

MÔ HÌNH CẢI TIẾN MÁY BIẾN ÁP VÀ MÁY CẮT TRONG CHẾ ĐỘ QUÁ ĐỘ

ADVANCED MODELS OF TRANSFORMER AND CIRCUIT BREAKER UNDER TRANSIENT CONDITION

PGS. TS **Quyền Huy Ánh**
Nguyễn Hoàng Minh
DH Sư Phạm Kỹ Thuật TPHCM

TÓM TẮT

Việc nghiên cứu và tính toán quá trình quá độ trong hệ thống điện (HTĐ) có vai trò rất quan trọng để nâng cao độ tin cậy và tính ổn định chế độ vận hành mạng. Hiện nay mô hình máy cắt được dùng trong Matlab đều là các mô hình tuyến tính và mô hình máy biến áp bão hòa từ vẫn chưa tính đến các yếu tố ảnh hưởng của các thành phần phi tuyến khác nên kết quả mô phỏng chưa chính xác đặc biệt trong các trường hợp mô phỏng với tần số cao. Bài báo này trình bày các mô hình cải tiến của máy biến áp và máy cắt phục vụ cho việc mô phỏng và tính toán cho quá độ hệ thống.

ABSTRACT

Researching and calculating transient in power system are very important to improve its reliability and stability. Today, the breaker model used in Matlab is linear models; the saturable transformer model does not include the effects of other nonlinear components so the simulation results are not accurate especially in high frequency simulation. In this thesis, the advanced model of transformer and circuit breaker are presented to serve for simulations and calculations power system transient.

I. GIỚI THIỆU

Trong hệ thống điện, máy biến áp là phần tử quan trọng cung cấp nguồn cho hệ thống và là phần tử chịu ảnh hưởng rất lớn của quá độ điện từ. Các mô hình máy biến áp hiện nay được dùng để mô phỏng quá độ trong phần mềm Matlab là mô hình máy biến áp lý tưởng và mô hình máy biến áp bão hòa từ. Các mô hình này chỉ xét đến ảnh hưởng của điện trở, điện cảm của cuộn dây trong máy biến áp mà chưa tính đến ảnh hưởng của cấu trúc lõi từ, ảnh hưởng của giá trị tụ liên lạc giữa các cuộn dây cao áp với cao áp, thấp áp với thấp áp và cao áp với thấp áp. Các ảnh hưởng này không đáng kể khi xét bài toán quá độ ở tần số thấp và thời gian xét dài nhưng đối với các quá độ tần số cao, đòi hỏi kết quả chính xác cao thì các mô hình này không đáp ứng được. Mô hình máy biến áp cải tiến được đề ra sẽ tính toán, xem xét đến ảnh hưởng của cấu trúc lõi máy biến áp, giá trị tụ điện liên lạc giữa

các cuộn dây trong máy biến áp trong quá trình tính toán và mô phỏng.

Ngoài máy biến áp, máy cắt cũng là một phần tử quan trọng trong hệ thống điện. Trong lưới điện đây là phần tử tác động khi vận hành, khi xảy ra sự cố... Trong Matlab hiện nay, mô hình máy cắt được sử dụng là mô hình máy cắt lý tưởng với giá trị điện trở của máy cắt thay đổi ngay lập tức khi đóng cắt từ 0 đến ∞ . Mô hình máy cắt lý tưởng không tính đến ảnh hưởng của hồ quang trong máy cắt đến sự thay đổi của dòng điện cắt, không tính đến ảnh hưởng của môi trường dập hồ quang nên kết quả mô phỏng không chính xác. Chính vì vậy mô hình máy cắt cải tiến được đề nghị có xét đến ảnh hưởng của hồ quang, ảnh hưởng của môi trường dập chất khí trong máy cắt đối với giá trị dòng điện cắt.

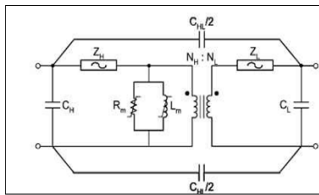
II. MÔ HÌNH MÁY BIẾN ÁP

2.1. Xác định thông số máy biến áp một pha

Biểu thức mô tả của máy biến áp một pha [2]

$$[V]=[Z][I]$$

Thông số lõi máy biến áp một pha [1]:



Hình 1. Mạch tương đương lõi máy biến áp một pha

Các thông số của mạch được chia làm các thành phần:

+ Thành phần nối tiếp hay thông số cuộn dây (R_H, R_L, L_H, L_L biểu diễn điện trở và độ từ cảm của cuộn dây phía cao áp và thấp áp)

+ Thành phần song song hay còn gọi là thông số lõi của máy biến áp (bao gồm từ cảm bão hòa L_m và điện trở R_m).

+ Thành phần điện dung giữa các cuộn dây, giữa các cuộn dây với đất và thông số cấu trúc lõi là các thành phần rất quan trọng trong việc mô phỏng quá độ ở tần số thấp.

- Thông số cuộn dây: Bao gồm thông số điện trở, điện cảm của các cuộn sơ và thứ cấp [1].

- Từ thông rò: Là giá trị điện kháng rò của cuộn dây trong máy biến áp [1].

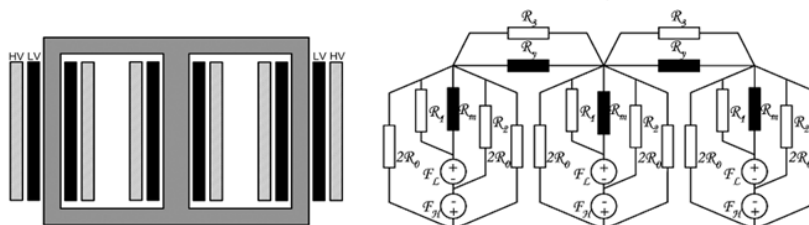
- Tổn hao lõi

$$R_m = \frac{V_{exc}^2}{P_{exc} - RI_{exc}^2} \quad (1)$$

- Dòng điện xoáy bên trong cuộn dây:

$$X_{s-ii} = \frac{(X_{0-ii} + 2X_{1-ii})}{3} \quad (3)$$

$$X_{m-ii} = \frac{(X_{0-ii} - X_{1-ii})}{3}$$



Hình 2. Mạch tương đương cấu trúc lõi máy biến áp ba pha

Thành phần tổn hao cuộn dây mắc nối tiếp phụ thuộc vào tần số.

Điện trở cuộn dây bao gồm thành phần AC khi xuất hiện dòng điện xoáy trên bề mặt, hiệu ứng bề mặt, và tổn hao rò. Điện trở cuộn dây có thể được xác định bằng công thức:

$$R = R_{dc} + \Delta R_{ac} \left(\frac{f}{f_0} \right)^m \quad (2)$$

- Điện dung: Giá trị điện dung phụ thuộc vào hình dáng của lõi sắt từ trong máy biến áp. Tùy thuộc vào hình dáng của lõi từ là hình trụ hay hình hộp mà ta có công thức tính toán điện dung khác nhau [2].

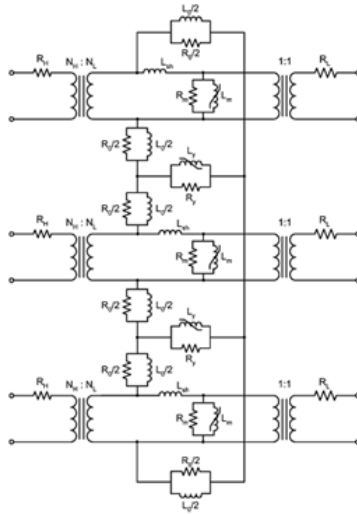
Trên thực tế việc xác định giá trị điện dung của máy biến áp rất khó khăn nên ta thường sử dụng thông số theo kinh nghiệm là 1 nF.

2.2. Xác định thông số máy biến áp ba pha

Để biểu diễn một máy biến áp nhiều cuộn dây ví dụ như để biểu diễn máy biến áp ba cuộn dây ta thay biểu thức bằng ma trận [3x3]:

$$\begin{bmatrix} Z_s & Z_m & Z_m \\ Z_m & Z_s & Z_m \\ Z_m & Z_m & Z_s \end{bmatrix}$$

Nếu bỏ qua tổn hao thì thành phần phần ảo của ma trận có thể được suy ra từ thí nghiệm không tải ở thứ tự thuận và thứ tự ngược [2]:



Hình 3. Sơ đồ tương đương lõi máy biến áp ba pha

Với các giá trị được xác định theo công thức:

$$R_L = k \cdot \frac{1-\alpha}{\alpha^2} \cdot \frac{\frac{P_{sk}}{3}}{I_{sk}^2} \quad (4)$$

$$X_{sk} = \frac{k}{\alpha^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{V_{sk}}{I_{sk}}\right)^2 - \left(\frac{\frac{P_{sk}}{3}}{I_{sk}^2}\right)^2} \quad (5)$$

$$V_0 = V_h - (R_L + jX_{sk})I_{sk} \quad (6)$$

$$P_0 = \frac{P_h}{3} - R_L \cdot I_h^2 - \frac{V_0^2}{R_{\gamma}} \quad (7)$$

$$Q_0 = \sqrt{(V_h I_h)^2 - \left(\frac{P_h}{3}\right)^2} - X_{sk} I_h^2 \quad (8)$$

$$R_0 = \frac{V_0^2}{P_0} \quad (9)$$

$$X_0 = \frac{V_0^2}{Q_0} \quad (10)$$

III. MÔ HÌNH MÁY CẮT

1. Mô hình máy cắt hồ quang

Một mô hình máy cắt chính xác cần phải biểu diễn cả hai quá trình đóng và mở. Việc đóng cắt tiếp điểm là nguyên nhân sinh ra hồ quang điện và hiện tượng hồ quang bị dập tắt rất phức tạp [4]. Để giải quyết bài toán này, người ta sử dụng mô hình hồ quang trong máy cắt với mục đích mô tả sự tương tác của hồ quang với mạch điện. Việc xác định giá trị của mô hình phải kết hợp cả việc tính toán dựa trên các phương trình và trên dữ liệu thí nghiệm. Các thí

nghiệm thực tế đưa ra các đồ thị của điện áp hồ quang và dòng điện trong suốt quá trình nhiệt. Việc phân tích này được dựa trên các phương trình hồ quang thể và các giả thiết bổ sung đến các chức năng thông số cụ thể [5].

2. Xác định thông số mô hình máy cắt

a. Phương trình Cassie:

$$\frac{1}{g_c} \frac{dg_c}{dt} = \frac{1}{\tau_c} \left[\frac{v^2}{v_0^2} - 1 \right] = \frac{1}{\tau_c} \left[\frac{i^2}{v_0^2 g_c^2} - 1 \right] \quad (11)$$

Với g_c : Điện dẫn hồ quang Cassie

v: Điện áp hồ quang
i: dòng điện hồ quang

τ_c : thời gian hồ quang không đổi
 v_0 : thành phần không đổi điện áp hồ quang

Phương trình Cassie cho kết quả tốt đối khi dòng điện có giá trị lớn [3][4].

b. Phương trình Mayr:

$$\frac{1}{g_m} \frac{dg_m}{dt} = \frac{1}{\tau_m} \left[\frac{vi}{P_0} - 1 \right] = \frac{1}{\tau_m} \left[\frac{i^2}{P_0 g_m} - 1 \right] \quad (12)$$

Với g_m : Điện dẫn hồ quang Mayr

v: Điện áp hồ quang

i: dòng điện hồ quang

τ_m : thời gian hồ quang không đổi

P_0 : tổn hao công suất

Phương trình Mayr cho kết quả tốt khi dòng điện có giá trị gần không [3,4].

c. Phương trình Habedank:

Để được một mô hình có đặc tính tốt hơn người ta đã kết hợp hai phương trình toán Cassie và Mayr [3,4,5]:

$$\frac{dg_c}{dt} = \frac{1}{\tau_c} \left[\frac{v^2 g^2}{v_c^2 g_c} - g_c \right] \quad (13)$$

$$\frac{dg_m}{dt} = \frac{1}{\tau_m} \left[\frac{v^2 g^2}{P_0} - g_m \right] \quad (14)$$

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{g_c} + \frac{1}{g_m} \quad (15)$$

Với g : Điện dẫn hồ quang

v: Điện áp hồ quang

d. Phương trình Schavemaker: Là phương trình cải tiến của phương trình Mayr với hằng số thời gian τ và công suất làm mát, phương trình công suất điện áp đầu vào. Thông số U_{arc} được sử dụng để có được điện áp hồ quang khi có dòng có giá trị cao.

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{d \ln g}{dt} = \frac{1}{\tau} \left[\frac{vi}{\max(U_{arc} |i|, P_0 + P_1 |i|)} - 1 \right] \quad (16)$$

Với g : Điện dẫn hồ quang

v: Điện áp hồ quang

i: dòng điện hồ quang

P_0 : hằng số làm mát

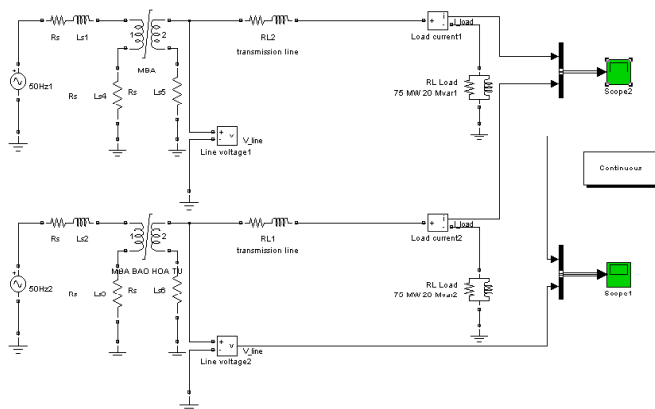
P_1 : hằng số làm mát; P_1 được đặt bằng 0 sau khi dòng điện zero đi qua

U_{arc} : hằng số điện áp hồ quang khi có dòng điện cao đi qua

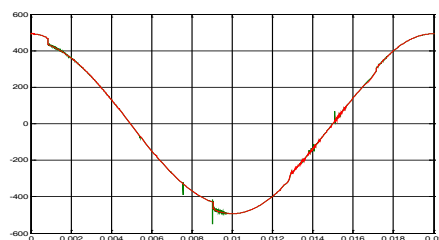
IV. MÔ PHỎNG

1. Mô hình máy biến áp

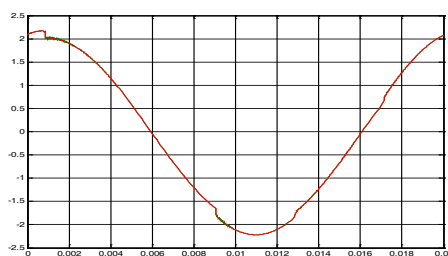
Mô phỏng so sánh mô hình máy biến áp lý tưởng và mô hình MBA cải tiến. Mô hình mô phỏng MBA trong hệ thống đường dây cung cấp cho tải có công suất 75MW 20Mvar.



Hình 4. Sơ đồ mô phỏng máy biến áp



Hình 5. Đáp ứng ngõ ra dòng điện của mô hình MBA cải tiến so với máy biến áp lý tưởng



Hình 6. Đáp ứng ngõ ra điện áp của mô hình MBA cải tiến so với máy biến áp lý tưởng

Nhận xét: Kết quả mô phỏng cho thấy giá trị đáp ứng điện áp của mô hình máy biến áp cải tiến thể hiện ảnh hưởng của các phần tử phi tuyến trong máy biến áp.

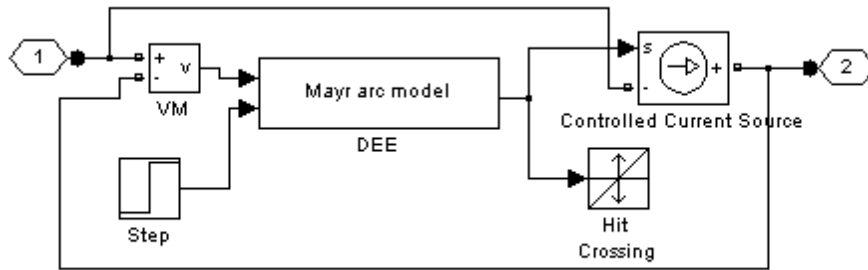
2. Mô hình máy cắt

Các mô hình máy cắt cải tiến được mô phỏng so sánh với mô hình máy cắt lý tưởng trong hệ thống đường dây dài cung

cấp điện. Các máy cắt được mô phỏng chuyển trạng thái từ mở sang đóng tại thời điểm $t = 0.05s$. Mô phỏng so sánh kết quả điện áp trên máy cắt, dòng điện và điện áp cuối đường dây.

a. Mô hình Mayr:

Cấu trúc của mô hình máy cắt Mayr như sau:



Hình 7. Sơ đồ mô phỏng máy biến áp

Cassie

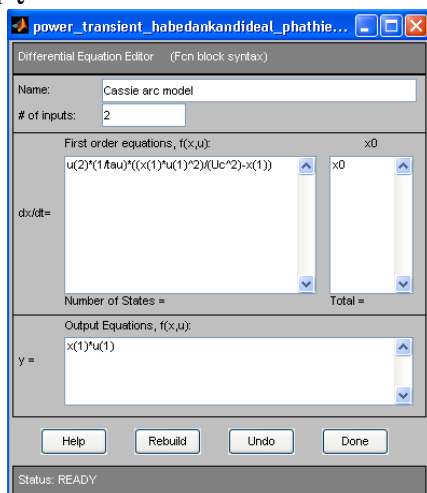
Với chức năng của từng khối như sau

- Khối VM có chức năng đo giá trị điện áp giữa hai đầu máy cắt để chuyển sang khối DEE xử lý theo phương trình
- Khối step: Chức năng của khối này là điều khiển trạng thái của máy cắt đóng hay mở và thời điểm bắt đầu mô phỏng hồ quang..
- Khối Differential Equation Editor (DEE): Phương trình hồ quang Mayr sẽ được nhập vào khối DEE, tín hiệu vào của khối là điện áp giữa hai đầu của máy cắt, tín hiệu ngõ ra là tín hiệu dòng điện.

$$\frac{dx(1)}{dt} = \frac{u(2)}{\tau} \left[\frac{e^{x(1)} u(1)^2}{P} - 1 \right] \quad (17)$$

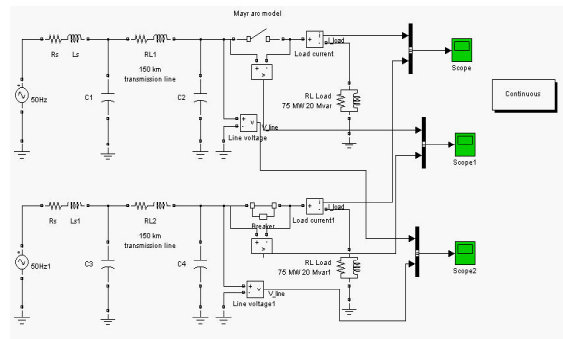
$$y = e^{x(1)} u(1)$$

Dựa trên phương trình Mayr ta dùng khối công cụ DEE (Differential Equation Editor) để xây dựng nên mô hình máy cắt Thông số P của mô hình phụ thuộc vào thời gian τ

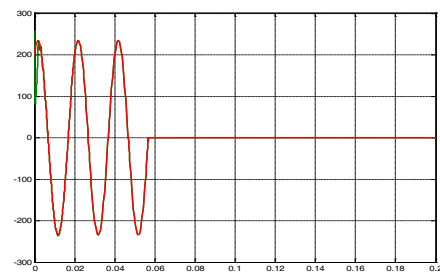


Hình 8. Thông số khối DEE của mô hình

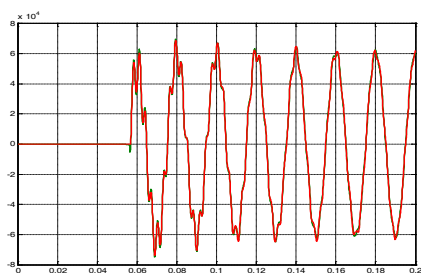
- Khối Hit Crossing: Giúp xác định thời điểm dòng điện bằng 0 để xuất hiện điện áp phục hồi hồ quang trên máy cắt. Khối này giúp cho việc mô phỏng được chính xác cao.



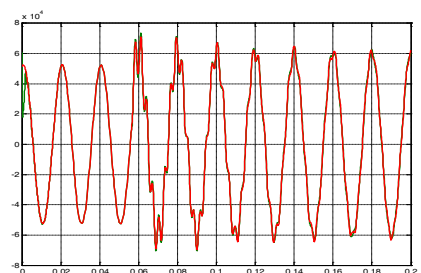
Hình 9. Sơ đồ mô phỏng so sánh máy cắt lý tưởng và máy cắt Mayr



Hình 10a. Đáp ứng dòng điện



Hình 10b. Đáp ứng điện áp trên máy cắt



Hình 10c. Đáp ứng điện áp cuối đường dây

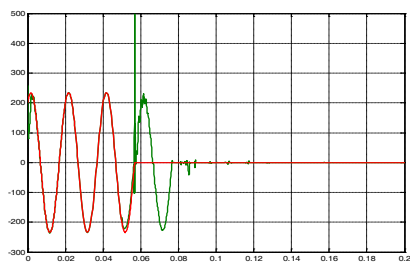
b. Mô hình Cassie:

Tương tự như mô hình Mayr, dựa trên phương trình Cassie ta cũng xây dựng nên mô hình máy cắt hồ quang Cassie ứng dụng để khảo sát ngắn mạch dựa trên phương trình.

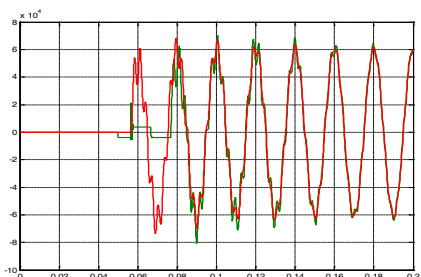
$$\frac{dx(1)}{dt} = \frac{u(2)}{\tau} \left[\frac{x(1) \cdot u(1)^2}{u_c^2} - 1 \right] \quad (18)$$

$$y = x(1) \cdot u(1)$$

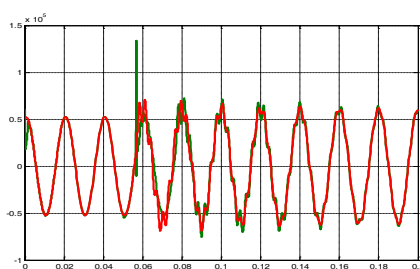
Thông số $U_{C \text{ phụ}}$ thuộc vào thời gian τ của hồ quang



Hình 11a. Đáp ứng dòng điện



Hình 11b. Đáp ứng điện áp trên máy cắt



Hình 11c. Đáp ứng điện áp cuối đường dây

c. Mô hình Habedank:

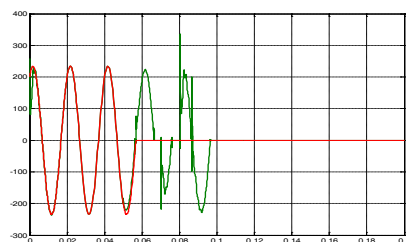
Kết hợp phương trình Cassie và Mayr ta xây dựng nên mô hình mới có độ chính xác cao để khảo sát quá độ trong hệ thống.

$$\frac{dg_c}{dt} = \frac{1}{\tau_c} \left[\frac{v^2 g^2}{v_c^2 g_c} - g_c \right] \quad (19)$$

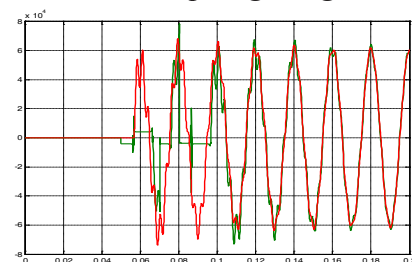
$$\frac{dg_m}{dt} = \frac{1}{\tau_m} \left[\frac{v^2 g^2}{P_0} - g_m \right] \quad (20)$$

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{g_c} + \frac{1}{g_m} \quad (21)$$

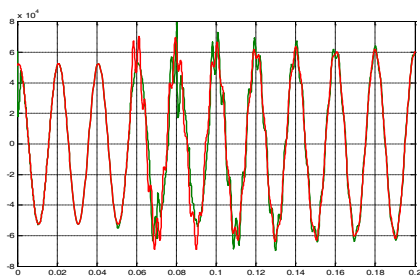
Tương tự như hai mô hình trên các thông số U và P được xác định từ các thí nghiệm [4, 5].



Hình 12a. Đáp ứng dòng điện



Hình 12b. Đáp ứng điện áp trên máy cắt

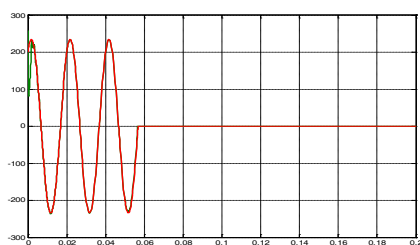


Hình 12c. Đáp ứng điện áp cuối đường dây

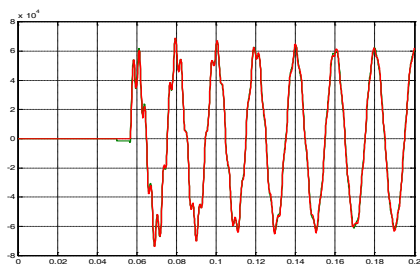
d. Mô hình Schavemaker:

Trong mô hình này ta tính đến ảnh hưởng của áp suất và loại vật liệu dập hồ quang.

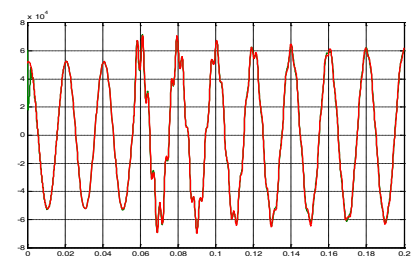
$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{d \ln g}{dt} = \frac{1}{\tau} \left[\frac{vi}{P(P_0 + C_i|i|)} - 1 \right] \quad (22)$$



Hình 13a. Đáp ứng dòng điện



Hình 13b. Đáp ứng điện áp trên máy cắt



Hình 13c. Đáp ứng điện áp cuối đường dây

Nhận xét: Kết quả mô phỏng của các mô hình hồ máy cắt cải tiến cho thấy ảnh hưởng

của hồ quang đến dòng điện khi ngắn mạch. Với mô hình kết hợp giữa phương trình Cassie và Mayr cho kết quả đáp ứng chính xác hơn. Tuy nhiên đối với các mô phỏng không xét đến ảnh hưởng của hồ quang trong thời gian ngắn và không đòi hỏi chính xác cao thì ta có thể sử dụng các mô hình máy cắt khác.

V. KẾT LUẬN

- Mô hình phi tuyến máy biến áp tính đến thành phần tụ liên lạc giữa các cuộn dây trong máy biến áp, cấu trúc của lõi từ góp phần nâng cao kết quả mô phỏng tính toán quá độ ở tần số cao.

- Mô hình máy cắt hồ quang đã xét đến ảnh hưởng của hồ quang điện đến sự méo dạng của dòng điện cắt và ảnh hưởng của môi trường dập hồ quang của máy cắt đến quá trình phát sinh hồ quang. Đặc biệt mô hình Hadedank đã kết hợp được các ưu điểm của phương trình Cassi và Mayr nên cho kết quả mô phỏng rất chính xác.

- Các mô hình được giới thiệu có tính chất gần như các thiết bị thật nên có thể được dùng trong các mô phỏng đòi hỏi chính xác cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

J. A. Martinez, J. Mahseredjian, and B. Khodabakhchian, "Parameter Determination for Modeling System Transients—Part VI: Circuit Breakers," *IEEE Transactions On Power Delivery* — 2005.

J. A. Martinez, R. Walling, B. A. Mork, J. Martin-Arnedo, "Parameter Determination for Modeling System Transients - Part III: Transformers," *IEEE Transactions On Power Delivery* — 2005.

Lâm Du Sơn, *Mô hình hóa phần tử phi tuyến trong nghiên cứu quá trình quá độ điện từ của hệ thống điện*, Đại Học Bách Khoa Thành Phố Hồ Chí Minh — 1998.

Niklas Gustavsson, *Evaluation and*

Simulation of Black-box Arc Models for High Voltage Circuit-breaker — 2004.

P. Sarma Maruvada, N. Hylten-Cavallius, “Capacitance Calculations For Some Basic High Voltage Electrode

Configuration,” *IEEE Transactions On Power Apparatus and Systems* – October 1975.

P.H. Schavemaker, *Arc Model Blockset, Delft University of Technology* – 2002.