01	0,87	0,78
	25	1,39	1,25	1,14	1,00	0,91	0,76	0,68
	50	1,25	1,13	1,03	0,90	0,82	0,67	0,59
	100	1,14	1,02	0,91	0,80	0,71	0,58	0,50
	200	1,05	0,91	0,81	0,70	0,60	0,48	0,42
3/30	10	1,52	1,39	1,27	1,16	1,06	0,93	0,85
	25	1,44	1,31	1,20	1,06	0,97	0,85	0,76
	50	1,33	1,21	1,10	0,98	0,88	0,76	0,69
	100	1,23	1,11	0,98	0,87	0,78	0,68	0,61
	200	1,13	1,00	0,89	0,78	0,70	0,58	0,52
4/30	10	1,62	1,45	1,32	1,19	1,10	0,98	0,90
	25	0,52	1,37	1,25	1,11	1,03	0,90	0,84
	50	1,41	1,28	1,15	1,02	0,94	0,83	0,76
	100	1,31	1,17	1,04	0,93	0,84	0,74	0,68
	200	1,20	1,06	0,93	0,80	0,73	0,65	0,59

Phụ lục PL52: *Hệ số xung kích α_{xk} của nối đất cột điện dạng nhiều tia với cọc (n_t - số tia, l_t - chiều dài tia và $\tau = 3,5$ μs; l_c = 10 m và a = 10 m)*

$\frac{n_t}{l_t}$	I, kA	Điện trở suất ρ, Ωm						
		100	300	500	750	1000	1500	2000
2/10	10	1,41	1,27	1,14	1,01	0,91	0,78	0,69
	25	1,32	1,18	1,05	0,92	0,83	0,70	0,60
	50	1,22	1,08	0,95	0,83	0,73	0,59	0,51
	100	1,12	0,98	0,85	0,72	0,62	0,49	0,42
	200	1,00	0,87	0,75	0,63	0,54	0,40	0,34
3/10	10	1,43	1,30	1,19	1,07	0,97	0,83	0,75
	25	1,36	1,23	1,11	0,99	0,91	0,76	0,67
	50	1,27	1,04	1,03	0,90	0,81	0,67	0,60
	100	1,16	1,03	0,9	0,79	0,70	0,58	0,51
	200	1,04	0,92	0,81	0,70	0,60	0,49	0,42
4/10	10	1,49	1,37	1,25	1,13	1,03	0,90	0,81
	25	1,40	1,28	1,17	1,05	0,94	0,83	0,75
	50	1,32	1,20	1,08	0,96	0,86	0,75	0,67
	100	1,22	1,08	0,96	0,85	0,75	0,64	0,58
	200	1,09	0,98	0,85	0,75	0,67	0,54	0,49
2/20	10	1,52	1,38	1,27	1,15	1,05	0,90	0,80
	25	1,42	1,29	1,18	1,06	0,97	0,82	0,71
	50	1,32	1,20	1,08	0,95	0,87	0,72	0,63
	100	1,22	1,10	0,98	0,85	0,76	0,61	0,53
	200	1,11	0,99	0,87	0,75	0,65	0,50	0,44
3/20	10	1,50	1,40	1,29	1,17	1,08	0,94	0,86
	25	1,42	1,31	1,20	1,10	1,00	0,86	0,77
	50	1,34	1,22	1,11	0,00	0,90	0,77	0,70
	100	1,24	1,13	1,01	0,90	0,80	0,69	0,62
	200	1,13	1,02	0,92	0,80	0,71	0,59	0,53
4/20	10	1,58	1,45	1,35	1,22	1,12	0,98	0,91
	25	1,48	1,35	1,25	1,14	1,04	0,90	0,82
	50	1,40	1,27	1,16	1,04	0,94	0,82	0,75
	100	1,30	1,18	1,07	0,94	0,85	0,75	0,68
	200	1,21	1,09	0,98	0,85	0,76	0,65	0,60
2/30	10	1,59	1,46	1,34	1,11	1,10	0,97	0,85
	25	1,51	1,39	1,27	1,14	1,03	0,89	0,79
	50	1,43	1,31	1,18	1,05	0,95	0,80	0,70
	100	1,32	1,19	1,07	0,95	0,85	0,71	0,62
	200	1,18	1,07	0,96	0,85	0,75	0,60	0,52
3/30	10	1,64	1,53	1,43	1,32	1,22	1,07	0,97
	25	1,55	1,44	1,34	1,22	1,13	0,98	0,89
	50	1,47	1,35	1,24	1,13	1,03	0,89	0,80
	100	1,36	1,24	1,13	1,02	0,93	0,80	0,73
	200	1,25	1,13	1,03	0,93	0,85	0,71	0,64
4/30	10	1,70	1,60	1,51	1,39	1,28	1,13	1,03
	25	1,63	1,52	1,42	1,30	1,19	1,05	0,95
	50	1,54	1,42	1,31	1,20	1,10	0,98	0,88
	100	1,44	1,32	1,21	1,09	0,99	0,88	0,81
	200	1,32	1,20	1,09	0,99	0,90	0,80	0,73

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. I. Dolginov, *High voltage Engineering,* "Energy", Moskva, 1968.
2. E. IA. Piabnoba, *Grounding on high voltage apparatus,* "Energy", Moskva, 1978.
3. M. A. Babykov and Others, *High voltage Engineering,* National Energy Publisher, Moskva, 1963.
4. M. E. Ierucalimov and N. N. Oplov, *High voltage Engineering,* Kiev, 1967.
5. N. A. Tyniakov and K. P. Stepanshuk, *High voltage Engineering,* Minsk, 1971.
6. Nguyễn Minh Chước, *Hướng dẫn thiết kế tốt nghiệp kỹ thuật điện cao áp,* Hà Nội, 2002.
7. Nguyễn Quân, *Hướng dẫn thiết kế tốt nghiệp kỹ thuật điện cao áp,* Hà Nội, 1970.
8. Syed A. Nasar, *2000 solved problems in electromagnetics,* "Mcgraw - Hill", 1992.
9. Syed A. Nasar, *Electric Power Systems,* "Mcgraw - Hill", 1990.
10. Võ Viết Đạn, *Giáo trình kỹ thuật điện cao áp,* Đại học Bách khoa Hà Nội.

BÀI TẬP
KỸ THUẬT ĐIỆN CAO ÁP

Hồ Văn Nhật Chương

NHÀ XUẤT BẢN
ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP HỒ CHÍ MINH
03 Công trường Quốc tế, Q. 3, TP HCM
ĐT: 823 9170 - 823 9171, **Fax**: 823 9172

☆☆☆

Chịu trách nhiệm xuất bản
PGS TS NGUYỄN QUANG ĐIỂN
Biên tập
NGUYỄN TIẾN NAM
Sửa bản in
TRẦN VĂN THẮNG
Trình bày bìa
TRƯƠNG NGỌC TUẤN

In 500 cuốn, khổ 16 x 24cm. Giấy phép xuất bản số: 180/155/XB-QLXB do Cục Xuất bản cấp ngày 07/02/2002. Giấy trích ngang số: 207/KHXB ngày 17/7/2003. In tại Xưởng in Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP. HCM. Nộp lưu chiểu tháng 8 năm 2003.