

TIÊU CHUẨN
QUỐC TẾ

IEC

909-3

XUẤT BẢN LẦN THỨ NHẤT
1995

**Tính toán dòng ngắn mạch
ba pha xoay chiều**

Phần 3 : Dòng hai ngắn mạch
một pha với đất riêng rẽ nhưng
đồng thời

Mục lục

Lời nói đầu

Tiết 1 - Tổng quát

1.1 Phạm vi áp dụng	4
1.2 Những tham khảo chuẩn	5
1.3 Các định nghĩa	5
1.3.1 Hai ngắn mạch một pha riêng rẽ	5
1.3.2 Những dòng ngắn mạch ban đầu	5
1.3.3 Dòng điện nối đất tổng	5
1.3.4 Dòng điện ngắn mạch từng phần	6
1.3.5 Hệ số giảm của đường dây	6
1.3.6 Trở kháng đầu vào	6
1.4 các kỹ hiệu	7

Tiết 2 - Những dòng ngắn mạch hai pha riêng rẽ

2.1 Phương pháp tính	8
2.1.1 Dòng ngắn mạch đối xứng ban đầu	8
2.1.2 Trị số đỉnh của dòng ngắn mạch	10
2.1.3 Sự phân bố dòng ngắn mạch	11

Tiết 3 - Những dòng ngắn mạch từng phần

3.1 Phương pháp tính.....	12
3.1.1 Tổng quát	12
3.1.2 Ngắn mạch pha với đất trong trạm	12
3.1.3 Ngắn mạch một pha với đất	14
3.1.4 Hệ số giảm của những đường dây trên không	15
Phụ lục A	18
Phụ lục B	21

ỦY BAN KỸ THUẬT ĐIỆN QUỐC TẾ

**TÍNH TOÁN DÒNG NGẮN MẠCH
TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN BA PHA XOAY CHIỀU**

**PHẦN 3: DÒNG NGẮN MẠCH HAI PHA RIÊNG RẼ ĐỒNG THỜI VỚI ĐẤT
VÀ DÒNG NGẮN MẠCH TỪNG PHẦN CHẢY QUA ĐẤT**

LỜI NÓI ĐẦU

1) IEC (Ủy ban Kỹ thuật điện Quốc tế) là một tổ chức quốc tế về tiêu chuẩn hoá gồm tất cả các Ủy ban Kỹ thuật điện Quốc gia (các Ủy ban Quốc gia của IEC). IEC có mục đích tạo thuận lợi cho sự hợp tác quốc tế trong tất cả các vấn đề về tiêu chuẩn hoá trong các lĩnh vực điện và điện tử. Vì mục đích ấy và thêm vào các hoạt động khác, IEC xuất bản các tiêu chuẩn quốc tế. Việc soạn thảo chúng được giao cho các Ủy ban Kỹ thuật, bất kỳ Ủy ban Quốc gia IEC nào quan tâm tới chủ đề có quan hệ có tham gia vào các công việc này. Những tổ chức quốc tế, chính phủ và phi chính phủ có quan hệ với IEC cũng tham gia vào việc soạn thảo này. IEC cộng tác chặt chẽ với Tổ chức quốc tế về tiêu chuẩn hoá (ISO) phù hợp với các điều kiện được xác định bởi sự thoả thuận giữa hai tổ chức.

2) Các thoả thuận và quyết định chính thức về các vấn đề Kỹ thuật được chuẩn bị bởi các Ủy ban Kỹ thuật ở đó có đại diện của tất cả các Ủy ban quốc gia quan tâm tới các vấn đề này, thể hiện trong khả năng lớn nhất có thể được, một thoả thuận quốc tế về các chủ đề xem xét.

3) Những quyết định này có dạng những khuyến nghị Quốc tế xuất bản dưới dạng những tiêu chuẩn, những báo cáo kỹ thuật hay hướng dẫn và chúng được chấp nhận bởi các Ủy ban Quốc gia trong ý nghĩa đó.

4) Nhằm mục đích khuyến khích sự thống nhất quốc tế, các Ủy ban Quốc gia của IEC tham gia áp dụng một cách thông suốt, với tất cả khả năng có thể được, những tiêu chuẩn Quốc tế của IEC trong những tiêu chuẩn Quốc gia và khu vực. Tất cả những khác nhau giữa tiêu chuẩn IEC và tiêu chuẩn Quốc gia hay khu vực phải được chỉ rõ bằng những thuật ngữ rõ ràng trong tiêu chuẩn Quốc gia hay khu vực.

Tiêu chuẩn Quốc gia IEC 909-3 được soạn thảo bởi Ủy ban Kỹ thuật IEC 73: những dòng ngắn mạch.

Văn bản của tiêu chuẩn này dựa trên những tài liệu sau:

DIS *	Báo cáo biểu quyết
73/71/DIS	73/78/RVD

Thông tin đầy đủ về bỏ phiếu chấp thuận tiêu chuẩn này có thể tìm thấy trong báo cáo biểu quyết trong bảng trên.

Các phụ lục A và B chỉ để thông báo

* *DIS là viết tắt của Draft International Standard: Tiêu chuẩn Quốc tế Dự thảo (ND)*

TÍNH TOÁN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH TRONG HỆ THỐNG BA PHA XOAY CHIỀU

PHẦN 3 : DÒNG HAI NGẮN MẠCH MỘT PHA VỚI ĐẤT RIÊNG RẼ ĐỒNG THỜI VÀ DÒNG NGẮN MẠCH CỤC BỘ CHẠY QUA ĐẤT

Tiết 1: Tổng quát

1.1 PHẠM VI ÁP DỤNG

Tiêu chuẩn quốc tế này quy định các thủ tục để tính toán những dòng điện ngắn mạch với một ngắn mạch không cân bằng ở điện áp cao của hệ thống ba pha xoay chiều . vận hành ở tần số danh định 50 hay 60Hz, nghĩa là:

a) Dòng ngắn mạch hai pha riêng rẽ đồng thời với đất trong các hệ thống có trung tính cách ly hay nối đất qua cuộn dập hồ quang.

b) Những dòng ngắn mạch từng phần chảy qua đất trong trường hợp sự cố một pha với đất trong hệ thống trung tính trực tiếp nối đất hay qua một trở kháng nhỏ.

Những dòng điện tính toán được theo những thủ tục này phải được sử dụng để xác định các điện áp cảm ứng hay các điện áp tiếp xúc hay điện áp bước và sự tăng điện thế của đất tại một trạm.

Tiêu chuẩn này không bao gồm :

a) Những dòng ngắn mạch gây ra trong các điều kiện khống chế, như trong các trạm thí nghiệm ngắn mạch hay

b) Những dòng ngắn mạch trong các trang thiết bị trên các tàu thủy hay các máy bay.hay

c) Những sự cố một pha với đất trong hệ thống trung tính nối đất hay nối đất qua cuộn dập hồ quang.

Mục tiêu của tiêu chuẩn này là lập các thủ tục thực tế và ngắn gọn để tính toán dòng ngắn mạch một pha đồng thời riêng rẽ với đất và những dòng ngắn mạch từng phần chảy qua đất, trong những trang thiết bị điện, đưa đến những kết quả chắc chắn và đủ chính xác với mục đích đó, dòng điện được xác định bằng cách coi như một nguồn điện áp tương đương tại vị trí ngắn mạch, còn các nguồn khác coi như bằng không. Thủ tục này thích hợp để tính toán bằng phương pháp thủ công với những sự mô phỏng theo tương tự hay bằng máy tính số.

Tiêu chuẩn này là bổ xung cho IEC 909. Có định nghĩa tổng quát, các ký hiệu và các giả thiết nói chung là có liên quan tới ấn phẩm đó. Chỉ những đặc biệt là được định nghĩa hay quy định trong tài liệu này. Việc này không loại trừ việc dùng các phương pháp đặc biệt, ví dụ phương pháp xếp chồng, đã được điều chỉnh trong những hoàn cảnh đặc biệt, nếu chúng cho ít nhất cùng một độ chính xác

Như đã chỉ trong IEC 909, những dòng ngắn mạch và các thông số của chúng cũng có thể được xác định bằng những thí nghiệm hệ thống, bằng những đo lường trên máy phân tích hệ thống hoặc với một máy vi tính.

Việc tính toán các thông số ngắn mạch trên cơ sở các số liệu định mức của thiết bị điện và sự sắp xếp địa hình của hệ thống thuận tiện cho cả lưới hiện có cũng như cho các hệ thống ở giai đoạn qui hoạch.

1.2 NHỮNG THAM KHẢO CHUẨN.

Tài liệu tham khảo dưới đây chứa những dữ kiện qua sự tham khảo trong văn bản này, gồm các sự sắp xếp theo tiêu chuẩn Quốc tế này. Vào lúc phát hành, các lần xuất bản được sử dụng là đang có hiệu lực. Tất cả những tài liệu chuẩn là đối tượng xem xét lại, và các thành viên xét duyệt dựa trên tiêu chuẩn Quốc tế này, được khuyến khích tìm kiếm khả năng áp dụng lần xuất bản mới nhất của tài liệu tiêu chuẩn nêu dưới đây. Những thành viên của IEC đều có bản danh sách các Tiêu chuẩn Quốc tế Kỹ thuật đang có hiệu lực hiện hành.

IEC 909: 1988 Tính toán dòng ngắn mạch trong các hệ thống ba pha xoay chiều.

IEC 909: 1991 Tính toán các dòng ngắn mạch trong các hệ thống ba pha xoay chiều. Các hệ số để tính toán các dòng ngắn mạch trong hệ thống ba pha xoay chiều theo IEC 909.

IEC 909-2: 1991 Tính toán dòng ngắn mạch trong các hệ thống ba pha xoay chiều. Thiết bị điện - Các số liệu cho những việc tính toán dòng ngắn mạch theo IEC 909 (1988).

1.3 CÁC ĐỊNH NGHĨA.

Vì mục đích của tiêu chuẩn này, áp dụng những định nghĩa sau đây.

1.3.1 Hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với đất.

Là những ngắn mạch một pha với đất xảy ra ở những vị trí khác nhau và trên những pha khác nhau của một hệ thống ba pha xoay chiều có điểm trung tính cách ly hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang.

1.3.2 Những dòng ngắn mạch ban đầu trong hai ngắn mạch riêng rẽ đồng thời một pha với-đất I''_{KEE} .

Là trị số hiệu dụng của các dòng ngắn mạch ban đầu với cùng một biên độ tại cả hai vị trí vào thời điểm của hai ngắn mạch riêng rẽ đồng thời dây-với-đất.

1.3.3 Dòng điện nối đất tổng I_{Etot} tại vị trí ngắn mạch.

Là trị số hiệu dụng của dòng tổng chảy qua hệ thống nối đất của một trạm (nhà máy điện, trạm biến áp hay trạm cắt) hay trở kháng tại chân của một cột tháp của đường dây trên không và qua các vật dẫn nối đất. Những vật dẫn như thế có thể là dây chống sét của đường dây trên không hay các vỏ bọc, màn che hay vỏ bọc kim loại của cáp.

1.3.4 Dòng điện ngắn mạch từng phần qua đất $\underline{I}_{(o)}$

Biên độ của một phần dòng tổng chảy qua đất ra xa vị trí ngắn mạch và hệ thống nối đất của trạm, ở đó sự phân phối của dòng tổng giữa các vật dẫn được nối đất và đất hầu như không đổi. Biên độ của nó phụ thuộc vào hệ số giảm r .

1.3.5 Hệ số giảm của đường dây \underline{r}

Là hệ số xác định phần của dòng chảy thứ tự-không qua đất ra xa vị trí ngắn mạch và hệ thống nối đất của một trạm.

1.3.6 Trở kháng đầu vào \underline{Z}_p

Trong trường hợp của một đường dây trên không, là trở kháng đầu vào gồm trở kháng của dây chống sét \underline{Z}_w giữa hai cột tháp với đường trở về qua đất, và điện trở chân cột tháp. Trở kháng đầu vào được xác định theo một hướng như sau :

với

Hình 1 – Dây vô hạn gồm trở kháng dây chống sét \underline{Z}_w và điện trở chân R_T cột tháp cách nhau các khoảng cách bằng nhau d_T

Ghi chú - Trở kháng đầu vào có thể giả định là không đổi với một khoảng cách từ điểm ngắn mạch F , dài hơn khoảng cách xa trạm D_F xác định bởi phương trình (16)

Trong trường hợp của một cấp điện lực, một sự gần giống tương tự có thể được dùng, nhưng cần xem xét đặc biệt

1.4 CÁC KÝ HIỆU.

Tất cả các phương trình được viết đều là phương trình định lượng, trong đó các ký hiệu biểu thị các đại lượng vật lý có cả các trị số bằng số và thứ nguyên. Các ký hiệu của các đại lượng phức được gạch dưới, nghĩa là: $\underline{Z} = R + jX$.

c Hệ số điện áp theo bảng I của IEC 909.

$cU_n/\sqrt{3}$ Nguồn điện áp tương đương (hiệu dụng), xem IEC 909.

D_F Kháng cách từ trạm.

d_T Khoảng cách giữa các cột tháp, xem hình 1

I_{bEE} Dòng cắt ngắn mạch (trị số hiệu dụng).

I_{Etot} Dòng đất tổng tại chỗ ngắn mạch (trị số hiệu dụng).

I'_{k1} Dòng ngắn mạch ban đầu một pha với đất (trị số hiệu dụng).

I'_{kEE} Dòng ngắn mạch ban đầu trong hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với đất (trị số hiệu dụng).

I'_{kE2E} Dòng ngắn mạch ban đầu (trị số hiệu dụng) chảy xuống đất trong trường hợp ngắn mạch hai pha với đất, xem IEC 909.

i_{pEE} Dòng ngắn mạch đỉnh.

$\underline{M}_{(1)}, \underline{M}_{(2)}$ Trở kháng phối hợp, trong hệ thống thứ tự thuận, nghịch.

R'_s Thành phần điện trở của trở kháng chính của vỏ bọc với đất trên một chiều dài đơn vị.

R_E Điện trở của lưới tiếp đất.

R_T Điện trở chân một cột tháp của đường dây trên không.

r Hệ số giảm.

$r \cdot 3 I_{(0)}$ Dòng ngắn mạch từng phần qua đất ở một khoảng cách lớn hơn D_F

$\underline{Z}_{(1)A}, \underline{Z}_{(1)B}$ Trở kháng ngắn mạch thứ tự thuận của hệ thống a.c. ba pha tại các vị trí ngắn mạch A và B.

$\underline{Z}_{(0)}$ Trở kháng ngắn mạch thứ tự không của toàn bộ lưới điện giữa các vị trí ngắn mạch A và B (bỏ qua dẫn nạp giữa các pha và đất).

\underline{Z}'_s Trở kháng nối đất của vỏ bọc với đất chiều dài đơn vị.

\underline{Z}_E Trở kháng nối đất tổng trong một trạm.

\underline{Z}_{ET} Trở kháng nối đất tổng của đất của một cột tháp bị ngắn mạch.

\underline{Z}_p Trở kháng đầu vào theo phương trình (1) và hình 1.

\underline{Z}_U Trở kháng đầu vào của vỏ bọc, màn che và vỏ kim loại của cáp.

$\underline{Z}_W = \underline{Z}'_w \cdot d_T$ Trở kháng của dây chống sét với trở về qua giữa hai cột tháp.

\underline{Z}'_{WL} Trở kháng tương hỗ theo đơn vị chiều dài giữa dây chống sét và những vật dẫn dây.

δ Chiều sâu tương đương của sự thâm nhập vào đất.

ρ Điện trở suất của đất.

Tiết 2: Những dòng ngắn mạch trong hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với-đất .

2.1 PHƯƠNG PHÁP TÍNH.

2.1.1 Dòng ngắn mạch đối xứng ban đầu.

Hình 2 chỉ dòng ngắn mạch I''_{kEE} trong hai ngắn mạch một pha với-đất riêng rẽ đồng thời trong các pha khác nhau tại các vị trí A và B với một khoảng cách giữa chúng $\neq 0$

Hình 2 – Sự biểu thị của hai ngắn mạch một pha với-đất riêng rẽ đồng thời và dòng I''_{kEE}

Trong những hệ thống với trung tính nối đất qua cuộn dập hồ quang, dòng điện ngắn mạch đối xứng ban đầu I''_{kEE} được tính nhờ:

Trong trường hợp ngắn mạch xa máy phát điện, khi $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$ và $\underline{M}_{(1)} = \underline{M}_{(2)}$, dòng ngắn mạch ban đầu trở thành:

Để tính toán dòng ngắn mạch lớn nhất theo IEC 909, trở kháng tổng nối đất \underline{Z}_E có thể bỏ qua với một ngắn mạch nối đất trong một trạm hay tại một cột tháp, như các phương trình (14) và (19).

Ghi chú > Để giải phương trình (2) xem những hướng dẫn của CCITT, ITU Geneve, quyển V, chương 5.

2.1.1.1 Xác định $\underline{M}_{(1)}$ và $\underline{M}_{(2)}$.

Những trở kháng thứ tự-thuận và nghịch, $\underline{M}_{(1)}$ và $\underline{M}_{(2)}$ được xác định như sau: Một nguồn điện áp \underline{U}_A được đưa vào vị trí ngắn mạch A như là điện áp tác dụng duy nhất của hệ thống. Nếu $\underline{I}_{(2)A}$ là những dòng sinh ra do nguồn điện áp này trong hệ thống thứ tự-thuận và nghịch tại vị trí ngắn mạch A và nếu $\underline{U}_{(1)B}$ và $\underline{U}_{(2)B}$ là những điện áp hệ thống thứ tự-thuận và nghịch tại vị trí B, thì :

$$\underline{M}_{(1)} = \frac{\underline{U}_{(1)B}}{\underline{I}_{(1)A}} \quad \underline{M}_{(2)} = \frac{\underline{U}_{(2)B}}{\underline{I}_{(2)A}} \quad (4)$$

Trở kháng phối hợp $\underline{M}_{(1)}$ và $\underline{M}_{(2)}$ cũng có thể được xác định tại vị trí ngắn mạch B thay vì cho vị trí A bằng cách dùng:

$$\underline{M}_{(1)} = \frac{\underline{U}_{(1)A}}{\underline{I}_{(1)B}} \quad \underline{M}_{(2)} = \frac{\underline{U}_{(2)A}}{\underline{I}_{(2)B}} \quad (5)$$

2.1.1.2 Những trường hợp đơn giản của hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với đất

Trong những trường hợp đơn giản hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với đất có thể được tính như trong bảng 1, với điều kiện chấp nhận là $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$ và $\underline{M}_{(1)} = \underline{M}_{(2)}$. Với giả thiết này, những phương trình (6) và (8), đã cho trong bảng 1, được suy từ phương trình (2). Những chỉ số trong phương trình (6) đến (8) quan hệ tới các điện kháng thích hợp trong các mạch tương ứng

Bảng 1 : Tính toán dòng ban đầu ngắn mạch một pha với đất trong một trường hợp đơn giản

QUANPHAM.VN

2.1.2 *Trị số đỉnh của dòng ngắn mạch, dòng cắt ngắn mạch đối xứng và dòng ngắn mạch ổn định*

Trị số đỉnh của dòng ngắn mạch được tính theo IEC 909:

$$i_{pEE} = k\sqrt{2}I'_{kEE}$$

Đối với hệ số k , cùng một trị số được sử dụng trong trường hợp ngắn mạch ba pha tại vị trí A hay B, và lấy trị số nào lớn nhất.

Nếu ngắn mạch pha-với-đất có thể được coi như tương tự với một ngắn mạch xa một máy phát điện, thì :

$$I_{kEE} = I_{bEE} = I''_{kEE} \quad (10)$$

2.1.3 Sự phân bố dòng ngắn mạch pha-với-đất trong hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với đất.

Nếu dòng ngắn mạch một pha đất xảy ra riêng rẽ ở hai vị trí A và B, sự phân bố của dòng qua đất có thể được tính với điều kiện là coi $\underline{r} \cdot 3 \underline{I}_{(0)} = \underline{r} \cdot I''_{kEE}$ chỉ là một nguồn dòng tác dụng cấp điện cho hệ thống thứ tự-không ở A và B; tất cả các nguồn khác coi như không có.

Ví dụ, trong trường hợp của hai ngắn mạch một pha với đất tại các cột tháp A và B của một đường dây trên không, dòng \underline{I}_T xuống đất của cột tháp trong hình 3 trở thành

$$I_T = r I''_{kEE} \frac{Z_p}{Z_p + 2R_T} \quad (11)$$

Trong đó:

- \underline{r} là hệ số giảm của đường dây trên không theo 3.1.4;
- R_T là điện trở chân cột tháp;
- Z_p là điện kháng đầu vào theo 1.3.6

Hình 3 – Sự phân bố của dòng ngắn mạch từng phần $\underline{r} \cdot 3 \underline{I}_{(0)}$ qua đất trên các cột A và B

Tiết 3: những dòng ngắn mạch cục bộ chảy qua đất trong trường hợp của một ngắn mạch không cân bằng

3.1 PHƯƠNG PHÁP TÍNH

3.1.1 Tổng quát

Các tiểu mục 3.1.2 và 3.1.3 giải quyết những dòng ngắn mạch từng phần chảy qua đất và các vật dẫn nối đất (nghĩa là các hệ thống nối đất, các dây chống sét của các đường dây trên không, các vỏ bọc dẫn điện, các màn che và các vỏ bọc bằng kim loại của cáp) trong những trường hợp ngắn mạch pha-với-đất. Loại ngắn mạch này là sự cố hay xảy ra nhất trong hệ thống cao áp nối trực tiếp với đất. Nó dẫn tới những dòng ngắn mạch từng phần với đất lớn nhất nếu $Z_{(0)} > Z_{(1)}$.

Khi $Z_{(0)} < Z_{(1)}$ trong trường hợp ngắn mạch hai pha với pha có nối đất, dòng qua đất I''_{kEE} phải được xem xét theo IEC 909.

Hơn nữa các trạm A, B và C phải được giả thiết là phải cách xa nhau hơn hai lần khoảng cách “từ trạm” D_F theo phương trình (16)

Để tính dòng ngắn mạch cực đại theo IEC 909, các trở kháng của các cột tháp có hoặc không dây chống sét và các trở kháng của lưới nối đất và của các chỗ nối khác có thể được bỏ qua.

Trình tự tính toán sẽ được xem xét trong một lưới đơn giản hoá gồm ba trạm A, B và C và các đường dây trên không chỉ có một mạch, và chỉ một dây chống sét.

3.1.2 Ngắn mạch pha với đất ở trong trạm

Hình 4 thể hiện một trạm biến áp B với các đường dây đến từ các trạm kề bên A và C

Hình 4 – Các dòng ngắn mạch từng phần trong trường hợp ngắn mạch một pha với đất trong trạm B

Một hay nhiều máy biến áp của trạm B được đấu trực tiếp với đất. Dòng ngắn mạch \underline{I}''_{k1} bằng ba lần dòng thứ tự không chảy tới điểm ngắn mạch F

$$\underline{I}''_{k1} = 3\underline{I}_{(0)A} + 3\underline{I}_{(0)B} + 3\underline{I}_{(0)C} \quad (12)$$

Dòng tổng qua đất ở điểm ngắn mạch F trong một trạm xa các trạm khác mà nó được nối với, là:

$$\underline{I}_{Etot} = \underline{r} \cdot 3\underline{I}_{(0)} \quad (13a)$$

nghĩa là theo hình 4

$$\underline{I}_{Etot} = \underline{r}_A \cdot 3\underline{I}_{(0)A} + \underline{r}_C \cdot 3\underline{I}_{(0)C} \quad (13b)$$

Trở kháng nối đất của trạm là:

$$\underline{Z}_E = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{\underline{Z}_p} + \frac{1}{\underline{Z}_U}} \quad (14)$$

Trong đó

R_E là điện trở của lưới nối đất

\underline{Z}_p là trở kháng đầu vào theo 1.3.6

\underline{Z}_U là trở kháng đầu vào của các vỏ bọc, màn che và vỏ bọc kim loại của cáp

Điện thế của đất tại trạm B là:

$$\underline{U}_{EB} = \underline{Z}_{EB} \cdot \underline{I}_{Etot} \quad (15)$$

Các phương trình (13a) và (13b) giả thiết rằng khoảng cách từ trạm B tới các trạm A và C dài hơn khoảng cách từ trạm D_F với

$$D_F = 3\sqrt{R_T} \frac{d_T}{\text{Re}\{\sqrt{\underline{Z}_w}\}} \quad (16)$$

Trong đó

R_T là điện trở chân cột tháp

d_T là khoảng cách cột tháp

$\text{Re}\{\sqrt{\underline{Z}_w}\}$ là phần thực là căn bậc hai của trở kháng dây chống sét $\underline{Z}_w = \underline{Z}'_w \cdot I_T$ với \underline{Z}'_w theo phương trình (24)

Mặt khác dòng tổng xuống đất \underline{I}_{Etot} bị giảm bớt một phần lớn của dòng ngắn mạch một pha với đất chảy trở về những trạm gần nhất A hay C qua những dây chống sét. Sự phân bố của những dòng ngắn mạch giữa những dây chống sét và đất chỉ trong hình 4 được xác định bởi các hệ số giảm r'_a và r'_c của dây chống sét của đường dây trên không AB và BC. Đối với các cáp, hệ số giảm phụ thuộc vào các vỏ bọc dẫn điện, các vỏ kim loại và sự nối đất của chúng

Những dòng điện trong các dây chống sét của những đường dây trên không trên hình 4, xa các trạm A, B và C được cho bởi:

$$I_{WA} = (1 - r_A) 3 I_{(0)A} \quad (17a)$$

$$I_{WC} = (1 - r_C) 3 I_{(0)C} \quad (17b)$$

Ghi chú: Cần xét đến trong trường hợp các đường dây mạch-kép hay những đường dây song song với các hệ thống phối hợp thứ tự không

3.1.3 Ngắn mạch một pha với đất bên ngoài một trạm

Ngắn mạch một pha với đất trên một cột tháp của một đường dây trên không được trình bày trên hình 5. Ngắn mạch được giả định là xảy ra xa các trạm

Hình 5 – Những dòng ngắn mạch từng phần trong trường hợp một ngắn mạch một pha với đất trên một cột hình tháp của một đường dây trên không

Dòng ngắn mạch một pha với đất I'_{kl} được cho bởi:

$$I'_{kl} = 3I_{(0)A} + 3I_{(0)B} + 3I_{(0)C} \quad (18)$$

Trở kháng tổng nối đất của cột tháp bị ngắn mạch, nối với dây chống sét tại vị trí sự cố được cho bởi:

$$Z_{ET} = \frac{1}{\frac{1}{R_T} + \frac{2}{Z_p}} \quad (19)$$

Trong đó

R_T là điện trở chân của cột tháp

Z_p là điện kháng đầu vào của đường dây theo 1.3.6

Với ngắn mạch tại cột tháp T cách xa các trạm A,B và C, dòng tổng nối đất được cho bởi:

$$I_{\text{Etot}} = \underline{r}_C (3I_{(0)A} + 3I_{(0)B}) + \underline{r}_C \cdot 3I_{(0)C} = \underline{r}_C \cdot \underline{I}''_{k1} \quad (20)$$

Điện thế đất tại cột tháp tại đó ngắn mạch xảy ra được cho bởi

$$\underline{U}_{\text{ET}} = \underline{Z}_{\text{ET}} \cdot I_{\text{Etot}} \quad (21)$$

Nếu trên một đường dây, có dây chống sét, ngắn mạch một pha với đất xảy ra trên một cột ở kề bên một trạm, một phần lớn dòng ngắn mạch một pha với đất có thể chảy về trạm qua dây chống sét. Phần của dòng chảy qua đất, trong trường hợp này, có thể nhỏ hơn phần được tính theo phương trình (20). Việc tính toán cần chú ý đặc biệt khi khoảng cách giữa trạm B và cột tháp có ngắn mạch là nhỏ, so với khoảng cách từ trạm D_F

Dòng qua đất trong trạm B trong trường hợp ngắn mạch pha với đất ở F có được tính từ hình 5, theo:

$$I_{\text{EB}} = \underline{r}_C (3I_{(0)A} + 3I_{(0)B}) - \underline{r}_A \cdot 3I_{(0)A} \quad (22)$$

Dòng của đất I_{EB} với ngắn mạch một pha với đất xảy ra trên một đường dây trên không có thể lớn hơn với ngắn mạch pha với đất bên trong trạm B

3.1.4 Hệ số giảm của những đường dây trên không và cáp

Những phương trình sau đây được cho với những đường dây trên không có dây chống sét. Chúng cũng có hiệu lực với những cáp có các vỏ bọc, màn che và vỏ bọc kim loại nối đất ở hai đầu. Hệ số giảm đối với một dây chống sét được cho bởi

$$\underline{r} = \frac{I_{\text{Etot}}}{3I_{(0)}} = 1 - \frac{\underline{Z}'_{\text{WL}}}{\underline{Z}'_{\text{W}}} \quad (23)$$

$\underline{Z}'_{\text{WL}}$ và $\underline{Z}'_{\text{W}}$ phụ thuộc vào điện trở suất của đất ρ , khoảng cách giữa dây chống sét và các dây dẫn và vào bán kính tương đương của dây dẫn r_{WW} với một hoặc nhiều dây dẫn

Bảng 2 : Điện trở suất ρ và chiều sâu tương đương thâm nhập trong đất δ với các loại đất khác nhau

Các loại đất	Điện trở suất ρ bằng Ωm	Chiều sâu tương đương thâm nhập trong đất δ bằng m	
		ở 50 Hz	ở 60 Hz
Đá hoa cương	> 10 000	>9 300	>8 500
Núi đá	3 000 ... 10 000	5 100 ... 9 300	4 650 ... 8 500
Đất đầy đá	1 000 ... 3 000	2 940 ... 5 100	2 690 ... 4 650
Sỏi, cát khô	200 ... 1 200	1 320 ... 3 230	1 200 ... 2 940
Đất vôi, cát ẩm	70 ... 200	780 ... 1320	710 ... 1200
Đất trạ	50 ... 100	660 ... 930	600 ... 850
Đất sét, đất nhiều mùn	10...50	295...660	270...600
Đất đầm lầy	<20	<415	<380

Hệ số giảm có thể được đánh giá từ hình 6 bằng cách dùng bảng 2. Những phương trình sau đây có thể được dùng để tính chi tiết hệ số giảm

Trở kháng dây chống sét theo đơn vị chiều dài là

$$\underline{Z}'_w = \underline{R}'_w + \frac{\tilde{S}_{-0}}{8} + j\tilde{S}_{-0} \frac{1}{2f} \left[\frac{1}{4n} + \ln \frac{u}{r_{ww}} \right] \quad (24)$$

với

$$\frac{\tilde{S}_{-0}}{8} \cong \begin{cases} 0,05\Omega / km & \text{với 50 Hz} \\ 0,06\Omega / km & \text{với 60 Hz} \end{cases}$$

và trở kháng tương hỗ theo đơn vị chiều dài giữa dây chống sét và các vật dẫn pha theo đơn vị chiều dài, với sự trở về chung về đất

$$\underline{Z}'_{wL} = \frac{\tilde{S}_{-0}}{8} + j\omega \frac{1}{2f} \ln \frac{u}{d_{wL}} \quad (25)$$

với chiều sâu tương đương thâm nhập trong đất theo bảng 2

$$\delta = \frac{1,85}{\sqrt{\tilde{S}_{-0}}}$$

Những định nghĩa sau đây áp dụng

R'_w Điện trở dây chống sét theo chiều dài đơn vị

r_w Bán kính dây chống sét

d_w Khoảng cách giữa các dây chống sét

r_{ww} Đường kính tương đương của dây chống sét

cho một dây chống sét: $r_{ww} = r_w$

cho hai dây chống sét: $r_{ww} = \sqrt{r_w \cdot d_w}$

n Số dây chống sét

d_{wL} Khoảng cách trung bình hình học giữa dây chống sét và các dây dẫn pha L1, L2 và L3

cho một dây chống sét: $d_{WL} = \sqrt[3]{d_{WL1} \cdot d_{WL2} \cdot d_{WL3}}$

cho hai dây chống sét: $d_{wl} = \sqrt[6]{d_{W1L1} \cdot d_{W1L2} \cdot d_{W1L3} \cdot d_{W2L1} \cdot d_{W2L2} \cdot d_{W2L3}}$

- ω Tần số góc: $\omega = 2\pi f$
- μ_0 Hằng số từ: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am
- μ_r Độ thấm từ tương đối của dây chống sét
Cáp nhôm lõi thép tăng cường (ACSR) với một lớp nhôm: $\mu_r \approx 5...10$
Các ACSR khác: $\mu_r \approx 1$
Cáp thép: $\mu_r \approx 75$
- ρ Điện trở suất của đất theo bảng 2

Theo phương trình(23) tới (25), hệ số giảm của dây chống sét ACSR thông thường phụ thuộc vào điện trở suất của đất. Ví dụ, hình 6 chỉ trị số của các hệ số giảm của dây chống sét không từ tính với các loại của đường dây trên không khác nhau ở các điện áp danh định 60kV tới 220kV. Trong trường hợp của những đường dây trên không với 1 hay 2 dây chống sét bằng thép, trị số của hệ số giảm tương ứng khoảng 0,95 và 0,90

Hình 6 – Trị số \underline{r} của hệ số giảm cho dây chống sét không từ tính trong quan hệ điện trở suất của đất ρ

Trong trường hợp cáp điện lực, hệ số giảm cũng phụ thuộc vào loại và kích thước của vỏ bọc, màn che và vỏ bọc kim loại, phù hợp với thực tế và với các tiêu chuẩn quốc gia

Các số liệu có thể lấy từ các sổ tay của nhà chế tạo

Với những cáp một lõi hệ số giảm \underline{r} được cho bởi

$$\underline{r} = \frac{I_{Etot}}{3I_{(0)}} = \frac{R'_s}{Z'_s} \quad (27)$$

R'_s và \underline{U}'_s phụ thuộc vào các kim loại của vỏ bọc, vỏ kim loại, đường kính vật dẫn. Việc tính toán \underline{Z}'_s đang được xem xét

Phụ lục A (để thông báo)

Ví dụ để tính hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với đất

Hình A.1 Hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với đất trên một đường dây cung cấp hình tia, xem bảng 1

A.1 Các số liệu

Điện áp danh định: $U_n = 66\text{kV}$

Tần số danh định: 50Hz

Những trung tính của máy biến áp cách ly hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang. Trở kháng tương đương của lưới tại điểm đấu cấp điện Q: $Z_Q = (1,5 + j15) \Omega$. Dòng ngắn mạch ban đầu trong trạm cấp điện (xem IEC 909)

$$I''_{kQ} = \frac{1,1 \times 66\text{kV}}{\sqrt{3} |1,5 + j15|} = 2,8 \text{ kA}$$

Đường dây trên không:

Dây dẫn

dây chống sét

$3 \times 1 \times 166/88\text{mm}^2$ ACSR
 $1 \times 49 \text{ mm}^2$ thép, đường kính 9mm

$$\rho = \frac{1}{7} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}, \mu_r = 75$$

Khoảng cách trung bình hình học giữa dây chống sét và dây dẫn pha

$$d_{WL} = 6\text{m}$$

Trở kháng đường dây theo chiều dài đơn vị:

thứ tự – thuận

$$\underline{Z}'_{(1)} = (0,17 + j0,40) \Omega/\text{km}$$

thứ tự – không

$$\underline{Z}'_{(0)} = (0,32 + j1,40) \Omega/\text{km}$$

điện trở xuất của nền đá
chiều sâu tương đương thâm nhập vào đất
điện trở chân cột tháp
khoảng cách giữa các cột tháp

$$\begin{aligned}\rho &= 1\,000\ \Omega\text{m} \\ \delta &= 2\,940\ \text{m theo bảng 2} \\ R_T &= 10\ \Omega \\ d_T &= 300\text{m}\end{aligned}$$

A.2 Các phép tính

Trở kháng của dây chống sét theo chiều dài đơn vị theo phương trình (24)

Trở kháng tương hỗ theo chiều dài đơn vị giữa dây chống sét và vật dẫn pha song song với trở về chung xuống đất theo phương trình (25)

Hệ số giảm của dây chống sét theo phương trình (23)

$$r = \left| 1 - \frac{0.05 + j0.39}{2.97 + j2.02} \right| = 0.93$$

Trở kháng đầu vào theo phương trình (1)

$$\begin{aligned}Z_p &= \frac{(2.97 + j2.02)}{2} \frac{\text{S}}{\text{m}} \times 0.3\ \text{km} \times \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \times 10\ \text{om}}{(2.97 + j2.02)\ \text{om} / \text{km} \times 0.3\ \text{km}}} \right] = \\ &= (3.6 + j1.3)\ \text{OM}\end{aligned}$$

Để tính toán dòng lớn nhất của hai ngắn mạch một pha riêng rẽ đồng thời với đất, bỏ qua trở kháng của các cột tháp.

Phương trình (6) của bảng 1 cho

$$\begin{aligned}I''_{\text{kEE}} &= \frac{3 \times 1.1 \times 66\ \text{kV}}{(14.1 + 3.4 + 3.2)\ \text{om} + j(102 + 8 + 14)\ \text{om}} = (285 - j709)\ \text{A} \\ &= 1\,733\ \text{A}\end{aligned}$$

Trong đó

Dòng xuống đất qua những điện trở chân các cột tháp tới những điểm ngắn mạch A và B được xác định theo phương trình (11)

$$I_T = 0.93 \times 1733 \text{ A} \times \frac{|3.6 + j1.3|_{\text{om}}}{|(3.6 + j1.3)_{\text{om}} + 2 \times 10_{\text{om}}|} = 261 \text{ A}$$

Phụ lục B (Để thông báo)

Những thí dụ để tính dòng ngắn mạch từng phần qua đất

Một lưới điện 132kV và 50Hz được cho trong hình B1 và B3. Những khoảng cách là 40km giữa các trạm A và B và 100km giữa các trạm B và C

B.1 những số liệu

Trạm A:

Trở kháng ngắn mạch	$\underline{Z}_A = (0 + j6,4) \Omega$
Trở kháng thứ tự – không của máy biến áp	$\underline{Z}_{(0)A} = (0 + j12) \Omega$

Trạm B:

Trở kháng ngắn – mạch	$\underline{Z}_B = (0 + j7,6) \Omega$
Trở kháng thứ tự – không của máy biến áp	$\underline{Z}_{(0)B} = (0 + j7) \Omega$
Điện trở của lưới nối đất	$R_{EB} = 5 \Omega$

Trạm C:

Trở kháng ngắn – mạch	$\underline{Z}_C = (0 + j21) \Omega$
Trở kháng thứ tự – không của máy biến áp	$\underline{Z}_{(0)C} = (0 + j20,3) \Omega$

Đường dây trên không:

Vật dẫn pha $3 \times 2 \times 240/40\text{mm}^2$ ACSR
dây chống sét $1 \times 240/40\text{mm}^2$ ACSR

trở kháng dây thứ tự – thuận theo đơn vị chiều dài	$\underline{Z}'_{(1)} = (0,06 + j0,298) \Omega/\text{km}$
--	---

trở kháng dây thứ tự – không theo chiều dài đơn vị	$\underline{Z}'_{(0)} = (0,272 + j1,48) \Omega/\text{km}$
--	---

điện trở xuất đất	$\rho = 1\,000 \Omega\text{m}$
-------------------	--------------------------------

chiều sâu tương đương thâm nhập trong đất	$\delta = 2940\text{m}$ từ bảng 2
---	-----------------------------------

trở kháng dây chống sét theo đơn vị chiều dài	$\underline{Z}'_w = (0,17 + j0,801) \Omega/\text{km}$
---	---

hệ số giảm dây chống sét	$\underline{r}_A = \underline{r}_B = \underline{r}_C = \underline{r} = 0,6 - j0,03 \approx 0,6$
--------------------------	---

điện trở chân cột tháp	$R_T = 10 \Omega$
------------------------	-------------------

khoảng cách giữa các cột tháp	$d_T = 400\text{m}$
-------------------------------	---------------------

B.2 Trường hợp 1: Tính dòng điện ngắn mạch một pha với đất trong một trạm.

Ngắn mạch một pha với đất xảy ra bên trong trạm B như trong hình B1

Hình B1 – ngắn mạch một pha với đất trong trạm B.
Sơ đồ lưới với các trạm A, B và C

QUANPHAM.VN

Hình B2 – ngắn mạch một pha với đất trong trạm B.
Các hệ thống thứ tự thuận – nghịch – và không
với các chỗ đấu tại vị trí ngắn mạch F trong trạm B

Dòng ngắn mạch ban đầu \underline{I}''_{kl} có thể được tính theo phương trình(29)của IEC 909 nhờ hình B2

$$\underline{I}''_{kl} = \frac{\sqrt{3} \times 1.1 \times 132 \text{ kV}}{2 \times (0.222 + j4.876) \text{ om} + (0.115 + j6.157) \text{ om}} = (555 - j15789) \text{ A}$$

trong đó: $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)} = (0.222 + j4.876) \text{ om}$

$$\underline{Z}_{(0)} = (0.115 + j6.157) \text{ om}$$

Thành phần thứ tự không được cho bởi

$$I(0) = \frac{1}{3} \underline{I}''_{kl} = (185 - j5263) \text{ A}$$

$\underline{I}_{(0)}$ là tổng của những dòng ngắn mạch từng phần $\underline{I}_{(0)A}$, $\underline{I}_{(0)B}$ và $\underline{I}_{(0)C}$ trong đó

$$\underline{I}_{(0)A} = (75 - j444) \text{ A} = 450 \text{ A } e^{-j80.4}$$

$$\underline{I}_{(0)B} = (76 - j4632) \text{ A} = 4633 \text{ A } e^{-j89.1}$$

$$\underline{I}_{(0)C} = (34 - j187) \text{ A} = 190 \text{ A } e^{-j80.0}$$

Dòng tổng qua đất tại vị trí ngắn mạch F theo những phương trình (13a) và (13b) :

$$\underline{I}_{\text{Etot}} = 3 \times 0.6 \times (109 - j631) \text{ A} = 1153 \text{ A } e^{-j80.2}$$

khoảng cách từ trạm D_F theo phương trình (16)

$$D_F = 3 \times \sqrt{10 \text{ om}} \times \frac{400 \text{ m}}{\text{Re}(\sqrt{(0.068 + j0.320) \text{ om}})} = 8.54 \text{ km}$$

Xa các trạm, nghĩa là ở một khoảng cách dài hơn khoảng cách “ xa trạm “ D_F , những dòng trong dây chống sét của những đường dây trên không (17a) và (17b)

$$\underline{I}_{WA} = 0.4 \times 3 \times (75 - j444) \text{ A} = 541 \text{ A } e^{-j80.4}$$

$$\underline{I}_{WC} = 0.4 \times 3 \times (34 - j187) \text{ A} = 228 \text{ A } e^{-j79.6}$$

những dòng lớn nhất qua đất trong các trạm A và C là:

$$\underline{I}_{EA} = 0.6 \times 3 \times 450 \text{ A} = 810 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{EC} = 0.6 \times 3 \times 190 \text{ A} = 342 \text{ A}$$

Điện kháng đầu vào của một đường dây trên không theo phương trình (1)

$$\begin{aligned} \underline{Z}_P &= \frac{(0.068 + j0.320)om}{2} \times \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \times 10om}{(0.068 + j0.320)om}} \right] \\ &= (1.436 + j 1.305) om = 1.940 e^{j42.3} \end{aligned}$$

Những đường dây trên không từ các trạm A và C được nối vào thanh cái khi ở đó ngắn mạch xảy ra. Trở kháng của nối đất của trạm B theo phương trình (14)

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{EB} &= \frac{1}{\frac{1}{5om} + \frac{1}{(1.436 + j1.305)om}} = (0.684 + j 0.493) om \\ &= 0.843 e^{j35.8} \end{aligned}$$

Và điện thế của đất theo phương trình (15)

$$\begin{aligned} \underline{U}_{EB} &= 3 \times 0.6 \times (109 - j 631) A \times (0.684 + j 0.493) om \\ &= 972 e^{-j44.4} \end{aligned}$$

B.3 trường hợp thứ hai: Tính toán ngắn mạch một pha với đất bên ngoài một trạm.

Một ngắn mạch một pha với đất xảy ra bên ngoài các trạm trên một cột tháp T giữa các trạm B và C, và một khoảng cách 60km từ trạm B như hình B3

Hình B3 - ngắn mạch một pha với đất bên ngoài các trạm A, B và C, trên cột T của một đường dây trên không.
Sơ đồ hệ thống cho các trạm A, B và C

Hình B4 – ngắn mạch một pha với đất bên ngoài các trạm A, B và C, trên cột hình tháp T của một đường dây trên không.
Các hệ thống thứ tự thuận – nghịch và không với các điểm nối vào vị trí ngắn mạch F

Dòng ngắn mạch ban đầu \underline{I}''_{k1} có thể được tính theo phương trình (29) của IEC 909 nhờ hình B4

$$\underline{I}''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \times 1.1 \times 132 \text{ kV}}{2 \times (1.715 + j13.660) \text{ om} + (6.626 + j43.332) \text{ om}} = (500 - j3489) \text{ A}$$

ở đó $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)} = (1.715 + j13.660) \text{ om}$

$$\underline{Z}_{(0)} = (6.626 + j43.332) \text{ om}$$

Thành phần thứ tự – không nhỏ hơn trong trường hợp 1

$$\underline{I}_{(0)} = \frac{1}{3} \underline{I}''_{k1} = (167 - j1163) \text{ A}$$

$\underline{I}_{(0)}$ là tổng của những dòng ngắn mạch từng phần $\underline{I}_{(0)a}$ và $\underline{I}_{(0)b}$ ở bên trái và bên phải của cột tháp T trong hình B4

$$\underline{I}_{(0)b} = \underline{I}_{(0)c} = (81 - j637) \text{ A} = 642 \text{ A } e^{-j82.8}$$

$$\underline{I}_{(0)a} = (86 - j526) \text{ A} = 533 \text{ A } e^{-j80.7}$$

$\underline{I}_{(0)a}$ là tổng của những dòng ngắn mạch từng phần

$$\underline{I}_{(0)A} = (14 - j45) \text{ A} = 47 \text{ A } e^{-j72.7}$$

$$\underline{I}_{(0)B} = (72 - j481) \text{ A} = 486 \text{ A } e^{-j81.5}$$

Những dòng qua đất trong các trạm A, B và C là:

$$\underline{I}_{EA} = 0.6 \times 3 \times 47 \text{ A} = 85 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{EB} = 0.6 \times 3 \times 486 \text{ A} = 875 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{EC} = 0.6 \times 3 \times 642 \text{ A} = 1156 \text{ A}$$

Dòng tổng qua đất tại vị trí ngắn mạch F theo phương trình (20)

$$\underline{I}_{Etot} = 0.6 \times (500 - j3489) \text{ A} = (300 - j2093) \text{ A} = 2114 \text{ A } e^{-j81.8}$$

Những dòng trong các dây chống sét của những đường dây trên không ở khoảng cách nào đó từ các trạm A, B và C và cột tháp T là:

$$\underline{I}_{WA} = (1-r) 3 \underline{I}_{(0)A} = 0.4 \times 3 \times (14 - j45) = (16.8 - j54) \text{ A} = 57 \text{ A } e^{-j72.7}$$

$$\underline{I}_{WA,B} = (1-r)(3 \underline{I}_{(0)A} + \underline{I}_{(0)B}) = 0.4 \times 3 \times (86 - j526) = (103 - j631) = 640 \text{ A } e^{-j80.7}$$

$$\underline{I}_{WC} = (1-r) 3 \underline{I}_{(0)C} = 0.4 \times 3 \times (81 - j637) = (97.2 - j764) = 770 \text{ A } e^{-j82.7}$$

Với trở kháng vào \underline{Z}_p , tính như trong trường hợp thứ nhất, và trở kháng tại chân cột tháp R_T , trở kháng tổng của nối đất của cột tháp ở đó xảy ra ngắn mạch, theo phương trình (19) trở thành

$$\underline{Z}_{ET} = \frac{1}{\frac{1}{10om} + \frac{2}{(1.436 + j1.305)om}} = (0.704 + j 0.566) om = 0.903 e^{j38.8}$$

Điện thế của đất tại vị trí ngắn mạch F theo phương trình (21)

$$\underline{U}_{ET} = (300 - j 2093) A \times (0.704 + j 0.566) = (1396 - j 1340) V = 1910 V e^{-j43.0}$$

QUANPHAM.VN