

THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN MỨC ĐỘ BẢO HÒA CỦA BIẾN DÒNG ĐIỆN

Lê Kim Hùng¹, Vũ Phan Huân^{2*}

¹Trường ĐH Bách khoa, Đại học Đà Nẵng;

²Công ty TNHH MTV Thí nghiệm điện Miền Trung

TÓM TẮT

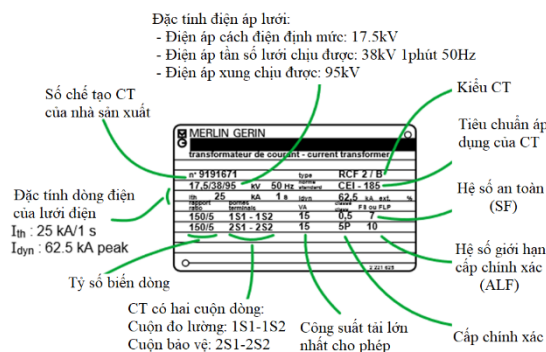
Mục đích của bài báo là đề xuất cách xây dựng mô hình toán học biến dòng điện (CT) trong phần mềm Matlab Simulink dựa trên cơ sở khoa học được trình bày bởi Ủy ban role bảo vệ hệ thống điện của IEEE (PSRC) và kết quả thử nghiệm thực tế CT 22 kV loại 200/1A 5P20 20 VA tại Nhà máy thủy điện Tiên Thuận bằng thiết bị Vanguard EZCT-2000. Bên cạnh đó, nhóm tác giả đã thực hiện mô phỏng, đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố như thành phần DC, tổng trở tải, và độ lớn dòng điện sự cố đến sai số, mức độ bảo hòa của CT nhằm khuyến nghị dùng loại CT phù hợp, đặc biệt trong lĩnh vực role bảo vệ. Kết quả bài báo sẽ giúp các nhà nghiên cứu, vận hành có được thông tin dòng điện sự cố trực quan nhằm phục vụ công tác phân tích, báo cáo và xác định đúng nguyên nhân bảo hòa CT về mặt lý thuyết và thực nghiệm.

Từ khóa: Đường dây truyền tải điện; biến dòng điện; đặc tính từ hóa V-A; thành phần DC; Matlab Simulink

MỞ ĐẦU

Độ tin cậy của hệ thống role bảo vệ (RLBV) phụ thuộc vào sự làm việc chính xác của thiết bị đo lường. Trong đó, phần tử biến dòng điện (CT) là thiết bị đóng vai trò quan trọng trong việc dùng để chuyển đổi dòng điện nhất thứ có giá trị lớn sang dòng điện nhí thứ (định mức 1A, hoặc 5A) phù hợp cho công đồng đầu vào của đồng hồ đo lường và RLBV. Các CT ngăn lộ được lựa chọn dựa trên thông số kỹ thuật cơ bản của hãng sản xuất ghi trên nhãn, ví dụ như hình 1. Ngoài ra, CT còn có tài liệu kỹ thuật về thông số đặc tính bảo hòa V-A của từng cuộn dây đi kèm để đơn vị quản lý vận hành thí nghiệm định kỳ trong suốt thời gian làm việc của thiết bị. Hầu hết các CT được thiết kế làm việc ở điều kiện mang tải bình thường, điểm làm việc nằm thấp hơn điểm gãy của đặc tính V-A. Nếu sự cố có sự tham gia của thành phần DC trong dòng điện nhất thứ càng lớn thì sẽ làm tăng nhanh quá trình bảo hòa. Khi CT bảo hòa, điểm làm việc nằm trên đường cong phi tuyến của đặc tính (cao hơn điểm gãy), làm cho dòng điện thứ cấp bị méo dạng và có sai số lớn [1].

Trong thực tế vận hành, khi phân tích và đọc bản ghi sự cố từ RLBV thì câu hỏi đặt ra là giá trị dòng nhất thứ chính xác bằng bao nhiêu thì CT bị bảo hòa. Vấn đề này, cho đến nay vẫn chưa được các chuyên gia thí nghiệm giải đáp thỏa đáng, do còn hạn chế về mặt thiết bị thử nghiệm bơm dòng điện nhất thứ có giá trị lớn ngay tại công trường là trạm biến áp, nhà máy. Ví dụ CT 200/1 loại 5P20 thì yêu cầu thiết bị bơm kiểm tra giá trị dòng điện nhất thứ > 4kA sẽ cho sai số > 5%.



Hình 1. Thông số biến dòng điện MERLIN GERIN

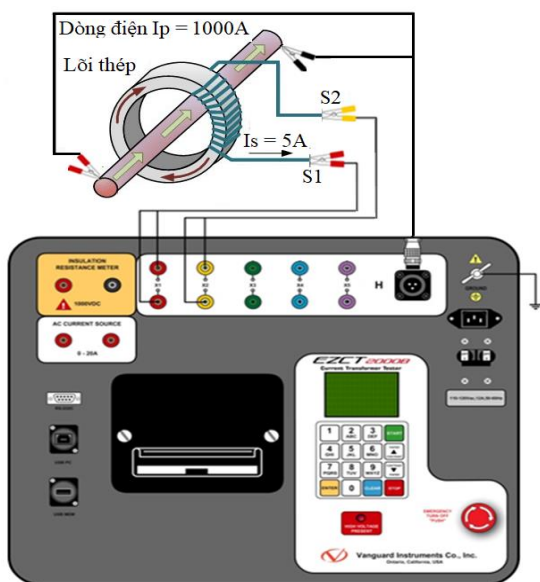
Bên cạnh đó, các tài liệu mô phỏng khối CT bảo hòa (Saturable Transformer) trong thư viện “Simulink Library/Simscape/Simpower System/Element” chưa được hãng phần mềm Matlab giải thích rõ ràng và cụ thể về cách tính chọn thông số cài đặt như “Saturation

* Tel: 0983 421980, Email: vuphanhuan@gmail.com

characteristic”, và “Core loss resistance and initial flux”. Cho nên hầu hết các nghiên cứu đã công bố trong [2-3] chỉ dừng lại ở việc thay đổi tỷ số biến hoặc sử dụng lại chính CT trong ví dụ điển hình mà Matlab đưa ra nên chưa phù hợp với yêu cầu áp dụng vào thực tế.

Để giải quyết vấn đề này, bài báo dựa trên kết quả thử nghiệm đặc tính V-A của từng loại CT trong thực tế để xây dựng mô hình toán học CT bằng phần mềm Matlab Simulink. Sau đó, đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố (phụ tải, thành phần DC, độ lớn dòng điện sự cố) đến cấp chính xác, tỷ số biến dòng và từ hóa của CT.

THỬ NGHIỆM BIẾN DÒNG ĐIỆN



Hình 2. Sơ đồ đấu nối thử nghiệm CT

Trước khi đóng điện đưa vào vận hành, CT cần được tiến hành thử nghiệm đánh giá chất lượng để xem đạt yêu cầu kỹ thuật theo chuẩn thiết kế hay không. Do đó, các thiết bị được Công ty TNHH MTV Thí nghiệm điện Miền Trung (CPC ETC) chuẩn bị gồm có Megôm Kyoritsu 3121, Máy đo V-A EZCT-2000, Máy đo 1 chiều OM16, và máy thử cao thế AID70 nhằm phục vụ cho việc thực hiện các hạng mục như đo điện trở cách điện ở 2,5 kV_{DC} cho cuộn sơ cấp và 500V_{DC} cho cuộn

thứ cấp, kiểm tra đặc tính từ hóa, kiểm tra cực tính, đo điện trở một chiều cuộn dây thứ cấp, đo tỷ số biến dòng, thử cao thế xoay chiều tần số 50Hz cho cuộn sơ cấp...

Giả sử với sơ đồ đấu nối các đầu ra nhị thứ và đầu vào nhất thứ của CT 5P20 200/1A 20VA cho bộ EZCT-2000 tại xuất tuyến 22 kV ở NMTĐ Tiên Thuận, tỉnh Bình Định như hình 2, chúng ta tiến hành cài đặt thông số cho bộ EZCT-2000 để thử nghiệm và xuất kết quả thu được ra máy in nhiệt với các số liệu sau:

Giá trị điểm gãy theo chuẩn IEC 10/50:

$$V_{pk} \approx 203,88V, I_{pk} = 0,0206A$$

Tỷ số biến CT: 199,652/1A

Sai số tỷ số biến: 0,174%

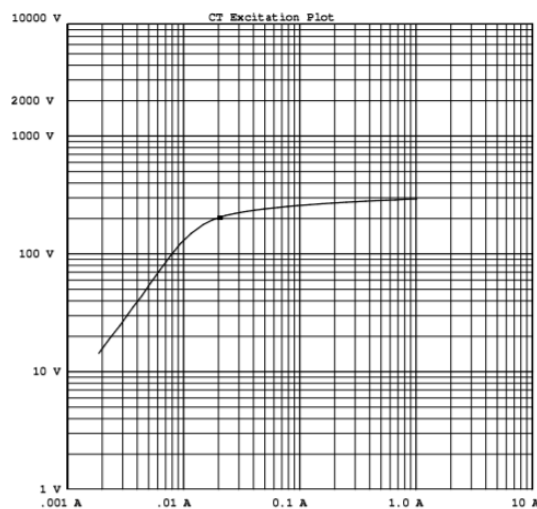
$$Ex V = 123,7V, Ex I = 0,01A$$

Góc pha: - 0,06°

Cực tính CT: In Phase

Điện trở cuộn dây: 2,91Ω

Bởi vì hạn chế của thiết bị nên khi thí nghiệm đặc tính từ hóa, EZCT-2000 chỉ bơm dòng nhị thứ đến ngưỡng dòng 1A và kết quả đường cong từ hóa biểu diễn mối quan hệ giá trị của điện áp kích thích (v_c) và dòng điện kích thích (i_c) được trình bày cụ thể trên bảng 1, và hình 3.



Hình 3. Đặc tính từ hóa CT thử nghiệm

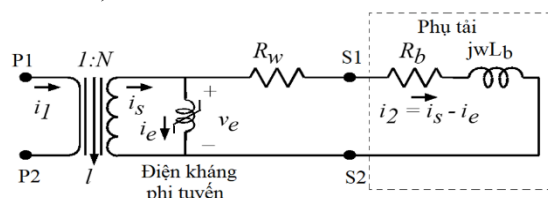
Bảng 1. Kết quả kiểm tra CT

TT	Curent [A]	Voltage [V]	Z [Ω]
1	0,001	6,51	6510,0
2	0,002	15,78	7890,0
3	0,004	39,39	9847,5
4	0,005	53,64	10728,0
5	0,008	100,86	12607,5
6	0,01	129,59	12959,0
7	0,02	201,70	10085,0
8	0,04	234,08	5852,0
9	0,05	241,04	4820,80
10	0,08	253,02	3162,75
11	0,1	257,83	2578,3
12	0,2	271,18	1355,9
13	0,4	281,61	704,02
14	0,5	284,64	569,28
15	0,8	290,73	363,41
16	1,0	293,66	293,66

MÔ HÌNH THAY THẾ BIẾN DÒNG ĐIỆN

Mô hình mạch điện thay thế CT

Mô hình mạch điện thay thế CT do Ủy ban bảo vệ hệ thống điện của IEEE (PSRC) trình bày cho ở hình 4 gồm có: CT lý tưởng (cuộn dây sơ cấp P1-P2 có 1 vòng dây nên có thể bỏ qua tổng trở phía sơ cấp, cuộn thứ cấp có N vòng dây) nối song song với cuộn cảm phi tuyến đặc trưng bởi mối quan hệ giữa từ thông chính móc vòng qua các cuộn dây; đầu ra S1-S2 và phụ tải (Đồng hồ, role, bộ chỉ thị sự cố...).



Hình 4. Mô hình mạch điện thay thế CT

Các ký hiệu bao gồm:

i_1 : dòng điện nhất thứ [A]

N: tỷ số biến dòng

$i_s = i_1/N$: dòng điện thứ cấp lý tưởng [A]

$i_2 = i_s - i_e$: dòng điện thứ cấp [A]

R_w : điện trở cuộn dây [Ω]

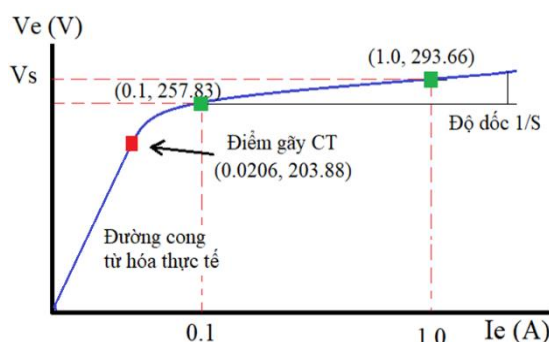
R_b : điện trở tải [Ω]

$R_t = R_w \pm R_b$

L_b : điện kháng tải [H]

Tính toán sai số CT được thực hiện theo các bước sau:

Bước 1: Tìm độ dốc đặc tính 1/S



Hình 5. Tìm độ dốc trên đặc tính CT

Sau khi có được đặc tính V-A thực tế của CT, chúng ta thực hiện tìm độ dốc (1/S) của đoạn đặc tính nằm ở phần trên của đường cong bão hòa như hình 5, được xét từ điểm (0,1, 257,83) đến điểm (1,0, 293,66) theo công thức tính [4]:

$$V_e = V_s \times I_e^{1/S} \tag{1}$$

Trong đó: S được định nghĩa là nghịch đảo của độ dốc 1/S cần tìm sao cho thỏa mãn điều kiện ràng buộc: $15 \leq S < 25$

Như vậy, với $V_e = 257,83V$, $I_e = 0,1A$, $V_s = 293,66V$, ta có $S = 18$.

Bước 2: Tính từ thông liên kết λ

Mối quan hệ giữa λ và v_e theo định luật Faraday, bỏ qua điện trở không đáng kể của cuộn dây thứ cấp R_w . Ta có [4]:

$$v_e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{-R_t \times i_e + R_t \times i_s + L_b \times \frac{di_s}{dt}}{1 + L_b \times A \times S \times |\lambda|^{S-1}} \tag{2}$$

$$\lambda = \int v_e dt \tag{3}$$

Bước 3: Tính dòng điện từ hóa i_e

Mối liên hệ đặc tính phi tuyến giữa i_e và λ được viết dưới dạng [4]:

$$i_e = A \times |\lambda|^S = A \times \left[\frac{\sqrt{2}V_e}{\omega} \times \sin(\omega t) \right]^S \tag{4}$$

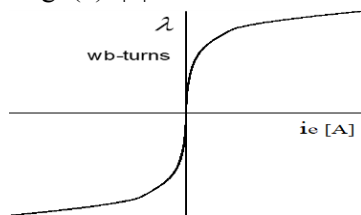
Giá trị hiệu dụng tính được:

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_e^2 dt} = A \times \left[\frac{\sqrt{2}V_e}{\omega} \right]^S \times \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^{2S}(\omega t) dt} \tag{5}$$

Từ (5), ta xác định được hệ số $A = 0,0181$ thông qua điểm $I_e = 1 \text{ A}$, $V_e = 293,66 \text{ V}$.

Để đảm bảo tính đối xứng cho đặc tính i_e và λ như ở hình 6 khi S là số lẻ, ta thêm vào biểu thức (4) dấu của từ thông $\text{sgn}(\lambda)$:

$$i_e = A \times \text{sgn}(\lambda) \times |\lambda|^S \tag{6}$$



Hình 6. Đặc tính từ hóa i_e và λ

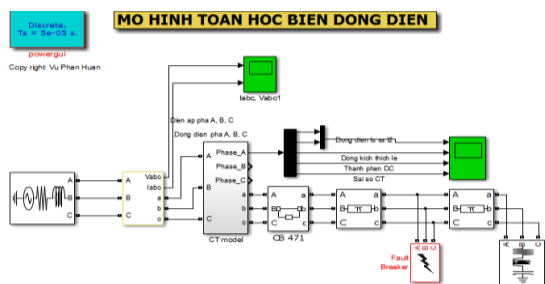
Bước 4: Tính sai số CT

$$e = \frac{i_e}{i_s} \times 100\% \tag{7}$$

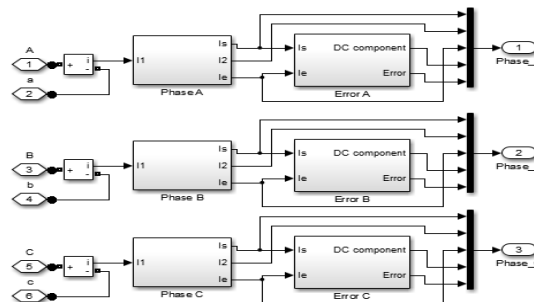
Nhận xét: Công thức (2), (3), (6), (7) giúp chúng ta hiểu biết đầy đủ về nguyên nhân gây ra sai số CT:

- Dòng điện i_e càng cao, sai số CT càng lớn.
- Nếu điện trở tải tăng hoặc dòng điện nhất thứ i_1 tăng cao, dẫn đến v_e tăng, làm cho i_e tăng, và sai số của CT tăng theo.

Xây dựng mô hình biến dòng điện bằng Matlab Simulink



Hình 7a. Mô hình hệ thống điện mô phỏng



Hình 7b. Mô hình biến dòng 3 pha

Mô hình hóa CT mang ý nghĩa đặc biệt quan trọng vì độ bão hòa CT làm ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của RLBV. Việc xây dựng mô hình toán học CT dựa trên phần mềm Matlab Simulink cho phép người dùng sử dụng thư viện SimPower System để dàng tích hợp trực tiếp vào hệ thống điện nghiên cứu, ví dụ với cấu trúc như ở hình 7 gồm có các phần tử:

- Đường dây 22 kV.
- Khối máy cắt 3 pha
- Khối thu thập dữ liệu dòng điện và điện áp 3 pha.
- Khối hiển thị: dạng sóng dòng điện, điện áp sự cố, i_s , i_2 , thành phần DC, và sai số.
- Khối sự cố ba pha: dòng điện sự cố trong hệ thống điện thực tế luôn chứa các đại lượng biến thiên thành phần DC phụ thuộc vào góc sự cố và tỷ số X/R của hệ thống. Thành phần DC lớn nhất khi góc khởi tạo sự cố là -90^0 hoặc 90^0 và DC thấp nhất là 0^0 hoặc 180^0 . Khi tỷ số X/R của hệ thống trong khối nguồn tăng lên thì thời gian làm cho thành phần DC suy giảm về giá trị 0 sẽ bị giữ lâu hơn [5].
- Khối biến dòng ba pha đề xuất (CT Model) được xây dựng từ công thức (1) đến (7). Giả sử CT có 3 pha A, B, C cùng chủng loại với đặc tính gần giống nhau. Cho nên, ta chỉ cần trình bày kết quả dạng sóng của pha A.

KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

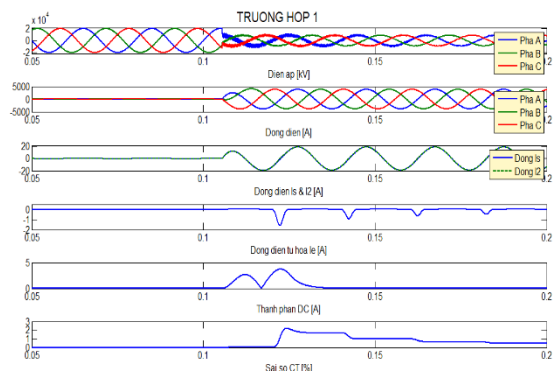
Mục đích chính của mô phỏng tình trạng sự cố trong hệ thống điện nhằm tạo ra dòng điện nhất thứ sự cố ba pha có giá trị lớn, và để kiểm tra, đánh giá mô hình toán học CT đã được xây dựng theo tiêu chuẩn IEEE C37.110-2007 đối với các tình huống xảy ra, nhằm tránh bị bão hòa AC và DC theo các phương trình (8), (9) tương ứng dưới đây [6]:

$$V_s > i_s \times (R_w + Z_b) \tag{8}$$

$$V_s > (1 + X/R) \times i_s \times (R_w + Z_b) \tag{9}$$

Ta xét 04 trường hợp sự cố gây ra hiện tượng bảo hòa CT như sau:

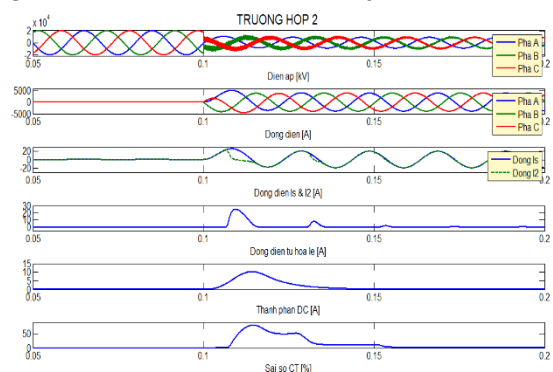
Trường hợp 1: xảy ra sự cố pha với dòng điện nhất thứ bằng 20 lần dòng nhất thứ định mức (4 kA), tại thời điểm 0.105 s (thành phần DC có giá trị bé 4A), $Z_b = 15 + j2 \Omega$.



Hình 8. Kết quả sự cố trong trường hợp 1

Nhận xét: dạng sóng trình bày trên hình 8 cho thấy dòng điện i_2 không bị méo dạng, gần trùng với dòng điện i_s , CT có sai số < 3%.

Trường hợp 2: xảy ra sự cố với dòng điện nhất thứ bằng 20 lần dòng nhất thứ định mức (4 kA), tại thời điểm 0,1 s (thành phần DC có giá trị lớn 10,15 A), $Z_b = 15 + j2 \Omega$.

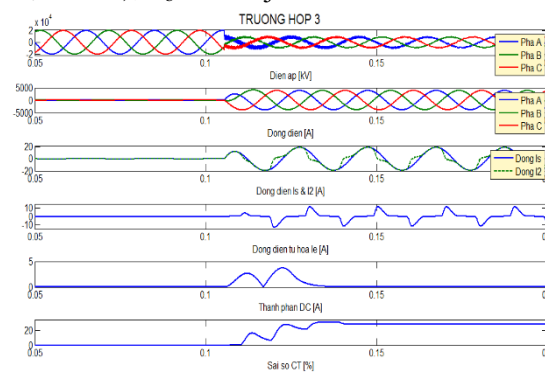


Hình 9. Kết quả sự cố trong trường hợp 2

Nhận xét: hình 9 cho thấy dòng điện i_2 bị méo dạng so với dòng i_s do có sự tham gia của thành phần DC tồn tại trong khoảng thời gian từ 0,1s đến 0,15s (tỷ số X/R = 10), và làm cho sai số CT lớn nhất 80%.

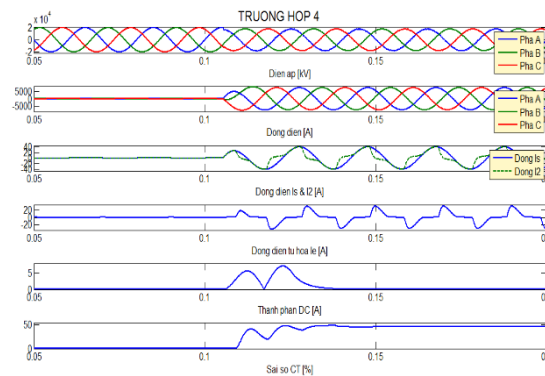
Trường hợp 3: sự cố với dòng điện nhất thứ bằng 20 lần dòng nhất thứ định mức (4kA),

tại thời điểm 0,1055 s (thành phần DC có giá trị bé 4 A), $Z_b = 25 + j2 \Omega$.



Hình 10. Kết quả sự cố trong trường hợp 3

Nhận xét: hình 10 cho thấy dòng điện i_2 bị méo dạng so với dòng i_s do tác động của tải lớn, và làm cho sai số CT lớn nhất 30%.



Hình 11. Kết quả sự cố trong trường hợp 4

Trường hợp 4: sự cố với dòng điện nhất thứ bằng 40 lần dòng nhất thứ định mức (8 kA), tại thời điểm 0,105 s (thành phần DC có giá trị bé 4 A), $Z_b = 15 + j2 \Omega$.

Nhận xét: kết quả trình bày ở hình 11 cho thấy dòng điện i_2 bị méo dạng so với dòng i_s do tác động của dòng điện sự cố lớn, và làm cho sai số CT lớn nhất 47%.

KẾT LUẬN

Trong quá trình vận hành thực tế, dòng điện nhất thứ CT thay đổi từ dòng tải bình thường đến dòng sự cố mang giá trị lớn. Để tránh hiện tượng bảo hòa, CT được thiết kế và tính chọn sao cho điểm làm việc luôn nằm trong đoạn tuyến tính của đặc tuyến V-A. Bài báo đã phân tích và mô phỏng cho CT 22 kV tại NMTĐ Tiên Thuận trong trường hợp xảy ra sự cố với nhiều nguyên nhân khác nhau dẫn

đến CT bị bão hòa như dòng ngắn mạch chứa thành phần tín hiệu DC lớn hoặc tổng trở tải lớn. Khi CT bị bão hòa thì dạng sóng dòng điện i_2 bị méo dạng và bị sai khác so với dạng sóng dòng i_s , sai số CT tăng lên. Cho nên, việc biết được bão hòa mạch từ CT xảy ra khi nào, đường cong từ hóa của CT cao hay thấp sẽ giúp chúng ta biết được loại CT dùng có phù hợp với tiêu chuẩn thiết kế không. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu của bài báo có thể được sử dụng làm cơ sở để đánh giá ảnh hưởng bão hòa CT đến chức năng bảo vệ quá dòng, sai lệch và khoảng cách của rơle bảo vệ trong các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J. Duncan Glover, Thomas Overbye, Mulukutla S. Sarma (2012), "Power System Analysis and Design", Cengage Learning.

2. R. P. Pandey, R. N. Patel (2014), "A CT Saturation Detection Algorithm Using Secondary Current Third Difference Function", *International Journal of Engineering Development and Research*, Volume 2, Issue 2, pp. 2774 - 2779.
3. Thilepa R, Yogaraj J, Vinoth Kumar C S, Santhosh P K (2016), "Saturation Analysis on Current Transformer", *International Journal of Future Innovative Science and Technology*, Volume-2, Issue-2, May - 2016.
4. IEEE Power System Relaying and Control Committee, *CT Saturation Theory and Calculator*, truy cập tại trang <http://www.pes-psrc.org>.
5. Jan Machowski, Janusz Bialek, Jim Bumby (2008), "Power System Dynamics: Stability and Control", John Wiley & Son Ltd.
6. IEEE C37.110-2007, "IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes", *IEEE Power Engineering Society*, 7 April 2008.

ABSTRACT

TESTING AND EVALUATION OF FACTORS AFFECTING THE CURRENT TRANSFORMER SATURATION

Le Kim Hung¹, Vu Phan Huan^{2*}

¹University of Science and Technology Da Nang;

²Center Electrical Testing Company Limited

The purpose of this paper proposes the building of a mathematical current transformer model (CT) in the Matlab Simulink software that based on the CT Saturation Theory and Calculator presented by the IEEE Power System Relaying and Control Committee (PSRC) and the practical testing results of CT 22kV 200/1A 5P20 20VA at Tien Thuan Power Plant by Vanguard EZCT-2000 device. In addition, the authors perform favorable simulation, evaluating the effect of factors such as DC component, load burden, and fault current which make error ratio, CT saturation. It recommends using appropriate CT, especially in the field of protection relay. The results of the article can help researchers to have visual information about fault current value for analyzing, reporting and identifying the cause of CT saturation, both theoretically and practically.

Keywords: *Transmission line; Current transformer; Saturation characteristic V-A; DC component; Matlab Simulink*

Ngày nhận bài: 12/11/2018; Ngày hoàn thiện: 27/11/2018; Ngày duyệt đăng: 30/11/2018

* Tel: 0983 421980, Email: vuphanhan@gmail.com