

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG ĐIỆN ÁP NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP VÀ CÔNG SUẤT NGẮN MẠCH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN ĐẾN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH

EFFECTS OF TRANSFORMERS' SHORT-CIRCUIT VOLTAGES AND SHORT-CIRCUIT POWERS OF THE GRID EQUIVALENT ON SHORT-CIRCUIT CURRENT

Lê Chí Nhu¹, Hồ Thanh Phong¹, Lê Thị Tịnh Minh²

¹Sinh viên Lớp 12D1, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng;

lechinhu@gmail.com, phong19932001@gmail.com,

²Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; lethi.tinhminh@gmail.com

Tóm tắt - Trong hệ thống điện, tình trạng nguy hiểm nhất trong quá trình quá độ điện từ chính là hiện tượng ngắn mạch. Khi xảy ra ngắn mạch, tổng trở của hệ thống điện giảm, dòng điện tăng lên, điện áp giảm xuống, dẫn đến hậu quả nghiêm trọng đối với lưới điện. Tính toán dòng ngắn mạch có vai trò quan trọng trong việc chọn các thông số của thiết bị, chỉnh định bảo vệ và phương thức vận hành lưới điện. Bài báo đề xuất xây dựng một họ đường đặc tính ngắn mạch phụ thuộc vào hai thông số chính trong lưới điện liên quan đến máy biến áp và hệ thống vô cùng lớn. Các đường đặc tính được xây dựng cho nhiều dạng ngắn mạch khác nhau theo hai bài toán đề xuất. Theo đó, bài báo xây dựng một giao diện người dùng trực quan đơn giản bằng MATLAB-GUIDE thể hiện các kết quả. Với các đường đặc tính ngắn mạch thu được, giá trị dòng ngắn mạch được sử dụng để phân tích và lựa chọn thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch (FCL) tại trạm.

Từ khóa - điện áp ngắn mạch; công suất ngắn mạch; phương pháp tính gần đúng trong hệ đơn vị tương đối; hệ thống vô cùng lớn; thứ tự thuận; thứ tự nghịch; thứ tự không; thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch.

1. Đặt vấn đề

Khi có một sự thay đổi đột biến trong chế độ làm việc bình thường của hệ thống điện, sẽ phát sinh ra những dao động điện từ và dao động điện cơ liên quan đến sự biến đổi dòng điện, điện áp, từ thông, các mô-men quay, ... [2]. Những hiện tượng này gọi chung là quá trình quá độ trong hệ thống điện, thể hiện một đáp ứng của hệ thống khi chuyển từ chế độ làm việc xác lập này sang một chế độ làm việc xác lập khác.

Ngắn mạch xảy ra do hiện tượng chạm chập giữa các pha, giữa các pha và dây trung tính, hay giữa các pha với đất không thuộc chế độ làm việc bình thường. Trong hệ thống có trung tính nối đất chạm chập một pha hay nhiều pha với đất cũng được gọi là ngắn mạch. Tuy nhiên, trong hệ thống có trung tính cách điện hay nối đất qua thiết bị khác, hiện tượng chạm chập một pha với đất được gọi là chạm đất [1].

Khi phát sinh ra ngắn mạch, không những gây hư hỏng các khí cụ điện mà còn gây ra mất ổn định hệ thống điện và gián đoạn việc cung cấp điện. Vì vậy, dòng ngắn mạch được dùng để tính chọn các thiết bị và chỉnh định hệ thống bảo vệ rơ le, kiểm tra ổn định nhiệt và ổn định động, hay được dùng để kiểm tra khả năng cắt của máy cắt [3]. Trong thực tế thường xảy ra các dạng ngắn mạch như Bảng 1.

Abstract - In power systems, the most dangerous condition in the electromagnetic transients is the short circuit. When short circuit occurs, circuit impedance falls, the current increases and the voltage drops. These changes cause dangerous consequences to the grid. So short circuit current calculations play an important role in choosing the apparatus, relay protection regulation and the operation mode of grid. This article proposes building a system of short-circuit curves depending on two major parameters related to the transformer and the power grid equivalent. These curves are valued for different types of short circuits and depend on transformer types and the scale of the grid equivalent in two topology networks proposed. Accordingly, a simple intuitive user interface in MATLAB-GUIDE is represented. With these short-circuit curves given, the short-circuit currents are used to analyze and select fault current limiter (FCL) devices in substations.

Key words - short-circuit voltage; short-circuit power; approximate calculation method in relative unit system; extremely large system; the positive sequence, negative sequence and zero sequence; fault current limiter.

Bảng 1. Xác suất xảy ra ngắn mạch [1]

Dạng ngắn mạch	Xác suất xảy ra %
3 pha	5
2 pha	10
2 pha - đất	20
1 pha	65

Số liệu ở Bảng 1 cho thấy, sự cố ngắn mạch thường xảy ra nhất đó là dạng ngắn mạch 1 pha, sự cố ít xảy ra nhất là dạng ngắn mạch 3 pha. Trong tính toán ngắn mạch cho thấy rằng, có khi dòng điện ngắn mạch 1 pha hoặc 2 pha lớn hơn dòng điện ngắn mạch 3 pha. Nhưng khi tính toán chọn khí cụ điện, người ta thường sử dụng dòng ngắn mạch 3 pha đối xứng, do đây là sự cố nguy hiểm nhất [3].

Trên cơ sở lý thuyết, có nhiều yếu tố làm thay đổi giá trị dòng ngắn mạch như chế độ làm việc của lưới điện, các giá trị điện kháng, Ở đây ta sẽ nghiên cứu về những ảnh hưởng của điện áp ngắn mạch ($U_k\%$) trong máy biến áp và công suất ngắn mạch (S_k) trong hệ thống đến dòng điện ngắn mạch. Đề từ đó xây dựng được họ các đường đặc tính đánh giá về dòng điện ngắn mạch, giúp hỗ trợ việc tính chọn các thông số thiết bị đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật và kinh tế:

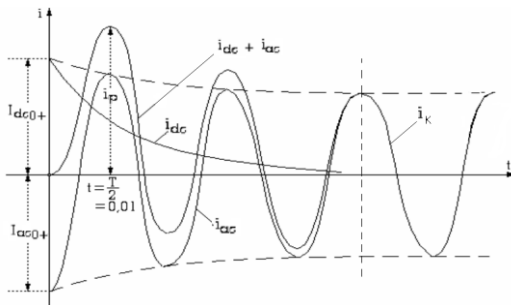
- Xét về mặt kỹ thuật: Nâng cao độ tin cậy, an toàn của thiết bị đóng/cắt, bảo vệ trong hệ thống điện.

- Xét về mặt kinh tế: Với thông số của thiết bị nhỏ hơn, chúng ta tiết kiệm được tiền đầu tư thiết bị.

Bài báo được chia thành 6 phần. Sau khi đặt vấn đề trong Phần 1, một vài khái niệm cơ bản về dòng ngắn mạch được giới thiệu ở Phần 2. Phần 3 nêu ra các yếu tố ảnh hưởng đến dòng điện ngắn mạch, mà trọng tâm là công suất ngắn mạch hệ thống và điện áp ngắn mạch trong máy biến áp. Phần 4 đề xuất các bài toán mẫu và thực hiện tính toán ngắn mạch, xây dựng họ đường đặc tính của dòng ngắn mạch và các yếu tố liên quan. Phần 5 sẽ đưa ra các đánh giá từ kết quả ở bài toán mẫu, đồng thời xây dựng một giao diện người dùng trực quan thể hiện kết quả đạt được. Kết thúc bài báo sẽ là phần kết luận và kiến nghị.

2. Một số khái niệm cơ bản về dòng ngắn mạch [4]

Dòng điện ngắn mạch khi xảy ra được mô tả bởi 2 thành phần: thành phần chu kỳ (i_{ac}) và thành phần phi chu kỳ (i_{dc}) như trên Hình 1 [1].



Hình 1. Đường cong dòng điện ngắn mạch

- **Dòng ngắn mạch chu kỳ (i_{ac}):** Dao động với chu kỳ không đổi. Khi có sự cố gần máy phát, trong máy phát cũng xảy ra quá trình quá độ điện từ, sức điện động và kháng điện của máy phát cũng thay đổi theo, do đó biên độ của dòng chu kỳ thay đổi giảm dần theo thời gian đến giá trị xác lập I_k . Khi sự cố xảy ra ở xa máy phát hoặc nguồn có công suất vô cùng lớn thì biên độ $i_{ac} = I_k$ [1].

- **Dòng tự do phi chu kỳ (i_{dc}):** Có biên độ tắt dần theo thời gian. Giá trị i_{dc} được xác định bởi giá trị trung bình giữa điểm đỉnh và đáy ở đường cong ngắn mạch.

$$\text{Công thức: } i_{dc} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2\pi f t R/X} \quad (1)$$

Từ công thức (1) cho thấy i_{dc} phụ thuộc vào tỉ lệ R/X , dòng ngắn mạch siêu quá độ ban đầu I_k'' , tần số, thời gian. Trong đó, R, X lần lượt là phần thực và phần ảo của tổng trở ngắn mạch trong hệ thống điện [6].

- **Dòng ngắn mạch siêu quá độ ban đầu (I_k''):** Là trị hiệu dụng của dòng chu kỳ trong chu kỳ đầu tiên khi xảy ra ngắn mạch.

$$I_k'' = \frac{I_{ac0+}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

- **Dòng ngắn mạch xung kích (I_p):** Được xác định bởi giá trị tức thời lớn nhất của dòng điện ngắn mạch.

$$\text{Công thức: } I_p = k\sqrt{2}I_k'' \quad (3)$$

$$\text{Trong đó: } k = 1.02 + 0.98e^{-R/X} \quad (4)$$

Như vậy, giá trị I_p phụ thuộc vào hệ số k và I_k'' , mà k lại phụ thuộc vào tỉ lệ R/X . Những máy cắt thông thường

sẽ không đủ nhanh để loại trừ dòng điện này, cho nên thiết bị này được thiết kế để chịu được dòng điện ngắn mạch I_p [5].

- **Dòng ngắn mạch xác lập (I_k) [6]:** Là giá trị của dòng điện ngắn mạch sau khi xảy ra quá trình quá độ. Giá trị dòng ngắn mạch xác lập cực đại được xác định bởi công thức sau:

$$I_{kmax} = \lambda_{max} \cdot I_{rG} \quad (5)$$

Trong đó λ_{max} là hệ số được tra từ đồ thị của nguồn ngắn mạch xác lập. Khi có sự cố xa máy phát $I_k = I_k''$.

- **Dòng cắt ngắn mạch (I_b):** Khi ngắn mạch xa máy phát, dòng điện ngắn mạch I_b được giả định bằng I_k'' ($I_b = I_k''$). Khi ngắn mạch gần máy phát, dòng cắt ngắn mạch được xác định [6]:

$$+ \text{ Đối với máy điện đồng bộ: } I_b = \mu I_k''$$

$$+ \text{ Đối với máy điện không đồng bộ: } I_b = \mu q I_k''$$

Trong đó:

- $\mu = \frac{I_k''}{I_{rG}}$ với I_{rG} là dòng định mức của máy điện đồng bộ.

- $q = \frac{P_{rM}}{p}$ với p là số cặp cực, P_{rM} là công suất tác dụng định mức của máy điện không đồng bộ.

Dòng ngắn mạch siêu quá độ ban đầu (I_k'') và dòng ngắn mạch xác lập (I_k) sẽ gây ra tổn thất lớn và có thể dẫn đến trạng thái quá nhiệt. Sự quá tải này xảy ra và phụ thuộc vào thời gian xảy ra sự cố ngắn mạch, nếu thiết bị bảo vệ loại trừ sự cố càng nhanh thì sẽ giảm được hậu quả do dòng ngắn mạch gây ra [5].

3. Những nhân tố ảnh hưởng đến dòng điện ngắn mạch

Trong tính toán ngắn mạch, chúng ta sẽ thực hiện tính toán giá trị dòng siêu quá độ ban đầu (I_k'') trong hệ đơn vị tương đối dựa trên công thức [1]:

$$I_K^{(n)} = \frac{E_\Sigma}{j \cdot (X_{1\Sigma} + X_i)} \cdot m^{(n)} \quad (6)$$

Hệ số m, n phụ thuộc vào dạng ngắn mạch:

- Khi $N^{(3)}$ thì $X_i = 0$ và $m^{(3)} = 1$
- Khi $N^{(2)}$ thì $X_i = X_{2\Sigma}$ và $m^{(2)} = \sqrt{3}$
- Khi $N^{(1)}$ thì $X_i = X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$ và $m^{(1)} = 3$
- Khi $N^{(1,1)}$ thì $X_i = X_{2\Sigma} // X_{0\Sigma}$ và $m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}$

Trong đó: $X_{1\Sigma}, X_{2\Sigma}, X_{0\Sigma}$ là điện kháng TTT, TTN, TTK.

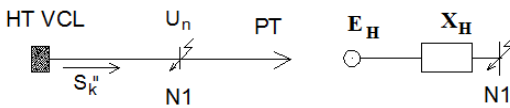
Điện kháng ngắn mạch ($X_\Sigma = X_{1\Sigma} + X_i$): Có ảnh hưởng lớn đến giá trị dòng ngắn mạch. X_Σ bao gồm điện kháng ngắn mạch của các thành phần làm việc trong hệ thống điện, giá trị của các thành phần điện kháng ngắn mạch này được tính dựa trên các thông số sau:

- Điện kháng siêu quá độ x_d của máy phát.
- Điện áp ngắn mạch $U_{kr}\%$ của máy biến áp.
- Công suất ngắn mạch S_k'' trong hệ thống.
- Điện kháng $x\%$ của kháng điện.
- Điện kháng đơn vị x_0 của đường dây.

Ngoài ra còn có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến điện kháng ngắn mạch. Ở bài báo này, chúng ta chỉ chú ý đến điện áp ngắn mạch $U_{kr}\%$ và công suất ngắn mạch S_k'' .

- **Công suất ngắn mạch (S_k'')** là một đại lượng quy ước đánh giá quy mô của một nguồn công suất vô cùng lớn. Trong đó, nguồn công suất vô cùng lớn là mô hình thay thế tương đương một phần lưới điện, được cho là ít ảnh hưởng đến điểm xảy ra sự cố trong hệ thống. Sự thay thế này cho phép việc tính toán sự cố được đơn giản, nhanh chóng mà vẫn đảm bảo được độ sai số cho phép. Điều kiện để đạt được sự thay thế tương đương trong sơ đồ thay thế tính toán là giá trị điện áp và tần số tại nút của nguồn công suất vô cùng lớn là không đổi. Khái niệm công suất ngắn mạch được định nghĩa là toàn bộ lượng công suất của hệ thống vô cùng lớn đổ về điểm ngắn mạch tại nút thay thế như trên Hình 2.

Trong sơ đồ thay thế tính toán, nguồn công suất vô cùng lớn được biểu diễn bằng 1 nguồn điện ký hiệu E_H và 1 điện kháng X_H .



Hình 2. Hệ thống vô cùng lớn và điểm ngắn mạch N1

Công suất ngắn mạch (S_k'') vào thời điểm t là đại lượng quy ước được tính theo dòng ngắn mạch $I_k''(t)$ vào thời điểm t trong quá trình quá độ và điện áp trung bình U_n của đoạn tính dòng ngắn mạch:

$$S_k''(t) = \sqrt{3} \cdot I_k''(t) \cdot U_n \quad (7)$$

Trong đó I_k'' là dòng ngắn mạch tại điểm N1 (ngắn mạch phía nguồn công suất VCL ở Hình 2).

Công suất ngắn mạch (S_k'') dùng để chọn hay kiểm tra máy cắt, lúc đó t là thời điểm mà các tiếp điểm chính của máy cắt mở ra. Công suất này bé hơn công suất đặc trưng cho khả năng cắt của máy cắt (công suất cắt định mức) [1].

Ngoài ra, khi biết công suất ngắn mạch S_k'' do hệ thống cung cấp cho điểm ngắn mạch, có thể tính được điện kháng của hệ thống X_H đối với điểm ngắn mạch. Trong hệ đơn vị tương đối, X_H được tính theo công thức:

$$X_H = \frac{S_{cb}}{S_k} \quad (8)$$

Từ công thức (8) cho thấy S_k'' có mối liên hệ với X_H . Do đó khi tính toán ngắn mạch, giá trị S_k'' có ảnh hưởng đến dòng điện ngắn mạch.

- **Điện áp ngắn mạch ($U_{kr}\%$)** trong máy biến áp: Là giá trị điện áp % đo được khi cho ngắn mạch phía thứ cấp máy biến áp và dòng điện ở sơ cấp bằng định mức. Khi biết giá trị $U_{kr}\%$ có thể tính điện kháng ngắn mạch của máy biến áp (X_T). Trong hệ đơn vị tương đối, điện kháng ngắn mạch của máy biến áp được tính theo công thức [1]:

$$X_T = \frac{U_{kr}\%}{100} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{rT}} \quad (9)$$

Từ công thức (9) cho thấy, khi giá trị $U_{kr}\%$ thay đổi thì giá trị X_T cũng thay đổi.

Phần tiếp theo sẽ làm rõ những ảnh hưởng của công suất ngắn mạch S_k'' và điện áp ngắn mạch $U_{kr}\%$ đối với dòng ngắn mạch I_k'' dựa trên các bài toán mẫu.

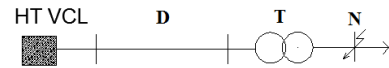
4. Các bài toán mẫu xét đến công suất ngắn mạch hệ thống và điện áp ngắn mạch máy biến áp

Hai bài toán được đưa ra ứng với hai cấu hình sơ đồ lưới điện từ đơn giản đến phức tạp. Bài toán cơ bản đặc trưng cho sơ đồ tổng quát của lưới điện bao gồm các phần tử cơ bản nhất là: nguồn điện, đường dây và máy biến áp. Tiếp theo, bài toán tổng quát được xây dựng dựa trên cơ sở bài toán cơ bản và được kết nối thêm với lưới điện khu vực. Trong đó, mô hình tính toán lưới điện khu vực bao gồm các phần tử của bài toán cơ bản.

Kết quả từ hai bài toán phục vụ việc đánh giá trị giá trị dòng điện ngắn mạch theo hai thông số chính S_k'' và $U_{kr}\%$. Từ đó, có thể xây dựng các họ đường cong dòng điện ngắn mạch ứng với từng bài toán, đồng thời đưa ra những giải pháp và kiến nghị hữu ích.

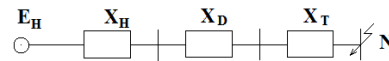
4.1. Bài toán cơ bản

Xét sự cố cho mạch điện đơn giản gồm hệ thống vô cùng lớn, 1 đường dây, 1 máy biến áp như Hình 3. Xem xét sự phụ thuộc của giá trị dòng ngắn mạch đến công suất ngắn mạch và điện áp ngắn mạch của máy biến áp theo các dạng ngắn mạch khác nhau như thế nào.



Hình 3. Sơ đồ bài toán cơ bản

Sơ đồ Hình 3 được biến đổi dưới dạng sơ đồ thay thế với các thông số E_H , X_H , X_D , X_T .



Hình 4. Sơ đồ thay thế bài toán cơ bản

Từ công thức (6), ta có thể tính được biểu thức dòng điện ngắn mạch trong hệ đơn vị tương đối theo các dạng ngắn mạch sau:

- Khi ngắn mạch đối xứng (ngắn mạch 3 pha):

$$I_K^{(3)} = \frac{E_H}{X_H + X_D + X_T} \quad (10)$$

- Khi ngắn mạch không đối xứng, để đơn giản hóa việc tính toán, cho phép kháng điện thứ tự nghịch bằng kháng điện thứ tự thuận. Biểu thức các dạng dòng điện ngắn mạch không đối xứng khác nhau như sau:

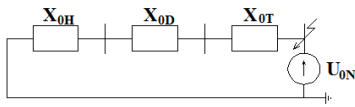
+ Ngắn mạch 2 pha (không có thành phần thứ tự không):

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}E_H}{2(X_H + X_D + X_T)} \quad (11)$$

+ Ngắn mạch 1 pha (có thành phần thứ tự không): Giá trị điện kháng TTK lại phụ thuộc chủ yếu vào các chế độ làm việc của điểm trung tính và tổ nối dây của máy biến áp. Dòng điện ngắn mạch 1 pha được tính theo công thức:

$$I_K^{(1)} = \frac{3E_H}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \quad (12)$$

- Đối với máy biến áp nối Y₀/Y₀ (với $X_{0H} = X_H$, $X_{0D} = 4X_D$, $X_{0T} = X_T$) [1]:

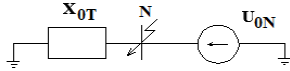


Hình 5. Sơ đồ điện kháng TTK

Từ sơ đồ điện kháng TTK Hình 5, dòng điện ngắn mạch 1 pha được tính như sau:

$$I_K^{(1)} = \frac{E_H}{X_H + 2X_D + X_T} \quad (13)$$

- Đối với máy biến áp nối Y_0/Δ (với $X_{0T} = X_T$):



Hình 6. Sơ đồ điện kháng TTK

Từ sơ đồ điện kháng TTK Hình 6, dòng điện ngắn mạch 1 pha được tính như sau:

$$I_K^{(1)} = \frac{3E_H}{2X_H + 2X_D + 3X_T} \quad (14)$$

- + Ngắn mạch 2 pha chạm đất (có dòng thứ tự không), giá trị $I_K^{(1,1)}$ được tính theo công thức sau:

$$I_K^{(1,1)} = \frac{\sqrt{3}E_H \sqrt{1 - \frac{X_2 \Sigma X_{0\Sigma}}{(X_2 \Sigma + X_{0\Sigma})^2}}}{X_1 \Sigma + \frac{X_2 \Sigma X_{0\Sigma}}{X_2 \Sigma + X_{0\Sigma}}} \quad (15)$$

- Đối với máy biến áp nối Y_0/Y_0 , để đơn giản công thức, đặt các hệ số:

$$A = 6X_H + 15X_D \quad B = 3(X_H^2 + 5X_HX_D + 7X_D^2)$$

$$A' = 6X_T + 15X_D \quad B' = 3(X_T^2 + 5X_TX_D + 7X_D^2)$$

$$C = 6(X_H + 2X_D) \quad D = 3(X_H^2 + 4X_HX_D + 3X_D^2)$$

$$C' = 6(X_T + 2X_D) \quad D' = 3(X_T^2 + 4X_TX_D + 3X_D^2)$$

Khai triển và thay các hệ số trên vào công thức (15), ta được biểu thức dòng ngắn mạch 2 pha chạm đất theo 2 ẩn X_T và X_H :

$$I_K^{(1,1)} = \frac{\sqrt{3}E_H \sqrt{3X_T^2 + AX_T + B}}{3X_T^2 + CX_T + D} \quad (16)$$

$$I_K^{(1,1)} = \frac{\sqrt{3}E_H \sqrt{3X_H^2 + A'X_H + B'}}{3X_H^2 + C'X_H + D'} \quad (17)$$

- Đối với máy biến áp nối Y_0/Δ , đặt các hệ số:

$$L = X_H + X_D$$

$$M = 3X_T + 2X_D$$

$$N = 3X_T^2 + 3X_TX_D + X_D^2$$

$$P = 2X_T + X_D$$

$$Q = 2X_T^2 + 2X_TX_D$$

Biểu thức dòng ngắn mạch 2 pha chạm đất theo 2 ẩn X_T và X_H :

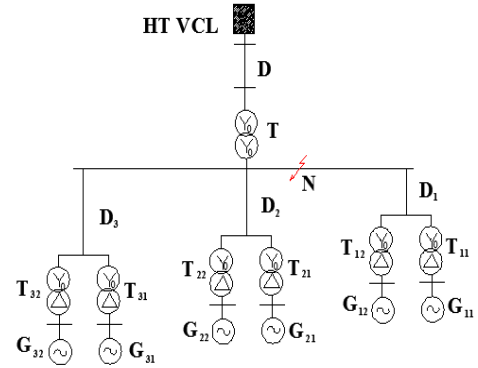
$$I_K^{(1,1)} = \frac{\sqrt{3}E_H \sqrt{3X_T^2 + 3LX_T + L^2}}{3X_T^2 + 4LX_T + L^2} \quad (18)$$

$$I_K^{(1,1)} = \frac{\sqrt{3}E_H \sqrt{X_H^2 + MX_H + N}}{X_H^2 + 2PX_H + Q} \quad (19)$$

4.2. Bài toán tổng quát

Sơ đồ lưới điện bài toán tổng quát đưa ra ở Hình 7.

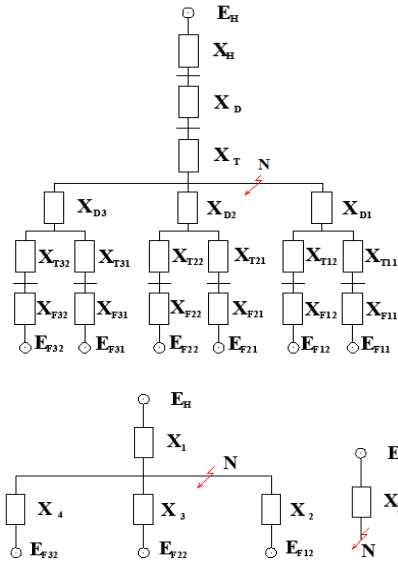
Trong đó, các máy biến áp được bố trí trên cùng một mạch đường dây có thông số giống nhau. Ở bài toán tổng quát, tập trung đến hai thông số chính là S_k của hệ thống VCL và $U_{kr}\%$ của máy biến áp T.



Hình 7. Sơ đồ hệ thống bài toán tổng quát

Quá trình tính toán được thực hiện tương tự bài toán cơ bản với mục đích đưa ra biểu thức dòng ngắn mạch phụ thuộc vào hai giá trị chính tương ứng là X_H và X_T .

Sơ đồ thay thế tính toán được thể hiện và biến đổi ở Hình 8:



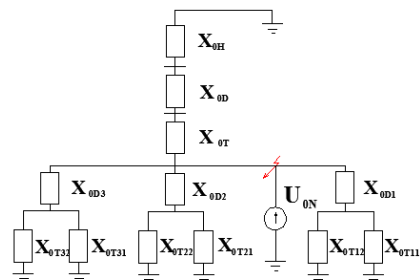
Hình 8. Sơ đồ thay thế TTT bài toán tổng quát

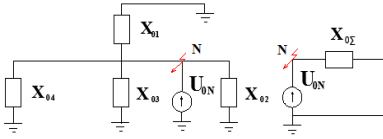
Theo như sơ đồ thay thế Hình 8:

$$X_1 = X_H + X_T + X_D \quad X_2 = \frac{X_{T12}}{2} + \frac{X_{F12}}{2} + X_{D1}$$

$$X_3 = \frac{X_{T22}}{2} + \frac{X_{F22}}{2} + X_{D2} \quad X_4 = \frac{X_{T32}}{2} + \frac{X_{F32}}{2} + X_{D3}$$

Sơ đồ điện kháng thứ tự không thể hiện ở Hình 9:





Hình 9. Sơ đồ thay thế TTK bài toán tổng quát

Từ sơ đồ thay thế ta có:

$$X_{01} = X_{0H} + X_{0T} + X_{0D} \quad X_{02} = \frac{X_{0T12}}{2} + X_{0D1}$$

$$X_{03} = \frac{X_{0T22}}{2} + X_{0D2} \quad X_{04} = \frac{X_{0T32}}{2} + X_{0D3}$$

Với điện kháng thành phần trong hệ thống: $X_{0H} = X_H$, $X_{0Di} = 4X_{Di}$, $X_{0Ti} = X_{Ti}$. Để đơn giản hóa việc tính toán, cho phép kháng điện thứ tự nghịch bằng kháng điện thứ tự thuận.

Vậy điện kháng 3 thành phần thứ tự:

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}} \quad (20)$$

$$X_{0\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{X_{01}} + \frac{1}{X_{02}} + \frac{1}{X_{03}} + \frac{1}{X_{04}}} \quad (21)$$

$$\text{Suất điện động tổng: } E_{\Sigma} = \frac{\frac{E_H}{X_1} + \frac{E_{F12}}{X_2} + \frac{E_{F22}}{X_3} + \frac{E_{F32}}{X_4}}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}} \quad (22)$$

Biểu thức dòng điện ngắn mạch được tính toán ở các dạng ngắn mạch khác nhau, với X_H và X_T sẽ là 2 giá trị thay đổi. Để đơn giản công thức, đặt các hệ số:

$$K = \frac{E_{F12}}{X_2} + \frac{E_{F22}}{X_3} + \frac{E_{F32}}{X_4}$$

$$K' = \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}$$

$$K'' = \frac{1}{X_{02}} + \frac{1}{X_{03}} + \frac{1}{X_{04}}$$

Thay các hệ số K , K' , K'' vào công thức (20), (21) và (22). Ta có được các biểu thức sau:

$$X_{1\Sigma} = \frac{X_H + X_T + X_D}{1 + K'(X_H + X_T + X_D)} \quad (23)$$

$$X_{0\Sigma} = \frac{X_H + X_T + 4X_D}{1 + K''(X_H + X_T + 4X_D)} \quad (24)$$

$$E_{\Sigma} = \frac{E_H + K(X_H + X_T + X_D)}{1 + K'(X_H + X_T + X_D)} \quad (25)$$

Từ các biểu thức (23), (24), (25) ta có thể đưa ra biểu thức dòng điện ngắn mạch ở các dạng sự cố khác nhau, với X_H và X_T sẽ là 2 giá trị thay đổi.

- Dòng ngắn mạch khi ngắn mạch 3 pha:

$$I_K^{(3)} = \frac{E_H}{X_H + X_T + X_D} + K \quad (26)$$

- Dòng ngắn mạch khi ngắn mạch 2 pha:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{E_H}{X_H + X_T + X_D} + K \right) \quad (27)$$

- Dòng ngắn mạch khi ngắn mạch 1 pha:

$$I_K^{(1)} = \frac{3E_{\Sigma}}{2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma}} \quad (28)$$

- Dòng ngắn mạch khi ngắn mạch 2 pha chạm đất:

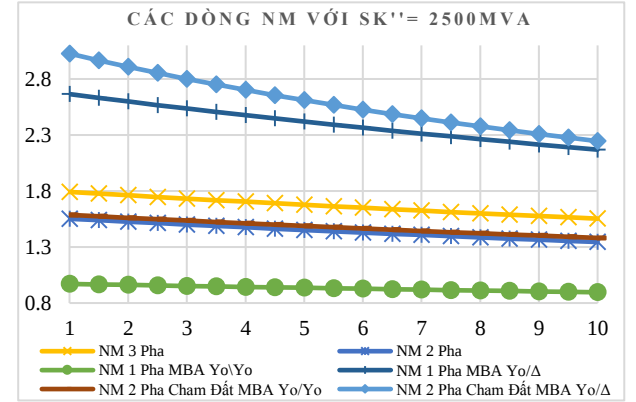
$$I_K^{(1,1)} = \frac{\sqrt{3}E_{\Sigma} \sqrt{X_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}X_{0\Sigma} + X_{0\Sigma}^2}}{X_{1\Sigma}^2 + 2X_{1\Sigma}X_{0\Sigma}} \quad (29)$$

Để tính giá trị thực của dòng điện ngắn mạch, ta nhân $I_K^{(n)}$ trong HĐVTĐ với giá trị cơ bản tương ứng là I_{cb} .

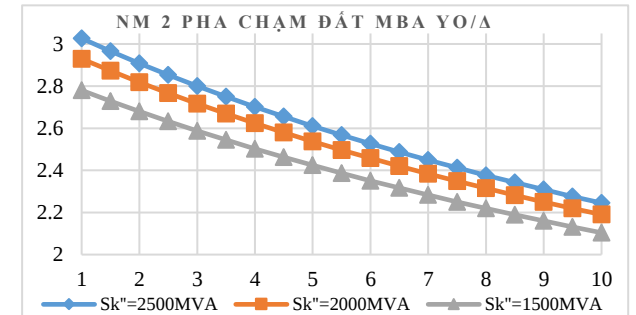
5. Các bài toán mẫu xét đến công suất ngắn mạch hệ thống và điện áp ngắn mạch máy biến áp

Từ các kết quả tính toán có được từ hai bài toán mẫu, ta tiến hành xây dựng họ các đường đặc tính của dòng ngắn ứng với các dạng ngắn mạch khác nhau trong Phần 5.1. Từ đó, nhóm tác giả đã tiến hành xây dựng một giao diện người dùng phục vụ cho việc phân tích đánh giá giá trị dòng ngắn mạch theo các họ đường cong được trực quan và đơn giản như trong Mục 5.2.

5.1. Đánh giá kết quả

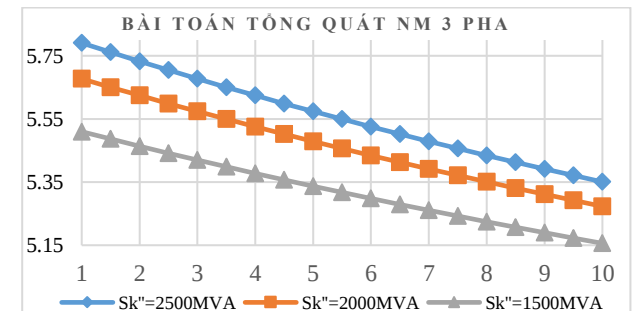


Hình 10. Đường đặc tính dòng ngắn mạch ứng với $S_k''=2500\text{MVA}$ trong bài toán cơ bản



Hình 11. Đường đặc tính dòng ngắn mạch 2 pha chạm đất MBA Yo/Delta trong bài toán cơ bản

Các họ đường cong trong bài toán cơ bản được thể hiện trên Hình 10, Hình 11. Nhận thấy rằng, trong một số trường hợp, dòng ngắn mạch chạm đất với máy biến áp nối Yo/Delta có giá trị lớn nhất và lớn hơn dòng ngắn mạch 3 pha. Các họ đường cong trong bài toán tổng quát khi hệ thống vô cùng lớn được kết nối với một lưới điện khu vực được thể hiện trên Hình 12.



Hình 12. Đường đặc tính dòng ngắn mạch 3 pha ứng với các giá trị S_k'' khác nhau trong bài toán tổng quát

Từ Hình 11 và Hình 12 cho thấy rằng: Giá trị công suất ngắn mạch của hệ thống vô cùng lớn có ảnh hưởng đến dòng ngắn mạch. Khi S_k'' giảm thì giá trị dòng ngắn mạch cũng giảm theo. Ngoài ra, đối với một giá trị công suất ngắn mạch, khi điện áp ngắn mạch ($U_{kr}\%$) của máy biến áp tăng lên thì dòng ngắn mạch (I_k'') giảm theo dạng đồ thị hyperbol.

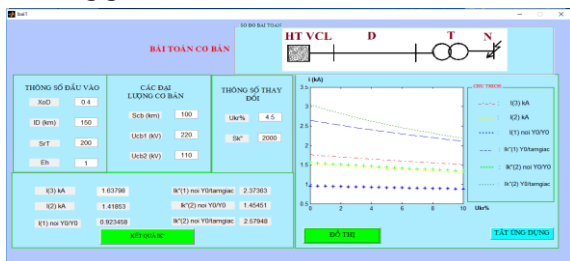
Từ hai bài toán đề xuất, ta nhận thấy:

- Giá trị công suất ngắn mạch S_k'' lớn hay nhỏ là phụ thuộc vào quy mô của lưới điện được thay thế.
- Giá trị điện kháng X_T của máy biến áp T phụ thuộc vào sơ đồ phương thức tại trạm (là phụ tải địa phương hay các lưới điện khu vực).

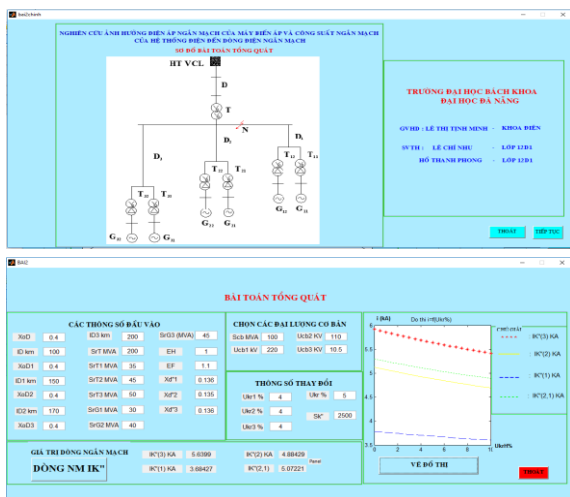
Cả hai giá trị này đều ảnh hưởng đến dòng điện ngắn mạch và đánh giá được quy mô và tính chất của mạch điện. Thực tế tại các trạm biến áp có nhiều máy biến áp làm việc song song, giá trị dòng điện ngắn mạch lại tăng lên cao hơn. Để khắc phục nhược điểm này, hiện nay tại các nước tiên tiến một số thiết bị đóng cắt hạn chế dòng ngắn mạch (Fault current limiter (FCL) [5] hay còn gọi là Current Limiter [7]) được sử dụng. Việc xây dựng họ đường cong tính toán như trên là một áp dụng quan trọng cho việc lựa chọn các thiết bị đóng cắt phù hợp theo công suất của hệ thống và công suất các máy biến áp.

Với mục đích áp dụng cho việc phân tích và lựa chọn thiết bị như trên, nhóm tác giả đã tiến hành xây dựng giao diện người dùng, được giới thiệu ở phần tiếp theo.

5.2. Chương trình xây dựng họ đường đặc tính ngắn mạch bằng giao diện MATLAB/GUIDE



Hình 14. Giao diện bài toán cơ bản



Hình 15-16. Giao diện bài toán tổng quát

Một giao diện người dùng hỗ trợ cho việc nhập xuất kết quả họ đường cong ngắn mạch theo công thức Phần 4 một cách tiện lợi và dễ quan sát. Quá trình lập trình và xây dựng giao diện dựa trên phần mềm MATLAB-GUIDE thể hiện sơ đồ hai bài toán mẫu. Giá trị của I_k'' được tính toán khi giá trị $U_{kr}\%$ thay đổi và S_k'' không đổi. Các thông số, sơ đồ lưới điện, kết quả tính toán và đồ thị của các bài toán được thể hiện trên giao diện phần mềm như Hình 14-15-16.

6. Kết luận

Trong tình hình hiện nay, cùng với sự phát triển của công nghiệp, quy mô và công suất của lưới điện ngày một lớn hơn. Điều này đã khiến mức độ sự cố ngắn mạch trở nên nghiêm trọng hơn. Theo đó, việc tính chọn các thông số của các thiết bị điện cũng như các bảo vệ phải đảm bảo tính ổn định và vận hành tối ưu nhất.

Bài báo đã đưa ra những công thức tổng quát thể hiện mối tương quan giữa thông số của máy biến áp, công suất ngắn mạch của hệ thống đến các giá trị dòng điện ngắn mạch. Theo đó, nhóm tác giả đề xuất xây dựng họ các đường cong thể hiện sự phụ thuộc của dòng ngắn mạch vào các thông số trên. Với mục đích này, bài báo cung cấp những thông tin giúp phân tích hạn chế dòng điện ngắn mạch. Đồng thời đề xuất xem xét lựa chọn áp dụng thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch (FCL) vào lưới điện phân phối ở nước ta. Ngoài ra, bài báo còn giới thiệu giao diện người dùng MATLAB-GUIDE thể hiện kết quả tính toán bài toán ngắn mạch ở nhiều dạng ngắn mạch khác nhau, và xây dựng các đường đặc tính ngắn mạch trong 2 dạng lưới điện một cách trực quan, đơn giản cho người dùng.

Các kết quả đề xuất từ bài báo, trong tương lai, có thể tổng quát hóa xây dựng các họ đường cong dòng ngắn mạch phụ thuộc vào nhiều thông số hơn và được áp dụng vào nhiều lưới điện phức tạp hơn trong thực tế. Những họ đường cong này đáp ứng nhu cầu thực dụng trong việc lựa chọn các thiết bị điện và đề xuất các giải pháp hạn chế dòng ngắn mạch hiệu quả với thời gian ngắn nhất có thể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] PGS.TS Lê Kim Hùng, ThS. Đoàn Ngọc Minh Tú, *Ngắn mạch trong hệ thống điện*, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, 2001.
- [2] Nguyễn Phiệt, *Quá trình quá độ điện từ trong hệ thống điện*, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 1969.
- [3] *Phân điện trong nhà máy điện và trạm biến áp*, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, 2005.
- [4] IEC 60909-0, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: calculation of short-circuit currents*, 2001.
- [5] Johan Morren, Maarten Berende, Thijs Reckers, Han Sloopweg, *Limitation of short-circuit power due to distributed generation*, CIGRE Workshop, Lisbon, 29-30 May 2012.
- [6] Thekla N. Boutsika, Stavros A. Papathanassiou, *Short-circuit calculations in network with distributed generation*, Electric Power Systems Research 78 (2008) 1181-119.
- [7] Terence Hazel, *Limiting short-circuit currents in medium-voltage applications*, SeniorMember IEEE, Schneider Electric, 38050 Grenoble, France.