

CỘNG HƯỞNG SẮT TỪ TRÊN LƯỚI PHÂN PHỐI KHI CÓ DG

FERROMAGNETIC RESONANCE IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH DG

Vũ Đình Tài,
Phan Thị Thanh Bình

TÓM TẮT

Trong lưới điện phân phối, khi DG (Distributed Generator) kết nối với máy biến thế qua cáp ngầm, các sự cố hở mạch 1 pha, 2 pha do thao tác không đồng pha thường là nguyên nhân gây nên cộng hưởng sắt từ do tính chất phi tuyến của dòng từ hoá máy biến thế. Bài báo này đề cập đến việc xác định đường cong của dòng từ hoá qua số liệu thí nghiệm không tải máy biến áp để giải mạch điện phi tuyến bằng phương pháp hài cân bằng. Từ đó xác định các giá trị tới hạn của E, R, C để tránh hiện tượng cộng hưởng sắt từ xảy ra khi hở mạch 1 pha, 2 pha.

ABSTRACT

In power distribution networks, when DG is connected to transformers by underground cable, the incidents of one-phase or two-phase open circuit due to dephased operation are usually the cause of ferromagnetic resonance by the nonlinear of the magnetizing current transformers. This paper refers to the determination of the parameters exciting current from the experimental data do not load transformers to solve nonlinear circuit with method comedy balance. It goes on to determine the critical value of E, R, C to avoid the phenomenon of ferromagnetic resonance in one-phase or two-phase open circuit.

Keywords: distributed generator, ferroresonance, transformers.

I. GIỚI THIỆU

Về bản chất, hiện tượng cộng hưởng sắt từ cũng là hiện tượng cộng hưởng, tuy nhiên, đối với máy biến thế thì xảy ra nhiều hơn các thiết bị khác do lõi được làm bằng vật liệu bảo hoà từ, vì vậy khả năng gây ra cộng hưởng không phải ứng với một giá trị C xác định mà ứng với một khoảng giá trị C nào đó. Trong suốt thời gian cộng hưởng điện dung và điện cảm cân bằng với giá trị ngược nhau, điều này làm cho giá trị dòng điện chỉ bị giới hạn bởi điện trở của hệ thống, kết quả là giá trị dòng điện/điện áp có giá trị cao bất thường.

Các hiện tượng như thao tác không đồng pha, đóng/cắt máy biến áp, đóng/cắt tải, thao tác các thiết bị bảo vệ, hay một số quá trình quá độ đều có thể là nguyên nhân gây nên cộng hưởng sắt từ. Khi cộng hưởng sắt từ xảy ra thường có các dấu hiệu như: quá điện áp, máy biến áp có tiếng ồn rất lớn, quá nhiệt, hư hỏng thiết bị bảo vệ chống quá điện áp.

Bài báo trình bày cách xác định các giá trị tới hạn dựa trên các thông số mạch, thí nghiệm

không tải máy biến áp bằng ngôn ngữ lập trình matlab. Từ kết quả thu được xem xét, đánh giá và đưa ra kết luận để điều chỉnh các thông số cần thiết để tránh hiện tượng cộng hưởng sắt từ trong việc thiết kế, bảo vệ và vận hành DG khi kết nối.

II. TÍNH TOÁN CỘNG HƯỞNG SẮT TỪ

1. Phương pháp cân bằng hoạ tần

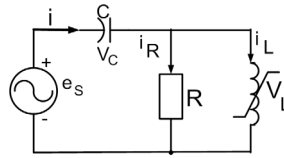
Dựa vào đặc tính từ hoá của máy biến áp, theo [1], [2] ta có

quan hệ dòng điện từ thông:

$$i = a\phi + b\phi^n \quad (1)$$

với: - $a\phi$: thành phần tuyến tính

- $b\phi^n$: thành phần phi tuyến



Hình 1 Sơ đồ mạch

Phương trình vi phân của Hình 1

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{d\phi}{dt} + \frac{1}{C}(a\phi + b\phi^n) = \omega_s \cdot E \cos \omega_s t \quad (2)$$

Đề đơn giản, ký hiệu: $\frac{d^2\phi}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{d\phi}{dt} + \omega_0^2\phi + \omega_2^2\phi^n = \omega_s \cdot E \cos \omega_s t$ (3)

với $\omega_0 = \sqrt{\frac{a}{C}}$; $\omega_2 = \sqrt{\frac{b}{C}}$; ω_s là tần số nguồn (4)

Đối với cộng hưởng sắt từ tần số cơ bản, lời giải chung cho phương trình (2) có thể viết:

$$\phi(t) = \phi \sin(\omega_s t + \theta) \quad (5)$$

Biểu diễn phương trình (5) thành các hạng tử sin và cos:

$$\phi(t) = \phi_x \sin \omega_s t + \phi_y \cos \omega_s t \quad (6)$$

với: $\phi_x = \phi \cos \theta$, $\phi_y = \phi \sin \theta$ và $\phi_x^2 + \phi_y^2 = \phi^2$ (7)

Thay $\phi(t)$ ở (5) vào (2) ta thấy xuất hiện các số hạng $\phi^n = \phi^n \sin^n(\omega_s t + \theta)$. Hàm sin bậc lẻ có thể được biểu diễn bằng tích các bậc lẻ:

$$\phi^n \sin^n(\omega_s t + \theta) = k_1 \sin(\omega_s t + \theta) + k_3 \sin[3(\omega_s t + \theta)] + \dots + k_n \sin[n(\omega_s t + \theta)] \quad (8)$$

Với $k_1 = \frac{(-1)^{n-1}}{2^{2n-1}} \binom{n}{\frac{n-1}{2}}$ (9)

Do không thể cân bằng các số hạng hoạ tần sin nên phương trình (10) không thể giải một cách chính xác được, ta có thể giải được một cách xấp xỉ bằng phương pháp cân bằng hoạ tần của Ritz bằng cách bỏ qua các số hạng hoạ tần $+\omega_2^2\phi^n \{ \dots \}$ trong (12) ta được

$$\begin{aligned} k_1 \omega_2^2 \phi^n \sin(\omega_s t + \theta) &= k_1 \omega_2^2 \phi^{n-1} [(\phi \cos \theta) \sin \omega_s t + (\phi \sin \theta) \cos \omega_s t] \\ &= k_1 \omega_2^2 \phi^{n-1} (\phi_x \sin \omega_s t + \phi_y \cos \omega_s t) \end{aligned}$$

Thay vào (12) và đồng nhất các phần tử sin, cos ta được:

$$\left[-(\omega_s^2 - \omega_0^2) + k_1 \omega_2^2 \phi^{n-1} \right] \phi_x - \frac{\omega_s}{RC} \phi_y = 0 \quad (10)$$

$$\left[-(\omega_s^2 - \omega_0^2) + k_1 \omega_2^2 \phi^{n-1} \right] \phi_y - \frac{\omega_s}{RC} \phi_x = \omega_s E \quad (11)$$

Từ phương trình (10) – (11) xác định được giá trị ϕ_x , ϕ_y . Do đó, từ (6) – (7) ta tính được từ thông $\phi(t)$ của máy biến áp cũng như các họa tần và dưới họa tần theo phương pháp chung đó một cách tương tự.

$$\text{Sắp xếp lại: } (k_1^2 \omega_2^2) \phi^{2n} - 2(\omega_s^2 - \omega_0^2) k_1 \omega_2^2 \phi^{n+1} + \left[(\omega_s^2 - \omega_0^2)^2 + \frac{\omega_s^2}{(RC)^2} \right] \phi^2 - \omega_s^2 E^2 = 0 \quad (12)$$

2. Các nghiệm cơ bản trên đồ thị

Từ phương trình (11) – (12) ta xác định được các thành phần cơ bản của từ thông máy biến thế trong mạch hình 3, điều này rất thuận lợi để đưa ra những vị trí hình học tại những điểm làm việc. Khảo sát ảnh hưởng các thông số mạch e_s , C, R tại các điểm làm việc và cộng hưởng sắt từ.

Đặt $\xi = \phi^2$ ta được phương trình $\xi^n - p_2 \xi^{(n-1)/2} + p_1 \xi - p_0 = 0$ (13) với:

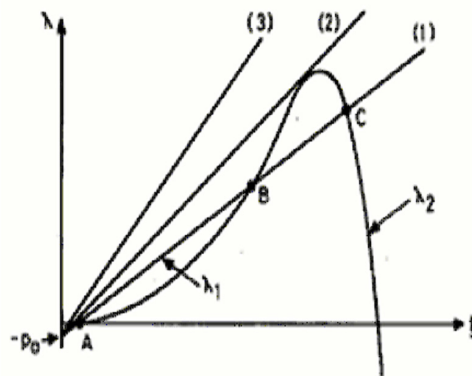
$$p_1 = \frac{(\omega_s^2 - \omega_0^2)^2 + \left(\frac{\omega_s}{RC}\right)^2}{(k_1 \omega_2^2)^2} \quad (14); \quad p_2 = \frac{2(\omega_s^2 - \omega_0^2)}{k_1 \omega_2^2} \quad (15); \quad p_0 = \frac{\omega_s^2}{(k_1 \omega_2^2)^2} E^2 \quad (16)$$

Biểu đồ hình học về kết quả thông số cho ta cái nhìn tốt hơn về giới hạn an toàn của các vùng làm việc. Từ phương trình (14) ta có giao điểm của hàm tuyến tính λ_1 với hàm phi tuyến λ_2 như sau:

$$\lambda_1 = p_1 \xi - p_0 \quad (17)$$

$$\lambda_2 = p_2 \xi^{(n-1)/2} - \xi^n \quad (18)$$

Hình vẽ cho thấy đồ thị của hàm λ_2 với vài trường hợp của hàm λ_1 thể hiện trong hình 2



Hình 2 Đồ thị kết quả của mạch $\phi = +\sqrt{\xi}$

Từ đường cong (1) của λ_1 có 3 điểm làm việc A, B và C:

— A, C: điểm làm việc ổn định.

— B: điểm không ổn định (chỉ một sự thay đổi nhỏ tại B sẽ làm dịch chuyển điểm làm việc tới A, C).

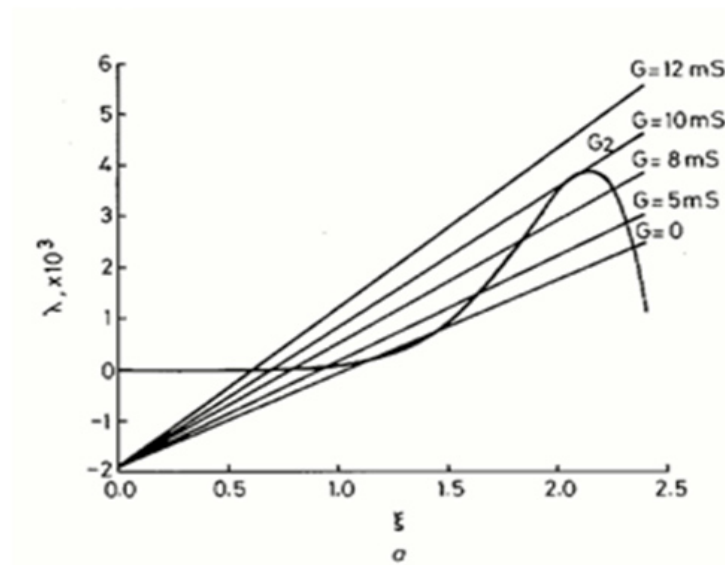
Điểm C ở trạng thái cộng hưởng sắt từ, điểm A ở vị trí làm việc bình thường

— Đồ thị (2) của λ_1 có thể gây ra cộng hưởng sắt từ nhưng không kéo dài.

— Đồ thị (3) của λ_1 không gây ra cộng hưởng sắt từ

Ảnh hưởng của các thông số E_s , R, C đến các vùng làm việc có thể gây ra cộng hưởng sắt từ của hệ thống được khảo sát để giải quyết bài toán trên đồ thị

2.1 Giá trị tới hạn của tổn hao shunt



Hình 3. Ảnh hưởng của tổn hao

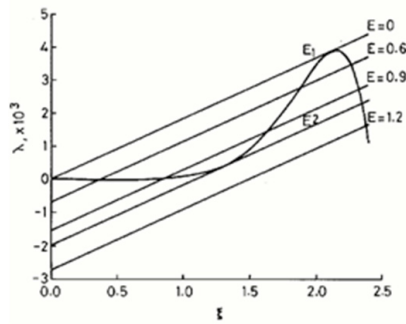
Giá trị tới hạn của G có thể tính bằng cách giải $\frac{dG}{d\xi} = 0$ trong phương trình (13) với ($G=1/R$).

$$G^2 = - \left[k_1^2 C^2 \frac{\omega_2^4}{\omega_s^2} \right] \xi^{n-1} + \left[2k_1 C^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_s^2} (\omega_s^2 - \omega_0^2) \right] \xi^{(n-1)/2} \quad (19)$$

Các hệ số p_0 , p_1 và p_2 xác định bởi các hàm trong hình 3. Độ dốc p_1 của λ_1 phụ thuộc vào tổn hao đồng.

Các đồ thị trong hình 3 tương ứng với các thông số thực của hệ thống kiểm tra với $E=1.0$ pu (đvtd). Tăng tổn hao (tăng G) sẽ làm tăng độ dốc của λ_1 , dựa trên giá trị của p_1 , giao điểm của λ_1 , λ_2 sẽ nằm ngoài vùng cộng hưởng sắt từ.

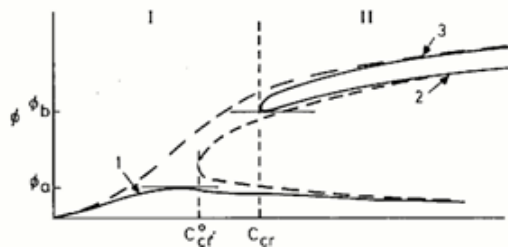
2.2 Giá trị tới hạn của điện áp nguồn



Hình 4. Ảnh hưởng của điện áp nguồn

Ta cũng có thể sử dụng việc phân tích đồ thị hình 4 để đánh giá ảnh hưởng của điện áp nguồn đến vùng hoạt động của mạch. Trong phương trình (18), (19), biên độ điện áp nguồn E chỉ ảnh hưởng đến thông số p_0 của λ_1 . Đường cong λ_2 không thay đổi và độ dốc của λ_1 cũng cố định. Hình 4 minh họa ảnh hưởng của E đến λ_1 khi dịch chuyển song song giá trị E .

2.3 Giá trị tối hạn của điện dung nối tiếp



Ta thấy khi thay đổi giá trị điện dung C sẽ ảnh hưởng đến các hệ số p_1 và p_2 trong phương trình (17) và (18) do đó ảnh hưởng đến cả λ_1 và λ_2 trong hình 2. Tương tự như các đường cong trước để tính G và E , ta cũng có đường cong biểu diễn Φ và C từ điều kiện ban đầu của mạch, đồ thị của ξ (hay $\Phi = +\sqrt{\xi}$) phụ thuộc vào C có dạng nét liền như Hình 5. Đường nét đứt là đường tiệm cận của Φ phụ thuộc vào C trong trường hợp không xét đến giá trị tắt dần ($G=0$).
Hình 5 Ảnh hưởng của điện dung

— Nhánh 1 trong hình 5 tương ứng với vùng tuyến tính Φ có giá trị nhỏ.

Nét liền: tắt dần; Nét đứt: không tắt dần

— Nhánh 2: vùng phi tuyến không ổn định.

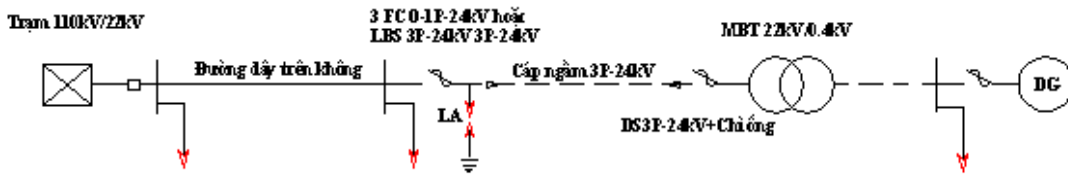
— Nhánh 3 tương ứng vùng phi tuyến cộng hưởng sắt từ.

Trong hình 5 điểm tiếp xúc thẳng đứng C_{cr} là giá trị của C tại Φ_b tương ứng với các vùng có thể hoạt động riêng rẽ của mạch. Với những giá trị C nhỏ hơn C_{cr} cộng hưởng sắt từ không xảy ra.

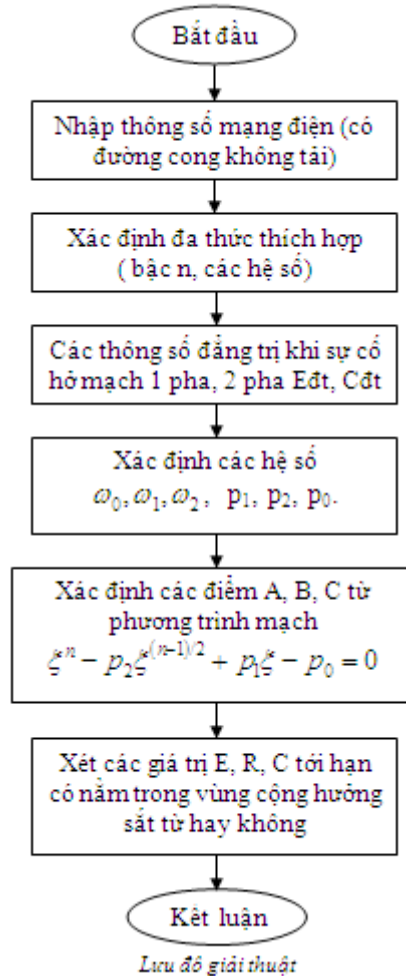
Đối với điện dung chỉ có 2 vùng hoạt động dương, trong vùng I chỉ có một kết quả duy nhất, còn trong vùng II luôn xảy ra cộng hưởng sắt từ.

Nếu điểm vận hành của hệ thống ở gần vùng diện tích này, một sự thay đổi rất nhỏ các thông số hệ thống có thể di chuyển điểm làm việc từ vùng an toàn sang vùng cộng hưởng sắt từ và ngược lại.

III. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN VÀ LƯU ĐỒ GIẢI THUẬT



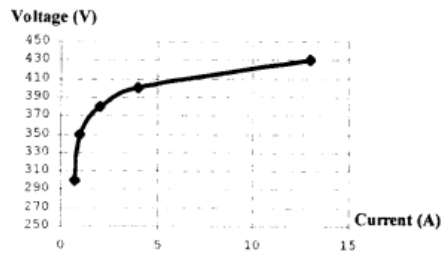
Hình 6: Sơ đồ tính toán cộng hưởng sắt từ.



Để đơn giản trong quá trình tính toán, xác định sự ảnh hưởng của các thông số R, C, E khi khảo sát hiện tượng cộng hưởng sắt từ do thao tác không đồng pha khi có kết nối DG. Bài báo này chỉ giới hạn khảo sát từ điểm đầu nối giữa cáp ngầm với đường dây trên không với máy biến thế Y- Δ và DG trong trường hợp:

. Sự cố do thao tác không đồng pha phía trung thế tại điểm đầu nối giữa cáp ngầm với đường dây trên không (hồ mạch 1 pha, 02 pha) khi máy biến thế không tải hoặc mang tải nhẹ, phía hạ áp 0,4kV do điện dung thường không đủ lớn nên không khảo sát.

Thông số mạch



- Thí nghiệm không tải: $I_0 = [2 \ 4.4 \ 11.5]$ (A); $U_0 = [0.85 \ 0.92 \ 1.075]$ (pu)

- $S=500\text{KVA}$, $U=22/0.4\text{kV}$, điện dung của cáp $C=0.41 \cdot 10^{-6}\text{F}$, $R=1\text{k}\Omega$, chiều dài $L=0.8\text{km}$, Tần số 50Hz

Kết quả

Tiến hành chạy phần mềm mô phỏng được lập trình bằng ngôn ngữ MATLAB cho trường hợp hồ mạch 1 pha và 2 pha, thu được kết quả các giá trị tới hạn E, R, C (Bảng1).

Từ kết quả tính toán trên, để tránh hiện tượng cộng hưởng sắt từ xảy ra khi có sự cố hồ mạch 1 pha, 2 pha hoặc do thao tác, khi thiết kế hoặc trong vận hành cần phải có biện pháp giảm chiều dài cáp xuống nhỏ hơn $L_{gh}=186\text{m}$, hoặc giảm giá trị điện dung tương đương sao cho nhỏ hơn C_{gh} .

Bảng 1

Kết quả tính toán	Hồ mạch 1 pha	Hồ mạch 1 pha	Kết luận
E _{gh} (pu)	2,8438	2,8438	$E < E_{gh}$: không cộng hưởng sắt từ
R _{gh} (Ω)	0,098783	0,049391	Nằm trong vùng cộng hưởng sắt từ
C _{gh} (F)	1,5256e-007	1,5256e-007	$C > C_{gh}$: cộng hưởng sắt từ
L _{gh} (km)	0,37209	0,18605	$L_{gh} < L$: cộng hưởng sắt từ

Từ kết quả tính toán trên, để tránh hiện tượng cộng hưởng sắt từ xảy ra khi có sự cố hồ mạch 1 pha, 2 pha hoặc do thao tác, khi thiết kế hoặc trong vận hành cần phải có biện pháp giảm chiều dài cáp xuống nhỏ hơn $L_{gh}=186\text{m}$, hoặc giảm giá trị điện dung tương đương sao cho nhỏ hơn C_{gh} .

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày mô hình, mô phỏng quá trình tính toán các giá trị tới hạn khi có sự cố hồ mạch 1 pha, 2 pha, từ đó có thể điều chỉnh các thông số mạch để tránh hiện tượng cộng hưởng sắt từ trong việc thiết kế, vận hành lưới phân phối khi kết nối DG.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

J.R. Marti, A.C. Soudack, "Ferroresonance in Power Systems: Fundamental Solution," IEE Proceedings - C, Vol. 138, No. 4, pp. 321-329, July 1991.

John J. Winders, Jr., *Power Transformers Principles and Applications*, 2002, Marcel Dekker, Inc.

T. Tran Quoc, L. Pierrat: "An Efficient Non Linear Transformer Model and Its Application to Ferroresonance Study," *IEEE, Transaction on Magnetic*, Vol 31, No. 3, May 1995

T. Tran-Quoc, L. Pierrat, A. Montmeat, and O. Huet, "A Dynamic Model of Power Transformers," Electrotechnical Conference, MELECON '96, 8th Mediterranean, 1996.